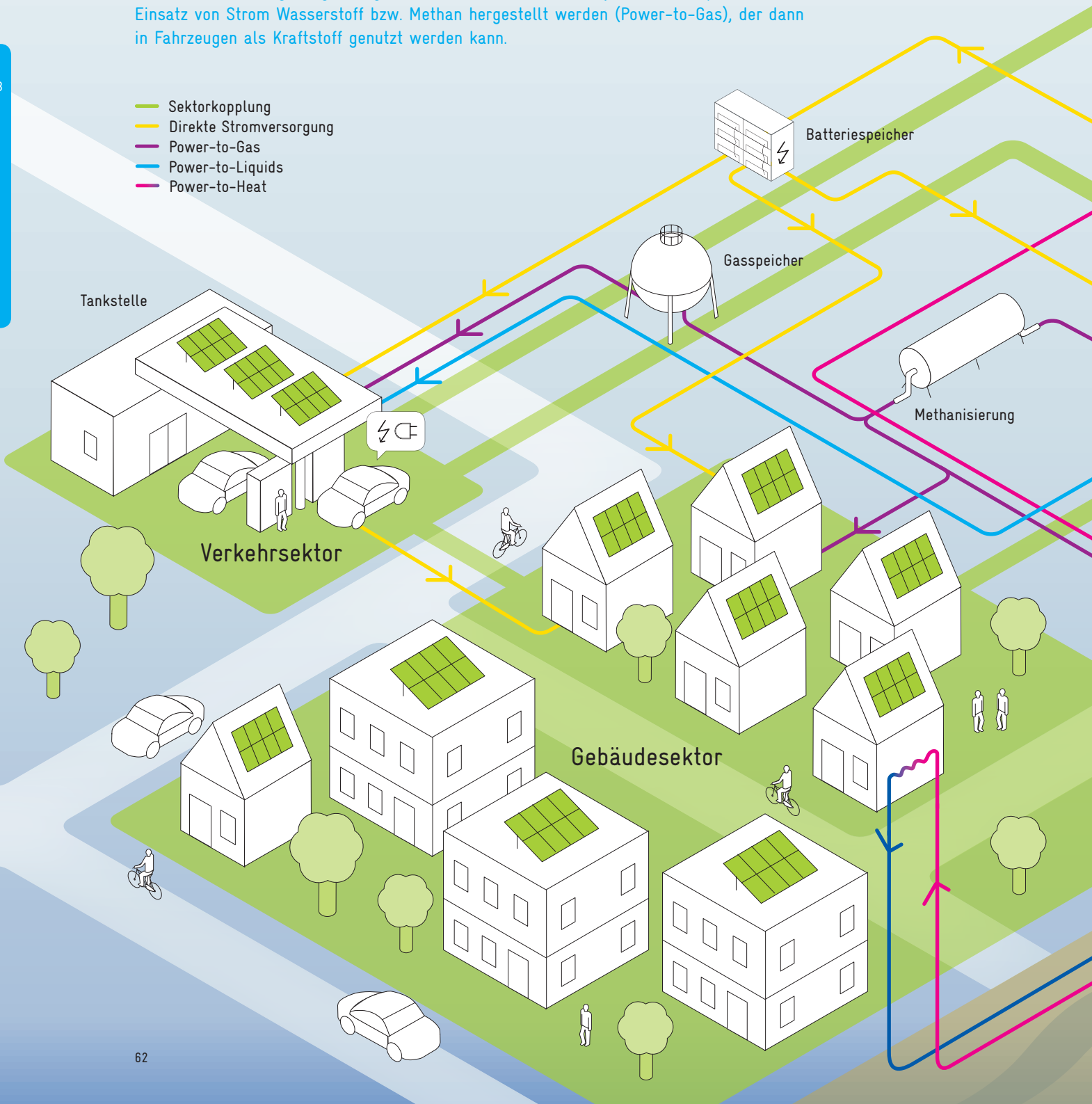


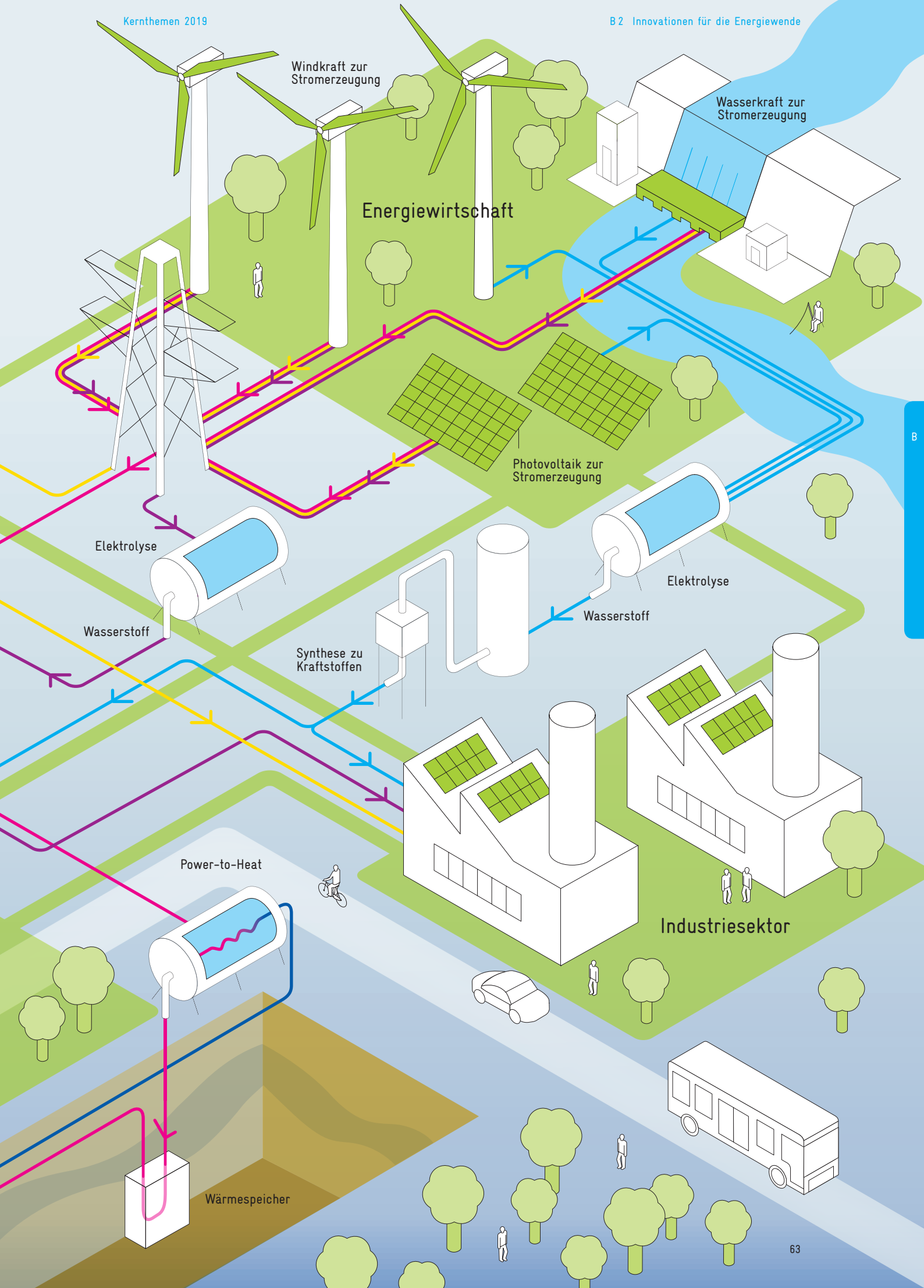
# B 2 Innovationen für die Energiewende

Download  
Daten

Die Sektorkopplung spielt für die Energiewende eine Schlüsselrolle. Sie basiert auf direkter und indirekter Elektrifizierung. Bei der direkten Elektrifizierung werden fossile Energieträger direkt durch Strom ersetzt, etwa durch die Nutzung von Elektroautos an Stelle der Nutzung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Indirekte Elektrifizierung erfolgt, wenn Strom in einen anderen Energieträger umgewandelt wird. Durch Elektrolyse kann beispielsweise unter Einsatz von Strom Wasserstoff bzw. Methan hergestellt werden (Power-to-Gas), der dann in Fahrzeugen als Kraftstoff genutzt werden kann.

- Sektorkopplung
- Direkte Stromversorgung
- Power-to-Gas
- Power-to-Liquids
- Power-to-Heat





Windkraft zur Stromerzeugung

Wasserkraft zur Stromerzeugung

Energiewirtschaft

Photovoltaik zur Stromerzeugung

Elektrolyse

Elektrolyse

Wasserstoff

Wasserstoff

Synthese zu Kraftstoffen

Power-to-Heat

Industriesektor

Wärmespeicher

B

## B 2 Innovationen für die Energiewende

### B 2-1 Ambitionierte Ziele der Bundesregierung bei Treibhausgasemissionen

Deutschland hat sich 2015 bei der 21. UN-Klimakonferenz in Paris dem Ziel der Völkergemeinschaft angeschlossen, die Klimaerwärmung auf unter 2 Grad Celsius zu begrenzen. Dadurch soll das Risiko drastischer Schäden durch den Klimawandel eingedämmt werden. Als Konsequenz aus dem Pariser Klimaschutzabkommen muss das Energiesystem in Deutschland bis 2050 weitgehend treibhausgasneutral werden.

Die deutsche Bundesregierung hatte schon im Jahr 2010 beschlossen, die Treibhausgasemissionen<sup>274</sup> (THG-Emissionen) bis zum Jahr 2050 im Vergleich zum Referenzjahr 1990 um 80 bis 95 Prozent zu senken. Ende 2016 wurde der Klimaschutzplan 2050 verabschiedet, der für verschiedene Sektoren der deutschen Volkswirtschaft spezifische THG-Minderungsziele vorgibt.<sup>275</sup> Abbildung B 2-1 stellt die THG-Emissionen Deutschlands aufgeschlüsselt nach Sektoren<sup>276</sup> für das Referenzjahr 1990 und für das Jahr 2017 in Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten dar. Ergänzt werden diese Angaben durch die THG-Minderungsziele der Bundesregierung für die Jahre 2020, 2030 und 2050.<sup>277</sup>

Das Zwischenziel, die THG-Emissionen bis 2020 um mindestens 40 Prozent gegenüber 1990 zu senken, wird aller Voraussicht nach verfehlt.<sup>278</sup> Um das Reduktionsziel für 2030 zu erreichen, müssten die THG-Emissionen um mindestens 55 Prozent niedriger ausfallen als 1990.<sup>279</sup> Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn die jährlichen Reduktionen der THG-Emissionen im Zeitraum von 2017 bis 2030 etwa vier Mal höher ausfallen als die jährlichen Reduktionen der vergangenen zehn Jahre.

Die von der Bundesregierung avisierten drastischen Verringerungen der THG-Emissionen sollen mit einer Energiewende von fossilen Energieträgern zu THG-

neutralen erneuerbaren Energieträgern erreicht werden; dabei müssen allerdings Versorgungssicherheit und Bezahlbarkeit von Energie gewährleistet bleiben.<sup>280</sup>

Die hohe staatliche finanzielle Förderung der erneuerbaren Energien (EE) zur Stromerzeugung<sup>281</sup> hat über das letzte Jahrzehnt dazu geführt, dass inzwischen mehr als ein Drittel des Stromverbrauchs aus EE-Quellen gedeckt wird.<sup>282</sup> Die Energiewirtschaft ist allerdings nur für etwas mehr als ein Drittel der klimaschädlichen THG-Emissionen in Deutschland verantwortlich. Es ist offensichtlich, dass neben dem weiteren Ersatz fossiler Stromerzeugung durch EE-Strom<sup>283</sup> ein großer Handlungsbedarf bei der Reduktion von THG-Emissionen in weiteren Sektoren besteht, insbesondere bei Gebäuden, Verkehr und Industrie.<sup>284</sup> Dabei spielt die Nutzung von EE-Strom über alle Sektoren hinweg eine Schlüsselrolle – die sogenannte Sektorkopplung.

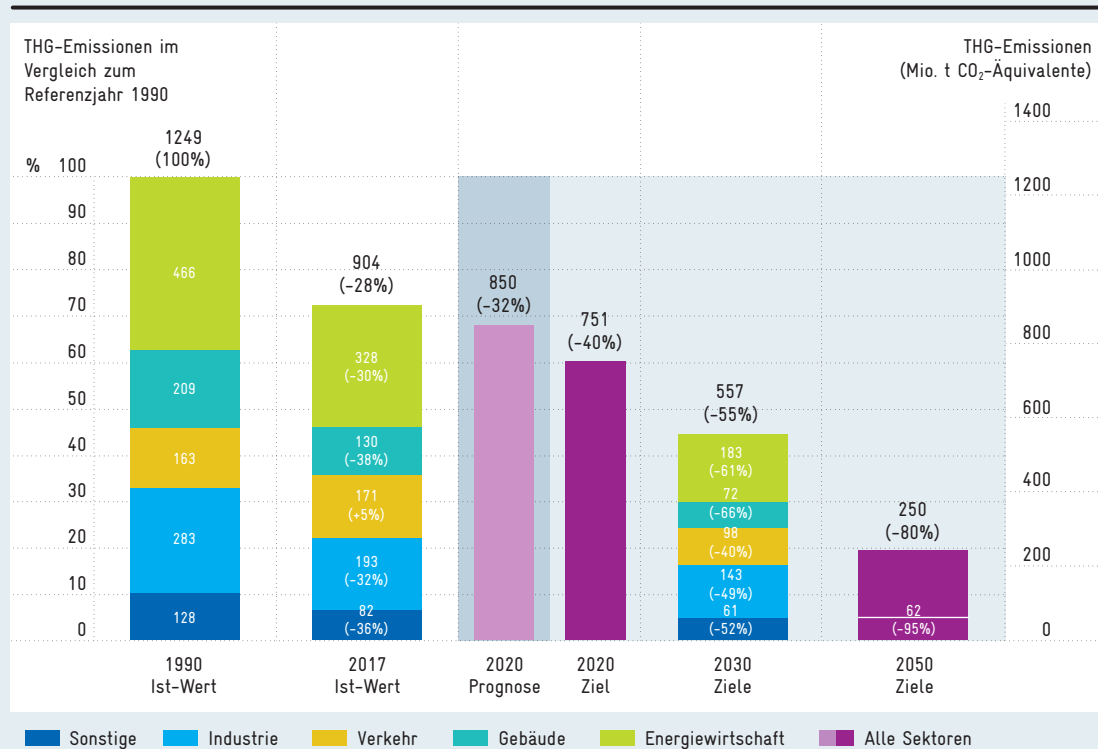
Die Sektorkopplung basiert auf direkter und indirekter Elektrifizierung. Bei der direkten Elektrifizierung werden fossile Energieträger direkt durch Strom ersetzt. Ein Beispiel hierfür ist der Tausch einer Ölheizung gegen eine elektrisch betriebene Wärmepumpe (Power-to-Heat) oder der Einsatz von Elektromotoren im Verkehr (Power-to-Mobility) anstelle von Otto- bzw. Dieselmotoren.<sup>285</sup> Indirekte Elektrifizierung erfolgt, wenn Strom in einen anderen Energieträger umgewandelt wird. Durch Elektrolyse kann beispielsweise unter Einsatz von Strom Wasserstoff bzw. Methan hergestellt werden (Power-to-Gas), die dann in Fahrzeugen als Kraftstoff genutzt werden können. Direkte und indirekte Elektrifizierung tragen zur Reduktion der THG-Emissionen bei, wenn der genutzte Strom aus THG-neutralen, regenerativen Quellen wie z. B. Wind- oder Sonnenenergie stammt.

Die Energiewende kann aber nicht nur auf den weiteren Ausbau der Erzeugung von EE-Strom zur Elektrifizierung des Energiesystems beschränkt bleiben.

Abb B 2-1

Download  
Daten

### THG-Emissionen Deutschlands für die Jahre 1990 und 2017, Prognose der THG-Emissionen Deutschlands für das Jahr 2020 und THG-Emissionsziele Deutschlands für die Jahre 2020, 2030 und 2050



Absolute Werte in Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente. In Klammern Veränderung gegenüber dem Referenzjahr 1990.  
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf BMUB (2014), BMUB (2016), BMU (2018a) und BMU (2018b).

Dies lässt sich anhand einer einfachen Rechnung verdeutlichen: Im Jahr 2017 belief sich der Endenergieverbrauch in Deutschland auf 2.591 TWh.<sup>286</sup> Wollte man auch nur den Endenergieverbrauch von 2017 allein über EE-Strom decken, wäre hierfür in Deutschland eine EE-Kapazität von mehr als 1.400 GW erforderlich.<sup>287</sup> Ende 2017 waren allerdings nach langjähriger öffentlicher EE-Förderung<sup>288</sup> gerade einmal 112 GW installiert.<sup>289</sup> Für den notwendigen Ausbau auf 1.400 GW wird nicht nur die Zeit knapp – es fehlt schlichtweg an den erforderlichen Ausbaufächen für Wind- und Solaranlagen. So gehen Fachleute davon aus, dass der Ausbau von EE aus Platzgründen 500 GW nicht überschreiten wird.<sup>290</sup> Auch für ein Ausbauziel von 500 GW müssten bis zum Jahr 2050 jährlich 12 GW hinzugebaut werden, während sich der Ausbau von EE im Zeitraum 2007 bis 2017 jährlich im Durchschnitt gerade einmal auf 7,3 GW belief.<sup>291</sup> Damit wird klar: Selbst mit einem optimistisch gerechneten EE-Ausbau können die Emissionsreduktionsziele nicht allein hierdurch

erreicht werden. Der EE-Ausbau muss mit massiven Energieeinsparungen und Verbesserungen der Energieeffizienz kombiniert werden.

Innovative Technologien und Geschäftsmodelle können helfen, die kostengünstige Erzeugung von EE-Strom und dessen sektorübergreifenden Einsatz zu forcieren und kostengünstige Potenziale für Energieeinsparungen sowie für Verbesserungen der Energieeffizienz zu erschließen. Vor diesem Hintergrund werden in diesem Kapitel drei zentrale Fragestellungen analysiert:

- Welche innovativen Technologien und Geschäftsmodelle sind für die Energiewende in den jeweiligen Sektoren von Bedeutung?
- Welche Innovationshemmnisse gibt es in den jeweiligen Sektoren?
- Welche Reformoptionen stehen der Politik zur Verfügung?

Zur Beantwortung wird auf eine Befragung von Fachleuten zurückgegriffen (vgl. Box B 2-3). Die Auswertung der Befragung zeigt, dass wichtige innovative Technologien und Geschäftsmodelle grundsätzlich verfügbar sind. Ihre Diffusion im Markt wird aber durch Marktexternalitäten, regulatorische Vorgaben und Lock-in-Effekte gehemmt. Box B 2-2 stellt die im Kontext der Energiewende wichtigsten Externalitäten – THG-Externalitäten und Netzwerkexternalitäten – dar.<sup>292</sup> Darüber hinaus haben bestehende regulatorische Vorgaben oft maßgeblichen Einfluss darauf, welche Technologien und Geschäftsmodelle im Markt Anwendung finden. Außerdem gibt es oft

hohe Kosten für den Wechsel zu neuen Technologien, was dazu führen kann, dass sich nicht die langfristig kostengünstigste Technologie durchsetzt (Lock-in-Effekt). Für die Energiewende können hieraus Hürden für die Nutzung innovativer klimafreundlicher Technologien und Geschäftsmodelle resultieren.

Nachfolgend werden die vier zentralen Sektoren der Energiewende – Energiewirtschaft, Gebäude, Verkehr und Industrie – näher untersucht. Für jeden Sektor werden nach einer Darstellung der Ausgangssituation i) die zentralen Technologien und Geschäftsmodelle, ii) Hemmnisse und iii) Reformoptionen diskutiert.

Box B 2-2

### Marktexternalitäten im Kontext der Energiewende

Externalitäten werden allgemein definiert als Auswirkungen wirtschaftlicher Aktivitäten auf Dritte, für die keine Kompensation geleistet wird.<sup>293</sup>

#### THG-Externalitäten:

Bei der Verbrennung von Öl, Kohle und Gas werden THG emittiert. Diese Emissionen verstärken den natürlichen Treibhauseffekt und führen zu einer Erderwärmung bzw. zu Klimawandel. Als Folge kommt es u.a. zu einem Anstieg des Meeresspiegels und zu einer Häufung von extremen Wetterereignissen. Von den negativen Auswirkungen des Klimawandels wie Überschwemmungen oder Dürren sind weltweit viele Menschen betroffen. Diese Schäden werden von den THG-Emittenten nicht berücksichtigt, sofern sie nicht dafür bezahlen müssen – in diesem Fall werden mehr THG emittiert, als gesellschaftlich wünschenswert ist. Eine Bepreisung von THG-Emissionen<sup>294</sup> in Höhe der Klimaschäden dieser THG-Emissionen würde sicherstellen, dass jede bzw. jeder Einzelne die von ihm

verursachten Klimaschäden berücksichtigt. Damit wären die negativen THG-Externalitäten internalisiert. Dies könnte z.B. durch eine Besteuerung der Energieträger gemäß ihres THG-Gehalts erreicht werden.<sup>295</sup> Vom Umweltbundesamt werden die gesellschaftlichen Kosten der THG-Externalitäten mit 180 Euro je Tonne CO<sub>2</sub> angegeben.<sup>296</sup>

Die aktuellen Steuern und Abgaben auf Energieträger wie Strom, Kohle, Öl oder Gas orientieren sich in ihrer Höhe bisher nicht an der Höhe ihrer jeweiligen negativen THG-Externalitäten – Energieträger mit hohen THG-Emissionen sind vergleichsweise zu billig. Hieraus entsteht insbesondere ein Wettbewerbsnachteil für die Nutzung klimafreundlicher Technologien auf Basis von EE-Strom wie Elektrofahrzeugen oder Wärmepumpen. Damit wird der Einsatz von EE-Strom in den Sektoren Verkehr und Gebäude erschwert und somit die Sektorkopplung als Kernelement der Energiewende behindert.

#### Netzwerkexternalitäten:

Die Attraktivität der Nutzung einer Technologie kann davon abhängen, wie viele andere Akteure diese Technologie bereits nutzen.<sup>297</sup> In diesem Fall spricht man von einer Netzwerkexternalität. Die Wirtschaftlichkeit des Ausbaus von Infrastrukturen für die Nutzung von Technologien hängt von einer kritischen Masse an Nutzerinnen und Nutzern ab. So wird z.B. die Marktdiffusion von Elektro- oder Wasserstofffahrzeugen durch den Mangel an flächendeckender Lade- oder Tankinfrastruktur gehemmt. Im Gegensatz dazu verfügen bestehende Technologien (Verbrennungsmotoren auf Basis fossiler Kraftstoffe) bereits über die nötige Tankinfrastruktur. Dies begünstigt die Nutzung der bestehenden Technologie und erschwert den Wechsel zu neuen alternativen Antriebstechnologien – ein sogenannter Lock-in-Effekt.



## Box B 2-3

**Expertenbefragung zu Technologien für die Energiewende**

Im Auftrag der Expertenkommission wurden ausgewiesene Expertinnen und Experten der Energiebranche zu Technologien für die Energiewende befragt. Sie gaben Einschätzungen zum Reifegrad der Technologien und zu ihrer Bedeutung für die Energiewende ab. Die Befragung umfasste die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr und Gebäude. Die Fachleute beurteilten die Bedeutung der Technologien und deren Reifegrad jeweils auf Basis einer vierstufigen Skala, unter der Prämisse, dass eine vollständige Dekarbonisierung des deutschen Energiesystems bis 2050 erreicht werden soll. Daneben konnten die Expertinnen und Experten zusätzliche Technologien und Geschäftsmodelle anführen, die sie als wichtig für die Energiewende erachteten, die aber bisher nicht im Fragebogen aufgenommen worden waren.

Insgesamt nahmen 36 Expertinnen und Experten an der Befragung teil, was einer Rücklaufquote von etwa 50 Prozent entspricht.

In der Analyse wird einer Technologie ein hoher Reifegrad attestiert, wenn die Expertinnen und Experten dieser im Durchschnitt einen der zwei höchsten Reifegrade zuwies. Eine hohe Bedeutung für die Energiewende wird einer Technologie attestiert, wenn mindestens 70 Prozent der Expertinnen und Experten diese Technologie als wichtig oder sehr wichtig für die Energiewende erachteten.<sup>298</sup>

Energiewirtschaft wegen der Volatilität und Dezentralität der EE-Stromerzeugung vor große Herausforderungen.

Die Energiewirtschaft war lange Zeit von gut steuerbarer, weitgehend zentraler Stromerzeugung auf Basis fossiler Energieträger und Kernenergie geprägt. Auch die Standortwahl von Kraftwerken in der Nähe von großen Verbrauchszentren und damit der Netzausbau ließen sich vergleichsweise leicht koordinieren. Der massive Ausbau der EE führt zu einer wetterabhängigen Stromerzeugung, die räumlich und zeitlich deutlich differenzierter ist, sich kaum steuern lässt und auf viele dezentrale Anlagen verteilt ist.

Die Zunahme der räumlich und zeitlich fluktuierenden Stromerzeugung aus dezentralen EE-Anlagen erfordert einen massiven Ausbau des Stromnetzes auf allen Spannungsebenen.<sup>300</sup> Mit dem Ausbau des Stromnetzes kommt auch dem effizienten Netzmanagement eine wachsende Bedeutung zu – hierfür spielt die Digitalisierung der Energiewirtschaft eine Schlüsselrolle.<sup>301</sup>

Ein immer höherer Anteil an EE-Strom in Kombination mit einer fortschreitenden direkten und indirekten Elektrifizierung des gesamten Energiesystems führt auch zu neuen Herausforderungen für die Versorgungssicherheit. Erzeugung und Nachfrage von Strom müssen dafür jederzeit deckungsgleich sein. Als Folge werden Flexibilitätsoptionen benötigt, die für eine kurze Zeit Spitzen in Erzeugung oder Verbrauch abfedern können. Hierzu gehören Speicher und die Umwandlung von Strom in andere Energieträger wie Gas, Flüssigkeiten oder auch Wärme (Power-to-X). Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass auch längere Phasen mit geringerer Stromerzeugung, sogenannte Dunkelflauten, überbrückt werden können. Hierfür werden ausreichende Reservekapazitäten benötigt. Die Anforderungen an die Versorgungssicherheit werden in Zukunft mit der zunehmenden Elektrifizierung weiterer Sektoren wie der Mobilität oder der Wärmeerzeugung an Bedeutung gewinnen.

Der Kapazitätsausbau bei Strom aus EE muss somit von einem weiteren Ausbau der Stromnetze und der Nutzung innovativer Flexibilitätsoptionen und innovativer Sektorkopplungstechnologien begleitet werden. Flexibilitätsoptionen und Sektorkopplungstechnologien können entscheidend zur Wirtschaftlichkeit der Energiewende bei Aufrechterhaltung eines sehr hohen Grades an Versorgungssicherheit beitragen.

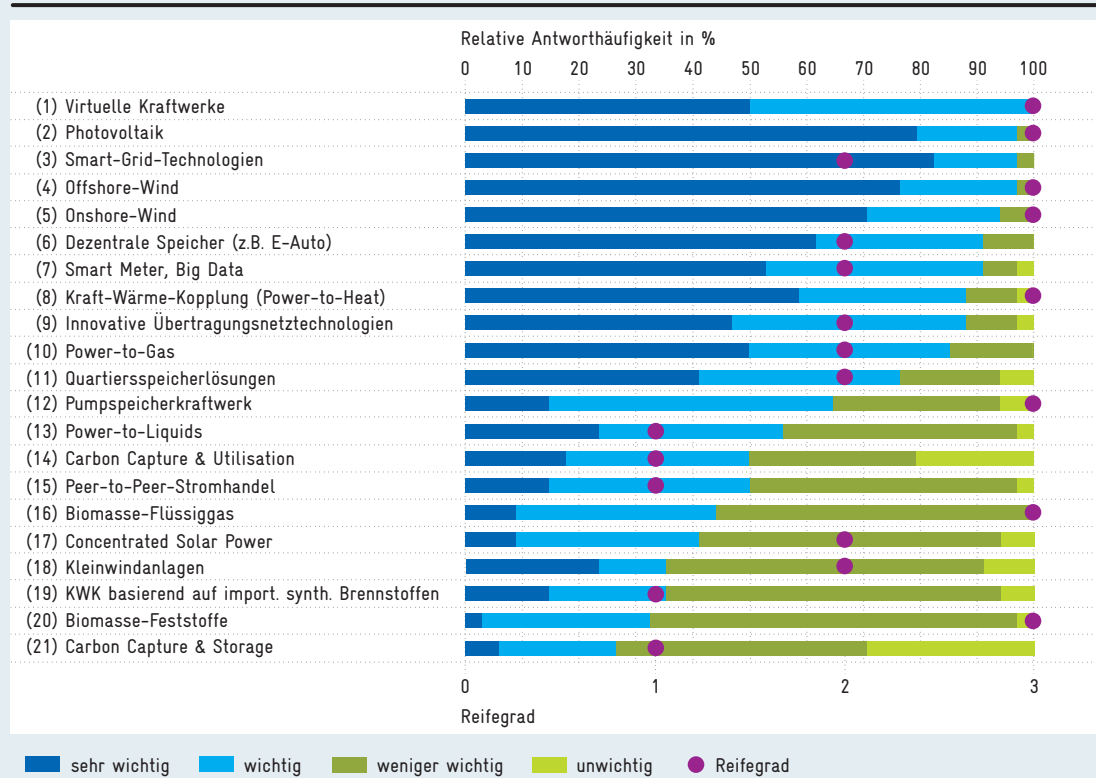
**B 2-2 Energiewirtschaft****Ausgangssituation**

In der Energiewirtschaft konnten die THG-Emissionen im Vergleich zu 1990 bisher um etwa 30 Prozent reduziert werden (vgl. Abbildung B 2-1). Damit ist aber bisher nur die Hälfte des Sektorziels für 2030 erreicht, das eine Reduktion um 61 Prozent vorsieht. Um das Sektorziel zu erreichen, muss die Stromerzeugung aus EE massiv ausgebaut werden. Kraftwerke auf Basis fossiler Energieträger sowie die durch den Atomausstieg wegfallenden Kernkraftwerke müssen ersetzt werden.<sup>299</sup> Diese Umstellung stellt die

Abb B 2-4

Download  
Daten

## Technologien in der Energiewirtschaft – Bedeutung für die Energiewende und technologische Reife



Die Reihenfolge der Technologien bestimmt sich zunächst absteigend aus der absoluten Summe aus „sehr wichtig“ und „wichtig“. Ist diese Summe gleich hoch, werden Technologien mit mehr „sehr wichtig“- als „wichtig“-Antworten zuerst aufgelistet. Die Balken zeigen die relativen Häufigkeiten der Antworten in Prozent. Die Einteilung des Reifegrads entspricht: 0=grundlegende Forschung, 1=Technologieentwicklung, Test und Pilotierung, 2=Produktkonzept und Businessplan vorhanden, 3=marktreifes Produkt vorhanden. Dargestellt ist der Medianwert der Experteneinschätzungen zum Reifegrad.  
Quelle: Gatzen und Pietsch (2019).

### Wichtige Technologien und Geschäftsmodelle für die Energiewende

Abbildung B 2-4 gibt die Einschätzung der befragten Fachleute zur Bedeutung von Technologien in der Energiewirtschaft für die Energiewende und ihrer technologischen Reife wieder (vgl. Box B 2-3). Als bedeutend erachten die Fachleute in absteigender Reihenfolge die Technologien virtuelle Kraftwerke (1), Photovoltaik (2), Smart-Grid-Technologien (3), Off- und Onshore-Wind (4 und 5), dezentrale Speicher (6), Smart Meter und Big Data (7), Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) (8), innovative Übertragungsnetztechnologien (9), Power-to-Gas (10) und Quartiersspeicherlösungen (11). Für diese Technologien sind nach Angaben der meisten Fachleute zumindest Produktkonzepte oder aber bereits marktreife Produkte vorhanden. Bei Smart-Grid-Technologien (3), dezentralen Speichern (6), Smart

Meter- und Big-Data-Anwendungen (7), innovativen Übertragungsnetztechnologien (9), Power-to-Gas (11) und Quartiersspeicherlösungen (11) sieht eine Mehrheit der Fachleute allerdings noch keine marktreifen Produkte.<sup>302</sup>

Eine wichtige Funktion für den Erfolg der Energiewende wird – neben den Erzeugungstechnologien Photovoltaik (2) und Wind (4 und 5) – mit virtuellen Kraftwerken (1), Smart-Grid-Technologien (3), Smart Metern (7) und innovativen Übertragungstechnologien (9) insbesondere (intelligenten) digitalen Technologien zur Steuerung von Stromnetzen, Stromerzeugung und Stromverbrauch zugewiesen.

Es wird deutlich, dass die Digitalisierung der Energiewirtschaft eine wichtige Voraussetzung für die (verstärkte) Nutzung bzw. Umsetzung innovativer Technologien und Geschäftsmodelle ist. So lassen

## Das Europäische Emissionshandelssystem

Das European Union Emissions Trading System (EU ETS) ist das zentrale europäische Klimaschutzinstrument und wurde im Jahr 2005 von der EU eingeführt. Neben den 28 EU-Mitgliedsstaaten nehmen auch Norwegen, Island und Liechtenstein am Emissionshandel teil. Beim EU ETS handelt es sich um ein sogenanntes Cap & Trade Regime, das eine Emissionsobergrenze für die Energiewirtschaft und die energieintensiven Industrien festlegt.<sup>303</sup> Hierzu gehören europaweit rund 12.000 Anlagen, die zusammen rund 45 Prozent der THG-Emissionen in Europa verursachen.

Innerhalb der gesetzten Emissionsobergrenzen erhalten oder erwerben erfasste Unternehmen Emissionszertifikate, mit denen sie nach Bedarf handeln können. Der Handel mit den Zertifikaten ermöglicht, dass Emissionen dort verringert werden, wo dies im EU ETS die geringsten Kosten verursacht.

Der Zertifikatepreis beträgt derzeit rund 20 Euro je Tonne CO<sub>2</sub>, nachdem er vorher lange Zeit bei deutlich unter zehn Euro je Tonne CO<sub>2</sub> gelegen hatte. Das bisher eher niedrige Preisniveau im EU ETS ist auf verschiedene Faktoren zurückzuführen – u. a. auf die hohe

Anfangsausstattung des EU ETS mit Emissionsrechten, eine verringerte Wirtschaftsaktivität als Folge der Wirtschaftskrise von 2008 und die Subventionierung von EE zur Stromerzeugung.

Mit der jüngsten Reform des EU ETS werden die erlaubten Mengen jedoch deutlich reduziert und Überschusszertifikate aus dem Markt genommen.<sup>304</sup> Nach dieser Reform stiegen die Zertifikatspreise an. Sie liegen aber immer noch deutlich unter den vom Umweltbundesamt angegebenen gesellschaftlichen Kosten von 180 Euro je Tonne CO<sub>2</sub>.

## Geschäftsmodell im Bereich Verteilnetz-Monitoring

### Kurzbeschreibung

Die Gridhound Unternehmerrgesellschaft wurde 2015 gegründet. Gridhound nutzt maschinelles Lernen zum Monitoring des Mittel- und Niederspannungsnetzes in Echtzeit. Damit können Verteilnetzbetreiber problematische Netzzustände frühzeitig erkennen und dadurch den Netzbetrieb optimieren.

### Leistungsangebot und Geschäftsmodell

Über eine Sensitivitätsanalyse werden die optimalen Punkte zum Einbau von Messtechnik im Feld bestimmt. Darauf aufbauend liefern eine Netzzustandsabschätzung und ein Echtzeit-Monitoring der Mittel- und Niederspannungsnetze Netzdaten wie beispiels-

weise eine Vorhersage des Netzzustands. Die dabei eingesetzte Software basiert auf einem maschinellen Lernverfahren.

Pilotprojekte zur Bestimmung der optimalen Messpunkte im Feld sowie Analysen kleinerer Netzgebiete werden projektorientiert angeboten. Die Netzzustandsabschätzung und das Echtzeit-Monitoring werden als Software-as-a-Service angeboten und können bei Bedarf leistungsbezogen abgerechnet werden.

### Relevanz für das Energiesystem

In Deutschland gibt es über 800 Verteilnetzbetreiber. Im Jahr 2016 beliefen sich die jährlichen Entschädigungszahlungen der Verteilnetzbetreiber für Ausfallarbeit

auf über 370 Millionen Euro. Mit einem dynamischen Einspeisemanagement könnten die Entschädigungskosten reduziert werden, wodurch der Strompreis für die Endkundinnen und Endkunden sinken würde.

### Regulatorische Hemmnisse

Aktuell werden Investitionsausgaben für Hardware, beispielsweise Netzleitungen, gegenüber Investitionen in Digitallösungen, beispielsweise Echtzeitmonitoring, durch die Regulierung finanziell bevorzugt.<sup>305</sup>



sich im Rahmen der Digitalisierung beispielsweise detaillierte Verbrauchsdaten erheben und dazu nutzen, Einsparpotenziale zu identifizieren oder den Stromverbrauch zu steuern bzw. zu flexibilisieren. Unternehmen können Smart-Grid-Technologien (3) einsetzen, um Netzbetreibern ein Echtzeitmonitoring der Netze zu ermöglichen und mit Prognosen zum zukünftigen Netzzustand zu ergänzen (vgl. Box B 2-6). Dadurch können die Kosten für den Netzbetrieb erheblich gesenkt werden. Digitalisierung und Dezentralisierung können zur Bildung neuer Wertschöpfungsnetzwerke führen.<sup>306</sup> Ein Beispiel hierfür sind Geschäftsmodelle auf Grundlagen der Blockchain-Technologie (Box B 2-7).

### Innovationshemmnisse

In der Energiewirtschaft ergeben sich Innovationshemmnisse vor allem aus der unzureichenden Internalisierung von THG-Externalitäten (vgl. Box B 2-2) sowie aus regulatorischen Hürden.

Die negativen THG-Externalitäten werden bisher nicht ausreichend durch den Preis für Emissionszertifikate im EU ETS reflektiert. Während das Umweltbundesamt einen Preis von 180 Euro je Tonne CO<sub>2</sub> als Orientierung für die Klimakosten von THG-Emissionen für angemessen hält, lag der Preis für Emissionszertifikate im vierten Quartal 2018 zwischen ca. 15 Euro und ca. 25 Euro je Tonne CO<sub>2</sub>.<sup>307</sup> Dadurch gibt es nur vergleichsweise geringe finanzielle Anreize, in klimafreundliche und kohlenstoffarme Technologien zu investieren.

Die bisherige Regulierung der Netzentgelte hat zur Folge, dass für die meisten Kundengruppen nicht die tatsächlichen, räumlich differenzierten und zeitabhängigen Kosten der Stromnetznutzung abgebildet werden.<sup>308</sup> Es fehlen Preissignale für eine effiziente Flexibilisierung von Stromangebot und -nachfrage. Dadurch können innovative Technologien wie dezentrale Speicher oder Power-to-X ihren Beitrag zur Flexibilisierung des Energiesystems nur unzureichend monetarisieren und werden in ihrer Marktdiffusion gehemmt.

Im Rahmen der Anreizregulierungsverordnung (ARegV) fehlt es durch eine mangelnde Berücksichtigung von Betriebskosten im Vergleich zu Investitionskosten an Anreizen für die Netzbetreiber, über innovative Konzepte zum Engpassmanagement nachzudenken (vgl. Box B 2-6). Aus Sicht der

Netzbetreiber ist deshalb in der Regel die Investition in den Netzausbau lukrativer, obwohl gesamtwirtschaftlich ein Engpassmanagement ohne Netzausbau kostengünstiger sein könnte.<sup>309</sup> Dadurch werden Technologien wie Power-to-Heat oder Speicher,<sup>310</sup> aber auch Geschäftsmodelle für innovatives Netzmanagement in ihrer Verbreitung gehemmt.

### Reformoptionen

Zur Überwindung der Innovationshemmnisse in der Energiewirtschaft gibt es mehrere Reformoptionen, die zum Teil aufgrund ihrer asymmetrischen Verteilungswirkung kontrovers diskutiert werden und politisch bewertet werden müssen. Wichtige Reformoptionen umfassen:

- eine Stärkung der Preissignale im EU ETS durch eine weitere Verknappung der Emissionszertifikate,
- eine Anpassung von Netzentgelten, um eine räumliche und zeitliche Knappheitsdimension in die Preissignale des Stromnetzes zu integrieren,
- eine Überarbeitung der ARegV, um Anreize für die Nutzung netzdienlicher Anlagen für Netzbetreiber und Marktteilnehmende zu steigern.

### Gebäude

### B 2-3

#### Ausgangssituation

Im Gebäudebereich konnten die THG-Emissionen bis 2017 im Vergleich zu 1990 um 38 Prozent reduziert werden. Damit ist bisher deutlich mehr als die Hälfte des Sektorziels von 66 Prozent für 2030 erreicht (vgl. Abbildung B 2-1).

Die wesentlichen Einsatzzwecke von Energie in Gebäuden sind die Erzeugung von Raumwärme bzw. Klimatisierung (85 Prozent) sowie die Erzeugung von Warmwasser (15 Prozent).<sup>311</sup> Etwa 75 Prozent der Wärme wurde 2017 unter Verwendung fossiler Brennstoffe in Öl- oder Gasheizungen erzeugt.<sup>312</sup> Durch die lange Lebensdauer von Heizungen sind diese Anteile im Zeitverlauf recht stabil und Verschiebungen der Anteile hin zu anderen Energieträgern erfolgen nur langsam. Daher werden Maßnahmen für CO<sub>2</sub>-arme bzw. CO<sub>2</sub>-freie Heizungstechniken, die sich weitgehend auf Neubauten beschränken, nicht ausreichen, um das Sektorziel für 2030 zu erreichen.<sup>313</sup>

### Blockchain-Technologien in der Energiewirtschaft<sup>314</sup>

Die Entwicklung der Energiewirtschaft hin zu einer kleinteiligen und dezentralen Organisation bedarf einer verstärkten Koordinierung von Transaktionen, die entweder physisch in der Erzeugung, dem Transport oder dem Verbrauch von Strom oder finanziell beim Handel mit Strom entstehen. Blockchain-Technologien eröffnen grundsätzlich die Möglichkeit, eine Vielzahl von Transaktionen auf effiziente und sichere Weise zu koordinieren (siehe Kapitel

B 3). Sie sind daher auch für die Energiewende mit dezentralen Erzeugungs- bzw. Versorgungsstrukturen von potenziell hoher Bedeutung.<sup>315</sup>

Die Kosten für den Netzbetrieb werden über Netzentgelte auf Verbraucherinnen und Verbraucher umgelegt. Sie sind aber nur bedingt transparent, weil Daten zum Netzzustand nicht in ausreichendem Umfang vorliegen und über verschiedene Akteure verteilt sein

können. Eine Lösung hierfür kann in der Kombination aus Sensoren, die Indikatoren zum Netzzustand erfassen, und Blockchain-Technologien liegen, die automatisiert und manipulationssicher Daten erfassen und speichern. Auf dieser Grundlage können Leistungs- bzw. Kostenindikatoren direkt im Netz ermittelt und über die Blockchain verlässlich kommuniziert werden. Damit werden verursachergerechte und transparente Netzentgelte ermöglicht.

Für das Erreichen der Sektorziele spielt auch die Energieeffizienz eine entscheidende Rolle. Für Wohngebäude formuliert die Bundesregierung einen durchschnittlichen Verbrauch von 40 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr als langfristiges Ziel.<sup>316</sup> Im Jahr 2016 betrug der spezifische Endenergieverbrauch in privaten Haushalten 126,2 kWh/m<sup>2</sup>.<sup>317</sup> Es wird daher nötig sein, die Entwicklung und den Einsatz von Gebäuden voranzutreiben, die mehr (CO<sub>2</sub>-freie) Energie produzieren, als sie verbrauchen.

#### Wichtige Technologien und Geschäftsmodelle für die Energiewende

Abbildung B 2-8 stellt innovative Technologien des Gebäudesektors dar und bildet die Einschätzung der befragten Fachleute zur Bedeutung der Technologien für die Energiewende und ihrer technologischen Reife ab (vgl. Box B 2-3). Als bedeutend erachteten die Fachleute in absteigender Reihenfolge die Technologien Wärmepumpensysteme (1), energieeffizientes Bauen und Sanieren (2), Smart Meter (3), KWK und Fernwärme aus EE (4), innovative Kälte- und Wärmespeicher (5), Quartierslösungen und Mieterstrom (6), Technologien für Gebäudeautomation (7), Technologien für energiesparende Gebäudenutzung (8), Solarthermie (9), Wärmerückgewinnung (10) und Power-to-Heat (11). Für diese Technologien sind nach Angabe der meisten Fachleute bereits marktreife Produkte, zumindest aber Produktkonzepte vorhanden. Die Mehrheit der Fachleute gibt an, dass für Smart

Meter (3), innovative Kälte- und Wärmespeicher (5), Quartierslösungen und Mieterstrom (6), Technologien für Gebäudeautomation (7) und energiesparende Gebäudenutzung (8) sowie Wärmerückgewinnung (10) der Schritt hin zu marktreifen Produkten noch nicht gemacht wurde.<sup>318</sup>

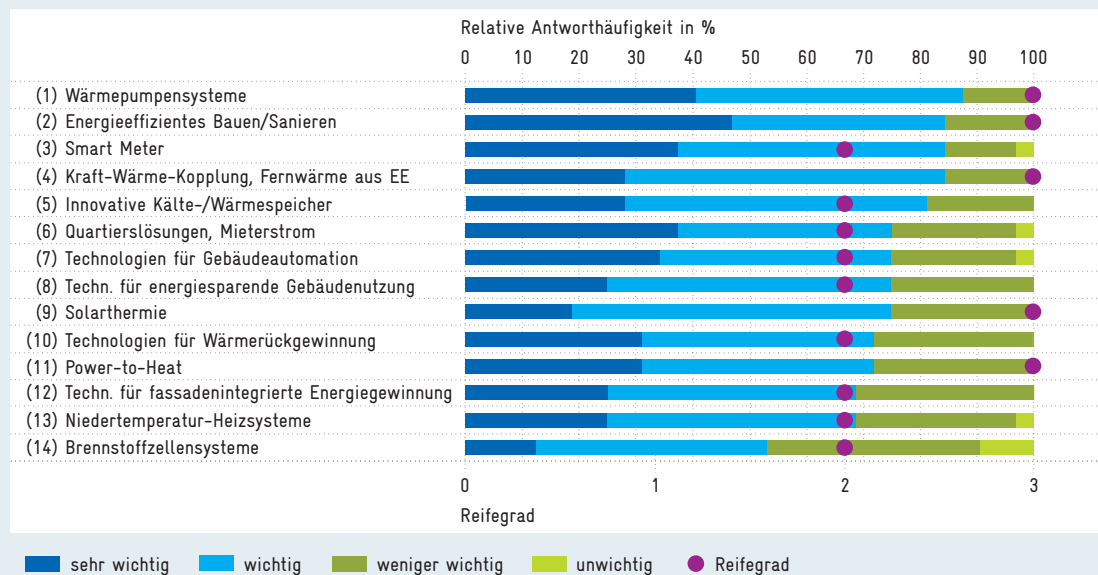
Die als bedeutend erachteten Technologien lassen sich in die Kategorien Technologien für effiziente und klimafreundliche Energiebereitstellung sowie Technologien zur Senkung des Energiebedarfs einteilen. Zur ersten Kategorie gehören Wärmepumpen (1) und andere Power-to-Heat-Anwendungen, KWK und Fernwärme aus EE (4), Solarthermie (9), innovative Kälte- und Wärmespeicher (5) sowie Quartierslösungen und Mieterstrommodelle (6). Zur Senkung des Energiebedarfs kommen Technologien für energieeffizientes Bauen und Sanieren (2), Gebäudeautomation (7) und energiesparende Gebäudenutzung (8) zum Einsatz.

Auch im Gebäudesektor gibt es innovative Dienstleistungen, die in Form digitaler Geschäftsmodelle angeboten werden (vgl. Box B 2-9). So bieten Unternehmen den Verkauf von Ökostrom in Kombination mit einer Eigenstromoptimierung oder Mieterstrommodellen an. Bei Mieterstrom oder Quartiersstrom handelt es sich um vom Vermieter lokal produzierten Strom, der den Mietern direkt angeboten wird. Einnahmen werden u.a. aus den monatlichen Entgelten für Ökostrom-Lieferungen oder Beiträgen zu Mieterstromgemeinschaften generiert.

Abb B 2-8

Download  
Daten

## Technologien im Gebäudesektor - Bedeutung für die Energiewende und technologische Reife



Die Reihenfolge der Technologien bestimmt sich zunächst absteigend aus der absoluten Summe aus „sehr wichtig“ und „wichtig“. Ist diese Summe gleich hoch, werden Technologien mit mehr „sehr wichtig“- als „wichtig“-Antworten zuerst aufgelistet. Die Balken zeigen die relativen Häufigkeiten der Antworten in Prozent. Die Einteilung des Reifegrads entspricht: 0=grundlegende Forschung, 1=Technologieentwicklung, Test und Pilotierung, 2=Produktkonzept und Businessplan vorhanden, 3=marktreifes Produkt vorhanden. Dargestellt ist der Medianwert der Experteneinschätzungen zum Reifegrad.  
Quelle: Gatzen und Pietsch (2019).

Box B 2-9

### Geschäftsmodell im Bereich Mieterstrom

#### Kurzbeschreibung

Die Polarstern GmbH wurde 2011 in München gegründet. Sie ist ein Energieversorger, der Energieprodukte wie Ökostrom oder Ökogas aus 100 Prozent EE anbietet. Darüber hinaus bietet Polarstern Spezialtarife für Wärmepumpen und Elektroautos sowie Produkte zur dezentralen Stromversorgung von Eigenheimen und Mehrparteienhäusern wie Mieterstrommodelle an.

#### Leistungsangebot und Geschäftsmodell

Polarstern nutzt als Energieversorger sowohl das zentrale und

öffentliche Stromnetz als auch lokal erzeugten Strom zur Energieversorgung von Gebäuden. Für die Nutzung von lokal erzeugtem Strom plant und organisiert Polarstern Mieterstrom- und Eigenstrommodelle. Darüber hinaus werden Dienstleistungen zur Optimierung des Eigenstromverbrauchs angeboten.

Polarstern erzielt Einnahmen aus monatlichen Entgelten für die Ökostrom-Lieferung sowie über Beiträge für die Nutzung von lokal erzeugtem Strom.

#### Relevanz für die Energiewende

Alle Produkte und Services haben gemein, dass 100 Prozent EE verwendet werden. Die Integration dezentraler Speicher wie z.B. eines Elektroautos erleichtert den Abgleich von Stromangebot und Verbrauch im Netz.

#### Regulatorische Hemmnisse

2017 wurde das Gesetz zur Förderung von Mieterstrom verabschiedet. Bisher lässt das Gesetz aber nur Photovoltaik als Technologie zu. Durch die Begrenzung auf eine Technologie kann das volle Potenzial von Mieterstrom nicht ausgeschöpft werden.

## Innovationshemmnisse

Im Gebäudesektor sind wichtige Innovationshemmnisse auf THG-Externalitäten (vgl. Box B 2-2) und Lock-in-Effekte zurückzuführen.

Die in Haushalten genutzten Energieträger weisen unterschiedlich starke Belastungen durch Steuern, Abgaben und Umlagen, sogenannte staatlich induzierte Preisbestandteile, auf. Strom wird im Vergleich zu Erdgas und Heizöl deutlich stärker belastet. Bezieht man die Belastungen auf die spezifischen THG-Emissionen, dann ergeben sich große Abweichungen zu einer einheitlichen CO<sub>2</sub>-Bepreisung – der implizite CO<sub>2</sub>-Preis für Strom ist um ein Vielfaches höher als der auf Erdgas oder leichtes Heizöl.<sup>319</sup> Hieraus resultieren erhebliche Wettbewerbsnachteile für strombasierte Sektorkopplungstechnologien im Gebäudesektor (u. a. Wärmepumpen).

Im Gebäudesektor treten Lock-in-Effekte auf, weil die Wechselkosten von einer bisherigen auf eine neue Technologie zu hoch sind (u. a. wegen irreversibler Investitionen bzw. versunkener Kosten). Dadurch kann die Verbreitung innovativer und klimafreundlicher Heizungsanlagen, die langfristig kostengünstiger wären, gehemmt werden.<sup>320</sup>

## Reformoptionen

Zur Überwindung der Innovationshemmnisse im Gebäudesektor gibt es mehrere Reformoptionen, die zum Teil aufgrund ihrer asymmetrischen Verteilungswirkung kontrovers diskutiert werden und politisch bewertet werden müssen. Wichtige Reformoptionen umfassen:

- eine Neuausrichtung von Steuern, Abgaben und Umlagen – sogenannter staatlich induzierter Preisbestandteile – auf Energieträger, die sich an den Kosten der von den jeweiligen Energieträgern verursachten THG-Externalitäten orientieren,
- eine Ausweitung von steuerlicher Förderung oder Abschreibungsregelungen in Ergänzung zu Förderprogrammen, um zusätzliche Anreize zur Nutzung innovativer Technologien zu schaffen,<sup>321</sup>
- eine Ausweitung von Maßnahmen des Ordnungsrechts auf den Gebäudebestand, um Lock-in-Effekte zu überwinden.<sup>322</sup>

## Verkehr

B 2–4

### Ausgangssituation

Im Verkehrssektor haben die THG-Emissionen zwischen 1990 und 2017 nicht ab-, sondern leicht zugenommen. Damit ist man weit vom Ziel der Bundesregierung entfernt, die THG-Emissionen des Verkehrssektors bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 1990 um 40 Prozent zu senken.<sup>323</sup> Diese ungünstige Entwicklung ist im Wesentlichen auf die Zunahme der Verkehrsleistung zurückzuführen, die die Steigerung der Energieeffizienz im Personenverkehr um 25 Prozent und im Güterverkehr um 12 Prozent<sup>324</sup> überkompensiert hat.<sup>325</sup> Um die Sektorziele für 2030 noch erreichen zu können, sind einschneidende Maßnahmen erforderlich.

Derzeit verursachen Pkw 61 Prozent der THG-Emissionen im Verkehrssektor, gefolgt von Lkw mit 35 Prozent, Flugzeugen im nationalen Luftverkehr mit 1,4 Prozent und Dieselloks mit 0,6 Prozent.<sup>326</sup> Der Anteil von EE im Verkehrssektor stagniert seit 2008 bei etwa 5 Prozent.<sup>327</sup> Alternative Antriebe<sup>328</sup> leisten bisher keinen nennenswerten Beitrag zur Entschärfung der kritischen THG-Situation im Verkehrssektor. Ihr Anteil am gesamten Fahrzeugbestand in Deutschland betrug im Jahr 2018 lediglich 1,7 Prozent.<sup>329</sup>

Neben der Elektromobilität können Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe im Energiemix des zukünftigen Verkehrs eine wichtige Rolle spielen, um die hohen THG-Reduktionsanforderungen bis 2030 und darüber hinaus zu erreichen. Für den Einsatz verschiedener Technologien sprechen vor allem unterschiedliche Anforderungen an Fahrleistungen (Reichweite) und Fahrdynamiken in Logistik und Personenverkehr. Darüber hinaus gewinnen Konzepte zur Verkehrsvermeidung und -verlagerung wie beispielsweise die Ausweitung des ÖPNV, Sharing-Modelle sowie eine verkehrsvermeidende Verkehrsplanung an Bedeutung.<sup>330</sup>

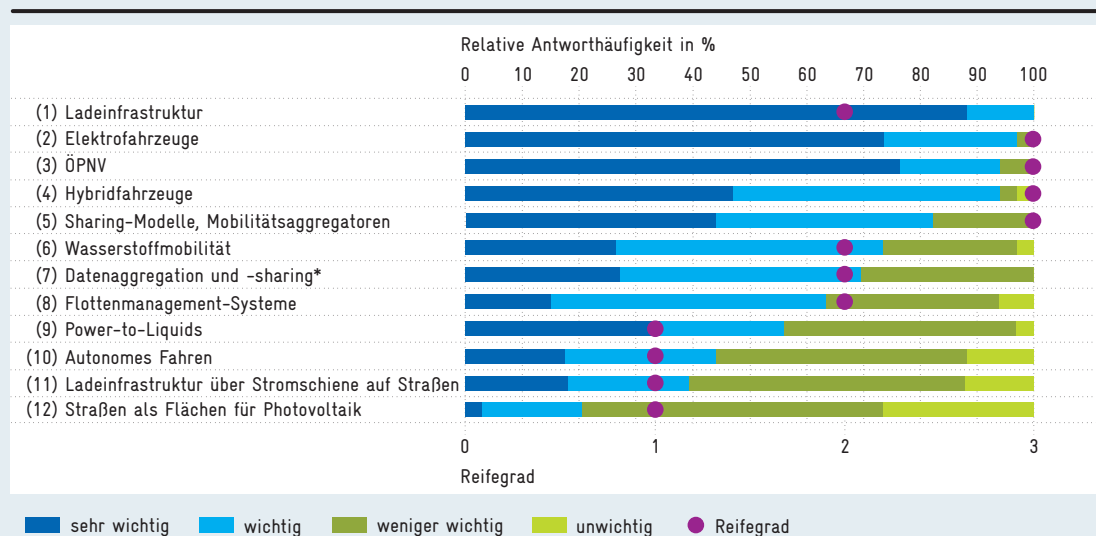
### Wichtige Technologien und Geschäftsmodelle für die Energiewende

Abbildung B 2-10 stellt innovative Technologien des Verkehrssektors dar und bildet die Einschätzung der befragten Fachleute zur Bedeutung der Technologien für die Energiewende und ihrer technologischen

Abb B 2-10

Download  
Daten

## Technologien im Verkehrssektor - Bedeutung für die Energiewende und technologische Reife



Die Reihenfolge der Technologien bestimmt sich zunächst absteigend aus der absoluten Summe aus „sehr wichtig“ und „wichtig“. Ist diese Summe gleich hoch, werden Technologien mit mehr „sehr wichtig“- als „wichtig“-Antworten zuerst aufgelistet. Die Balken zeigen die relativen Häufigkeiten der Antworten in Prozent. Die Einteilung des Reifegrads entspricht: 0=grundlegende Forschung, 1=Technologieentwicklung, Test und Pilotierung, 2=Produktkonzept und Businessplan vorhanden, 3=marktreifes Produkt vorhanden. Dargestellt ist der Medianwert der Experteneinschätzungen zum Reifegrad.  
\* Datenaggregation und -sharing zum Zweck der Verkehrsflussoptimierung  
Quelle: Gatzten und Pietsch (2019).

Reife ab (vgl. Box B 2-3). Als bedeutend erachten die Fachleute in absteigender Reihenfolge Technologien für Ladeinfrastruktur (1), Elektrofahrzeuge (2), ÖPNV (3), Hybridfahrzeuge (4), Sharing-Modelle und Mobilitätsaggregatoren (5) sowie Wasserstoffmobilität (6). Die Mehrheit der Fachleute gibt an, dass für diese Technologien zumindest Produktkonzepte oder aber bereits marktreife Produkte verfügbar sind. Lediglich für Ladeinfrastruktur (1) und Wasserstoffmobilität (6) sieht die Mehrheit der Fachleute die Marktreife der Technologie noch nicht erreicht.<sup>331</sup>

Elektrofahrzeuge (2) werden im Verkehrssektor der Zukunft eine Schlüsselrolle einnehmen.<sup>332</sup> Elektrofahrzeuge, die die direkte Nutzung von Strom aus EE ermöglichen und dabei besonders energieeffizient sind, können einen entscheidenden Beitrag zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors leisten.<sup>333</sup> Zur Ausweitung der Einsatzbereiche der Elektromobilität ist ein weiterer Ausbau der Ladeinfrastruktur<sup>334</sup> notwendig. Darüber hinaus ist eine Weiterentwicklung der Batteriesysteme erforderlich, um die Leistungsdichte und damit die Reichweite zu erhöhen und die Kosten (für Batterien) deutlich zu verringern.<sup>335</sup>

Es ist zu erwarten, dass Hybridfahrzeuge sowie Plug-in-Hybride<sup>336</sup>, die sowohl über einen Elektromotor mit einer leistungsstarken Batterie als auch über einen Verbrennungsmotor verfügen, in einer Übergangsphase zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors beitragen.

Neben batterieelektrischen Fahrzeugen werden Wasserstofffahrzeuge (auf Basis von Wasserstoff, der durch Elektrolyse aus EE-Strom gewonnen werden kann) zunehmend an Bedeutung gewinnen. Sie haben den Vorteil einer höheren Reichweite sowie einer schnelleren Betankung, wobei die Energieeffizienz deutlich geringer ist als bei Elektrofahrzeugen.<sup>337</sup> Auch für die Betankung von Wasserstofffahrzeugen werden erhebliche Infrastrukturinvestitionen erforderlich sein.<sup>338</sup>

Verkehrsvermeidung und -verlagerung können ebenfalls zur Senkung der THG-Emissionen beitragen. Hierzu zählen der Ausbau des ÖPNV durch höhere Netzabdeckung und Taktung sowie die Stärkung des Fuß- und Radverkehrs. Zudem können neue Geschäftsmodelle wie Carsharing-Angebote zu einer Verringerung der benötigten Fahrzeugflotte und einer

### Geschäftsmodell im Bereich smarte Verkehrssteuerung und Sensorsysteme

#### Kurzbeschreibung

Die Sonah UG wurde 2016 in Aachen gegründet. Sonah entwickelt flexible, optische Sensoren für verschiedenste Anwendungsfälle im Bereich Smart Cities, die beispielsweise in den Bereichen Parkraumüberwachung, E-Ladesäulen-Monitoring oder für intelligente Verkehrsleitsysteme verwendet werden können. Die Sensoren können in bestehenden Infrastrukturen wie Straßenlaternen oder Gebäuden angebracht werden.

#### Leistungsangebot und Geschäftsmodell

Sonah entwickelt ein dezentrales Sensornetzwerk, um Herausforderungen wie das Parkplatzproblem, das E-Ladesäulen-Monito-

ring oder die Verkehrsleitung anzugehen. Dabei setzt Sonah auf die Entwicklungen von optischer Sensorik. Die optischen Sensoren können dabei eine Straßensituation vor Ort datenschutzkonform analysieren, interpretieren und für unterschiedliche Anwendungsfälle relevante Metadaten senden. Diese werden, basierend auf Machine-Learning-Algorithmen, ausgewertet und in neuen Geschäftsmodellen verarbeitet.

Einnahmen werden aus dem Verkauf der Sensoren und monatlichen Gebühren für das Parkplatz-Tracking generiert. Weitere Einnahmen können durch die Bereitstellung von Park- und Verkehrsdaten erzielt werden.

#### Relevanz für die Energiewende

Der Parkplatzsuchverkehr ist bereits heute für einen signifikanten Anteil der Luftverschmutzung im urbanen Raum verantwortlich. Durch die Überwachung von Parkräumen und die Überführung der Daten in Navigationsanwendungen können dieser Suchverkehr und damit die Luftbelastungen reduziert werden.

#### Regulatorische Hemmnisse

Datengetriebene Geschäftsmodelle im öffentlichen Raum bergen Schwierigkeiten, da es noch keine Vorgabe gibt, wem die Daten tatsächlich gehören. Diese Unsicherheit hemmt potenzielle Innovationsprojekte.

besseren Auslastung der Fahrzeuge beitragen.<sup>339</sup> Mobilitätsaggregatoren ermöglichen darüber hinaus die Bündelung verschiedenster Mobilitätsdienste in einer App. Des Weiteren können intelligente Verkehrsoptimierungstechnologien zu einer effizienten Verkehrsflusssteuerung beitragen.

Cloud-basierte Mobilitätsplattformen können es beispielsweise Unternehmen ermöglichen, Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sogenannte Shared Mobility Services anzubieten. Flottenfahrzeuge können digitalisiert und nach Dienstschluss von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern weiter privat genutzt werden. Die Mobilitätsplattform bildet damit eine Schnittstelle zwischen Anbietern und Nachfragern von Mobilitätsdienstleistungen. Das Geschäftsmodell besteht dabei aus einem Software-as-a-Service-Paket, die Nutzungsgebühren sind zahlbar pro Fahrzeug und Zeiteinheit.

#### Innovationshemmnisse

Im Verkehrssektor sind wichtige Innovationshemmnisse auf Netzwerkexternalitäten (vgl. Box B 2-2) und regulatorische Hürden zurückzuführen.

Elektro- und Wasserstofffahrzeuge bedürfen einer flächendeckenden Lade- und Tankinfrastruktur, die wegen Netzwerkexternalitäten aktuell in Deutschland noch nicht gegeben ist. Diese Externalitäten werden verstärkt, weil eine flächendeckende Ladeinfrastruktur mit dem Ausbau der Verteilnetzinfrasturktur abgeglichen werden muss.<sup>340</sup>

Während für Fahrzeughersteller CO<sub>2</sub>-Flottenziele für Neuwagen gelten, gibt es kaum Maßnahmen, die auf geändertes Fahr- oder Nutzungsverhalten abzielen und so auch THG-Minderungen im Fahrzeugbestand realisieren können. Dadurch wird ein Status quo für den Individualverkehr per Pkw zementiert, der innovative Technologien wie Mobilitätsaggregatoren, Verkehrsvermeidung oder den ÖPNV benachteiligt.<sup>341</sup>

Auf Grundlage der CO<sub>2</sub>-Flottenziele erfolgt eine Förderung alternativer Antriebe, die nicht technologieoffen ist. Übersteigt der Anteil von Elektrofahrzeugen an der Neuwagenflotte eines Herstellers einen Schwellenwert, dann werden die CO<sub>2</sub>-Vorgaben für die gesamte Flotte abgeschwächt. Diese Fokussierung auf Elektrofahrzeuge geht zu Lasten anderer alternativer Antriebskonzepte wie Wasserstofffahrzeuge.



Eine kritische Würdigung der staatlichen Aktivitäten im Verkehrssektor darf nicht übersehen, dass die Bundesregierung auf internationaler Ebene Industriepolitik zum Schutz der deutschen Automobilindustrie betreibt. So setzte sich die Bundesregierung beispielsweise auf europäischer Ebene dafür ein, die Reduktionsziele für Neuwagen stärker abzuschwächen, als dies eine Mehrheit der EU-Mitgliedsstaaten befürwortet hätte.<sup>342</sup> Eine solche Politik hemmt Innovationen für alternative Antriebskonzepte und könnte sich mittelfristig als Bumerang für die Sicherung des Automobilstandorts Deutschland erweisen.

### Reformoptionen

Zur Überwindung der Innovationshemmnisse im Verkehrssektor gibt es mehrere Reformoptionen, die zum Teil aufgrund ihrer asymmetrischen Verteilungswirkung kontrovers diskutiert werden und politisch bewertet werden müssen. Die Reformoptionen umfassen:

- eine höhere Bepreisung von THG-Emissionen durch Anpassungen der Kfz- und Kraftstoffbesteuerung,
- die technologieoffene Förderung klimafreundlicher Antriebskonzepte und ihrer Lade- bzw. Tankinfrastruktur,
- eine verstärkte Koordinierung des Ausbaus von Verkehrs- und Lade- bzw. Tankinfrastruktur,
- eine Bepreisung der Straßennutzung durch Pkw, um weitere Anreize für einen Umstieg vom Individualverkehr mit Pkw zu anderen THG-ärmeren Mobilitätskonzepten zu setzen.

## B 2-5 Industrie

### Ausgangssituation

Die Industrie ist für etwa 20 Prozent der THG-Emissionen in Deutschland verantwortlich. Zwar konnten die THG-Emissionen in diesem Sektor zwischen 1990 und 2017 bereits um über 30 Prozent reduziert werden (vgl. Abbildung B 2-1). Zur Erreichung des Sektorziels 2030 müssen die THG-Emissionen der Industrie jedoch um 50 Prozent gegenüber 1990 sinken.

Im Industriesektor bestehen besondere technische Herausforderungen bei der Reduktion der THG-Emissionen im Bereich sehr hoher Temperaturen,

in der Grundstoffindustrie (z. B. Kalk- und Zementherstellung) und der Grundstoffchemie.<sup>343</sup> Hier ist die Nutzung fossiler Brennstoffe zum Teil auch aus spezifischen Materialeigenschaften der Brennstoffe<sup>344</sup> erforderlich oder CO<sub>2</sub> entsteht durch chemische Reaktionen als direktes Nebenprodukt auch beim Einsatz nicht-fossiler Materialien.<sup>345</sup>

Wichtige Optionen für THG-Reduktionen in der Industrie sind die Erhöhung der Energieeffizienz der Industrieprozesse, die Umstellung auf EE-Strom als Energieträger, wo dies möglich ist, sowie die Abscheidung und Nutzung oder Speicherung von CO<sub>2</sub>.<sup>346</sup> Darüber hinaus können fossile Rohstoffe in Anwendungen ersetzt werden, in denen es nicht zur Verbrennung dieser Rohstoffe, sondern zur stofflichen Nutzung kommt. Beispiele hierfür sind die Nutzung bzw. die Erzeugung von Ethylen oder Ammoniak auf Basis von Power-to-X-Technologien für die chemische Industrie oder die Verwendung von Wasserstoff auf Basis von EE-Strom in der Stahlherstellung.<sup>347</sup>

### Wichtige Technologien und Geschäftsmodelle für die Energiewende

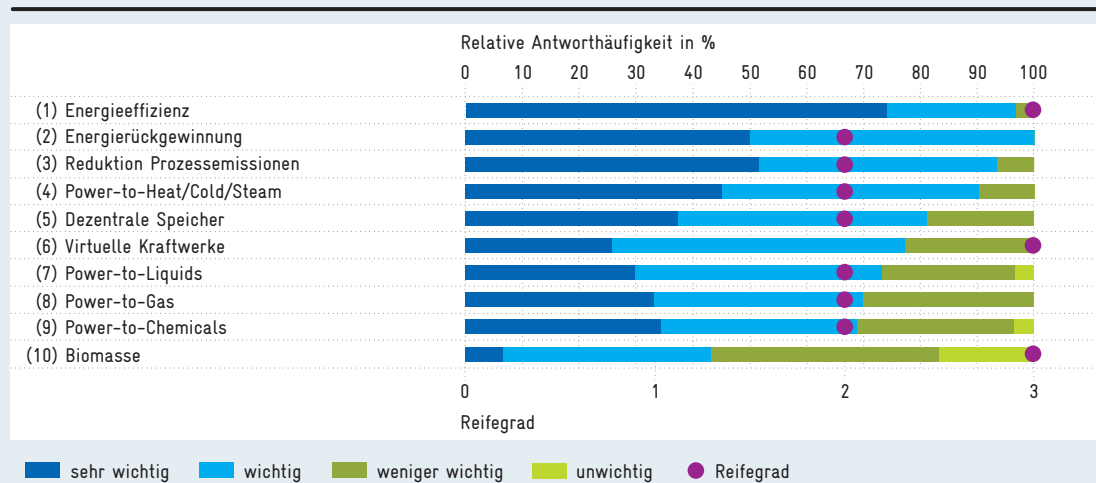
Abbildung B 2-12 stellt innovative Technologien des Industriesektors dar und gibt die Einschätzung der befragten Fachleute zur Bedeutung der Technologien für die Energiewende und ihrer technologischen Reife wieder (vgl. Box B 2-3). Als bedeutend erachten die Fachleute in absteigender Reihenfolge Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz (1) und Energierückgewinnung (2), Reduktion von Prozessemissionen (3), Power-to-Heat/Cold/Steam (4), dezentrale Speicher (5), virtuelle Kraftwerke (6) und Power-to-Liquids (7) sowie Power-to-Gas (8). Die Mehrheit der Fachleute gibt an, dass für diese Technologien zumindest Produktkonzepte oder aber bereits marktreife Produkte verfügbar sind. Der Entwicklungsschritt hin zur Marktreife steht allerdings für Technologien der Energierückgewinnung (2), Reduktion von Prozessemissionen (3), Power-to-Heat/Cold/Steam (4), dezentrale Speicher (5), Power-to-Liquids (7) und Power-to-Gas (8) noch aus.<sup>348</sup>

Im Industriesektor zielen innovative klimafreundliche Technologien vor allem auf Effizienzsteigerungen ab. Hierbei kommen u. a. auch innovative Geschäftsmodelle zur Analyse von Energiedaten zum Einsatz (vgl. Box B 2-13). Neben einem sparsameren Ressourceneinsatz lässt sich die Energieeffizienz auch durch Energierückgewinnung<sup>349</sup> steigern.

Abb B 2-12

Download  
Daten

## Technologien im Industriesektor - Bedeutung für die Energiewende und technologische Reife



Die Reihenfolge der Technologien bestimmt sich zunächst absteigend aus der absoluten Summe aus „sehr wichtig“ und „wichtig“. Ist diese Summe gleich hoch, werden Technologien mit mehr „sehr wichtig“- als „wichtig“-Antworten zuerst aufgelistet. Die Balken zeigen die relativen Häufigkeiten der Antworten in Prozent. Die Einteilung des Reifegrads entspricht: 0=grundlegende Forschung, 1=Technologieentwicklung, Test und Pilotierung, 2=Produktkonzept und Businessplan vorhanden, 3=marktreifes Produkt vorhanden. Dargestellt ist der Medianwert der Experteneinschätzungen zum Reifegrad.  
Quelle: Gatzke und Pietsch (2019).

Darüber hinaus hat die Umstellung auf CO<sub>2</sub>-arme Energieträger eine hohe Bedeutung für die Reduktion der THG-Emissionen. In den Verfahren Power-to-X wird Strom (aus EE) in neue Energieträger wie Gase, flüssige Kraftstoffe, Chemikalien oder Wärme umgewandelt. Dadurch kann die Nutzung fossiler Energieträger reduziert werden. Wasserstoff kann so beispielsweise mittels Elektrolyse aus Wasser und (EE-) Strom anstatt aus Erdgas hergestellt werden.

### Innovationshemmnisse

Im Industriesektor resultieren Innovationshemmnisse vor allem aus der fehlenden bzw. unzureichenden Internalisierung von THG-Externalitäten (vgl. Box B 2-2). Einerseits ist der CO<sub>2</sub>-Preis für Anlagen, die vom EU ETS erfasst werden, zu gering; andererseits wird der Einsatz von Strom gegenüber anderen Energieträgern durch Steuern, Abgaben und Umlagen benachteiligt. Dies hemmt die Einführung innovativer CO<sub>2</sub>-freier oder CO<sub>2</sub>-armer Technologien in der Industrie.

### Reformoptionen

Reformoptionen zur Überwindung der Innovationshemmnisse im Industriesektor haben zum Ziel, THG-Externalitäten zu internalisieren. Die Reformoptionen umfassen:

- eine Stärkung des EU ETS durch eine weitere Verknappung der Emissionszertifikate;
- eine Neuausrichtung von Steuern, Abgaben und Umlagen – sogenannter staatlich induzierter Preisbestandteile – auf Energieträger, die sich an den Kosten der von den jeweiligen Energieträgern verursachten THG-Externalitäten orientieren.

### Ausrichtung der FuE-Förderung auf Sektorkopplungsprinzip

Die Energiewende muss zusätzlich durch FuE-Investitionen in innovative klimafreundliche Technologien unterstützt werden.<sup>350</sup> FuE trägt zur Generierung neuer Technologien bei, wird sich aber auch auf solche Technologien förderlich auswirken, die nach Einschätzung der befragten Fachleute schon Marktreife

B 2-6

### **Geschäftsmodell im Bereich industrielle Stromversorgung**

#### **Kurzbeschreibung**

EnergyCortex wurde 2018 in Aachen gegründet und entwickelt eine cloud-basierte, sektorübergreifende Energiedatenplattform für Industriekunden, Stadtwerke sowie Betreiber dezentraler Anlagen (z. B. EE- und KWK-Anlagen).

#### **Leistungsangebot und Geschäftsmodell**

EnergyCortex sammelt und visualisiert Daten, beispielweise von Smart Metern, und übernimmt für die Kundschaft die Aufbereitung und Verarbeitung dieser Daten. Mittels der aufbereiteten Daten werden Dienstleistungen zur Kostensenkung und Leistungssteigerung angeboten.

EnergyCortex bietet ihre Dienstleistungen im Rahmen von festen Tarifen, Pay-per-Usage oder Erfolgsbeteiligungen an.

#### **Relevanz für die Energiewende**

Durch die Visualisierung und Auswertung von Verbrauchsdaten können Maßnahmen identifiziert werden, mit denen sich der Energieverbrauch reduzieren lässt.

erreicht haben. Ziel dabei ist, die Marktpotenziale zu erhöhen und die Marktdiffusion zu beschleunigen. Wegen der herausragenden Bedeutung der Sektorkopplung für die Energiewende sollten FuE-Programme die Innovationspotenziale von Technologien bzw. Geschäftsmodellen für die Energiewende nicht isoliert, sondern sektorübergreifend betrachten.

Forschungsanstrengungen zur Unterstützung der Energiewende werden von der Bundesregierung, insbesondere von BMBF und BMWi, gefördert.<sup>351</sup> Die Bundesregierung hat im 7. Energieforschungsprogramm<sup>352</sup> die Grundlinien und Schwerpunkte ihrer Energieforschungsförderung dargelegt und diese in die Hightech-Strategie 2025 (HTS 2025) aufgenommen.<sup>353</sup>

Die Expertenkommission begrüßt, dass die Energieforschungsförderung der Bundesregierung zunehmend das Prinzip der Sektorkopplung berücksichtigt.<sup>354</sup> Die Koordinierung der Förderung über Ressorts hinweg muss aber effektiver ausgestaltet

werden, um weitere Synergien zu erschließen. Die Expertenkommission regt daher an, in diesen Forschungsaktivitäten – wie im gesamten Portfolio von Fördermaßnahmen und in den koordinierenden Arbeiten der HTS 2025 – den Aspekt der Sektorkopplung weiter zu schärfen.

### **Handlungsempfehlungen**

B 2-7

Die Energiewende nimmt unter den Politikzielen der Bundesregierung eine herausragende Stellung ein. Zu einer erfolgreichen Energiewende können innovative Technologien und Geschäftsmodelle einen entscheidenden Beitrag leisten. Eine möglichst kostengünstige Dekarbonisierung des deutschen Energiesystems ist ohne innovative Technologien und Geschäftsmodelle nicht darstellbar. Dabei geht es nicht primär darum, neue Technologien zu erfinden. Viele aus Sicht von Fachleuten wichtige Technologien und Geschäftsmodelle sind heute schon marktreif. Sie werden aber in ihrer Diffusion durch die fehlende Internalisierung von Externalitäten und bestehende regulatorische Vorgaben gehemmt.

Der Abbau dieser Hemmnisse wird zu einer deutlich höheren CO<sub>2</sub>-Bepreisung und damit auch zu höheren Preisen für Diesel, Benzin, Heizöl und Erdgas führen. Diese Preiserhöhung ist notwendig, um die erforderliche Lenkungswirkung zu erzielen. Damit gehen ungewünschte Verteilungswirkungen einher. Daher müssen die Reformen mit sozialpolitischen Maßnahmen, z. B. in Form von Einkommenstransfers, flankiert werden.

#### **Die Expertenkommission empfiehlt der Bundesregierung die folgenden Maßnahmen:**

- Um innovative und klimafreundliche Technologien und Geschäftsmodelle in ihrer Wettbewerbsfähigkeit zu stärken, sollten Abgaben und Umlagen auf Energie über alle Wirtschaftssektoren an der Klimaschädlichkeit bzw. dem CO<sub>2</sub>-Gehalt von Energieträgern ausgerichtet werden. Der Staat sollte die im Zuge einer solchen CO<sub>2</sub>-orientierten Steuerreform anfallenden zusätzlichen Steuereinnahmen vordringlich dazu verwenden, wirtschaftlich schwache Haushalte, die von Energiepreiserhöhungen besonders betroffen sind, zu kompensieren.
- Die Anreizregulierung (ARegV) für Betreiber von Stromnetzen sollte so angepasst werden,

dass sich der Betrieb innovativer Anlagen und Geschäftsmodelle, die das Stromnetz stabilisieren bzw. netzdienlich sind, lohnt.

- Damit sich die gesamtwirtschaftlichen Vorteile von Flexibilisierungsoptionen in Stromangebot und Stromnachfrage auch betriebswirtschaftlich rechnen, sollte eine Reform der Netzentgelte erfolgen, bei der die tatsächlichen Kosten der Stromnetznutzung räumlich und zeitlich abgebildet werden.
- Um innovative digitale Geschäftsmodelle für die Energiewende zu befördern, sollten rechtliche Fragen der Datenerhebung bzw. -nutzung zügig geklärt werden.
- Wegen der herausragenden Bedeutung der Sektorkopplung für die Energiewende sollten die FuE-Aktivitäten und deren Förderung stärker als bisher nach dem Organisationsprinzip der Sektorkopplung ausgerichtet werden.