

WEICHENSTELLUNGEN INS ERNEUERBARE ENERGIESYSTEM

Impulspapier zur EnergieSystemWende
im Wahljahr 2021

IMPRESSUM

Impulspapier zur EnergieSystemWende im Wahljahr 2021
„Weichenstellungen ins Erneuerbare Energiesystem“

Erstellt durch:

RLS-Graduiertenkolleg
c/o Reiner Lemoine Institut gGmbH
Rudower Chaussee 12 | 12489 Berlin
Tel.: +49 30 1208 434 90
philipp.blechinger@rl-stiftung.de
<https://www.reiner-lemoine-stiftung.de/kolleg>

Layout und Grafiken: Daniela Rusch | DIE.PROJEKTOREN

Veröffentlicht im November 2020

Autor*innen: Marlin Arnz, Philipp Blechinger, Anya Heider, Alexandra Krumm, Avia Linke, Ricardo Reibsch, Fabian Zuber – Für folgende Kapitel zeichnen sich insbesondere verantwortlich: Flexibilität: Anya Heider, Speichertechnologien: Ricardo Reibsch, Soziale Teilhabe: Alexandra Krumm, Erneuerbare Mobilität: Marlin Arnz

Danksagung: Der Dank für wertvolle Diskussionen und Hinweise gilt vor allem den Mitgliedern des EnergieSystemWende-Netzwerks. Diese sind: Alexander Steinke (Reiner Lemoine Stiftung), Alexander Wanitschke (NOW GmbH), Anja Lemoine (Reiner Lemoine Stiftung), Anna Leipprand (Wuppertal Institut), Anne Jatzkewitz (Reiner Lemoine Stiftung), Bernd Hirsch (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung), Birgit Schachler (Reiner Lemoine Institut), Busso von Bismarck (Reiner Lemoine Stiftung), Carl-Friedrich Elmer (Agora Verkehrswende), Carolin Schenuit (Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft), Christian A. Hans (Technische Universität Berlin), Christian Brenning (Bundesverband Energiespeicher), Christian Pieper (DB Energie GmbH), Christian von Hirschhausen (Technische Universität Berlin), Eberhard Holstein (Reiner Lemoine Stiftung), Gabriela Hug (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich), Clemens Triebel (Reiner Lemoine Stiftung), Jakob Gemassmer (Reiner Lemoine Institut), Johannes Weniger (Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin), Julia Kowal (Technische Universität Berlin), Kathrin Goldammer (Reiner Lemoine Institut), Katja Purr (Umweltbundesamt), Malte Zieher (Bündnis Bürgerenergie), Markus Meyer (Bundesverband Neue Energiewirtschaft), Mascha Richter (Reiner Lemoine Institut), Mira Klausen, Oliver Arnhold (Reiner Lemoine Institut), Pao-Yu Oei (Technische Universität Berlin), Paul Grunow (Reiner Lemoine Stiftung), Paul Neetzow (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie), Peter Ugolini-Schmidt (Elektrizitätswerke Schönau), Simon Schandert (Tescovolt), Stefan Jessenberger (SIEMENS AG). Außerdem gilt unser Dank Arndt Börkey (Bundesverband Neue Energiewirtschaft), der am Workshop zum Thema Flexibilität teilgenommen hat.

Bitte zitieren als:

Reiner Lemoine Stiftung (2020): Weichenstellungen ins Erneuerbare Energiesystem. Impulspapier zur EnergieSystemWende im Wahljahr 2021.



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons
Namensnennung 4.0 International Lizenz.

INHALT

Abbildungsverzeichnis	4
ZUSAMMENFASSUNG: 2021 zum energiepolitischen Neustart machen	5
VON DER ENERGIEWENDE ZUR ENERGIESYSTEMWENDE	8
Konventionelles Energiesystem: Das Ende ist längst eingeleitet	8
Systemkonflikt: Die Ziele sind ambitioniert, aber die Energiewende stockt	9
Wahljahr 2021: Chance für einen Neustart der Energiepolitik	11
HERAUSFORDERUNGEN DER ENERGIESYSTEMWENDE	13
Hintergrund und Vorgehen	13
Flexibilität	16
Speichertechnologien	22
Soziale Teilhabe	28
Erneuerbare Mobilität	31
AUFBRUCH INS ERNEUERBARE ENERGIESYSTEM: Elf Weichenstellungen	39
Literaturverzeichnis	46
Abkürzungsverzeichnis	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Neues energiepolitisches Projekt: Umbau des Energiesystems	8
Abbildung 2: 100 % Erneuerbare in allen Sektoren: Das Ziel ist noch in weiter Ferne	9
Abbildung 3: Mehr Strom, mehr Wind, mehr Sonne - davon gehen viele Energieszenarien aus	10
Abbildung 4: Aus drei Sektoren wird ein integriertes Gesamtenergiesystem	11
Abbildung 5: Trends der EnergieSystemWende	13
Abbildung 6: Methodisches Vorgehen zum Impulspapier	15
Abbildung 7: Flexibilitätswerkzeugkasten: Der Flexibilitätsmix verändert sich	17
Abbildung 8: Im Erneuerbaren Energiesystem gibt es einen bunten Mix von Flexibilitäten	19
Abbildung 9: Speicher sind schon immer ein Teil des Energiesystems, aber sie wandeln sich	23
Abbildung 10: Speichertechnologien im Vergleich bzgl. Speicherkapazität und Speicherdauer	24
Abbildung 11: Speichertechnologien entwickeln sich rasant und erreichen Marktreife	25
Abbildung 12: Soziale Teilhabe kennt viele Facetten	29
Abbildung 13: Die Menschen rücken ins Zentrum des Energiesystems	30
Abbildung 14: Jährlicher Energiebedarf des deutschen Transportsektors, der mit 100 % Erneuerbaren Energien betrieben wird	33
Abbildung 15: Die Verkehrswende ins Erneuerbare Energiesystem steht auf vier Säulen	34
Abbildung 16: Politische Maßnahmen und Instrumente der Mobilitätswende	35
Abbildung 17: Politische Maßnahmen und Instrumente zum Ausscheiden der Verbrennungsmotoren	37
Abbildung 18: Politische Maßnahmen und Instrumente zur Integration des Verkehrssektors	38
Abbildung 19: Weichenstellungen ins Erneuerbare Energiesystem	39

1 ZUSAMMENFASSUNG:

2021 ZUM ENERGIEPOLITISCHEN NEUSTART MACHEN

Das **Ende des Konventionellen Energiesystems** und des fossilen Zeitalters sind in Deutschland und global längst eingeleitet. Der initiale Kraftakt dieses Energie-Wendemanövers ist geschafft. Die Energiewende als gesellschaftspolitisches Projekt funktionierte dabei bislang nach dem Motto „der Weg ist das Ziel“: Raus aus den fossil-atomaren Energieträgern und rein in die Erneuerbaren. Aus diesem Wandel ergeben sich gleichwohl neue Herausforderungen für das Energiesystem als Ganzes.

Der Kontrast des Konventionellen Energiesystems gegenüber dem Erneuerbaren zeigt sich beispielsweise und insbesondere beim Design des Energiemarkts, dem sektorenübergreifenden Einsatz neuer Technologien und der neuen Rolle der Gesellschaft. **Systemische Implikationen und Systemkonflikte** rücken dabei mehr und mehr in den Vordergrund. Und damit gerät die Energiewende ins Stocken. Zudem stellt sich zunehmend die Frage nach dem konkreten Zielmodell, auf das wir im Zuge der Energiewende zusteuern.

Wir nennen dieses Zielszenario **Erneuerbares Energiesystem** und das damit verbundene energiepolitische Transformationsprojekt **EnergieSystemWende**.

Damit diese EnergieSystemWende gelingen kann, müssen die richtigen Weichen gestellt werden. Die Bundestagswahl 2021 bietet hier eine **Chance für den Neustart der Energiepolitik**. Und dieser Neustart ist dringend nötig, denn die kommenden Jahre sind entscheidend für das Erreichen der ambitionierten Klimaziele in den folgenden ein bis zwei Dekaden. Die neue Bundesregierung muss daher den Umbau und die Dekarbonisierung des Energiesystems ins Zentrum der Energiepolitik stellen und die Transformationsprozesse ausgehend von einer klaren Zielvision her steuern.

In diesem Impulspapier haben wir die Themenkomplexe Flexibilität, Speichertechnologien, Soziale Teilhabe und Erneuerbare Mobilität näher beleuchtet. Aus den Anforderungen, die sich in diesen Bereichen aus dem Zielmodell des Erneuerbaren Energiesystems ergeben, haben wir **elf Weichenstellungen** herausgearbeitet, die im **Wahljahr 2021** weit oben auf der politischen Agenda stehen müssen.

11 ELF WEICHENSTELLUNGEN FÜR EINEN AUFBRUCH INS ERNEUERBARE ENERGIESYSTEM

Gesellschaftspolitische Weichenstellungen

1. Vision Erneuerbares Energiesystem:

Ein neues energiepolitisches Projekt starten

Die Botschaft der nächsten Bundesregierung muss lauten: Kommt, wir bauen das Erneuerbare Energiesystem. Sie muss diese Vision überzeugend vermitteln und unter eine klare Überschrift stellen. Im Koalitionsvertrag für die neue Legislaturperiode gilt es, den energiepolitischen Neustart festzuhalten und die nötigen Meilensteine dafür klar zu definieren.

2. Handlungsfähige Institutionen:

Wandel managen, Innovationsfähigkeit sicherstellen

Die neue Bundesregierung muss die institutionellen Voraussetzungen für den Aufbruch ins Erneuerbare Energiesystem schaffen. Es braucht eine progressive Kraft, ein effizientes Management und eine intensive Kommunikation. Dies muss sich auch in der Architektur der Ministerien und den zuständigen Bundesbehörden widerspiegeln. So könnte etwa anstelle der historisch begründeten Fokussierung auf die Netzregulierung eine breiter angelegte Bundesagentur geschaffen werden.

3. Zeitgemäße Grundsätze:

Teilhabe und Akzeptanz im energiepolitischen Zielviereck verankern

Die neue Bundesregierung muss sich in ihrem Koalitionsvertrag zu einem energiepolitischen Zielviereck bekennen, das auf die bestehenden Säulen der „Wirtschaftlichkeit“, „Versorgungssicherheit“, „Umweltverträglichkeit“ sowie auf die neue Säule „Teilhabe und Akzeptanz“ aufbaut. Dieser neue Grundsatz muss in einem 100-Tage-Gesetz durch eine entsprechende Anpassung des § 1 EnWG verankert werden.

4. Prozessuale Teilhabe:

Mitwirkung an Energieprojekten und Energiepolitik ermöglichen

Die neue Bundesregierung muss sich im Koalitionsvertrag zu neuen Mitwirkungsformen der Bevölkerung bekennen und Formate der prozessualen Teilhabe stärken. Zum einen ist hierfür eine breitere und frühzeitigere Öffentlichkeitsbeteiligung nötig. Zudem muss die Perspektive der Menschen auf den Umbau des Energiesystems systematisch in politische Entscheidungsprozesse einbezogen werden – etwa über Bürger*innenversammlungen, Bürger*innenräte, Stakeholderdialoge oder die Stärkung von Interessensvertretungen.

5. Umdenken und Umlenken:

Die Verkehrswende zur Mobilitätswende machen

Die neue Bundesregierung muss sich im Koalitionsvertrag zur Mobilitätswende bekennen und diese durch gezielte Maßnahmen und Instrumente einleiten. Diese beinhalten unter anderem die Abschaffung veralteter Subventionen und Förderungen, die Umstrukturierung des Steuersystems im Verkehrsbereich, neue Leitmotive in Stadt- und Regionalplanung sowie das Verbot von Kurzstreckenflügen. Ganzheitliche Energieeffizienz muss die oberste Prämisse der Verkehrspolitik werden.

Technisch-ökonomische Weichenstellungen

6. Gewinnbringende Sektorenintegration:

Flexibilitätspotenziale verstärkt nutzen

Die neue Bundesregierung muss sich im Koalitionsvertrag eindeutig zur Integration der Sektoren bekennen. Sie muss zudem den Dialog zwischen den Sektoren ausweiten. Denkbar wäre hier etwa einen „Rat für Sektorenkopplung“ einzurichten. Im Rahmen von Forschungsvorhaben und Reallaboren des Bundes muss zudem kurzfristig ermittelt werden, wie und in welchem Umfang Flexibilitäten sektorenübergreifend genutzt werden können.

7. Flexibler Strommarkt:

(Dezentrale) Anreize zum Ausgleich von Nachfrage und Angebot setzen

Die neue Bundesregierung muss sich im Koalitionsvertrag klar zum Aufbau eines flexiblen Strommarkts bekennen. Dazu gehört auch die eindeutige Abkehr vom Kupferplatten-Ideal und die Anerkennung der Existenz von Engpässen im Stromsystem. Als Leitplanken der Reformen muss gelten, europäische und lokale Lösungen gleichermaßen zu berücksichtigen sowie zeitliche und geographische Knappheiten. Dazu gehört zudem der Zugang für neue Akteure, Preissignale für die Vor-Ort-Versorgung und systemdienliches „Prosuming“ sowie eine umfassende Reform der Umlagen und Entgelte.

8. Vierte Säule:

Verschiedene Speichertechnologien etablieren

Die neue Bundesregierung muss im Koalitionsvertrag ein klares Bekenntnis für die Rolle und Bedeutung von Speichern festhalten und diese als vierte Säule des Energiesystems verankern. Über ein 100-Tage-Gesetz muss eine eindeutige rechtliche Definition von Speicherung und Speicheranlagen gesetzlich verankert werden. Speicher müssen im gleichen Schritt von Umlagen und Abgaben befreit und deren Nutzung für Flexibilitäten und Netzdienstleistungen geöffnet werden.

9. Mehr Bürger*innenenergie:

Neue Marktakteure stärken

Die neue Bundesregierung muss sich im Koalitionsvertrag dazu bekennen, die wirtschaftlichen Teilhabemöglichkeiten der Bürger*innen am Energiemarkt auszuweiten. Ferner müssen die aktuellen europäischen Richtlinien, die etwa den Einsatz von Speichern sowie die Rolle von Prosumern und Energiegemeinschaften regeln, in einem 100-Tage-Gesetz in deutsches Recht umgewandelt werden.

10. Klare Ausstiegsszenarien:

Ende fossiler Technologien in allen Sektoren einleiten

Die neue Bundesregierung muss im Koalitionsvertrag eine zeitliche Befristung für den Verkauf von fossilen Technologien festsetzen. Um den Übergang zu erleichtern, empfiehlt sich u.a. ein sektorenübergreifender CO₂-Preis, der bis auf 150 €/t im Jahr 2030 ansteigt. Um die dahingehenden Strukturwandel zu begleiten, ist zudem ein gesellschaftlicher Dialog über die nötigen Ausgleichs- und Anpassungsmaßnahmen zu führen.

11. Ambitionierte Ausbauziele:

Erneuerbare Elektrifizierung zielgerichtet steuern

Die neue Bundesregierung muss den erforderlichen Bruttostrombedarf realistisch definieren sowie die jährlichen Ausbauziele für Erneuerbare Energien auf mindestens 20 GW jährlicher neuer Wind- und PV-Kapazitäten festlegen. Die angepassten Zahlen müssen über ein 100-Tage-Gesetz gesetzlich im EEG festgeschrieben und kontinuierlich unter wissenschaftlicher Begleitung angepasst werden.

2 VON DER ENERGIEWENDE ZUR ENERGIESYSTEMWENDE

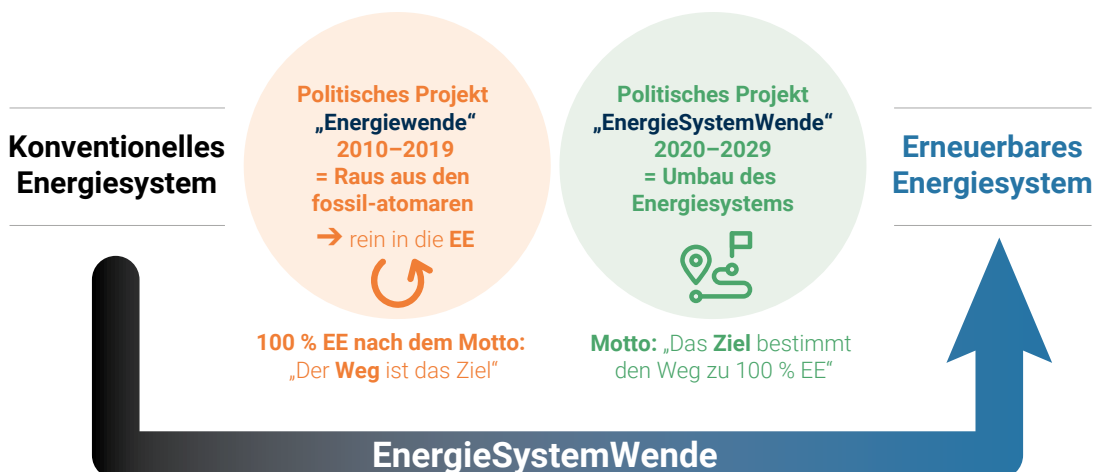
2.1 Konventionelles Energiesystem: Das Ende ist längst eingeleitet

Klar ist: **das Konventionelle Energiesystem des 20. Jahrhunderts** befindet sich längst in einem Transformationsprozess.¹ In der Vergangenheit war es normal, dass die Mobilität und Wärmeversorgung weitgehend von Öl- und Gasimporten gesichert wurden, während das Stromsystem aus fossil-atomaren Großkraftwerken gespeist wurde. Der Strom floss bildlich gesprochen nur in eine Richtung: Von den Erzeugungsanlagen zu den Verbraucher*innen. Wirtschaftlich dominierten im Konventionellen Stromsektor zentrale Strukturen mit ausreichenden Netzkapazitäten. Gesellschaftlich gab es begrenzte Teilhabemöglichkeiten für die Endverbraucher*innen und die Energiesektoren Strom, Wärme und Mobilität funktionierten weitestgehend getrennt und nach jeweils eigenen Logiken.

Aber das Energiesystem verändert sich. Schon in den 1970er Jahren begann die in Deutschland wachsende Umwelt- und Anti-Atomkraftbewegung eine Abkehr von Öl und Kernenergie hin zu Erneuerbaren Energien zu fordern. Durch das Buch

„Energiewende – Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran“ des Ökoinstituts 1980 wurde der Begriff „Energiewende“ für diese Transformation in Deutschland etabliert.² In den 1990er Jahren folgte das Stromeinspeisungsgesetz und fossile Energieträger, insbesondere Kohle, gerieten immer mehr unter Druck. Mit der Umweltkonferenz 1992 in Rio de Janeiro wurde das Umwelt- und Klimathema auf die internationale Politikagenda gesetzt. Und auch die Debatte über eine CO₂-Bepreisung hat in dieser Zeit ihren Ursprung.

Die **Energiewende in Deutschland** ist sodann vor allem durch die Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 auf den Weg gebracht worden. Auf dieser Basis schafften die Wind- und Solartechnologien im ersten Jahrzehnt des neuen Jahrhunderts ihren weltweiten Durchbruch. Spätestens mit der Reaktorkatastrophe in Fukushima ist die Energiewende in Deutschland dann auch zur energiepolitischen Priorität geworden. So verkündete die Bundeskanzlerin Angela Merkel damals – nicht zuletzt auf Druck der sozialen Bewegungen: „Die einzig redliche Antwort ist der forcierte und beschleunigte Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien“³.



© RLS 2020

Abbildung 1: Neues energiepolitisches Projekt: Umbau des Energiesystems

¹ Krause, Florentin et al. (1980); Lovins, Amory B. (1976); von Hirschhausen, Christian (2018); Morris, Craig und Jungjohann, Arne (2016).

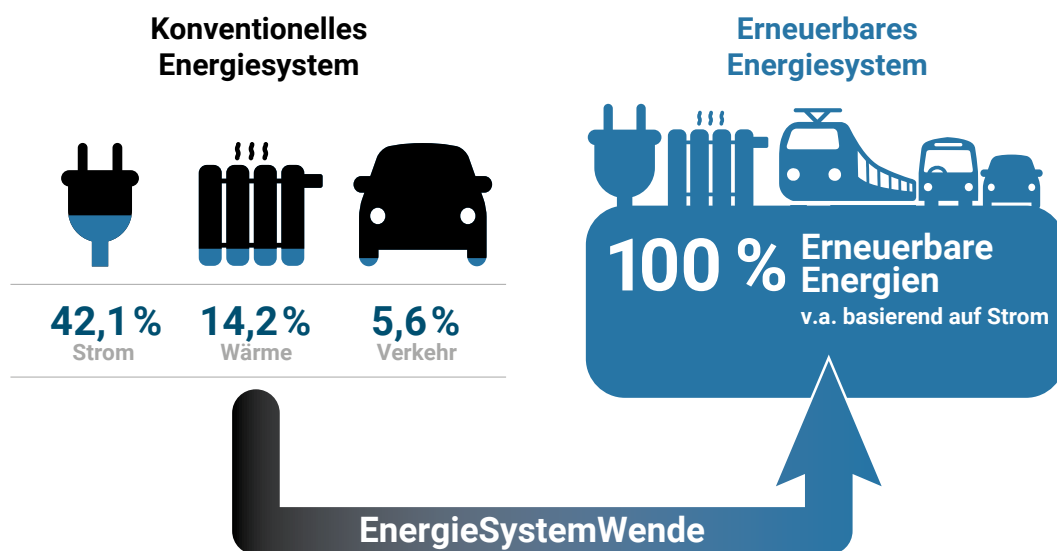
² Öko-Institut (2019)

³ Bundesregierung (2011).

2.2 Systemkonflikt: Die Ziele sind ambitioniert, aber die Energiewende stockt

Dieses ausgerufenen Zeitalter der Erneuerbaren Energien ist auch aufgrund der Klimakrise politisches Programm. Jüngst wurden zahlreiche Studien und Szenarien vorgelegt, die aufzeigen, wie Deutschland klimaneutral werden kann.⁴ Die **Klimaziele des Pariser Abkommens**, auf die sich die internationale Staatengemeinschaft 2015 geeinigt hat, legen einen Anstieg der glo-

balen durchschnittlichen Oberflächentemperatur von bestenfalls 1,5°C, maximal jedoch 2°C, fest. Da diese seit der vorindustriellen Zeit schon um 1,1°C angestiegen ist, ergibt sich aus dem Restbudget für den Treibhausgasausstoß ein außerordentlich steiler Dekarbonisierungspfad: Für das Erreichen des 1,5°C-Ziels müsste die Welt spätestens im Jahr 2038 klimaneutral sein, wobei Industriestaaten wie Deutschland eine Vorreiterrolle einnehmen müssen, um globale Nachahmung zu finden.



© RLS 2020 / Quelle UBA / Anteil EE – Status 2019

Abbildung 2: 100 % Erneuerbare in allen Sektoren: Das Ziel ist noch in weiter Ferne

Unser Leitbild für Deutschland ist deshalb **100 % Erneuerbare Energien in allen Sektoren bis 2035**. Was dieses Leitbild in der Umsetzung bedeutet, kann aus verschiedenen Studien abgelesen werden. Für sechs verschiedene Studien werden die jährlichen Ausbauraten für das Zieljahr 2035 und für PV und Windenergie in der Abbildung 3 dargestellt.⁵ Ergänzend dazu die Werte für eine 100 % Erneuerbare Energien Studie bis 2040⁶ und 2050⁷. Zusätzlich ist die Gesamtstromerzeugung im Inland zu sehen, die – je nach Studienannahmen – einen Groß-

teil des Strombedarfes im Zieljahr deckt. Große Abweichungen zum Strombedarf werden über Importe von Strom oder Wasserstoff und synthetischen Brennstoffen gedeckt. Die Bandbreite des Bruttostrombedarfes liegt bei 800 bis 1.600 TWh. Die Studien verweisen auf eine inländische Nettostromerzeugung von 700 bis 1.440 TWh pro Jahr im 100 %-Szenario.

Dies führt zu einem **jährlichen Zubaubedarf** von Windenergieanlagen in Höhe von rund 9 - 18 GW und 5 - 21 GW Solarkraftwerken.

⁴ Quaschnig, Volker et al. (2016); Wuppertal Institut (2020); Sachverständigenrat für Umweltfragen (2020); CAN Europe und EEB (2020); Hainsch, Karlo et al. (2020); Purr, Katja et al. (2019); Reiner Lemoine Stiftung (2020); Prognos et al. (2020); ISE Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme (2019).

⁵ Wuppertal Institut (2020); Bründlinger, Thomas et al. (2018); Gerbert, Philipp et al. (2018); Robinius, Martin et al. (2020); Sterchele, Philip et al. (2020); Purr, Katja et al. (2019).

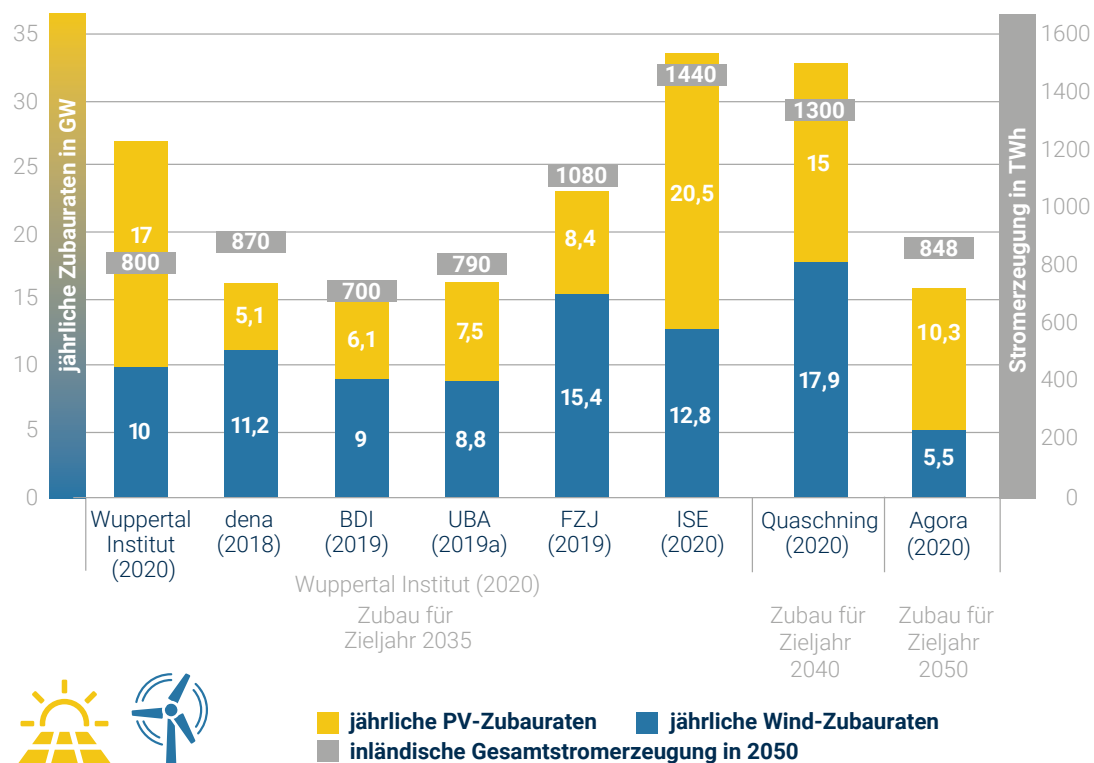
⁶ Quaschnig, Volker et al. (2016).

⁷ Prognos et al. (2020).

Da in diesem Impulspapier eine möglichst hohe inländische Deckung des Strombedarfs angestrebt wird, schätzen wir den Ausbaubedarf von Wind und Solarenergie auf jeweils über 10 GW pro Jahr. Dieser Bedarf kommt zum einen durch den Ersatz von fossilen Kraftwerkskapazitäten zustande und zum anderen durch den Wärme- und Verkehrssektor, welche

in Zukunft überwiegend direkt elektrifiziert und mit Erneuerbaren Energien betrieben werden. Die Verknüpfung des Stromsektors mit Wärme und Verkehr nennt sich **Sektorenkopplung** und ist ein wesentlicher Baustein der EnergieSystemWende. Insgesamt sinkt darüber der Primärenergiebedarf, während der Strombedarf steigt.

100 % EE – Überblick über Zubauraten und Gesamtstromerzeugung



© RLS 2020 / Angelehnt an: Wuppertal Institut (2020)

Abbildung 3: Mehr Strom, mehr Wind, mehr Sonne - davon gehen viele Energieszenarien aus

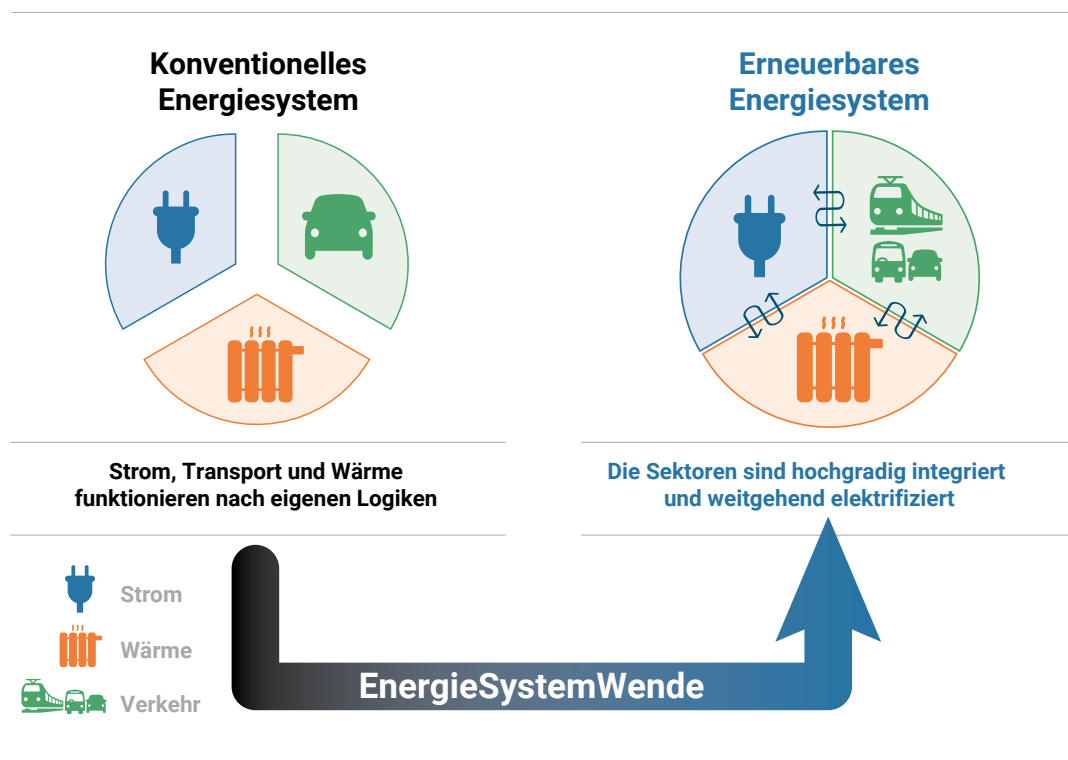
Durch die Deckung mit fluktuierenden Erneuerbaren Energien steigt auch der Speicherbedarf enorm, sowohl auf der kurzfristigen Zeitskala als auch saisonal durch zum Beispiel Power-to-Gas. Der Bedarf für Batteriespeicher wird auf 15 bis 20 GW im Zieljahr 2035 geschätzt.⁸ Der größte Unterschied in den Prognosen der Zubauraten und der damit verbundenen inländischen Stromerzeugung ergibt sich aus der unterschiedlichen Bewertung der Verwendung

von Wasserstoff und synthetischen Brennstoffen sowohl inländisch erzeugt, aber vor allem als Import aus anderen Ländern. Wenn von großen Importmengen (300 bis 700 TWh pro Jahr an synthetischen Brennstoffen) ausgegangen wird, bewegen sich die **kombinierten Ausbauraten aus PV und Wind bei ca. 15 GW/Jahr**. Wenn von einem geringen Importanteil ausgegangen wird, dann sind **über 30 GW/Jahr Zubau** notwendig.

⁸ Bründlinger, Thomas et al. (2018); Gerbert, Philipp et al. (2018).

Die Ziele der Bundesregierung bewegen sich derzeit bei ca. 9 GW/Jahr, was deutlich zu wenig für 100 % Erneuerbare Energien in allen Sektoren bis 2035 ist. Selbst für diese klimapolitisch mangelhaften, aber politisch schon relativ ambitionierten Ausbauziele erleben wir, dass ein beschleunigter Erneuerbare Energien-Ausbau keineswegs von selbst funktioniert. Vielmehr wirkt es so, dass die **Energiewende aufgrund von Systemkonflikten** und Widersprüchen ins **Stocken geraten ist**.⁹ Sichtbar wird dies – um wenige Beispiele zu nennen – anhand der Diskussionen um den Ausbau der Stromnetze versus den Einsatz von Speichertechnologien, den Entgelt-Debatten im Bereich der solaren Eigenerzeugung und dem gesellschaftlichen Diskurs um die Verkehrswende. Auch die mangelnde Zustimmung für die Windenergie infolge der vernachlässigten lokalen Wertschöpfungspotenziale ist ein Zeichen des offenbaren Systemversagens.

raten ist.⁹ Sichtbar wird dies – um wenige Beispiele zu nennen – anhand der Diskussionen um den Ausbau der Stromnetze versus den Einsatz von Speichertechnologien, den Entgelt-Debatten im Bereich der solaren Eigenerzeugung und dem gesellschaftlichen Diskurs um die Verkehrswende. Auch die mangelnde Zustimmung für die Windenergie infolge der vernachlässigten lokalen Wertschöpfungspotenziale ist ein Zeichen des offenbaren Systemversagens.



© RLS 2020

Abbildung 4: Aus drei Sektoren wird ein integriertes Gesamtenergiesystem

2.3 Wahljahr 2021: Chance für einen Neustart der Energiepolitik

Erst ein **Auflösen der Systemkonflikte kann die Energiewende wieder beschleunigen** und gleich sektorenübergreifend auch eine Wärme- und Verkehrswende herbeiführen. Die Politik der aktuellen Bundesregierung stößt dabei an ihre Grenzen. Sie wirkt konzept- und orientierungslos.¹⁰ Sie erkennt zwar an, dass „die Energieversorgung in Deutschland sich in einem tiefgreifenden Umstrukturierungspro-

zess befindet“.¹¹ Gleichzeitig verpasst sie es aber aufzuzeigen, wie das **Zielmodell dieser Umstrukturierung** aussehen soll und verharret stattdessen argumentativ im strukturellen Korsett des Konventionellen Energiesystems.¹² **Die große Koalition aus SPD und CDU/CSU hat in den letzten Jahren den Energiemarkt eher verwaltet als gestaltet.** In Erinnerung bleiben wird vermutlich der späte Kohleausstieg, die Einführung eines CO₂-Preis-Mechanismus oder eine behutsame Anhebung der Ausbauziele für Erneuerbare Energien. Alles Maßnahmen, die

⁹ Reiner Lemoine Stiftung (2019) Zuber, Fabian (2019).

¹⁰ Blechinger, Philipp und Zuber, Fabian (2020).

¹¹ Bundesregierung (2020).

¹² Reetz, Fabian und Göhlich, Céline (2020).

aufgrund des wachsenden gesellschaftlichen Druckes getroffen wurden, aber in ihrer Ausgestaltung schwach und wenig fordernd bleiben. Weitergehende Reformen des Energiemarktes sind auf den letzten Metern dieser Regierungszeit jedoch kaum mehr zu erwarten.

Gleichwohl bleibt der Handlungsbedarf immens. Viele Themen wurden in den letzten Jahren breit diskutiert, ohne dass sie in konkrete Rahmenbedingungen übersetzt wurden. Grundlegende Fragen bleiben offen. Wie kann die Sektorenkopplung gelingen? Wie kann nachhaltig Zustimmung in der Bevölkerung geschaffen werden für den Ausbau von Wind- und Solaranlagen? Wie gelingt eine Reform der Umlagen und Entgelte? Die Liste ist lang. Es liegt auf der Hand, dass diese Themen in Anbetracht der gesellschaftspolitischen Energie- und Klimaziele die **Agenda der nächsten Regierung** prägen werden.

Ohne Zweifel wird die sich verschärfende Klimakrise hier weiterhin die Debatten bestimmen. In diesem Zusammenhang kann auch der **European Green Deal** eine wichtige Dynamik entfachen, da er maßgebliche Vorgaben an die nationale Politik stellt. Schließlich ist aber auch davon auszugehen, dass der Wahlkampf unter dem Eindruck der **Corona-Pandemie** und den daraus entstandenen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Spannungen stehen wird. Umso wichtiger wird es sein, industriepolitische Akzente zu setzen und die Investitionen in eine neue Energieinfrastruktur als Konjunkturmotor zu verstehen und entsprechend zu positionieren. **Energiepolitik muss als gesamtgesellschaftlicher und wirtschaftlicher Erfolgsfaktor**

für Deutschland betrachtet werden. Dabei geht es darum, ein **integriertes Energiesystem, das alle Sektoren** zusammenführt, von Grund auf neu zu gestalten.

Anders gesagt: **Die Energiewende muss zur EnergieSystemWende werden.** Anstelle einer Politik, die in veralteten Denkmustern verharret, braucht es energiepolitische Konzepte, die den Anforderungen der erneuerbaren Energiewelt gerecht werden. Sie müssen kraftvoll und überzeugend mit klaren Zielen den Weg in die nahe Zukunft weisen. **Das energiepolitische Projekt der 2020er Jahre ist daher die EnergieSystemWende in Richtung 100 % Erneuerbare Energien.** Insbesondere die Jahre 2021–2025 werden dabei ein wegweisender Zeitraum sein, in dem sich entscheidet, ob und wie die Klimaziele erreicht werden können.

Dafür bietet die Neuwahl des Deutschen Bundestages im Jahr 2021 die **Chance für einen grundlegenden Neustart der Energiepolitik.** Insofern bedarf es entsprechender Konzepte und politischer Programme, für die im Wahlkampf gerungen und argumentiert werden kann. Das vorliegende Papier soll dazu Impulse geben.

3 HERAUSFORDERUNGEN DER ENERGIESYSTEMWENDE

3.1 Hintergrund und Vorgehen

Das Ziel dieses Impulspapieres ist es, die großen Herausforderungen der EnergieSystemWende zu beleuchten und **konkrete Weichenstellungen**

als Lösungswege für die kommende Legislaturperiode zu definieren. Dabei werden zentrale systemische Hemmnisse der Energiewende aufgezeigt, die sowohl gesellschaftspolitischer als auch technisch-ökonomischer Natur sind.¹³



© RLS 2020

13 Reiner Lemoine Stiftung (2019).

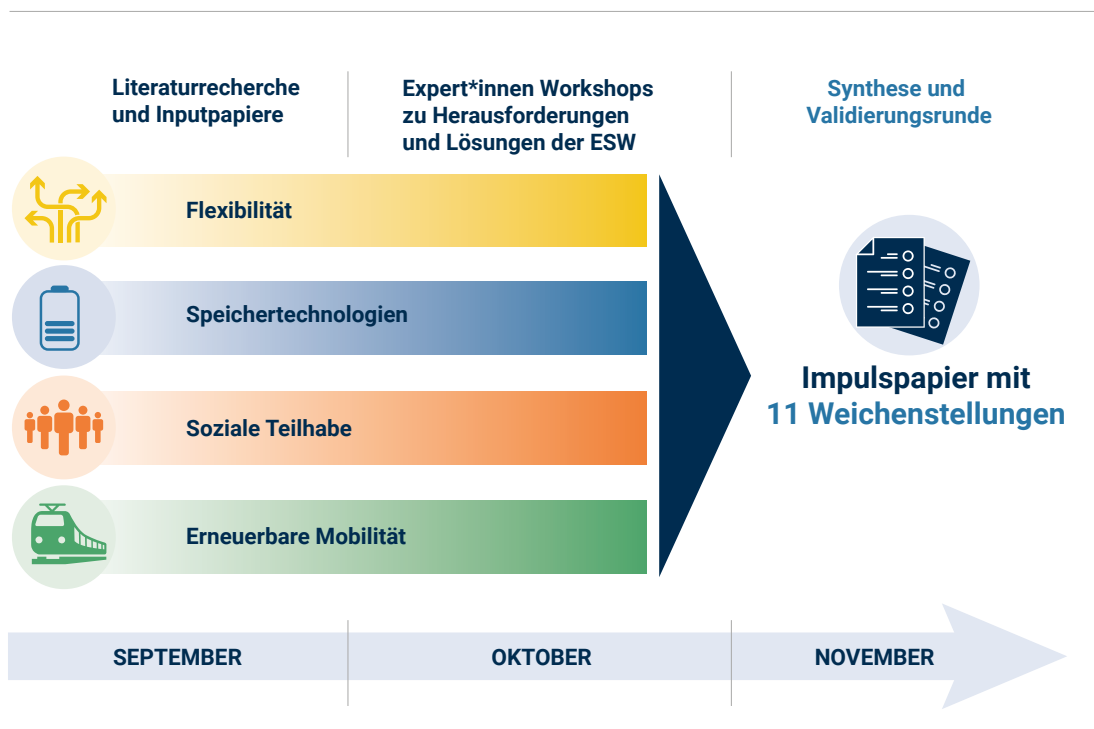
In den letzten Jahren haben sich grundlegende **Trends der EnergieSystemWende** (s. Abbildung 5) abgezeichnet, deren Voranschreiten erheblichen Einfluss auf das Energiesystem haben wird:

- **Sektorenkopplung:** Die Verknüpfung des Stromsystems mit dem Wärmesektor und dem Transportsektor bis hin zur vollständigen Integration wird immer wichtiger, um Synergien zu heben und eine vollständige Dekarbonisierung aller drei Sektoren zu erreichen.
- **Elektrifizierung:** Die wichtigste Energiequelle im Zusammenspiel der Sektoren wird erneuerbarer Strom sein. Direkte Elektrifizierung von Prozessen ist dabei besonders energieeffizient (bspw. elektrische Heizungen oder batterieelektrische Fahrzeuge).
- **Dezentralisierung:** Das zentrale Energiesystem mit Großkraftwerken und Hochspannungsnetzen entwickelt sich immer mehr zu einem dezentralen System mit dezentraler Erzeugung und Verteilung direkt bei den Verbraucher*innen.
- **Teilhabe und Demokratisierung:** Im Rahmen der Demokratisierungspotenziale spielen u.a. Bemühungen der Rekommunalisierung und Einbeziehung neuer Akteure eine Rolle. Mehr Akteure, sowohl aus der Bevölkerung als auch andere dezentrale, kleinere Akteure streben eine prozessuale, aber auch wirtschaftliche Teilhabe in der EnergieSystemWende an.
- **Flexibilisierung:** Das Energiesystem muss alte Flexibilitätsoptionen ersetzen und aufgrund des hohen Anteils volatiler Erneuerbarer Energien immer flexibler werden unter Berücksichtigung räumlicher und zeitlicher Aspekte der Einspeisung und Vergütung erneuerbaren Stroms.
- **Digitalisierung:** Neue digitale Technologien ermöglichen eine schnelle und effiziente Steuerung der Komponenten, sowie die Kommunikation zwischen allen Teilnehmer*innen des Energiesystems.

Aufbauend auf diesen Trends bearbeitet das RLS-Graduiertenkolleg **Forschungsfragen zu den Themen Flexibilität, dezentrale Speicher, soziale Teilhabe und Erneuerbare Mobilität**. Diese stehen exemplarisch für die EnergieSystemWende, da sie zentrale Antworten für ein 100 % Erneuerbares System bereithalten.

So zeigt sich beim Thema Flexibilität, dass eine umfassende Betrachtung notwendig ist, um vom Konventionellen – unidirektionalen – System in das Erneuerbare Energiesystem zu wechseln. Dezentrale Speichertechnologien müssen die Energiespeicherfähigkeiten der fossilen Energieträger unter Beachtung der räumlichen Nähe zu Verbraucher*innen ersetzen, was große systemische Umstellungen impliziert. Die schnelle Dekarbonisierung des gesamten Energiesystems ist besonders herausfordernd im Verkehrssektor, welcher vor fundamentalen Umbrüchen durch direkte Elektrifizierung und stark verändertem Mobilitätsverhalten steht. Insgesamt gilt für die Umsetzung der EnergieSystemWende, dass gesellschaftliche Teilhabe und Akzeptanz notwendig sind und gefördert werden müssen, um diese Jahrhundertaufgabe schnell, effizient, kostengünstig und sozial gerecht abzuschließen.

Diese Beispiele zeigen die Relevanz der vier Leitthemen des Kollegs und dieses Impulspapiers. Gleichzeitig sei betont, dass damit nicht alle Themen abgedeckt sind. Besondere Schwerpunkte wie der Gebäudesektor und die Wärmewende, rechtliche Fragen oder die Umsetzung von EU-Recht fließen nur peripher in das Gesamtbild und die Weichenstellungen ein.



© RLS 2020

Abbildung 6: Methodisches Vorgehen zum Impulspapier

Um aus dem wissenschaftlichen Diskurs heraus konkrete Weichenstellungen für das Wahljahr 2021 zu entwickeln, wurde ein **transdisziplinärer Ansatz mit Expert*innen-Workshops** gewählt und im Zeitraum September bis November 2020 umgesetzt (s. Abbildung 6). Für die vier Leitthemen wurden zuerst Inputpapiere entwickelt, welche die genaue Definition des Themas, eine Darstellung des Ist-Zustandes, des Ziel-Zustandes und der dabei zu bewältigenden Herausforderungen zusammenfassen. In darauffolgenden Workshops wurden die zu bewältigenden Herausforderungen entlang der Inputpapiere mit Expert*innen diskutiert, welche aus dem transdisziplinären EnergieSystemWende **Netzwerk des RLS-Graduiertenkollegs**¹⁴ kommen.

Die im Workshop erarbeiteten politischen Handlungsempfehlungen wurden innerhalb des Graduiertenkollegs zu übergeordneten Weichenstellungen zusammengefasst und über einen Feedbackworkshop mit denselben Expert*innen validiert. Die folgenden Unterkapitel zeigen die Ergebnisse der Workshops und die Weiterentwicklungen der Inputpapiere zu den Themen Flexibilität, Speichertechnologien, soziale Teilhabe und Erneuerbare Mobilität. Das Abschlusskapitel erläutert die resultierenden Weichenstellungen.

¹⁴ Die beteiligten Personen an diesem Prozess sind in der Danksagung im Impressum aufgeführt.

3.2 Flexibilität

Flexibilität ist die **Fähigkeit des Stromsystems** auf vorgesehene oder unvorhergesehene Änderungen in Verbrauch oder Erzeugung zu reagieren.¹⁵ Dem zugrunde liegt die physikalische Eigenschaft des Stromsystems, dass Erzeugung und Verbrauch stets ausgeglichen sein müssen, um einen stabilen Betrieb zu ermöglichen. Das Themenfeld der Flexibilität im Stromsystem ist hoch komplex und verbindet **unterschiedliche Dimensionen und Ebenen**.¹⁶

Flexibilität hat eine **zeitliche und geografische** Dimension und agiert auf unterschiedlichen Zeit- und räumlichen Skalen. Zeitlich relevante Skalen können beispielsweise saisonale Schwankungen in Erzeugung und Verbrauch, der Ausgleich von stündlichen Erzeugungskurven und Lastgängen, sowie die Bereitstellung von Frequenzhaltung im Sekundenbereich sein. Geographisch kann man Flexibilität betrachtungen international und national auf Übertragungsnetzebene, regional und lokal auf Verteilnetzebene, in Energiezellen oder sogar einzelnen Haushalten anstellen.

Die in einem bestimmten geographischen und zeitlichen Rahmen verfügbare Flexibilität wird von **technischen, operativen und institutionellen** Faktoren beeinflusst, was in Abbildung 7 dargestellt ist. Dies stellt sozusagen den Werkzeugkasten dar, der im Energiesystem grundsätzlich für den Einsatz von Flexibilitäten zur Verfügung steht. Je nach Land und Region aber auch je nachdem welchen Zeitpunkt man betrachtet, kommen dabei unterschiedliche Werkzeuge zum Einsatz.

- Die **technische Ebene** bildet mit den **verfügbaren Technologien** die Basis und kann unterteilt werden in **Erzeugung, Verbrauch, Speicher¹⁷, Netz und Sektorenkopplung¹⁸**. Erzeugung, Verbrauch und Speicher können vor allem zeitliche Flexibilität bereitstellen, indem ihr Fahrplan angepasst wird. Das Netz hingegen stellt räumliche Flexibilität bereit, d.h. es ermöglicht, Komponenten aus einem größeren Gebiet miteinander zu vernetzen und gegenseitig auszugleichen. Sektorenkoppelnde Technologien stellen eine Verbindung zu anderen Sektoren her, wodurch deren Infrastruktur, also Erzeu-

gung, Verbrauch, Speicher und Netz dieser verbundenen Sektoren für das Stromsystem teilweise verfügbar gemacht werden. Sie bewegen sich damit sowohl in der zeitlichen als auch in der räumlichen Dimension. Die **operative Ebene** umfasst Prozesse, die die **Fahrweise und die Installation** der technischen Komponenten bestimmen. Diese Elemente beeinflussen sowohl die Flexibilitätsbereitstellung als auch den Flexibilitätsbedarf. Wird bei der Planung des Kraftwerks- oder Speichereinsatzes außerdem der aktuelle Netzzustand berücksichtigt, kann der Bedarf von räumlicher Flexibilität verringert werden. **Aggregationskonzepte**, die Energiezellen, Virtuelle Kraftwerke sowie Smart und Microgrids umfassen, verbinden gleichermaßen die zeitliche und geographische Dimension, da dort alle technischen Komponenten zusammengeführt werden können. So kann durch ein intelligentes Zusammenspiel dieser Komponenten zeitliche Flexibilität bereitgestellt und der räumliche Flexibilitätsbedarf gesenkt werden. Eine erhöhte **Prognosegenauigkeit** von PV, Wind und Last senkt einerseits den Flexibilitätsbedarf, da kurzfristige Abweichungen von der Vorhersage weniger wahrscheinlich sind. Auf der anderen Seite kann eine zuverlässigere Prognose diesen Technologien auch erlauben, bestimmte Systemdienstleistungen zu erbringen und somit eine Flexibilitätsbereitstellung ermöglichen. Akteure, die sich in der operativen Ebene bewegen, sind beispielsweise Aggregatoren oder Kraftwerksbetreibende.

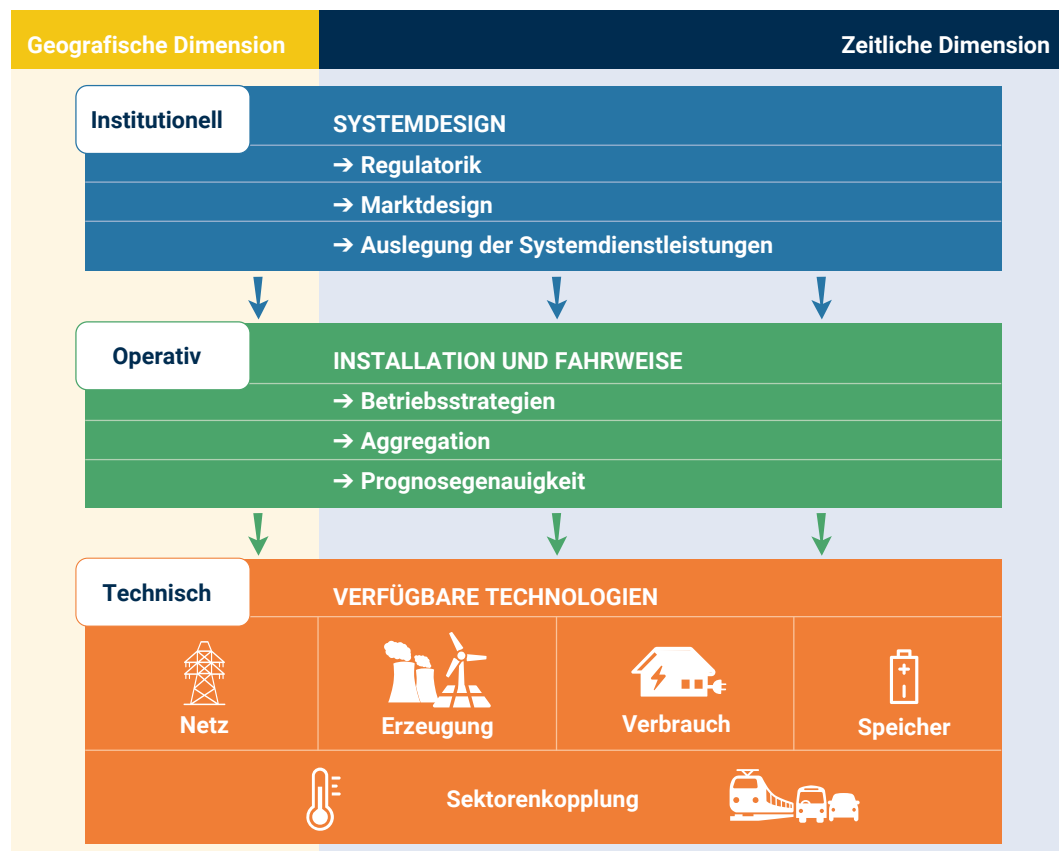
- Die **institutionelle Ebene** umfasst Aspekte des **Systemdesigns**, die wiederum Einfluss auf die operative Ebene haben. Wie der Markt ausgestaltet ist, welche **regulatorischen Maßnahmen** erlaubt sind, welche **Systemdienstleistungen** nachgefragt werden, beeinflussen, wie die operative Ebene und somit die Fahrweise und die Neuinstallation der Technologien organisiert werden. Entscheidungen, diese Ebene zu gestalten, werden hauptsächlich in der Politik getroffen.

¹⁵ International Energy Agency (2011).

¹⁶ Verzijlbergh, Remco A. et al. (2017).

¹⁷ Über die Rolle der Speicher als einer der zentralen Flexibilitäts Optionen des Erneuerbaren Energiesystems findet sich ein eigenes Teilkapitel 3.3 mit tiefergehenden Einblicken und Maßnahmen.

¹⁸ Lund, Peter D. et al. (2015); Cruz, Marco R.M. et al. (2018); Holttinen, Hannele et al. (2013).



© RLS 2020 / Angelehnt an: Lund, Peter D. et al. (2015); Cruz, Marco R.M. et al. (2018); Holttinen, Hannele et al. (2013).

Abbildung 7: Flexibilitätswerkzeugkasten: Der Flexibilitätsmix verändert sich

3.2.1 Flexibilität im Konventionellen Energiesystem

Auch wenn die Diskussion und der Begriff Flexibilität erst in der Debatte um die Energiewende an Prominenz gewonnen haben, spielte bereits im Konventionellen Energiesystem Flexibilität auf der Stromseite eine tragende Rolle.

Im Konventionellen Stromsystem werden dabei die zeitliche und **geografische Dimension weitestgehend getrennt voneinander** betrachtet. An der Strombörse wird zunächst für den zeitlichen Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch gesorgt, am Regelleistungsmarkt werden Reserven kontrahiert. Der Markt basiert dabei auf der sogenannten Kupferplatte, in der eine unendliche Kapazität der Netze angenommen wird, die **geografische Dimension wird also vor-**

erst ignoriert. Die Netzbetreiber kontrollieren in einem dem Handel nachgelagerten Prozess, ob die Netze den gehandelten Strom auch transportieren können und leiten bei voraussichtlichen Überlastungen **Redispatch**-Maßnahmen ein. Bei diesen werden ausgewählte Kraftwerke entsprechend ihrer räumlichen Lage zu einem sich einstellenden Netzengpasses herunter- und die in Lastflussrichtung hinter dem Engpass liegenden Kraftwerke hochgefahren. Auf der vom Engpass betroffenen Leitung stellt sich so die gewünschte Entlastung ein. Beide Kraftwerke werden vom Netzbetreiber für die ihnen entstehenden Kosten vergütet.¹⁹ Durch das Konzept der Kupferplatte am Markt kommt den Netzbetreibern die Aufgabe zu, für ausreichende Transportkapazitäten im Netz zu sorgen. Dies wird hauptsächlich durch Netzausbaumaßnahmen gewährleistet.

¹⁹ Bundesnetzagentur (2018).

Wie bereits beschrieben, erfolgt der **zeitliche Ausgleich** von Erzeugung und Last am Markt. Dabei wird im Konventionellen System die Erzeugung den Lastprognosen angepasst. Die Flexibilitätsbereitstellung erfolgt hier also hauptsächlich vonseiten der Konventionellen Erzeugung. Die Flexibilität aus Konventionellen Erzeugern rührt dabei vor allem aus der Lager- und somit Speicherbarkeit der fossilen Kraftstoffe, die dort zur Stromerzeugung genutzt werden. Aber auch Pumpspeicherkraftwerke und industrielles Demand Side Management (DSM) haben ihren Platz im Konventionellen Energiesystem. Erstere finanzierten sich vor allem aus hohen Preisdifferenzen zu unterschiedlichen Tageszeiten, beispielsweise der sogenannten Mittagsspitze. Es gibt außerdem regulatorische Anreize für größere Verbraucher, ihren Verbrauch möglichst gleichmäßig zu halten, was durch verringerte Netzentgelte belohnt wird.²⁰ Dies entspricht gewissermaßen einer Anpassung des Verbrauchs an unflexible Großkraftwerke, die bevorzugt auf Volllast gefahren werden.

Der verbleibende kurzfristige **Flexibilitätsbedarf** entsteht im Konventionellen Energiesystem vor allem durch Kraftwerksausfälle und Fehlprognosen der Last. Diese werden über den Regelleistungsmarkt und andere Systemdienstleistungen aufgefangen.

3.2.2 Flexibilität im Erneuerbaren Energiesystem

Der Einsatz von Flexibilitäten befindet sich in einem fundamentalen Wandel.²¹ Abbildung 8 veranschaulicht diese Transformation. Sowohl der Bedarf als auch die Bereitstellung von Flexibilität unterscheiden sich stark im Erneuerbaren Energiesystem. So wird in Zukunft ein Ausgleich von Last und Erneuerbarer Erzeugung im Vordergrund stehen. **Variabilität und stärkere Prognoseunsicherheit** seitens volatiler Erneuerbarer Erzeuger lösen eine bevorzugte gleichmäßige Fahrweise von Großkraftwerken ab. Außerdem steigt durch die Vielzahl an kleineren Erzeugern die Komplexität des Kraftwerks-parks, die es zu handhaben gilt.²²

Die **räumliche Verteilung** von Erneuerbaren Erzeugern und Last deckt sich dabei in Deutschland bisher nicht. So wird im winddominierten

Norden weitaus mehr Strom produziert und im industriestarken Süden umgekehrt mehr verbraucht. Dies fordert die Übertragungsnetze und führt zu vermehrten Redispatch- und Einspeisemanagementmaßnahmen. Auf der anderen Seite werden immer mehr Erzeugungs-, Speicher- und sektorenkoppelnde Technologien auch in niedrigeren Spannungsebenen installiert. Diese steigende Dezentralität verändert die Rolle der Verteilnetze. Ein möglicher Ansatzpunkt, diesen Veränderungen Rechnung zu tragen ist ein Einbeziehen der Netzinfrastruktur in den Markt, also ein Abschied von der Kupferplatte. Außerdem könnten zukünftig intelligente Verteilnetze, lokale Märkte, aber auch ein weiteres Zusammenwachsen des europäischen Verbundnetzes zur Deckung der räumlichen Flexibilität beitragen.

Die Erbringung **zeitlicher Flexibilität** muss im Erneuerbaren Energiesystem aus allen Arten technischer Flexibilität kommen, um den Wegfall der Speichereigenschaft fossiler Brennstoffe auszugleichen. Erzeugung, Verbrauch, Speicher und Sektorenkopplung haben alle ihren Platz im Erneuerbaren Energiesystem. Dabei gibt es verschiedene Maßnahmen, die eine Nutzung vorantreiben können. Die Installation von Mess- und Steuereinrichtung beispielsweise könnte eine weitere Einbindung der Verbrauchsseite sowie intelligente Energiezellenkonzepte begünstigen. Auch Technologien wie Batteriespeicher, Elektrolyseure, Elektromobilität bieten neue Chancen für den Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch. Außerdem kann eine Verkürzung der Handelsperioden und Kontraktdauern eine flexiblere Fahrweise der Technologien begünstigen. Flexibilisierte Abgaben und Umlagen bieten das Potenzial, verbrauchsseitige Flexibilität stärker einzubinden. Als Maßnahmen zum Senken des zeitlichen Flexibilitätsbedarfs können Energieeffizienzmaßnahmen, Echtzeitmessungen und eine verbesserte Prognosegenauigkeit dienen.

Insgesamt ist es an der Zeit, **sektorenübergreifend die geografische und zeitliche Dimension zusammen zu denken** und beide Arten der Flexibilität als sich ergänzende Potenziale zu sehen.

²⁰ Friedrichsen, Nele et al. (2016).

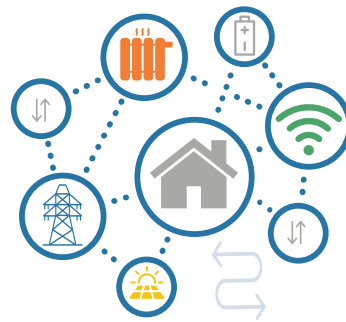
²¹ Ulbig, Andreas und Andersson, Göran (2015).

²² Bundesnetzagentur (2020).



Konventionelles Energiesystem

Die geografische (Netz) und zeitliche Dimension (Markt) wurden bisher im Stromsystem **getrennt** betrachtet. Dabei herrschten **zentral** geprägte Strukturen.



Erneuerbares Energiesystem

Das neue Energiesystem funktioniert auf Basis eines bunten Mix aus allen, auch **dezentralen**, Flexibilitätsoptionen und **integriert** sowohl geografische und zeitliche Dimension am Markt.



© RLS 2020

Abbildung 8: Im Erneuerbaren Energiesystem gibt es einen bunten Mix von Flexibilitäten

3.2.3 Herausforderungen und Handlungsfelder

Um vom Zielmodell des Erneuerbaren Energiesystems her einen **adäquaten Flexibilitätsein-satz** zu realisieren und die technischen Möglichkeiten auszuschöpfen, bedarf es Anpassungen im Systemdesign. Eine neue Bundesregierung wird in der Verantwortung sein, diese Transformationsschritte zu managen und konkret in der kommenden Legislaturperiode entsprechende **Weichenstellungen** vorzunehmen.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen sind unterteilt in drei Themenblöcke, welche im Folgenden weiter ausgeführt werden:

- Märkte umstrukturieren
- Angepasste Umlagen- und Entgeltsystematik
- Sektorenintegration voranbringen

Insgesamt ist das **Ziel** ein gut abgestimmtes auf erneuerbare Erzeuger ausgerichtetes System zu kreieren, in dem unterschiedliche

Anreize geschaffen werden. Welches genaue Zusammenspiel der Flexibilitätsoptionen sich darin durchsetzt, hängt auch stark von regionalen Gegebenheiten ab. Der optimale Mix in einer winddominierten Region wird sich stark unterscheiden von einem lastgetriebenen Teilgebiet. Eine Vielfalt an Technologien, bei der bereits vorhandene Potenziale, wie Flexibilität auf Lastseite, weiter gehoben werden als auch die Nutzung neuerer Technologien, wie Brennstoffzellen, angereizt wird, ist erstrebenswert.

Räumlich sollte einerseits **europäisch** gedacht werden. Eine sektorenübergreifende CO₂-Bepreisung ergibt beispielsweise im Verbund mehr Sinn. Auf der anderen Seite sind auch **lokale Lösungen** gefragt. Für die Einbindung kleinerer Akteure und das Management von kleineren Netzgebieten sind lokale Marktplätze, in denen auch Informationen zum Netzzustand mit einbezogen werden, eine gute Möglichkeit. Wie zuvor der Netzbetrieb in Übertragungs- und

Verteilnetze und die Politik in Bundes-, Landes- und Kommunalpolitik unterteilt ist, muss es auch in der Flexibilitätsbewirtschaftung verschiedene Handlungsebenen geben. Eine weitere Stärkung des Austauschs im europäischen Verbundnetz und eine gleichzeitige Besinnung auch auf einen lokalen Flexibilitätshandel stehen daher keineswegs im Widerspruch, sondern sind beides notwendige Schritte auf dem Weg ins Erneuerbare Energiesystem.

➤ Märkte umstrukturieren

Wo ein wirtschaftlicher Vorteil entsteht, da wird auch investiert. Technischer Fortschritt und kreative Lösungen werden dadurch begünstigt, wenn sich die neuen Vorschläge auch finanziell lohnen. Flexibilisierte Verbraucher und Speichereinsatz tragen sich bisher allerdings noch nicht ausreichend wirtschaftlich. Stattdessen wird seitens der Politik vor allem auf Netzausbau gesetzt. Ein **angepasstes Marktdesign** muss sowohl **zeitliche als auch geographische Knappheiten** in den Markt integrieren, um Anreize zur systemdienlichen Fahrweise zu schaffen. Die Preissignale sollten nicht technologiespezifisch gesetzt werden, um **der Vielfalt an Technologien** eine Chance zur Partizipation am Markt zu ermöglichen.

Dazu sollten **lokale Energie- und Flexibilitäts-Märkte** etabliert werden. Diese erlauben zunächst einen dezentralen Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch und die Einbeziehung von Flexibilität aus den Verteilnetzen. Verbleibende Diskrepanzen können dann über den überregionalen Markt ausgeglichen werden. Leitidee kann dabei der vernetzt-zelluläre Ansatz sein, in dem kleinere Energiezellen in einem größeren Gesamtsystem miteinander agieren.²³ Dieses Design könnte die Komplexität für den übergeordneten Markt reduzieren, da nicht die Gesamtheit der Akteure miteinander interagiert, sondern die Zellen eine Vorstufe bilden.

Das Erneuerbare Energiesystem wird dezentraler, daher muss der Markt für **neue**, auch kleinere **Akteure** geöffnet werden. Eine Partizipation am Markt muss vereinfacht und Hürden abgebaut werden. Aber auch die Rollen vorhandener Player und deren Kompetenzen müssen überdacht werden. **Stromlieferunternehmen und**

Netzbetreiber müssen beispielsweise Zugriff auf die gehandelte Flexibilität erhalten, damit diese systemoptimierend eingesetzt werden kann. **Erneuerbare Erzeuger** müssen ihren Teil zur Flexibilitätsbereitstellung im Erneuerbaren Energiesystem beitragen. Dazu könnte ein teilabgegrerter Betrieb notwendig sein.

Aggregatoren, die Kleinst-Flexibilitäten (<100 kW) bündeln und stichprobenartige Nachweise über die Zuverlässigkeit erbringen, müssen die Möglichkeit auf lokale und überregionale Vermarktung haben. Ihnen muss daher sowohl Zugang zu den lokalen Energie- und Flexibilitäts-Märkten als auch auf den überregionalen Markt gewährt werden, damit sie je nach Bedarf die gebündelte Flexibilität dort anbieten können.

Systemdienliches **Prosuming** muss gefördert werden. Dies kann im kleinen Maßstab ein einzelner Haushalt in einem Einfamilienhaus mit PV-Anlage sein oder im Sinne einer ausgeweiteten **Vor-Ort-Versorgung** auch z.B. Quartiere umfassen.²⁴ Dazu müssen einerseits **Preissignale** der Märkte auch die Endkund*innen erreichen, um so Anreize zur Anpassung des Verbrauchsverhaltens an die aktuelle Systemsituation zu geben. Auf der anderen Seite müssen die **technischen Vorschriften** zur Einspeisung und Prosuming **vereinfacht** werden. Beispielhaft müssten die Vorgaben für die zu installierende Messinfrastruktur gelockert werden, um eine kostengünstigere Installation dieser zu ermöglichen. Bisher nicht den vorgegebenen Qualitätsstandards entsprechende Geräte sind deutlich günstiger, erfüllen aber auch den Zweck. Auch die Abkehr von stark restriktiven Anforderungen an die Installation der Geräte kann auch ohne weitere Technologieentwicklung eine massive Kosteneinsparung hervorrufen.

Bisher wurde entsprechend dem Ideal der Kupferplatte vor allem auf ein stark ausgebautes Netz zur Bereitstellung der notwendigen **geographischen Flexibilität** gesetzt. Der Markt ignoriert Netzrestriktionen im ersten Schritt vollständig. Die steigenden Kosten für die im zweiten Schritt folgenden Redispatch-Maßnahmen zeigen die Grenzen dieses Vorgehens. Aber auch in Verteilnetzebene werden mit der vermehrten Installation dezentraler Energieanlagen zukünftig Engpässe erwartet. Netzrestrik-

²³ Schmid, Eva und Frank, David (2020).

²⁴ Reiner Lemoine Stiftung (2020).

tionen sollten **lokal aufgelöst** werden. Lokale Marktplätze sind ein Schritt, um diese Probleme anzugehen. Allerdings bedarf es noch weiterer Maßnahmen.

Eine **zweite Marktzone** oder die **Einbeziehung einer lokalen Komponente** in den Markt könnte Engpässen im Übertragungsnetz vorbeugen. Begrenzte Übertragungskapazitäten könnten so zumindest teilweise in den Markt mit einbezogen werden.

Außerdem sollte sich die **Planung der Erzeugungskapazitäten** auch am Verbrauch und der vorhandenen Flexibilität orientieren. Eine regionalisierte Förderung von Erneuerbaren Energie-Anlagen, in der die zu erwartende Netzübertragung bepreist oder die Nähe zum Verbrauch honoriert wird, ist eine Maßnahme, um das umzusetzen.

➤ **Angepasste Entgelt- und Umlagensystematik**

Starre **Umlagen und Entgelte** behindern eine flexible Fahrweise von Verbraucher*innen, da diese die Steuerwirkung des Börsenstrompreises dämpfen. Der feste Kostenblock verringert die relativen Schwankungen des Gesamtpreises und vermindert somit den Anreiz, den Verbrauch dem Preis anzupassen. Um diesem Effekt entgegen zu wirken, müssen folgende Änderungen vorgenommen werden.

Die **EEG-Umlage** muss **reformiert** werden. Im EEG hat sich eine feste Umlage etabliert, wobei pauschal Erneuerbare Energieerzeugung per kWh vergütet und auf alle Verbraucher*innen umgelegt wird. Dabei wird aber weder ein Beitrag zur Flexibilisierung des Systems belohnt noch sektorenübergreifend optimiert. Die Refinanzierung der Kosten für Bestandsanlagen sowie die Finanzierung von kleinen Anlagen (<100 kWp) muss daher anders gedeckt werden. Dies könnte entweder durch eine sektorenübergreifende CO₂-Bepreisung oder über angepasste Netzentgelte erfolgen. Es sei dabei betont, dass auch weiterhin das Modell der garantierten Vergütung von EE-Anlagen von Leistungsklassen kleiner 100 kWp gewährleistet werden muss, da sonst ein massiver Einbruch der Investitionen in diesem Bereich zu erwarten ist.

Es muss eine **Umstrukturierung der Netzentgelte** erfolgen, sodass die realen Kosten **verursacher*innengerecht** getragen werden. Dabei muss auch die unterschiedliche **Zahlungsbereitschaft** der Nutzenden durch verschiedene Tarifmodelle abgebildet werden. Eine Ausgestaltungsmöglichkeit wäre, dass beim Überschreiten der unbedingten Leistung zu Zeiten hoher Last höhere Netzentgelte anfallen. Es bedarf außerdem einer **Flexibilisierung** der Netzentgelte, die die zeitliche Auslastung der Netzinfrastruktur und damit die geografische Dimension mit einbeziehen. Es muss aufbauend auf Consentec GmbH und ISE ein überzeugendes Konzept erarbeitet werden, bei dem auch die soziale und strukturpolitische Komponente berücksichtigt wird.²⁵ Einzelne Endverbraucher*innen sollten nicht aufgrund von nicht beeinflussbaren Standortfaktoren höher belastet werden.

Die **Anreizregulierungsverordnung** bedarf einer Überarbeitung. Die momentane Ausgestaltung bevorzugt kapitalintensive Kosten gegenüber betriebsintensiven Kosten, da erstere als dauerhaft nicht beeinflussbare Kosten abgerechnet werden können.²⁶ Netzbetreiber*innen sollten Flexibilität auch nutzen können und deren Einsatz darf nicht benachteiligt werden. Es müssen daher **Anreize zu einer maximierten Netznutzung** bestehender Netze mit Hilfe von Flexibilitäten, die am Markt generiert wurden, geschaffen werden. Beispielsweise könnten Kosten, die im Betrieb durch variable Netzentgelte anfallen, als dauerhaft nicht beeinflussbare Kosten deklariert werden. Als Grundlage für die Überarbeitung der Anreizregulierungsverordnung können dabei die Erkenntnisse und Maßnahmen aus Senders und Halbig (2020) dienen.

➤ **Sektorenkopplung als Chance und Türöffner für Flex-Optionen voranbringen**

In sektorenkoppelnden Technologien wie Elektromobilität, Wärmepumpen und Elektrolyseuren wird ein großes Potenzial zur Bereitstellung von Flexibilität gesehen. Ein integriertes Gesamtsystem könnte Speicher und Puffer-eigenschaften der anderen Sektoren zur Stabilisierung des Stromsystems nutzen. Darin liegt

²⁵ Als Grundlage hierfür könnte dienen: Consentec GmbH und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2018).

²⁶ Senders, Julian und Halbig, Anna (2020).

eine große Chance. Einem Ausbau dieser Technologien steht aber ein durch Umlagen und Abgaben zu hoher Strompreis entgegen. Selbst in Zeiten negativer Strompreise können beispielsweise andere Energieträger noch immer ökonomischer sein als die Wärmebereitstellung durch überschüssigen Strom.²⁷

Um die gemeinsame Nutzung von Flexibilitätspotenzialen aus anderen Sektoren zu ermöglichen ist daher eine **sektorenübergreifende CO₂-Bepreisung** unerlässlich.²⁸ Durch diese könnten Teile der zurzeit anfallenden Steuern und Umlagen ersetzt werden, die den Austausch von Energie zwischen den Sektoren behindern.

Die Flexibilität, die aus den anderen Sektoren gehoben werden kann, muss **quantifiziert** und die **Nutzung getestet** werden. Flexibilität aus Mobilität ist zwar bereits thematisiert, wurde aber noch nicht in größerem Umfang getestet und gehoben. Flexibilität aus Gebäudewärme ist ebenfalls noch nicht gehoben und vollständig quantifiziert. Um das Potenzial messen zu können, sind Erhebungen in größerer zeitlicher Auflösung als bisher üblich notwendig, welche in Form einer Studie umgesetzt werden sollten.

Flexibilität für das Stromsystem bereitzustellen muss auch für Ressourcen aus den anderen Sektoren **wirtschaftlich** sein. Ein konsequentes Systemdesign, was Flexibilität belohnt und die Instrumente aus den vorherigen Maßnahmenpaketen umsetzt, macht eine zusätzliche Förderung von sektorenkoppelnden Flexibilitätsoptionen unnötig.

3.2.4 Zwischenfazit: Flexibilität im Erneuerbaren Energiesystem

Die EnergieSystemWende erfordert eine neue Abstimmung von Erzeugung und Verbrauch in einer sich wandelnden Technologielandschaft. Flexibilität ist dabei ein zentrales Handlungsfeld. Der Lösungsraum ist groß, die Vielfalt der Flexibilitätsoptionen sollte genutzt werden. Allerdings müssen dafür einige Hemmnisse zur Nutzung von Flexibilität abgebaut und neue Anreize geschaffen werden, um einen stabilen Betrieb des Erneuerbaren Stromsystems gewährleisten zu können. Hierfür sind Maßnahmen zur Umstrukturierung des Marktes, zum Anglei-

chen der Entgelt- und Umlagensystematik und zur Förderung der Sektorenkopplung nötig.

3.3 Speichertechnologien

Im vorangestellten Kapitel wird gezeigt, wie wichtig der Beitrag unterschiedlicher Flexibilitätsoptionen für das zukünftige Erneuerbare Energiesystem ist. Es wird ebenfalls deutlich, dass es nicht ausreichend ist, nur auf wenige einzelne Flexibilitätsmöglichkeiten, wie zum Beispiel den Netzausbau, zu setzen, sondern auf eine breite Palette. Eine wichtige Möglichkeit zeitliche Flexibilität für das Energiesystem bereitzustellen sind Speichertechnologien, welche in diesem Kapitel ausführlich behandelt werden.

Unter **Speichertechnologien bzw. Speichern** werden im Folgenden Anlagen verstanden, die Energie beispielsweise in elektrischer oder thermischer Form aufnehmen, zwischenspeichern und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abgeben. Hierzu gehören beispielsweise elektrochemische Batteriespeicher oder auch die Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff mittels Power-to-Gas. Darüber hinaus umfassen **Speicher im Konventionellen Energiesystem** Möglichkeiten zur Lagerung und Bereitstellung von fossilen Primärenergieträgern, wie Kohle, Öl und Gas. Zu diesen Speichern gehören u.a. Kohlehalden neben Kohlekraftwerken, Öltanks für Ölheizungen und Treibstofftanks in Autos.

3.3.1 Speichertechnologien im Konventionellen Energiesystem

Im Konventionellen Stromsystem, als Teil des gesamten Konventionellen Energiesystems, spielen **elektrische Speichertechnologien eine untergeordnete Rolle**. Hier gilt die Grundannahme, dass die Stromerzeugung durch den konventionellen Kraftwerkspark die vorgegebene Last zu jedem Augenblick decken muss. Die Ausgewogenheit zwischen Erzeugung und Verbrauch und damit die Stabilität des gesamten Stromnetzes wird von fossilen Kraftwerken erbracht. Treten Engpässe im Stromsystem auf, werden diese mit Hilfe des sogenannten NOVA-Prinzips gelöst, das sich rein auf die Netzebene bezieht: Netzoptimierung, -verstärkung und -ausbau. Der Einsatz von elektrischen Speicher-

²⁷ Keles, Dogan (2020).

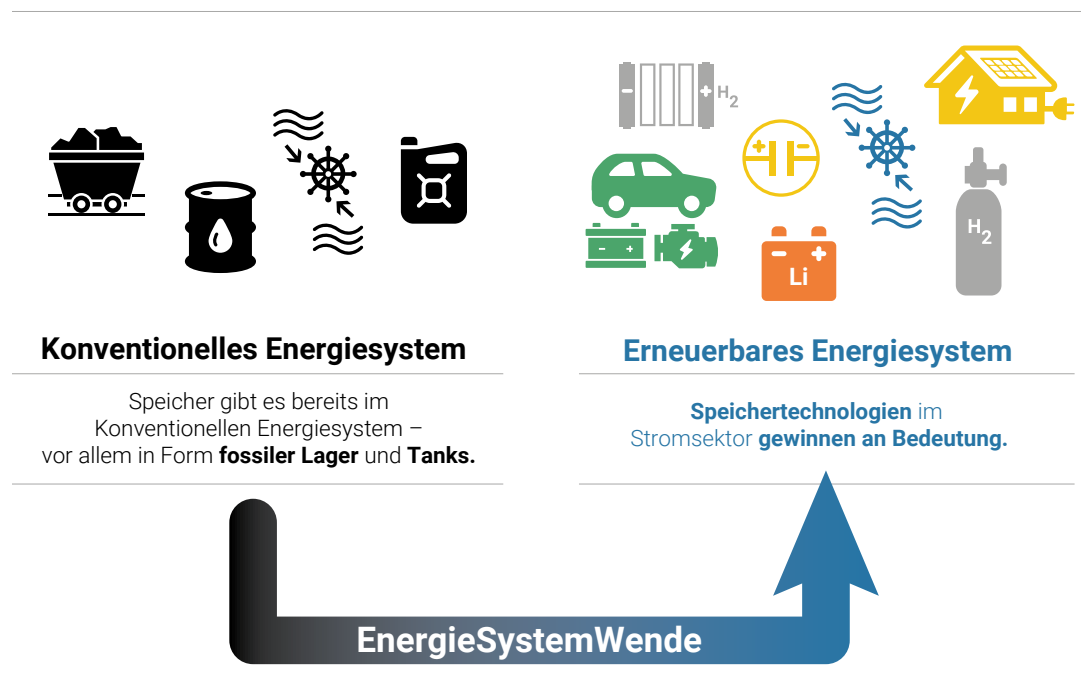
²⁸ Edenhofer, Ottmar und Flachsland, Christian (2018).

technologien im Konventionellen Stromsystem beschränkt sich auf einige wenige große Pumpspeicherkraftwerke. Und auch die Gestaltung der Energiewende durch die derzeitige Bundesregierung findet bislang unter dem Motto „**Netzausbau vor Speicherausbau**“ statt.

Dabei ist bereits das Konventionelle Energiesystem von Speichertechnologien durchzogen. Vor dem Umwandlungsschritt der Verstromung von fossilen Energien ist eine Speichermöglichkeit oftmals unerlässlich. Die Kohlehalde neben Kohlekraftwerken und die Erdgasspeicher für Gasturbinen sind im Konventionellen Energiesystem unverzichtbare Speichermöglichkeiten, um Engpässe in der Stromversorgung zu vermeiden. Doch auch der Wärme- und Verkehrssektor ist von jeher auf Energiespeichertechnologien angewiesen. Beispiele sind der Öltank für die Ölheizung oder der Benzintank im Auto. **Bereits im Konventionellen Energiesystem ist also der Einsatz von Speichermöglichkeiten unverzichtbar** und war schon immer ein starkes Handlungsmotiv für die Versorgungssicherheit der deutschen und europäischen Politik.

3.3.2 Speichertechnologien im Erneuerbaren Energiesystem

Im Erneuerbaren Energiesystem gewinnen **strombasierte Speichertechnologien** zunehmend an Bedeutung. Das zukünftige Energiesystem wird durch die Existenz einer Vielzahl von erneuerbaren Anlagen geprägt sein, die dezentral installiert sind und größtenteils auch volatil einspeisen. Dieser im Vergleich zum Konventionellen System fundamentale Unterschied in der Energiegewinnung beeinflusst das gesamte Energiesystem in allen Sektoren. Die vollständige Dekarbonisierung des Energiesystems gelingt nur mit zunehmender Elektrifizierung des Wärme- und Verkehrssektors.²⁹ Gleichzeitig entfallen zunehmend die Pufferfunktionen der fossilen Energieträger. Zukünftig werden statt Benzintanks elektrische Batteriespeicher in Autos dominieren, die Kohlehalde werden von Power-to-Gas-Technologien abgelöst und Ölheizungen mit Öltanks werden zukünftig durch Wärmepumpen ersetzt.



© RLS 2020

Abbildung 9: Speicher sind schon immer ein Teil des Energiesystems, aber sie wandeln sich

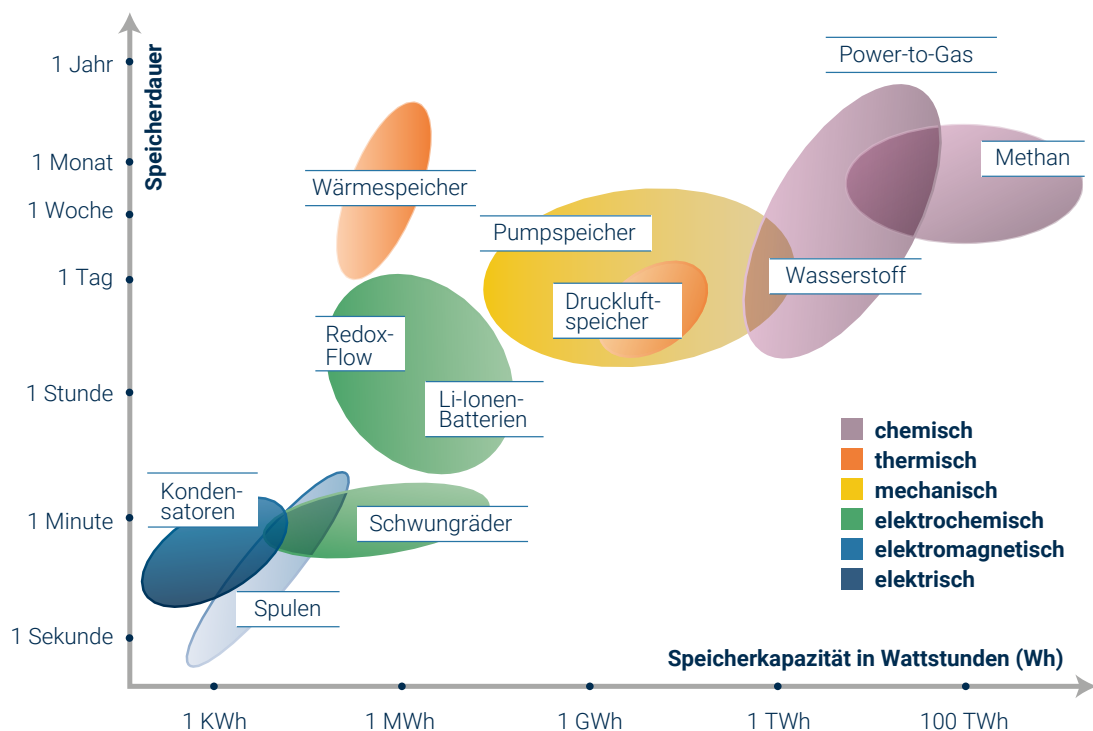
²⁹ Quaschnig, Volker et al. (2016).

Das zukünftige, stärker auf Strom basierende Energiesystem, muss aufgrund der volatilen Einspeisung vieler erneuerbarer Energiequellen deutlich flexibler agieren. Hierfür braucht es schnell verfügbare Lösungen.³⁰ Dies macht strombasierte Speichertechnologien, wie Batteriespeicher oder Power-to-Gas-Anlagen, zu einem idealen Partner für Erneuerbare Energien.

Des Weiteren stellen strombasierte Speichertechnologien, aufgrund ihrer Bereitstellung sektorenübergreifender, multifunktionaler, netzdienlicher Eigenschaften, einen wichtigen Be-

standteil des zukünftigen, vor allem stromgetriebenen Energiesystems dar.³¹

Für das Energiesystem steht eine **große Bandbreite an Speichertechnologien** zur Verfügung. Welche Speichertechnologie für welche Aufgaben geeignet ist, hängt von den jeweiligen Eigenschaften ab. Hierbei zeigt sich eine große Vielfalt an Möglichkeiten für den Einsatz von Speichertechnologien. Abbildung 10 zeigt die Vielfalt der technologischen Optionen und ihre Eigenschaften in Bezug auf Speicherdauer und Speicherkapazität.



© RLS 2020 / Angelehnt an: Sterner, Michael (2017).

Abbildung 10: Speichertechnologien im Vergleich bzgl. Speicherkapazität und Speicherdauer

Batteriespeichersysteme sind beispielsweise in der Lage, das **Stromnetz zu stabilisieren**. Zu diesem Zweck nehmen elektrochemische Großbatteriespeicher und dezentrale Schwarmbatteriespeicher bereits heute am Regelleistungsmarkt teil und stellen Primärregelleistung bereit. Batteriespeicher sind am Primärregelleistungsmarkt bereits heute marktdominierend.³² Batteriespeichersysteme

können darüber hinaus die **photovoltaische Eigenstromversorgung** von Gebäuden erhöhen. In Kombination mit Photovoltaikanlagen sind sie bestens dafür geeignet, photovoltaische Energieerzeugung und Energieverbrauch eines Haushaltes besser aufeinander abzustimmen, Netzeinspeisung und Netzbezug zu reduzieren und letztendlich auch zur Netzentlastung beizutragen.³³

³⁰ Deutsche Energieagentur (dena) (2019).

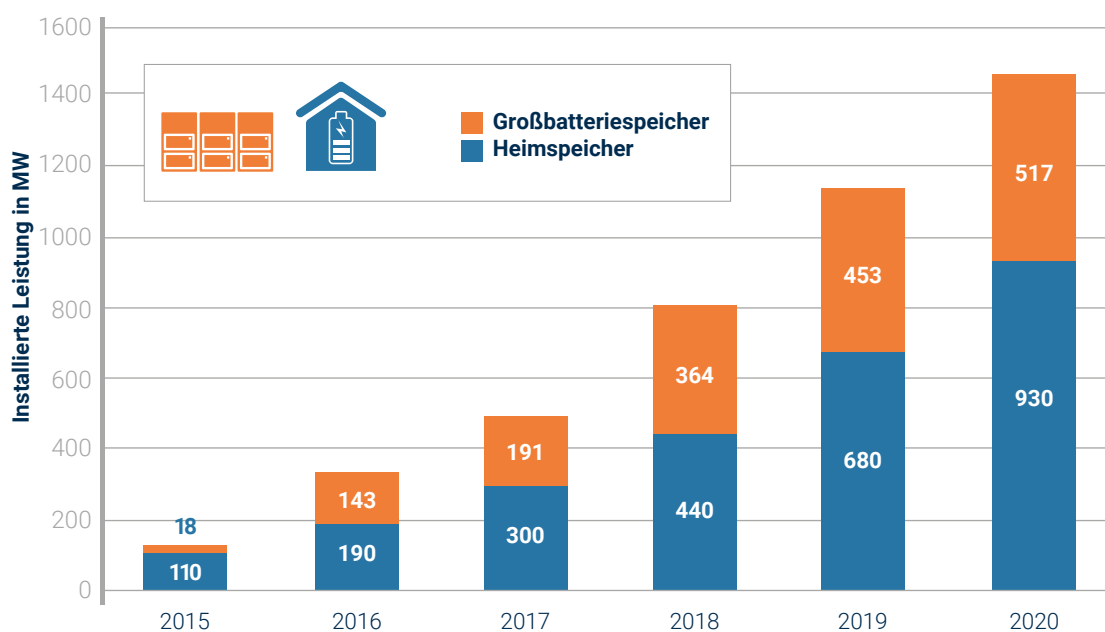
³¹ Reiner Lemoine Stiftung (2020); VDE (2012).

³² Stenzel, Peter et al. (2019).

³³ VDE (2015).

In diesem Kontext sind **stationäre elektrische Batteriespeicher** bestens dafür geeignet, minütliche bis mehrtägige Schwankungen in der Energieerzeugung auszugleichen. Dies wird bei PV-Heimspeichersystemen deutlich, die in der Lage sind, den überschüssigen Solarstrom am Tag zu speichern und nach Sonnenuntergang wieder abzugeben.

Der Ausbau von **Großspeicherbatterien und Heimspeichern** hat sich in den letzten Jahren stark erhöht (s. Abbildung 11), wodurch sie Marktreife erreichen konnten. Dies ging mit einer zunehmenden Senkung der Speicherpreise einher.³⁴ Es ist abzusehen, dass sich der Trend weiter fortsetzt.



© RLS 2020 / Nach https://www.bves.de/wp-content/uploads/2020/03/Branchenanalyse_BVES_2020.pdf (Zugriff: 18.09.2020)

Abbildung 11: Speichertechnologien entwickeln sich rasant und erreichen Marktreife

Für die EnergieSystemWende sind neben kurzfristigen Speichermöglichkeiten auch **saisonale Speichertechnologien** von außerordentlicher Bedeutung. Um beispielsweise das große Solarangebot des Sommers im Winter nutzen zu können, werden Langzeitspeicher zunehmend relevanter. Als Langzeitspeicher besitzen etwa Power-to-Hydrogen und Power-to-Methan ein wesentliches Potenzial größere Energiemengen über einen längeren Zeitraum zu speichern.³⁵ Hierbei werden Stromüberschüsse aus Erneuerbaren Energien genutzt, um diese in Gas umzuwandeln, das wiederum ins Erdgasnetz eingespeist oder in Gasspeichern gespeichert

werden kann. Mittels Brennstoffzelle oder Gasturbine kann es zu einem späteren Zeitpunkt rückverstromt werden. Damit sind Speichertechnologien in der Lage, sowohl kurzfristige Energieüberschüsse zu speichern als auch für einen längerfristigen saisonalen Ausgleich zu sorgen. Leider werden strombasierte Speichertechnologien bisher nicht ausreichend genutzt und im Energiesystem angewendet, wie es die Technologien schon zulassen würden.

³⁴ Figgenger, Jan et al. (2018).

³⁵ ISE Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (2020).

3.3.3 Herausforderungen und Handlungsfelder

Vom Zielmodell eines Erneuerbaren Energiesystems her betrachtet werden strombasierte Speichertechnologien eine immer wichtigere Rolle übernehmen. Daher gilt es frühzeitig in diese Technologien und Marktanwendungen zu investieren und die Märkte für Innovationen zu öffnen. Die Energiepolitik ist gefordert, hierfür entsprechende Weichen zu stellen. Drei Weichenstellungen gelten dabei als zentral:

- Klares Bekenntnis für einen ambitionierten Speicherausbau
- Durch Abschaffung oder Vereinfachung von Regularien den Ausbau von strombasierten Speichertechnologien entfesseln
- Vielfalt der strombasierten Speichertechnologien nutzen: Keine Fixierung auf eine Speichertechnologie als Königsweg

➤ Klares Bekenntnis für einen ambitionierten Ausbau von strombasierten Speichertechnologien

Die Möglichkeit Energie zu speichern war und ist Bestandteil eines jeden Energiesystems. Jedoch müssen die Art der Speicherung und die Speicherinfrastruktur auf das zukünftige Erneuerbare Energiesystem angepasst werden. Da das zukünftige Energiesystem eine stromgeprägte und dezentrale Struktur aufweisen wird, werden auch **Speichertechnologien überwiegend dezentral im Strombereich** ihre Anwendung finden.

Es muss von politischen Entscheidungsträger*innen ein klares Bekenntnis geben, dass **strombasierte Speichertechnologien** für ein Energiesystem, das zu 100 % auf Erneuerbaren Energien basiert, **unverzichtbar** und zum Großteil auch unersetzbar sind. Dabei sind viele Speichertechnologien bereits jetzt **ausgereift und entwickelt** und haben ihr Können in zahlreichen Anwendungsfällen unter Beweis gestellt.

Die **Nutzung von Speichertechnologien** kann dabei helfen, die **Stabilität des Energiesystems** sicherzustellen. Bürger*innen, die sich beispielsweise zusätzlich zu ihrer Photovoltaikanlage einen Batteriespeicher installieren, können dazu beitragen, das Stromnetz zu entlasten und die Stromversorgung zu sichern. Die Investition in

eine Speicheranlage ist damit ein **wichtiger Beitrag zur Transformation des Energiesystems**.

Ambitionierte Ausbauziele und klare Rahmenbedingungen für einen Speicherausbau können die **Speicherbranche zum Jobmotor** werden lassen. Die Speicherbranche bietet damit ein industriepolitisches Potenzial, das zur Bewältigung der Folgen der Corona-Pandemie beitragen kann.

Der Ausbau von Speichertechnologien darf nicht nachrangig zum Netzausbau betrachtet werden. **Speichertechnologien sind unverzichtbar für den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien**. Die Nutzung von Speichertechnologien zu blockieren, heißt die EnergieSystemWende zu verlangsamen oder zu verhindern. Speichertechnologien bieten viele Chancen, die klar hervorgehoben werden müssen. Es muss verhindert werden, dass der Speicherausbau zum Nadelöhr für die EnergieSystemWende wird.

➤ Durch Abschaffung oder Vereinfachung von Regularien den Speicherausbau entfesseln

Strombasierte Speichertechnologien sind ein unverzichtbarer Bestandteil im Erneuerbaren Energiesystem. Jedoch wird diese wichtige Rolle der Speichertechnologien im jetzigen **gesetzlichen und regulatorischen Rahmen kaum beachtet**. Bisher werden Speichertechnologien nicht als eigenständiges Betriebsmittel im Energiesystem berücksichtigt. Vielmehr werden sie bestehenden Akteursgruppen zugeordnet. Sie gelten sowohl als Erzeuger- als auch als Letztverbraucher. Diese Doppelzuordnung führt grundsätzlich zu Doppelbelastungen an Abgaben, Umlagen, Netzentgelten und Steuern. Speichertechnologien sind damit gegenüber anderen Flexibilitätsanbietern, insbesondere konventionellen Kraftwerken, schlechter gestellt. Zwar hat die deutsche Gesetzgebung über ein kompliziertes Regel-Ausnahme-Verhältnis in Teilen diese ungleichen Wettbewerbsbedingungen abgebaut. Allerdings wären diese **hinderlichen Barrieren** über eine **eigenständige Definition von Speicherung und Speicheranlagen im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) und EEG zu beseitigen**.

Der Rechtsrahmen muss ermöglichen, dass **Flexibilität bereitgestellt und mehrere Dienstleistungen** (z.B. Regelenergie und Mieterstrom) durch Speichertechnologien gleichzeitig erbracht werden können. Das erfordert ebenfalls eine **Änderung des Ausschließlichkeitsprinzips**, das besagt, dass Speicheranlagen nur dann als EEG-Anlage gelten, wenn sie ausschließlich Strom aus Erneuerbaren Energien aufnehmen. Speicheranlagen müssen auch dann als EEG-Anlagen gelten, wenn sie Flexibilität und Netzdienstleistungen bereitstellen.

Darüber hinaus muss der aktuelle deutsche Rechtsrahmen so gestaltet werden, dass neue **Akteurs- und Geschäftsmodelle für dezentrale Speicher- und Großspeicheranlagen** möglich werden. Dazu gehört beispielsweise Peer-to-Peer-Handel oder der diskriminierungsfreie Zugang von Energiegemeinschaften zu Energiemärkten, um die **Rolle von Bürger*innenenergie und Prosumer zu stärken**. Des Weiteren muss die **Eigenstromnutzung** für alle PV-Anlagenleistungen **von der EEG-Umlage befreit werden**, um einen dezentralen PV-Speicherausbau weiter voran zu bringen.

Viele Regularien und rechtliche Rahmenbedingungen stehen einem zügigen Speicherausbau im Weg, dazu gehört auch, dass wichtige **EU-Richtlinien** bisher von der Bundesregierung nicht umgesetzt werden. Eine neue Bundesregierung sollte die EU-Richtlinien zum EU-Elektrizitätsbinnenmarkt (BMRL) und die EU-Erneuerbare-Energien Richtlinie (RED II) **schnellstmöglich in deutsches Recht umsetzen**, sofern dies in der jetzigen Legislaturperiode nicht schon angepasst wird. Sie könnte sogar an vielen Stellen darüber hinausgehen, um Innovationen im deutschen Raum hervorzurufen und zu beschleunigen. Allerdings verpasst es die deutsche Gesetzgebung aktuell rechtliche Rahmenbedingungen umzugestalten. Bisher scheint es, dass zentrale Vorgaben der EU-Richtlinien von der Bundesregierung kaum bis gar nicht umgesetzt werden. So wird bei der anstehenden **EEG-Novellierung** zum jetzigen Zeitpunkt (November 2020) scheinbar die Chance verpasst, einen starken Hebel für den Ausbau von Speichertechnologien anzusetzen und damit die Chance vertan Innovationen vor Ort auszulösen.³⁶

↗ Vielfalt der Speichertechnologien nutzen: Keine Fixierung auf eine Speichertechnologie als Königsweg

Im Juni 2020 wurde die **nationale Wasserstoffstrategie** der Bundesregierung entwickelt. Laut Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) soll „Wasserstoff ein zentraler Bestandteil unserer Dekarbonisierungsstrategie werden“.³⁷ Wasserstoff wird als Energieträger gelobt, der einen wichtigen Baustein der Energiewende darstellt. Ziel der nationalen **Wasserstoffstrategie** ist es, einen **Markthochlauf zu realisieren**. Die Nutzung von Wasserstoff stellt **eine** Möglichkeit zur Speicherung von Energie dar. Es ist begrüßenswert, dass die Bundesregierung in diesem Segment die Bedeutung von Speichertechnologien erkannt hat und große Anstrengungen leistet, um zügig eine Wasserstoffwirtschaft einzurichten.

Wasserstoff ist allerdings nur dann in der Lage einen Beitrag zur EnergieSystemWende zu leisten, wenn die **Energie zur Wasserstoffgewinnung ausschließlich aus Erneuerbaren Energien** stammt. Auf Erdgas zur Herstellung von Wasserstoff muss unbedingt verzichtet werden, da hierbei CO₂ entsteht. Nur grüner Wasserstoff kann dazu beitragen die Klimaziele zu erreichen. Dies muss sowohl für die inländische Wasserstoffproduktion als auch für jegliche Import aus dem Ausland gelten. Die Bundesregierung muss in dieser Frage ihren aktuellen Kurs korrigieren und sich klar zu einer **ausschließlich grünen Wasserstoffstrategie** bekennen. Die nationale Wasserstoffstrategie setzt darüber hinaus langfristig auf hohe Importquoten von Wasserstoff. Allerdings sollte darauf geachtet, dass aufgrund der Systemeffizienz und damit auch aus Kostengründen, insbesondere beim Wasserstofftransport, auf Import möglichst verzichtet wird.

Darüber hinaus darf nicht aus dem Blick geraten, dass es eine Vielzahl von Speichertechnologien gibt, die ihre Stärken in unterschiedlichen Aufgabenfeldern ausspielen können. Wasserstoff kann bspw. einen bedeutenden Beitrag dazu leisten saisonale Schwankungen in der Erneuerbaren Energieerzeugung auszugleichen. Für die täglichen Schwankungen bieten sich jedoch Batteriespeicher an, die überschüssigen Strom deutlich effizienter speichern können. Den Fokus ausschließlich auf Wasserstoff zu legen ist nicht die richtige Weichenstellung.

³⁶ Energiespeicher, Bundesverband (2021).

³⁷ BMWi und Bundesregierung (2020).

Für die Transformation des Energiesystems müssen **verschiedene Speichertechnologien in die breite Umsetzung** gebracht werden und ins Blickfeld der Förderung und Schaffung von Anreizen rücken. Eine nationale Speicherstrategie mit internationaler Ausstrahlungskraft wäre an dieser Stelle wünschenswert.

3.3.4 Zwischenfazit: Speicher im Erneuerbaren Energiesystem

Speichertechnologien im Strombereich sind technisch entwickelt und haben Marktreife erreicht. Jetzt kommt es darauf an, die richtigen politischen Weichenstellungen anzugehen. Denn nur mit einem klaren Bekenntnis für den Ausbau von Speichertechnologien, der Abschaffung von blockierenden Regularien und der breiten Umsetzung verschiedener Speichertechnologien gelingt die EnergieSystemWende.

3.4 Soziale Teilhabe

Soziale Teilhabe kann als die **Partizipation und Einflussnahme der Bevölkerung** und verschiedener kleiner Akteure an der Energiewende definiert werden. Dies kann die Bürger*innen oder auch Genossenschaften und Kommunen aktiv einbeziehen.³⁸

In der Abbildung 12 ist eine vereinfachte Übersicht über Möglichkeiten der Teilhabe der Bevölkerung dargestellt.³⁹ Dabei kann unterschieden werden zwischen der **wirtschaftlichen und der prozessualen Teilhabe**. Erstere sind etwa Bürgerwindparks, Prosumer oder Mieterstrommodelle. Auch bei der prozessualen Teilhabe gibt es verschiedene Ausprägungen, von Informationsveranstaltungen bis zu deliberativen Prozessen.⁴⁰ Besonders entscheidend ist die Ausgestaltung der Teilhabe, damit diese gerecht und zielführend gestaltet ist.⁴¹

Die aktive Teilhabe der Bevölkerung ist ein **Trend der Energiewende**. Es gibt einen Anspruch der Energiewende an **Demokratisierung und Partizipationsmöglichkeiten**, was durch verschiedenste Akteure formuliert wurde (z.B. verbalisiert durch Politiker*innen auf verschiedenen Ebenen oder Unternehmen). Darüber hinaus existiert auch in der Bevölkerung ein Anliegen nach einer steigenden Einflussnahme bei Infra-

strukturprojekten sowie auch bei der politischen bzw. öffentlichen Mitbestimmung.⁴² Dies spiegelt auch die Meinung in der Bevölkerung wieder: Allgemeine hohe Zustimmung für das Projekt Energiewende, aber Unzufriedenheit mit der Energiewendepolitik der Bundesregierung.⁴³ Im Folgenden wird auf die Möglichkeiten der sozialen Teilhabe im Konventionellen und Erneuerbaren Energiesystem eingegangen und beschrieben welche Maßnahmen notwendig sind um soziale Teilhabe stärker zu ermöglichen.

3.4.1 Soziale Teilhabe im Konventionellen Energiesystem

Im Konventionellen Energiesystem fungieren die Bürger*innen meist als **passive Verbraucher*innen**.⁴⁴ Die Energieerzeugung, -übertragung und -versorgung sind in der Regel in der Hand großer Unternehmen. Und die Wertschöpfungsstruktur im Konventionellen Energiesystem konzentriert sich hinsichtlich der Stromerzeugung um die zentralen thermischen Großkraftwerke. Dadurch gibt es limitierte soziale Teilhabe in einem **zentral organisierten Energiemarkt**. So erfahren die Punkte des energiepolitischen Zieldreiecks – Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit – mehr politische Aufmerksamkeit als der Aspekt der sozialen Teilhabe der Bevölkerung.⁴⁵

Dabei hat bürgerliches Engagement im Energiesystem eine lange Tradition. Hier sind zum Beispiel die Proteste gegen die Kernkraft zu nennen. Mit dem Zubau an dezentralen Erneuerbaren Energien wurden außerdem zunehmend **neue Teilhabemöglichkeiten** geschaffen, etwa durch Bürger*innen oder Energiegenossenschaften, die in PV-Aufdachanlagen investiert haben. Dies wird auch als Bürger*innenenergie bezeichnet.⁴⁶ Der **Ausbau von Erneuerbaren Energien durch die Bürger*innen** war besonders zu Beginn dieses Jahrhunderts ein zentraler Treiber der deutschen Energiewende und wurde durch das EEG gefördert. Die Novellierungen des EEGs haben allerdings in den letzten Jahren und insbesondere durch die Umstellung der Förderung auf Ausschreibungen zu verringerten Anreizen der Teilhabemöglichkeiten der Bevölkerung geführt.⁴⁷

³⁸ Ruppert-Winkel, Chantal et al. (2013); Radtke, Jörg (2020).

³⁹ Eine differenzierte Aufschlüsselung der Entfaltung von Partizipationsmöglichkeiten der Bevölkerung findet sich bei Radtke, Jörg; Renn, Ortwin (2019). Darüber hinaus findet sich eine Einordnung der Rollen und Einflussmöglichkeiten der Bürger*innen in der Energiewende in Ruppert-Winkel, Chantal et al. (2013). Die hier verwendete Einordnung dient der Übersichtlichkeit.

⁴⁰ Ein Faktor welcher hier nicht betrachtet wird ist der Einfluss bürgerschaftliches Engagement der Zivilgesellschaft und sozialer Bewegungen auf die Energiepolitik Radtke, Jörg (2020), da dies nicht Gegenstand des Impulspapiers ist.

⁴¹ Ruppert-Winkel, Chantal et al. (2013); Radtke, Jörg (2020).



SOZIALE TEILHABE

Soziale Teilhabe an Infrastrukturprojekten und planerischen Umsetzungen



© RLS 2020 / Angelehnt an: Local Energy Consulting (2020); Radtke, Jörg; Renn, Ortwin (2019); Ruppert-Winkel, Chantal et al. (2013).

Abbildung 12: Soziale Teilhabe kennt viele Facetten

3.4.2 Soziale Teilhabe im Erneuerbare Energiesystem

Durch die dezentrale Erzeugungsstruktur der Erneuerbaren Energien rückt die Energiewende näher an die Bevölkerung heran.⁴⁸ Millionen von Erzeugungsanlagen werden benötigt, um die nötige Dekarbonisierung zu erreichen. Damit wird auch der **Zugang zu Flächen und die Akzeptanz der neuen Energieinfrastruktur** immer bedeutender.⁴⁹ Aber auch beim Einsatz von Speichern sowie der Umsetzung der Sektorenkopplung sind kleinteilige Lösungen von Relevanz.⁵⁰

Zusammengefasst ist das neue soziotechnische System dezentral und so auch ein Großteil der Energieversorgung. Durch diese technischen und wirtschaftlichen Neuerungen ändert sich die Rolle der Gesellschaft im Transformationsprozess. Die **Einbindung der Menschen vor Ort wird so zum Schlüssel** für die Umsetzbarkeit des Erneuerbaren Energiesystems.⁵¹

Des Weiteren ist der Prozess geprägt durch die Beteiligung von Einzelpersonen sowie Gemeinschaften und so auch diversen Akteuren, so könnte auch von einem **partizipativen Transformationsprojekt** gesprochen werden.⁵²

⁴² Radtke, Jörg; Renn, Ortwin (2019).

⁴³ Wolf, Ingo (2020).

⁴⁴ Ohlhorst, Dörte (2018).

⁴⁵ Boy, Benjamin et al. (2012).

⁴⁶ trend:research GmbH; Leuphana Universität Lüneburg (2013).

⁴⁷ Ohlhorst, Dörte (2018).

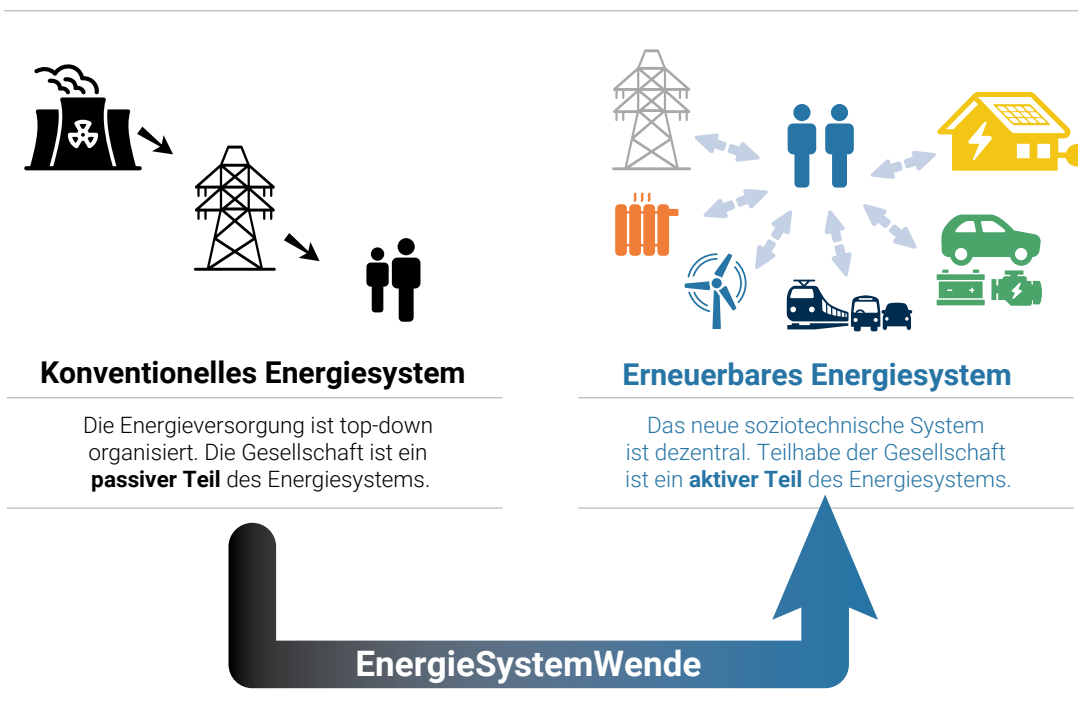
⁴⁸ Großmann, Katrin et al. (2017).

⁴⁹ Claußner, Michael et al. (2020).

⁵⁰ Reiner Lemoine Stiftung (2020).

⁵¹ Schüle, Ralf et al. (2017).

⁵² Radtke, Jörg (2020).



© RLS 2020 / Angelehnt an: Local Energy Consulting (2020); Radtke, Jörg; Renn, Ortwin (2019); Ruppert-Winkel, Chantal u.a. (2013)

Abbildung 13: Die Menschen rücken ins Zentrum des Energiesystems

3.4.4 Herausforderungen und Handlungsfelder

Der Blick auf die Entwicklung der letzten Jahrzehnte zeigt: Soziale Teilhabe hat im konventionellen Energiesystem einen anderen Stellenwert, als es zukünftig der Fall sein wird. Das erfordert ein **Umdenken und neue politische Antworten**. Auf dem Weg zu einem erneuerbaren Energiesystem müssen daher Weichenstellungen so gesetzt werden, dass die soziale Teilhabe gefördert wird und zu einem zentralen Bestandteil des Transformationsprozesses wird.

Hier öffnen sich **drei Handlungsfelder auf dem Weg zu einem erneuerbaren Energiesystem**, welche die soziale Teilhabe fördern können:

➤ Verankerung sozialer Teilhabe in der politischen Zielsetzung

Bislang gelten die drei Ziele der „Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit“ als Handlungsmaxime der Energiepolitik. Allerdings haben sich im Zuge der Anpassungen im Energiesystem die Herausforderungen schon

immer geändert und werden sich auch weiter ändern. So ist den 70er Jahren zu den Punkten Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit die Zielsetzung der Umweltverträglichkeit dazugekommen.⁵³ Aufgrund des technischen Wandels kommt nun die neue Herausforderung hinzu, die soziale Teilhabe zu stärken und die Betroffenheit der Menschen mitzudenken in der politischen Ausgestaltung. Daher sollte die **Erweiterung des energiepolitischen Zieldreiecks** um den Punkt der sozialen Teilhabe zu einem Zielviereck vorgenommen und gesetzlich verankert werden.⁵⁴ Auf Bundesebene wird dies immer wieder diskutiert. In der Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg aus dem Jahre 2012 ist eine solche Erweiterung der Ziele um Akzeptanz und Beteiligung schon geschehen.⁵⁵ Allgemein ist die Absicht der Erweiterung, dass die soziale Dimension und die soziale Teilhabe in der Ausgestaltung der Energiewende berücksichtigt werden. Die **Verankerung im Zielviereck** soll damit über die wichtige Symbolik hinaus maßgeblich auf Entscheidungen und Regularien auswirken, die sich an der Kompatibilität mit dem neuen Zielviereck messen lassen müssen.

⁵³ Local Energy Consulting (2020).

⁵⁴ Boy, Benjamin et al. (2012).

⁵⁵ <https://www.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.281760.de> (Zugriff: 11.11.2020 20:10 Uhr)

➤ Teilhabe bei der Gestaltung von Rahmenbedingungen (Energiepolitik) und bei konkreten planerischen Umsetzungen (Energieprojekten) sicherstellen

Im Transformationsprozess treten neue Akteure auf und die Rolle etablierter Akteure ändert sich. So bedarf es neuer Möglichkeiten auch kleineren, dezentralen und neuen Akteuren Gehör zu verschaffen. Dies bedeutet die Einbindung der Bevölkerung in **Entscheidungs- und Gestaltungsprozesse**. Daher ist die prozessuale Teilhabe sehr wertvoll. Verschiedene Ansätze können hier genutzt werden, zum Beispiel Stakeholder-Dialoge und Bürger*innenräte. Dieser Ansatz nimmt immer mehr Einzug in die Politik, z.B. die Bürger*innenversammlung in Frankreich⁵⁶, lokale Bürger*innenräte⁵⁷ oder Stakeholderdialoge wie die Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung (auch Kohlekommission⁵⁸ genannt). Die Wahl der Form ist abhängig vom jeweiligen Prozess. Dabei ist die Ausgestaltung der Dialoge entscheidend, etwa müssen **Machtverhältnisse, Beharrungskräfte, ungleiche Ressourcenverteilung** überwunden und eine transparente Informationsgewinnung gewährleistet werden.⁵⁹ Ebenfalls geht es hier auch um die Stärkung von Lobbystrukturen kleiner (dezentraler) Akteure sowie Kommunikation und Vernetzung derer, z.B. durch Fonds, Förderprojekte oder Vernetzungsstellen.⁶⁰ Dies gilt auch bei Teilhabe bei konkreten planerischen Umsetzungen im Rahmen von Energieprojekten. Abhängig von der jeweiligen Zielstellung des Prozesses sollten so über eine **geeignete Form der prozessualen Teilhabe** diskutiert und diese dann gewährleistet unter Berücksichtigung der angesprochenen Punkte.

➤ Wirtschaftliche Teilhabemöglichkeiten der Menschen ausweiten

Trotz der hohen Zustimmung der Bevölkerung für die Energiewende, stoßen insbesondere die Windenergie an Land und PV-Freiflächenanlagen bei Anwohner*Innen nicht immer auf Zustimmung. **Wirtschaftliche Teilhabe bietet Potenzial** unmotivierte Akteure und Kommunen zu aktivieren und Planungsprozesse voranzubringen.⁶¹

So steigt die **Akzeptanz der Menschen**, wenn sie sich mit den Projekten identifizieren und darin auch einen Nutzen erkennen. Verschiedene regionale Lösungen sowie offene Konzepte und Instrumente sind dabei entscheidend, aufgrund regionaler Unterschiede und unterschiedlicher Anforderungen. Dabei ist eine Bund-Länder-Lösung im föderalen System wichtig. Hier gibt es unterschiedlichen Ansätze, welche die Bevölkerung teilhaben lässt und **lokale Wertschöpfung** ermöglicht, etwa eine Reformierung der Mieterstrommodelle, Energy Sharing und Prosumer Konzepte, Bürger*innenenergie und viele mehr.⁶² Komplementär gilt es hier auch die Rechte der Akteure, etwa von Prosumern, zu stärken.⁶³

3.4.5 Zwischenfazit: Soziale Teilhabe im Erneuerbaren Energiesystem

Der Stellenwert der sozialen Teilhabe ändert sich im Transformationsprozess. Die Energieerzeugung rückt näher an die Bevölkerung. Das neue soziotechnische System ist dezentraler und die Gesellschaft ist ein aktiver Teil des Energiesystems. Daher gilt es die soziale Teilhabe zu fördern und zu einem zentralen Bestandteil des Transformationsprozesses zu machen. Dazu gehören die Verankerung sozialer Teilhabe in der politischen Zielsetzung, Teilhabe bei der Gestaltung von Rahmenbedingungen (Energiepolitik) und bei konkreten planerischen Umsetzungen (Energieprojekten) sicherzustellen sowie die wirtschaftlichen Teilhabemöglichkeiten der Menschen auszuweiten.

3.5 Erneuerbare Mobilität

3.5.1 Mobilität im Konventionellen Energiesystem

Mobilität ist ein elementarer Bestandteil unser aller Leben. Im engeren Wortsinn – der räumlichen Mobilität – beschreibt sie die Überwindung von Distanzen, die für soziale Aktivitäten wie Wohnen, Erholen, oder Arbeiten oft nötig ist. Während die Mobilität von Gütern immer physische Bewegung voraussetzt, können Personen auch mittels digitaler Technologien mobil sein, ohne sich zu bewegen. Während der letzten Dekaden hat sich in Deutschland das private Auto

56 <https://www.conventioncitoyennepourleclimat.fr/> (Zugriff: 11.11.2020 20:10 Uhr)

57 <https://www.buergerrat.de/> (Zugriff: 11.11.2020 20:10 Uhr)

58 <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung/> (Zugriff: 11.11.2020 20:10 Uhr)

59 Radtke, Jörg; Renn, Ortwin (2019).

60 Ruppert-Winkel, Chantal et al. (2013).

61 Hübner, Gundula; et al. (2020).

62 Local Energy Consulting (2020).

63 Mono, René; et al. (2017).

zum Ausdruck der persönlichen Mobilität entwickelt: Raum- und Verkehrsplanung nahmen es in ihr Zentrum auf, dem zunehmenden Stadt-Land-Gefälle wurde mit Automobilförderung begegnet, die heimische Automobilindustrie wurde ein wichtiger politischer Akteur und das Vehikel hat sich vielerorts zu emotionalem Wert avanciert. Diese **autozentristische Mobilitätskultur** hat sich tief in der gesellschaftspolitischen Struktur verankert.

Im fossilen Energiesystem ist die Antriebsenergie für Mobilität vom Stromsektor weitgehend entkoppelt. **Autos, Flugzeuge, Schiffe und Busse fahren mit Erdölraffinaten**, die in eigens dafür vorgesehenen Wertschöpfungsketten hergestellt werden. In Deutschland hat sogar der elektrifizierte Schienenverkehr bis heute eine eigene Energieversorgung mit rund 50 Kraftwerken und Umrichtern, 7.900 km Stromnetz und eigenem Energiekonzern.⁶⁴ Obwohl der Verkehr in Deutschland der größte Endenergieverbraucher ist, hat sich am Energieträger-Mix seit 1990 nur verändert, dass Kraftstoffe aus Biomasse in Benzin und Diesel beigemischt werden. Neben einem kleinen Anteil elektrischen Stroms, der größtenteils vom Schienenverkehr verbraucht wird, stammt der Rest aus Mineralölen mit einem vernachlässigbaren Anteil Erdgas (s. Abbildung 14). Die Biomasse wird hierbei aus Kraftpflanzen gewonnen und steht dadurch in Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion – meist in den Ländern, aus denen sie importiert wird. Dass der fossile Transportsektor klimatechnisch nicht gut dasteht, wird von den Treibhausgasemissionen unterstrichen: Seit 1990 ist die **Reduktion gleich null**, während sich alle anderen Sektoren verbesserten.

3.5.2 Mobilität im Erneuerbaren Energiesystem

Das Erneuerbare Energiesystem wird dagegen hochgradig **integriert** sein, um alle Sektoren inklusive des Verkehrssektors **effizient** mit erneuerbar gewonnener Energie versorgen zu können. Der Ausgangspunkt wird dabei die **erneuerbare Stromerzeugung** sein. Sprich, die Fortbewegungsenergie wird zum überwiegenden Teil über Windräder und Solarmodule gewonnen, unabhängig vom Antriebssystem des Fahrzeugs.

Es ist allerdings höchst ungewiss, wie viel Energie ein **100 % Erneuerbarer Verkehrssektor** brauchen wird, um Fahrzeuge mit Strom und strombasierten Kraftstoffen zu versorgen. Einige Studien und Hochrechnungen liefern Zahlen dazu, jedoch unter stark variierenden Annahmen zum **Grad der direkten Elektrifizierung**, dem Mobilitätsverhalten und dem Anteil an Biomasse. Dadurch unterscheiden sich die Ergebnisse um einige Größenordnungen (s. Abbildung 14).

Demnach schwankt der prognostizierte Energiebedarf im dekarbonisierten Verkehrssektor abhängig von den jeweiligen Annahmen zwischen **100 und 1.200 TWh Primärenergie**, was der nötigen Erzeugung Erneuerbaren Stroms gleichzusetzen ist. Treiber des Energiebedarfs sind sowohl synthetische Gase und Flüssigkraftstoffe (vgl. blaue Balken in Abbildung 14), als auch eine energetisch ineffiziente Verkehrsmittelwahl und hohe Verkehrsaufkommen. In der Forschung herrscht weitgehende Einigkeit, dass die schnelle Erreichung **100 % Erneuerbarer Energien im Verkehr mit aktuellen Mobilitätsmustern nicht möglich** ist. Die Energieeffizienz muss signifikant gesteigert werden, um den Energiebedarf unter realistischen Ausbauzielen der Erneuerbaren zu decken.

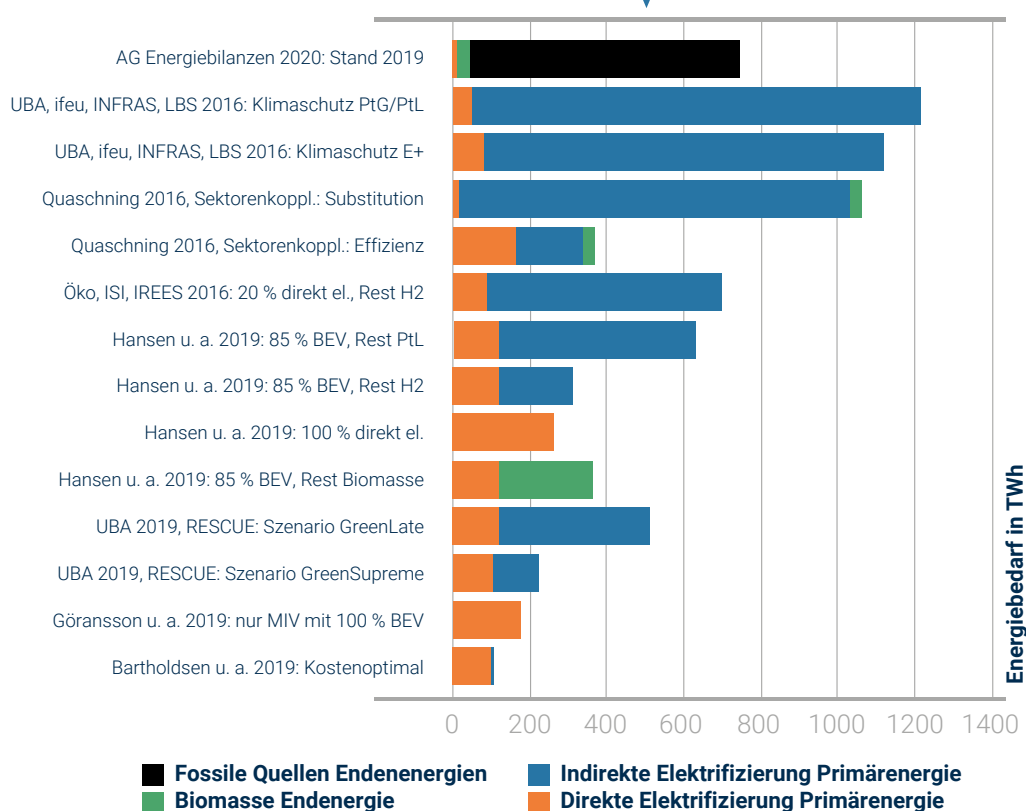
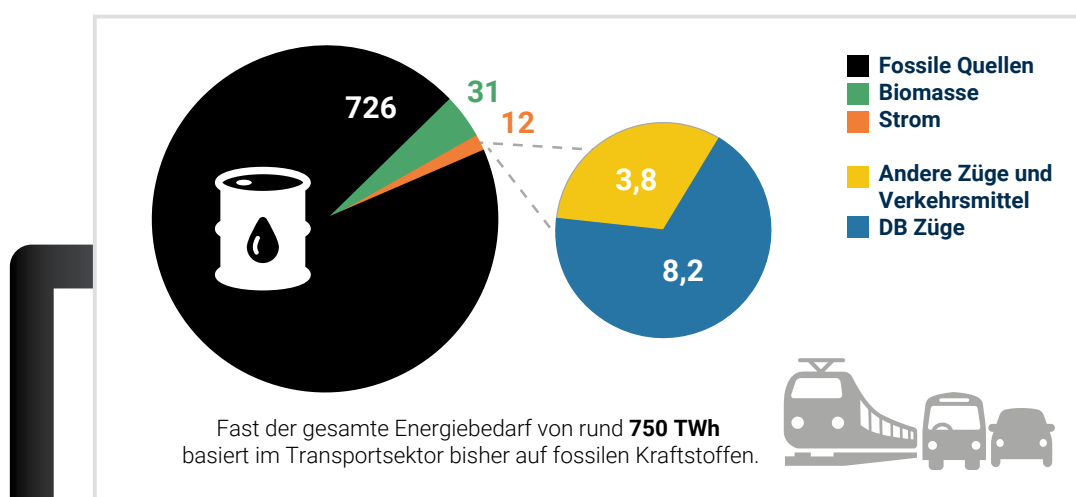
Die **Verkehrswende** ist der politische Begriff, unter dem alle Maßnahmen zur Dekarbonisierung des deutschen Verkehrs zusammengefasst werden. Sie besteht nicht nur aus der Elektrifizierung des Individualverkehrs, also verbesserte bzw. energieeffizientere Technologien im Antriebssystem und Erneuerbare Kraftstoffe, sondern auch aus der **Mobilitätswende**.⁶⁵ Diese wiederum beinhaltet Maßnahmen zur **Verkehrsvermeidung und Verkehrsverlagerung** auf energieeffizientere Verkehrsmittel. Beide Dimensionen – technologisch und verhaltensorientiert – machen den Verkehr der Zukunft aus (s. Abbildung 15). Beide Dimensionen haben **dasselbe Emissionsreduktionspotenzial** von 40 bis 60 % zu.⁶⁶

⁶⁴ Deutsche Bahn (2019).

⁶⁵ Agora Verkehrswende (2017).

⁶⁶ Bergk, Fabian et al. (2016).

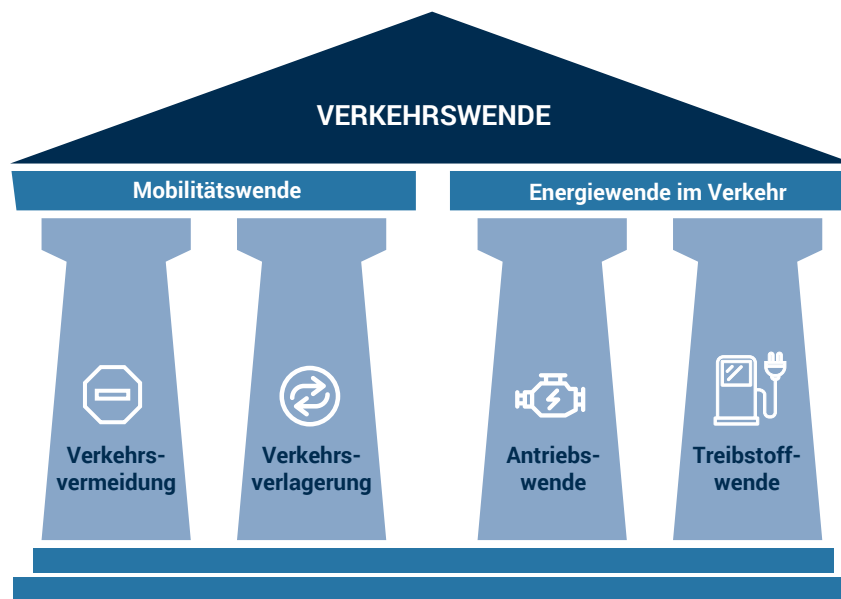
Konventionelles Energiesystem



Je nach Szenario wird im Transportsektor künftig ein Strombedarf zwischen **100 und 1200 TWh** bestehen.

© RLS 2020 / Basierend auf: AG Energiebilanzen (2020); Deutsche Bahn (2020); Bergk, Fabian u.a. (2016); Hansen, Kenneth u.a. (2019); Purr, Katja u.a. (2019); Blanck, Ruth und Zimmer, Wiebke (2016); Göransson, Lisa u.a. (2019); Bartholdsen u.a. (2019); Quaschnig, Volker (2016)

Abbildung 14: Jährlicher Energiebedarf des deutschen Transportsektors, der mit 100 % Erneuerbaren Energien betrieben wird



© RLS 2020

Abbildung 15: Die Verkehrswende ins Erneuerbare Energiesystem steht auf vier Säulen

3.5.3 Herausforderungen und Handlungsfelder

Die aktuelle Bundesregierung hat an verschiedenen Schrauben der Verkehrswende gedreht, es fehlt jedoch an **entschiedenen und entscheidenden Weichenstellungen** für einen Erneuerbaren, integrierten Verkehrssektor. Diese können unter **drei Themenfeldern** zusammengefasst werden:

- Die Verkehrswende zur Mobilitätswende machen
- Das Ende der Verbrennungsmotoren einleiten
- Sektorenintegration ermöglichen

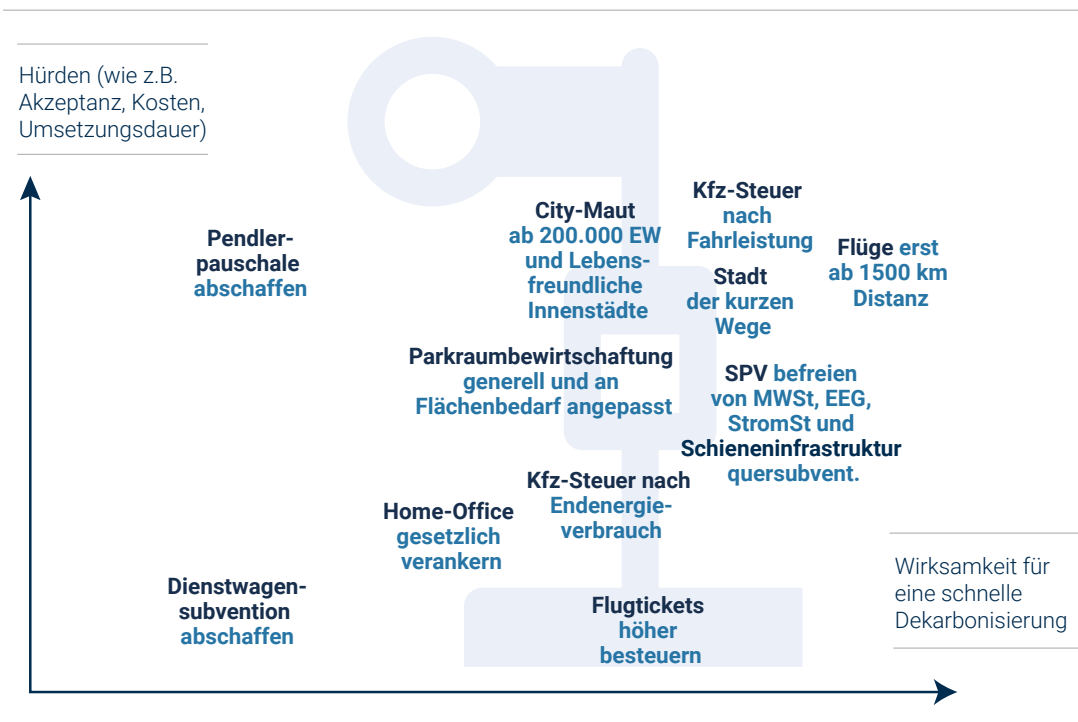
Während das erste Themenfeld nur für den Personenverkehr gilt, sind die anderen für den gesamten Sektor gültig. Das Äquivalent zur Mobilitätswende im deutschen Güterverkehr wäre die Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene und Wasserwege, sowie die Reduktion des Warenverkehrs und damit verbunden die Reduktion des allgemeinen Konsums. Es sei auf eine umfassende Studie vom Umweltbundesamt verwiesen.⁶⁷

Innerhalb der drei genannten Themenfelder lassen sich verschiedene politische Maßnahmen und Instrumente zusammenfassen, um die Verkehrswende zu beschleunigen. Sie wurden jeweils auf den Achsen *Wirksamkeit* und *Hürden* eingeordnet. Wirksamkeit misst sich an dem Ziel der möglichst zeitnahen Treibhausgasneutralität. Hürden können sowohl gesamtwirtschaftliche Kosten oder Unsicherheiten durch lange Umsetzungsdauern als auch die Furcht vor mangelnder politischer, gesellschaftlicher oder industrieseitiger Akzeptanz sein.

➤ Die Verkehrswende zur Mobilitätswende machen

In der bisherigen politischen und gesellschaftlichen Debatte wurde die Verkehrswende oft als der Aufbruch in die Elektromobilität missverstanden bzw. kommunikativ darauf verkürzt. Das ist jedoch ein Fehler, denn tatsächlich geht es zu einem erheblichen Teil auch um das Mobilitätsverhalten (s. Abbildung 15). Da Verhaltensänderungen Jahre bis Jahrzehnte brauchen, um systemisch zu wirken, müssen Maßnahmen für eine energieeffizientere Mobilität **jetzt** eingeleitet werden. Abbildung 16 stellt geeignete Stellschrauben dar.

67 Ebenda.



© RLS 2020

Abbildung 16: Politische Maßnahmen und Instrumente der Mobilitätswende

Eine zentrale Maßnahme zur schnellen Dekarbonisierung des Verkehrs ist das **Verbot von Kurzstreckenflügen** bis zu einer Distanz von 1.500 km, beziehungsweise einer alternativen Reisezeit von maximal 10 Stunden.⁶⁸ Flugreisen benötigen physikalisch bedingt zehnmal mehr Energie als Schienenverkehr pro Personenkilometer im deutschen Durchschnitt. Um diesem Energieverbrauchsverhältnis gerecht zu werden, müssen **Flugtickets hoch besteuert** und alle Steuerbefreiungen abgeschafft werden: Um die Nachfrage in geeignetem Maße zu senken, empfiehlt sich eine Zusatzsteuer von mindestens 30 € pro Ticket.⁶⁹

Hochgeschwindigkeits-Schienenverkehr bietet auf kurzen Distanzen wesentlich höheren Reisekomfort und vergleichbare Tür-zu-Tür-Reisezeiten wie Flugverkehr. Um die Verkehrsverlagerung auf die Schiene weiter zu unterstützen, muss ein Flugreiseverbot Hand in Hand mit dem Ausbau der **Hochgeschwindigkeits-Schieneninfrastruktur** gehen. Für die entstehenden Investitionskosten empfiehlt sich eine **Quersubvention** durch den Straßenverkehr,

wie es beispielsweise in der schweizerischen Verfassung implementiert ist. Für attraktive Schienenverbindungen ins EU-Ausland muss sich Deutschland stärker in EU-Bestrebungen zur Stärkung des europäischen Schienennetzes einbringen (sowohl im Personen-, als auch im Güterverkehr).⁷⁰

Ebenso muss die **Förderung des Schienenpersonennahverkehrs** noch ambitionierter werden, als es dieses Jahr schon begonnen wurde. Auch hier eignen sich Quersubventionen durch den Straßenverkehr, sodass sich energieeffiziente Mobilität langfristig verankert. Um die Attraktivität des Schienennah- und Fernverkehrs weiter zu steigern, müssen steuerliche Maßnahmen zur **Senkung der Ticketpreise** ergriffen werden. Wirksame Hebel sind die Befreiung von der Mehrwertsteuer⁷¹, der Stromsteuer und der EEG-Umlage.⁷²

Stadtverkehr muss nachhaltig und personenzentriert umstrukturiert werden. Dafür eignen sich vielerorts „**Menschenfreundliche Innenstadtkonzepte**“, welche den motorisierten

68 Angelehnt an: Martin, Benoit et al. (2020).

69 CE Delft (2019).

70 Die EU-Kommission hat 2021 zum „Jahr der Schiene“ erklärt und wird einige Fördermaßnahmen in die Wege leiten, die es wahrzunehmen gilt.

71 Dieses Jahr wurde bereits der reduzierte Mehrwertsteuersatz auf Bahntickets angewendet und sich damit der Mehrheit unserer europäischen Nachbarn angeschlossen.

72 Nordenholz, Falko et al. (2016).

Individualverkehr gänzlich ausschließen. Beispiele aus Europa und der restlichen Welt zeigen: Entgegen anfänglicher Bedenken steigern solche Konzepte das Wohlbefinden der Menschen und den Umsatz des Einzelhandels. Als sanfte Einleitung großflächiger Maßnahmen empfiehlt sich die Einführung von **City-Maut** Zonen in Städten ab 200.000 Einwohnern. Auch Kiezblocks, also vom Durchgangsverkehr befreite Quartiere, sind eine geeignete Übergangslösung. Menschenfreundliche Stadtplanung beinhaltet auch die gerechte Bepreisung von Platzverbrauch.⁷³ Daher muss eine **generelle Parkraumbewirtschaftung** in deutschen Städten eingeführt werden, die sich an dem **Flächenbedarf** von Fahrzeugen orientiert.

Historische Anreizmechanismen für den Individualverkehr behindern die Energieeffizienz im Verkehr: Die **Pendlerpauschale und Dienstwagensubventionen müssen abgeschafft werden**. Stattdessen, und um die Akzeptanz der Maßnahme zu steigern, empfiehlt sich die Einführung eines Mobilitätsgeldes für öffentliche Verkehrsmittel. Außerdem muss die **Kfz-Steuer** zur Durchsetzung maximaler Energieeffizienz reformiert werden⁷⁴: Eine Kombination aus spezifischem **Energieverbrauch pro Kilometer** und einem Steueranstieg in Abhängigkeit der **jährlichen Fahrleistung** (wie es bei der Kfz-Haftpflichtversicherung existiert) bietet effektive Anreize für reduzierten Individualverkehr und gleichzeitig energieeffizientere Fahrzeugmodelle.

Langfristig muss sich die **Stadt- und Regionalplanung auf kurze Wege** ausrichten, um ein hohes Level an Mobilität bei minimalem Verkehrsaufkommen zu gewährleisten. Kurzfristig ist die gesetzliche **Verankerung von Home-Office** für infrage kommende Betriebe eine geeignete Maßnahme zur Reduktion von Verkehr.

➤ Das Ende der Verbrennungsmotoren einleiten

Die Verbrennungsmotoren haben in der Vergangenheit gute Dienste geleistet, können aber mit den steigenden Standards an Effizienz, die für eine schnelle Dekarbonisierung angelegt werden müssen, nicht mithalten.⁷⁵ Daher gilt es, diese Technologie so schnell wie möglich aus

dem Markt zu verbannen, damit emissionsfreie Technologien untereinander in Konkurrenz treten können. Die gesammelten Maßnahmen und Instrumente sind in Abbildung 17 eingeordnet.

Zu allererst steht eine Neuausrichtung der Antriebsflotte auf Energieeffizienz und Zukunftsfähigkeit: Eine **Zulassungsbeschränkung von Verbrennungsmotoren ab 2025** oder spätestens 2030. Dies gilt für Privatfahrzeuge, wie auch für sämtliche Nutz- und Schienenfahrzeuge. Deutschland wäre keinesfalls allein mit einer Zulassungsbeschränkung bis 2030: Sieben europäische Nachbarländer, Israel, Indien und Südkorea haben dies bereits beschlossen – Norwegen sogar bis 2025. Eine solche Maßnahme folgt dem internationalen Trend und bedeutet zukunftsweisende Industriepolitik. Eine Automobilindustrie, die weiterhin auf Verbrennungsmotoren setzt, hat keine Zukunft. Die Zulassungsbeschränkung von Verbrennerfahrzeugen bis 2025 oder spätestens 2030 ist notwendig, um kurzfristig genug nachhaltige Treibstoffe in Deutschland zur Verfügung zu haben und die Arbeitsplätze in der Automobilindustrie langfristig zu sichern.

Ein geeignetes Instrument zum sanften Ausklang der Konventionellen Technologien sind die **Flottengrenzwerte auf EU-Ebene**. Deutschland muss sich dafür einsetzen, diese weiter abzusenken und gleichzeitig Ausnahmen für besonders emissionsintensive Fahrzeuge abzuschaffen.

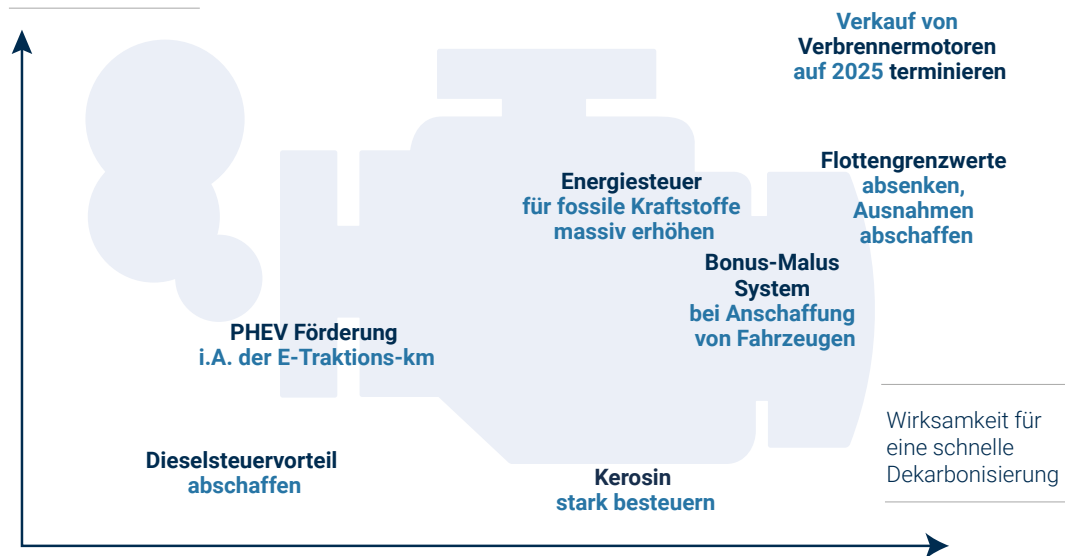
Ein weiteres, sehr wirksames Instrument für den Übergang zu emissionsfreien Technologien ist ein **Bonus-Malus System bei der Neanschaffung** von Privat- und Nutzfahrzeugen. So kann auf die Kaufentscheidungen der Nutzer*innen effektiv Einfluss genommen werden und die Bevölkerung am Wandel teilhaben. Um dabei keine weiteren Kosten entstehen zu lassen, müssen sich die Zuschüsse und Zusatzzahlungen gegenseitig finanzieren. Dieser Mechanismus erlaubt den weichen Übergang zu einem Markt mit hohem Anteil emissionsfreier Technologien.

⁷³ Creutzig, Felix et al. (2020).

⁷⁴ Die aktuelle Kfz-Steuerreform zielt auf den spezifischen CO₂-Ausstoß der Fahrzeuge ab und vernachlässigt den kritischen Wert für das Erneuerbare Energiesystem: den absoluten Endenergiebedarf

⁷⁵ Der Gesamtkettenwirkungsgrad eines Verbrenner-Fahrzeugs von erneuerbarer Stromerzeugung bis zur Fortbewegungsenergie auf der Straße liegt bei 13 %, während ein batterieelektrisches Fahrzeug auf ca. 70 % kommt (Agora Verkehrswende u.a. (2018)).

Hürden (wie z.B.
Akzeptanz, Kosten,
Umsetzungsdauer)



© RLS 2020

Abbildung 17: Politische Maßnahmen und Instrumente zum Ausscheiden der Verbrennungsmotoren

Damit keine Ausnahmen mehr existieren, dürfen hybride Verbrennerfahrzeuge nur mit dem Anteil der tatsächlich elektrisch gefahrenen Kilometer gefördert werden. Die elektrische Fahrleistung kann mittels neuer digitaler Technologien direkt am einzelnen Fahrzeug oder über die ohnehin beim Hersteller verfügbaren Flottengrenzwerte abgerufen werden.

Nicht nur die Kosten der Erstanschaffung müssen angepasst werden, sondern auch die Betriebskosten. Daher ist die starke, schrittweise **Erhöhung der Energiesteuer auf fossile Kraftstoffe** nötig. Dabei muss der **Dieselsteuervorteil abgeschafft** werden, um keine Anreize in ineffiziente Technologien mehr zu setzen. Gleichzeitig muss auch **fossiles Flugzeugkerosin stark besteuert** werden, um die enorme Umweltbelastung durch Flugreisen einzupreisen.

➤ Sektorintegration ermöglichen

Die Grundlage aller zukünftigen Mobilität ist erneuerbar produzierter Strom – unabhängig von der Fahrzeugklasse und dem Antriebssystem. Dadurch entsteht ein großer Mehrbedarf an Nettostromerzeugung (s. Abbildung 3), welcher auf allen Ebenen des Energiesystems integriert werden muss. Abbildung 18 fasst diese grundlegenden und themenübergreifenden Maßnahmen zusammen.

Eine **sektorenübergreifende** CO₂-Bepreisung von 50 €/t mit jährlichem Wachstum auf 150 €/t im Jahr 2030 dient einer schnellen und flächendeckenden Dekarbonisierung über alle Sektoren hinweg.⁷⁶ Gleichzeitig müssen **sektorenübergreifende Nachhaltigkeitsstandards** für Biokraftstoffe und synthetische Kraftstoffe erarbeitet werden. Für Biokraftstoffe muss eine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion – auch indirekt – ausgeschlossen werden. Es kann daher nur Biomasse der zweiten Generation (Abfall u.Ä.) verwendet werden. Das gilt sowohl Inlands als auch für den Import.

76 Für eine detailliertere Untersuchung der Preiskorridore und den Sektorspezifika sei auf Edenhofer, Ottmar u.a. (2019) und Bach, Stefan u.a. (2019) verwiesen.

Gas- und Flüssigkraftstoffe auf erneuerbarer Basis haben einerseits eine stark limitierte Verfügbarkeit, andererseits einen großen Bedarf in allen Sektoren. Daher müssen **Sektorenkonkurrenzen definiert** werden, was eine deutlich stärkere Kommunikation zwischen den Res-

sorts erfordert. Eine kontinuierliche und integrierte Energieversorgungsplanung ist nötig und muss schnellstmöglich umgesetzt werden.



© RLS 2020

Abbildung 18: Politische Maßnahmen und Instrumente zur Integration des Verkehrssektors

3.5.4 Zwischenfazit: Erneuerbare Mobilität im Erneuerbaren Energiesystem

Der Verkehrssektor wird Schritt für Schritt zu einem festen Bestandteil des integrierten, Erneuerbaren Energiesystems. Mobilität wird daher in Zukunft vornehmlich mit Energie aus heimischen Solar- und Windkraftwerken gespeist. Die Technologien für emissionsfreie Antriebsstränge und erneuerbare Treibstoffproduktion sind verfügbar und werden lediglich durch das Festhalten am Verbrennungsmotor in ihrer Ausbreitung gehindert. Allerdings wird ein dekarbonisierter Verkehrssektor ohne eine umfassende Mobilitätswende nicht möglich sein. Es braucht eine gewisse Verkehrsvermeidung und die Ver-

lagerung auf energieeffizientere Verkehrsmittel, weil die nötigen Mengen erneuerbaren Stroms sonst nicht zeitnah verfügbar sein werden – weder innerhalb Deutschlands noch im Ausland. **Diese Mobilitätswende einzuleiten und zu lenken ist die Aufgabe der Politik.** Dafür steht einer neuen Bundesregierung ein breiter Katalog an möglichen Maßnahmen und Instrumenten zur Verfügung, die in der kommenden Legislaturperiode zur Umsetzung kommen müssen.

4 AUFBRUCH INS ERNEUERBARE ENERGIESYSTEM: ELF WEICHENSTELLUNGEN

Das Energiesystem befindet sich in einem tiefgreifenden Transformationsprozess. Die Beispiele der Flexibilität, Speicher, Rolle der Gesellschaft sowie der Mobilität zeigen dies eindrücklich (vgl. Kapitel 3). Die **Vollendung der Energiewende** funktioniert daher nur, wenn es gelingt, das Energiesystem fundamental umzugestalten. Maßgeblich dafür sind nicht die konventionellen Strukturen der Vergangenheit, sondern die Anforderungen, die sich aus einer zukünftigen, nachhaltigen Energieversorgung ergeben. Auf den Punkt gebracht: **Das Erneuerbare Energiesystem erfordert neue Handlungslogiken.**

Ein Aufbruch ins Erneuerbare Energiesystem bedeutet zugleich, dass in vielen Bereichen innerhalb der kommenden Jahre die Weichen für einen gelungenen Umbau gestellt werden müssen. Die folgenden **Weichenstellungen** erachten wir dabei als zentral für die behandelten Themenkomplexe. Sie beantworten nicht alle Fragen allumfassend und haben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Gleichwohl sind sie für einen **energiepolitischen Neustart** unabdingbar.

↗ Gesellschaftspolitische Weichenstellungen

- 1. Vision Erneuerbares Energiesystem:**
Ein neues energiepolitisches Projekt starten
- 2. Handlungsfähige Institutionen:**
Wandel managen, Innovationsfähigkeit sicherstellen
- 3. Zeitgemäße Grundsätze:**
Akzeptanz im energiepolitischen Zielviereck verankern
- 4. Prozessuale Teilhabe:**
Mitwirkung an Energieprojekten und Energiepolitik ermöglichen
- 5. Umdenken und Umlenken:**
Die Verkehrswende zur Mobilitätswende machen

↗ Technisch-ökonomische Weichenstellungen

- 6. Gewinnbringende Sektorenintegration:**
Flexibilitätpotenziale verstärkt nutzen
- 7. Flexibler Strommarkt:**
(Dezentrale) Anreize zum Ausgleich von Nachfrage und Angebot setzen
- 8. Vierte Säule:**
Verschiedene Speichertechnologien etablieren
- 9. Mehr Bürger*innenenergie:**
Neue Marktakteure stärken
- 10. Klare Ausstiegsszenarien:**
Ende fossiler Technologien in allen Sektoren einleiten
- 11. Ambitionierte Ausbauziele:**
Erneuerbare Elektrifizierung zielgerichtet steuern

© RLS 2020

Abbildung 19: Weichenstellungen ins Erneuerbare Energiesystem

➤ GESELLSCHAFTSPOLITISCHE WEICHENSTELLUNGEN

1. Vision Erneuerbares Energiesystem: Ein neues energiepolitisches Projekt starten

Die kommenden Jahre werden wesentlich mitentscheiden, ob es gelingt, das Energiesystem in allen Sektoren für eine regenerative Vollversorgung fit zu machen. Die Bundestagswahl im Jahr 2021 und der Beginn der neuen Legislaturperiode müssen deshalb zu einer Zäsur bei der Gestaltung des Energiemarktes werden. Es gilt, den **Aufbruch ins Erneuerbare Energiesystem** zu wagen und ein neues energiepolitisches Projekt zu starten.

Dafür muss die Politik offensiv werben. Denn der Umbau des Energiesystems bringt tiefgreifende Veränderungen für die Wirtschaft und Gesellschaft mit sich. **Damit die Menschen, Unternehmen und Institutionen diesen Wandel unterstützen und mittragen, brauchen sie Orientierung.** Es ist die Aufgabe der Politik, hier eine positive und chancenbetonte Vision zu zeichnen und sich zu dieser zu bekennen. Flexibilität, Speichertechnologien, gesellschaftliche Teilhabe und alternative Verkehrskonzepte gehören genauso zum Erneuerbaren Energiesystem, wie die Elektrifizierung aller Sektoren, die Digitalisierung oder die Dezentralisierung. Aus all diesen Trends und Eigenschaften der zukünftigen Energieversorgung muss die neue Bundesregierung eine **überzeugende Zielversion definieren**, an der sich alle Maßnahmen messen lassen.

Wie auch bei der Energiewende, die von der Bevölkerung weithin als Gemeinschaftsaufgabe wahrgenommen wurde und wird, kommt es nun bei der **EnergieSystemWende** darauf an, **die Menschen für den weiteren Umbau des Energiesystems zu begeistern und zu aktivieren.** Und auch Unternehmen brauchen einen klaren Kompass, der Investitionen entfesselt und Innovationen fördert. Das ist der Garant für eine **langfristig konkurrenzfähige Wirtschaft**, welche die Lösungen für eine dekarbonisierte Energieversorgung weltweit positionieren kann. Nach der erfolgreich gestarteten Energiewende im Stromsystem muss nun die Dekade der EnergieSystemWende eingeleitet werden.

Konkrete Empfehlung: Die Botschaft der nächsten Bundesregierung muss lauten: Kommt, wir bauen das Erneuerbare Energiesystem. Sie muss diese Vision überzeugend vermitteln und unter eine klare Überschrift stellen, die den Aufbruch ins Erneuerbare Energiesystem als Mission benennt. Im Koalitionsvertrag für die neue Legislaturperiode gilt es dieses Projekt für den energiepolitischen Neustart festzuhalten und die nötigen Meilensteine dafür klar zu definieren.

2. Handlungsfähige Institutionen: Wandel managen, Innovationsfähigkeit sicherstellen

Die Kopplung der Sektoren Strom, Transport und Wärme, wie auch der rasante Wandel der technologischen Grundlagen der Energieversorgung, sind für die politisch-regulatorischen Institutionen eine Herkulesaufgabe. Von vielen Beobachtenden werden dabei aktuell vor allem die institutionellen Barrieren als Innovationshemmnis für einen effizienten Umbau des Energiesystems identifiziert. Damit der Wandel aber zielgerichtet gestaltet werden kann, braucht es handlungsfähige Akteure, die in der Lage sind, Brücken zu bauen, Interessen auszugleichen und den Energiemarkt sektorenübergreifend von der Zukunft her zu denken. Dabei gilt es auch die Denkmuster der Vergangenheit aufzubrechen und neue Prinzipien anzuwenden. Eine institutionelle Weiterentwicklung und Neustrukturierung kann helfen, den sektorenübergreifenden Umbau des Energiesystems voranzubringen.

Konkrete Empfehlung: Die neue Bundesregierung muss die institutionellen Voraussetzungen schaffen, um die Transformation des Energiesystems effektiv managen zu können. Der Aufbruch ins Erneuerbare Energiesystem braucht eine progressive Kraft, ein effizientes Management und eine intensive Kommunikation in der kommenden Bundesregierung. Dies muss sich auch in der Architektur der Ministerien und der personellen Besetzung selbiger widerspiegeln. Auch eine Weiterentwicklung der zuständigen Bundesbehörden, die die neuen Herausforderungen adäquat reflektieren, ist zu prüfen. So könnte anstelle der historisch begründeten Fokussierung auf die Netzregulierung eine breiter angelegte Bundesagentur geschaffen werden, welche die Regulierung aller Aspekte der Energieversorgung verantwortet – von der Erzeugung über den Transport und die Speicherung bis hin zum Verbrauch.

3. Zeitgemäße Grundsätze: Teilhabe und Akzeptanz im energiepolitischen Zielviereck verankern

Das energiepolitische Dreieck aus „Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit“ ist derzeit der gewohnte Dreiklang bei der Gestaltung und Begründung der Energiepolitik. Es prägt seit Jahren das Selbstverständnis der handelnden Akteure und findet als Grundsatz wiederkehrend Eingang in politische Diskurse und Gesetzesbegründungen. Das Energiesystem entwickelt sich aber kontinuierlich weiter und die Grundsätze müssen diesen Wandel stärker berücksichtigen. Ähnliche Fortentwicklungen gab es auch schon in der Vergangenheit. Mit der Stärkung des ökologischen Bewusstseins in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts war die Umweltverträglichkeit als Grundsatz der Energiepolitik aufgenommen worden. Im Zuge der Energiewende ändern sich nun die Herausforderungen weiter. Durch die dezentrale Logik der Erneuerbaren Energien rückt die Infrastruktur der Energieversorgung immer näher an das Lebensumfeld der Menschen heran, was die Handlungsmaßstäbe ändert. Die aktive Unterstützung und Anerkennung dieser neuen Begebenheiten des Energiesystems wird damit zum Schlüssel für den Erfolg der EnergiesystemWende.

Konkrete Empfehlung: Die neue Bundesregierung muss sich in ihrem Koalitionsvertrag zu einem energiepolitischen Zielviereck bekennen, das auf die Säulen der Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit sowie der Teilhabe und Akzeptanz aufbaut. Ferner muss dieser neue Grundsatz in einem 100-Tage-Gesetz auch formal durch eine entsprechende Anpassung des § 1 des EnWG verankert werden.

4. Prozessuale Teilhabe: Mitwirkung an Energieprojekten und Energiepolitik ermöglichen

Der Wandel von einem zentralen Konventionellen Energiesystem zu einem dezentralen Erneuerbaren Energiesystem verändert auch die Rolle der Bürger*innen. Energie rückt ans Lebensumfeld der Menschen heran und Bürger*innen werden von passiven Verbraucher*innen zu aktiven Schlüsselfiguren des Energiesystems. Daher braucht es eine bessere Einbindung der Bevölkerung in Entscheidungs- und Gestaltungsprozesse. Das betrifft die prozessuale Teilhabe bei der Gestaltung von Rahmenbedingungen der Energiepolitik, aber auch bei konkreten planerischen Umsetzungen von Energieprojekten.

Konkrete Empfehlung: Die neue Bundesregierung muss sich im Koalitionsvertrag zu neuen Mitwirkungsformen der Bevölkerung bei regulatorischen Entscheidungen bekennen und Formate der prozessualen Teilhabe stärken. Zum einen ist hierfür das Planungs- und Genehmigungsrecht von Energieprojekten im Sinne einer breiteren und frühzeitigeren Öffentlichkeitsbeteiligung zu erweitern. Zum anderen müssen konkrete Formate auf den Weg gebracht werden, um die Perspektive der Menschen auf den Umbau des Energiesystems systematisch in politische Entscheidungsprozesse einzubeziehen. Die Sicht der Bevölkerung und anderer relevanter Akteure auf die Fragestellungen der Energiepolitik kann beispielsweise über Bürger*innenversammlungen, Bürger*innenräte, Stakeholderdialoge oder die Stärkung von Interessensvertretungen verbessert werden.

5. Umdenken und Umlenken: Die Verkehrswende zur Mobilitätswende machen

Damit der Umbau und die Dekarbonisierung des Energiesystems gelingen kann, braucht es nicht nur neue technische Lösungen, sondern auch Veränderungen im gesellschaftlichen Verhalten. Insbesondere im Transportsektor wird dies deutlich. Mit aktuellen Mobilitätsmustern scheint eine nachhaltige, schnelle Dekarbonisierung des Verkehrs unmöglich. Die Einführung effizienterer, elektrischer Antriebstechnologien und die Produktion erneuerbarer Treibstoffe wird nicht ausreichen. Auch ein Import der benötigten Mengen solcher Treibstoffe wird in naher Zukunft nicht möglich sein. Daher müssen Anstrengungen in der Mobilitätswende, die etwa die Auswahl energieeffizienterer Verkehrsmittel oder die Minderung der Verkehrsleistung betrifft, massiv verstärkt, beziehungsweise begonnen werden. Die zeitnahe Umsetzung ist von besonderer Relevanz, da Maßnahmen zu gesellschaftlichen Verhaltensänderungen erst nach einigen Jahren ihre Wirkung zeigen.

Konkrete Empfehlung: Die neue Bundesregierung muss sich im Koalitionsvertrag zur Mobilitätswende bekennen und diese durch gezielte Maßnahmen und Instrumente einleiten. Diese beinhalten unter anderem die Abschaffung veralteter Subventionen und Förderungen, die Umstrukturierung des Steuersystems im Verkehrsbereich, neue Leitmotive in Stadt- und Regionalplanung sowie das Verbot von Kurzstreckenflügen. Ganzheitliche Energieeffizienz muss die oberste Prämisse der Verkehrspolitik werden.

TECHNISCH-ÖKONOMISCHE WEICHENSTELLUNGEN

6. Gewinnbringende Sektoren- integration: Flexibilitätspotenziale verstärkt nutzen

Im Konventionellen Energiesystem waren die Sektoren Strom, Transport und Wärme weitgehend unabhängig voneinander strukturiert. Erzeugung, Verbrauch, Speicherung und Transport von Energie erfolgen hier jeweils nach eigenen Logiken in ihren Teilsystemen. Mit dem Einstieg in das Erneuerbaren Energiesystem wachsen die Sektoren nach und nach zu einem Gesamtsystem zusammen. Die Sektorenkopplung lässt sich so als Chance für technische Innovationen nutzen. In sektorenkoppelnden Technologien wie elektrischen Antriebssträngen, Wärmepumpen und Elektrolyseuren wird ein großes Potenzial zur Bereitstellung von Flexibilität gesehen. Ein integriertes Gesamtsystem könnte Speichertechnologien und Puffer Eigenschaften der anderen Sektoren zur Stabilisierung des Stromsystems nutzen. Die Bedarfe und Flexibilitätsoptionen aller Sektoren und Ebenen müssen kombiniert gedacht und in einen innovationsfördernden Wettbewerb gebracht werden. Die Sektorenkopplung muss von einer theoretischen Debatte zu praktischem Handeln werden.

Konkrete Empfehlung: Die neue Bundesregierung muss sich im Koalitionsvertrag eindeutig zur Integration der Sektoren bekennen. Sie muss zudem den Dialog zwischen den Sektoren ausweiten, um die Integration rasch voranzubringen. Denkbar wäre hier etwa, einen begleitenden und interdisziplinär eingesetzten „Rat für Sektorenkopplung“ einzurichten. Im Rahmen von Forschungsvorhaben und Reallaboren des Bundes muss zudem kurzfristig ermittelt werden, wie und in welchem Umfang Flexibilität sektorenübergreifend genutzt werden können. Daraus sind Schlussfolgerungen zu ziehen und regulatorische Leitplanken zu setzen, die als Türöffner dienen können.

7. Flexibler Strommarkt: (Dezentrale) Anreize zum Ausgleich von Nachfrage und Angebot setzen

Die neue Bundesregierung muss sich im Koalitionsvertrag klar zum Aufbau eines flexiblen Strommarkts bekennen. Dazu gehört auch die eindeutige Abkehr vom Kupferplatten-Ideal und die Anerkennung der Existenz von Engpässen im Stromsystem. Reformen des Marktdesigns müssen eingeleitet werden. Dabei muss gelten, europäische und lokale Lösungen gleichermaßen zu berücksichtigen wie zeitliche und geographische Knappheiten. Zudem muss der Zugang zu neuen Flexibilitätsmärkten für neue, auch kleinere, Akteure und Aggregatoren sichergestellt werden. Preissignale sollen etwa auch die Vor-Ort-Versorgung und systemdienliches „Prosuming“ ermöglichen. Nicht zuletzt braucht es eine umfassende Reform der Umlagen und Entgelte, deren Umsetzung eines der wichtigsten Projekte der kommenden Regierung wird.

Konkrete Empfehlung: Die neue Bundesregierung muss sich im Koalitionsvertrag klar zum Aufbau eines flexiblen Strommarkts bekennen. Dazu gehört auch die eindeutige Abkehr vom Kupferplatten-Ideal und die Anerkennung der Existenz von Engpässen im Stromsystem. Die damit einhergehenden Reformen des Marktdesigns sind tiefgreifend und müssen gleich zu Beginn der Legislaturperiode eingeleitet werden. Als Leitplanken dieser Reformen muss gelten, europäische und lokale Lösungen gleichermaßen zu berücksichtigen wie zeitliche und geographische Knappheiten. Zudem muss der Zugang zu neuen Flexibilitätsmärkten für neue, auch kleinere, Akteure und Aggregatoren sichergestellt werden. Preissignale sollen etwa auch die Vor-Ort-Versorgung und systemdienliches „Prosuming“ ermöglichen. Nicht zuletzt führt der Einstieg in den flexiblen Strommarkt über eine umfassende Reform der Umlagen und Entgelte, deren Umsetzung eines der wichtigsten Projekte der kommenden Regierung wird.

8. Vierte Säule: Verschiedene Speichertechnologien etablieren

Auch im Konventionellen Energiesystem spielten Speicher, etwa zur Lagerung fossiler Treibstoffe, eine wichtige Rolle. Im Erneuerbaren Energiesystem müssen diese sukzessiv durch strombasierte Speichertechnologien ersetzt werden. Diese Technologien haben bereits weitgehend Marktreife erreicht und stehen für alle Anwendungsfälle zur Verfügung – etwa von kleinen Kurzfristspeichern bis hin zu großen und saisonalen Speichern. Um weitere Innovationsschübe und Kostensenkungen zu erreichen, sollte eine spezifische Festlegung auf bestimmte Speicher- oder Flexibilitätstechnologien seitens der Energiepolitik vermieden werden. Vielmehr sollte ein Wettbewerb entfacht werden und die Technologien – von dezentralen Batteriespeichern bis hin zu Wasserstofftechnologien – breit zum Einsatz kommen. Nicht zuletzt besteht hier die Chance, den Standort Deutschland frühzeitig mit innovativen Technologien auf dem weltweiten Exportmarkt zu etablieren und so dauerhaft Arbeitsplätze zu schaffen.

Konkrete Empfehlung: Die neue Bundesregierung muss im Koalitionsvertrag ein klares Bekenntnis für die Rolle und Bedeutung von Speichern im Stromsystem festhalten und diese als vierte Säule des Energiesystems verankern. Über ein 100-Tage-Gesetz muss eine eindeutige rechtliche Definition von Speicherung und Speichieranlagen im EEG und EnWG eingeführt werden. Speicher müssen im gleichen Schritt von Umlagen und Abgaben befreit werden. Des Weiteren bedarf es einer Änderung des sogenannten „Ausschließlichkeitsprinzips“, das besagt, dass eine Speichereinrichtung nur dann als EEG-Anlage gilt, wenn sie ausschließlich Strom aus Erneuerbaren Energien aufnimmt. Speichereinrichtungen müssen auch dann als EEG-Anlagen gelten, wenn sie Flexibilität und Netzdienstleistungen bereitstellen.

9. Mehr Bürger*innenenergie: Neue Marktteure stärken

Die Energiewende und der starke Ausbau von Erneuerbaren Energien hat in den vergangenen Jahren zu einem Bedeutungszuwachs der Bürger*innenenergie geführt. Mehr als das: Diese hat der Energiewende erst zum Durchbruch verholfen. Die Teilhabemöglichkeiten der Bürger*innen gilt es daher auszuweiten, auch jenseits der Mitwirkung an Entscheidungsprozessen. Dabei geht es nicht nur um die Initiierung und Umsetzung von Bürgerwindparks und Solaranlagen in Bürgerhand, sondern auch Investitionen in Speichertechnologien, die Sektorenkopplung oder die Bereitstellung von Flexibilität. Die Hürden zur Partizipation am Markt und zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen müssen abgebaut werden, um neuen und auch kleineren Akteuren die Teilnahme zu ermöglichen – von Bürger*innen über lokale Gewerbe bis zum lokalen Handel. Die wirtschaftliche Teilhabe der Bevölkerung ist ein wichtiges Mittel zur Akzeptanzsteigerung und ist zudem nötig, um die erforderlichen Investitionen, etwa in Millionen neuer PV-Anlagen, auszulösen ohne die ein Erneuerbares Energiesystem nicht denkbar ist. Darüber hinaus geht es auch hier um die Stärkung der Rechte der Bürger*innen.

Konkrete Empfehlung: Die neue Bundesregierung muss sich im Koalitionsvertrag explizit dazu bekennen, die wirtschaftlichen Teilhabemöglichkeiten der Bürger*innen am Energiemarkt kontinuierlich auszuweiten und entsprechende Hürden, etwa durch Ausschreibungen, abzubauen. Ferner müssen die Regelungen der aktuellen europäischen Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) und der EU-Richtlinien zum EU-Elektrizitätsbinnenmarkt, die etwa den Einsatz von Speichern sowie die Rolle von Prosumern und Energiegemeinschaften regeln, in einem 100-Tage-Gesetz in deutsches Recht umgewandelt werden.

10. Klare Ausstiegsszenarien: Ende fossiler Technologien in allen Sektoren einleiten

Alte Technologien, wie der fossil gespeiste Verbrennungsmotor oder auch fossile Gas- und Ölheizungen, haben keinen Platz im Erneuerbaren Energiesystem. Diese müssen neuen, effizienten und sauberen Technologien weichen. Um für Unternehmen und Bürger*innen Planungssicherheit zu schaffen und keine Fehlinvestitionen auszulösen, braucht es klare und ambitionierte Ausstiegsszenarien mit verbindlichen Enddaten. Neben den marktwirtschaftlichen Anreizen, in neue Technologien zu investieren – etwa über den ambitionierten CO₂-Preis oder die konsequente Streichung von Subventionen in fossile Technologien – braucht es dafür im Sinne einer zukunftsfähigen Wirtschaft nicht zuletzt auch ordnungspolitische Vorgaben.

Konkrete Empfehlung: Die neue Bundesregierung muss im Koalitionsvertrag eine zeitliche Befristung für den Verkauf von fossilen Technologien wie dem Verbrennungsmotor festsetzen. Um den Übergang zu erleichtern, empfiehlt sich ein sektorenübergreifender CO₂-Preis von 50 €/t der bis auf 150 €/t im Jahr 2030 ansteigt. Fehlgeleitete Subventionen müssen schnellstmöglich abgeschafft werden. Um die dahingehenden Transformationsprozesse und den Strukturwandel zu begleiten, ist zudem ein offener Dialog mit den relevanten Gruppen und der Gesellschaft als Ganzes über die nötigen Ausgleichs- und Anpassungsmaßnahmen zu führen.

11. Ambitionierte Ausbauziele: Erneuerbare Elektrifizierung zielgerichtet steuern

Erst wenn die Weichen für die Systemtransformation in Richtung des Erneuerbaren Energiesystems gestellt sind, wird es möglich, Erneuerbare Energien im erforderlichen Maße auszubauen. Dabei wird im Erneuerbaren Energiesystem nicht nur der Stromsektor, sondern auch die Mobilität und die Wärmeversorgung zu 100 % aus erneuerbaren Quellen gespeist. Und das sowohl bei Haushalten als auch bei der Industrie. Elektrischer Strom wird damit zur Leitenergie. Diese weitgehende Elektrifizierung der Energieversorgung führt in den kommenden Jahren trotz umfangreicher Effizienzpotenziale zu einem signifikanten Anstieg des heimischen Strombedarfs. Daraus ergibt sich auch ein erhöhter Ausbaubedarf für Photovoltaik- und Windenergieanlagen. Die derzeitige Bundesregierung geht von einem deutlich zu niedrigen Bruttostrombedarf von unter 600 TWh im Jahr 2030 aus. Verschiedene Studien zeigen dagegen einen Bedarf von 800 bis 1.440 TWh auf, was jährlich über 10 GW neue Windkapazitäten an Land und zweistellige Zubauzahlen bei der Photovoltaik bedeutet (vgl. Kapitel 2.2). Diese notwendigen Ausbauzahlen sind mehr als doppelt so hoch als die aktuellen Planungen der Bundesregierung. Diese Unterschätzung des Strombedarfs und der Ausbaugeschwindigkeiten erzeugt Planungsunsicherheiten für alle Akteure des Energiesystems – von Prosumer*innen bis zur Großindustrie – die den Wandel verlangsamen.

Konkrete Empfehlung: Die neue Bundesregierung muss den erforderlichen Bruttostrombedarf realistisch definieren sowie die jährlichen Ausbauziele für Erneuerbare Energien auf mindestens 20 GW jährlicher neuer Wind- und PV-Kapazitäten festlegen. Die angepassten Zahlen müssen über ein 100-Tage-Gesetz gesetzlich im EEG festgeschrieben und kontinuierlich unter wissenschaftlicher Begleitung angepasst werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- AG Energiebilanzen (2020):** Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschlands, Berlin.
- Agora Verkehrswende (2017):** Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern, Berlin.
- Agora Verkehrswende; Agora Energiewende und Frontier Economics (2018):** The Future Cost of Electricity-Based Synthetic Fuels, Berlin.
- Bach, Stefan; Isaak, Niklas; Kemfert, Claudia; Ku-nert, Uwe; Schill, Wolf-Peter; Schmalz, Sophie; Wagner, Nicole und Zaklan, Aleksandar (2019):** CO₂-Bepreisung im Wärme- und Verkehrssektor: Diskussion von Wirkungen und alternativen Entlastungsoptionen, In: Politikberatung kompakt, Ausgabe 140, DIW Berlin (Hrsg.), Berlin.
- Bartholdsen, Hans-Karl; Eidens, Anna; Löffler, Konstantin; Seehaus, Frederik; Wejda, Felix; Burandt, Thorsten; Oei, Pao-Yu; Kemfert, Claudia und von Hirschhausen, Christian (2019):** Pathways for Germany's Low-Carbon Energy Transformation Towards 2050, In: Energies, Band 12, Ausgabe 15, S. 2988, DOI: 10.3390/en12152988.
- Bergk, Fabian; Knörr, Wolfram; Ickert, Lutz; Schmied, Martin; Heidt, Christoph; Lambrecht, Udo; Schmidt, Patrick und Weindorf, Werner (2016):** Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050, In: UBA Texte, Ausgabe 56.
- Blanck, Ruth und Zimmer, Wiebke (2016):** Sektorale Emissionspfade in Deutschland bis 2050 – Verkehr, Öko-Institut e.V., Berlin.
- Blechinger, Philipp und Zuber, Fabian (2020):** Kommentar: „Orientierungslose Energiepolitik“, 1. Juli, <https://www.erneuerbareenergien.de/kommentar-orientierungslose-energiepolitik>, aufgerufen am 25.10.2020.
- BMWi und Bundesregierung (2020):** Die Nationale Wasserstoffstrategie, Berlin.
- Boy, Benjamin; Ermakov, Vadiim; Renelt, Sven; Schmidt, Peter; Sauer, Marco; Sr. Sabotka, Michal; Storace, Stefan; Weidlich, Anke und Wiedemann, Thomas (2012):** Smart zur Energiewende – fünf Schlüssel zu gesellschaftlicher Akzeptanz von Smart Grids, In: Policy Brief- Stiftung Neue Verantwortung, Nr. 08/12, Berlin.
- Bründlinger, Thomas et al. (2018):** Integrierte Energiewende, Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050, Ergebnisbericht und Handlungsempfehlungen, In: dena-Leitstudie, Berlin.
- Bundesnetzagentur (2018):** BK8-18-0007-A, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Service-Funktionen/Beschlusskammern/1_GZ/BK8-GZ/2018/2018_4-Steller/BK8-18-0007/BK8-18-0007-A_Festlegung.html;jsessionid=5AAE44A825F8B3D5B02F5F428B97896B, aufgerufen am 23.11.2020.
- Bundesnetzagentur (2020):** Marktstammdatenregister, <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR>, aufgerufen am 21. November 2020.
- Bundesregierung (2011):** Pressestatements von Bundeskanzlerin Angela Merkel und Bundesauenminister Guido Westerwelle zu den Folgen der Naturkatastrophen in Japan sowie den Auswirkungen auf die deutschen Kernkraftwerke, 14. März, <https://www.bundeskanzlerin.de/bkin-de/aktuelles/pressestatements-von-bundeskanzlerin-angela-merkel-und-bundesaussenminister-guido-westerwelle-zu-den-folgen-der-naturkatastrophen-in-japan-sowie-den-auswirkungen-auf-die-deutschen-kernkraftwerke-844652>, aufgerufen am 21. November 2020.
- Bundesregierung (2020):** Besprechung der Bundeskanzlerin mit den Regierungschefinnen und Regierungschefs der Länder am 17. Juni 2020, 17. Juni, <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975238/1761550/f83f0a3b5aba7ecfe3a4b41e06fa5a2c/2020-06-17-energiewende-data.pdf?download=1>, aufgerufen am 21. November 2020.
- Bundesverband Energiespeicher (2020):** Stellungnahme des BVES zum Kabinettsbeschluss EEG 2021: Gesetzentwurf EEG 2021 genügt nicht den europarechtlichen Vorgaben und bedarf der Anpassung, 28. September, https://www.bves.de/wp-content/uploads/2020/10/BVES_Stellungnahme_Kabinettsbeschluss_EEG2021.pdf, aufgerufen am 23. November 2020.
- CAN Europe und EEB (2020):** Paris Agreement Compatible (PAC) – Scenarios for Energy Infrastructure, Technische Zusammenfassung, Renewables Grid Initiative e.V., Berlin.

CE Delft (2019): Taxes in the field of aviation and their impact, European Union (Hrsg.), Brüssel, DOI: 10.2832/913591.

Claußner, Michael; Brinkhaus, Matthias und Troost, Christopher (2020): Chancen Einer Verdreifachung Des PV-Kleinanlagenanteils am Strommix bis 2030, Klimaschutzpotenzial und notwendige Maßnahmen, Energy Brainpool GmbH & Co. KG (Hrsg.), Berlin.

Consentec GmbH und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2018): Optionen zur Weiterentwicklung der Netzentgelt-systematik für eine sichere, umweltgerechte und kosteneffiziente Energiewende, Aachen.

Creutzig, Felix et al. (2020): Fair street space allocation: ethical principles and empirical insights, In: Transport Reviews, Band 40, Ausgabe 6, S. 711–733, DOI: 10.1080/01441647.2020.1762795.

Cruz, Marco R.M.; Fitiwi, Desta Z.; Santos, Sérgio F. und Catalão, João P.S. (2018): A comprehensive survey of flexibility options for supporting the low-carbon energy future, In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier BV, Ausgabe 97, S. 338-353, DOI: 10.1016/j.rser.2018.08.028.

Deutsche Bahn (2020): Integrierter Bericht 2019, Berlin.

Deutsche Energieagentur (dena) (2019): Netzdienlicher Einsatz von Flexibilitäten: 10 Leitsätze zur Entwicklung eines zukunftsfähigen regulatorischen Rahmens, Berlin.

Edenhofer, Ottmar und Flachsland, Christian (2018): Eckpunkte einer CO₂-Preisreform für Deutschland, In: RWI Position, Nr. 72, Essen.

Edenhofer, Ottmar; Flachsland, Christian; Kalkuhl, Matthias; Knopf, Brigitte und Pahle, Michael (2019): Optionen für eine CO₂-Preisreform, Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gGmbH (Hrsg.), Berlin.

Figgenger, Jan; Haberschusz, David; Kairies, Kai-Philipp; Wessels, Oliver; Tepe, Benedikt und Sauer, Dirk Uwe (2018): Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0, In: Jahresbericht 2018, RWTH Aachen (Hrsg.), Aachen.

Fraunhofer ISE (2019): Jahresbericht 2018/19, Freiburg/Brsg.

Fraunhofer ISE (2020): Jahresbericht 2019/20, Freiburg/Brsg.

Friedrichsen, Nele; Hilpert, Johannes; Klobasa, Marian; Marwitz, Simon und Sailer, Frank (2016): Anforderungen der Integration der erneuerbaren Energien an die Netzentgeltregulierung, In: Climate Change, Umweltbundesamt (Hrsg.), Band 34.

Gerbert, Philipp; Herhold, Patrick; Burchardt, Jens; Schönberger, Stefan; Rechenmacher, Florian; Kirchner, Almut; Kemmler, Andreas und Wünsch, Marco (2018): Klimapfade für Deutschland, Studie des Bundesverbands der Deutschen Industrie e. V. (Hrsg.), Berlin.

Göransson, Lisa; Lehtveer, Mariliis; Nyholm, Emil; Taljegard, Maria und Walter, Viktor (2019): The Benefit of Collaboration in the North European Electricity System Transition System and Sector Perspectives, In: Energies, Band 12, Ausgabe 24, S. 46-48, DOI: 10.3390/en12244648.

Großmann, Katrin; Schaffrin, André und Smigiel, Christian (2017): Energie und soziale Ungleichheit, Wiesbaden, DOI: 10.1007/978-3-658-11723-8.

Hainsch, Karlo et al. (2020): Make the European Green Deal Real – Combining Climate Neutrality and Economic Recovery, In: Politikberatung kompakt 153, DIW Berlin (Hrsg.), Berlin.

Hansen, Kenneth; Mathiesen, Brian Vad und Skov, Iva Ridjan (2019): Full energy system transition towards 100 % renewable energy in Germany in 2050, In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Band 102, S. 1–13, DOI: 10.1016/j.rser.2018.11.038.

von Hirschhausen, Christian (2018): German Energy and Climate Policies: A Historical Overview, In: von Hirschhausen, Christian, Gerbaulet, Clemens, Kemfert, Claudia, Lorenz, Casimir und Oei, Pao-Yu (Hrsg): Energiewende „Made in Germany“: Low Carbon Electricity Sector Reform in the European Context, Cham, S. 17–44, DOI: 10.1007/978-3-319-95126-3_2.

- Holttinen, Hannele; Tuohy, Aidan; Milligan, Michael; Lannoye, Eamonn; Silva, Vera; Müller, Simon und Söder, Lennart (2013):** The flexibility workout: Managing variable resources and assessing the need for power system modification, In: IEEE Power and Energy Magazine, Band 11, Ausgabe 6, S. 53–62, DOI: 10.1109/MPE.2013.2278000.
- Hübner, Gundula; Pohl, Johannes; Warode, Jan; Gotchev, Boris; Ohlhorst, Dörte; Krug, Michael; Salecki, Steven und Peters, Wolfgang (2020):** Akzeptanzfördernde Faktoren erneuerbarer Energien, Bonn, DOI: 10.19217/skr551.
- International Energy Agency (2011):** Harnessing Variable Renewables – A Guide to the Balancing Challenge, Paris, ISBN: 9789264111387.
- Keles, Dogan (2020):** Klimaneutralität auf europäischer Ebene bis 2050: Grundlagen, Technologien und Perspektiven, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Krause, Florentin; Bossel, Hartmut und Müller-Reissmann, Karl-Friedrich (1980):** Energiewende, In: Physik in unserer Zeit, Band 11, Ausgabe 6, DOI: 10.1002/piuz.19800110610.
- Local Energy Consulting (2020):** Akzeptanz und lokale Teilhabe in der Energiewende. Handlungsempfehlungen für eine umfassende Akzeptanzpolitik, Impuls im Auftrag von Agora Energiewende, Berlin.
- Lovins, Amory B. (1976):** Energy Strategy: The Road Not Taken?, In: Foreign Affair.
- Lund, Peter D.; Lindgren, Juuso; Mikkola, Jani und Salpakari, Jyri (2015):** Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity, In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Band 42, S. 785–807, DOI: 10.1016/j.rser.2018.11.038.
- Martin, Benoit; Pestiaux, Julien; Schobbens, Quentin; Emmrich, Julie und Hagemann, Markus (2020):** A radical transformation of mobility in Europe: Exploring the decarbonisation of the transport sector by 2040, Climact und NewClimate Institute (Hrsg.), Brüssel.
- Mono, René; Gütle, Marco; und Rasch, Christoph (2017):** Bürgerenergie. Heute und Morgen, Bündnis Bürgerenergie e.V. (Hrsg.), Berlin.
- Morris, Craig und Jungjohann, Arne (2016):** Energy democracy: Germany's energiewende to renewables, In: Springer International Publishing, DOI: 10.1007/978-3-319-31891-2.
- Nordenholz, Falko; Winkler, Christian und Knörr, Wolfram (2016):** Verkehrsverlagerungspotenzial auf den Schienenpersonenfernverkehr in Deutschland, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. im Auftrag des BMVI (Hrsg.), Berlin.
- Ohlhorst, Dörte (2018):** Akteursvielfalt und Bürgerbeteiligung im Kontext der Energiewende in Deutschland: das EEG und seine Reform, In: Handbuch Energiewende und Partizipation, Wiesbaden, S. 101–124, DOI: 10.1007/978-3-658-09416-4_7.
- Öko-Institut (2019):** Energiewende in Deutschland: Definition, Ziele und Geschichte, Freiburg, Mai 2019, URL: <http://www.energiewende.de/start/>, aufgerufen am 14.10.2020.
- Prognos; Öko-Institut und Wuppertal-Institut (2020):** Klimaneutrales Deutschland, Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität.
- Purr, Katja; Günther, Jens; Lehmann, Harry und Nuss, Philip (2019):** Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität, Studie vom Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau.
- Quaschnig, Volker (2016):** Sektorkopplung durch die Energiewende, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin.
- Radtke, Jörg; Renn, Ortwin (2019):** Partizipation und bürgerschaftliches Engagement in der Energiewende, In: Energiewende, S. 283–316, ISBN: 978-3-658-26326-3.
- Radtke, Jörg (2020):** Das Jahrhundertprojekt der Nachhaltigkeit am Scheideweg: Wie kann die Energiewende in Deutschland breites gesellschaftliche Unterstützung finden?, In: Zeitschrift für Politikwissenschaft, Band 1, Ausgabe 30, S. 97–111, DOI: 10.1007/s41358-020-00215-6.
- Reetz, Fabian und Göhlich, Céline (2020):** Prinzipien für die Energiepolitik der Zukunft, Stiftung Neue Verantwortung (Hrsg.), Berlin.

Reiner Lemoine Stiftung (2019): Übersichtsstudie zur EnergieSystemWende – Systemische Hemmnisse der Energiewende und Lösungsansätze, Berlin.

Reiner Lemoine Stiftung (2020): New Deal für das Erneuerbare Energiesystem – Wie die Energiewirtschaft entfesselt werden kann und so 100 % Erneuerbare Energien möglich werden, Berlin.

Robinius, Martin et al. (2020): WEGE FÜR DIE ENERGIEWENDE: Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050, In: Schriften des Forschungszentrums Jülich, Band: 499, ISBN: 978-3-95806-483-6.

Ruppert-Winkel, Chantal; Hauber, Jürgen; Aretz, Astrid; Funcke, Simon; Kress, Michael; Noz, Sophia; Salecki, Steven; Schlager, Patric und Järmo, Stablo (2013): Die Energiewende gemeinsam vor Ort gestalten. Ein Wegweiser für eine sozial gerechte und naturverträgliche Selbstversorgung aus Erneuerbaren Energien - Schwerpunkt Bioenergie, ZEE Working Paper 06, Freiburg.

Sachverständigenrat für Umweltfragen (2020): Umweltgutachten 2020: Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa, Berlin, ISBN: 978-3-947370-16-0.

Schmid, Eva und Frank, David (2020): Wie können wir die vernetzt-zelluläre Energiewende umsetzen?, Evaluation der Ergebnisse des Perspektivwechsel-Workshops am 23. Januar 2019, GermanWatch, Bonn.

Schüle, Ralf et al. (2017): Die Energiewende regional gestalten: auf dem Weg zu einer Energiewende-Roadmap im Ruhrgebiet, Wuppertal Institut (Hrsg.), Wuppertal.

Senders, Julian und Halbig, Anna (2020): Digitalisierung und Netzausbau, Würzburger Studien zum Umweltenergie recht Nr. 17, Würzburg.

Stenzel, Peter; Linssen, Jochen; Robinius, Martin und Stoltz, Detlef (2019): Energiespeicher, In: BWK: das Energie-Fachmagazin, Ausgabe 71, S. 33-48.

Sterchele, Philip; Brandes, Julian; Heilig, Judith; Wrede, Daniel; Kost, Christoph; Schlegel, Thomas; Bett, Andreas und Henning, Hans-Martin (2020): Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem: Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (Hrsg.), Freiburg

Sterner, Michael (2017): Energiespeicher: Bedarf, Technologie, Integration, 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-662-48892-8.

trend:research GmbH und Leuphana Universität Lüneburg (2013): Definition und Marktanalyse von Bürgerenergie in Deutschland, Bündnis Bürgerenergie e.V. (Hrsg.), Berlin.

Ulbig, Andreas und Andersson, Göran (2015): Analyzing operational flexibility of electric power systems, In: International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Band 72, DOI: 10.1016/j.ijepes.2015.02.028.

VDE (2012): VDE-Studie „Energiespeicher für die Energiewende“, In: VDE-Studie, Frankfurt a.M.

Aundrup, Thomas; Gitis, Alexander; Leuthold, Matthias; Merei, Ghada und Sauer, Dirk Uwe (2015): Batteriespeicher in der Nieder- und Mittelspannungsebene – Anwendungen und Wirtschaftlichkeit sowie Auswirkungen auf die elektrischen Netze, Studie der Energietechnischen Gesellschaft im VDE, Frankfurt a.M.

Verzijlbergh, Remco A.; De Vries, Laurens; Dijkema, Gerard P.J. und Herder, Paulien M. (2017): Institutional challenges caused by the integration of renewable energy sources in the European electricity sector, In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Band: 75, DOI: 10.1016/j.rser.2016.11.039.

Wolf, Ingo (2020): Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energiewende 2019: Kernaussagen und Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse, IASS, Berlin.

Wuppertal Institut (2020): CO₂-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze, Wuppertal.

Zuber, Fabian (2019): Energiewende in der System-Sackgasse, 3. Mai, <https://www.erneuerbareenergien.de/energiewende-in-der-system-sackgasse>, aufgerufen am 23.11.2020.

Abkürzungsverzeichnis

BMWi – Bundeswirtschaftsministerium
DSM – Demand Side Management
EEG – Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnWG – Energiewirtschaftsgesetz



Über das RLS-Graduiertenkolleg

Die Reiner Lemoine Stiftung (RLS) hat seit ihrer Gründung im Jahr 2006 rund 100 Promovierende im Bereich Erneuerbare Energien gefördert. Im Januar 2020 hat das RLS-Graduiertenkolleg seine Arbeit aufgenommen. Das Team forscht praxis- und anwendungsorientiert in enger Kooperation mit dem Reiner Lemoine Institut und den betreuenden Lehrstühlen an Fragestellungen der EnergieSystemWende. Es wird von einem Netzwerk mit Expert*innen aus Verbänden, Unternehmen und Forschungseinrichtungen unterstützt. Ziel des Kollegs ist es, systemische Hemmnisse der Energiewende besser zu verstehen und zielgerichtete Lösungen zu entwickeln, um ein Energiesystem mit 100 % Erneuerbaren Energien zeitnah möglich zu machen.

Über das EnergieSystemWende-Netzwerk

Die Transformation des Energiesystems hat höchste energiepolitische Priorität. Das Graduiertenkolleg wird daher von einem Mentor*innen-Netzwerk unterstützt und begleitet. Es setzt sich zusammen aus Expert*innen, die sich im Rahmen ihrer jeweiligen Arbeit mit den theoretischen und praktischen Facetten der EnergieSystemWende befassen. Der Dialog trägt zur anwendungsnahen Forschung und lösungsorientierten Energiepolitik bei.