

Branchenausblick 2030+

Die Energiewirtschaft: Strom und Wärme



Impressum

BRANCHENAUSBLICK 2030+
Die Energiewirtschaft: Strom und Wärme

ERSTELLT IM AUFTRAG VON

Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE

- Inselstraße 6, 10179 Berlin
 - Königsworther Platz 6, 30167 Hannover
- Telefon +49 30 2787 14

DURCHFÜHRUNG

VDI Technologiezentrum GmbH

Autor*innen: Simon Beesch, Oliver S. Kaiser, Dr. Norbert Malanowski, Jana Steinbach

PROJEKTLEITUNG

Dr. Kajsa Borgnäs, Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE
Malte Harrendorf, Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE

LEKTORAT

Gisela Lehmeier, FEINSCHLIFF

SATZ UND LAYOUT

pandamedien GmbH & Co. KG

TITELBILD

pandamedien

DRUCK

Spree Druck Berlin GmbH

VERÖFFENTLICHUNG

Mai 2021

BITTE ZITIEREN ALS

Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE (2021):
Branchenausblick 2030+: Die Energiewirtschaft: Strom und Wärme. Berlin.

Vorwort

Die Bundesrepublik Deutschland und die Europäische Union haben sich ein ambitioniertes Klimaschutzziel gesetzt: Klimaneutralität bis 2050. Im Rahmen des Green Deal wurden die Emissionsminderungsziele für die EU jüngst von -40 auf -55 Prozent bis 2030 im Vergleich zum Jahr 1990 angehoben.

Für Deutschland bedeutet dies unter anderem, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien deutlich beschleunigt werden muss, dass die CO₂-Zertifikatsmenge im Rahmen des ETS-Systems (Emissions Trading System) schneller reduziert wird, dass der CO₂-Preis voraussichtlich steigt und dass dadurch der Dekarbonisierungsdruck auf die ganze Gesellschaft – und insbesondere auf die Industrie – zunimmt. Gleichzeitig ist die Klimapolitik nicht der einzige Prozess, der derzeit die Gesellschaft und die Wirtschaft massiv herausfordert. Die Corona-Krise, die Veränderungen der Globalisierung, die Digitalisierung und der demografische Wandel haben große Auswirkungen auf alle Akteure.

Wie sind deutsche Industriebranchen von diesen gleichzeitig stattfindenden Transformationstrends betroffen? Welche Stärken und Schwächen mit Blick auf die Dekarbonisierung unter beibehaltener Wettbewerbsfähigkeit zeigen sie auf? Was sind besondere Risiken und Chancen des anstehenden Umbaus hin zu Nachhaltigkeit und langfristiger Leistungsfähigkeit? Und wie werden die Arbeit selbst und die Arbeitnehmer*innen in der Industrie dadurch betroffen?

In einer Studienreihe – Branchenausblick 2030+ – untersucht die Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE die Auswirkungen verschiedener Transformationsprozesse auf ausgewählte Industriebranchen. Der Fokus liegt dabei auf technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Potenzialen zu Nachhaltigkeit und Treibhausgasneutralität; aber auch andere, für die Industriebranchen transformative Entwicklungen werden beleuchtet.

Die Studienreihe komplementiert den Szenarienprozess der IG BCE, in dem Zukunftsszenarien und industriepolitische Strategien für die kommende Dekade entwickelt wurden. Obwohl es immer schwierig ist, mittelfristige Prognosen zu industriellen, wirtschaftlichen und gesell-

schaftlichen Veränderungen zu machen, ist ein solcher Blick auf aktuelle Trends und Entwicklungstendenzen notwendig, um strategische Antworten auf strukturelle Veränderungen zu entwerfen. Es geht darum, die Zukunftsfähigkeit der Industrie kritisch zu beleuchten, Risiken zu identifizieren und politischen sowie gewerkschaftlichen Handlungsbedarf zu diskutieren.

Unser Ausgangspunkt ist und bleibt, dass die notwendige industrielle Modernisierung mit sozialer Gerechtigkeit, guter Arbeit und gestärkter Mitbestimmung einhergehen muss.

Wir hoffen, mit dieser Studienreihe konstruktiv zur Debatte über die Herausforderungen, die Potenziale und die konkrete Ausgestaltung der sozial-ökologischen Transformation in der deutschen Industrie beizutragen.

Ich freue mich auf den Austausch!

Dr. Kajsa Borgnäs

Geschäftsführerin

Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE

Die wichtigsten Ergebnisse auf einen Blick:

Zusammenfassung

Der vorliegende Branchenausblick 2030+ befasst sich mit aktuellen Trends und zurzeit in Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft diskutierten Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft. Vor dem Hintergrund der Schwerpunktthematik „Dekarbonisierung und Nachhaltigkeit“ werden wissenschaftliche Publikationen, Pressemitteilungen, Branchenberichte und Veröffentlichungen aus dem Politikbetrieb analysiert und in Zusammenhang gesetzt. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse und die Kernaspekte der jeweiligen Handlungsfelder zusammengefasst.

Erreichung der Klimaziele

- Ein großer Teil der in Deutschland und weltweit ausgestoßenen Treibhausgase ist den Bereichen Strom- und Wärmeerzeugung zuzurechnen. Um die national und auf EU-Ebene festgehaltenen Klimaziele erreichen zu können, bedarf es eines flächendeckenden Ausbaus von Netzinfrastrukturen, Energiespeicherkapazitäten und regenerativer Energieerzeugung. Investitionen in energetische Gebäudesanierung, Elektromobilität und Wärmepumpenanlagen müssen im kommenden Jahrzehnt im Vordergrund des Interesses liegen.
- Auf langfristige Sicht werden Wasserstofftechnologien stetig bedeutender. Es sollten Lösungen für Herausforderungen der Erzeugung, des Transports und der benötigten Infrastruktur gezielt entwickelt und gefördert werden. Zudem sind konkrete Rahmenbedingungen zu schaffen, die Möglichkeiten für Innovationen in Forschung und Entwicklung zulassen sowie die Basis für eine wettbewerbsfähige Wasserstoffwirtschaft setzen.

Rahmenbedingungen in der Energiebranche

- Der European Green Deal erfordert ambitionierte EU-weite Maßnahmen zur Erreichung der klimapolitischen Ziele. Eine Vielzahl davon betrifft die Energiebranche. Mechanismen wie der Emissionshandel, die CO₂-Steuer und ein diskutiertes Grenzausgleichssystem sollen Investitionen in erneuerbare Energien anregen.

- Die sich dynamisch verändernden Rahmenbedingungen werden auf Dauer zu einer Verschiebung der Arbeitsplätze von der konventionellen Energieindustrie hin zu Unternehmen in Bereichen der regenerativen Energien, Wasserstofftechnologien und zu gänzlich neuen Geschäftsmodellen führen.
- Auch auf nationaler Ebene finden sich zunehmend Rahmungsinstrumente wie die Nationale Wasserstoffstrategie, aktuelle Fördermaßnahmen und das Erneuerbare-Energien-Gesetz. Zusammen mit dem Kohle- und Atomkraftausstieg sollen sie Unterstützung leisten, um die Energiewende und den damit verbundenen Strukturwandel zu meistern.

Transformationstrends

- Die Energiebranche steht angesichts der Digitalisierung am Anfang einer tiefgreifenden Transformation. Insbesondere vernetzte Mess- und Steuerungsgeräte werden das Energiesystem nachhaltig verändern. Effizienzsteigerungen und neue Einspeise- und Lenkungsmöglichkeiten aufgrund von „smarten“ Prozessen sollen zudem einen Beitrag zur Energiewende leisten können. Mit dem digitalen Wandel entwickeln sich ferner Rollen und Aufgaben von Endverbrauchern weiter. Diese können künftig durch eigene Solaranlagen, Wärmepumpen und Speichereinheiten vermehrt selbst Energie erzeugen und, bei technischem Ausbau der Netze, selbst Energie einspeisen.
- Auch die Arbeit in der Energiebranche unterliegt einem umfassenden Wandel. Je nach Tätigkeit unterscheiden sich die Einflüsse der digitalen Transformation. Wartungsarbeiten werden ebenso durch digitale Technik unterstützt wie Dienstleistungsaspekte des Kundenservices oder des Controllings.

Fachkräftesicherung und Qualifizierungsmaßnahmen

- Prognosen sehen durch den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft und des Erneuerbaren-Energien-Marktes einen Zuwachs an Arbeitsplätzen. Dennoch gilt es, besonders Regionen des Strukturwandels aufzufangen und diese auch aus Beschäftigtensicht auf zukünftige Tätigkeitsanforderungen vorzubereiten. Dem Wandel von Jobprofilen und Qualifizierungsansprüchen kann mit gezielten Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen begegnet werden.
- Aufgrund einer hohen Heterogenität der Tätigkeiten in der Energiebranche werden nicht alle Berufsprofile gleich von der Transformation geprägt. Beschäftigtenvertretungen stehen vor der Aufgabe, unterschiedliche Potenziale der Transformation für alle Beschäftigten auszuloten. Innovationen in der Arbeitswelt und der Arbeitsorganisation bieten enorme Chancen für eine sich im Aufbruch befindende Energiewirtschaft, deren Zukunft von den Arbeitskräften mitzugestalten ist.

Corona-Pandemie

- Zu Beginn der Corona-Pandemie war die Energiewirtschaft insbesondere von dem in weiten Teilen Deutschlands einbrechenden Energieverbrauch betroffen. Der Anteil erneuerbarer Energien am deutschen Strommix ist weiter angestiegen. Plausiblen Berichten zufolge wurden so für das Jahr 2020 die anvisierten Klimaziele erreicht. Demnach könnte die Pandemie den kulturellen Wandel hin zu Energieeffizienz und Sparsamkeit und die Sensibilisierung für den Klimawandel positiv beeinflusst haben.
- Weiterhin wird berichtet, dass sich die Digitalisierung der Branche durch eine „erzwungene“ Umstellung der Arbeitsorganisation beschleunigt habe. Zu den am meisten betroffenen Bereichen gehören die Kundeninteraktion und die smarte Messtechnik.

Inhalt

Vorwort	3
Die wichtigsten Ergebnisse auf einen Blick: Zusammenfassung	4
1. Einleitung	8
2. Eckdaten der Branche	9
2.1 Primärenergiegewinnung und -verbrauch	9
2.2 Strom: Verbrauch und wirtschaftliche Situation	12
2.3 Unternehmensstrukturen und Beschäftigung	19
2.4 Innovationsdynamik	23
3. Transformationstrends: Digitalisierung, Dezentralisierung, Europäisierung, demografischer Wandel	25
3.1 Digitalisierung/Dezentralisierung	25
3.2 Energieunion Europa	29
3.3 Demografischer Wandel	30
3.4 Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die Energiebranche	31
3.5 Zwischenfazit zu den Transformationstrends	32
4. Dekarbonisierung und Nachhaltigkeit	33
4.1 Transformation des Energieerzeugungssystems	33
4.2 Wasserstoff	35
4.3 Sektorenkopplung	38
4.4 Urbane Fernwärme	39
4.5 Schlüsseltechnologien des Energiesystems der Zukunft	41
4.6 Leuchtturmprojekte	43
4.7 Zwischenfazit zu Dekarbonisierung, Nachhaltigkeit und Treibhausgasneutralität	45
5. Regulatorische Aspekte in Deutschland und Europa	46
5.1 Klima- und energiepolitische Rahmenbedingungen	46
5.2 Rahmenbedingungen der Finanzierung	51
5.3 Zwischenfazit zu den regulatorischen Aspekten	52
6. SWOT-Analyse	53
7. Innovations- und industriepolitische Handlungsoptionen für eine erfolgreiche Transformation	56
7.1 Handlungsfeld Investitionen in emissionsfreie Energiegewinnung und Energieeffizienz	56
7.2 Handlungsfeld Investitionen in den Ausbau von Infrastrukturen beschleunigen	56
7.3 Handlungsfeld Wasserstofftechnologien und Anwendungsfelder	57
7.4 Handlungsfeld Fokus auf innovations- und industriepolitische Instrumente legen	57
7.5 Handlungsfeld Fortbildung und Qualifizierungsprogramme fördern	58
8. Literaturverzeichnis	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Überblick über die verschiedenen Formen der Energie	9
Abbildung 2:	Primärenergiegewinnung im Inland nach Energieträgern, in PJ	10
Abbildung 3:	Prozentuale Wachstumsrate der erneuerbaren Energien in Deutschland, Vorjahresvergleich	10
Abbildung 4:	Primärenergieverbrauch nach Energieträgern, 2019	11
Abbildung 5:	Importe und Exporte von Primärenergieträgern in 2019, in PJ	11
Abbildung 6:	Gesamtstromverbrauch Deutschlands, in PJ	12
Abbildung 7:	Stromverbrauch nach Sektoren, in PJ	13
Abbildung 8:	Übersicht der Kennzahlen der Szenarien; Quelle: NEP Strom 2035, Version 2021, 1. Entwurf	14
Abbildung 9:	EUA Preis-Entwicklung	15
Abbildung 10:	Entwicklung der Industriestrompreise in Deutschland, ct/kWh	15
Abbildung 11:	Verbraucherstrompreise in der EU 2019 in ct/kWh und prozentuale Veränderung (2007–2019)	17
Abbildung 12:	Entwicklung und Komponenten des Verbraucherstroms, ct/kWh	18
Abbildung 13:	Anzahl der Unternehmen in der Energieversorgung	18
Abbildung 14:	Beschäftigte in der Energieversorgung	19
Abbildung 15:	Anzahl der Betriebe nach Beschäftigtenzahlen	20
Abbildung 16:	Erwerbstätige nach Geschlecht und Bildungsstand in der Energie- und Wasserversorgung 2019, in Tausend	21
Abbildung 17:	Entgelte in der Energie- und Wasserversorgung in 2019, in Tausend Euro 2019	21
Abbildung 18:	Umsätze in der Elektrizitätsversorgung, in Millionen Euro	22
Abbildung 19:	Investitionen in der Energieversorgung, in Millionen Euro	22
Abbildung 20:	Innovationsintensitäten in der Energie- und Wasserversorgung, in Prozent	23
Abbildung 21:	Übersicht zur Digitalisierung der Energiewende	27
Abbildung 22:	Übersicht zur Dekarbonisierung im Wärmesektor	29
Abbildung 23:	Einzel- und Gesamtwirkungsgrade von Pkw mit unterschiedlichen Antriebskonzepten, ausgehend von erneuerbar erzeugtem Strom	36
Abbildung 24:	Wasserstoffbedarfsentwicklung in Deutschland 2030–2050, Quelle: enervis/StAU	37
Abbildung 25:	SWOT-Analyse	53

1. Einleitung

Nationale und internationale Energiesysteme stehen mitten in einer umfassenden Transformation, deren Ausmaß bislang noch nicht vollends erfasst werden kann. Der von der Europäischen Kommission (EC) verkündete European Green Deal stellt die EU-weite Grundlage dar, um den Kontinent hin zur Klimaneutralität zu führen. Die Energiebranche als Ausgangspunkt der Energiegewinnung und -verteilung spielt in diesem Vorhaben als traditionell emissionsintensive Industrie eine Schlüsselrolle. Gesetzliche Regulierungen bezüglich des Energiesystems sind einer enormen Dynamik ausgesetzt, während auch auf gesellschaftlicher Ebene ein deutlicher kultureller Wandel spürbar ist. Konzerne stellen klimafreundliche Maßnahmen verstärkt in den Vordergrund des Interesses und positionieren sich als nachhaltige Unternehmen. Soziale Bewegungen üben Druck aus und appellieren an die Gesellschaft, ihren Umgang mit Energie kritisch zu hinterfragen und zur Transformation beizutragen. Die Zukunft der Energie in der Klimakrise ist damit ein überaus großes Thema unserer Zeit geworden.

Neben den Zielen der Dekarbonisierung steht die Branche zunehmend vor der Herausforderung, Arbeitsplätze für die Zukunft zu sichern oder auszubauen und sie den Hürden der Transformation anzupassen. Mit der rasanten Entwicklung der Branche verändern sich Anforderungen an Berufe und der Bedarf an Weiterqualifizierungen. Die aktuelle Corona-Pandemie hat zudem Einfluss auf die gesellschaftliche Verwendung von Energie und die Arbeitsorganisation der Branche.

Im vorliegenden Branchenausblick 2030+ Energiewirtschaft soll ein zusammenfassender Blick auf das Energiesystem und aktuelle Zukunftstrends geworfen werden. Zur Einrahmung des Themengebiets diskutiert er hauptsächlich den deutschen Strom- und Wärmesektor. Aufgrund der Fokussierung auf die Dekarbonisierung der Energiebranche werden vornehmlich die Potenziale erneuerbarer Energien und damit zusammenhängende Trends in Forschung und Technologieentwicklung erkundet. Zunächst werden Brancheneckdaten zusammengestellt, um einen Grundriss des Energiesektors zu bieten. Anschließend werden aktuelle Transformationstrends vor dem Hintergrund diskutiert, welche thematischen Bezüge sie zur Energiebranche aufweisen.

Nachhaltigen Transformationen liegen diverse technologische und gesellschaftliche Trends zugrunde. Die Digitalisierung breitet sich über die gesamte Wertschöpfungskette innerhalb der Energiewirtschaft aus. Wie in vielen industriellen Sektoren spielen nicht nur in Forschung und Entwicklung (FuE), sondern auch auf der Endverbraucherseite intelligente Mess- und Steuersysteme eine wachsende Rolle. Gleichzeitig ändern sich mit der Transformation nicht lediglich die primären Energiequellen. Verteilungsstrukturen hin zu dezentralen Netzwerken und eine stärkere Einbindung von Privathaushalten durch Rückspeisungen werden zukünftig einen höheren Stellenwert einnehmen.

Internationale Dynamiken werden durch staatliche und europäische Regulierungen wie den Emissionshandel und Grenzausgleichssysteme, Fördermaßnahmen und politische Richtlinien und Strategien angeregt. Demzufolge werden die zentralen Konzepte der Energie- und Wärmewende sowie Implikationen für die Branche diskutiert und der Stand der Forschung sowie ausgewählte Leuchtturmprojekte vorgestellt. Die folgenden Kapitel befassen sich mit den Rahmenbedingungen Regulation, Finanzierung und innovationspolitische Instrumente. Nach einer zusammenfassenden SWOT-Analyse werden Handlungsfelder definiert und mögliche Handlungsoptionen für eine erfolgreiche Transformation der Energiebranche abgeleitet.

2

2. Eckdaten der Branche

Die Energiebranche beinhaltet viele verschiedene Sektoren. Abbildung 1 vermittelt einen breiten Überblick über die verschiedenen Formen der Energie in ihrer Primär-, Sekundär- und Tertiärform. Die Abbildung veranschaulicht die verschiedenen Stufen, die bis zur Gewinnung „nutzbarer“ Energie (Tertiären-

2.1 Primärenergiegewinnung und -verbrauch

Die Gesamtmenge an im Inland hergestellter Primärenergie ist zwischen 1990 und 2019 von insgesamt 6 224 PJ auf 3 591 PJ gesunken. Die Komposition der Primärenergieträger hat auch eine erhebliche Veränderung unterlaufen. (siehe Abbildung 2, S. 10)

Abbildung 1: Überblick über die verschiedenen Formen der Energie



Quelle: Statistisches Bundesamt, Daten zur Energiepreisermittlung, Stand Oktober 2020

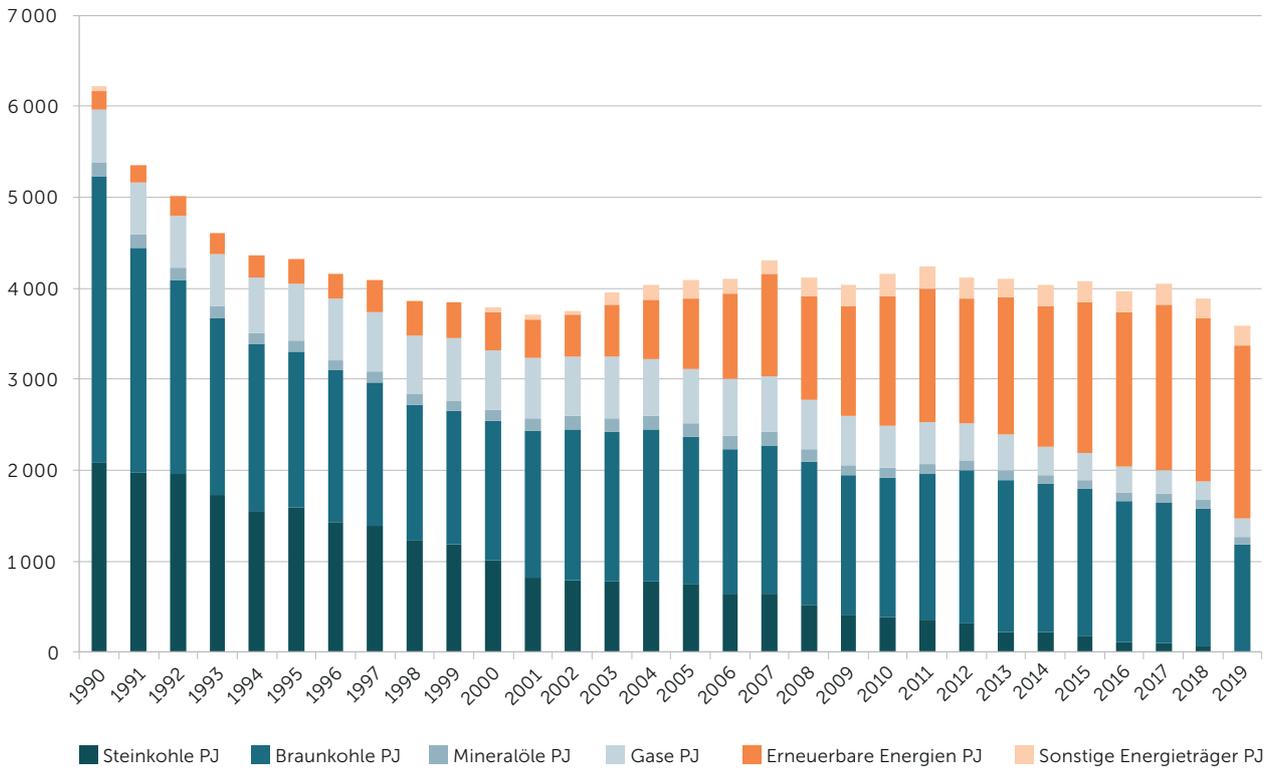
ergie) notwendig sind. Im Rahmen der Primärenergie wird im Nachhaltigkeitsdiskurs unterschieden zwischen fossilen Brennstoffen und erneuerbaren Energieträgern. Diese Energieträger werden in Sekundärenergie umgewandelt. Hierzu zählen Treibstoffe, Fernwärme, Gas, Strom oder verwandte Produkte, die zur Nutzung von Energie (Tertiärenergie) benötigt werden.

Die vorliegende Studie fokussiert nicht die Energiewirtschaft in Gänze, sondern die Strom- und Wärmebereiche. Andere Branchenausblicke fokussieren den Bergbau sowie Mineralölprodukte beziehungsweise Raffinerien.

Insbesondere der Anteil der Steinkohle ist vom zweitwichtigsten heimisch erzeugten Primärenergieträger in 1990 (2 089 PJ) zu einem Beitrag von Null in 2019 gesunken. Der zentrale Grund liegt in der fehlenden Wettbewerbsfähigkeit des Steinkohleabbaus gegenüber ausländischen Wettbewerbern. Niedrige Preise auf dem international beeinflussten Markt haben dazu geführt, dass der Abbau von Steinkohle hierzulande von Seiten der Regierung in den vergangenen Jahren subventioniert werden musste. Unter Miteinbeziehung der Arbeitnehmerinteressenvertretung haben sich alle Beteiligten 2007 auf eine sozialverträgliche Beendigung des Steinkohleabbaus in Deutschland geeinigt. Die letzte Zeche, Prosper-Haniel, wurde 2018 geschlossen.¹ Steinkohle stellt allerdings weiterhin einen

¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie o. J. c.

Abbildung 2: Primärenergiegewinnung im Inland nach Energieträgern, in PJ



Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung nach AGEB, Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre 1990 bis 2019, Stand September 2020

wichtigen Primärenergieträger dar. Die Einfuhr von Steinkohle und -erzeugnissen ist daher zuletzt antizyklisch zur Reduktion der innerdeutschen Produktion angestiegen und betrug im Jahr 2018 über 51 Millionen Tonnen.

Die Menge an fossiler Primärenergiegewinnung insgesamt hat sich in den vergangenen Jahren stetig reduziert. Der Anteil an erneuerbaren Energien hingegen ist innerhalb der vergangenen knapp 30 Jahre von 3,2 Prozent (1990) auf mehr als die Hälfte (2019) angestiegen. In absoluten Zahlen liegt der Anstieg der erneuerbaren Ener-

gien zwischen 1990 und 2019 von 200 PJ auf 1 903 PJ bei über 850 Prozent. Die Wachstumsraten erneuerbarer Energieerzeugungsanlagen sind mit wenigen Ausnahmen durchgehend positiv (siehe Abbildung 3), haben sich in den vergangenen Jahren jedoch leicht abgeschwächt. Das Ziel der Bundesregierung ist es, bis zum Jahre 2030 einen Anteil von 65 Prozent erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung zu erreichen.

Während die Herstellung von Primärenergie in 2019 bei knapp 3 600 PJ Joule lag (Abbildung 2), lag der Gesamt-

Abbildung 3: Prozentuale Wachstumsrate der erneuerbaren Energien in Deutschland, Vorjahresvergleich

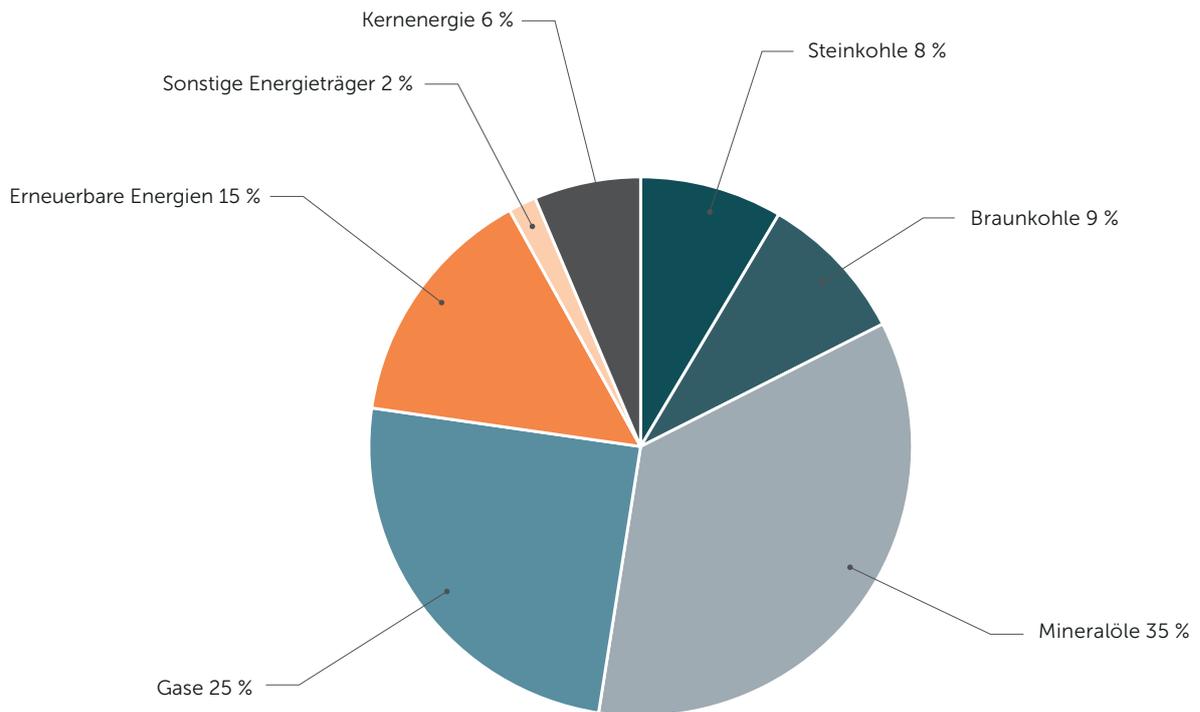


Quelle: VDI TZ, eigene Berechnung und eigene Darstellung auf Basis der AGEB: Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre 1990 bis 2019, Stand September 2020

verbrauch der Primärenergie innerhalb Deutschlands bei über 12 800 PJ (siehe Abbildung 4). Der Großteil hiervon entfiel auf den Verbrauch von Mineralölen und Gasen. 15 Prozent des Primärenergieverbrauchs sind über die Nutzung von erneuerbaren Energien gedeckt worden.

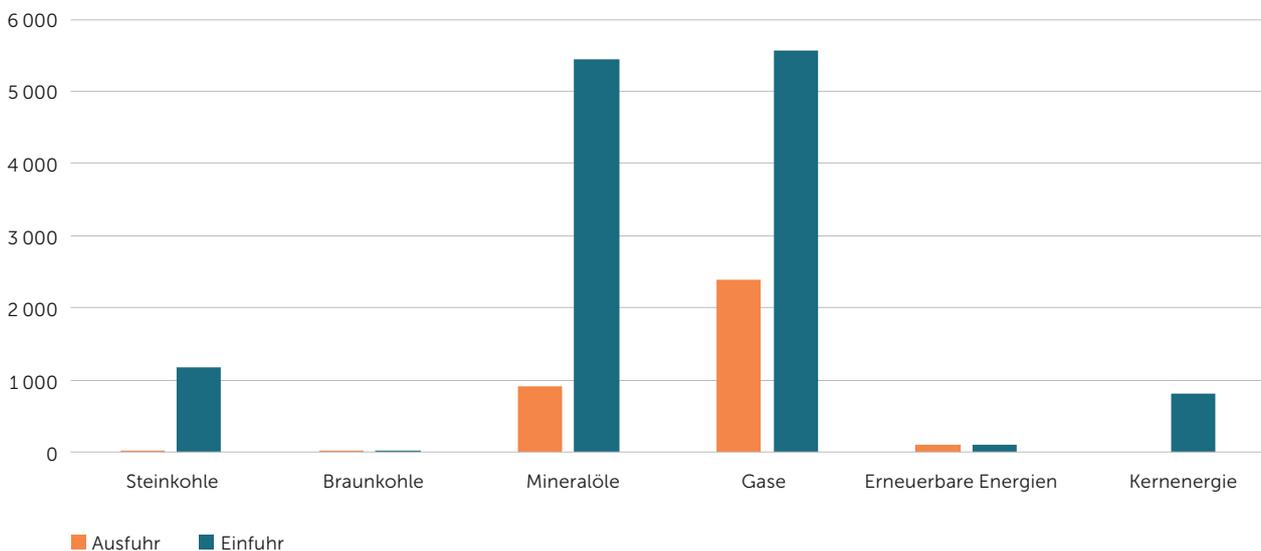
Um die Differenz zwischen der in Deutschland hergestellten und der benötigten Energie auszugleichen, müssen Energieträger importiert werden. Insgesamt sind 2019 Energieträger in Höhe von 13 254 PJ importiert und Energieträger in Höhe von 3 747 PJ exportiert worden.

Abbildung 4: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern, 2019



Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung auf Basis der AGE: Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre 1990 bis 2019, Stand September 2020

Abbildung 5: Importe und Exporte von Primärenergieträgern in 2019, in PJ



Quelle: VDI TZ, eigene Berechnung und eigene Darstellung auf Basis der AGE: Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre 1990 bis 2019, Stand September 2020

Dies entspricht einem Netto-Importsaldo von 9 507 PJ. Wie in Abbildung 5 erkennbar, importiert Deutschland hauptsächlich Mineralöle (5 446 PJ) und Gase (5 562 PJ). Weiterhin werden Kernenergie und Steinkohle importiert. Die Importmenge der Kernenergie ist dabei in den vergangenen Jahren stetig gesunken, von rund 1 600 PJ in 1990 auf 819 PJ in 2019, während die Importmenge von Steinkohle im gleichen Zeitraum von 445 PJ auf 1 179 PJ angestiegen ist. (siehe Abbildung 5, S. 11)

2.2 Strom: Verbrauch und wirtschaftliche Situation

Elektrischer Strom wird heutzutage für eine Vielzahl von Anwendungen im privaten und betrieblichen Bereich genutzt, und auch der gewerbliche Bereich, ob Industrie- oder Dienstleistungssektor, ist auf den Bezug von elektrischer Energie angewiesen.

Stromverbrauch und -bedarf

Der Gesamtstromverbrauch Deutschlands verzeichnete in den vergangenen 30 Jahren einen insgesamt steigenden Trend, reduziert sich aber stetig seit 2010, dem Jahr mit dem höchsten Gesamtstromverbrauch in Deutschland als Folge der wirtschaftlichen Erholung nach der Weltwirtschaftskrise 2009. 2019 betrug der Gesamtstromverbrauch etwa 1 800 PJ und ist damit in den vergangenen neun Jahren um fast fünf Prozent gesunken (siehe Abbildung 6).

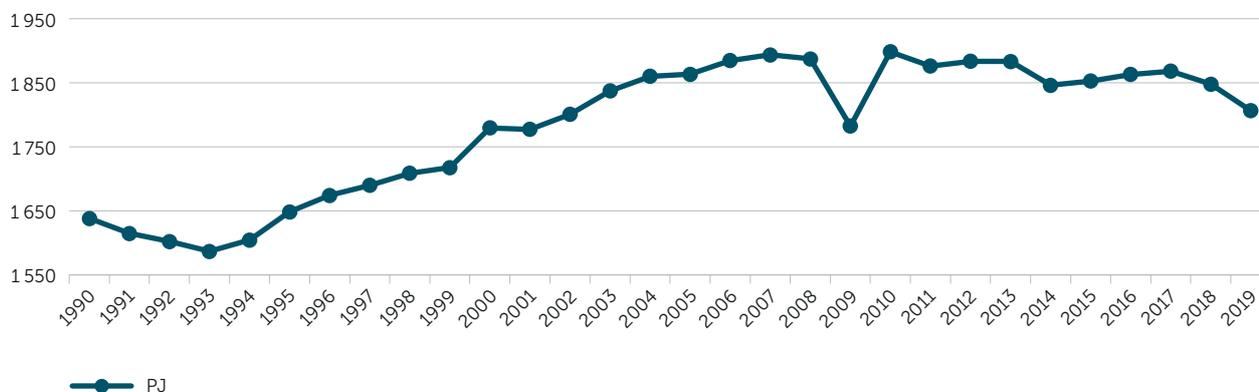
Ein Großteil des deutschen Stromverbrauchs (etwa 512 TWh) entfällt 2019 auf den Industriesektor (785 PJ beziehungsweise 218,06 TWh), gefolgt von den Sektoren Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (527 PJ

beziehungsweise 146,39 TWh) und den Privathaushalten (451 PJ beziehungsweise 125 TWh). Der Verkehrssektor trägt mit 43 PJ beziehungsweise rund 11,94 TWh vergleichsweise wenig zum Gesamtstromverbrauch in Deutschland bei. In Abbildung 7 ist weiterhin ersichtlich, dass der Stromverbrauch zwischen 1990 und 2005 in allen Sektoren anstieg, zwischen 2005 und 2019 hingegen sank. Die größte Reduktion im Gesamtstromverbrauch haben die Privathaushalte zu verzeichnen.

Wie bereits dargestellt, ist der Gesamtstromverbrauch innerhalb Deutschlands zuletzt leicht gesunken. Langfristig sagen einige Prognosen jedoch eine andere Entwicklung voraus. Das Energiewirtschaftliche Institut (EWI) an der Universität zu Köln geht von einer steigenden Bruttostromnachfrage von 685 TWh² aus, während die Bundesregierung mit einem nahezu konstanten Verbrauch von 595 TWh rechnet. EWI verweist darauf, dass die steigende Zahl von Elektrofahrzeugen und Wärmepumpen sowie die nationale Erzeugung von grünem Wasserstoff, wie sie laut Nationaler Wasserstoffstrategie (NWS) geplant ist, maßgeblich für einen Anstieg der Stromnachfrage sorgen wird.

Ein wichtiger Indikator für die langfristige Transformation des Stromsektors und zukünftiger Stromverbräuche ist der Netzentwicklungsplan (NEP)³, der alle zwei Jahre aktualisiert wird und in Transformationsszenarien die zukünftige Entwicklung modelliert. In allen Szenarien kommt dem Stromsektor in der Sektorenkopplung beziehungsweise bei der Dekarbonisierung der Sektoren Wärme, Verkehr und Industrie durch eine vertiefte Elektrifizierung eine

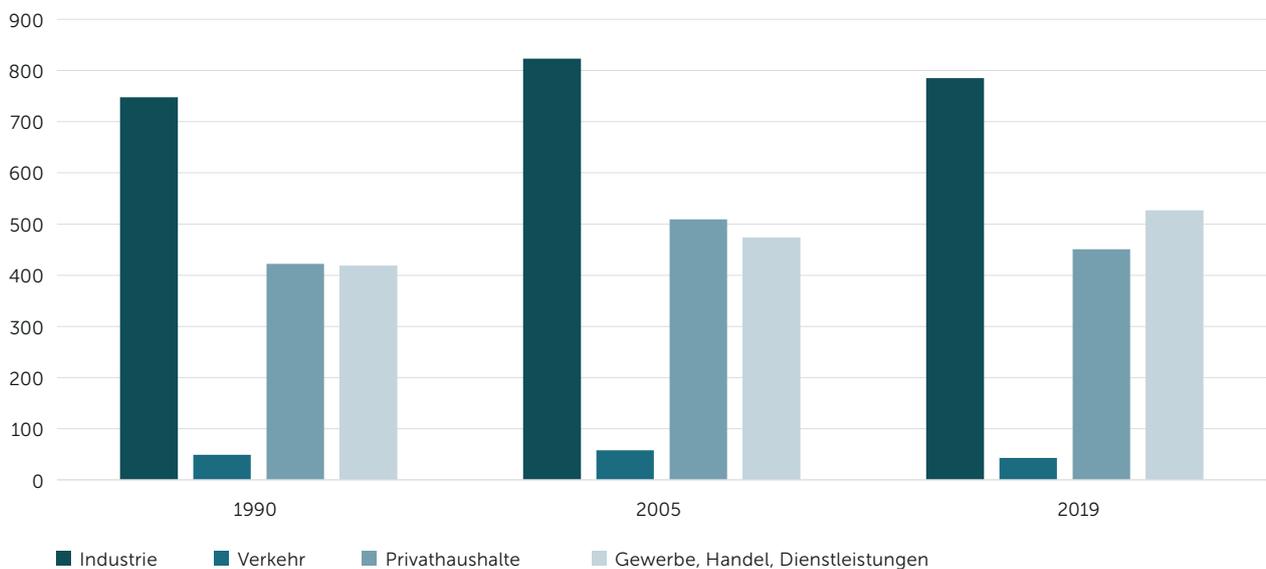
Abbildung 6: Gesamtstromverbrauch Deutschlands, in PJ



Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung nach BMWi Sammelwerk Energiedaten, Tabelle 6: Endenergieverbrauch nach Industrietägern

² Das EWI Köln hat die Bruttostromnachfrage auf Basis der dena-Leitstudie Integrierte Energiewende ermittelt. Vgl. EWI 2021.
³ Das Energiewirtschaftsgesetz (§ 12b EnWG) legt fest, dass die ÜNB der Bundesnetzagentur (BNetzA) als zuständiger Behörde alle zwei Jahre einen gemeinsamen nationalen Netzentwicklungsplan Strom (NEP) vorzulegen haben. Die Aufgabe der BNetzA ist es, die Planungen der ÜNB zu prüfen und zu bestätigen.

Abbildung 7: Stromverbrauch nach Sektoren, in PJ



Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung nach BMWi Sammelwerk Energiedaten, Tabelle 6a: Endenergieverbrauch nach Endenergieträgern und Sektoren

zentrale Rolle zu. Auch hier werden als zentrale Treiber der ansteigenden Stromnachfragen die Sektorenkopplungsapplikationen wie Power to Heat, Power to Gas, Wärmepumpen in den Sektoren Industrie und Gebäude sowie die Elektromobilität im Verkehrssektor genannt.

Im aktuellen NEP 2035 wird in den vier Szenarien (siehe Abbildung 8, S. 14) ein Anstieg des Nettostromverbrauchs, ausgehend von 2019 mit 524,3 TWh, auf 603,4 TWh bis 651,5 TWh für das Jahr 2035 und für 2040 auf 635,2 TWh prognostiziert. Der Bruttostromverbrauch geht mit einem Anstieg auf rund 650 bis 700 TWh für 2035 und 704 TWh für 2040 deutlich über das heutige Niveau hinaus.

Zugleich steigt der EE-Anteil in den Szenarien auf mindestens 70,1 bis 73,6 Prozent für das Jahr 2035 und für das Jahr 2040 auf 75,5 Prozent am Bruttostromverbrauch an. Er orientiert sich somit an den aktuell geltenden gesetzlichen Rahmenbedingungen sowie an darüberhinausgehenden energie- und klimapolitischen Zielstellungen der Bundesregierung.⁴ (siehe Abbildung 8, S. 14)

Industriestrompreise

Im gewerblichen Bereich und insbesondere bei den energieintensiven Industrien stellen Strompreise einen

entscheidenden Faktor für die Produktion sowie die Wettbewerbsfähigkeit dar.

Abbildung 7 zeigt, dass die Strompreise für stromkostenintensive Industrien⁵ innerhalb Deutschlands von 10,1 ct/kWh im Jahr 1995 auf durchschnittlich 15,825 ct/kWh in 2019 gestiegen sind. Den geringsten Wert verzeichnen die Industriestrompreise zwischen 2000 und 2002, sie sind seitdem jedoch kontinuierlich bis zu ihrem Höchststand in 2014 angewachsen. Seit 2015 unterliegen die Preise geringeren Schwankungen und liegen konstant zwischen 15,01 und 15,826 ct/kWh. Im direkten Vergleich liegt der Strompreis für energieintensive Industrien⁶ unterhalb des Preises für stromkostenintensive Industrien. Sind beide Preise bis 2008 noch einem gemeinsamen Trend gefolgt, so ist die Differenz seitdem deutlich angestiegen. Veränderungen in der Höhe der EEG-Umlage (von etwa 1,1 ct/kWh in 2008 auf 6,75 ct/kWh) tragen zu einem Großteil hierzu bei. So betrug der durchschnittliche Strompreis für die Industrie 2019 18,43 ct/kWh bei einem Jahresverbrauch von 16 000 bis 20 Millionen kWh, wovon 7,42 ct/kWh auf Steuern und Abgaben zurückzuführen waren. Die Spannweite zwischen den Strompreisen für Großabnehmer (100 Millionen kWh/a) lag im Jahr 2019 zwischen 4,8 und 17,1 ct/kWh bei einem Durchschnittspreisniveau von 9,28 ct/kWh.⁷

⁴ Netzentwicklungsplan Strom 2035, Version 2021, 1. Entwurf.

⁵ Die Preise entsprechen dem Tarif für 2 000 000 kWh; maximale Abnahme: 500 kW; jährliche Inanspruchnahme: 4 000 Stunden, ab 2008 Verbrauch: 500 MWh < 2 000 MWh.

⁶ Die Preise entsprechen dem Tarif für 50 000 000 kWh; maximale Abnahme: 10 000 kW; jährliche Inanspruchnahme: 5 000 Stunden, ab 2008 Verbrauch: 20 000 MWh < 70 000 MWh.

⁷ Vgl. BDEW 2021 (S.26 f., S. 30).

Abbildung 8: Übersicht der Kennzahlen der Szenarien; Quelle: NEP Strom 2035, Version 2021, 1. Entwurf

Installierte Leistung [GW]					
Energieträger	Referenz 2019	A 2035	B 2035	C 2035	B 2040
Kernenergie	8,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Braunkohle	20,9	7,8	0,0	0,0	0,0
Steinkohle	22,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Erdgas	30,0	38,1	42,4	46,7	42,4
Öl	4,4	1,3	1,3	1,3	1,1
Pumpspeicher	9,8	10,2	10,2	10,2	10,2
sonstige konventionelle Erzeugung *	4,3	3,8	3,8	3,8	3,7
Summe konventionelle Erzeugung	100,1	61,2	57,7	62,0	57,4
Windenergie onshore	53,3	81,5	86,8	90,9	88,8
Windenergie offshore	7,5	28,0	30,0	34,0	40,0
Photovoltaik	49,0	110,2	117,8	120,1	125,8
Biomasse	8,3	6,8	7,5	8,7	8,2
Speicherwasser und Laufwasser	4,8	5,6	5,6	5,6	5,6
sonstige regenerative Erzeugung *	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Summe regenerative Erzeugung	124,2	233,4	249,0	260,6	269,7
Summe Erzeugung	224,3	294,6	306,7	322,6	327,1
Stromverbrauch [TWh]					
Nettostromverbrauch zzgl. Verteilnetzverluste **	524,3 ***	603,4	621,5	651,5	653,2
Treiber Sektorenkopplung					
Haushaltswärmepumpen [Anzahl in Mio.]	1,0	3,0	5,0	7,0	6,5
Elektromobilität [Anzahl in Mio.]	0,2	9,1	12,1	15,1	14,1
Power-to-Heat (Fernwärme/Industrie) [GW]	0,8 ***	4,0	6,0	8,0	7,0
Power-to-Gas [GW]	<0,1 ***	3,5	5,5	8,5	10,5
Weitere Speicher und nachfrageseitige Flexibilitäten [GW]					
PV-Batteriespeicher	0,6	11,0	14,1	16,8	14,9
Großbatteriespeicher	0,4	3,6	3,8	3,8	3,8
DSM (Industrie und GHD)	1,5 ***	4,0	5,0	8,0	7,0
Klimaschutz					
CO ₂ -Limit (Mio. t CO ₂)	–	120,0	120,0	120,0	60,0

Bei der Aufsummierung der Einzelwerte ergeben sich Rundungsabweichungen.

* Sonstige konventionelle und regenerative Erzeugung jeweils inkl. 50 % Abfall

** Dargestellt sind die Werte aus dem Genehmigungsdokument. Aufgrund der Vielzahl an flexiblen Verbrauchern und Variablen ergibt sich der exakte Stromverbrauch erst aus der Strommarktmodellierung.

*** Referenz 2018

Einordnung

Das konstante Industriestrompreisniveau der vergangenen Jahre ist unter anderem auf nahezu konstante Emissionshandelspreise des europäischen Emissionshandelssystems (EU-ETS) zurückzuführen. Da der Industriestrom in aller Regel fossilen Kraftwerkskapazitäten entstammt, ist der CO₂-Preis ein wichtiger preisbildender Bestandteil. Dieser wird in aller Regel durch Wälzungsklauseln der CO₂-Kosten an die Industriestrompreisnehmer anteilig oder vollständig weitergegeben.

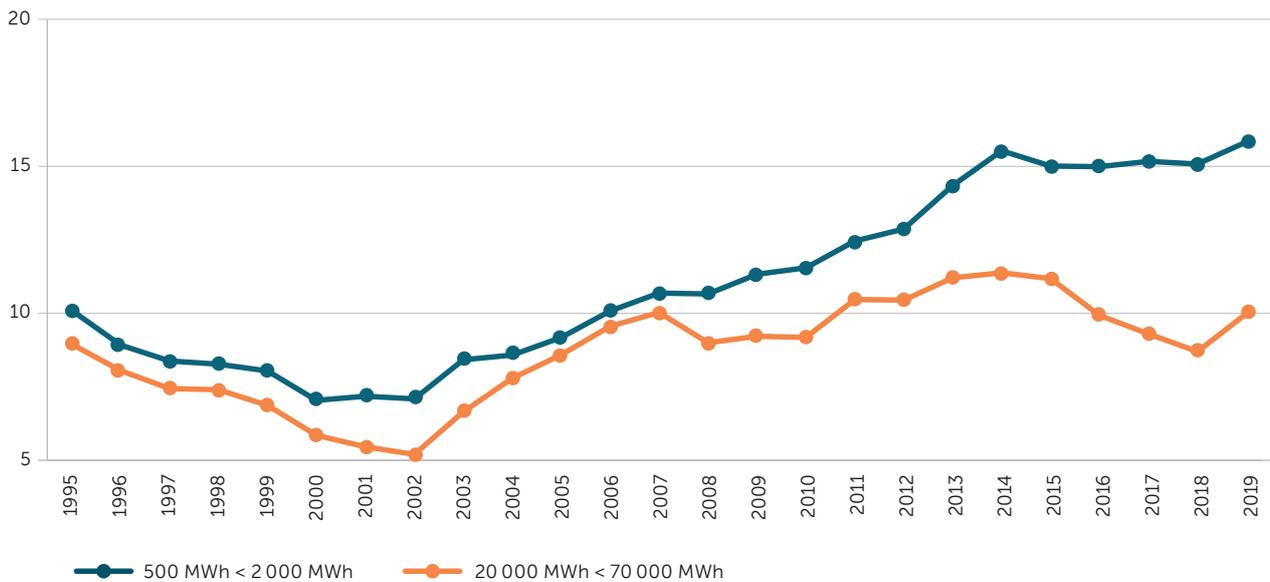
In der Betrachtung der konstanten Industriestrompreise kommen die EU-ETS Preissteigerungen infolge der Emissionshandelsreform Ende 2018 damit noch nicht zum Tragen, auch da Emissionshandelszertifikate mit langen Vorlaufzeiten frühzeitig eingekauft werden. Nachdem der Preis von 2012 bis Ende 2017 unter 10 Euro gelegen hatte, stieg er seit 2018. Zu Beginn und Ende des Jahres 2019 lag er zwischen etwa 19 und 25 Euro und im Juli auf einem Rekordniveau von über 28 Euro und im April 2021 auf über 45 Euro pro Tonne CO₂. Aktuell beträgt der EU-ETS-Zertifikatspreis über 45 Euro pro Tonne CO₂ (Stand April 2021).

Abbildung 9: EUA Preis-Entwicklung



Quelle: Daily EU ETS carbon market price (Euros), EMBER (High charts.com) Vgl. <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>

Abbildung 10: Entwicklung der Industriestrompreise in Deutschland, ct/kWh



Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung nach BMWi Sammelwerk Energiedaten, Tabelle 29a: Entwicklung von Energiedaten und Preisindizes, Industrie ohne MWSt. Grafik beinhaltet Tarife für 2 000 000 kWh; maximale Abnahme: 500 kW; jährliche Inanspruchnahme: 4 000 Stunden, ab 2008 Verbrauch: 500 MWh < 2 000 MWh und für 50 000 000 kWh; maximale Abnahme: 10 000 kW; jährliche Inanspruchnahme: 5 000 Stunden, ab 2008 Verbrauch: 20 000 MWh < 70 000 MWh

Im EU-Vergleich hat Deutschland die dritthöchsten Industriestrompreise⁸ (15,825 ct/kWh) im Jahr 2019 für stromkostenintensive⁹ Unternehmen. Lediglich Zypern (17,1 ct/kWh) und Italien (16,315 ct/kWh) erheben höhere Preise. Die günstigsten Preise verzeichnen Island¹⁰, Dänemark und Finnland. Im Vergleich zu 2007 haben 25 der damaligen 28 EU-Mitgliedsstaaten 2019 eine Erhöhung des Industriestrompreises in diesem Tarifsegment verzeichnet. Lediglich die Niederlande (-10,7 Prozent), Luxemburg (-9,5 Prozent) und Dänemark (-4,8 Prozent) verzeichnen eine Reduktion der Preise. Den höchsten Anstieg verzeichnen Lettland (+117 Prozent) und Bulgarien (+80,8 Prozent). Die deutschen Industriestrompreise sind um 48 Prozent angestiegen.

Im EU-Vergleich nimmt Deutschland dagegen den Platz mit dem sechsthöchsten Industriestrompreis¹¹ mit 9,99 ct/kWh für energieintensive Unternehmen im Jahr 2019 ein. Der durchschnittliche EU-28-Industriestrompreis beträgt 9,07 ct/kWh.¹² Sowohl der deutsche (9,30 ct/kWh₂₀₁₇) als auch der EU-28-Industriestrompreis (8,31 ct/kWh₂₀₁₇) sind seit 2017 in ähnlicher Höhe angestiegen. Im gleichen Zeitraum kann ein Industriestrompreisanstieg somit in allen EU-28-Mitgliedsstaaten mit Ausnahme Lettlands festgestellt werden. Zypern (16,12 ct/kWh) und Italien (11,36 ct/kWh) führen auch die Industriestrompreise für energieintensive Unternehmen an, während die günstigsten Strompreise Island mit etwa 3 ct/kWh¹³ und Luxemburg mit 4,50 ct/kWh verzeichnen.

Dass Industriestrompreis und Industriepreis gleichzeitig anstiegen, legt nahe, dass der Anstieg im Wesentlichen auf die EU-Emissionshandelsreform und steigende CO₂-Preise zurückzuführen ist und dass die Entwicklung weiter anhalten wird – sofern die Industriestromerzeugung nicht auf Grundlage erneuerbarer Energien erfolgt.

Die relativ hohen Stromkosten, insbesondere im Vergleich zu den Anrainerstaaten Deutschlands, bilden einen Wettbewerbsnachteil für die deutsche Industrie. Dies trifft insbesondere im Hinblick auf die geografische Nähe sowie den freien Verkehr von Waren und Dienstleistungen im europäischen Binnenmarkt zu.

In der Regel schließen Stromabnehmer und -anbieter Verträge mit Tarifbindung ab. Diese Tarife sind an einen fixen Betrag pro kWh gekoppelt, während der Beschaffungspreis für Energie am Markt gehandelt wird. Dies kann mitunter dazu führen, dass negative Preise für Strom auftreten und die Versorger einen Aufschlag für die Abnahme ihres Stroms entrichten. Ein möglicher Grund ist der steigende Anteil erneuerbarer Energien an der Primärstromerzeugung. In Hochlastzeiten übersteigt das Stromangebot aus herkömmlichen und erneuerbaren Quellen die Nachfrage, und ein unflexibler, nicht an den Marktpreis gebundener Stromtarif kann sich in negativen Preisen äußern. Die vermehrte Nutzung variabler Tarife kann dem entgegenwirken. Die Kopplung der Tarife an Tageszeiten oder an Lastprofile reduziert die Differenz zwischen den Strompreisen und senkt das Risiko negativer Strompreise. Weiterhin können lastvariable Tarife Anreize zur Lastverlagerung bieten und auf diese Weise Zeiten der hohen und niedrigen Nachfrage ausgleichen, was die optimale Bereitstellung von Energie erleichtert.¹⁴ Ein wichtiges Novum stellen dabei Smart Meter, digitale Stromzähler, dar. Diese erlauben ein genaues Ablesen und Übermitteln der Stromverbräuche, erleichtern Lastzeiten und bilden somit die Basis für die Einführung von variablen Tarifen. Diese Aspekte werden tiefergehend in Kapitel 3.1 diskutiert.

⁸ Die Preise entsprechen dem Tarif für 2 000 000 kWh; maximale Abnahme: 500 kW; jährliche Inanspruchnahme: 4 000 Stunden, ab 2008 Verbrauch: 500 MWh < 2 000 MWh.

⁹ Betriebe gelten dann als stromkostenintensive Unternehmen, wenn ihr Strombedarf im vorausgegangenen Geschäftsjahr bei über 1 GWh, also einer Million kWh, gelegen hat.

¹⁰ Neben der EU-28 nehmen auch Island und Norwegen seit 2008 am EU-ETS teil, weswegen sie in die Betrachtung einfließen.

¹¹ Die Preise entsprechen dem Tarif für 50 000 000 kWh; maximale Abnahme: 10 000 kW; jährliche Inanspruchnahme: 5 000 Stunden, ab 2008 Verbrauch: 20 000 MWh < 70 000 MWh.

¹² Vgl. 8,58 ct/kWh (EU-27).

¹³ Da keine EURO-STAT-Daten für den Tarif für Island vorliegen, wurden die Daten aus Zheng/Breitschopf (2020) entnommen.

¹⁴ Götz et al. 2014.

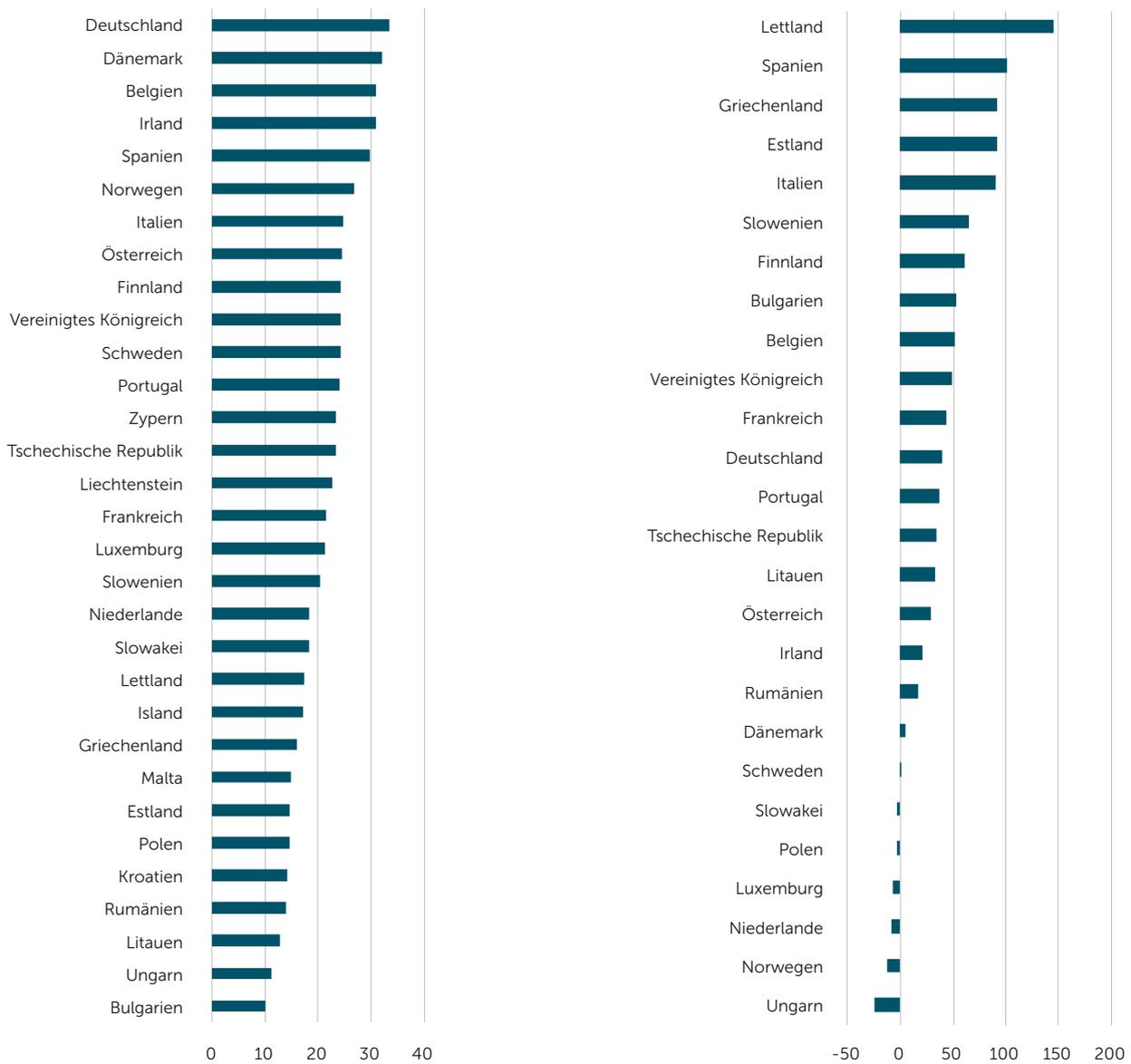
Verbraucherstrompreise

Im Gegensatz zu den Industriestrompreisen stellen die Verbraucherstrompreise die Kosten für die Nutzung von Elektrizität in Privathaushalten dar. Zwischen 1995 und 2019 haben sich die Kosten für Verbraucher in Deutschland von 19,26 auf 33,49 ct/kWh erhöht, was einem Wachstum von fast 74 Prozent entspricht.¹⁵ Im europäischen Vergleich sind die Strompreise für Verbraucher in Deutschland am höchsten, gefolgt von Dänemark, Belgien und Irland. Die geringste Summe zahlen

Privathaushalte für ihren Strom in Bulgarien, Ungarn und Litauen (Abbildung 11).

Der Anstieg der Haushaltselektrizitätspreise innerhalb Deutschlands zwischen 2007 und 2019 fiel allerdings im internationalen Vergleich relativ gering aus (+39,4 Prozent). Den höchsten Anstieg verzeichnen Lettland, Spanien und Griechenland. Konsumenten anderer Länder, insbesondere Ungarn und Norwegen, profitierten durch Reduktionen des Haushaltsstrompreises.

Abbildung 11: Verbraucherstrompreise in der EU 2019 in ct/kWh und prozentuale Veränderung (2007–2019)



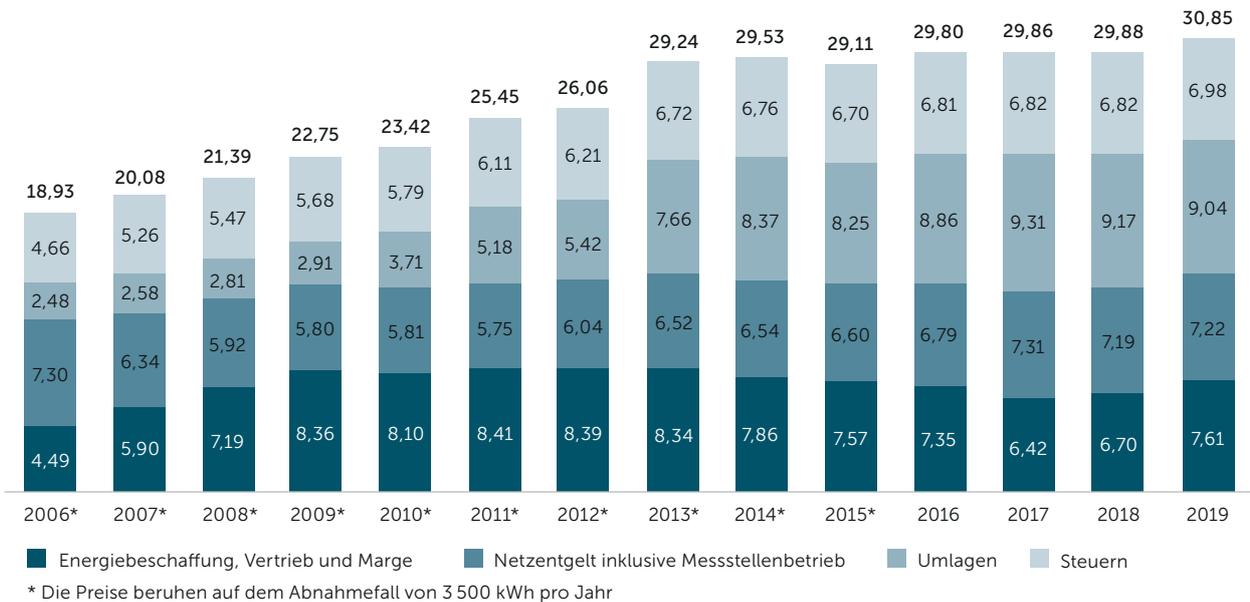
Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung und eigene Berechnung nach BMWi Sammelwerk Energiedaten, Tabelle 30a: Internationaler Preisvergleich – Elektrizität für Haushalte, inkl. aller Steuern. Die Preise entsprechen einem Jahresverbrauch von 1 200 kWh / ab 2008 Verbrauch: 1 000 kWh < 2 000 kWh

¹⁵ Differenzen in den jeweiligen Preisangaben sind begründet in der Wahl der Tarifsegmente. Die Preise entsprechen einem Jahresverbrauch von 1 200 kWh / ab 2008 Verbrauch: 1 000 kWh < 2 000 kWh.

Die Differenz zwischen Industrie- und Haushaltsstrompreisen ergibt sich aus den unterschiedlichen Tarifen der Stromanbieter sowie Steuern und Umlagen. Auch der prozentuale Anteil zu entrichtender Steuern ist bei Privatstrom deutlich höher als beim Gewerbestrom. Weitere reduzierende Faktoren in der Energieversorgung der Industrie sind Umlagen wie die EEG-Umlage (Erneuerbares Energien-Gesetz, EEG) oder die KWK-Umlage (Kraft-Wärme-Kopplung, KWK).

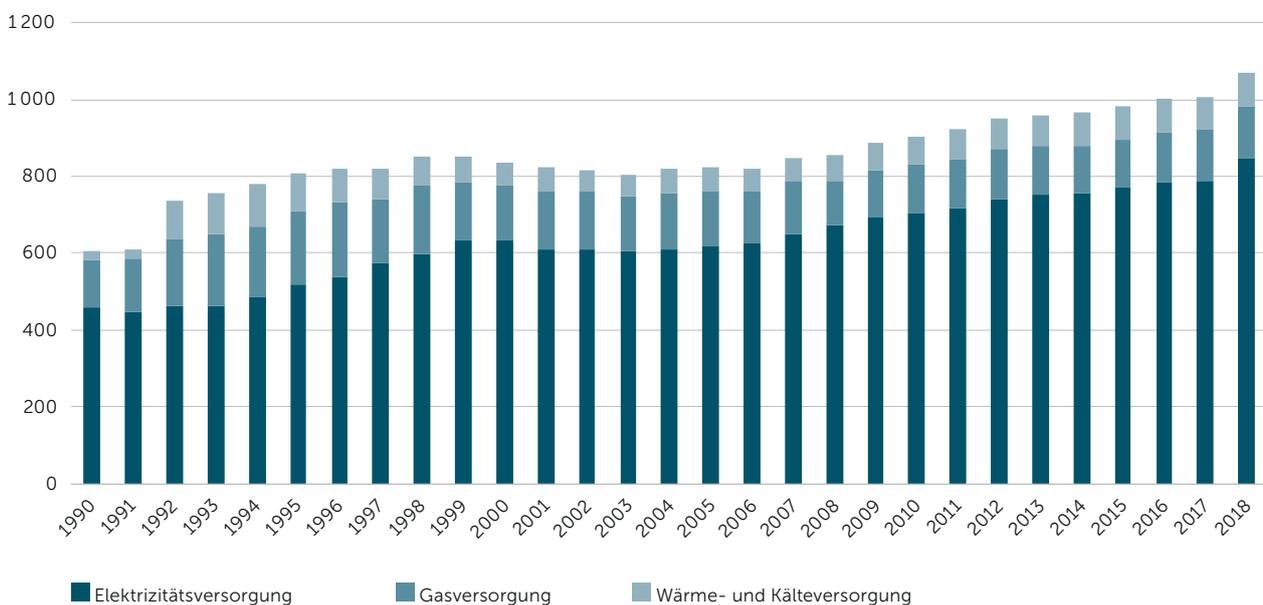
Abbildung 12 zeigt die Entwicklung der Verbraucherstrompreise in Deutschland sowie der einzelnen Komponenten. Während der Basisstrompreis seit 2012 kontinuierlich gesunken ist, sind die Kosten für die anderen drei Komponenten stetig angestiegen. Der stärkste Zuwachs entfällt auf Steuern und Umlagen. Zu den Umlagen zählen die EEG-Umlage, die KWK-Umlage, § 19 StromNEV-Umlage (Sonderkundenumlage), die Offshore-Netzzumlage und die Umlage für abschaltbare Lasten. Bei der EEG-Umlage

Abbildung 12: Entwicklung und Komponenten des Verbraucherstroms, ct/kWh



Quelle: Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt, Monitoringbericht 2019, Stand Januar 2020, S. 291

Abbildung 13: Anzahl der Unternehmen in der Energieversorgung



Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt, Tabelle 43221-0001: Beschäftigte, Umsatz, Produktionswert und Wertschöpfung der Unternehmen in der Energie- und Wasserversorgung, Stand September 2020

handelt es sich um eine direkte Transferzahlung, die an Netzbetreiber gezahlt wird. Sie stellt die Differenz dar zwischen dem Betrag, den Netzbetreiber an Anlagenbetreiber zahlen, die erneuerbare Energie ins System einspeisen, und dem Betrag, zu dem der Netzbetreiber die Energie an der Strombörse weiterveräußert. Im Gegensatz zur EEG-Umlage greift die KWK-Umlage nicht bei der Erzeugung aus Strom durch erneuerbare, sondern durch fossile Brennstoffe.

Die Sonderkundenumlage (§ 19 StromNEV-Umlage) ermöglicht es, energieintensiven Abnehmern einen Teil der Netzkosten zu erlassen. Etwaigen Wettbewerbsnachteilen soll auf diese Weise entgegengewirkt werden. Unterschieden wird zwischen drei Gruppen von industriellen Letztverbrauchern. Je höher der Bezug, desto geringer ist der zu zahlende Umlagewert. Hinzu kommen weitere Elemente wie Konzessionsabgaben, Stromsteuer und Mehrwertsteuer.¹⁶

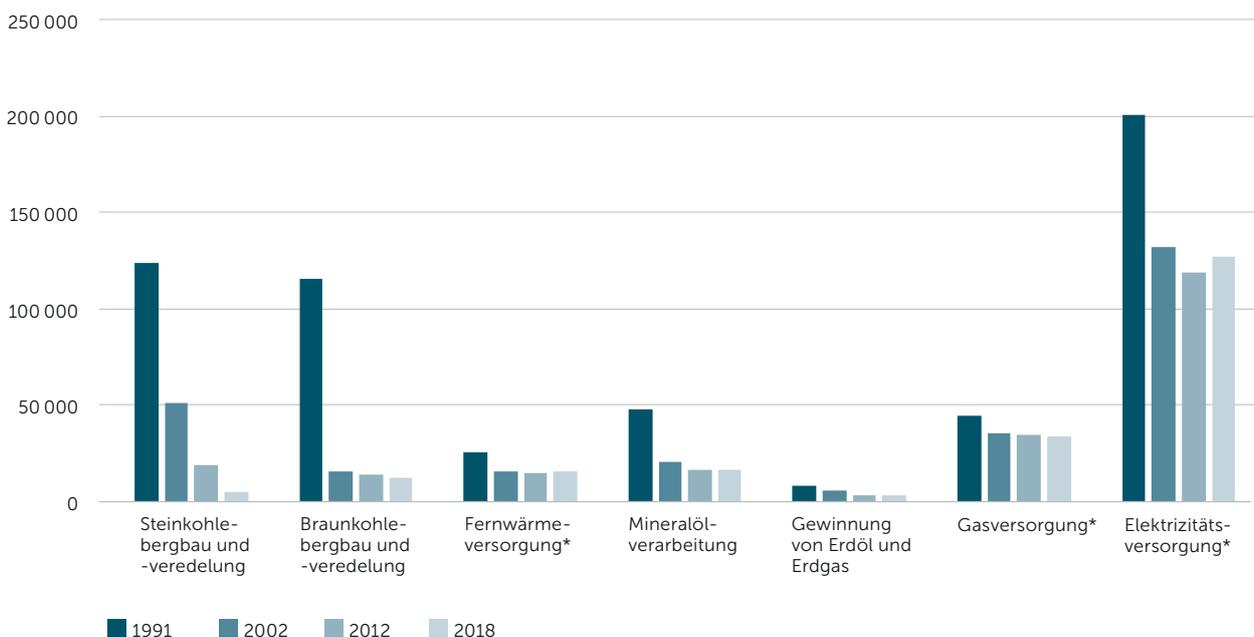
2.3 Unternehmensstrukturen und Beschäftigung

Die Anzahl der Betriebe in der Energieversorgung¹⁷ ist in den vergangenen Jahren beinahe stetig angestiegen. Die Mehrheit entfällt auf den Elektrizitätssektor, gefolgt von der Gas- und Wärmeversorgung. Im Jahr 1990 gab es in Deutschland insgesamt 606 Versorgerbetriebe in

den genannten Bereichen. 2018 hatte sich diese Zahl fast verdoppelt. Zwischen 2017 und 2018 kamen in der Elektrizitätsversorgung 56 neue Betriebe hinzu, was der bislang größten Wachstumsrate entspricht. Die Anzahl der Betriebe in der Wärme- und Kälteversorgung ist zu Beginn der 1990er-Jahre sprunghaft angestiegen, von 22 Betrieben 1992 auf den Höchstwert von 110 Betrieben 1994, um anschließend bis 2002 wieder zu sinken (55 Betriebe). Seitdem ist die Anzahl der Betriebe in der Wärme- und Kälteversorgung wieder stetig gestiegen auf 85 Betriebe 2018. Auch die Anzahl der Gasversorgungsbetriebe ist zu Beginn der 1990er stark angestiegen (von 122 Betrieben 1990 auf 193 Betriebe 1996), um ab der Jahrtausendwende wieder stark zu sinken. Seit 2009 hält sich die Anzahl der Betriebe bei circa 130 Betrieben (138 in 2018).

Die Anzahl der Beschäftigten ist in der Elektrizitätsversorgung am höchsten, gefolgt von der Gasversorgung. Alle betrachteten Sektoren haben zwischen 1991 und 2018 eine Reduktion der Anzahl ihrer Arbeitskräfte zu verzeichnen. Der größte Rückgang ist im Bereich des Kohleabbaus und der Kohleveredelung ersichtlich. Lediglich die Anzahl der Beschäftigten in der Elektrizitätsversorgung ist zwischen 2012 und 2018 leicht angestiegen (siehe Abbildung 14). Im Jahr 2019 betrug die durchschnittliche Betriebsgröße in der Elektrizitätsversorgung rund 130 Beschäftigte.

Abbildung 14: Beschäftigte in der Energieversorgung



Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung auf Basis des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie: Energiedaten

¹⁶ Genauere Informationen sind enthalten im Monitoringbericht 2019 der Bundesnetzagentur und des Bundeskartellamts.

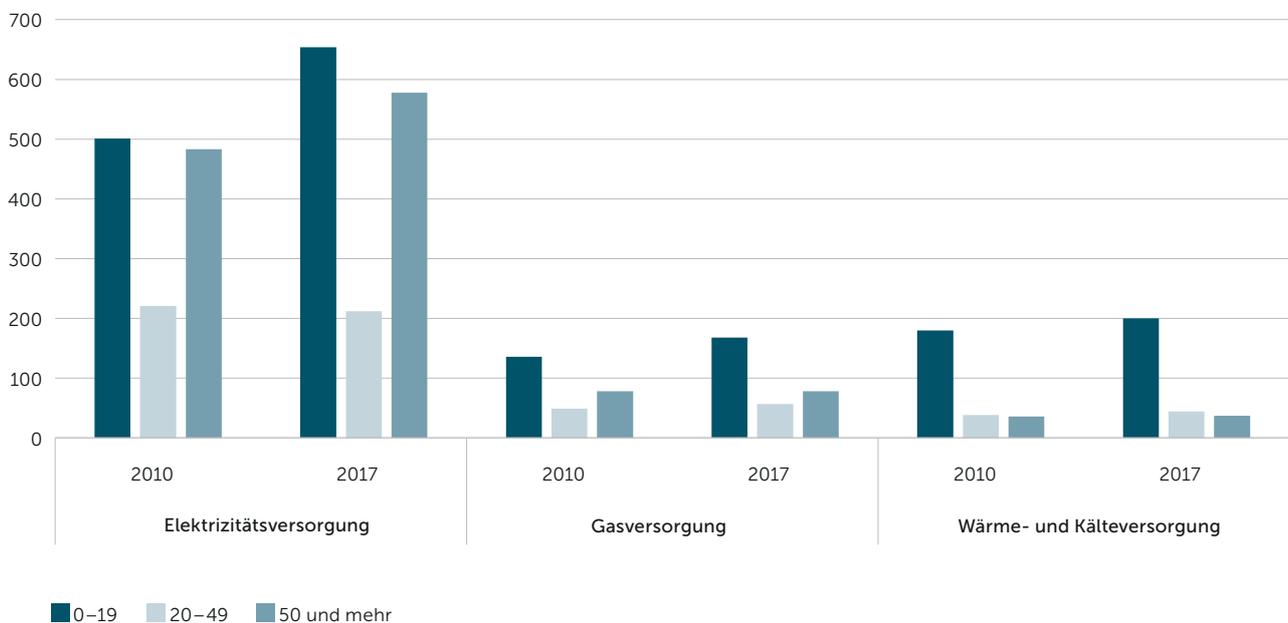
¹⁷ Bezugsnehmend auf die Sektoren Elektrizität-, Gas-, und Wärmeversorgung.

In der Wärme- und Kälteversorgung waren im Durchschnitt 70 Personen tätig, während Betriebe in der Gasversorgung mit einer durchschnittlichen Größe von 59 Beschäftigten am kleinsten waren.¹⁸

Der Bereich der Stromversorgung ist durch seine Markteintrittsbarrieren, bedingt durch hohe Fixkosten, lange Zeit stark konzentriert gewesen. Einen Großteil des Energieangebots Deutschlands haben die sogenannten *Big Four* (E.ON, RWE, EnBW und Vattenfall) unter sich aufgeteilt, bevor die Liberalisierung der Energiewirtschaft diese monopolistischen Strukturen kurz vor der Jahr-

tausendwende aufgebrochen hat. Seitdem ist die Anzahl der Energieversorger tendenziell gestiegen, während die Marktmacht der etablierten Energieversorger gesunken ist. Dies ist auch dem steigenden Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung zuzurechnen.¹⁹ Wie in Abbildung 15 dargestellt, hat sich die Betriebsstruktur zwischen 2010 und 2017 dabei verändert. Insbesondere die Anzahl der Unternehmen mit einer Beschäftigtenanzahl von weniger als 20 Personen ist in allen drei Sektoren angestiegen, während die Anzahl der Betriebe mit mehr als 50 Arbeitskräften ausschließlich im Bereich der Elektrizitätsversorgung angestiegen ist.

Abbildung 15: Anzahl der Betriebe nach Beschäftigtenzahlen



Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt, Fachserie 4.6.1: Beschäftigung, Umsatz, Investitionen und Kostenstruktur der Unternehmen in der Energieversorgung, Wasserversorgung, Abwasser- und Abfallentsorgung, Beseitigung von Umweltverschmutzungen 2010 und 2017, Stand April 2021

Neben direkten Tätigkeiten im Bereich der Energieversorgung gibt es auch einige Berufe, die indirekt an die Energieversorgung gekoppelt sind. Hierzu gehören insbesondere der Bereich der Anlagenbetreiber und -hersteller, aber auch Unternehmen, die der Wertschöpfungskette vorgelegt sind. Durch die Transformation des Energiesystems hin zu einer stärkeren Nutzung erneuerbarer Energien ergeben sich weitere Tätigkeitsfelder wie die Bereitstellung von Biomasse oder der Betrieb von Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energien. Um die absoluten Beschäftigungseffekte der Energiewende abschätzen zu können,

ist ein allumfassender Blick auf alle betroffenen Bereiche notwendig. Es ist jedoch nicht möglich, die indirekten Beschäftigten für jeden Bereich der Energiewende zu identifizieren. Eine Studie des DIW Berlin im Auftrag des BMWi aus dem Jahre 2019 hat jedoch ergeben, dass in etwa ein Drittel bis die Hälfte der Beschäftigten in der Energiewirtschaft in Deutschland zwischen 2000 und 2017 durch die Investitionsnachfrage der Energiewirtschaft beschäftigt gewesen ist. Hierunter fallen beispielsweise Beschäftigte im Bereich des Netzausbaus, der Energiespeicher oder der Erzeugungsanlagen in der Wärmeversorgung.

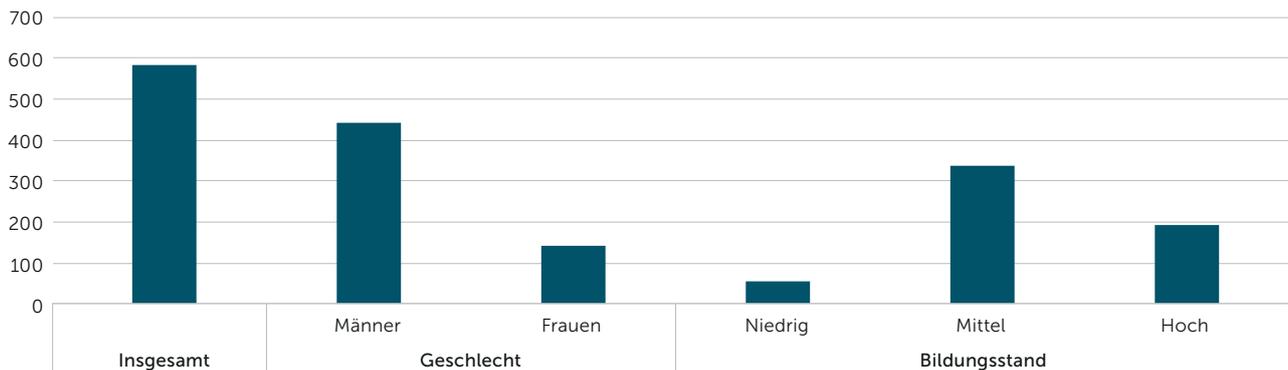
¹⁸ Eigene Berechnung, nach Destatis, Betriebe, Tätige Personen, geleistete Arbeitsstunden, Entgelte (Energie- und Wasserversorgung): Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige (Tabelle 43111-0001).

¹⁹ Bieritz 2015, vgl. auch Bundesnetzagentur 2020 für aktuelle Kennzahlen zur Marktmacht im Energiesektor.

Insgesamt kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass die Energiewende im betrachteten Zeitraum eine Steigerung der Beschäftigtenanzahl insgesamt hervorgerufen hat, sich die Verteilung auf herkömmliche oder erneuerbare

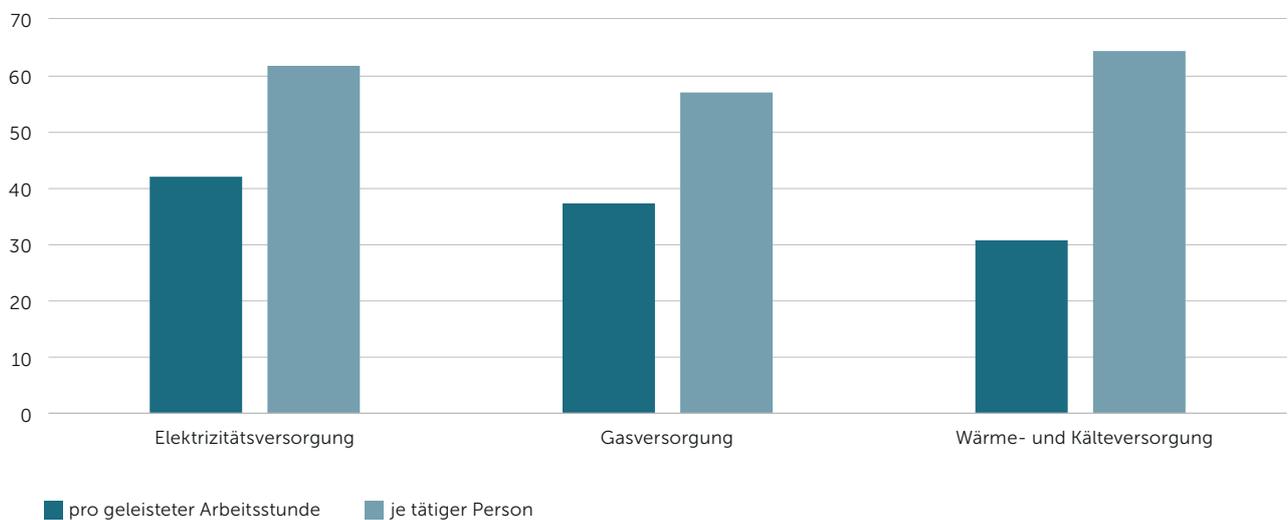
Sektoren allerdings verändert hat. Insgesamt verschiebt sich die Beschäftigung der Studie zufolge von herkömmlicher hin zu regenerativer Energiegewinnung.²⁰

Abbildung 16: Erwerbstätige nach Geschlecht und Bildungsstand in der Energie- und Wasserversorgung 2019, in Tausend



Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt: Erwerbstätigkeit nach Geschlecht und Bildungsstand, Stand Juli 2020²¹

Abbildung 17: Entgelte in der Energie- und Wasserversorgung in 2019, in Tausend Euro 2019



Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt: Betriebe, Tätige Personen, geleistete Arbeitsstunden, Entgelte (Energie- und Wasserversorgung): Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige. Entgelte je tätiger Person in 1 000 Euro.

Circa drei Viertel der Beschäftigten im Ver- und Entsorgungsbereich sind männlichen Geschlechts. Die Mehrheit der Beschäftigten (etwa zwei Drittel) besitzt einen mittleren Bildungsabschluss, 35 Prozent aller Beschäftigten einen hohen Bildungsabschluss. Der Anteil Beschäftigter

mit niedrigem Bildungsabschluss beträgt lediglich zehn Prozent (siehe Abbildung 16).

Abbildung 17 vermittelt einen Überblick über die Entgelte für Beschäftigte in der Energiebranche.²² Die Entgelte je

²⁰ O’Sullivan et al. 2019.

²¹ Aufgrund der Datenverfügbarkeit enthält die Abbildung Durchschnittswerte aus Energie-, Wasser-, Abwasser- und Abfallentsorgung sowie der Beseitigung von Umweltverschmutzungen.

²² Die Stundenlöhne (in Euro) stellen den Quotienten aus Gesamtentgelten und geleisteten Arbeitsstunden für den jeweiligen Sektor dar. Die Jahresgehälter (in 1 000 Euro) errechnen sich aus den jährlichen Entgelten und der Anzahl der tätigen Personen.

geleisteter Arbeitsstunde sind am höchsten in der Elektrizitätsversorgung, gefolgt von der Gas- und schließlich der Wärme- und Kälteversorgung. Bezogen auf die Entgelte pro beschäftigter Person sind die Werte in der Wärme- und Kälteversorgung am höchsten, gefolgt von der Elektrizitäts- und Gasversorgung. Der vergleichsweise hohe

Wert pro Arbeitskraft, verbunden mit einem relativ geringen Entgelt pro Arbeitsstunde, im Wärme- und Kältesektor deutet darauf hin, dass Beschäftigte durchschnittlich eine höhere Stundenanzahl in diesem Bereich leisten als in den beiden anderen Bereichen, beziehungsweise die Quote der Teilzeitbeschäftigten dort höher ist.

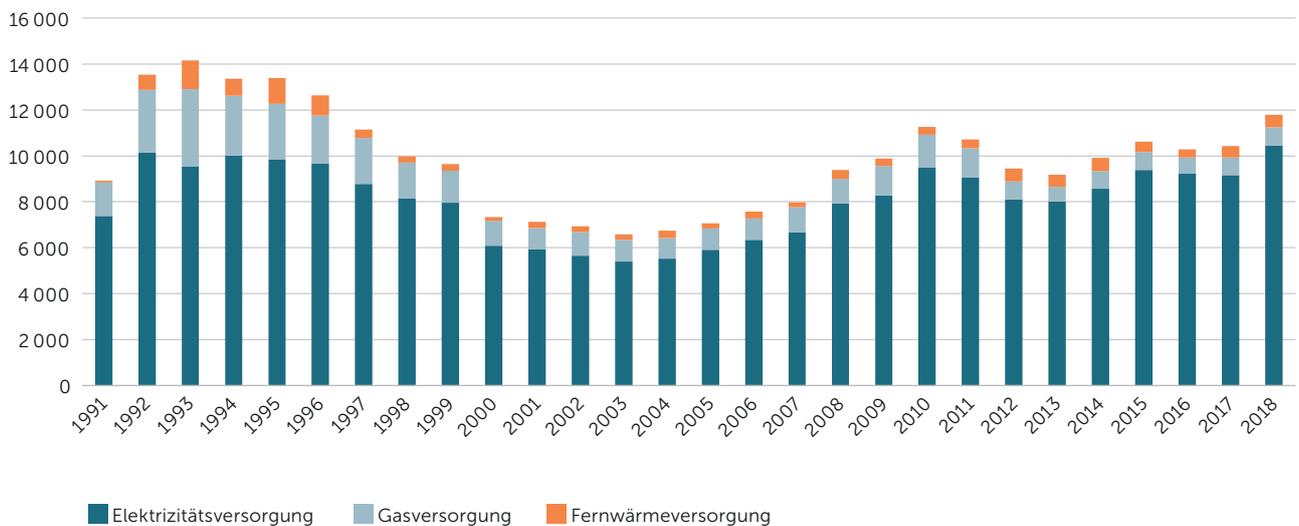
Betriebliche Kennzahlen

Abbildung 18: Umsätze in der Elektrizitätsversorgung, in Millionen Euro



Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung auf Basis des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie: Energiedaten

Abbildung 19: Investitionen in der Energieversorgung, in Millionen Euro

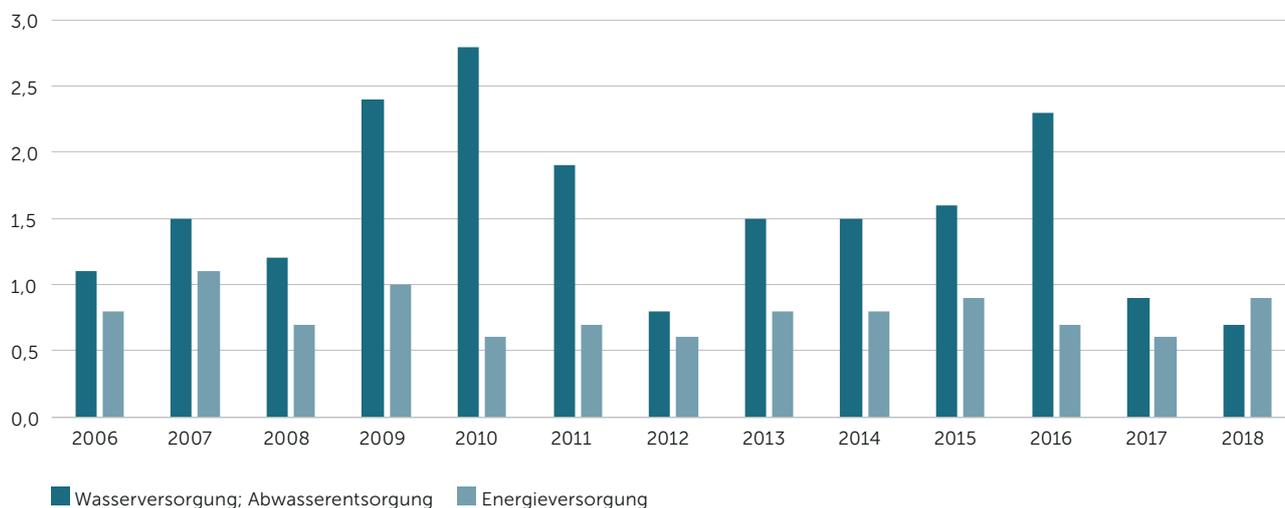


Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung auf Basis des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie: Energiedaten

Die Abbildungen 18 und 19 bilden die Entwicklungen der Umsätze und der Investitionen in den Sektoren der Elektrizitätsversorgung, der Gasversorgung und der Fernwärmeversorgung ab. Zwischen 1991 und 2018 stiegen die Umsätze in allen Bereichen insgesamt an von 85 auf 560 Milliarden Euro. Am höchsten ist der Gesamtumsatz in der Elektrizitätsversorgung, was unter anderem auf die Größe des Sektors zurückzuführen ist. Weiterhin verzeichnet dieser Sektor das größte und stabilste Umsatzwachstum mit leichten Einbrüchen nach der Wirtschaftskrise 2009. Auch der Gas- und der Fernwärmesektor verzeichnen ein Wachstum ihrer Umsätze, welche allerdings einer höheren Volatilität als die der Elektrizitätsversorgung unter-

liegen. Auch in Bezug auf Investitionen sind die Werte für den Elektrizitätsversorgungssektor am höchsten und unterliegen einem positiven Trend. Im Gegensatz dazu stiegen die Investitionen im Gas- und Fernwärmeverwaltungssektor zwischen 1992 und 1996 stark an, sanken jedoch anschließend. Der Anteil der Investitionen am Umsatz hingegen war am größten in der Fernwärmeversorgung (10,5 Prozent). In der Elektrizitätsversorgung (2,1 Prozent) und der Gasversorgung (1,2 Prozent) ist der Wert geringer.²³ Relativ betrachtet sind die Investitionen in der Fernwärmeversorgung beinahe zehnmal so hoch wie in der Gasversorgung und fünf Mal höher als in der Elektrizitätsversorgung.

Abbildung 20: Innovationsintensitäten in der Energie- und Wasserversorgung, in Prozent



Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung nach Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung – Mannheimer Innovationspanel: Tabelle 1.8.7, Stand jeweils Januar/2020

2.4 Innovationsdynamik

Abbildung 20 zeigt die Innovationsintensitäten für die Energieversorgung und die Wasserversorgung bzw. Abwasserentsorgung als Vergleichswerte. Die Innovationsintensitäten stellen den prozentualen Anteil der Innovationsausgaben am Umsatz aller Unternehmen dar. Im Vergleich zur Wasserversorgung und -entsorgung verzeichnet der Energieversorgungssektor, mit Ausnahme von 2018, jährlich zwar geringere Innovationsintensitäten, allerdings auch eine niedrigere Volatilität. Die absoluten Aufwendungen für Innovationen sind für Unternehmen der Energieversorgung hingegen deutlich höher als für Unternehmen im Bereich der Wasserver- und -entsorgung. Insgesamt gaben sie zwischen 2006 und 2018 0,4 bis 1,4 Milliarden Euro für Zukunftsinvestitionen aus.

In einer zusammenfassenden Betrachtung sind folgende Ergebnisse hervorzuheben:

- Die deutsche Energie- beziehungsweise Elektrizitätsbranche unterliegt einem starken Wandel. Insbesondere der Steinkohleabbau, aber auch die Sektoren der Braunkohle(verstromung) und der Kernenergie sind vom Wandel hin zu mehr Nachhaltigkeit betroffen gewesen. Das bevorstehende Ende der zwei letztgenannten Branchen wird – wie in den vergangenen Jahren – auch künftig einen starken Rückgang der Arbeitsplätze mit sich bringen.

²³ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020c.

- Der Anteil erneuerbarer Energien an der inländischen Primärenergiegewinnung ist in den vergangenen Jahren stark angestiegen und beträgt derzeit beinahe 50 Prozent. Um den hohen Primärenergiebedarf zu decken, sind gleichwohl weiterhin Importe von Primärenergieträgern aus dem Ausland notwendig. Den größten Anteil machen hierbei fossile Energieträger wie Erdgas oder Mineralöle aus. Neben der Nutzung in der Energieversorgung werden fossile Energieträger wie Erdöl häufig als Grundstoff in der chemischen Industrie genutzt, beispielsweise zur Herstellung von Kunststoffen. Auch in energieintensiven Industrien, die mit Prozesswärme oder Kälte agieren, ist der Bedarf an fossilen Energieträgern zur Energieerzeugung deutlich höher als im Niedrigtemperaturbereich.
- Die Gesamtmenge der Unternehmen in der Elektrizitätsversorgung hat sich in den vergangenen Jahren beinahe stetig erhöht, während sich die Anzahl der Unternehmen in der Gas- sowie der Wärme- und Kälteversorgung reduziert hat. Dieser Rückgang wurde begleitet von einer Reduktion der Beschäftigten in den Sektoren der Energieversorgung. Lediglich die Elektrizitätsversorgung konnte zwischen 2012 und 2018 einen Beschäftigungsanstieg verzeichnen.
- Bezugnehmend auf betriebliche Kennzahlen konnten Unternehmen in der Energieversorgung einen stetigen Anstieg ihrer Umsätze verzeichnen, während das Umsatzwachstum in der Gas- und Fernwärmeversorgung einer geringeren Rate entspricht und höhere Volatilität aufweist. Auch die Investitionen sind im Stromsektor absolut betrachtet am höchsten, in Relation zum Umsatz ist die Investitionsintensität in der Fernwärmeversorgung hingegen deutlich höher, beispielsweise im Bereich der LowEx-Netze (Abschnitt 4.4).
- Innerhalb der Stromsektors sind die Preise für gewerbliche und private Kunden gewachsen. Dies ist insbesondere auf einen Anstieg der regulatorischen Kosten zurückzuführen, während der Preis für den Basisstrom reduziert werden konnte. Im internationalen Vergleich sind die Verbraucherstrompreise in Deutschland am höchsten. Die Industriestrompreise rangieren auf den oberen Rängen.

3

3. Transformationstrends: Digitalisierung, Dezentralisierung, Europäisierung, demografischer Wandel

3.1 Digitalisierung/Dezentralisierung

Das deutsche Energiesystem beschäftigen zurzeit diverse weitreichende sozio-technische Megatrends: Vor allem die Digitalisierung, die Globalisierung sowie die Nachhaltigkeits-Transformation spiegeln die hohe Dynamik wider, die sich aktuell in der globalen Energiebranche beobachten lässt. Zum einen bewirkt vor allem die Digitalisierung als großer Transformationstrend einen hohen Veränderungsdruck innerhalb des Energiesystems.²⁴ Zum anderen verlagern sich die geografischen Schwerpunkte des globalen Energieverbrauchs, aber auch der Energieerzeugung. Besonders asiatische Länder haben bei beiden Aspekten in den vergangenen Jahren besonders Fahrt aufgenommen, ein Ende des Wachstums scheint nicht in Sicht.²⁵ Dadurch kommen neue Fragen der Gestaltung nationaler und internationaler Energieversorgungssysteme auf sowie des Handels und Transports von Energie, auch im Zusammenhang mit Dekarbonisierungsstrategien und dem Einsatz erneuerbarer Energiequellen.²⁶

Solche Megatrends lassen sich nicht komplett separat betrachten, da viele Entwicklungen, Technologien und Konzepte in Forschung und Anwendung zusammen gedacht werden und sich gegenseitig beeinflussen. Als Querschnittsthema kann in diesem Zusammenhang die Dezentralisierung des Energiesystems gesehen werden. Diese findet nicht nur im Bereich der Erzeugung statt, sondern ebenfalls in der Speicherung und Verteilung, besonders bei Strom- und Gasnetzen.

Das klassische Stromversorgungssystem besteht in Deutschland aus zentralen Großerzeugern, die den produzierten Strom über verschiedene Netze hinweg (je nach Spannungsebene) an Industrie, Gewerbe oder Privathaushalte liefern. In diesem System wird möglichst so viel elektrische Energie produziert, wie auch verbraucht wird, da keine Energie in den Verteilnetzen selbst gespeichert

werden kann.²⁷ Schwankungen kann mit der Speicherung in Pumpspeicherkraftwerken oder Gasturbinenkraftwerken begegnet werden. Anschließend besteht die Möglichkeit, den vormals überschüssigen Strom bei erneut hoher Nachfrage in das Netz zurück einzuspeisen. Für solche umgekehrten Flussrichtungen des Stroms sind die meisten Netze jedoch nicht ausgelegt und müssen technisch angepasst werden. Im Zuge der Diffusion erneuerbarer Energiequellen wie Photovoltaik- oder lokaler Windkraftanlagen (in Deutschland waren 2020 rund 1,7 Millionen Photovoltaikanlagen in Privathaushalten verbaut und gelten als weltweit am schnellsten wachsende Energietechnologie²⁸) kommt mit der Wetterabhängigkeit ein weiterer Schwankungsfaktor hinzu.

Ein seit einigen Jahren verfolgter und viel diskutierter Ansatz ist der des Smart Grids (im deutschsprachigen Raum ist der Begriff „intelligentes Stromnetz“ verbreitet). Dahinter steht die Idee, die wichtigsten Schnittstellen des Stromnetzes digital zu verbinden und die Kommunikation der Knotenpunkte zu erhöhen. Durch diese Vernetzung soll anhand eines „intelligenten“ Angebots- und Verbrauchsmanagements die Effizienz der dezentralen und wetterabhängigen Stromerzeugung, -speicherung und -bereitstellung gesteigert werden. Damit wird den Herausforderungen begegnet, die mit der bereits beschriebenen Transformation des Energiesystems einhergehen, wie die wachsende Menge aktiv involvierter Akteure und die hohe Dynamik und Komplexität des Energiesystems.²⁹ Ein Studie führt mehrere Definitionsansätze auf, die die grundlegende Idee des intelligenten Energienetzes erfassen.³⁰ Besondere Eigenschaften tauchen bei allen Definitionsansätzen auf: Die umfassende Signifikanz erneuerbarer Energien, digitalisierte Verknüpfungs- und Steuerungselemente und das Netz als Verbindung sozialer Akteure und physikalischer Einheiten.

²⁴ Weigel & Fishedick 2019 und Rijkers-Defrasne et al. 2021.

²⁵ Schiffer 2020.

²⁶ Germanus et al. 2020.

²⁷ Konrad & Scheer 2014.

²⁸ Strom-report.de, o. J.

²⁹ Konrad & Scheer 2014.

³⁰ Ebd.

Den Kern des intelligenten Energienetzes bildet die nötige Datenstruktur, die Bedarf und Erzeugung erfasst und als Grundlage zur Koordinierung von Energieflüssen dient. Digitale Messgeräte bei Erzeugern, Verteilern und in den smarten Haushalten liefern diese Daten. Spezielle Algorithmen erkennen in Echtzeit einen schwankenden Verbrauch und können anschließend automatisiert die Energieproduktion drosseln oder bei Überschuss einen höheren Verbrauch forcieren. Letzteres kann genutzt werden, um Batterien aufzuladen oder andere (de)zentrale Speichereinrichtungen aufzufüllen.³¹ Denkbar wäre es, mit diesem System aufkommenden Überlastungen der Netze entgegenzusteuern. Ein Gleichgewicht soll dadurch entstehen, dass durch dynamische Tarife Verbraucher*innen angeregt werden, Energie aktiv zu beziehen, wenn ein Überschuss im Netz herrscht und die Nachfrage gering ist – dann ist der Strom am preisgünstigsten. In Zukunft wird es viel mehr darauf ankommen, unterschiedliche Medien wie Wärmepumpen und Autobatterien (Smart Charging³²) miteinzubinden. Neben Stromnetzen könnten daher auch Gas- und Wärmenetze eine ähnliche Entwicklung hin zu intelligenten und zum Teil automatisierten Netzstrukturen einschlagen. Die Thematik des Speicherns und Zwischenspeicherns wird damit eine zentrale Stellung einnehmen.

Aufgrund der benannten Trends werden nicht nur veränderte Rollenbilder und Akteurskonstellationen erwartet, sondern auch neue Geschäfts- und Wertschöpfungsmodelle.³³ Einzelne Endkunden, darunter Privathaushalte und Gewerbekunden, wurden bislang als reine Konsumierende betrachtet, in Zukunft wird ihnen jedoch durch die Dezentralisierung verstärkt die Rolle von „Ko-Produzenten“ oder sogenannten „Prosumern“³⁴ zukommen.³⁵ Dadurch wandeln sich sowohl Nutzungs- als auch Abrechnungsstrukturen sowie Netzbelastungen und damit einhergehende Standardlastprofile. Das Lastmanagement, auch Demand Side Management genannt, gewann auf industrieller Seite in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung. Der Bedarf an Flexibilisierung wächst aufgrund veränderter Nachfragen und die Anpassung des Einsatzes der entsprechenden Stromanwendungen, die insbesondere durch die Verbreitung wetterbedingter erneuerbarer Energieerzeugung beeinflusst wird. In der

konkreten Anwendung von Lastmanagement kann im Bereich der konventionellen Stromnachfrage eine zunehmende Flexibilisierung festgestellt werden, auch deshalb, weil durch das Lastmanagement eine Glättung der Residuallast³⁶ erreicht werden kann.

Der Nutzen von Lastmanagementsystemen liegt in der Industrie zurzeit vor allem in der Reduzierung von kostenintensiven Lastspitzen und der Integration der erneuerbaren Stromerzeugung. Zukünftig wird das Lastmanagement eine zentrale Rolle innerhalb des intelligenten Stromnetzes einnehmen. Um die Effizienz auch bei steigender Komplexität des Stromsystems weiter hochzuhalten, wird ein in Echtzeit gesteuertes intelligentes Lastmanagement immer wichtiger.³⁷

Diese Veränderungen sind zukünftig in weitergehende Ausbau- und Planungsstrategien miteinzubinden. Netzausbau wird nicht nur aufgrund der Integration erneuerbarer Energiequellen vonnöten sein, sondern auch wegen des stetig steigenden Gesamtenergieverbrauchs.³⁸ In einer vom Energiekonzern Eon in Auftrag gegebenen Studie wird errechnet, dass bis zum Jahr 2030 für eine gelingende Energiewende Investitionen von etwa 32 Milliarden Euro notwendig sind, bis 2050 zusätzliche 78 Milliarden Euro. Begründet wird dies vor allem mit der stetig steigenden Anzahl von Solaranlagen, Windkraftträdern, privaten Wärmepumpen und Energiespeichern sowie Ladesäulen für Elektrofahrzeuge.³⁹

Zentrale Herausforderungen werden zukünftig zum einen darin bestehen, die hohen Investitionen in bestehende Netze, Speichertechnologien (insb. Kurzzeitspeicher) und in die weitere Forschung zu bewerkstelligen.⁴⁰ Zum anderen wird eine relevante Herausforderung darin gesehen, die geplante Energieeinsparung zu realisieren. Bislang bestehen lediglich lokale Pilotprojekte.⁴¹ Die Rolle als Prosumer benötigt neben einem technologischen Wandel auch einen kulturellen. In einer Studie⁴² von Lazowski et al. im Rahmen eines kanadischen lokalen Smart-Grid-Pilotprojektes wurden Einstellungen und Wahrnehmungen der Teilnehmenden erforscht: 25 Haushalte wurden mit Smart Metern ausgestattet und dazu angeleitet, ihren Verbrauch

³¹ Vattenfall.de, o. J.

³² Daina et al. 2017.

³³ Schiffer 2020 und Rijkers-Defrasne et al. 2021.

³⁴ Das Wort „Prosumer“ soll die Doppelrolle als Produzent*in und gleichzeitig Konsument*in beschreiben.

³⁵ Plenz & Hirschl 2016.

³⁶ Residuallast wird als Stromverbrauch abzüglich der Stromerzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien definiert.

³⁷ Dena 2012.

³⁸ Ebd.

³⁹ Heise.de 2020.

⁴⁰ Weigel & Fishedick 2018.

⁴¹ Lazowski et al. 2018.

⁴² Ebd.

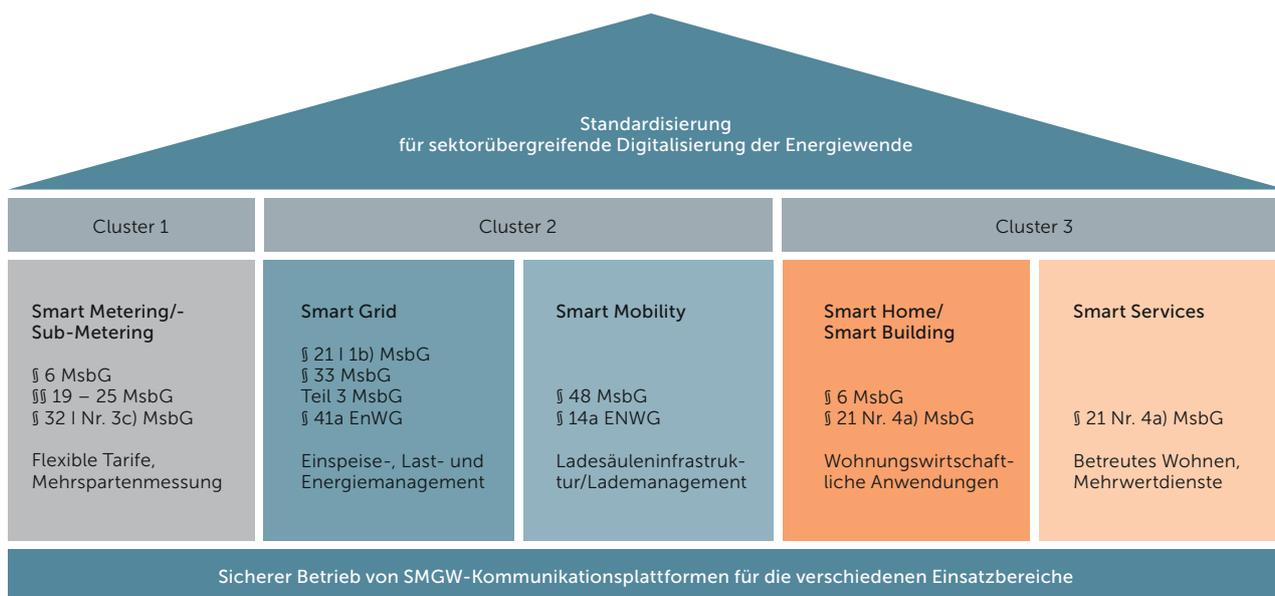
zu überwachen und gegebenenfalls zu steuern. In der Evaluation zeigte sich anschließend, dass verankerte Normen und Handlungsstrukturen trotz des grundsätzlichen Interesses an energiesparenden digitalen Lösungen als Hürde zu sehen sind. Nur wenige der untersuchten Haushalte knüpften im Anschluss in Bezug auf Einstellung/Achtsamkeit gegenüber Energiemanagement oder durch materielle Anschaffungen (von Smart Grid/Home-Technologien) an die Aktivitäten des Projekts an.

In den nächsten Jahren soll in allen privaten Haushalten in Deutschland ein passender digitaler Messzähler vorhanden sein.⁴³ Seit 2016 regelt das Messstellenbetriebsgesetz als Teil des Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende die Einführung und Nutzung der Geräte. Die Bundesnetzagentur spricht von „modernen Messeinrichtungen“ (mME) oder „intelligenten Messsystemen“ (iMsys).⁴⁴ Ein iMsys besteht aus einem mME und einem zusätzlichen sogenannten Smart Meter Gateway (SMGW), der als Schnittstelle zum intelligenten Stromnetzwerk Daten sammelt, weiterverarbeitet und über die Internetleitung vermittelt. Moderne Messeinrichtungen versenden keine Daten und müssen weiterhin per Hand abgelesen werden und werden daher konzeptuell nicht zum Smart Grid gezählt. Bisher wurden diese nur in Neubauten oder bei Betreibern von Anlagen erneuerbarer Energien eingebaut. Das Messstellenbetriebsgesetz sieht jedoch vor,

bis zum Jahr 2032 alle alten Messzähler durch digitale Varianten zu ersetzen, die problemlos zu einem iMsys erweitert werden können. Aktuell (Stand Januar 2021) werden die intelligenten Systeme bei Abnehmern mit einem Jahresstromverbrauch von über 6 000 kWh verpflichtend verbaut.

Der innovative Charakter des Smart Meter Gateway besteht in der Abrechnung und dem Tarifieren in Echtzeit. Dezentrale Geldströme, die über mehrere Schnittstellen und Geräte kommuniziert werden, verlangen einen hohen technischen Standard bei Datenschutz und Datensicherheit. In einer Befragung zum Thema Letztverbraucherakzeptanz von Smart Meter Systemen konnten verschiedene Bedarfe für die Endkundschaft identifiziert werden.⁴⁵ Es wurde gezeigt, dass die Befragten Aspekte der Datensicherheit kritisch sehen und die Transparenz und Kommunikation des geplanten landesweiten Rollouts als defizitär wahrgenommen wird. Übergreifend entwickelten das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik und das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2019 in einem Strategiepapier eine „Standardisierung für die sektorübergreifende Digitalisierung der Energiewende (siehe Abbildung 21).⁴⁶ Abbildung 21 zeigt schematisch die geplanten Einsatzbereiche des SMGW. Das Strategiepapier betont die Datenschutzkonformität von SMGW in verschiedenen Einsatzszenarios.

Abbildung 21: Übersicht zur Digitalisierung der Energiewende



Quelle: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019)

⁴³ Verbraucherzentrale 2020.

⁴⁴ Bundesnetzagentur o. J.

⁴⁵ Hellmuth & Jakobs 2020.

⁴⁶ Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2019.

Wärmenetze in Zeiten smarter und nachhaltiger Technologien

Nicht nur der Strom-, auch der Wärmemarkt befindet sich in einer tiefgreifenden Transformation. Es handelt sich dabei nicht nur um einen Wandel in der Wärmeerzeugung, sondern insbesondere in der Speicherung, Umwandlung und im Transport von Wärmeenergie. Viele Entwicklungstrends werden auch hier von innovativen Technologien und klimapolitischen Zielen angestoßen und vorangetrieben. Mit Blick auf den deutschen Gesamtenergieverbrauch entfällt auf den Wärmesektor etwa die Hälfte dieses Verbrauchs, er spielt damit eine bedeutsame Rolle in der Klimapolitik. Es werden alternative Methoden zur Wärmeerzeugung mit gängigen, mit Öl oder Gas befeuerten Individualanlagen gesucht, ohne Versorgungsengpässe zu riskieren. In den vergangenen Jahren ging der Ausbau erneuerbarer Energien in der Wärmeversorgung nur schleppend voran, weshalb Energieträger wie Erdgas nach wie vor eine zentrale Wärmequelle darstellen.⁴⁷ Neue Möglichkeiten kommen jedoch mit der digitalen Transformation einher, sie könnten auf innovative Weise Energieverteilungen bestimmen und so zu klimapolitischen Zielen beitragen.

Die Digitalisierung der Wärmeversorgung spielt sich, ähnlich wie im Stromsektor, besonders in den Bereichen der Optimierung von Energieflüssen und der effektiven Einbindung dezentraler und erneuerbarer Energiequellen („Wärmewende“) ab. Ein überwiegender Teil des deutschen Wärmeverbrauchs fällt auf den privaten Sektor, daher spielt die Beteiligung der Bevölkerung eine große Rolle.⁴⁸ Es gibt starke Anzeichen dafür, dass bei der Digitalisierung des Wärmesystems die Herausforderung vor allem darin besteht, die vielen theoretischen Konzepte des Datensammelns und -auswertens in die praktische Umsetzung zu bringen.⁴⁹ Anders als im Stromsektor ist hier die Erforschung und Verbreitung intelligenter Messsysteme noch nicht weit fortgeschritten.⁵⁰ Eine effiziente Wärmewende kann laut einer Studie nur dann funktionieren, wenn entsprechende flächendeckende Wärmenetze realisiert würden (die noch nicht ausreichend bestünden) und durch Ausbau in ein „intelligentes“ Modell integriert werden könnten. Als Vorarbeit müssten zunächst anhand von Potenzialanalysen und Modellen mögliche Bebauungspläne erstellt werden, bevor ein vollständig nach-

haltiges und smartes Wärmesystem geschaffen werden kann.⁵¹

Ein nicht zu vernachlässigender Bestandteil einer intelligenten Wärmewende könnte Abwärme aus industrieller Produktion sein, die mit einem weit verzweigten und automatisiert gesteuerten Netz auch private Haushalte erreichen kann. Wie die Einspeisung eigens produzierter Wärme oder überschüssiger, gespeicherter Wärme zurück in ein lokales oder regionales Netz, ist dies eine konzeptuell bereits erkundete Möglichkeit, die jedoch bislang noch nicht über vereinzelte Projekte hinausgegangen ist.⁵² In einer Studie zum potenziellen Konzept „Wärmenetze 4.0“ wurde der zukünftige Förderbedarf von digitalisierten Wärmenetzen untersucht. Die Wärmenetze 4.0 zeichnen sich insbesondere durch ihren innovativen Charakter aus, dazu zählen die „innovative Wärmeerzeugung, saisonübergreifende Speicherkonzepte wie saisonale Großwärmespeicher, effizienzfördernde Netzoptimierungsmaßnahmen, Einbindung fluktuierender Wärmeerzeugung bzw. Energieträger, effiziente Sektorkopplung mit bidirektionalen Schnittstellen, Einsatz von Digitalisierungsstrategien, Maßnahmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit oder institutionelle Innovationen.“⁵³ In Abbildung 22 finden sich Vorteile einer vierten Generation an Wärmenetzen beziehungsweise einer Transformation des bestehenden Systems. Herausforderungen werden darin gesehen, die enormen Initialkosten (etwa Netzausbau und Digitalisierungsstrategien) zu tragen und Wärmeverluste in dezentralen Netzen gegenüber zentralisierteren Konzepten gering zu halten, zum Beispiel durch verstärkte Gebäudesanierung. Letzterer kommt in der Wärmewende eine zentrale Bedeutung zu, da etwa 40–50 Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland auf den Wärme- bzw. Kältesektor fallen, davon knapp die Hälfte auf private Haushalte. Zurzeit wird davon ausgegangen, dass im Bereich der Gebäudeeffizienz eine Sanierungsrate⁵⁴ von etwa zwei Prozent erreicht werden muss (Stand 2021: unter einem Prozent), um die Klimaziele der Bundesregierung erfüllen zu können.⁵⁵ Das Ziel, diese Rate zu erhöhen, besteht bereits seit einigen Jahren, jedoch stagniert die Rate seit 2010.⁵⁶ Ein weiteres Problem ist, dass eine detaillierte und allgemeingültige Definition der Sanierungsrate noch nicht vollends existiert und bislang ungewiss ist, welche Arten der Sanierung dazu gezählt werden sollen.

⁴⁷ Schantey et al. 2020.

⁴⁸ Kloth 2016.

⁴⁹ Ebd.

⁵⁰ Schantey et al. 2020.

⁵¹ Ebd.

⁵² Sueddeutsche.de 2020.

⁵³ Pehnt et al. 2017.

⁵⁴ Darunter wird die Anzahl an Bestandsgebäuden gefasst, die pro Jahr energetisch saniert werden.

⁵⁵ Fraunhofer IWES/IBP 2017.

⁵⁶ Dena.de 2019.

Abbildung 22: Übersicht zur Dekarbonisierung im Wärmesektor



Quelle: eigene Darstellung nach Pehnt et al. 2017

Ein künftiger Anschlag der Sanierungsrate könnte durch die Anfang 2021 in Kraft getretene CO₂-Bepreisung im Bereich Heizen erreicht werden, die möglicherweise mehr Haushalte motivieren soll, etwa in Fenstersanierungen oder Wärmepumpen zu investieren. Zurzeit muss die Mieterseite die durch die CO₂-Bepreisung entstehenden Mehrkosten tragen, da nach aktueller Gesetzeslage die Vermieterseite nicht in die Pflicht genommen werden kann, für höhere Heizkosten aufzukommen.

Effektive Fernwärmenetze sind ein Weg der technologischen Entwicklung. Daneben existieren diverse Pilotprojekte, die die Nutzung von sogenannten LowEx-Netzen testen. Das sind Nahwärmenetze, in denen die Energie in weitaus niedrigeren Temperaturen transportiert wird (maximal etwa 40 °C gegenüber etwa 100 °C in der Fernwärme). Die Vorteile: Es können bis zu 100 Prozent erneuerbare Energien in das Netz eingespeist werden und aufgrund der niedrigeren Temperatur ist der Energieverlust potenziell geringer. Zurzeit befindet sich das Projekt Berlin TXL in Planung. Auf dem ehemaligen Flughafen Tegel soll bis 2040 ein neues Technologie- und Industriezentrum mitsamt einem angrenzenden modernen Wohnquartier errichtet werden. Die Wärmeversorgung soll über ein LowEx-Netz ablaufen, an das auch lokale Industriemaschinen, Abwasserwärme, private Solaranlagen, Wärmepumpen und Energiespeicher angeschlossen sein sollen. Es soll dadurch möglich sein, nicht benötigte Energie dezentral wieder in das Netz einzuspeisen, wodurch sich ein unabhängiger Marktplatz zwischen den einzelnen

Akteuren bilden soll. Mithilfe eines Zweileitersystems liegt die Temperatur innerhalb des Netzes im Sommer nicht unter 20 °C und im Winter nicht über 40 °C.⁵⁷ Weitere Pilot- und Konzeptionsprojekte zu LowEx-Netzen existieren in Fürstenwalde oder im Chemnitzer Stadtteil Bühl.

Für eine dezentrale Smart-Struktur sind, neben den rein technischen Voraussetzungen, ein ausgeprägtes Engagement der Privathaushalte und eine veränderte Denkweise bezüglich Energieeffizienz notwendig. Der World Energy Outlook 2020 der Internationalen Energie Agentur betont die Wichtigkeit, nicht nur Regulierungen für die Industrie zu erlassen, sondern ebenfalls an die Bevölkerung zu appellieren, das eigene Heizverhalten zu überdenken oder energiesparender zu bauen.⁵⁸ Insofern deutet vieles darauf hin, dass intelligente Wärmenetze nur in Verbindung mit flächendeckenden Verhaltensänderungen zu einer erfolgreichen und nachhaltigen Wärmewende beitragen können.

3.2 Energieunion Europa

Die EU plant, in Europa bis 2050 das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen. Ein wichtiges Instrument hierbei ist die Energiewende. Die europäische Energieunion als Teil des EU-Binnenmarktes ist gestützt auf fünf wesentliche Säulen: die Energieversorgungssicherheit, einen integrierten Energiebinnenmarkt, die Steigerung der Energieeffizienz, die Dekarbonisierung der Wirtschaft sowie Forschung und Innovation. Die Strategie wurde erstmals 2015 vorgelegt, im Mai 2019 galt die Energieunion als vollendet.⁵⁹ Ein

⁵⁷ Energie-experten.org 2018.

⁵⁸ Internationale Energie Agentur 2020.

⁵⁹ Europäischer Rat 2020.

wichtiges Instrument der Energiewende im Rahmen der europäischen Energieunion bildet das EU-Legislativpaket „Saubere Energie für alle Europäer“. Dieses sorgt unter anderem dafür, dass der Stromaustausch innerhalb Europas vorangetrieben wird. Die Strommarkttrichtlinie fördert darüber hinaus die Rechte der Energiebezieher. Versorger mit mehr als 200 000 Kund*innen müssen variable Stromtarife anbieten, was die Stromversorgung vergünstigt und auf diese Weise die Auslastung in Hochlastzeiten reduzieren kann. Insgesamt soll die Versorgungssicherheit in der europäischen Union auf diese Weise gestärkt werden.⁶⁰ Mit dem Ausbau des europäischen Binnenstromhandels gewinnen auch die Kuppelstellen zwischen zwei nationalen Stromnetzen an Bedeutung. Übertragungsnetzbetreiber haben dafür Sorge zu tragen, dass stets ausreichend Strom an den Kuppelstellen zur Verfügung steht (grenzübergreifendes Engpassmanagement).⁶¹

3.3 Demografischer Wandel

Neben technologischen und industriepolitischen Trends wird die Energiebranche zunehmend durch den demografischen Wandel beeinflusst. Die Gesellschaft altert, in verschiedenen Branchen verstärkt sich der Fachkräftemangel und die Anforderungen an die Beschäftigten verändern sich permanent. Diese Dynamisierung der Arbeitswelt stellt die Branche vor stetig neue Herausforderungen.

Im Jahr 2014 betrug das Durchschnittsalter der Beschäftigten in der Energiebranche 45,5 Jahre, während etwa 26 Prozent über 55 Jahre alt waren.⁶² Im Vergleich zu anderen Branchen und Wirtschaftszweigen ist diese Gruppe in der Energiebranche besonders groß, nur die Verwaltung weist einen größeren Anteil der über 55-Jährigen auf. Dem Trend der alternden Belegschaften kam in den vergangenen Jahren mehr Aufmerksamkeit zuteil. Laut einer 2016 erschienenen Studie der Wirtschaftsprüfungsgesellschaft KPMG identifizieren 82 Prozent der befragten Führungskräfte in der Energiewirtschaft die alternde Arbeitnehmerschaft als größte Herausforderung der Branche.⁶³ Weitere Hürden im Bereich Personal waren ein zunehmender Führungskräftemangel aufgrund wechselnder Kompetenzanforderungen sowie eine fehlende Flexibilität der Mitarbeitenden, in neue Geschäftsbereiche eingesetzt werden zu können. Bereits in einer 2012 durchgeführten Untersuchung unter Personalverantwortlichen in der

Energiewirtschaft wurde festgestellt, dass bis 2025 etwa ein Drittel der bis dato entscheidenden Wissensträger in die Rente übergehen wird und dies eine stetig wachsende Herausforderung auf dem Weg zu einer gelingenden Transformation sein wird.⁶⁴

Kenntnisse erneuerbarer Energien werden in dieser sich transformierenden Branche zunehmend wichtig, wie auch Fähigkeiten in IT-Lösungen, der Energietechnik und in Service, Controlling sowie Vertrieb. Weiterhin könnten Erfahrungen und Spezialisierungen in aufkommenden Technologien rund um Energiespeicher und Wasserstoff einen möglichen Wettbewerbsvorteil bieten. Eine große Anzahl an Arbeitsstellen wird von diesen Entwicklungen in unterschiedlichem Ausmaß beeinflusst. Erste Studien gehen davon aus, dass Routinetätigkeiten und Querschnittsaufgaben (etwa Sachbearbeitung oder Buchhaltung) eher rückläufig sein könnten, während der Bedarf an Fachkräften an komplexen Schnittstellen wie dem Marketing oder Vertrieb wachsen könnte.⁶⁵ Zu neuen Fähigkeiten, die künftig in der Energiewirtschaft eine zentrale Stellen einnehmen werden, gehören neben technischem Wissen vor allem Soft-Skills. In einer Untersuchung des Beratungsunternehmens Deloitte wurden Fachleute aus Wirtschaft und Forschung innerhalb der DACH-Region zu Implikationen globaler Trends auf die Arbeit in der Energiebranche befragt.⁶⁶ Unter die herausgearbeiteten „Kompetenzen der Zukunft“ fallen beispielsweise die Offenheit für Neues, Serviceorientierung, aufgabenbezogenes kritisches Denken, der Umgang mit komplexen Daten, die flexible Übernahme unterschiedlicher Rollen und die Fähigkeit, Prozesse gesamthaft begreifen zu können.

Maßnahmen der Branchen zur Fachkräftesicherung, Steigerung der Arbeitgeberattraktivität und Employer Branding sehen vielfältig aus. Die Unternehmensgruppe Avacon setzt beispielsweise als Energieversorger auf eine moderne Recruiting- und Ausbildungsstrategie.⁶⁷ Dazu gehört zunächst der konsequente Abgleich der Innen- und Außenwahrnehmung, beispielsweise durch Fragebögen, die alle Bewerber*innen bekommen. So sollen die effizientesten Kommunikationskanäle identifiziert und das Image des Betriebs erfasst werden. Des Weiteren wird auf Ausbildungsmessen gezielt auf die Marke aufmerksam gemacht, über Social-Media-Kanäle werden Ausbildungsplätze beworben. Eine Mitgliederbefragung des Bran-

⁶⁰ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, o. J. b.

⁶¹ Bundesnetzagentur, o. J. a.

⁶² Hammermann et al. 2017.

⁶³ KPMG 2016.

⁶⁴ Personalwirtschaft.de 2013.

⁶⁵ Roth 2018.

⁶⁶ Deloitte 2019.

⁶⁷ Plötz 2020.

chenverbandes DVGW Ende 2019 ergab, dass ein starkes Ungleichgewicht zwischen älteren und jungen Mitarbeitenden wahrgenommen wird.⁶⁸ Bei 40 Prozent der Unternehmen gilt die Fachkräftesituation als angespannt. Der Branchenverband unterstützte die Fachkräftegewinnung mit Angeboten wie einem Berufsweltenportal, Partnerschaftsprogrammen, Vernetzungsmöglichkeiten mit Verantwortlichen an Schulen und Hochschulen oder der Vermittlung von Abschlussarbeiten in Betrieben.

3.4 Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die Energiebranche

Arbeitsprozesse, Beschäftigungsverhältnisse sowie Endprodukte und Strukturen der Energiebranche wandeln sich zurzeit grundlegend aufgrund der besprochenen technologischen Transformationstrends. Darüber hinaus erfährt die Branche durch die andauernde Corona-Pandemie weitere tiefgreifende Veränderungen, deren mittel- und langfristige Folgen bislang noch nicht abzusehen sind. Zunächst wurde berichtet, dass der Stromverbrauch in vielen europäischen Ländern gesunken sei, so zum Beispiel in Deutschland im Jahr 2020 knapp neun Prozent unter den des Vorjahres.⁶⁹ Andere Länder wie Ungarn oder Frankreich meldeten jedoch gleichbleibende und teilweise sogar höhere Zahlen im Vergleich zum Vorjahreszeitraum.⁷⁰ Der flächendeckende Rückgang des Stromverbrauchs wird unter anderem mit dem umfangreichen Zurück- oder Herunterfahren von industriellen Produktionsaktivitäten begründet. Der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft berichtete im April 2020, dass die Schließung von Geschäften und Fabriken trotz eines gestiegenen Energieverbrauchs im privaten Sektor zu einem insgesamt starken Abfall des Stromverbrauchs geführt habe.⁷¹ Der Sachverständigenrat zur Begutachtung der wirtschaftlichen Entwicklung sieht einen Rücklauf des Stromverbrauchs im Jahr 2020 gegenüber 2019 um 5,1 Prozent und prognostiziert für 2021 ein Wachstum um 3,7 Prozent.⁷²

Mit Blick auf den gesamteuropäischen Markt wurden im Oktober 2020 Akteure aus 200 Energieunternehmen unterschiedlicher Größe dazu befragt, wie optimistisch sie die Einführung erneuerbarer Technologien mit Blick auf die Corona-Pandemie betrachten.⁷³ Unter den Befragten

bewerteten 53 Prozent die Aussichten auf einen schnellen Ausbau der erneuerbaren Energien in den nächsten anderthalb bis zwei Jahren als positiv, etwas geringer als im europäischen Durchschnitt. Als Gründe dafür wurden fehlende Förder- und Investitionsprogramme, der erschwerte Zugang zu Kooperationen und fehlende Kundennachfrage angeführt. Im Bezug zu künftig wichtigen Qualifikationsanforderungen werden laut den Befragten vor allem Kenntnisse in den Bereichen Energiespeicherung, Energieeffizienz und erneuerbare Energien verlangt.

Während der Pandemie häuften sich die Berichte über den positiven Einfluss des niedrigen Energieverbrauchs auf die Erreichung angestrebter Klimaziele. Zurückgefahrter Flug- und Straßenverkehr sowie geringere Aktivitäten des verarbeitenden und produzierenden Gewerbes sollen zu der Emissionsreduktion geführt haben. Das für 2020 anvisierte deutsche Ziel sah vor, 40 Prozent weniger Schadstoffe im Vergleich zu 1990 auszustoßen, was gelungen ist.⁷⁴ Der geringere Energieverbrauch deutscher Haushalte (milder Winter) und der Industrie werden ebenfalls ursächlich angeführt, wie auch ein Anteils-Wachstum der regenerativen Energiequellen. Obwohl die Budgets unter anderem durch den stark abgefallenen Ölpreis gesunken sind, konnte ein Anstieg der Erneuerbaren um drei Prozent (als Anteil am Gesamt-Energiemix) verzeichnet werden.⁷⁵ Zu dem Trend haben darüber hinaus vergleichsweise hohe CO₂-Preise in der EU beigetragen, weshalb die Kohle-Stromproduktion 2020 teurer wurde. Des Weiteren sind die Investitionen in grüne Technologien, auch von großen Energiekonzernen, im ersten Halbjahr 2020 signifikant angestiegen.⁷⁶ Trotz geringerem Verkehrsaufkommen, aufgrund von verstärkter Heimarbeit und eingeschränktem Reiseverhalten, wuchs der Absatz in der Elektromobilitätssparte um ein Dreifaches.⁷⁷ Es wird vermutet, die Corona-Pandemie habe einen Bewusstseinswandel in der Wirtschaft ausgelöst und für viele verdeutlicht, dass noch nicht genug gegen Krisen wie den Klimawandel unternommen werde und die Gesellschaft bislang zu wenig vorbereitet sei.⁷⁸

Die Corona-Pandemie hat nicht nur Einfluss auf Stromverbrauch oder Schadstoffemissionen, sie wirkt sich auch auf die fortschreitende Digitalisierung aus. So wird in einem

⁶⁸ Tolkmitt, o. J.

⁶⁹ Blaulinks.de 2021.

⁷⁰ Energie-messenger.de 2021.

⁷¹ Hauser 2020.

⁷² Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft 2020b.

⁷³ DWR eco 2020.

⁷⁴ Tagesschau.de 2021.

⁷⁵ Blaulinks.de 2021.

⁷⁶ Business-insider.de 2020.

⁷⁷ Zeit.de 2021.

⁷⁸ Business-insider.de 2020.

Interview angeführt, dass die Energiebranche sogar im Vergleich zu anderen Wirtschaftsbereichen besonders von der Krise profitiere.⁷⁹ In einer Studie wurde mit Interviewdaten von 2 500 Führungskräften untersucht, wie sich die Pandemie auf die Digitalisierung der Unternehmen auswirkt. Innerhalb des Energiesektors stimmten 77 Prozent der Befragten der Aussage zu, die digitale Transformation habe sich in ihrer Organisation während des Jahres 2020 stark beschleunigt. Darunter fallen neben internen Maßnahmen der Zusammenarbeit unter Corona-Bedingungen (wie Homeoffice) auch die Bestärkung des digitalen Kundenengagements und des Kundenservices sowie Lösungen im Bereich der smarten Messtechnik.

3.5 Zwischenfazit zu den Transformationstrends

In einem Zwischenfazit können folgende Ergebnisse hervorgehoben werden:

- Globale Megatrends wie die Digitalisierung machen auch vor der Energiebranche nicht halt. Damit zusammenhängend spielt in der Branche das Thema Dezentralisierung eine wichtige Rolle, sowohl mit Blick auf Erzeugung als auch Lastmanagement. Der erwartete Ausbau erneuerbarer Energien und zeitgleich die weitere Verbreitung intelligenter Mess- und Steuerungssysteme stehen beispielhaft für einen tiefgreifenden Wandel in der Art, wie Energie erzeugt, nutzbar gemacht und verteilt wird.
- Der tiefgreifende Wandel der Branche scheint erst am Anfang zu stehen und wird sich wahrscheinlich in den kommenden Jahren beschleunigen. Gesellschaft und Wirtschaft stehen nicht nur mitten im Austausch ihrer primär genutzten Energiequellen. Neue Technologien bieten zukünftig zudem mehr Möglichkeiten zur Vernetzung und Verarbeitung von Informationsströmen, um so Verbrauchsanalysen in Echtzeit und anschließende automatisierte Steuerungsoptionen verfügbar zu machen. Dadurch können sich in Zukunft sowohl die Rollen der Akteure des Energiesystems wandeln („Prosumer“), als auch Beschäftigungsverhältnisse, Tätigkeitsprofile und Qualifizierungsanforderungen auf Seiten der Fachkräfte innerhalb der Energiebranche.

⁷⁹ Bbh-blog.de 2021.

4

4. Dekarbonisierung und Nachhaltigkeit

Die Energiebranche findet sich seit mehreren Jahren an der Spitze der Gesamtemissionen. Diese beliefen sich im Jahr 2018 auf rund 858 Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente. Die Energiewirtschaft verursacht etwa 36 Prozent aller CO₂-Emissionen Deutschlands. Gleichwohl die Emissionen der Energiebranche durch verschiedene Mechanismen in den vergangenen Jahren gesunken sind, von 427 Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente in 1990 auf 295 Millionen Tonnen in 2018,⁸⁰ werden weitere Schritte notwendig sein, um die deutschen und europäischen Klimaziele zu erreichen.

Es ist die Nutzung fossiler Energieträger, die sich auf die Treibhausgasbilanz des Energiesektors niederschlägt. Der Kohleausstieg bis zum Jahr 2038 und der von der Bundesregierung geplante Ausbau erneuerbarer Energien auf zunächst 65 Prozent bis 2030 soll zum Ziel der Nullmissionen aus der Energiewirtschaft bis zum Jahr 2050 beitragen. Ferner sollen zentrale Punkte wie der Ausbau und die Verbesserung von Speichersystemen, die Wasserstoffherzeugung, die Sektorenkopplung, die Steigerung der Energieeffizienz sowie die Umstellung des Wärmemarkts zur gesamtgesellschaftlichen Energiewende beitragen.

4.1 Transformation des Energieerzeugungssystems

Die Bundesregierung verfolgt das Ziel, einen Anteil der erneuerbaren Energien bis 2030 von 65 Prozent zu erreichen. Diese Zahl kann sich noch weiter erhöhen, entsprechend der zu erwartenden erhöhten Klimaziele der EU. Als Hemmnisse der weiteren Umstellung des Energiesystems gelten insbesondere die noch zu geringe Menge an EE-Erzeugungsanlagen, die Volatilität der erneuerbaren Energien, die Kapazitäten der derzeitigen Netzinfrastruktur, Widerstand in der Bevölkerung gegen neue EE-Infrastruktur sowie die Regulatorik.

Wachsender Bedarf an EE-Erzeugungsanlagen

Um das 65-Prozent-Ziel zu erreichen, müssen die Erzeugungsanlagen erneuerbarer Energien weiter ausgebaut

werden. Die Bundesregierung geht gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz 2021 (EEG 2021) von einer Bruttostromnachfrage von 580 TWh aus. Damit entspricht der Zubau einer installierten Leistung von rund 205 GW und einer Erzeugung von 377 TWh aus erneuerbaren Energien. Bei einer steigenden Stromnachfrage auf 685 TWh⁸¹, wie Analysen des EWI Köln nahelegen,⁸² dürfte der Anteil der Erneuerbaren eher bei 55 Prozent liegen, sofern die erneuerbare Erzeugungsmenge nicht um 68 TWh bis 2030 angehoben wird. Dadurch würde der Anteil der erneuerbaren Erzeugung auf 445 TWh ansteigen, um das 65-Prozent-Ziel zu erreichen.

Strom aus erneuerbaren Energien wird hauptsächlich mit Hilfe von Photovoltaik- oder Windradanlagen gewonnen. Neben Offshore-Windrädern werden auch Flächen an Land benötigt. Ein steigender Flächenbedarf für Photovoltaik und Windräder ist die Folge. Ein Hemmnis im Ausbau der erneuerbaren Energien stellen Nutzungskonflikte um die benötigte Fläche dar. Derzeit wird gut ein Prozent der Fläche der Bundesrepublik Deutschland zur Windenergienutzung genutzt. Um den steigenden Energiebedarfen künftig gerecht werden zu können, ist ein Anstieg auf zwei Prozent der Fläche notwendig.⁸³ Die Substitution von Onshore-Windanlagen durch Offshore-Anlagen oder Photovoltaik-Systeme würde die Flächennutzung zwar verringern, geht aber zugleich mit einem finanziellen Mehraufwand von zehn Prozent einher.⁸⁴ Ein Teil der erneuerbaren Energien, u. a. Offshore-Anlagen, ist regional gebunden. Erzeugte Energie muss aber oftmals über weite Strecken vom Herstellungsort zum Verwendungsort gelangen.

Volatilität des EE-basierten Stromsystems reduzieren, Speichersysteme stärken

Stromgewinnung aus erneuerbaren Energien führt zu einer höheren Volatilität des Energiesystems, da sowohl Sonnenenergie als auch Windenergie intermittierend sind beziehungsweise von Wetterverhältnissen oder den

⁸⁰ Umweltbundesamt 2020a.

⁸¹ Die Bruttostromnachfrageermittlung wurde vom EWI auf Basis der dena-Leitstudie Integrierte Energiewende vorgenommen.

⁸² EWI 2021.

⁸³ Stiftung-klima.de, o. J.

⁸⁴ Tröndle 2020.

Tageslichtzeiten abhängig sind. Diese hohe Volatilität kann einerseits zu Engpässen im Angebot führen, welche durch Energie aus herkömmlichen, steuerbaren Kraftwerken oder vorgespeicherte Energie ausgeglichen werden müssen. Übersteigt die produzierte Menge an Energie die nachgefragte Menge (wodurch eine sogenannte negative Residuallast entsteht), geht wertvolle Energie verloren. Abhilfe können konventionelle Kraftwerke und/oder aufkommende oder neue Energiespeichersysteme leisten. In Spitzenzeiten der Energiegewinnung aus erneuerbaren Energien werden konventionelle Kraftwerke heruntergefahren, um das Netz zu stabilisieren. Dies führt für die konventionellen Stromerzeuger zu Ineffizienzen und weiteren Kosten. Bei positiver Residuallast wird auf Energie aus herkömmlichen Kraftwerken zurückgegriffen, um die Nachfrage zu bedienen. Übersteigt die Stromerzeugung den -bedarf, wird die überschüssige Energie mit Hilfe von Stromspeichern zwischengelagert. Eine gängige Unterteilung der Speicher wird nach der Dauer der notwendigen Netzstabilisierung getätigt. Gemeinhin wird unterschieden zwischen Strom-Kurzzeitspeichern, -Stundenspeichern und -Langzeitspeichern. Kurzfristige Schwankungen werden häufig mit Hilfe von Batterie- oder Schwungradspeichern ausgeglichen. Steigt die Dauer positiver Stromgewinnung, kommen zentrale Pumpspeicher oder vermehrt Batteriespeicher zum Tragen. Letztere werden immer häufiger auch dezentral als Ergänzung zu Photovoltaik eingesetzt, um Strom regional speichern zu können. Mit steigendem Anteil an erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung wird der Bedarf an Langzeitspeichern wie Power-to-X-Systemen (PtX) zukünftig steigen. Power steht hier repräsentativ für elektrischen Strom und X stellvertretend für ein chemisches Gemisch, welches in der Lage ist, diese Elektrizität zu speichern. Eine weitere Möglichkeit zur Nutzung von überschüssigem Strom ist flexibles Lastmanagement. Anstelle der Zwischenspeicherung von überschüssigem Strom besteht eine weitere Möglichkeit der effizienten Nutzung in der Verschiebung der Nachfrage hin zu Zeiten mit einem Überangebot an Strom.⁸⁵

Ist die Stromnachfrage höher als das Angebot, wird derzeit weiterhin auf konventionelle Kraftwerke zurückgegriffen. Allerdings können sie in der Regel nicht flexibel geregelt werden. Eine Alternative stellen zumindest kurz- und

mittelfristig Gaskraftwerke dar, da diese verhältnismäßig flexibel gesteuert werden können und als Netzstabilitätsanlage dienen können.⁸⁶

Netzausbau beschleunigen, Widerstand abbauen

Mit einer Steigerung der Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen steigt die Notwendigkeit der Verstärkung bestehender und des Ausbaus weiterer Stromnetze, insbesondere im Hinblick auf den Schutz vor Energieverlusten. Die großen Mengen an EE, die in Spitzenzeiten erzeugt werden, überlasten zusehends die Stromnetze, die ursprünglich für den Gebrauch herkömmlicher Energien erstellt wurden.⁸⁷ In Reaktion darauf hat die Bundesregierung 2019 ihren „Netzentwicklungsplan“ vorgestellt.⁸⁸ Um die Netze auf eine Erhöhung von 65 Prozent erneuerbarer Energien vorzubereiten, ist eine Reihe von Maßnahmen notwendig: technologische Weiterentwicklungen, eine bessere Steuerung der Auslastung und intelligenten Verteilung.⁸⁹ Strom aus erneuerbaren Energien ist oftmals regional gebündelt und muss künftig immer weitere Strecken bis zum Endverbraucher zurücklegen. Die konkreten Maßnahmen sind im Netzentwicklungsplan der Übertragungsnetzbetreiber, der alle zwei Jahre angepasst wird und auf Szenarien beruht, niedergeschrieben. Hierbei wird auf einen Maßnahmenmix aus Netzoptimierung, Netzverstärkung, Netzausbau und Innovationen zurückgegriffen.⁹⁰

Allerdings stockt der Netzausbau. Hemmnisse im Ausbau sind unter anderem die Kosten sowie bürokratische Hürden. So waren im Frühjahr 2019 lediglich 23 Prozent der von der Bundesnetzagentur als notwendig eingestuft Strecken genehmigt.⁹¹ Ende 2019 waren etwa zwölf Prozent der geplanten Stromstrecken in Betrieb und 328 km weitere Strecke fertig gestellt.⁹² Um den notwendigen Netzausbau künftig schneller voranzutreiben, wurde das Netzausbaubeschleunigungsgesetz verabschiedet. Wichtige Inhalte stellen dabei vereinfachte Genehmigungsverfahren dar. Weiterhin ist die Entschädigung von Eigentümern bundesweit vereinheitlicht worden.⁹³

⁸⁵ Energieagentur.nrw, o. J.

⁸⁶ Windkraft-journal.de 2020.

⁸⁷ Euractiv.de 2019.

⁸⁸ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie o. J. e.

⁸⁹ Agora Energiewende 2018.

⁹⁰ Netzentwicklungsplan.de 2021.

⁹¹ Euractiv.de 2019.

⁹² Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020a.

⁹³ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2019.

4.2 Wasserstoff

Als weitere zentrale Thematik wird zurzeit die zukünftige Rolle von Wasserstoff diskutiert, auch mit Blick auf eine mögliche Beimischung zum bestehenden Gasnetz. Im Sommer 2020 hat die Bundesregierung die nationale Wasserstoffstrategie (NWS) verabschiedet. Wasserstoff gilt als eine der wichtigsten Säulen in der Energiewende. Dies ist unter anderem darin begründet, dass Wasserstoff eine hohe Energiedichte⁹⁴ aufweist und aufgrund seiner nahezu rückstandslosen Verbrennung⁹⁵ und hohen Brenntemperatur ideal ist, um Erdgas zu substituieren. Daher bietet sich geradezu der Einsatz von Wasserstoff als Multi-Tool der Sektorenkopplung an, wenn eine Elektrifizierung keine Option darstellt. Dies gilt im besonderen Maße für bislang emissionsintensive Prozess- oder Hochtemperaturverfahren in der Industrie, aber auch im Verkehrssektor (beispielsweise im Schwerlastverkehr) und in der Wärmeversorgung.⁹⁶

Da die Gesteuerung von erneuerbarem Strom auf der Grundlage von Photovoltaik, On- oder Offshore abhängig von der meteorologischen Lage ist, bedarf es effizienter Speichersysteme, um einerseits einem Energieverlust in Hochlastzeiten (bei Abriegelung) vorzubeugen und andererseits ausreichend Energie für eine mögliche Dunkelflaute vorzuhalten.⁹⁷ Bislang ist eine Speicherfähigkeit von Strom aufgrund seiner Volatilität und mangels Wirtschaftlichkeit nur begrenzt sinnvoll. Deshalb kann die Speicherfähigkeit von erneuerbarem Strom aus grünem Wasserstoff als gangbarer und mittelfristig kosteneffizienter Ansatz zur Systemintegration der EE angesehen werden. Infolge des Ausbaus der EE dürfte daher der Ansatz der Speicherung von Strom in Form von Wasserstoff und dessen bedarfsgerechter Einsatz an Bedeutung gewinnen. Angesichts der Bedeutung von Wasserstoff als zentraler Baustein der Klimawende und seiner Eigenschaft des CO₂-freien Verbrennens wird daher mitunter bereits vom Beginn einer sogenannten Wasserstoffwirtschaft gesprochen, auf deren Grundlage die heute von fossilen Energieträgern und Grundstoffen abhängigen Wirtschaftszweige transformiert werden können.

Die NWS sieht vor, die Forschung an und Produktion von Brennstoffzellengeräten auszubauen und die „Was-

serstoff-Readiness“ beispielsweise von KWK-Anlagen zu fördern.⁹⁸ Es besteht jedoch die Herausforderung, emissionsfrei hergestellten Wasserstoff als Brennstoff auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit zu etablieren.

Die Art des verwendeten Wasserstoffs stellt einen wichtigen Aspekt in seiner Funktion als Schlüsselrolle der Energiewende dar. Allgemein wird zwischen den vier verschiedenen Wasserstoffarten, in Abhängigkeit der Herstellung, unterschieden:

- Grauer Wasserstoff aus fossilen Quellen.
- Grüner Wasserstoff aus Wasser unter Zuführung von elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen.
- Blauer Wasserstoff aus fossilen Quellen, wobei der Ausstoß von CO₂ mithilfe von CCS bzw. CCOS⁹⁹ oder CCU-Technologien verhindert wird.
- Türkiser Wasserstoff aus Methan, wobei fester Kohlenstoff entsteht, der nicht in die Atmosphäre entweichen kann. Stammt die Wärmeversorgung des für den Prozess nötigen Hochtemperaturreaktors aus erneuerbaren Energiequellen, wird türkiser Wasserstoff klimaneutral hergestellt.

Die NWS als Rahmen gewährleistet Akteuren wie der Energiewirtschaft Planungssicherheit für Investitionen. Da „grüner“ Wasserstoff als Schlüsseltechnologie auf den Einsatz erneuerbarer Energien angewiesen ist, erfolgte als eine der Maßnahmen im Rahmen der NWS beispielsweise die Vollbefreiung von der EEG-Umlage bei der Erzeugung von grünem Wasserstoff (§ 69b EEG 2021), um die Nachfrage und Wirtschaftlichkeit anzureizen. Weitere Maßnahmen umfassen Leitprojekte wie TransHyDE¹⁰⁰, um neben technischen Voraussetzungen der Wasserstoffinfrastruktur auch den Seetransport von Wasserstoff über Transportmedien in Form von Ammoniak oder flüssigen organischen Wasserstoffträgern (englisch: liquid organic hydrogen carriers, LOHC) zu untersuchen. Daneben werden mit Leitprojekten wie H₂Mare¹⁰¹ die Voraussetzungen für eine dezentrale Offshore-Produktion von grünem Wasserstoff untersucht und mit H₂Giga die Skalierung und Serienfertigung von Elektrolyseuren unterstützt. Darüber

⁹⁴ Wasserstoff besitzt eine hohe massebezogene Energiedichte: 1 kg enthält fast soviel Energie wie 3 kg Benzin (33,33 kWh/kg Wasserstoff).

⁹⁵ Bei der Verbrennung von Wasserstoff bildet sich, abgesehen von Wasser in Form von Wasserdampf, nur eine sehr kleine Menge Stickoxid durch die Reaktion mit Luftstickstoff. Es entstehen keine Kohlenwasserstoffe, keine Schwefeloxide, kein Kohlenmonoxid, nicht einmal Kohlendioxid (CO₂), welches bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen freigesetzt wird und für den Treibhauseffekt verantwortlich gemacht wird.

⁹⁶ Bundesministerium für Bildung und Forschung o. J. b.

⁹⁷ Europäische Kommission 2020a.

⁹⁸ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020e.

⁹⁹ Carbon Capture and Offshore Storage (CCOS).

¹⁰⁰ Wasserstoff-Leitprojekte: TransHyDE: Wasserstoff-Transport (wasserstoff-leitprojekte.de).

¹⁰¹ Wasserstoff-Leitprojekte: H₂Mare: Offshore-Technologien (wasserstoff-leitprojekte.de).

hinaus ist auch das Important Project of Common European Interest (IPCEI)¹⁰² im Bereich Wasserstoff zu nennen, an dem 22 EU-Staaten sowie Norwegen teilnehmen. In dessen transnationalem Rahmen sollen weitere Wasserstoffprojekte angestoßen werden. Darunter könnte mittelfristig auch der Bau einer transeuropäischen Wasserstofftransportleitungsinfrastruktur (European Hydrogen Backbone) fallen.

Wasserstoff als sektorenübergreifende EE-Integrationsoption

Um das Ziel der Klimaneutralität gewährleisten zu können, gilt somit die Verwendung von grünem Wasserstoff im Energiesektor wie auch in den Sektoren Verkehr und Industrie als notwendig. Die in Deutschland produzierte Menge an erneuerbaren Energien reicht jedoch nicht aus, um diesen Bedarf zu decken.¹⁰³ Wegen der aktuell nur begrenzt verfügbaren erneuerbaren Energiepotenziale wird prioritär die Verwendung von Wasserstoff im Industriesektor verfolgt, auch weil damit die größte Lenkungswirkung und Treibhausgasreduktion zu erzielen ist.

Die NWS¹⁰⁴ prognostiziert, dass bis 2030 zwischen 84 und 87 Prozent des nationalen Wasserstoffbedarfs von 90–100 TWh importiert werden müssen, und verweist daher auf

die Notwendigkeit von Wasserstoffpartnerschaften, um im Ausland grün produzierten Wasserstoff zu importieren. Folglich wird daher auch zukünftig der Import von Energieträgern, wie bereits aktuell, aber unter veränderten Voraussetzungen, unerlässlich bleiben. Mittelfristig werden jedoch auch Import und Erzeugung von klimaneutralem Wasserstoff ergänzend zum grünen Wasserstoff einen notwendigen Beitrag zur Etablierung eines europäischen Wasserstoffmarktes leisten müssen, um den sektorenübergreifenden Wasserstoffbedarf decken zu können.

Um Wettbewerb und Vergleichbarkeit zwischen inländisch produziertem und importiertem Wasserstoff zu gewährleisten,¹⁰⁵ werden im Rahmen des EU-weiten Projekts CertifHy die Grundlagen zur Zertifizierung von Wasserstoff geschaffen.¹⁰⁶ Herkunftsnachweise sind dafür geeignet, die Wettbewerbsfähigkeit des in Deutschland (oder Europa) erneuerbar produzierten Wasserstoff zu gewährleisten, da damit auch etwaige CO₂-Vorketten oder klimaschädliche Erzeugungen ausgewiesen werden, die über einen CO₂-Grenzausgleich oder den nationalen oder europäischen Emissionshandel eingepreist werden können.

Damit ermöglicht sich auch die verstärkte Nutzung von Wasserstoff im Gebäude- und Verkehrssektor dort, wo

Abbildung 23: Einzel- und Gesamtwirkungsgrade von Pkw mit unterschiedlichen Antriebskonzepten, ausgehend von erneuerbar erzeugtem Strom

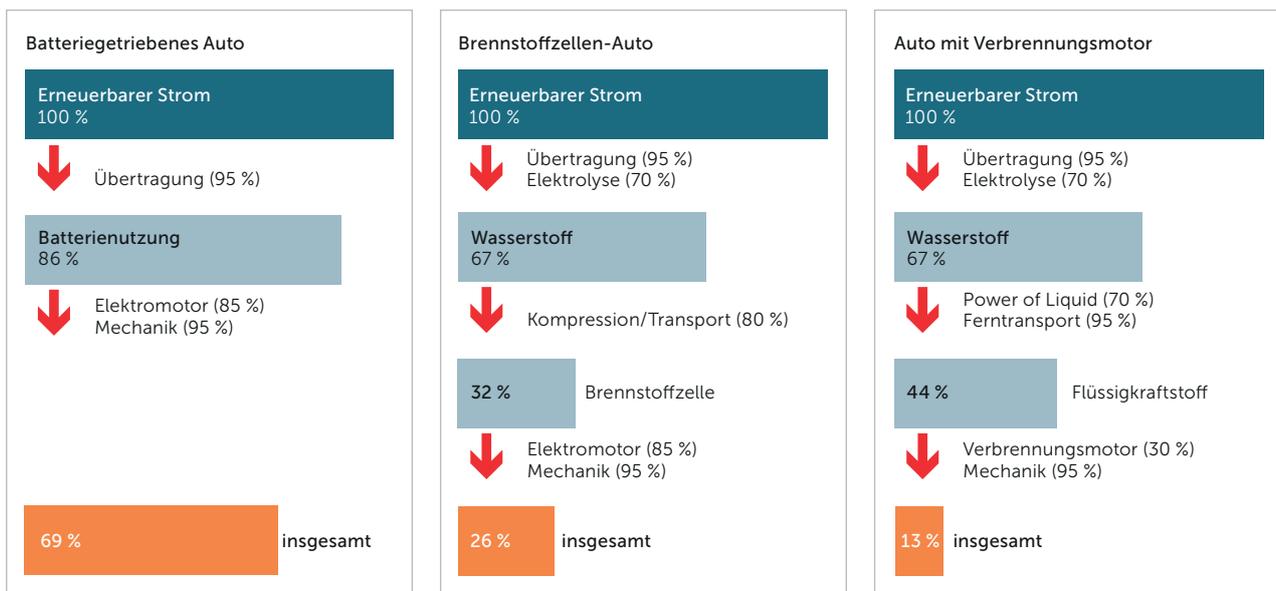


Abbildung: Stiftung Arbeit und Umwelt; Quelle: Agora Verkehrswende et al 2018

¹⁰² Vgl. Interessenbekundungsverfahren, BMWi, vom 11. Januar 2021.

¹⁰³ Westphal et al. 2020.

¹⁰⁴ Der Wasserstoffbedarf wird auf 90–110 TWh bis 2030 prognostiziert. 14 TWh sollen heimisch erzeugt werden, dies entspricht 15, 56 bzw. 12,73 % des nationalen Wasserstoffbedarfs.

¹⁰⁵ Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft 2020d.

¹⁰⁶ Hydrogeneurope.eu, o. J.

eine Elektrifizierung perspektivisch keine Alternative darstellt. Im Verkehrssektor bietet sich in erster Linie, aufgrund höherer Wirkungsgrade¹⁰⁷ der reinen Elektromobilität (insgesamt 66 Prozent) gegenüber Brennstoffzellen (insgesamt 26 Prozent) und synthetischen Treibstoffen (insgesamt 13 Prozent) der Schwerlastverkehr auf der Straße, der Schienenpersonennahverkehr auf nicht elektrifizierten Strecken, aber auch die Binnenschifffahrt an. Im Flugverkehr kann Wasserstoff als Grundstoff zur Erzeugung von synthetischem Kerosin genutzt werden.

Im Wärmesektor hingegen bietet sich die Substitution von Erdgas durch Wasserstoff etwa in der klassischen Fernwärmeerzeugung über KWK an. Dies gilt insbesondere in Mieterstädten mit hohen Anteilen von nur schwer sanierbaren Altbauten und geringen Sanierungsquoten im Gebäudebestand. Darüber hinaus bietet sich grüner Wasserstoff auch als Grundlage der Erzeugung von synthetischen Gasen an, doch aufgrund weiterer Umwandlungsverluste, aktuell fehlender Wirtschaftlichkeit

und EE-Potenziale dürfte dies mittelfristig keine grundsätzliche Alternative zu Reduktion des Wärmebedarfs darstellen.

Zwar kann Wasserstoff bereits derzeit mit bis zu fünf Prozent¹⁰⁸ dem bestehenden Gasnetz beigemischt werden, jedoch werden heute schon Mischquoten von bis zu 30 Prozent erprobt.¹⁰⁹ Für eine flächendeckende Nutzung bestehender Netze müssen jedoch die Pipelines weiter technisch angepasst beziehungsweise umgewidmet und neugebaut werden. Der anteilige Transport von Wasserstoff in Gasgemischen kann zwar somit zum Teil auch in bestehenden Gasinfrastrukturen erfolgen und ermöglicht dezentrale Wasserstoffherzeugung, dennoch dürfte die Separation von Wasserstoff und Gas in den wenigsten Fällen wirtschaftlich und aufgrund geringer vorhandener Wasserstoffmengen sinnvoll sein. Mittelfristig dürfte daher der Aufbau einer genuine Wasserstoffinfrastruktur schon allein aufgrund der technischen Limitierungen auch im Hinblick auf die Wasserstoffversprödung¹¹⁰ notwendig sein.

Abbildung 24: Wasserstoffbedarfsentwicklung in Deutschland 2030–2050

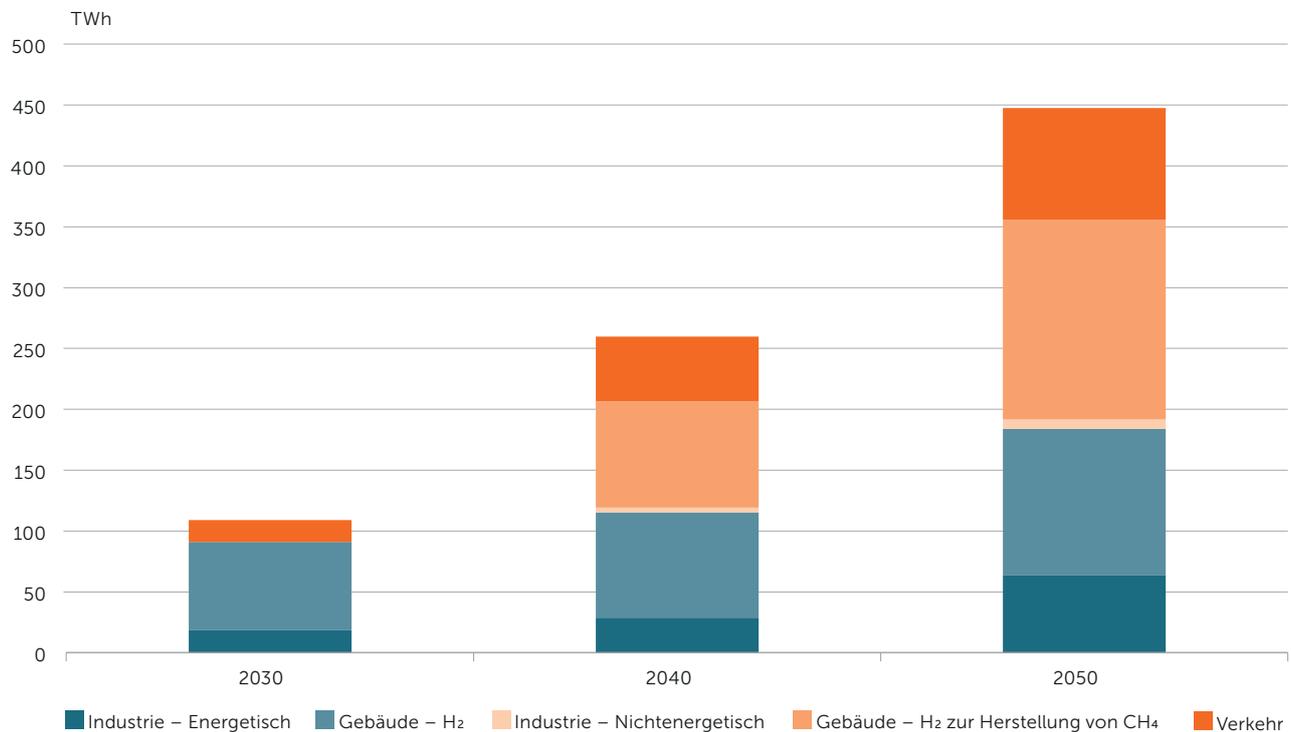


Abbildung: Stiftung Arbeit und Umwelt; Quelle: enervis/StAU

¹⁰⁷ Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE 2019.

¹⁰⁸ Der gesetzlich zulässige Anteil für das Zumischen von Wasserstoff in die Erdgasinfrastruktur liegt derzeit bei fünf Volumenprozent, wobei eine Toleranzerhöhung auf zehn Volumenprozent anvisiert ist. Henel & Müller-Syring 2014.

¹⁰⁹ Netze-bw.de 2020.

¹¹⁰ Die unterschiedlichen Limitierungen zur anteiligen Aufnahme von Wasserstoff in den Pipelines sind auf Annahmen zu Korrosionsbildungen bzw. die Gefahr der Wasserstoffversprödung auch im Verhältnis zu Betriebsdauer und Verwendung von Materialien in der Leitung zurückzuführen. Aufgrund der extrem hohen Diffusionsfähigkeit von Wasserstoff als leichtestes Gas ist beispielsweise bei Verwendung von regulären Stählen eine verfrühte Materialversprödung nicht auszuschließen. Daher benötigen Wasserstoffleitungen austenitische Stähle mit Diffusionsschichten, um Diffusionsverluste bzw. eine Wasserstoffversprödung auszuschließen.

Wasserstoffbedarfsentwicklung

In einer kürzlich von der Stiftung Arbeit und Umwelt veröffentlichten Studie¹¹¹ wurde ausgehend von 110 TWh¹¹² im Jahr 2030 eine Wasserstoffbedarfsentwicklung bis 2050 für Deutschland von 450 TWh prognostiziert (siehe Abbildung 24, S. 37). Etwas mehr als 40 Prozent des gesamten Wasserstoffbedarfs 2050 entstammen dabei industriellen Anwendungen mit 184 TWh. Davon ist knapp ein Drittel, 64 TWh, auf energetische Bedarfe zurückzuführen. Der Großteil des industriellen Wasserstoffbedarfs entfällt mit 120 TWh allerdings auf nicht-energetische Anwendungsfelder wie die Nutzung von Wasserstoff als Rohmaterial oder sogenannten „Feedstock“. Im Verkehrssektor¹¹³ kann trotz einer Elektrifizierung von 75 Prozent bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen noch ein Wasserstoffbedarf von 92 TWh prognostiziert werden. Für den Gebäudesektor¹¹⁴ wird insgesamt ein Wasserstoffbedarf von circa 172 TWh erwartet.

4.3 Sektorenkopplung

Neben der Transformation und Stärkung des Energieerzeugungssystems selbst liefert die Sektorenkopplung eine Möglichkeit zur verbesserten Nutzung von EE-Energie – insbesondere Strom und H₂ – in weiteren Bereichen der Gesellschaft beziehungsweise für Mobilität, Wärme und Industrie. In der Regel geschieht dies mit Hilfe von PtX-Systemen (Power-to-X).

Sektorenkopplung EE-Energie und Verkehr

Für den Mobilitätssektor werden insbesondere Power-to-Fuel-Technologien benutzt. Mit einer steigenden Anzahl an E-Fahrzeugen wird die direkte Kopplung des Verkehrssektors an das Stromnetz künftig an Relevanz gewinnen, was einerseits den EE-Strombedarf erheblich erhöht, andererseits auch zur Stabilisierung der Stromnetze beitragen kann.¹¹⁵

Im Gegensatz zu vielen Endgeräten können Elektrofahrzeuge die eingespeiste Energie dank des Einsatzes von Batteriesystemen speichern, was die Ladezeit von der Nutzungszeit löst. Die Ladezeit der Fahrzeuge kann gesteuert und in Zeiten mit hoher Netzauslastung verschoben

werden. Auf diese Weise werden die Netze in Zeiten hoher Auslastung entlastet und die Anforderungen in Zeiten niedriger Auslastung sinkt. Der Anreiz zur Lastverschiebung kann weiterhin durch finanzielle Anreize in Zeiten hoher Netzauslastung, beispielsweise durch flexible Tarife in Verbindung mit Smart Metern, erfolgen.¹¹⁶ Der Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien ist im Verkehrssektor bislang noch vergleichsweise gering und betrug bis 2005 unter zwei Prozent am Gesamt-Energie-Input am Verkehrssektor. Seitdem ist der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor stetig gestiegen – von 2 TWh in 2007 auf 5 TWh in 2020¹¹⁷ und wird durch die steigende Elektrifizierung vieler Bereiche künftig weiter steigen.

Sektorenkopplung EE-Energie und Wärme

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Sektorenkopplung ist die Einbindung erneuerbarer Energien in die Wärmeerzeugung. Auf die Bereiche Raumwärme und Warmwasser entfallen in Deutschland 31 Prozent des Energieverbrauches, weshalb die Dekarbonisierung des Wärmesektors sehr relevant ist.¹¹⁸ Der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch lag im Jahr 2019 bei 14,7 Prozent und damit deutlich unter dem durchschnittlichen Anteil aller Branchen (17,1 Prozent).¹¹⁹ Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) können hier Schlüsselfaktoren für die Transformation sein. KWK ist ein Verfahren, in dem gleichzeitig elektrische und thermische Energie nutzbar gemacht werden, es gilt als Nachfolger reiner Heizwerke. Durch die Reduzierung verursachter Abwärme und notwendiger Brennstoffmengen kann diese Form der Energiegewinnung gegenüber traditionellen Kraftwerken als emissionsärmer bezeichnet werden. Werden diese Anlagen mit erneuerbaren Energien betrieben, handelt es sich um innovative KWK-Systeme (iKWK). Sie müssen mindestens aus den drei Komponenten KWK-Anlage, Komponente zur Bereitstellung innovativer erneuerbarer Wärme und einem elektrischen Wärmeerzeuger bestehen und gemeinsam regel- und steuerbar sein.¹²⁰ iKWK-Anlagen haben das Potenzial, einen Großteil des CO₂-Ausstoßes herkömmlicher KWK-Anlagen einzusparen und zur Energiewende beizutragen. Um dieses Potenzial bestmöglich zu heben, werden Betreiber von iKWK-Anlagen

¹¹¹ Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE 2021.

¹¹² Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020e.

¹¹³ Es wird im Szenario der Verkehrssektor mit 75 % Elektrifizierung von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen bis 2050 gerechnet. Bis 2050 ist mit einer Effizienzsteigerung von 0,22 kWh/km auf 0,16 kWh/km bei einer durchschnittlichen Fahrleistung von 11 600 km/a pro Fahrzeug (EU-Durchschnitt 2014) zu rechnen.

¹¹⁴ Der Gebäudesektor wird infolge der vollständigen Substitution von fossilen Energieträgern zu 44 % der Nutzenergie durch Wärmepumpen (mittlere Leistungszahl von 2,5) infolge einer Sanierungsrate von 1,4 % p. a. und Effizienzsteigerungen von 40 bis 70 % auf den Endenergieverbrauch des sanierten Gebäudebestands bis 2050 erschlossen. 40 % der Nutzenergie werden durch grüne Gase (95 % davon PtCH₄ und 5 % PtH₂) 2050 bereitgestellt werden.

¹¹⁵ Görner et al. 2019.

¹¹⁶ Bieschke et al. 2018.

¹¹⁷ Umweltbundesamt 2021b.

¹¹⁸ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020c.

¹¹⁹ Umweltbundesamt und AGEE 2020.

¹²⁰ Bundesamt für Wirtschaft- und Ausfuhrkontrolle 2018.

von der Bundesnetzagentur finanziell unterstützt.¹²¹ Anlagenbetreiber können sich auf Ausschreibungen im Bereich iKWK bewerben. In der letzten Ausschreibungsrunde erhielten zwei Drittel der Antragsteller einen Zuschlag.¹²²

Die Kopplung der Sektoren erneuerbare Energie und Wärme für private Haushalte stellt darüber hinaus eine wichtige Säule in der Wärmewende dar, da ein Großteil der Treibhausgasemissionen auf die Wärmeleistung in Privathaushalten zurückzuführen ist. Heute stammt die Wärme zu einem hohen Teil aus fossilen Energieträgern. Seit 2021 unterliegen CO₂-Emissionen aus dem Wärmesektor dem Emissionshandelssystem und werden zunächst mit einem Fixpreis von 25 Euro pro emittierter Tonne CO₂ belegt. Der Preis des Heizens mit fossilen Energieträgern steigt somit deutlich an, was einen Anreiz zum Umstieg auf Wärme aus erneuerbaren Energien liefert. Um den Anteil erneuerbarer Energien am Wärmesystem in Privathaushalten zu erhöhen, werden die Kommunen künftig in Wärmenetze investieren, damit die geeignete Infrastruktur für Privathaushalte zur Verfügung gestellt werden kann. Die Bundesregierung fördert den Bau von Wärmeheizwerken, die mit erneuerbaren Energien betrieben werden, um die Quote erneuerbarer Produzenten zu erhöhen. Weiterhin existiert eine Vielzahl von KfW-Förderkrediten zur Umstellung auf Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energien.¹²³ Weitere technische Aspekte sind dem nächsten Kapitel zu entnehmen.

Auch die voranschreitende Digitalisierung des Wärmesektors trägt ihren Teil zu seiner Dekarbonisierung bei. Mit Hilfe von innovativen Systemen (siehe hierzu Kapitel Wärmenetze in Zeiten smarterer und nachhaltiger Technologien) kann eine effiziente Sektorenkopplung in Verbindung mit dezentralen Netzen zur Wärmewende in Privathaushalten beitragen.¹²⁴

4.4 Urbane Fernwärme

Der als „Wärmewende“ bezeichnete Teil der Energiewende konzentriert sich vor allem auf die Rohstoffe, die in der Produktion von Wärmeenergie genutzt werden. Zurzeit sind dies vor allem die fossilen Energieträger Öl, Kohle und Erdgas. Besonders die Fernwärme wird durch große Kraftwerke, Fernheizwerke oder Blockheizkraftwerke mittels KWK erzeugt. Laut Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) wurde für 2020 ein Fernwärme-

verbrauch von 123 Milliarden kWh gemessen, was einen Rückgang von 8,8 Prozent im Vergleich zu 2019 bedeutet. Die Ursache dafür sind vornehmlich Betriebsschließungen aufgrund der Corona-Pandemie.¹²⁵ Das verarbeitende Gewerbe, der Bergbau sowie Handel, Gewerbe und Dienstleistungen machen etwa die Hälfte des Fernwärmeverbrauchs aus. Der Anteil des privaten Sektors am Fernwärmemarkt wächst jedoch leicht, da ein Großteil der Neubauten einen Fernwärmeanschluss erhält.

Die Evaluierung der KWK kam zu dem Ergebnis, dass im Jahr 2016 aufgrund der Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland eine CO₂-Einsparung in Höhe von 17 bis 54 Millionen Tonnen erreicht werden konnte.¹²⁶ Die Zahlen sind abhängig von den gewählten Referenzwerten. In der Evaluationsstudie wird prognostiziert, dass der Ausbau der KWK in den nächsten Jahren nach Plan verlaufen wird. Wie auch in anderen Studien wird hier festgehalten, dass im Bereich der KWK zukünftig der Anteil erneuerbarer Energien steigt. Durch entsprechende Regulierungen, unter anderem das EEG, wird in Deutschland die KWK gefördert. Zudem wird mittels des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) die Umstellung der KWK von Kohle auf Gas mit einem vorgesehenen jährlichen Volumen von 1,5 Milliarden Euro gefördert, zwischen den Jahren 2021 und 2022 begrenzt auf 5 000 Vollbenutzungsstunden (vbs), 2023 und 2024 auf 4 000 vbs und ab 2025 begrenzt auf 3 500 vbs pro Kalenderjahr. Das aktuelle Gesetz berücksichtigt in einer Ausnahme ebenfalls kleinere KWK-Anlagen (bis 50 kW_{el}¹²⁷). Für diese wird zwar die Gesamtförderdauer von 60 000 vbs auf 30 000 vbs gekürzt, jedoch zeitgleich die Fördersumme von 8 auf 16 ct/kWh für Einspeisung und von 4 auf 8 ct/kWh für Eigenverbrauch und Lieferung an Dritte erhöht.¹²⁸ So können Kleinst-KWK aufgrund der Gesetzes-Novelle in einem verkürzten Zeitraum den gleichbleibenden Zuschlag erhalten. Das von dem KWKG geregelte Ziel der Stromerzeugung von 110 Terawattstunden wurde bereits 2016 übertroffen. Um eine signifikante Rolle im Energiesystem auch auf lange Sicht wahren zu können, müssen fossile KWK-Anlagen laut Umweltbundesamt die technischen Möglichkeiten besitzen, auf die schwankende Versorgung durch erneuerbare Wärme zu reagieren.¹²⁹ Dazu bedarf es einer passenden Integration in Wärmenetze in Verbindung mit thermischen Speichertechnologien.

¹²¹ Bundesamt für Wirtschaft- und Ausfuhrkontrolle 2018.

¹²² Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020b.

¹²³ Agentur für erneuerbare Energien 2016.

¹²⁴ Internationale Energieagentur 2020 und Pehnt et al. 2017.

¹²⁵ Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft 2020b.

¹²⁶ Falkenberg et al. 2019.

¹²⁷ KW_{el} = elektrische Leistung in Kilowatt.

¹²⁸ Asue.de 2020.

¹²⁹ Umweltbundesamt, o. J.

Nachhaltige Fernwärme kann unterschiedliche Formen annehmen: Sie kann mittels erneuerbarer Energien erzeugt werden oder aus industriellen Prozessen als Abwärme stammen. Zudem könnte die Wärme aus Biogas- oder sogar Kläranlagen kommen. Letzteres wird beispielsweise bereits in Skandinavien praktiziert.¹³⁰ Emissionsfreie Wärmeenergie kann in schon bestehende Wärmenetze eingespeist werden, wodurch die leitungsgebundene Wärmeversorgung auf eine Vielzahl an unterschiedlicher Energiequellen zurückgreifen kann. Zu den nachhaltigen Energietechnologien, die eine wachsende Rolle in der Wärmewende spielen oder spielen werden, gehören Biomasse, Solarthermie, Geothermie oder Power-to-Heat-Methoden (wie zum Beispiel Wärmepumpen). Auch wenn der Anteil erneuerbarer Energie an der Wärmegegewinnung im Vergleich zum Strommarkt deutlich geringer ausfällt (2020 waren es etwa 17,8 Prozent im Bereich der leitungsgebundenen Versorgung¹³¹), steigt die Popularität von nachhaltiger Wärme, beispielsweise aus Solarthermie, vor allem in deutschen Ballungsräumen.¹³² Auf den gesamten Wärmemarkt bezogen machen Solar- und Geothermie jedoch bislang nur einen verschwindend geringen Anteil von knapp einem Prozent aus, wenn auch mit steigender Tendenz. Der Wärmesektor profitiert daher weniger von der sozial-ökologischen Transformation als bislang die Strombranche. Während sich der Anteil regenerativer Energien im Strombereich zwischen 2010 und 2020 verdoppelte, konnte der Wärmemarkt im selben Zeitraum lediglich ein Wachstum von zwei Prozent verzeichnen.¹³³

Eine aktuelle Studie im Auftrag des Energieeffizienzverbands für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW) diskutiert die Perspektiven der Fernwärme und die Rolle, die sie in der Wärmewende der kommenden Jahre spielen könnte.¹³⁴ Die Studie sieht für die Fernwärme langfristig eine zentrale Rolle im Energiesystem der Zukunft. Das Ziel der Bundesregierung, bis 2030 die Dekarbonisierung des Wärmesektors soweit voranzutreiben, dass 45 Prozent aus erneuerbaren Energien kommen, könne nur mit Hilfe nachhaltiger Fernwärme geschehen. Da die alleinige Effizienzsteigerung fossiler KWK auf Dauer teurer werden wird (steigende CO₂-Bepreisung), sei die direkte Investition in erneuerbare Energien langfristig der wirksamere Weg. Der wichtigste Mechanismus sei generell eine effiziente und flächendeckende Förderung des Ausbaus und

der Transformation der Wärmenetze, unabhängig vom Stromsektor als eigenständiges Förderprogramm. Ein solches Programm wurde als „Bundesförderung effiziente Wärmenetze“ im Dezember 2019 veröffentlicht. Ab 2021 sollen Machbarkeitsstudien sowie der Neubau und Kompletttransformationen bestehender Netze bezuschusst werden.¹³⁵ Um die bislang im Vergleich zu konventionellen Alternativen noch geringere Wirtschaftlichkeit nachhaltiger Fernwärme zu fördern und in die Fläche zu tragen, sei bis 2030 laut der AGFW-Studie eine Förder-summe von etwa 3,3 Milliarden Euro jährlich nötig.¹³⁶ Es sollte dabei gezielt in die Erweiterung bestehender Netze, Anlagen zur Erzeugung emissionsfreier Wärme und in die Schnittstellen bereits funktionierender Wärmenetze zu unterschiedlichen Wärmequellen (unter anderem industrieller Abwärme) investiert werden. Nach 2030, so eine gegenwärtige Einschätzung, könnte die jährliche Investitionssumme aufgrund steigender CO₂-Bepreisung stark abflachen und nachhaltige Wärmetechnologien könnten „aus eigener Kraft“ wirtschaftlich stabil werden. Darüberhinausgehende spezifischere Förderungen für Wärmepumpen als besonders signifikante Einzeltechnologie oder eine verbraucherfreundlichere Reform der Strompreissystematik¹³⁷ werden zudem als mögliche Förderschwerpunkte für mittelfristige Maßnahmen diskutiert.

Energieeffizienz erhöhen

Neben der Umstellung der Energie- und Wärmeversorgung von fossilen auf erneuerbare Energieträger stellt die Steigerung der Energieeffizienz einen weiteren wichtigen Aspekt dar. Durch die Sanierung von bereits bestehenden Gebäuden oder den Bau neuer und effizienterer Gebäude, beispielsweise nach Passivhausstandard, kann der Wärmebedarf stark reduziert werden. Auch die Wärmeerzeugung selbst wird künftig energieeffizienter vonstattengehen. So werden laut Energieeinsparverordnung (EnEV) neue Wärmekraftwerke ausschließlich dann mit der höchsten Energie-Effizienzklasse ausgezeichnet, wenn sie Wärme aus erneuerbaren Energieträgern produzieren.¹³⁸

Weiterhin gilt es, den Stromverbrauch der Endgeräte und der Prozesse zu verringern. Bezogen auf Privathaushalte liegt der Energieverbrauch nach der Wärmeleistung in den Bereichen der Prozesswärme und Kühlung am höchsten. Hier sind Waschmaschinen und Herd, aber auch Kühl-

¹³⁰ Kerstan 2019.

¹³¹ Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft 2020c.

¹³² Haustec.de 2020.

¹³³ Energiezukunft.eu 2020.

¹³⁴ Thamling et al. 2020.

¹³⁵ Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, o. J.

¹³⁶ Thamling et al. 2020.

¹³⁷ Darunter ließe sich eine Kürzung von Umlagen und Abgaben fassen oder aber eine Ausgestaltung des Wärmebonus für erneuerbare Energien und damit zusammenhängende Anlagen (siehe dazu Pantua 2020).

¹³⁸ Agentur für erneuerbare Energien 2016.

und Gefrierkombinationen zu nennen.¹³⁹ In den Sektoren Industrie und Gewerbe können laut Umweltbundesamt große Mengen Energie vornehmlich durch den Einsatz effizienterer Pumpen und Beleuchtungssysteme oder durch die Umstellung auf bessere Lüftungs- und Druckluftsysteme eingespart werden.¹⁴⁰

4.5 Schlüsseltechnologien des Energiesystems der Zukunft

Batterien

In dem Energiesystem der Zukunft werden Batterien eine Sonderrolle einnehmen, um Volatilitäten im Stromsystem zu reduzieren, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten sowie um die Sektorenkopplung (Verkehr) voranzutreiben.

Großbatteriespeicher können in der Energiewirtschaft als Zwischenspeicher für elektrischen Strom dienen und damit sowohl die Stromnetze entlasten als auch teure Verbrauchsspitzen bei Industriekunden abfedern. In Großspeichern – die das Volumen mehrerer Container erreichen können – werden entweder neu hergestellte Batterien genutzt oder gebrauchte Module aus Elektroautos, denn im Pkw-Bereich gelten die sogenannten Traktions-Batterien von Elektroautos in der Regel als ungeeignet, wenn sie weniger als 80 Prozent der ursprünglichen Kapazität haben und dadurch die Reichweite des Fahrzeugs spürbar sinkt. Im stationären Einsatz ist die Kapazität pro Volumen oder Gewicht weniger kritisch, sodass die Fahrzeugbatterien hier eine Sekundärnutzung erfahren können.¹⁴¹ Zu den Batterien kommt noch Wechselrichtertechnik hinzu – während die Batterien mit Gleichstrom funktionieren, sind die Stromnetze auf Wechselstrom ausgelegt. Durch ein elektronisches Monitoring werden einzelne, schadhafte Batterien aus der Verbund abgeschaltet.

Die verwendete Batteriechemie basiert fast ausschließlich auf den vor 30 Jahren erstmals kommerziell verwendeten Lithium-Ionen-Systemen, von denen ein stetig verbessertes und breites Spektrum existiert. Batteriesysteme, die auf Nickel-Metallhydrid, Natrium-Nickelchlorid-Hochtemperatur oder Vanadium-Redox-Flow basieren, haben sich für Großspeicher (noch) nicht durchgesetzt.

Im Bereich Netzstabilisierung haben Batterien den Vorteil,

in Sekundenbruchteilen wesentlich schneller reagieren zu können als etwa die etablierten Pumpspeicherkraftwerke, die das Wassergefälle in Speicherseen nutzen. Daher können Großbatterien die sogenannte Primärregelleistung ins Stromnetz abgeben, die binnen 30 Sekunden zur Verfügung stehen muss, während Pumpspeicherkraftwerke für Sekundärregelleistung und Kraftwerke die „Minutenreserve“ binnen 15 Minuten sichern.

Eine wesentliche Charakterisierung der Lithium-Ionen-Batterien ist ihre Optimierung entweder auf Energiedichte oder auf Leistungsdichte, je nach chemischer Zusammensetzung. Gerade für Traktionsbatterien in Fahrzeugen, die die Batteriemasse an Bord haben, ist eine hohe Energiedichte erwünscht, also möglichst viel Energieinhalt bezogen auf das Batteriegewicht oder das -volumen. Elektroden mit Kobalt oder Nickel erfüllen diese Anforderung. Eine optimierte Leistungsdichte ermöglicht eine hohe Stromabgabe oder -aufnahme beim Laden, wie etwa bei Lithiumtitanat-Batterien. Eine möglichst leichte Batterie mit gleichzeitig hoher Leistungsabgabe oder -aufnahme kann daher nur ein Kompromiss sein.

Die Zweitnutzung („Second Life“) von Traktionsbatterien aus Pkw wird punktuell angewandt mit einem Technology Readiness Level (TRL)¹⁴² von sieben, das heißt, Prototypen sind seit fünf Jahren im Einsatz. Da der Massenmarkt der Elektro-Autos erst 2015 startete und von einer primären Lebensdauer von etwa zehn Jahren ausgegangen werden kann, wird das Angebot an Second-Life-Traktionsbatterien bis 2030 erheblich ansteigen. Es ist von Vorteil, dass die Second-Life-Weiterverwendung Vorrang vor einer Wiederverwertung der enthaltenen Materialien hat, da eine vollständig geschlossene Kreislaufwirtschaft für Lithium-Ionen-Traktionsbatterien erst prototypisch in kleinem Rahmen existiert.¹⁴³ Die Neubatterien selbst sind technologisch im TRL neun angekommen. Gefertigt werden sie vorrangig in China, Südkorea und Japan, mit geringem Anteil auch in den USA und Europa. In Europa sind etwa 20 Batteriefabriken geplant oder bereits im Bau, darunter acht in Deutschland, finanziert von Firmen aus Frankreich, Schweden, den USA, Südkorea und China. Diese bauen vorrangig Traktionsbatterien für Pkw, die später einmal als Zweitverwertung in Batteriegroßspeichern genutzt werden und nicht als erster Einsatzzweck für diese

¹³⁹ Umweltbundesamt 2020b.

¹⁴⁰ Umweltbundesamt 2021a.

¹⁴¹ Der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. (ZVEI) mit seinem Fachverband Batterien unterscheidet Primär- und Sekundärbatterien, letztere sind wieder aufladbar und werden auch als Akkumulatoren bezeichnet, vgl. Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie 2020.

¹⁴² Der von der NASA eingeführte Technology Readiness Level (TRL) hat eine Skala von 1 bis 9. Beispielhaft steht „1“ für die alleinige Kenntnis des Funktionsprinzips einer Technik, „6“ für einen seit ein bis fünf Jahren im Einsatz befindlichen Prototyp, „9“ für den etablierten und erfolgreichen Einsatz. Mit dem TRL werden auch außerhalb der Raumfahrt ganz allgemein Zukunftstechnologien bis zu ihrer vollständigen kommerziellen Umsetzung beschrieben.

¹⁴³ Fraunhofer-Allianz Energie 2020.

gedacht sind.¹⁴⁴ Dagegen befindet sich deren Einsatz am Stromnetz, bei dem die Steuer- und Regelungstechnik mit den Betriebserfahrungen abgestimmt wird, im TRL sechs bis sieben. Hier geht es um das Abfedern von Lastspitzen bei der Energienachfrage von Industrieanlagen und in Stromverteilnetzen, um eine zielführende Spannungs- und Blindleistungsregelung sowie um Frequenzstabilisierung, um durch Großbatterien zusätzlichen Netzausbau zu vermeiden.

Während die Batterien in Großspeichern weitgehend etabliert sind, ist die Alternative Redox-Flow-Speicher, auch Flüssigbatterie genannt, mit einem TRL von fünf nicht großtechnisch serienreif. Im Unterschied zu elektrochemischen Batterien können Kapazität und Leistungsabgabe unabhängig voneinander festgelegt werden. Hier liegen außerhalb der eigentlichen galvanischen Zelle – deren Größe die abgegebene Leistung bestimmt – in zwei externen Tanks elektrolytische Flüssigkeiten vor, Standard ist Vanadiumoxid. In der *galvanischen Zelle* erfolgt mittels einer *Membran* ein Ionenaustausch, wobei im Elektrolyt gelöste Stoffe chemisch *reduziert* oder *oxidiert* werden, was elektrische Energie freisetzt. Am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie in Pfinztal wird seit einigen Jahren im Projekt „RedoxWind“ ein Redox-Flow-Speicher mit 20 MWh Kapazität und 2 MW Leistung getestet, der an eine Windenergieanlage gekoppelt ist. Hierbei geht es vor allem darum, die geeignete Betriebsweise, Stromerzeugung, -speicherung und den -verbrauch im Alltag zu managen. Auch wenn Vanadium-Redox-Flow-Batterien mit einem TRL von sechs in kleinerem Maßstab als Prototypen einsatzfähig sind, gibt es weltweit nur wenige Unternehmen, die für eine Kommerzialisierung der Technik stehen. Vorrangig werden sowohl die Elektrolyte als auch die galvanischen Zellen weiter erforscht und verbessert.¹⁴⁵

Wasserstoffproduktion und Elektrolyseure

Das chemische Element Wasserstoff (H_2) ist nicht nur als Vorprodukt für die chemische Industrie, sondern auch als Energiespeicher einsetzbar und kann in Gefäßen oder Leitungsnetzen transportiert werden. Es kann aus regenerativ erzeugtem Strom hergestellt werden.¹⁴⁶ Die Produktion von Wasserstoff aus elektrischer Energie geschieht in sogenannten Elektrolyseuren. Diese kehren das Prinzip der Brennstoffzelle um, die aus Wasserstoff zusammen mit Luftsauerstoff wieder elektrische Energie erzeugt. Elektrolyseure sind heute die einzige kommerziell verfügbare

Technologie, mit der „grüner Wasserstoff“ aus erneuerbaren Energiequellen ohne Freisetzung von Kohlendioxid produziert werden kann. Als Verfahren für die kommerzielle großtechnische Elektrolyse in der Energiebranche kommen sowohl die alkalische Elektrolyse als auch die Elektrolyse mit Protonen-Austausch-Membran (PEM) in Betracht. Erstere ist bereits seit rund 100 Jahren großtechnisch verfügbar und kann elektrische Leistungen im dreistelligen Megawatt-Bereich verarbeiten, sodass etwa die Energie ganzer Windparks in einem Elektrolyseur umgesetzt werden kann. Die PEM-Elektrolyse ist erst seit einigen Jahren kommerziell verfügbar und erreicht bisher einstellige Leistungen im Megawattbereich; ihr kann ein Technology Readiness Level (TRL) von sieben bis acht zugeordnet werden.¹⁴⁷ Alle anderen Methoden, „grünen Wasserstoff“ zu erzeugen – wie etwa thermochemische Verfahren für Wasserstoff aus Biomasse und die Elektrolyse mit anionenleitender Membran (AEM) –, sind erst in Pilotprojekten oder im Forschungsstadium und werden in den nächsten zehn Jahren, die für das Hochskalieren der Wasserstoffproduktion maßgeblich sind, keinen Beitrag leisten können.¹⁴⁸ Wichtig ist eine effiziente und damit preiswerte Serienfertigung von alkalischen, Hochtemperatur- und PEM-Elektrolyseuren, um die in der Nationalen Wasserstoff-Strategie der Bundesregierung vorgesehenen fünf Gigawatt Elektrolyse-Kapazität bis 2030 in Deutschland aufbauen zu können. Derzeit ist viel Handarbeit bei der Fertigung nötig. Um skalierbare Produktionsverfahren zu entwickeln, soll das Leitprojekt H_2 Giga die serienmäßige Herstellung von Elektrolyseuren unterstützen.¹⁴⁹

Die technischen Herausforderungen liegen in allen Systemen bei der Verbesserung des Wirkungsgrades und des dynamischen Verhaltens der Elektrolyseure. Der Wirkungsgrad entscheidet über die Wirtschaftlichkeit des Systems, er liegt derzeit bei etwa 60 bis 70 Prozent im Elektrolyseur. Aber auch beim späteren, reversiblen Prozess der Stromerzeugung in der Brennstoffzelle liegt der Wirkungsgrad in diesem Rahmen, sodass von der ursprünglich erzeugten und dann in Wasserstoff gespeicherten elektrischen Energie nur etwa die Hälfte beim Endverbraucher ankommt. Dieser hohe Verlust im Vergleich zur direkten Verwendung erneuerbarer Energiequellen, verbunden mit dem kostenintensiven Zwischenschritt der Speicherung mit Wasserstoff, erfordert politischen Gestaltungswillen, die Hochskalierung der Technik zu unterstützen.

¹⁴⁴ Welt am Sonntag 2021.

¹⁴⁵ Fraunhofer-Allianz Energie 2020. Bzgl. galvanischer Zellen: Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie 2021.

¹⁴⁶ Es wird zudem diskutiert, welche Rolle „türkiser“ Wasserstoff, mittels thermischer Spaltung aus Methan gewonnen, in der emissionsarmen Herstellung spielen wird. In diesem Verfahren entsteht als Nebenprodukt fester Kohlenstoff, der möglicherweise in der Industrie weitere Verwendung finden kann.

¹⁴⁷ Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme & Siemens AG 2019.

¹⁴⁸ Roeb et al. 2020.

¹⁴⁹ Bundesministerium für Bildung und Forschung, o. J. a.

Der Wirkungsgrad der alkalischen Elektrolyse ist nur dann akzeptabel, wenn die Anlagen kontinuierlich, also mit konstanter Stromzufuhr, betrieben werden. Die PEM-Elektrolyse ist schon eher dynamisch einsetzbar und damit für die Kopplung mit fluktuierenden Stromquellen besser geeignet. In der politischen Diskussion wird oft davon ausgegangen, dass nur „überschüssiger“ Strom in Wasserstoff gespeichert werden soll, also jener, bei dem Photovoltaik- und Windenergieanlagen aberegelt, sprich abgeschaltet werden müssen, weil momentan keine Abnehmer für diese Energiemengen verfügbar sind. Dies trifft jedoch nur für wenige hundert Stunden im Jahr zu. Industrielle Anlagen dagegen sollten bis zu 8 760 Stunden eines Jahres unter Volllast betrieben werden, um wirtschaftlich zu arbeiten. Für Elektrolyseure werden Laufzeiten von mindestens 1 500 Stunden, idealerweise 3 000 Stunden im Jahr für einen wirtschaftlichen Betrieb genannt.¹⁵⁰ Jüngst startete in diesem Zusammenhang das Leitprojekt H₂Giga¹⁵¹, um Elektrolyseure zur Wasserstoff-Herstellung in die Serienfertigung zu bringen. Der ergänzende Einsatz von Elektrolyseuren am Strommarkt kann den Markthochlauf und die Serienfertigung von Elektrolyseuren darüber hinaus anreizen.

Hier handelt es sich dann jedoch um einen Wasserstoff, der als „bunt“ bezeichnet wird, da der Strom auch aus anderen Quellen als ausschließlich erneuerbaren Energien kommen kann. Die Vorteile sind ein flexibler Einsatz des Elektrolyseurs und eine passgenaue Erzeugung sowie die Möglichkeit von hohen Benutzungsstunden. Der Einsatz des Elektrolyseurs ist – anders als bei der Erzeugung von grünem Wasserstoff – hier nicht abhängig von der Verfügbarkeit der EE-Stromerzeugungsanlagen. Die Stromlieferung erfolgt bedarfsgerecht und flexibel vom Stromgroßhandelsmarkt, basiert allerdings, zumindest aktuell noch, auch auf anderen Stromquellen als nur erneuerbaren Energien.

Schon heute ist bereits absehbar, dass sich diese scharfe Trennung der unterschiedlichen „Farbenlehre“ künftig auflösen wird. Im Zuge des enormen Zubaus an erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung und des Rückgangs und Ausstiegs aus der fossilen Stromerzeugung, steigt der Anteil der EE in der Stromerzeugung deutlich. Somit wird auch der Stromerzeugungsmix am Stromgroßhandelsmarkt absehbar immer „grüner“ und der Einsatz eines Elektrolyseurs am Markt wird zwangsläufig mit hohen Anteilen erneuerbaren Stroms erfolgen.¹⁵²

4.6 Leuchtturmprojekte

Batterien

Die Global Energy Storage Database des US-amerikanischen Energieministeriums verzeichnete im November 2020 in Deutschland 28 in Betrieb befindliche Batterie-Großspeicher mit Lithium-Ionen-Batterien. Sechs der sieben geplanten Anlagen haben eine Leistung von 15 MW und eine (in Magdeburg) eine Leistung von 30 MW.¹⁵³ Seit 2014 existieren die Batterie-Speicherkraftwerke mit 15 MW Leistung des Stromversorgers WEMAG in Schwerin, seit 2017 gibt es sechs weitere an verschiedenen Kraftwerks-Standorten der Steag GmbH. Diese Großspeicher werden aus neuen, für diesen Zweck gefertigten Batterien betrieben, nicht aus alten Pkw-Batterien.

Als Leuchtturmprojekte für netzdienliche Batteriespeicher können der „Netzbooster Kupferzell“ und das Speicherprojekt „BigBattery Lausitz“ genannt werden. Mit 250 MW Leistung hat der Netzbooster die außergewöhnliche Leistung eines kleinen Kohle- oder Gas-Kraftwerksblocks. In der Lausitz erreicht man mit 50 MW mehr als das Dreifache der bisher gängigen Maximalleistung.

Die Anlage in Kupferzell, östlich von Heilbronn, gehört dem Übertragungsnetzbetreiber TransnetBW, der das Höchstspannungsnetz in Baden-Württemberg betreibt. Die Großbatterie am Netzknoten Kupferzell soll in Zeiten starker Netzauslastung das Stromnetz solange entlasten, bis Schaltmaßnahmen oder Kraftwerkszu- und abschaltungen Engpässe im Netz beseitigen.¹⁵⁴ Baden-Württemberg ist Netto-Stromimporteuer, vor allem wird Strom aus der nördlich gelegenen Leitung von *Grafenrheinfeld* her eingeführt. Bis 2015 lieferte das nun abgeschaltete Kernkraftwerk *Grafenrheinfeld* Strom. Es ist geplant, dass zukünftig die Stromtrasse *Suedlink* Windenergie aus Norddeutschland einspeisen wird.¹⁵⁵

Die BigBattery in der Lausitz im Süden Brandenburgs ist an das Kraftwerk Schwarze Pumpe angegliedert. Nach Beginn im Jahr 2019 geht die Anlage seit 2020 schrittweise in den Probetrieb. Betreiber ist die LEAG (Lausitz Energie Bergbau AG). Auch hier ist das Ziel die Netzstabilisierung, wobei die Vernetzung mit dem benachbarten Stromerzeuger und dem Industriepark Schwarze Pumpe als Abnehmer eine Rolle spielt. Zudem sollen perspektivisch weitere Anwendungsfälle für die Stabilisierung der Versorgungssicherheit entwickelt werden.¹⁵⁶ Die Batterien

¹⁵⁰ Urbansky 2020.

¹⁵¹ Vgl. H₂Giga.

¹⁵² Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE 2021.

¹⁵³ U.S. Department of Energy 2021.

¹⁵⁴ TransnetBW GmbH 2021.

¹⁵⁵ Götz 2020.

¹⁵⁶ Lausitz Energie Bergbau AG 2021.

sollen mindestens zehn Jahre in Betrieb sein und werden dann noch mindestens 80 Prozent ihrer anfänglichen Kapazität haben. Da Batterien Strom binnen Sekunden auf- und abgeben können, handelt es sich um die sogenannte Primärregelleistung.¹⁵⁷

Neben den Speicheranlagen, die an das öffentliche Stromnetz gekoppelt sind, spielen auch Speicher bei Industriebetrieben eine wichtige Rolle. Da Stromtarife für die Industrie nicht nur den Verbrauch, sondern auch die höchste abgenommene Leistung tarifieren, bieten Batteriespeicher eine gute Möglichkeit, die teuren Lastspitzen im Verbrauch durch Einspeisung aus Batterien zu reduzieren (das sogenannte Peakshaving). Dies machen seit 2020 BMW in seinem Leipziger Werk mit ausgedienten Traktionsbatterien des eigenen Modells i3¹⁵⁸ und der Hamburger Speisestärkehersteller Ingredion. Hier passt die Kapazität von einer Megawattstunde in einen 20-Fuß-Container auf dem Firmengelände.¹⁵⁹

Wasserstoffproduktion und Elektrolyseure

Die weltweit größte PEM-Elektrolyse-Anlage ist im Werk Wesseling der Shell-Raffinerie Rheinland im Bau. Sie leistet 10 MW, entsteht im Projekt „Refhyne“ und wird vom Joint Undertaking Fuel Cells and Hydrogen (FCH JU) der Europäischen Kommission finanziert. Die für 2020 vorgesehene Inbetriebnahme wird erst im Jahr 2021 erfolgen. Gleichzeitig soll das Projekt auf 100 MW ausgeweitet werden, darum hat sich Shell bei einer Ausschreibung des Innovation Funds der Europäischen Union beworben.¹⁶⁰

Im Januar 2021 hat das BMBF drei Leitprojekte zur Umsetzung der *Nationalen Wasserstoffstrategie* gestartet, die mit rund 700 Millionen Euro gefördert werden. Eines davon ist H₂Giga, in dem zur Wasserstoff-Herstellung über Wind- oder Solarstrom bis 2025 fünf Gigawatt Leistung aufgebaut und die Serienfertigung von Elektrolyseuren wettbewerbsfähig gemacht werden sollen. Bereits etablierte Elektrolyseur-Hersteller werden mit ihren Zulieferern und der Wissenschaft zusammenarbeiten, um Produktionsstätten im großen Stil aufzubauen.¹⁶¹ Neben der Industrialisierung von PEM- und Alkali-Elektrolyse wird auch die Weiterentwicklung der Hochtemperatur-Elektrolyse mit hohem Wirkungsgrad finanziert.¹⁶²

Die Corona-Pandemie als Innovationshemmnis

Berechnungen des halbjährlichen Energiewende-Indexes von McKinsey zufolge, könnte die Corona-Pandemie bis zu 15 Prozent aller europäischen Projekte im Bereich erneuerbarer Energien verlangsamen oder gänzlich stoppen. Ein Grund ist der Lockdown, der die Weiterverfolgung von Projekten erheblich verlangsamt hat. Hinzu kommen geringe Aktivitäten an der Börse, die als Begleiterscheinung der Pandemie angesehen werden. Eine Reduktion der Rohstoff- und CO₂-Preise hat die Nachfrage nach konventionellen Energieträgern erhöht. Investitionen in erneuerbare Energien sind vergleichsweise teuer geworden – der Anreiz zur Reduktion von Emissionen ist gesunken.¹⁶³ Langfristig werden aber keine schädigenden Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die Energiewende prognostiziert. Es seien während der Pandemie wichtige politische Entscheidungen getroffen worden, die künftig den Weg für den Ausbau erneuerbarer Energien bereiten.¹⁶⁴

Auch das Konjunkturpaket, das die deutsche Bundesregierung als Reaktion auf die Corona-Pandemie im Juni 2020 erlassen hat, behandelt die Energiewende. Durch Synergieeffekte wird die Energiewende, direkt und indirekt, positiv durch das Konjunkturpaket der Bundesregierung beeinflusst. In einer Studie der Deutschen Energie Agentur und Navigant – A Guidehouse Company wurden 20 der 57 Maßnahmen des Konjunkturprogramms als förderlich für die Energiewende und den Klimaschutz bezeichnet. Insbesondere die Bereiche nachhaltige Mobilität, Ausbau der Digitalsysteme und Stärkung der sektorübergreifenden Energiewende werden mit finanziellen Hilfsmitteln vorangetrieben.¹⁶⁵

Im Gegensatz zum nationalen Konjunkturprogramm lässt der Wiederaufbaufonds der EU Bezüge zur Klimawende vermissen. Die Höhe der Investitionen im Bereich erneuerbarer Energien wird als zu gering angesehen, um die Energiewende auf europäischer Ebene vorantreiben zu können.¹⁶⁶

¹⁵⁷ Nestler 2021.

¹⁵⁸ Power & Storage LiTec GmbH 2020.

¹⁵⁹ Wolf 2020.

¹⁶⁰ Chemmanger-online.de 2020.

¹⁶¹ Faz.de 2021.

¹⁶² Bundesministerium für Bildung und Forschung, o. J. a.

¹⁶³ McKinsey & Company 2021.

¹⁶⁴ ecoreporter.de 2020.

¹⁶⁵ Fischer et al. 2020.

¹⁶⁶ Bundesverband Erneuerbare Energien e. V. 2020.

4.7 Zwischenfazit zu Dekarbonisierung, Nachhaltigkeit und Treibhausgasneutralität

Folgende Aspekte sind besonders relevant für die Dekarbonisierung der Energiewirtschaft:

- Die steigende Bepreisung von CO₂ reduziert die Nutzung fossiler Brennstoffe als Energiequelle. Mit wachsendem Anteil erneuerbarer Energien am Gesamt-Energiemix wird aufgrund voranschreitender Elektrifizierung, Effizienzsteigerung und Technologiekopplung künftig eine weitere Reduktion der Emissionen erwartet. Der Bereich (nachhaltig erzeugter) Fernwärme sollte in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt werden, da der Wärmesektor beträchtlich zu den Gesamtemissionen der Energiebranche beiträgt. Finanzierungsinstrumente wie die EEG-Umlage und weitere Regularien wie das nationale EHS sind wichtige Treiber der Energiewende.
- Eine Vielzahl erprobter und neuer Technologien kann zu einer effizienten und versorgungssicheren Energiewende beitragen. Wichtige Beispiele sind (innovative) Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, der effiziente Einsatz von Batterien und Brennstoffzellen sowie die Nutzung grünen Wasserstoffs als Schlüsseltechnologie. Als Überbrückungslösungen können beispielsweise Gaskraftwerke genutzt werden. Sie können aufgrund ihrer Flexibilität und potenziell hohen Leistung Nachfrageschwankungen effizient ausgleichen.
- Batteriesysteme eignen sich zur effizienten Speicherung überschüssigen Stroms und haben das Potenzial, zur Stabilisierung des Energienetzes beizutragen. Effizienzverlusten wird vorgebeugt, Mehrkosten werden damit vermieden. Weiterhin eignet sich (grüner) Wasserstoff aufgrund seiner positiven Eigenschaften als Speichermedium. Eine zentrale Stärke ist seine Transportfähigkeit in Gefäßen oder Leitungsnetzen.
- Beide Technologien befinden sich bereits in der Anwendung. Sowohl international als auch national wird aktuell an einer Vielzahl neuer Verfahrenstechniken zur Herstellung geeigneter Speichersysteme oder zur Erzeugung grünen Wasserstoffs geforscht. Die Projekte weisen dabei unterschiedliche TRL auf, haben aber das Potenzial, die Energiewende zu beschleunigen.

5

5. Regulatorische Aspekte in Deutschland und Europa

5.1 Klima- und energiepolitische Rahmenbedingungen Europa

European Green Deal

Der European Green Deal wurde im Dezember 2019 von der Europäischen Kommission vorgestellt. Sein Ziel ist es, Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent zu transformieren und klimaschädliche Emissionen auf ein Null-Niveau zu reduzieren.¹⁶⁷ Die höchste Priorität hat dabei die Transformation klimaschädlicher und energieintensiver Industrien. Insbesondere die Energiebranche, auf die 75 Prozent aller Treibhausgasemissionen der EU entfallen, stellt einen wichtigen Aspekt dar.¹⁶⁸

Ein Zwischenziel sieht vor, bis 2030 eine Reduktion der Emissionen in allen vom europäischen Emissionshandelssystem (EU-ETS) abgedeckten Sektoren um 43 Prozent gegenüber 2005 zu erreichen. Die übrigen Sektoren sollen im gleichen Zeitraum ihre Emissionen um 30 Prozent verringern.¹⁶⁹ Für den Energiebereich bedeutet dies künftig eine Mischung aus diversen Maßnahmen. So hat die Europäische Kommission im Juli 2020 eine „EU-Strategie zur Integration des Energiesystems“ erlassen, die als Richtlinie für die gemeinsame europäische Energiewende gilt. Ihre drei Pfeiler sind ein stärker kreislauforientiertes Energiesystem, eine stärkere direkte Elektrifizierung des Endverbrauchssektors und eine Nutzung sauberer Brennstoffe, wobei Wasserstoff eine übergeordnete Rolle zuteilwird.¹⁷⁰ Weiter werden 38 Maßnahmen genannt, die zur tieferen Integration in das Energiesystem führen sollen.¹⁷¹ Im Rahmen des European Green Deals haben alle europäischen Mitgliedsstaaten überarbeitete Energie- und Klimapläne vorgelegt, die es ermöglichen sollen, die Ziele zu erreichen.

Das europäische Emissionshandelssystem EU-ETS

Das wichtigste Instrument für EU-weite Emissionsminderungen ist das EU-ETS-System, das im Jahr 2005 ein-

gerichtet wurde. Innerhalb dieses marktbasierten Systems werden Emissionszertifikate an der Börse gehandelt. Der Erwerb eines Zertifikats berechtigt zur Emission einer Tonne CO₂. Die Effizienz des ETS ist umstritten, da zu viele Zertifikate zu einem zu niedrigen Gleichgewichtspreis führen. Die Lenkungswirkung dieses Instruments galt daher lange als fraglich. Die vierte Phase des EU-ETS beginnt 2021 und unterliegt der EU-EHS-Richtlinie (Richtlinie (EU) 2018/410), die aufgrund der Verschärfung der Klimaschutzziele der EU im Rahmen des European Green Deals reformiert wurde.

Um das Marktgleichgewicht im europäischen Binnenmarkt nicht zu stören, gestattet der Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV) keine Beihilfen von staatlicher Seite. Ausnahmen gelten für bestimmte, im AEUV niedergeschriebene Bereiche oder werden von der Kommission genehmigt. Bezogen auf den EU-ETS handelt es sich hierbei um die

- „Beihilfen zum Ausgleich des Anstiegs der Strompreise infolge der Einbeziehung der Kosten von Treibhausgasemissionen aus dem EU-EHS (allgemein als „indirekte CO₂-Kosten“ bezeichnet)“ und die
- „Beihilfen im Zusammenhang mit der Option einer übergangsweisen kostenlosen Zuteilung von Zertifikaten zur Modernisierung des Energiesektors.“¹⁷²

Die Emissionshandelsreform umfasst eine höhere jährliche Entnahme an Zertifikaten aus dem Markt (ab 2021 um 2,2 Prozent jährlich) als bisher (1,74 Prozent jährlich in der dritten Periode) sowie Veränderungen der Reservehöhen. Ein weiterer Bereich ist die Verlagerung des Fokus hin zu Sektoren, von denen die Gefahr einer Abwanderung ins EU-Ausland (Carbon Leakage) ausgeht. Diese Unternehmen erhalten kostenlose Zertifikate, um eine Abwan-

¹⁶⁷ Europäische Kommission 2020c.

¹⁶⁸ Europäische Kommission 2020a.

¹⁶⁹ Löschel 2020.

¹⁷⁰ Erkennbar u. a. an der Veröffentlichung einer europäischen Wasserstoffstrategie.

¹⁷¹ Europäische Kommission 2020a.

¹⁷² Europäische Kommission 2020b.

derung zu verhindern.¹⁷³ In der vierten Periode befinden sich 63 (Teil-)Sektoren auf der Carbon-Leakage-Liste, die von der europäischen Kommission erstellt wird. Im Vergleich zur dritten Periode mit 175 Sektoren handelt es sich hier um eine deutliche Reduktion.¹⁷⁴ Sektoren, die vermutlich weniger von Carbon Leakage betroffen sind, wird eine freie Zuteilung von 30 Prozent der Zertifikate bis 2026 zuteil. Anschließend werden diese auslaufen.¹⁷⁵ Diese de-facto-Reduktion der Zertifikate erhöht den Preis für den Ausstoß von CO₂. Da zugleich der Preis für die Nutzung fossiler Brennstoffe mit hohem Emissionsgehalt steigt, verstärkt sich der Anreiz, in alternative Technologien zu investieren und der Ausstoß wird direkt reduziert.

Unternehmen der Energieindustrie sind zum Kauf von Emissionszertifikaten verpflichtet. Durch einen Anstieg der Preise erhöhen sich die Kosten für herkömmliche Kraftwerke mit einem hohen Ausstoß von Treibhausgasen. Da Kraftwerken mit einem geringeren Ausstoß geringere Kosten entstehen, wird auf diese Weise hergestellter Strom günstiger als konventionell produzierter Strom. Dies führt zu Wettbewerbsnachteilen für emissionsintensive Industrien und zu einer Verlagerung hin zu effizienten Kraftwerken.¹⁷⁶

Auch die im Juli 2017 erlassenen Grenzwerte für Kraftwerke (Large Combustion Plants – Best Available Techniques Reference Document, LCP BFREF) sind ein gesetzlicher Erlass auf europäischer Ebene. Sie basieren auf der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und Rates, ihr Schwerpunkt ist die Emission der Industrie und die hiermit verbundene integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung.¹⁷⁷ Von diesem Erlass sind vor allem konventionelle Kraftwerke mit einer hohen Feuerungswärmeleistung berührt.¹⁷⁸ In Deutschland sind circa 600 Anlagen von dieser Verordnung betroffen.¹⁷⁹ Das LC BREF enthält eine Vielzahl „bestmöglicher“ Technologien (best available techniques, BAT) und eine Übersicht über Emissionsgrenzwerte, die unter Verwendung dieser BAT erreicht werden können. Nach einer Übergangsfrist von vier Jahren sind die im LCP BREF niedergeschriebenen Maximalwerte verpflichtend. Zuvor müssen die Erlas-

se auf europäischer Ebene in nationales Recht überführt werden. Im Juni 2020 legte das Umweltbundesamt in Deutschland einen Entwurf zur Umsetzung der Vorgaben vor, der im Dezember 2020 beschlossen wurde und in der 13. BImSchV festgesetzt wird. Ab 2021 gelten neue und schärfere Grenzwerte für Schadstoffe, die die Anlagenbetreiber künftig einhalten müssen.¹⁸⁰

Die kurze Umsetzungsfrist der neuen Auflagen, die durch ihre verzögerte Umsetzung in nationales Recht entstanden ist, verursacht Schwierigkeiten für bereits bestehende Anlagen. Daher fordert etwa der Bundesverband der Deutschen Industrie eine Verlängerung der Übergangsfristen für bereits bestehende Anlagen.¹⁸¹ Für Betreiber neuer Anlagen gewähren die Richtwerte Planungssicherheit in ihren Vorgaben, der langwierige Prozess hatte sich negativ auf die Investitionstätigkeiten ausgewirkt und somit notwendige Neuerungen verzögert.¹⁸²

Carbon-Leakage-Schutz

Da der bestehende Schutz von Verlagerung der CO₂-Emissionen (Carbon-Leakage-Schutz) sukzessive ausläuft, werden aktuell neue Maßnahmen untersucht. Eine Möglichkeit, die die EU-Kommission analysiert, ist die Einführung eines Grenzausgleichs (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM). Der CBAM soll verhindern, dass energieintensive Unternehmen aus dem europäischen Binnenmarkt abwandern und sich im nichteuropäischen Ausland niederlassen, um Kosten durch den European Green Deal und steigenden CO₂-Preisen zu entgehen. Die EU importiert jährlich 700 Millionen Tonnen CO₂ in Form von Gütern und Dienstleistungen, das entspricht mehr als 20 Prozent des eigenen Ausstoßes. Der Grenzausgleich sieht vor, dass Unternehmen mit Sitz außerhalb der EU eine Steuer für den Import von CO₂-intensiven Produkten in die EU entrichten. Neben der Besteuerung von energieintensiver Produktion innerhalb der EU wird daher auch der Import von CO₂ in die EU besteuert.¹⁸³ Dieses direkte Preissignal agiert als lenkendes Instrument – Carbon Leakage wird entgegengewirkt und der Anreiz zur Reduktion von Emissionen zu Gunsten von Investitionen in nachhaltige und zukunftsweisende Technologien erhöht.¹⁸⁴ Die

¹⁷³ Europäische Kommission 2020b.

¹⁷⁴ Industrie- und Handelskammer Karlsruhe, o. J.

¹⁷⁵ Europäische Kommission, o. J.

¹⁷⁶ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, o. J. c.

¹⁷⁷ DURCHFÜHRUNGSBESCHLUSS (EU) 2017/1442 DER KOMMISSION vom 31. Juli 2017 über Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) gemäß der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates für Großfeuerungsanlagen.

¹⁷⁸ Spezifische Charakteristika sind Anhang I der Richtlinie 2010/75/EU zu entnehmen.

¹⁷⁹ Bundesverband der Deutschen Industrie 2020.

¹⁸⁰ Bbh-blog.de 2020.

¹⁸¹ Bundesverband der Deutschen Industrie 2020.

¹⁸² Bbh-blog.de 2020.

¹⁸³ Europäisches Parlament 2020.

¹⁸⁴ Neuhoﬀ et al. 2015.

genaue Ausgestaltung des CL-Schutzes steht noch aus, da unterschiedliche Branchen unterschiedliche Bedarfe und Wettbewerbssituationen erleben.

Deutschland

Neben den Regelungen auf europäischer Ebene, die teilweise in nationales Recht umgesetzt oder durch Institutionen auf deutscher Ebene durchgesetzt werden, existieren zahlreiche Regularien auf deutscher Ebene. Eine Auswahl der wichtigsten Rahmenbedingungen wird im Folgenden vorgestellt.

Ausstieg aus fossilen Energieträgern

Ergänzend zum Ausbau der erneuerbaren Energien wird die Nutzung fossiler Rohstoffe und die Betreibung von Atomkraftwerken künftig auslaufen. Nach dem Atomunglück von Fukushima im Jahre 2011 hat die Bundesregierung den Ausstieg aus der Atomkraft bis 2022 beschlossen.¹⁸⁵ Derzeit beträgt der Nettoanteil der Kernenergie an der Gesamtenergie-Produktion in Deutschland zwölf Prozent.¹⁸⁶ Ein häufig genannter Grund für den Ausstieg aus der Atomenergie ist der atomare Restmüll, der eine sichere Lagerungsstätte in einem geeigneten Endlager benötigt. Die Kosten der Abschaltung der Kraftwerke beinhalten Stilllegungskosten, Kosten für den Rückbau und die Entsorgung. Diese werden von den Kraftwerksbetreibern selbst getragen, die zu diesem Zweck in einen eigens angelegten Fonds einzahlen.¹⁸⁷

Ein Großteil der Treibhausgasemissionen Deutschlands ist auf die Verstromung von Kohle zurückzuführen. Daher hat die deutsche Bundesregierung den Kohleausstieg bis zum Jahr 2038 beschlossen. Die rechtliche Grundlage bietet das „Kohleausstiegsgesetz“, das im Sommer 2020 verabschiedet wurde.¹⁸⁸ Die Braunkohlewirtschaft ist zu einem Großteil auf wenige Regionen Deutschlands beschränkt. Häufig werden drei (Rheinland, Mitteldeutschland, Lausitz)¹⁸⁹ oder vier (zusätzlich das Revier Helmstedt)¹⁹⁰ Reviere unterschieden. 2018 waren in Deutschland circa 20 000 Personen direkt in der Braunkohle beschäftigt. Eine eigens mit dem Kohleausstieg beauftragte Kommission geht jedoch davon aus, dass indirekt 60 000 Beschäftigte mit dem Braunkohlesektor verbunden sind.¹⁹¹ Der Anteil aller Beschäftigten im Braunkohlesektor ist in

den Revieren vergleichsweise hoch, weshalb der Kohleausstieg neben dem Verlust von Arbeitsplätzen auch zu strukturellen Veränderungen der Regionen führen wird. Die Kommission hat in ihrem Bericht daher eine „sozialverträgliche Ausgestaltung der Reduzierung und Beendigung der Kohleverstromung“ sowie die „Weiterentwicklung der betroffenen Regionen zu zukunftsfähigen Energieregionen“ gefordert.¹⁹²

Flankierender nationaler CO₂-Preis

Mit dem Klimaschutzplan 2030 hat die Bundesregierung 2019 ein nationales Emissionshandelssystem (nEHS) verabschiedet, welches Unternehmen ab 2021 dazu verpflichtet, eine Abgabe auf die Emission von CO₂ zu entrichten oder Emissionsrechte zu erwerben.¹⁹³

In der Vergangenheit beschränkte sich der Emissionshandel in Deutschland ausschließlich auf Unternehmen aus der Energiewirtschaft, dem Flugsektor und Industrieunternehmen, die am EU-Emissionshandel (EU-ETS) teilnehmen.

Ab 2021 müssen auch CO₂-Emittenten in den Sektoren Verkehr und Gebäude eine Steuer entrichten. Durch die einheitliche Bepreisung von CO₂ sollen die Schadenskosten internalisiert werden.¹⁹⁴ Die Bepreisung im EHS wird mit einem anfänglichen Festpreis von 25 Euro pro Tonne ab Januar 2021 starten, auf 55 Euro pro Tonne bis 2025 angehoben werden und anschließend in einem flexiblen Maß zwischen 55 und 65 Euro rangieren.¹⁹⁵ Diese Maßnahme kann dazu beitragen, das Ziel von 65 Prozent erneuerbaren Energien bis 2030 umzusetzen.

EEG-Umlage und weitere Energiewende-Steuern und Abgaben

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz, das seit dem Jahr 2000 in Kraft ist, gewährleistet die Abnahme von Strom, der durch erneuerbare Energien produziert wurde, zu einer festgelegten Einspeisevergütung. Dies schafft Planungssicherheit und schafft Anreize zur Investition in erneuerbare Energien. Infolgedessen sind erneuerbare Energien in den vergangenen 20 Jahren stark angestiegen. Obwohl die EEG-Umlage zum Strompreis addiert wird, reduziert der Ausbau der erneuerbaren Energien als

¹⁸⁵ Bundesregierung 2020a.

¹⁸⁶ Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft 2020a.

¹⁸⁷ Bundesregierung 2020b.

¹⁸⁸ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, o. J. d.

¹⁸⁹ Holtemöller und Schult 2019.

¹⁹⁰ Kommission Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung 2019.

¹⁹¹ Kommission Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung 2019.

¹⁹² Ebd., S. 72.

¹⁹³ Bundesregierung 2020b.

¹⁹⁴ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2020.

¹⁹⁵ Bundesregierung 2020b.

Konsequenz aus dem EEG den Basispreis des Stroms. Die EEG-Umlage ist in den vergangenen Jahren aufgrund von steigenden Quoten erneuerbarer Energien am Strommix und der Entlastung der energieintensiven Industrie stetig angestiegen. Während die Umlage 2011 noch 3,5 ct/kWh betrug, lag sie 2020 bei 6,76 ct/kWh.¹⁹⁶ Gründe für den Anstieg sind unter anderem der Ausbau der erneuerbaren Energien und die Befreiung energieintensiver Industrien von der Pflicht zur Zahlung der Umlage. Vor allem Privathaushalte mit niedrigem Einkommen müssen einen beträchtlichen Teil ihres Einkommens für den Bezug von Strom aufwenden.

Auch im Zuge der Corona-Pandemie sind die Kosten für die EEG-Umlage drastisch angestiegen. Ein Grund ist die Reduktion des Stromverbrauchs während des Lockdowns, verbunden mit einem stetigen Anstieg der Menge an erneuerbaren Energien. Die Reduktion der Stromnachfrage führte zu einer Reduktion des Preises an den Strommärkten. Dies erhöhte die Differenz zwischen dem Festpreis, den Erzeuger erneuerbarer Energien erhalten, und dem am Markt gehandelten Preis deutlich. Prognosen hatten deshalb einen starken Anstieg der EEG-Umlage im Jahr 2021 auf bis zu 8,44 ct/kWh vorausgesagt.¹⁹⁷ Um dieser starken Erhöhung entgegen zu wirken und die Endverbraucher zu entlasten, wurde im Dezember 2020 entschieden, die EEG-Umlage für 2021 auf 6,5 ct/kWh und für 2022 auf 6,0 ct/kWh festzulegen. Für den Differenzausgleich stellt die Bundesregierung rund elf Milliarden Euro aus den Einnahmen des Brennstoffemissionshandelsgesetzes zur Verfügung.¹⁹⁸

Die EEG-Umlage ist ein fördernder Faktor für die Erreichung des 65-Prozent-Ziels, da Erlöse für den Ausbau der erneuerbaren Energien verwandt werden. Hier ist zu beachten, dass wichtige Technologien der Energiewende indirekt an den Strompreis gekoppelt sind. Zur Herstellung von Wasserstoff wird beispielsweise Energie benötigt. Steigt der Strompreis, so sinkt der Anreiz für Unternehmen, in energiefreundliche Technologien zu investieren, da diese eine Verteuerung erfahren. Dies bremst die Energiewende. Auch der Verzicht auf Verbrennungsmotoren zugunsten von Elektrofahrzeugen ist an den Strompreis gebunden. Sind die Anreize zu gering, wird die Lenkungswirkung des Instruments abgeschwächt und Potenziale werden nicht gehoben.¹⁹⁹

Für viele Energiewende-Technologien sind die EEG-Umlagekosten problematisch. Sowohl für Industrien, die in stromintensiven Anlagen investieren wollen, für H₂-Betreiber sowie für Speichersysteme führt die EEG-Umlage – sowie andere Steuern und Umlagen wie etwa die Stromsteuer – zu hohen Strompreisen und geringeren Investitionsanreizen. Energiespeicher, die nicht nur Verbrauchsspitzen abdecken können, sondern zudem ansonsten abgeregelte, regenerative Energien aufnehmen können, haben beispielsweise einen strukturellen Nachteil, da sie als Verbraucher gelten. So werden Batterien und Redox-Flow-Speicher, die nicht nur dem Eigenverbrauch dienen, sondern ins öffentliche Stromnetz einspeisen, mit der EEG-Umlage belastet, wie die Endverbraucher im Stromnetz. Formal kennt das deutsche Energierecht keine Speicherung, sondern nur die Erzeugung und den Verbrauch von Strom, wodurch Speicher als Verbraucher gelten. Hinzu kommt, dass aus rechtlichen Gründen der zwischengespeicherte, regenerativ erzeugte Strom aus Batterien seine „grüne Eigenschaft“ verliert.²⁰⁰ Hier sind im EEG in der Fassung von 2021 noch Verhandlungen nötig.²⁰¹ In einem Bericht wendet sich die Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen allerdings gegen die Neudefinition von Speichern im Stromnetz, zumal für stationäre Batteriespeicher, die in ein Versorgungsnetz einspeisen, bereits Stromsteuer-Sonderregelungen gelten.²⁰²

Weitere Instrumente zur Förderung einer nachhaltigen Energieversorgung

Neben den Ausstiegen aus der Kern- und Kohleenergie werden von Regierungsseite weitere Maßnahmen ergriffen, um den Umbau des Energieversorgungssystems voranzutreiben. Zusätzlich zur Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien werden effiziente Begleittechnologien gefördert. Hierzu gehört etwa die Kraft-Wärme-Kopplung. Die bei der Herstellung von Strom entstehende Wärme von KWK-Anlagen kann als direkte Wärme genutzt werden. Dies entspricht einer Effizienzsteigerung gegenüber der separaten Herstellung von Elektrizität und Wärme. Aus diesem Grund wird der Ausbau von KWK- und iKWK-Anlagen im Rahmen des KWK-Gesetzes gefördert und positive Anreize geschaffen.²⁰³ Der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. weist in einer Stellungnahme jedoch darauf hin, dass der zeitlich begrenzte Förderumfang von 3 000

¹⁹⁶ Netztransparenz.de 2021.

¹⁹⁷ Energiewissenschaftliches Institut 2020.

¹⁹⁸ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020d.

¹⁹⁹ Ebd.

²⁰⁰ Bundesverband Solarwirtschaft 2020.

²⁰¹ Bundesverband Energiespeicher 2020.

²⁰² Bundesnetzagentur 2020.

²⁰³ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020b.

zuschlagsfähigen Vollbenutzungsstunden zu gering ausfällt und es zu Wettbewerbsverzerrungen kommen kann. Weiterhin ist die Verordnung nicht technologieneutral formuliert, sodass iKWK auf Basis von Biomasse nicht förderbar sind.²⁰⁴ Mögliche Potenziale in der Energieeinsparung könnten somit ungenutzt bleiben.

Um die ambitionierten Klimaziele des European Green Deals zu erreichen, bedarf es neuer Technologien und Produktionsmethoden auch in den energieintensiven Industrien. Während Instrumente wie der EU-ETS den Ausstoß von CO₂ verteuern und somit indirekt einen Anreiz zur Investition in nachhaltige Technologien schaffen, gibt es weitere Instrumente mit direktem Anreiz. CO₂-Differenzverträge (Carbon Contracts for Difference, CCfD) sind regulatorische Instrumente der Regierungen, um Investitionen in nachhaltige Technologien zu unterstützen. Beim CCfD handelt es sich um einen Vertrag mit festgelegtem Preis, der zwischen der Regierung und einem Unternehmen abgeschlossen wird. Ziel ist es, die Kosten der Investitionen stabil zu halten. Liegt der Preis pro Tonne CO₂ am Markt unterhalb des vertraglich festgelegten Preises, entrichtet der Staat eine Entschädigungszahlung an das Unternehmen. Liegt der Marktpreis für das Verschmutzungsrecht oberhalb des vertraglichen Preises, ist das Unternehmen verpflichtet, eine Ausgleichszahlung in Höhe der Differenz an den Staat zu leisten. Auf diese Weise wird das Risiko der Investition in erneuerbare Energien abgemindert. CCfD werden lediglich für Projekte vergeben, die die Nachhaltigkeit der Unternehmen erhöhen. Darüber hinaus führt die Kopplung des Vertrages an Marktpreise für CO₂ dazu, dass nachhaltige Transformationsprojekte trotz niedriger CO₂-Preise wettbewerbsfähig bleiben, da Mehrkosten durch den Einsatz nachhaltiger Alternativen nicht an Käufer weitergegeben werden.²⁰⁵

Während das EEG den Ausbau erneuerbarer Energien fördert, setzt das nationale Emissionshandelssystem (nEHS) bei fossilen Brennstoffen an. Bislang sind der Wärme- und der Verkehrssektor nicht zum Erwerb von Emissionszertifikaten über das EU-ETS verpflichtet. Wie im Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung festgelegt, müssen Unternehmen beider Sektoren ab 2021 einen Preis pro emittierter Tonne CO₂ entrichten. Die Nutzung fossiler Rohstoffe wird teurer und Anreize zur Reduktion von CO₂

steigen. Die Bundesregierung plant, die Einnahmen aus dem nEHS zur Senkung der EEG-Umlage einzusetzen.

Die Ausgestaltung des nEHS dagegen, wie bereits eine Studie der Universität Duisburg-Essen festgestellt hat, berührt die Wettbewerbsfähigkeit von KWK-Anlagen so stark, dass sie sie verlieren können. Dies liegt daran, dass durch die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme eine Mehrbelastung bei der CO₂-Bepreisung für den Stromanteil anfällt, die nicht weitergegeben werden kann.²⁰⁶ Der Industrie- und der Wärmesektor sind gleichermaßen davon betroffen. Kann KWK nicht wirtschaftlich zur Eigenstrom- und -wärmeerzeugung genutzt werden, ergibt sich ein Gegensatz zur Förderung der Bundesregierung von KWK-Anlagen, die als wertvolle Helfer der Energiewende die Integration von erneuerbaren Energien in den Wärmesektor ermöglichen.²⁰⁷ Der Bundesverband der Kraft-Wärme-Kopplung e. V. (B.KWK) und der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. fordern in einer gemeinsamen Stellungnahme daher unter anderem die Einführung von ausgleichenden Maßnahmen, wie etwa einen gesonderten Emissionsfaktor auf Brennstoffe für hochinnovative KWK-Anlagen.²⁰⁸

Insgesamt wird die Ausweitung der CO₂-Bepreisung auf weitere Sektoren als positiv angesehen, da Wärme und Verkehr erheblich zum Ausstoß von Treibhausgasen beitragen und der nEHS ein wichtiges Signal darstellt. Eine Mengenbeschränkung der Zertifikate (CAP) sollte jedoch frühzeitig etabliert werden, um das Reduktionsziel gewährleisten zu können.²⁰⁹

Um die Wasserstoffwirtschaft voranzutreiben, sind verschiedene Förderprogramme sowie das CfD-Instrument relevant. Neben dem Herkunftsnachweis ist das Doppelvermarktungsverbot wichtig für den Markthochlauf der Technologie. Hiervon ausgenommen war lange Zeit Strom, der über das EEG gefördert wurde, damit es zu keiner doppelten Vermarktung der grünen Eigenschaften kam. Dies erschwerte es in Deutschland, Ökostrom an die Endverbraucher zu liefern.²¹⁰ Auch die Produktion von grünem Wasserstoff wurde durch das Doppelvermarktungsverbot lange behindert. Daher strebte die Bundesregierung bereits in ihrer Wasserstoffstrategie an, die Produktion von grünem Wasserstoff von der EEG-Umlage

²⁰⁴ Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft 2017.

²⁰⁵ Richstein & Neuhoff 2019.

²⁰⁶ Feste Zuschlagssätze nach dem Kraftwärmekopplungsgesetz (KWKG) können nicht rückvergütet werden. Dies führt zu einer wirtschaftlichen Schlechterstellung gegenüber reinen Wärmeerzeugern (beispielsweise Heizkesseln).

²⁰⁷ Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch 2020.

²⁰⁸ AFGW und BFGW 2020.

²⁰⁹ Achtnicht et al. 2019.

²¹⁰ Lichtblick.de 2020.

zu befreien.²¹¹ Im Rahmen einer Novelle wurde dieser Vorschlag im Dezember 2020 ins EEG übernommen.²¹² Auch das Beihilferecht der EU, das Märkte vor unlauterem Wettbewerb bewahrt und somit dem Schutz des gemeinsamen Binnenmarktes dient, wird als hemmender Faktor im Ausbau des grünen Wasserstoffs diskutiert. Dieser Aspekt ist in der NWS Deutschlands genannt – insbesondere im Hinblick auf entstehende Mehrkosten in der Industrie durch den verstärkten Einsatz von Wasserstoff.²¹³ So fordert der europäische Dachverband Hydrogen Europe eine Änderung des europäischen Beihilferechts, um Zuschüsse zu Betriebskosten bei der Umsetzung von Wasserstoffprojekten zu ermöglichen. Durch Investitionen seitens der Nationalstaaten solle die Wirtschaftlichkeit des grünen Wasserstoffs früher eintreten.²¹⁴

5.2 Rahmenbedingungen der Finanzierung

Das Erreichen der Ziele des European Green Deals und der Klimaschutzstrategie der deutschen Bundesregierung ist mit erheblichen Kosten auf volkswirtschaftlicher und betrieblicher Ebene verbunden. Um diesen Kosten bestmöglich zu begegnen, werden diverse Instrumente eingesetzt.

EU-weit erschien im Juni 2020 die Taxonomie-Verordnung. Mit ihrer Hilfe wird dem Kapitalmarkt ein System zur Klassifikation von nachhaltigen Tätigkeiten zur Verfügung gestellt. Damit soll es Anlegern künftig möglich sein, in nachweislich nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten zu investieren und so einen Beitrag zur Schließung der Investitionslücke und zur Umstrukturierung des Wirtschaftssystems zu leisten.²¹⁵ Wirtschaftsaktivitäten gelten als nachhaltig, wenn sie eines von sechs festgelegten Umweltzielen unterstützen. Diese sind Klimaschutz, Klimawandelanpassung, nachhaltige Nutzung von Wasserressourcen, Wandel zu einer Kreislaufwirtschaft, Vermeidung von Verschmutzung, Schutz von Ökosystemen und Biodiversität.²¹⁶ Die klare Abgrenzung von nachhaltigen zu konventionellen Tätigkeiten ist ein klares Signal der EU auf die Ausrichtung des Green Deals. Weiter wird durch die Klassifikation von Wirtschaftsaktivitäten anstelle von Finanzinstrumenten eine zielgerichtete Lenkung der

Kapitalströme zu nachhaltigen Projekten gewährleistet.

Neben der zielgerichteten Einbindung des Kapitalmarkts hat die EEG-Umlage in den vergangenen 20 Jahren effektiv zur Finanzierung erneuerbarer Energien beigetragen. Als Kritikpunkte am EEG werden jedoch häufig die steigenden Preise der EEG-Umlage aufgrund von steigenden Mengen erneuerbarer Energie im Strommix sowie die Regelungen zur Befreiung von energieintensiven Industrien genannt. Weiterhin hemmt die EEG-Umlage Innovationen, insbesondere im Bereich der Sektorenkopplung, da der Strompreis durch die Umlage steigt. Die Lenkungswirkung der EEG als Förderer erneuerbarer Energien und wichtiger Treiber der Energiewende sinkt.²¹⁷ Differenzverträge werden häufig als Alternative zum EEG genannt.²¹⁸ In Großbritannien werden Differenzverträge bereits heute zur Finanzierung von EE-Anlagen genutzt. Liegt der Marktpreis für Strom unterhalb des Referenzpreises, werden die Anlagenbetreiber entschädigt. Ist der Strompreis oberhalb des vertraglich festgelegten Referenzpreises, sind Betreiber verpflichtet, diese Differenz abzuführen. So wird ein sicherer Planungshorizont für Anlagenbetreiber gewährleistet und der Anreiz zur Investition in erneuerbare Energien steigt.²¹⁹

Während das EEG eine einseitig gleitende Marktprämie darstellt,²²⁰ bilden Differenzverträge eine gleitende Marktprämie ab. Im Vergleich zur einseitig gleitenden Marktprämie ist das Risiko einer stetigen Erhöhung der Umlage geringer, da der Anlagenbetreiber Überschüsse abführen muss. Im Vergleich zum EEG sinkt das Risiko eines stetigen Anstiegs des Gesamtstrompreises, die Verbraucher werden entlastet. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Risiko zu Spekulationen am Kapitalmarkt verglichen mit einseitig gleitenden Prämien steigt.²²¹ Beide Instrumente dienen der Absicherung von schwankenden Preisen am Strommarkt und schaffen daher Planungssicherheit. Der BDEW diskutiert in einem Positionspapier ausführlich die jetzige Finanzierung der erneuerbaren Energien sowie mögliche Alternativen.²²²

²¹¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020e.

²¹² Bundestag.de, o. J.

²¹³ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020e.

²¹⁴ Energate-messenger.de 2020.

²¹⁵ Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht 2020.

²¹⁶ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020d.

²¹⁷ Dena 2017.

²¹⁸ Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft 2019a.

²¹⁹ May et al. 2018.

²²⁰ Anlagenbetreibern werden Verluste aus der Differenz zwischen dem fixierten Preis und dem Strommarktpreis vergütet. Liegt der Marktpreis jedoch unter dem Fixpreis, sind die Betreiber nicht zur Entrichtung verpflichtet.

²²¹ Energy-mavens.de 2020.

²²² Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft 2019b.

5.3 Zwischenfazit zu den regulatorischen Aspekten

Die Energiewende ist ein wichtiger Baustein in der Erreichung der Ziele des EU Green Deals. Viele der genannten regulatorischen Maßnahmen haben bereits jetzt einen Effekt auf die Energiebranche. Dieser Effekt wird sich verstärken.

- Instrumente wie das EU-ETS haben eine lenkende Wirkung. Durch die faktische Verteuerung von Emissionen werden Anreize zur Investition in erneuerbare Energien geschaffen. Des Weiteren wird die Verstromung fossiler Brennstoffe teurer. Die Differenz zwischen herkömmlichen Strompreisen und dem Strom aus erneuerbaren Energien sinkt. Dies äußert sich in einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Anbietern nachhaltig hergestellter Energie, die Energiewende wird voran getrieben.
- Weitere Instrumente wie die kostenlose Ausgabe von Emissionszertifikaten an CL-gefährdete Sektoren oder der Grenzausgleich sorgen dafür, dass Unternehmen der Anreiz genommen wird, ins nicht regulierte EU-Ausland abzuwandern. Die Verlagerung der Wertschöpfung kann auf diese Weise verhindert werden und Arbeitsplätze im Inland gehalten.
- Die Regularien auf EU-Ebene werden voraussichtlich dazu führen, dass eine beträchtliche Anzahl von Arbeitsplätzen im Bereich der Herstellung von Energie auf Basis konventioneller Rohstoffe verloren geht. Der notwendige Ausbau der EE wird hingegen eine Vielzahl neuer Arbeitsplätze generieren, sei es in der direkten Produktion erneuerbarer Energien oder in benachbarten Bereichen. Hierzu zählen etwa der notwendige Ausbau des Stromnetzes oder die Umrüstung von Anlagen (induziert durch die LC BREF aus dem Jahr 2017).²²³ Allerdings haben konventionelle und erneuerbare Energiebereiche häufig unterschiedliche Betriebsstrukturen und Beschäftigungsverhältnisse.
- Der CCfD, der zwischen der Regierung und einem Unternehmen geschlossen wird, unterstützt Unternehmen gezielt bei der Transformation in ein nachhaltigeres Geschäftsfeld. Die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen bleibt trotz massiver Investitionen in den Umbau sichergestellt.
- Geltende Finanzierungsinstrumente der Energiewende wie die EEG-Umlage haben erheblich dazu beigetragen, die Energiewende voranzutreiben. Weitere Instrumente auf EU- und Landesebene können einen unterstützenden Beitrag leisten.

²²³ OECD 2017.

6. SWOT-Analyse

Die SWOT-Analyse (Abbildung 25) baut auf den Ergebnissen dieses Branchenausblicks 2030+ auf. Sie betrachtet aktuelle positive Entwicklungen der deutschen Energiewirtschaft (Stärken, **Strengths**), aktuelle Hemmnisse (Schwächen, **Weaknesses**), künftige oder durch externe Faktoren hervorgerufene Möglichkeiten für die Energiewirtschaft (Chancen, **Opportunities**) sowie Herausforderungen (Risiken, **Threats**).

Stärken

Die Energiewirtschaft befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel. Die Gewinnung fossiler Energie wird zugunsten der EE deutlich reduziert. Die Energiewende schafft eine Reihe neuer Arbeitsplätze in Deutschland. Bereits heute sind rund 330 000 Beschäftigte im EE-Bereich tä-

tig. Knapp die Hälfte davon ist der Windbranche zuzuordnen. 106 000 Menschen sind beschäftigt im Bereich der Biomasse und 40 000 in der Solarenergie.²²⁴ Durch den steigenden Anteil erneuerbarer Energien werden weitere Arbeitsplätze in der Energieversorgung und verwandten Bereichen (etwa Anlagenbau) geschaffen. Ob diese Anzahl neuer Arbeitsplätze bevorstehende Stellenreduktionen in konventionellen Sektoren ausgleichen kann, bleibt noch offen und wird sich mittelfristig zeigen. Als weitere Stärke ist die Position Deutschlands als relevanter Forschungs- und Industriestandort zu nennen. Allein der Bund hat 2019 rund 1,17 Milliarden Euro für die Energieforschung aufgebracht, 21 Prozent davon für Forschung im EE-Bereich und 17 Prozent für die Energie-Effizienzforschung. Auch auf verwandte Bereiche wie Speicher-

Abbildung 25: SWOT-Analyse

<h3>Stärken ("Strengths")</h3> <ul style="list-style-type: none"> ☺ Forschungs- und Technologiestandort Deutschland. ☺ Beschäftigungseffekte in erneuerbarer Energieproduktion. ☺ Beschäftigungseffekte und Anlagenbau (Neu-, Um- und Abbau). 	<h3>Schwächen ("Weaknesses")</h3> <ul style="list-style-type: none"> ☹ Mühsamer Ausbau der Wärme- und Stromnetze und Speicherung. ☹ Integration dezentraler Energiequellen. ☹ Fortbestehende Abhängigkeit von Kohlestrom und Kernenergie aus dem Ausland. ☹ Beschäftigungseffekte des Ausstieges aus fossiler Energieproduktion inkl. Fachkräfte-/ Nachwuchssicherung herkömmlicher KW.
<h3>Chancen ("Opportunities")</h3> <ul style="list-style-type: none"> ☺ Wachstumschancen durch Energiewende. ☺ Imagesteigerung der Energiebranche durch Schlüsselrolle im Kampf gegen den Klimawandel. ☺ Finanzielle Anreize und Unterstützung staatlicher Seite für nachhaltige Energieproduktion. ☺ Speichersysteme und Sektorenkopplung ergänzend zu EE, Mobilität und Wärme. 	<h3>Risiken ("Threats")</h3> <ul style="list-style-type: none"> 🚫 Regulierungen unabhängig von Nachhaltigkeitsbedarfen der Industrie. 🚫 Umsetzung strenger EU-Vorschriften (wie LCP BREF). 🚫 Akzeptanz neuer Energiequellen und nachhaltiger Produkte (Elektromobilität, PV). 🚫 Konkurrenz durch dezentrale Energieträger.

Quelle: VDI TZ, eigene Darstellung

²²⁴ Bundesregierung 2020a.

technologien, Wasserstoff- und Brennstoffzellen sowie übergreifende Technologieforschung wurde ein Großteil der Bundesmittel verwendet.²²⁵

Schwächen

Als potenzielle Schwäche der Energiebranche gilt der stagnierende Aus- und Umbau der Wärme- und Stromnetze, der sich durch die Corona-Pandemie weiter zugespitzt hat. Durch die Energiewende stehen die bestehenden Netze neuen Anforderungen gegenüber. Strom aus Wind- und Sonnenenergie unterliegt einer höheren Volatilität. Herkömmliche Kraftwerke gleichen die so entstehende Differenz aus (Redispatch), was jedoch mit Effizienzverlusten einhergeht. Durch den steigenden EE-Anteil am Strommix wird die Volatilität zukünftig ansteigen. Auch hat Strom aus erneuerbaren Energien, beispielsweise Offshore-Windenergie, teils weite Strecken vom Erzeugungs- zum Endverbrauchsort zurückzulegen. Insgesamt sollen in den nächsten Jahren 7 500 km des Übertragungsnetzes ausgebaut werden. Wichtig ist weiterhin der Ausbau der Netze innerhalb Europas, da die Energiewende künftig vermehrt im europäischen Zusammenhang zu betrachten ist. Ein gemeinsames Netz führt zu Kostensenkungen und erleichtert den Stromaustausch mit Nachbarländern.²²⁶ Trotz einer zuletzt deutlichen Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs übersteigt der innerdeutsche Verbrauch noch immer deutlich die im Inland hergestellte Energiemenge, was den Import von Primärenergie aus dem Ausland notwendig macht. Insbesondere Mineralöle, Gase, aber auch Steinkohle und Kernenergie werden importiert, um den Energiebedarf im Inland zu decken. Letzteres ist besonders relevant, da Deutschland den Ausstieg aus der Kernenergie und der Kohleverstromung bis 2022 und 2038 beschlossen hat, zum jetzigen Zeitpunkt aber weiterhin auf die Nutzung beider Energiequellen angewiesen ist.

Der Ausstieg aus der Kohleverstromung ist notwendig, um die Klimaschutzziele zu erreichen und den Ausstoß von Treibhausgasen zu minimieren. Die Schließungen konventioneller Kraftwerke bedeuten jedoch Verluste von Arbeitsplätzen. Inwiefern neu geschaffene Arbeitsplätze im Bereich der nachhaltigen Stromerzeugung die Arbeitsplatzverluste durch Kohle- und Kernenergieausstieg auffangen können, wird sich mittelfristig zeigen. Ein wichtiger Aspekt für die Versorgungssicherheit ist der Fachkräftenachwuchs. Zwar ist der Ausstieg aus der Kohleverstromung bis 2038 beschlossen, doch müssen die Kraftwerke bis dahin betrieben, instandgehalten und anschließend

rückgebaut werden. Eine Schwierigkeit besteht darin, qualifizierte Arbeitskräfte in einer „auslaufenden“ Industrie halten und neue für sie gewinnen zu können.

Chancen

Zu den wohl größten Chancen der Energiewirtschaft gehören die Wachstumschancen durch die Energiewende. Die Schlüsselrolle der Energiebranche im Kampf gegen den Klimawandel führt zu einer erheblichen Imagesteigerung. Dies erhöht den Zugang zu Fach- und Nachwuchskräften. Regulatorische Rahmenbedingungen und finanzielle Anreize von Seiten der Regierung geben den Unternehmen Planungssicherheit und reduzieren die Gefahr von Fehlinvestitionen. Eine relative Reduktion des Preises erneuerbarer Energie verglichen mit fossilen Energieträgern führt zu einem Nachfrageanstieg. Die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen im nachhaltigen Energiesektor wird erhöht. So wird beispielsweise die CO₂-Bepreisung in Verbindung mit Anreizsystemen dazu führen, dass die Nachfrage an Strom im Mobilitätsbereich ansteigt, während es zu einem Nachfragerückgang bei konventionellen Energieträgern kommt.

Der steigende Anteil erneuerbarer Energien geht derzeit mit hoher Volatilität im Stromnetz einher. Um Effizienzverlusten entgegenzuwirken, eignen sich Energiespeichersysteme, die den Verlusten aus Hochlastzeiten entgegenwirken und Bedarfe in Niedriglastzeiten ausgleichen können. Auch durch die voranschreitende Digitalisierung und den Einsatz von smarten Messsystemen kann eine bessere Auslastung der Netze durch aktives Demand Management umgesetzt werden. Als grundlegend erforderlich hierfür gelten die Einführung variabler Tarife und innovativer Messsysteme. Eine weitere geeignete Maßnahme, um den Herausforderungen des Klimawandels effizient entgegenzutreten zu können, ist die Sektorenkopplung.

Risiken

Zu den Risiken, denen die Energiewirtschaft begegnen muss, gehören insbesondere regulatorische Rahmenbedingungen auf deutscher und europäischer Ebene. Insbesondere Erzeuger konventioneller Energien werden von einer Reihe von Gesetzen und Vorschriften sehr stark beeinflusst. Neben den Ausstiegen aus der Kohleverstromung und der Kernenergie, die den Betrieb verwandter Kraftwerke gänzlich verbieten, erhöhen weitere Regularien wie das LCP BREF²²⁷ die Betriebskosten für Anlagen durch die Durchsetzung von Richtwerten.

²²⁵ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020c.

²²⁶ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, o. J. e.

²²⁷ LCP ist die englische Abkürzung für Large Combustions Plants (dt. Großfeuerungsanlagen). BREF ist die engl. Abkürzung für Best Available Techniques Reference oder Best Available Techniques Reference Document, kurz: BAT Reference oder BAT Reference Document. Im Deutschen wird der Begriff „BREF“ stellvertretend für ein BVT-Merkblatt verwendet.

Neben neuen Anforderungen im Zuge der Energiewende stellt auch gesteigerter Wettbewerb ein wachsendes Risiko dar. War die Energiewirtschaft ehemals geprägt von zentralen Kraftwerken, die die notwendige Energie an alle (gewerblichen und industriellen) Endverbraucher verteilte, steigt die Anzahl der dezentralen Energiequellen heute stetig an. Dazu zählen private PV-Anlagen ebenso wie intelligente Systeme zum Energiemanagement. Der Wettbewerb steigt, was die Gewinne der großen Energie-Unternehmen reduziert. Kraftwerke agieren längst nicht mehr nur als Versorger, sondern stehen vor Herausforderungen in der Steuerung der Kraftwerksleistung. In einer Studie des Beratungsunternehmens Ernst & Young benannten Führungskräfte der Energiebranche dezentrale Energieträger als größtes zukünftiges Risiko.²²⁸

Auch die voranschreitende Digitalisierung im Bereich der Energieerzeugung birgt einige Risiken. Durch die Substitution von Energieerzeugungsanlagen auf Basis fossiler Brennstoffe durch Anlagen, die mit erneuerbaren Energien betrieben werden, gehören viele EE-Anlagen bereits heute zur kritischen Infrastruktur (KRITIS).²²⁹ Mit steigendem Grad der Digitalisierung steigt auch die Gefahr von Hackerangriffen und Sabotageversuchen. Aus diesem Grund müssen auch Energieversorger nach dem IT-Sicherheitskatalog gemäß § 11 Abs. 1a EnWG zertifiziert sein, um die Risiken bestmöglich zu minimieren.²³⁰

²²⁸ Chambers 2018.

²²⁹ Der Begriff kritische Infrastruktur bezeichnet Anlagen, die für die Versorgung von mehr als 500 000 Personen zuständig sind.

²³⁰ Tuvsud.de o. J.

7

7. Innovations- und industriepolitische Handlungsoptionen für eine erfolgreiche Transformation

Der Branchenausblick 2030+ zur Energiewirtschaft soll als Grundlage für die Entwicklung strategischer Handlungsoptionen dienen – für Gewerkschaften, Betriebsräte, Politik, Unternehmen und Beschäftigte bei der Gestaltung einer nachhaltigen Weiterentwicklung der Industriegesellschaft.

Im abschließenden Kapitel 7 werden die zentralen zukünftigen Herausforderungen für die Branche nochmals kurz aufgegriffen und mit innovations- und industriepolitischen Handlungsoptionen diskutiert. Deutlich wird: Um als moderne, innovative und nachhaltige Branche in der breiten Öffentlichkeit gesehen zu werden, wird die Energiewirtschaft gleich mehrere Handlungsfelder systematisch und kohärent auf mehreren Ebenen angehen müssen. Davon sind nicht nur das Gelingen der geplanten Energiewende und die Integration einer Vielzahl neuer Technologien abhängig, sondern auch der hinreichende Zulauf qualifizierten Personals und Gute Arbeit im Sinne guter Arbeitsbedingungen.

7.1 Handlungsfeld Investitionen in emissionsfreie Energiegewinnung und Energieeffizienz

Es scheint ein weitreichender Konsens in Wissenschaft und Wirtschaft darüber zu herrschen, dass der Ausbau erneuerbarer Energien zu langsam vorangeht, um die nationalen und europäischen Klimaziele zu erreichen. Die Verfügbarkeit nachhaltig erzeugten Stroms ist die Grundlage einer Vielzahl nachhaltiger Prozesse im Energie- und Wärmesektor. Industrielle Forschung und Produktion sowie neue Technologien wie die „grüne“ Wasserstoffelektrolyse sind auf große Mengen erneuerbaren Stroms angewiesen. Der Anteil am Gesamtstrommix hat sich in den vergangenen Jahren, auch dank EEG-Umlage, stetig erhöht, muss zur Erreichung der europäischen Klimaziele jedoch weiter beschleunigt werden. Dafür plant die EU-Kommission beispielsweise Investitionen besonders in Off-Shore-Windkraft. Im Rahmen der 2020 veröffentlichten EU Offshore Renewable Energy Strategy (ORES) wird angestrebt, Kapazitäten bis 2030 von 12 auf 60 Giga-

watt anzuheben, bis 2050 sogar auf 300 Gigawatt.²³¹ Die Europäische Wasserstoffstrategie setzt neben Solar- vor allem auf Windenergie, um große Mengen emissionsfreien Wasserstoff herstellen zu können. Darüber hinaus sieht die ORES als zentralen Teil des European Green Deal vor, Aus- und Weiterbildungen in technischen Bereichen und Aktivitäten im Dienstleistungssektor zu unterstützen, die sich mit Offshore-Windenergie befassen. Durch diese und weitere Maßnahmen, wie die Stärkung vorhandener Lieferketten, verbesserte Rahmenbedingungen zur internationalen Kooperation und Standardisierung, soll der Markthochlauf nachhaltig gesichert werden.²³²

Es sind weitere wirtschaftliche Anreize sowohl für Endverbraucher aus der Industrie wie für Privathaushalte zu schaffen. Maßnahmen wie energetische Gebäudesanierungen, Umstieg auf elektrische Mobilität oder die Annahme smarterer und nachhaltiger Technologien (PV-Anlagen, Wärmepumpen) sind gezielt umzusetzen. Sie könnten die Energieeffizienz erhöhen. Mit dem Wachstum entsprechender Technologie- und Dienstleistungsmärkte sind politische Rahmenbedingungen nötig, um die flächendeckende Annahme dieser Maßnahmen und deren Wirtschaftlichkeit sicherzustellen. Das enorme Wachstumspotenzial in den kommenden Jahrzehnten bietet eine Chance für positive Arbeitsplatzeffekte bei der Schaffung „grüner“ Jobs in der Energiewirtschaft.²³³

7.2 Handlungsfeld Investitionen in den Ausbau von Infrastrukturen beschleunigen

Neben dem Ausbau regenerativer Energiegewinnung stehen Deutschland und die EU vor der Herausforderung, dringend benötigte Netzstrukturen zu schaffen. Aktuell wird von einer hohen Belastung der bestehenden Stromnetze ausgegangen. Es wird bereits regelmäßig berichtet, dass Ökostromanlagen abgeregelt werden.²³⁴ Da in Deutschland ein gesetzliches Einspeiseprivileg für erneuerbaren Strom besteht, müssen bei Überbelastung des Netzes zunächst fossile Kraftwerke gedrosselt werden und anschließend Ökostromanlagen. Wird die Abnahme-

²³¹ Rp-online.de 2020.

²³² Europäische Kommission 2020d.

²³³ Kobiela et al. 2020.

²³⁴ Schultz 2021.

pflicht aufgrund von Überlastungen gebrochen, werden Anlagenbetreiber entschädigt. Dies verursachte laut Umweltbundesamt 2020 Entschädigungen für Anlagebetreiber in Höhe von 1,34 Milliarden Euro, diese Kosten werden auf Endverbraucher verteilt. Ein schnellerer Netzausbau könnte dem entgegenwirken. Er wird seit mehreren Jahren gefordert und ist weiterhin dringlich.²³⁵

Modernisierte und ausgebaute Infrastrukturen werden nicht nur im Bereich der Stromnetze erwartet, auch im Wärmesektor sehen Branchenverbände eine entschiedenere Fokussierung auf den Wärmenetzausbau und die Förderung von Technologievernetzungen als dringend erforderlich an.²³⁶ Darunter fallen die Modernisierung bestehender Leitungen, KWK-Anlagen und der Ausbau moderner, regionaler Nahwärmenetze und der regenerativen Fernwärme. Begleitend zu einer technologischen Förderung können (kommunale) Informations-, Kommunikations- und Sensibilisierungsmaßnahmen ergriffen werden, um in den Dialog mit breiten Teilen der Bevölkerung zu treten. Dabei können Themen wie Alltagsimplikationen smarter Netze, Anschaffung und Nutzung von Speichertechnologien und selbstständige Erzeugung regenerativer Energie anschaulich diskutiert werden.

7.3 Handlungsfeld Wasserstofftechnologien und Anwendungsfelder

Mit der Veröffentlichung der Nationalen Wasserstoffstrategie in Deutschland wurde der Grundstein zu einer sich in der frühen Entwicklung befindenden Wasserstoffwirtschaft gelegt.²³⁷ Wasserstoff wird absehbar eine zentrale Stellung als Speichermedium einnehmen und in den Sektoren Mobilität, Chemie und Stahlherzeugung zum Einsatz kommen. Es gilt, in den kommenden Jahren Voraussetzungen für einen wettbewerbsfähigen Markt zu schaffen. Dazu zählen die Entwicklung einer konkreten Vision, eine dynamische Identifizierung der aktuell wichtigsten Anwendungsfelder und gezielte Investitionen durch Förderprogramme. Konkret bedarf es einer gesicherten Basis erneuerbarer Energien zur Erzeugung von Wasserstoff und zusätzliche Möglichkeiten zum Import „grünen“ Wasserstoffs. Neben der Erzeugung ist der Transport des Wasserstoffs eine zu lösende Herausforderung, vor allem dann, wenn er nicht unmittelbar nach Erzeugung genutzt werden kann.

„Innovationsfreundliche“ Rahmenbedingungen bieten der Industrie nötige Spielräume für Forschung und Entwicklung, vor allem zur Leistungssteigerung und Kostenminimierung, und damit Möglichkeiten zur Schaffung zukunftsfähiger Arbeitsplätze.²³⁸ Prognosen von Branchenverbänden deuten darauf hin, dass sich die Anzahl neu geschaffener Arbeitsplätze bis 2030 auf 70 000 erhöhen könnte, besonders im Bereich der mittel- bis hochqualifizierten Fachkräfte.²³⁹ Die Schätzungen, wie viele neue Arbeitsplätze entstehen könnten, variieren je nach Studie jedoch stark. Eine Studie des Wuppertal Instituts und DIW Econ geht hier von einem Zuwachs von 800 000 Arbeitsstellen bis 2050 aus, wenn Deutschland einen Großteil des nachgefragten Wasserstoffs selbst produzieren würde.²⁴⁰ Demgegenüber prognostiziert der Verbund Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking für die gesamte EU ein Wachstum von einer Million Stellen bis 2050.²⁴¹ Eine Studie von IW Köln und Frontier Economics erwartet bei einer hohen Nachfrage bis 2050 für den gesamten PtX-Sektor etwa 470 000 neue Arbeitsplätze in Deutschland.²⁴²

Es gilt, früh Kooperationsvereinbarungen im Bereich FuE und im Handel zu treffen, um langfristige Beziehungen auf wirtschaftlicher und politischer Ebene einzuleiten.²⁴³ Eine Studie im Auftrag der Agora Energiewende geht davon aus, dass Deutschland im Jahr 2050 etwa 31 Prozent des nachgefragten Wasserstoffs selbst produziert und den restlichen Teil importiert.²⁴⁴ In der Nationalen Wasserstoffstrategie vertritt die Bundesregierung ebenfalls die Ansicht, dass auch in Zukunft ein Großteil des nachgefragten Wasserstoffs importiert werden muss. Die Strategie sieht vor, bis 2030 bis zu 14 TWh in Deutschland zu produzieren, bei einer angenommenen Nachfrage von 90 bis 110 TWh.²⁴⁵ Die Wasserstoffstrategie der Europäischen Kommission, wie bereits in Abschnitt 7.1 dargelegt, setzt vor allem auf Wind- und Solarenergie, um „grünen“ Wasserstoff für den Heimatmarkt herzustellen.

7.4 Handlungsfeld Fokus auf innovations- und industriepolitische Instrumente legen

Innovations- und industriepolitische Instrumente wie Reallabore oder Experimentierräume spielen in der Erprobung neuer Technologien, Dienstleitungen und

²³⁵ Wachsmuth & Gößling-Reisemann 2013.

²³⁶ Pantua 2020.

²³⁷ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020e.

²³⁸ Kaiser & Malanowski 2020.

²³⁹ Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband 2018

²⁴⁰ Wupperinst.org 2020 und Fidan 2020.

²⁴¹ Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking 2019.

²⁴² IW Köln & Frontier Economics 2018.

²⁴³ Helbing et al. 2019.

²⁴⁴ Prognos AG et al. 2020.

²⁴⁵ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020e.

sozio-technischen Abläufe eine zusehends größere Rolle. Mit diesen Instrumenten werden in einem festgelegten und begrenzten zeitlichen und geografischen Rahmen innovative Konzepte getestet. Dabei ist bedeutsam, rechtliche Gestaltungsspielräume zu nutzen, um Prozesse des regulatorischen Lernens im Dialog verschiedener Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft anzustoßen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie fördert im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms das Förderformat „Reallabore der Energiewende“.²⁴⁶ Die bereits gestarteten Projekte befassen sich beispielsweise damit, in Wohnquartieren energieoptimierte Strukturen zu schaffen (durch die konkrete Etablierung emissionsfreier Versorgungssysteme oder Entwicklung neuer Geschäftsmodelle an Schnittstellen eines modernen Energiesystems).

Als Handlungsfeld bezüglich der Dekarbonisierung der Energiewirtschaft können die Förderungen von solchen Praxisinstrumenten auch zukünftig stärker in den Blickpunkt genommen werden. Insbesondere in der Energiewende, für die das Zusammenwirken verschiedenster Akteure und eine bedarfsgerechte und sehr dynamische Weiterentwicklung regulatorischer Rahmenbedingungen sehr essenziell ist, können Instrumente wie Reallabore wichtige Erkenntnisse schaffen und Entwicklungen vorantreiben. Experimentierräume bieten weiterhin den Vorteil, dass von Beginn an Beschäftigte und Beschäftigtenakteure in Lern- und Erprobungsprozesse miteinbezogen werden können und so zur Perspektivenvielfalt im Innovationsprozess beitragen können.

7.5 Handlungsfeld Fortbildung und Qualifizierungsprogramme fördern

Aufgrund der in diesem Branchenausblick beschriebenen technologischen und regulatorischen Transformationstrends werden sich in Zukunft verschiedenste Berufe der Energiewirtschaft weiter verändern. Im Zuge der Digitalisierung und einer verstärkten Einbindung heterogener Technologien in komplexer werdende Netzstrukturen wandeln sich Anforderungsprofile erheblich. Zudem entwickeln sich neue Formen der Arbeitsorganisation.

Um flächendeckenden Anforderungen und Qualifizierungsprofilen gerecht zu werden, bedarf es konsequent auf die Transformation ausgerichteter Ausbildungsmöglichkeiten. Für die bereits in der Branche tätigen Beschäftigten könnte Arbeitsplatzsicherheit durch geförderte zukunftsfähige Fort- und Weiterbildungsmöglichkeiten

(in Bereichen wie Speichertechnologie, intelligente Messsysteme und erneuerbare Energien) sichergestellt werden. Insbesondere im Hinblick auf Entwicklungsaspekte der Digitalisierung wird es an Bedeutung gewinnen, ältere Teile der Belegschaft nicht „abzuhängen“ und Fachkräfte der konventionellen Energiewirtschaft während des Strukturwandelprozesses aufzufangen. Dem Betriebsrat und den Gewerkschaften kommt hier die verantwortungsvolle Rolle zu, diese Veränderungen entscheidend zu begleiten und beschäftigtenkonform zu gestalten. In einer Analyse der Digitalisierung der Energiewirtschaft wird betont, dass sich nahezu alle Berufsgruppen in der Energiebranche durch digitale Arbeitsprozesse grundlegend transformieren werden, was den Wert kontinuierlicher Lernprozesse klar unterstreicht. Zudem werden die potenziellen Arbeitserleichterungen und Unterstützungsmöglichkeiten betont, die mit digitalisierten Abläufen einhergehen können.²⁴⁷

Neue auf dem Energiemarkt entstandene Unternehmen sind häufig im Sektor der Energiedienstleistung zu finden (Stromhandel, Emissionshandel oder Effizienzstrategien) und bringen wiederum neue Jobprofile und Anforderungen mit sich. In der übergroßen Mehrheit sind es jedoch KMU ohne Arbeitnehmervertretungen, wodurch sie sich von den etablierten großen Unternehmen deutlich unterscheiden.²⁴⁸ Zu rein technischen Voraussetzungen künftiger Tätigkeitsprofile können ebenfalls Kenntnisse bezüglich des Klimawandels und der Klimapolitik gehören sowie Sensibilisierungen mit Blick auf Ressourceneffizienz und Energieautarkie.

Darüber hinaus gilt es in Deutschland und Europa verstärkt zu diskutieren, wie bereits in der schulischen Bildung diese Themen passend aufgegriffen und gefördert werden können, um Kinder und Heranwachsende frühzeitig für eine regionale, ressourcensparende und insgesamt nachhaltige Energieversorgung zu sensibilisieren.²⁴⁹ Interessenvertretungen wie Betriebsrat und Gewerkschaften können in solchen innovations-, industrie- und bildungspolitischen Prozessen als wichtige Mittler und Promotoren neuartiger nachhaltiger Ideen fungieren.²⁵⁰

²⁴⁶ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, o. J. a. – Hier findet sich zudem eine Übersicht über alle geförderten Projekte.

²⁴⁷ Roth 2018.

²⁴⁸ Energy-career.de, o. J.

²⁴⁹ Wachsmuth et al. 2013.

²⁵⁰ Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie, o. J.

8. Literaturverzeichnis

Achtnicht, M.; Germeshausen, R. & Graevenitz, K. von (2019): Wärmewende im Gebäudesektor: Lasst den CO₂-Preis wirken. ZEW Policybrief (7), <http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/policybrief/de/pb07-19.pdf>

AFGW & GFGW (2020): Stellungnahme zum Entwurf eines Ersten Gesetzes zur Änderung des Brennstoffemissionshandelsgesetzes, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Glaeserne_Gesetze/19._Lp/behg_aenderung/Stellungnahmen/behg_aenderung_stn_agfw_bkww_bf.pdf

AGEB (2020): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre 1990 bis 2019, Stand: September 2020, https://ag-energiebilanzen.de/#awt_2019_d

Agentur für erneuerbare Energien (2016): Leitfaden. Argumente für die kommunale Wärmewende, https://www.xn--mitmachwrme-s8a.de/wp-content/uploads/2018/07/mitmachwaerme-160718-ae-leitfaden_argumente_waermewende_2016_web.pdf

Agora Energiewende (2018): Stromnetze für 65 Prozent Erneuerbare bis 2030. Zwölf Maßnahmen für den synchronen Ausbau von Netzen und Erneuerbaren Energien, https://static.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/Stromnetze_fuer_Erneuerbare_Energien/Agora-Energiewende_Synchronisierung_Netze-EE_Netzausbau_WEB.pdf

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch (2021): Auswirkungen des nationalen Emissionshandelssystems auf KWK-Anlagen, https://asue.de/aktuelles_presse/bkww-studie-behg-auswirkung_auf_die_kwk

Asue.de (2020): Neues KWKG beschlossen, https://www.asue.de/aktuelles_presse/neues_kwkg_beschlossen

Bbh-blog.de (2021): Was lange währt: Die Bundesregierung bringt die Änderung der 13. BImSchV auf die Zielgerade, <https://www.bbh-blog.de/alle-themen/emissionshandel/was-lange-waehrt-die-bundesregierung-bringt-die-aenderung-der-13-bimschv-auf-die-zielgerade/>

Bieritz, L. (2015): Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Energiewirtschaft: Welche Folgen hat die Erwärmung auf die Energieerzeugung und -verteilung? <https://www.econstor.eu/handle/10419/121458>

Bieschke, N.; Vorwerk, L. & Beckers, T. (2018): Kapazitätsauslegung und-allokation bei Stromverteilnetzen unter Berücksichtigung neuer Lasten aus dem Verkehrs- und Wärmesektor. Eine (institutionen-) ökonomische Analyse. Arbeitspapier im Rahmen des vom BMBF geförderten Kopernikus-Projektes ENa-vi, https://www.wip.tu-berlin.de/fileadmin/fg280/forschung/publikationen/2018/bieschke_vorwerk_beckers_2018-kapazit%C3%A4tsauslegung_und_allokation_bei_stromverteilnetzen.pdf

Baulinks.de (2021): Dank Corona sank der Energieverbrauch in Deutschland auf historisches Tief, <https://www.baulinks.de/webplugin/2021/0008.php4>

Branke, D. (2009): So fährt der Elektro-Smart, <https://www.autobild.de/artikel/smart-electric-drive-1024301.html>

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019): Standardisierungsstrategien zur sektorübergreifenden Digitalisierung nach dem Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/S-T/standardisierungsstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Bundesamt für Wirtschaft- und Ausfuhrkontrolle (2018): Merkblatt für innovative KWK-Systeme, https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/kwk_merkblatt_innovative_kwk-systeme.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (o. J.): Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (Wärmenetzsysteme 4.0), https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/waermenetze_node.html

Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht (2020): Nachhaltigkeit messbar machen, https://www.bafin.de/SharedDocs/Veroeffentlichungen/DE/Fachartikel/2020/fa_bj_2008_Taxonomie-VO.html

Bundesministerium für Bildung und Forschung (o. J. a): Wie das Leitprojekt H₂Giga Elektrolyseure zur Wasserstoff-Herstellung in die Serienfertigung bringen will, <https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/leitprojekte/h2giga>

Bundesministerium für Bildung und Forschung (o. J. b): Wissenswertes zu Grünem Wasserstoff, <https://www.bmbf.de/de/wissenswertes-zu-gruenem-wasserstoff-11763.html>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2020): Klimaschutz in Zahlen: Der Sektor Energiewirtschaft, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_in_zahlen_energiewirtschaft_bf.pdf

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019): Mehr Tempo beim Netzausbau – Gesetz zur Beschleunigung des Energieleitungsausbaus tritt in Kraft, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2019/20190516-gesetz-zur-beschleunigung-des-energieleitungsausbau-tritt-in-kraft.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020a): Der Netzausbau schreitet voran (Stand: März 2020), <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/planungsstand-netzausbauvorhaben.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020b): Kraft-Wärme-Kopplung, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/moderne-kraftwerkstechnologien.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020c): Sammelwerk Energiedaten. Stand: Oktober 2020, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/energiedaten-gesamt-pdf-grafiken.pdf?__blob=publicationFile&v=38

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020d): Schlaglichter der Wirtschaftspolitik 12 · Dezember 2020, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Schlaglichter-der-Wirtschaftspolitik/schlaglichter-der-wirtschaftspolitik-12-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=20

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020e): Die Nationale Wasserstoffstrategie, <https://www.bmbf.de/files/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021): Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz), <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Service/kohleausstiegsgesetz.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (o. J. a): Blaupausen für das Umsetzen der Energiewende: Reallabore greifen zentrale Herausforderungen im industriellen Maßstab auf, <https://www.energieforschung.de/spotlights/reallabore>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (o. J. b): Energiepolitik, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/europaeische-energiepolitik.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (o. J. c): Erneuerbare Energien, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (o. J. d): Kohle, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/kohlepolitik.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (o. J. e): Ein Stromnetz für die Energiewende, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/netze-und-netzausbau.html>

Bundesnetzagentur & Bundeskartellamt (2020): Monitoringbericht 2019, https://www.bundeskartellamt.de/SharedDocs/Publikation/DE/Berichte/Energie-Monitoring-2019.pdf;jsessionid=32AC71236CD29D7397D-235F5C7E43EA7.1_cid362?__blob=publicationFile&v=5

Bundesnetzagentur (2020): Regelungen zu Stromspeichern im deutschen Strommarkt, https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Speicherpapier.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Bundesnetzagentur (o. J. a): Engpassmanagement, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Engpassmanagement/engpassmanagement-node.html

Bundesnetzagentur (o. J. b): Moderne Messeinrichtungen / Intelligente Messsysteme, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Verbraucher/Metering/SmartMeter_node.html#FAQ695338

- Bundesregierung (2020a):** Ein neues Zeitalter hat begonnen, <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/energie-erzeugen/erneuerbare-energien-317608>
- Bundesregierung (2020b):** Grundlage für CO₂-Preis steht, <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/nationaler-emissionshandel-1684508>
- Bundesregierung (2021):** Ausstieg aus der Kernkraft, <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/energie-erzeugen/ausstieg-aus-der-kernkraft-394280>
- Bundestag.de (o. J.):** Bundestag ändert das Erneuerbare-Energien-Gesetz, <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2020/kw51-de-erneuerbare-energien-gesetz-812876>
- Bundesverband der Deutschen Industrie (2020):** Verordnung für Großfeuerungsanlagen – Umsetzung zügig zum Abschluss bringen, <https://bdi.eu/artikel/news/verordnung-fuer-grossfeuerungsanlagen-umsetzung-zu-egig-zum-abschluss-bringen/>
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2017):** Verordnung zur Einführung von Ausschreibungen zur Ermittlung der Höhe der Zuschlagszahlungen für KWK-Anlagen und innovative KWK-Systeme sowie zur Änderung weiterer Verordnungen: Stellungnahme, <http://www.gesetze-im-internet.de/kwkausv/KWKAusV.pdf>
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2019a):** Das „3-Säulen-Modell“: BDEW-Vorschläge für einen neuen Finanzierungsrahmen für Erneuerbare-Energien-Anlagen (Überblick), https://www.bdew.de/media/documents/Stn_20190605_Ueberblick-3-Saeulen-Modell.pdf
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2019b):** Das „3-Säulen-Modell“: Konkretisierung der BDEW-Vorschläge für einen Finanzierungsrahmen für Erneuerbare-Energien-Anlagen, https://www.bdew.de/media/documents/Stn_20190531_Positionspapier-Konkretisierung-des-3-Saeulen-Modells.pdf
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2020a):** Energiemarkt Deutschland 2020, <https://www.bdew.de/service/publikationen/bdew-energiemarkt-deutschland-2020/>
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2020b):** Konjunktur und Verbrauch, <https://www.bdew.de/documents/5816/Konjunktur-und-Energieverbrauch.pdf>
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2020c):** Nettowärmeerzeugung nach Energieträgern 2020, <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/nettowaermeerzeugung-nach-energietraegern/>
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2020d):** Bewertung der Nationalen Wasserstoffstrategie: Stellungnahme, https://www.bdew.de/media/documents/200611_BDEW_Stellungnahme_Kommentierung_NWS.pdf
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2021):** Strompreisanalyse Januar 2021, BDEW-Strompreisanalyse_no_halfjaehrlich_Ba_online_28012021.pdf
- Bundesverband Energiespeicher e. V. (2020):** Entwurf des EEG 2021 behindert die Systemintegration von Energiespeichern, vernachlässigt die Sektorenkopplung sowie die Eigenerzeugung und verstößt damit gegen EU-Recht, https://www.bves.de/eu_eeg_analyse_2/
- Bundesverband Erneuerbare Energien e. V. (2020):** EU-Wiederaufbaufonds lässt energie- und klimapolitische Relevanz vermissen, <https://www.bee-ev.de/presse/mitteilungen/detailansicht/eu-wiederaufbaufonds-laesst-energie-und-klimapolitische-relevanz-vermissen>
- Bundesverband Solarwirtschaft e. V. (2020):** Stellungnahme EEG-Novelle 2021. Deutscher Bundestag. Ausschussdrucksache 19(9)858, https://www.bundestag.de/resource/blob/806708/d2c81589f1492ab301bd40600bda9bb6/19-9-858_Koernig_BSW_Solar-data.pdf
- Business-insider.de (2020):** Corona hat auch die Energiebranche hart getroffen – die Wende zu einem saubereren Strom ist aber ungebremst, <https://www.businessinsider.de/sponsored/trend-zu-sauberer-energie-trotz-corona/>
- Chambers, M. A. (2018):** Geschickter Umgang mit den strategischen Risiken der Transformation im Energiesektor, https://www.ey.com/de_de/power-utilities/how-to-navigate-the-strategic-risks-of-p-u-transformation
- Chemanager-online.de (2020):** Shell treibt Energiewende in Deutschland voran, <https://www.chemanager-online.com/news/shell-treibt-energiewende-deutschland-voran>
- Daina, N.; Sivakumar, A. & Polak, J. W. (2017):** Modelling and implications for smart charging services. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 81, 36–56. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.05.006>

Dawood, F.; Anda, M. & Shafiullah, G. M. (2020): Hydrogen production for energy: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(7), 3847–3869, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.059>

Decken, K. (2019): Baustopp für die größte Batterie der Welt. *Energyload*, <https://energyload.eu/stromspeicher/grossspeicher-batterieparcs/groesste-batterie-der-welt/>

Deloitte (2019): Die Zukunft der Arbeit im Energiesektor. Die treibenden Kräfte der Transformation von Jobs und Berufswelt in einer Schlüsselindustrie, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/at/Documents/energy-resources/at-wandel-energiesektor-april-2019.pdf>

Dena (2012): Handbuch Lastmanagement. Vermarktung flexibler Lasten: Erlöse erwirtschaften – zur Energiewende beitragen, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/1408_Lastmanagement_Handbuch.pdf

Dena (2017): Alternativen zur Finanzierung des EEG, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9222_dena-Studie_Alternativen_zur_Finanzierung_des_EEG.pdf

Dena.de (2019): Dena-Gebäudereport: Wärmewende kommt seit 2010 nicht voran, <https://www.dena.de/newsroom/meldungen/2019/dena-gebaudereport-waermewende-kommt-seit-2010-nicht-voran/>

Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. (2018): „Grüne Wasserstoff-Industrie – Lösung für den Strukturwandel?“, <https://www.dvw-info.de/wp-content/uploads/2015/06/20181128-Pos.-Papier-zu-Strukturwandel-final.pdf>

DWR eco GmbH (2020): Neue Umfrage: Europäische Energiebranche blickt trotz Corona-Pandemie positiv in die Zukunft, <https://www.pressebox.de/inaktiv/dwr-eco-gmbh/Neue-Umfrage-Europaeische-Energiebranche-blickt-trotz-Corona-Pandemie-positiv-in-die-Zukunft/boxid/1027921>

ECReporter.de (2020): Studie: Erneuerbare-Energien-Branche ist resistent gegen Corona, <https://www.ecoreporter.de/artikel/studie-erneuerbare-energien-branche-ist-resistent-gegen-corona/>

Eder, S. (2019): Zeit der Großspeicher kommt erst noch, <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/zeit-der-grossspeicher-kommt-erst-noch/>

Energate-messenger.de (2020): EU-Wasserstoffverband: Kommission muss sich beim Beihilferecht bewegen, <https://www.energate-messenger.de/news/204979/eu-wasserstoffverband-kommission-muss-sich-beim-beihilferecht-bewegen>

Energieagentur.de (o. J.): Speicher- und Flexibilisierungsoptionen, <https://www.energieagentur.nrw/tool/sectorenkopplung/information/flexibilisierung-und-speicheroptionen.php>

Energie-experten.org (2018): Berlin TXL: LowEx-Netz soll dezentraler Wärme-Marktplatz werden, <https://www.energie-experten.org/news/berlin-txl-lowex-netz-soll-dezentraler-waerme-marktplatz-werden>

Energiewissenschaftliches Institut (2020): EEG-Umlage wird 2021 wohl deutlich ansteigen, <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/news/corona-eeg-umlage/>

Energiezukunft.eu (2020): Mit mehr Fernwärme die urbane Wärmewende schaffen, <https://www.energiezukunft.eu/erneuerbare-energien/waerme/mit-mehr-fern-waerme-die-urbane-waermewende-schaffen/>

Energycareer.de. (o. J.): Energy goes digital, https://www.energycareer.net/bewerber/energie_market

Energy-mavens.de (2020): Contracts-for-difference: Das Instrument für eine günstigere Energiewende? <https://www.energy-mavens.de/aktuelles/contractsfordifference>

Energate-messenger.de (2021): Vorjahr, <https://www.energate-messenger.de/news/208407/stromverbrauch-2020-deutlich-unter-dem-vorjahr>

Euractiv.de (2019): Gehen 65% Erneuerbare Energien ohne Stromstau?, <https://www.euractiv.de/section/energie-und-umwelt/news/problem-netzausbau-gehen-65-erneuerbare-energien-ohne-stromstau/>

Europäische Kommission (2017): DURCHFÜHRUNGS-BESCHLUSS (EU) 2017/1442 DER KOMMISSION vom 31. Juli 2017 über Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) gemäß der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates für Großfeuerungsanlagen, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017D1442>

Europäische Kommission (2020a): Green Deal: Kommission legt Strategien für das Energiesystem der Zukunft und sauberen Wasserstoff vor, https://ec.europa.eu/germany/news/20200708-wasserstoffstrategie_de

Europäische Kommission (2020b): Leitlinien für bestimmte Beihilfemaßnahmen im Zusammenhang mit dem System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=OJ:JOC_2020_317_R_0004

Europäische Kommission (2020c): Communication from the commission to the European parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions: Powering a climate-neutral economy: An EU strategy for energy system integration, <https://www.handelskammer-bremen.de/blueprint/servlet/resource/blob/4838864/ec5e0407d-ce958d77579f896c6393869/eu-mittelstandsstrategie-data.pdf>

Europäische Kommission (2020d): Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. An EU Strategy to harness the potential of offshore renewable energy for a climate neutral future, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2020%3A741%3AFIN&qid=1605792629666>

Europäischer Rat (2020): Energieunion, <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/energy-union/>

Europäisches Parlament (2020): Economic assessment of Carbon Leakage and Carbon Border Adjustment: Briefing, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/603501/EXPO_BRI\(2020\)603501_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/603501/EXPO_BRI(2020)603501_EN.pdf)

EWI (2021): EWI-Analyse – Auswirkungen des EEG 2021 auf den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromnachfrage 2030, https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2021/04/210416_EWI-Analyse-Anteil-Erneuerbare-in-2030_final.pdf

Falkenberg, H.; Klotz, E.-M.; Koepp, M.; Thamling, N.; Wunsch, M.; Ziegenhagen, I.; Eikmeier, B.; Fette, M.; Janßen, K.; Gores, S.; Herrmann, H.; Zell-Ziegler, C.; Gailfuß, M.; Antoni, O.; Kahl, H. & Kahles, M. (2019): Evaluierung der Kraft-Wärme-Kopplung, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/evaluierung-der-kraft-waerme-kopplung.pdf?__blob=publicationFile&v=6

Faz.de vom 13. Januar 2021: Bund fördert Wasserstoff-Projekte mit 700 Millionen Euro, <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/bund-foerdert-wasserstoff-projekte-mit-700-millionen-euro-17144160.html>

Fidan, M. (2020): Warum es Zeit für die Wasserstoffwende wird, https://www.ey.com/de_de/energy-resources/klimaneutralitaet-durch-wasserstoff

Fischer, T.; Robers, M. & Battaglia, M. (2020): Synergien nutzen. Impulse für die weitere Ausgestaltung des Konjunkturprogramms der Bundesregierung, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/Synergien_nutzen_-_Impulse_fuer_die_weitere_Ausgestaltung_des_Konjunkturprogramms_der_Bundesregierung.pdf

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme & Siemens AG (2019): Wasserelektrolyse an der Schwelle zur großskaligen Industrialisierung – Trends und Herausforderungen bis 2030, https://www.energetage.de/fileadmin/user_upload/2019/Vortraege/4.02_Smolinka_Dickschas_Wasserelektrolyse.pdf

Fraunhofer IWES/IBP (2017): Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2016/Sektoruebergreifende_EW/Waermewende-2030_WEB.pdf

Fraunhofer-Allianz Energie (2020): Neue Elektrolytsysteme für Redox-Flow Batterien, https://www.energie.fraunhofer.de/de/messen-veranstaltungen/2021/allianz-energy-storage_2020/RFB-Modell.html

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (2021): Redox-Flow-Batterie, <https://www.ict.fraunhofer.de/de/komp/ae/rfb.html>

Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (2019): Hydrogen Roadmap Europe, https://fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf

Germanus, N.; Granzow, P.; Grosse, B.; Kochems, J.; Giehl, J. & Müller-Kirchenbauer, J. (2020): Entwicklung eines generischen Bewertungsmodells für Geschäftsmodelle der Energiewirtschaft, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s12398-020-00285-7.pdf>

- Görner, K.; Möllenbeck, F.; Dierks, M.; Demirkol, E.; Richter, M. & Oeljeklaus, G. (2019): Sektorenkopplung: Optionen und Chancen für den Energiesektor am Beispiel einer Power-to-Methanol-Anlage. VGB PowerTech – International Journal for Electricity and Heat Generation. VGB PowerTech 1/2, <https://www.vgb.org/vgbmultimedia/PT20190102GOERNER-p-14840.pdf>
- Götz, P.; Henkel, J.; Lenck, T. & Lenz, K. (2014): Negative Strompreise: Ursachen und Wirkungen. Eine Analyse der aktuellen Entwicklung – und ein Vorschlag für ein Flexibilitätsgesetz, <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/negative-strompreise-ursachen-und-wirkungen/>
- Götz, W. (2020): Vorstellung zum Projektstand Netzbooster-Pilotanlage, https://www.transnetbw.de/files/pdf/netzentwicklung/projekte/netzbooster-pilotanlage/Vorstellung_Netzbooster.pdf
- Hammermann, A.; Niendorf, M. & Schmidt, J. (2017): Zukunft gestalten mit altersheterogenen Belegschaften, <https://www.iwkoeln.de/studien/iw-kurzberichte/beitrag/andrea-hammermann-matthias-niendorf-jorg-schmidt-zukunft-gestalten-mit-altersheterogenen-belegschaften-362153.html>
- Hauser, J. (2020): Der Stromverbrauch in Deutschland sinkt, <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/klima-energie-und-umwelt/corona-folgen-der-stromverbrauch-sinkt-in-deutschland-16710344.html>
- Hautec.de (2020): Solare Fernwärme wächst stark in 2019, <https://www.haustec.de/heizung/waermeerzeugung/solare-fernwaerme-waechst-stark-2019>
- Hebling, C.; Ragwitz, M.; Fleiter, T.; Groos, U.; Härle, D.; Held, A.; Jahn, M.; Müller, N.; Pfeifer, T.; Plötz, P.; Ranzmeyer, O.; Schaadt, A.; Sensfuß, F.; Smolinka, T. & Wietschel, M. (2019): Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland, <https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/ueber-fraunhofer/wissenschaftspolitik/Positionen/Fraunhofer-Wasserstoff-Roadmap.pdf>
- Heise.de (2020): Laut Eon erfordert die Energiewende eine Netzertüchtigung für Milliarden, <https://www.heise.de/hintergrund/Laut-Eon-erfordert-die-Energiewende-eine-Netzertuechtigung-fuer-Milliarden-4942577.html>
- Hellmuth, N. & Jakobs, E.-M. (2020): Informiertheit und Datenschutz beim Smart Metering, <https://doi.org/10.1007/s12398-020-00269-7>
- Henel, M. & Müller-Syring, G. (2014): Abschlussbericht – Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inklusive aller assoziierten Anlagen, https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g1_02_12.pdf
- Holtemöller, O. & Schult, C. (2019): Zu den Effekten eines beschleunigten Braunkohleausstiegs auf Beschäftigung und regionale Arbeitnehmerentgelte, Wirtschaft im Wandel. Leibniz-Institut Für Wirtschaftsforschung Halle (IWH), 25(1), 5–9, https://www.iwh-halle.de/fileadmin/user_upload/publications/wirtschaft_im_wandel/wiwa_1_2019_braunkohle.pdf
- Hydrogeneurope.eu (2021): Project Certifhy, <https://hydrogeneurope.eu/project/certifhy>
- Industrie- und Handelskammer Karlsruhe (2021): Emissionshandel: Carbon-Leakage-Liste 2021–2030 verabschiedet, <https://www.karlsruhe.ihk.de/fachthemen/umwelt/klimaschutzemissionshandel/emissionshandel-aktuell/aktuelle-meldungen/carbon-leakage-liste-2021-2030-4346272>
- Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (o. J.): Perspektiven 2030+, <https://igbce.de/igbce/themen/berichterstattung-zukunftskongress>
- Internationale Energie Agentur (2020): World Energy Outlook 2020, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- IW Köln & Frontier Economics (2018): Synthetische Energieträger – Perspektiven für die deutsche Wirtschaft und den internationalen Handel, https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/IW-Frontier-Studie_PTX_Markt_und_Besch%C3%A4ftigungsperspektiven.pdf
- Kaiser, O. S. & Malanowski, N. (2020): Voraussetzungen für eine wettbewerbsfähige Wasserstoffwirtschaft: Fördernde und hemmende Faktoren im Verkehrssektor und der Chemischen Industrie, https://www.boeckler.de/de/faust-detail.htm?sync_id=9102
- Kemmler, A. & Kirchner, A.; Maur, A. auf der; Ess, F.; Kreidelmeyer, S.; Piégsa, A. (2020): Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050. Dokumentation von Referenzszenario und Szenario mit Klimaschutzprogramm, 2030, https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/klimagutachten.pdf?__blob=publicationFile&v=8

- Kerstan, J. (2019):** Grüne Fernwärme mit Kraft-, Wärme- und Schiet-Kopplung, <https://background.tagesspiegel.de/energie-klima/gruene-fernwaerme-mit-kraft-waerme-und-schiet-kopplung>
- Kloth, P. (2016):** Digitalisierung als Katalysator der Wärmewende, <https://www.energie-klimaschutz.de/digitalisierung-katalysator-waermewende/>
- Kobiela, G.; Samadi, S.; Kurwan, J.; Tönjes, A.; Fishedick, M.; Koska, T.; Lechtenböhmer, S.; März, S. & Schüwer, D. (2020):** CO₂-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze, [https://www.wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/CO₂-neutral_2035.pdf](https://www.wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/CO2-neutral_2035.pdf)
- Kommission Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung (2019):** Abschlussbericht, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/A/abschlussbericht-kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung.pdf?__blob=publicationFile
- Konrad, W. & Scheer, D. (2014):** Das Smart Grid aus gesellschaftlicher Perspektive. InnoSmart, https://www.innosmart-projekt.de/data/innosmart/user_upload/Dateien/Smart_Grid_Gesellschaftliche_Perspektiven_NEU_01.pdf
- KPMG (2016):** Trendbarometer Energiewende. Einschätzungen von Topentscheidern zur Bedeutung von Humankapital als Voraussetzung für eine erfolgreiche Transformation, <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2016/06/trendbarometer-energiewende-kpmg-2016.pdf>
- Lausitz Energie Bergbau AG (2021):** BigBattery – Energiespeicher für die Energiewende, <https://www.leag.de/de/bigbattery/>
- Lazowski, B.; Parker, P. & Rowlands, I. H. (2018):** Towards a smart and sustainable residential energy culture: assessing participant feedback from a long-term smart grid pilot project. *Energy, Sustainability and Society*, 8(1), 1931, <https://doi.org/10.1186/s13705-018-0169-9>
- Lichtblick.de (2020):** Mehr Markt für Ökostrom, <https://www.lichtblick.de/presse/mehr-markt-fuer-oekostrom/>
- Löschel, Andreas (2020):** European Green Deal und deutsche Energiewende zusammen denken! *Wirtschaftsdienst* 100 (2). S. 78–79, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10273-020-2566-x.pdf>
- May, N.; Neuhoﬀ, K.; Richstein, J. (2018):** Kostengünstige Stromversorgung durch Differenzverträge für erneuerbare Energien, *DIW Wochenbericht*, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 85, Iss. 28, S. 625–635. http://dx.doi.org/10.18723/diw_wb:2018-28-3
- McKinsey (2021):** Energiewende-Index, <https://www.mckinsey.de/branchen/chemie-energie-rohstoffe/energiewende-index#>
- Nestler, R. (2021):** Stromspeicherung für die Energiewende: Die Riesebatterie von Schwarze Pumpe, <https://www.tagesspiegel.de/wissen/stromspeicherung-fuer-die-energiewende-die-riesebatterie-von-schwarze-pumpe/26061888.html>
- Netze-bw.de (2020):** Die Öhringer Wasserstoff-Insel, <https://www.netze-bw.de/unsernetz/netzinnovationen/wasserstoff-insel>
- Netzentwicklungsplan.de (2021):** Netzentwicklungsplan Strom 2035 (2021), <https://www.netzentwicklungsplan.de/de/netzentwicklungsplaene/netzentwicklungsplan-2035-2021>
- Netztransparenz.de (2021):** EEG-Umlage, <https://www.netztransparenz.de/EEG/EEG-Umlagen-Uebersicht>
- Neuhoﬀ, K.; Acworth, W.; Ismer, R.; Sartor, O. & Zetterberg, L. (2015):** Maßnahmen zum Schutz vor Carbon Leakage für CO₂-intensive Materialien im Zeitraum nach 2020. *DIW-Wochenbericht*, 82(29/30), 679–688, https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.510974.de/15-29-3.pdf
- OECD (2017):** Employment Implications of Green Growth: Linking jobs, growth, and green policies: OECD REPORT FOR THE G7 ENVIRONMENT MINISTERS, <https://www.oecd.org/environment/Employment-Implications-of-Green-Growth-OECD-Report-G7-Environment-Ministers.pdf>
- O’Sullivan, M.; Edler, D. & Lehr, U. (2019):** Ökonomische Indikatoren der Energiebereitstellung: Methode, Abgrenzung und Ergebnisse für den Zeitraum 2000–2017 (No. 135), https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/oekonomische-indikatoren-der-energiebereitstellung.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- Pantua, D. (2020):** Verbände: Grüne Fernwärme über Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz forcieren, <https://www.euwid-energie.de/verbaende-gruene-fernwaerme-ueber-kraft-waerme-kopplungsgesetz-forcieren/>

- Pehnt, M.; Nast, M.; Götz, C.; Blömer, S.; Barckhausen, A.; Schröder, D.; Miljes, R.; Pottbäcker, C.; Breier, H.; Nabe, C.; Linder, S.; Dannemann, B. (2017): Kurzstudie zur Umsetzung der Maßnahme „Modellvorhaben erneuerbare Energien in hocheffizienten Niedertemperaturwärmernetzen: Wärmernetzsysteme 4.0, <https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/W%C3%A4rmenetze-4.0-Endbericht-final.pdf>
- Personalwirtschaft.de (2013): Starke Perspektiven – aber noch ein schwaches Image, <https://www.personalwirtschaft.de/produkte/archiv/magazin/ausgabe-2-2013/0%3A5549524.html>
- Plenz, M. & Hirschl, B. (2016): Prosumer im Energiesystem. Ökologisches Wirtschaften – Fachzeitschrift, 31(2), 16, <https://doi.org/10.14512/OEW310216>
- Plötz, D. (2020): Energiebranche: Recruiting zwischen Wunsch und Wirklichkeit, <https://www.bdew.de/verband/magazin-2050/energiebranche-recruiting-zwischen-wunsch-und-wirklichkeit/>
- Power & Storage LiTec GmbH (2020): BMW setzt gebrauchte Autobatterien in Großspeicher ein, <https://www.power-and-storage.de/bmw-setzt-gebrauchte-autobatterien-in-grossspeicher-ein>
- Prognos AG, Öko-Institut & Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (2020): Klimaneutrales Deutschland: Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität. www.agora-energiewende.de
- Richstein, J. C. & Neuhoff, K. (2019): CO₂-Differenzverträge für innovative Klimalösungen in der Industrie. DIW Aktuell (23).
- Rijkers-Defrasne, S.; von Versen, T.; Malanowski, N. (2021): Herausforderung Peer-to-Peer-Energiehandel in Deutschland. Potenziale, Herausforderungen und Ausblick, https://www.boeckler.de/de/faust-detail.htm?sync_id=HBS-007982
- Roeb, M.; Brendelberger, S.; Rosensziel, A.; Agrafiotis, C.; Monnerie, N.; Budama, V. & Jacobs, N. (2020): Wasserstoff als ein Fundament der Energiewende. Teil 1: Technologien und Perspektiven für eine nachhaltige und ökonomische Wasserstoffversorgung. Herausgegeben vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), <https://www.dlr.de/content/en/downloads/2020/hydrogen-research-study-part-1.html>
- Roth, I. (2018): Digitalisierung in der Energiewirtschaft.: Technologische Trends und ihre Auswirkungen auf Arbeit und Qualifizierung, https://ver-und-entsorgung.verdi.de/++file++5b0524e056c12f2e7f7f13d2/download/2018_HBS-Studie-Digitalisierung-in-der-Energiewirtschaft.pdf
- Rp-online.de vom 19. November 2020: EU will bis 2030 Windsstromanteil verfünffachen, https://rp-online.de/panorama/erneuerbare-energien-eu-will-bis-2030-fuenfmal-so-viel-windstrom_aid-54709497
- Schantey, L.; Schneipers, J.; Thommessen, C.; Witte-Humperdinck, N.; Roes, J. & Verheyen, O. (2020): Digitalisierung in Wärmernetzen, <https://www.uni-due.de/imperia/md/content/energie/4m-studie-digitalisierung-in-waermentetzen.pdf>
- Schiffer, H.-W. (2020): Szenarien und Projektionen zur weltweiten Energieversorgung im Vergleich. Zeitschrift Für Energiewirtschaft, 44(3), 223–243, <https://doi.org/10.1007/s12398-020-00284-8>
- Schultz, S. (2021): Abgeregelte Ökostromanlagen kosten Verbraucher bis zu 1,3 Milliarden Euro, <https://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/oekostromanlagen-kosten-fuer-abregelungen-stiegen-auf-bis-zu-1-34-milliarden-euro-a-e0f98062-ac44-43ef-944a-3957e902aa78>
- Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE (2019): Die Verkehrswende nachhaltig steuern. Acht Thesen aus industriegewerkschaftlicher Sicht, https://www.arbeit-umwelt.de/wp-content/uploads/Thesenpapier_Verkehrswende.pdf
- Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE (2021): Wasserstoffbasierte Industrie in Deutschland und Europa, https://www.arbeit-umwelt.de/wp-content/uploads/Studie_Wasserstoff_Industrie_StiftungIGBCE_enervis.pdf
- Stiftung-klima.de (o. J.): Mehr Flächen für Windenergie, <https://www.stiftung-klima.de/de/themen/energie/flaechen-wind/>
- Strom-report.de (o. J.): Photovoltaik in Deutschland, <https://strom-report.de/photovoltaik/>
- Sueddeutsche.de vom 26. August 2019: Hamburg: industrielle Abwärme für Firmen und Haushalte, <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/energie-hamburg-hamburg-industrielle-abwaerme-fuer-firmen-und-haushalte-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-190826-99-616948>

Tagesschau.de vom 4. Januar 2021: Klimaziele für 2020 wegen Corona erreicht, <https://www.tagesschau.de/in-land/corona-klima-deutschland-101.html>

Thamling, N.; Langreder, N.; Rau, D.; Wunsch, M.; Maaß, C.; Sandrock, M.; Fuß, G.; Möhring, P.; Purkus, A. & Strodel, N. (2020): Perspektive der Fernwärme: Maßnahmenprogramm 2030. Aus- und Umbau städtischer Fernwärme als Beitrag einer sozial-ökologischen Wärmepolitik. Kurzfassung, https://www.hamburg-institut.com/images/pdf/studien/AGFW_Perspektive_der_Fernwaerme_2030_final.pdf

Tolkmitt, S. (o. J.): Fachkräftemangel: Chancen in der Krise nutzen, <https://berufswelten-energie-wasser.de/arbeitsmarkt-recruiting/fachkraeftemangel-chancen-in-der-krise-nutzen/>

Transnet BW GmbH (2020): Factsheet Netzbooster-Pilotanlage. https://www.transnetbw.de/files/pdf/netzentwicklung/projekte/netzbooster-pilotanlage/Factsheet_Netzbooster-Pilotanlage.pdf

Transnet BW GmbH (2021): Netzbooster Pilotanlage. <https://www.transnetbw.de/de/netzentwicklung/projekte/netzbooster-pilotanlage/projektueberblick>

Tröndle, T. (2020): Supply-side options to reduce land requirements of fully renewable electricity in Europe. PLoS one, 15(8), e0236958, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0236958>

Tuvsud.de (o. J.): Risiken für die Informationssicherheit minimieren nach § 8a BSI, <https://www.tuvsud.com/de-de/dienstleistungen/auditierung-und-zertifizierung/cyber-security-zertifizierung/kritis>

U.S. Department of Energy (2021): Global Energy Storage Database | Energy Storage Systems. Sandia National Laboratories, <https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database-home/>

Umweltbundesamt (2020a): Energiebedingte Emissionen, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen#energiebedingte-treibhausgas-emissionen>

Umweltbundesamt (2020b): Energieverbrauch privater Haushalte, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#endenergieverbrauch-der-privaten-haushalte>

Umweltbundesamt (2021a): Energiesparen in Industrie und Gewerbe, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energiesparen-in-industrie-gewerbe#energieeinsparpotenziale>

Umweltbundesamt (2021b): Erneuerbare Energie im Verkehr, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/erneuerbare-energie-im-verkehr>

Umweltbundesamt (o. J.): Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) im Energiesystem, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/kraft-waerme-kopplung-kwk-im-energiesystem#KWK>

Umweltbundesamt & AGEE (2020): Erneuerbare Energien in Deutschland 2019: Daten zur Entwicklung im Jahr 2019, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-03_hgp-ee-in-zahlen_bf.pdf

Urbansky (2020): Überschussstrom reicht nicht für Power-to-X, <https://www.springerprofessional.de/photovoltaik/windenergie/ueberschussstrom-reicht-nicht-fuer-power-to-x/17520446>

Vattenfall.de (o. J.): Intelligente Stromnetze sind die Zukunft – Smart Grid einfach erklärt, <https://www.vattenfall.de/infowelt-energie/smart-grid-einfach-erklart>

Verbraucherzentrale (2020): Smart Meter: Die neuen Stromzähler kommen, <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/preise-tarife-anbieterwechsel/smart-meter-die-neuen-stromzaehler-kommen-13275>

Wachsmuth, J. & Gößling-Reisemann, S. (2013): Handlungspfade und Handlungsempfehlungen auf dem Weg zu einem klimaangepassten und resilienten Energiesystem im Nordwesten, https://edoc.sub.uni-hamburg.de/klimawandel/files/691/nordwest2050_RoadmapEnergie_104.pdf

Wackerbauer, J. (2011): Bewertung der klimapolitischen Maßnahmen und Instrumente: Studie im Auftrag der E.ON AG, <https://www.ifo.de/publikationen/2011/monografie-autorenschaft/bewertung-der-klimapolitischen-massnahmen-und>

Weigel, P. & Fishedick, M. (2018): Die Rolle der Digitalisierung in der soziotechnischen Transformation des Energiesystems, https://epub.wupperinst.org/files/7120/7120_Weigel.pdf

Weigel, P. & Fishedick, M. (2019): Digitalisierung aus Nachhaltigkeitssicht – Beispiel Energie- und Gassektor, https://epub.wupperinst.org/files/7370/7370_Weigel.pdf

Welt am Sonntag vom 7. März 2021: Batterie-Bonanza.

Westphal, K.; Dröge, S.; Geden, O. & Stiftung Wissenschaft und Politik (2020): Die internationalen Dimensionen deutscher Wasserstoffpolitik, <https://doi.org/10.18449/2020A37>

Windkraft-journal.de (2020): Netzstabilisierung: RWE Generation erhält Zuschlag für Gaskraftwerk in Biblis, <https://www.windkraft-journal.de/2020/11/14/netzstabilisierung-rwe-generation-erhaelt-zuschlag-fuer-gaskraftwerk-in-biblis/155208>

WirtschaftsWoche.de vom 15. Januar 2021: CO₂-Steuer – Alles was Sie wissen müssen, <https://www.wiwo.de/finanzen/steuern-recht/klimaschutz-co2-steuer-alles-was-sie-wissen-muessen/25533826.html>

Wolf, K. (2020): Positive Bilanz: Batteriespeicher reduziert Lastspitzen, <https://www.erneuerbareenergien.de/positive-bilanz-batteriespeicher-reduziert-lastspitzen>

Wuppertal Institut (2020): Grüner Wasserstoff aus Deutschland beflügelt Klimaschutz und Volkswirtschaft. Pressemitteilung vom 03.11.2020, <https://wupperinst.org/a/wi/a/s/ad/5188/>

Zeit.de vom 6. Januar 2021: Elektroautoabsatz in Deutschland hat sich verdreifacht, <https://www.zeit.de/mobilitaet/2021-01/elektromobilitaet-elektroautos-absatz-steigerung-kraftfahrt-bundesamt>

Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie (2020): Wo liegt eigentlich der Unterschied zwischen einer Batterie und einem Akku?, <https://www.zvei.org/verband/fachverbaende/fachverband-batterien/wo-liegt-eigentlich-der-unterschied-zwischen-einer-batterie-und-einem-akku/>

Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (2020): Mannheimer Innovationspanel. Stand: Januar 2020, http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/mip/19/mip_2019.pdf

Zheng, L.; Breitschopf, B. (2020): Electricity costs of energy intensive industries in Iceland – a comparison with energy intensive industries in selected countries. Karlsruhe, Germany: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, <https://www.stjornarradid.is/library/01--Frettatengt---myndir-og-skrar/ANR/ThKRG/Report%20Iceland-FINAL.pdf>

**Stiftung Arbeit und Umwelt
der Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie**

Inselstraße 6
10179 Berlin
Telefon +49 30 2787 1325

Königsworther Platz 6
30167 Hannover
Telefon +49 511 7631 472

E-Mail: arbeit-umwelt@igbce.de
Internet: www.arbeit-umwelt.de

