

Governanceprobleme der Sektorkopplung

Über die Verknüpfung der Energie- mit der Verkehrswende

Jörg Kemmerzell und Michèle Knodt

Einleitung¹

Im Energie- und im Verkehrssektor spielen sich gegenwärtig weitreichende sozio-technische Innovationen ab, insbesondere die Elektrifizierung des automobilbasierten Individualverkehrs führt zu einer *Sektorkopplung*, das heißt stärkeren Integration der Sektoren *Energie* und *Verkehr*. Sektorkopplung wirft Fragen der technischen Umsetzung, der Infrastruktur sowie der angemessenen Governance auf. Nachfolgend wird *erstens* Sektorkopplung als eine Verknüpfung von Elektrizität, Wärme/Kälte und Verkehr beschrieben. In einem *zweiten* Schritt werden spezifische Aspekte analysiert, die sich aus einer Kopplung von Verkehrs- und Energiesektor ergeben, wobei auf technische und infrastrukturelle Fragen eingegangen wird. Aus politikwissenschaftlicher Sicht führt Sektorkopplung zu Problemen, die über die technischen Herausforderungen hinausgehen. Während Elektrizität und Wärme dem gleichen Politikfeld (Energie) zugeordnet werden, bilden Mobilität und Verkehr eine eigenständige politische Arena mit spezifischen Akteuren, Institutionen und Logiken. In diesem Zusammenhang wird Sektorkopplung *drittens* als *Integrationsproblem* analysiert, dessen Bearbeitung hohe Anforderungen an die Koordinationsleistung des politischen Systems stellt. Denn die effektive Erstellung kollektiver Güter erfordert die Einigung einer Vielzahl von Beteiligten über die grundsätzlichen politischen Ziele. In diesem Kontext werden Vorschläge zur Governance der Sektorkopplung von Verkehr und Energie analy-

¹ Diese Publikation ist im Rahmen der Förderinitiative »Copernikus-Projekte für die Energiewende«, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (Projekt ENavi, Förderkennzeichen: 03SFK4Po), entstanden.

siert und mögliche Politikinstrumente der Sektorkopplung dargestellt. Empirisch bezieht dieser Abschnitt die Vorschläge der *Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität* (NPM) sowie das im Oktober 2019 beschlossene *Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050* ein. Der Beitrag beschränkt sich weitgehend auf die Transformation bei *Antriebstechnologien* und des *Verkehrssystems* im engeren Sinn. Weitergehende Überlegungen zur Transformation der *Mobilität*, welche auch auf die symbolische und gesellschaftliche Sinndimension abheben, können hier nicht aufgegriffen werden (siehe dazu den Beitrag von Manderscheid in diesem Band).

Herausforderungen der Sektorkopplung

Sektorkopplung bezeichnet die zunehmende Anwendung sektorübergreifender Technologien unter der Bedingung einer fortschreitenden »Substitution fossiler Energieträger durch weit überwiegend erneuerbar erzeugten Strom« (Wietschel et al. 2018: 13). Sektorübergreifende Technologien, wie zum Beispiel Brennstoffzellen, Wärmepumpen oder die strombasierte Herstellung von Kraftstoffen betreffen insbesondere die Integration von Strom, Wärme und Verkehr und stellen einen kritischen Faktor für die Ausweitung der Energiewende über die Stromerzeugung hinaus dar.

Das Akademieprojekt »Energiesysteme der Zukunft« (ESYS) entwickelt in der Stellungnahme »Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende« ein Vier-Phasen-Schema (ESYS 2017: 55–57). Gemäß diesem Schema prägte die Entwicklung von Basistechnologien in den Bereichen Photovoltaik, Windenergienutzung, Biomasse und Energieeffizienz die erste Phase der Energiewende seit den späten 1980er Jahren. Diese Entwicklungen haben zu erheblichen Kostensenkungen der neuen Technologien geführt und damit die Voraussetzung für eine Reorganisation der Energieversorgung geschaffen, die überwiegend auf erneuerbaren Energien (EE) und einer effizienten Energienutzung basiert. Gleichzeitig sind erhebliche Anstrengungen unternommen worden, um den Anteil der EE an der Stromerzeugung deutlich auszubauen. Es ist allerdings offensichtlich, dass ein weiterer Ausbau der EE ohne eine umfassende Systemintegration problematisch wird.

Die anstehende zweite Phase der Energiewende wird durch diese Systemintegration beziehungsweise Sektorkopplung geprägt. Dabei spielen Technologien der direkten Stromnutzung wie Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge sowie Speicheroptionen von Strom und Wärme eine immer wichtigere Rol-

le. Gleichzeitig müssen sowohl die Stromerzeugung in Kraftwerken als auch der Energieverbrauch (*Demand Side Management*) zunehmend an die volatilere Versorgung angepasst werden. Dies erhöht die Komplexität des Energiemarktes mit einer deutlichen Zunahme an Beteiligten mit sich teils überschneidenden Funktionen (*Prosumenten*). Damit steigen gleichermaßen die Anforderungen an die Governance der Märkte als auch die politische Koordination.

Die dritte und vierte Phase werden in der Zukunft relevant. Die ESYS-Stellungnahme empfiehlt die Vorbereitung und Offenhaltung des Marktes für die Basistechnologien der dritten Phase der Energiewende ab 2030. Diese Phase zeichnet sich nach ESYS durch einen massiven Anstieg des Wasserstoffbedarfs und die großmaßstäbliche Nutzung von Power-to-X-Technologien (P2X) zur Herstellung von E-Kraftstoffen und als Speichermöglichkeiten aus. In der vierten Phase des Systems (ab 2040) sollen fossile Brennstoffe weitgehend aus dem System verschwinden, das bis 2050 nahezu klimaneutral sein soll (ESYS 2017; Agora Energiewende 2017).

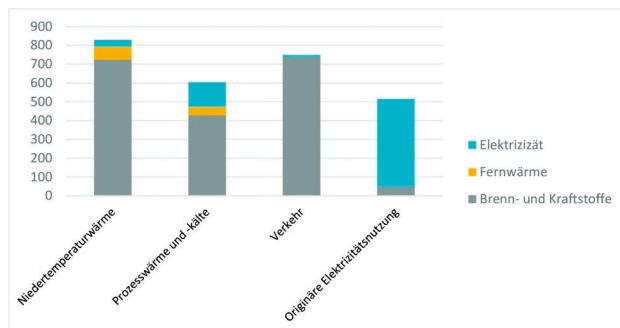
Sektorkopplung: Merkmale und Definition

Im ersten Halbjahr 2019 wurden mehr als 40 % des in Deutschland produzierten Stroms aus erneuerbaren Quellen gewonnen (Fraunhofer ISE 2019). Es ist absehbar, dass die Windkraft und die Photovoltaik, die heute ungefähr 30 % der Stromerzeugung ausmachen, diese in Zukunft dominieren werden. Allerdings beträgt der Stromanteil nur etwa 20 % des Endenergieverbrauchs. Dies verweist auf ein Missverhältnis in der Energiewende, die sich lange auf die Stromerzeugung konzentriert hat. Die beiden Wärmesektoren (Niedertemperaturwärme und vor allem industrielle Prozesswärme und -kühlung) tragen etwa 50 % und der Verkehrssektor etwa 30 % zum Endenergieverbrauch bei. Aufgrund ihres großen Anteils dominieren diese drei Sektoren die Emissions- und Verbrauchsbilanz (Abbildung 1).

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie erklärt, dass eine Ausweitung des Einsatzes der EE unabdingbar für die Weiterführung der Energiewende sei: »Damit die Energiewende auch auf lange Sicht ein Erfolg wird, müssen wir nicht nur den Stromsektor auf erneuerbare Energien umstellen, sondern auch im Wärme- und Verkehrsbereich stärker auf die Erneuerbaren setzen. Dies geschieht etwa durch den direkten Einsatz von erneuerbaren Energien – zum Beispiel um ein Haus mittels Solarthermie zu heizen. Zusätzlich hilft aber auch der Einsatz von Strom aus Erneuerbaren dabei, die

Energiewende in den anderen Sektoren voranzubringen. Wenn man diesen sauberen Strom nutzt, um in anderen Sektoren den Einsatz von fossilen Energien zu reduzieren, spricht man von Sektorkopplung» (BMWi 2016a).

Abbildung 1: Endenergieverbrauch (2017/TWh) (BMWi 2019a)



Auch wenn Deutschland bei der Stromerzeugung aus EE bemerkenswerte Fortschritte gemacht hat, konnte die Energiewende nicht oder nur in geringem Maß auf die anderen Sektoren ausgeweitet werden. Wenn Deutschland seine Klimaziele erreichen will, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % (BMUB 2016) und bis 2050 um bis zu 95 % (BMWi/BMU 2010) gegenüber 1990 zu senken, können zwei Optionen in Betracht gezogen werden: erstens die massive Senkung des Energieverbrauchs und zweitens ein weitgehender Übergang der Energieerzeugung zu emissionsarmen oder -freien Technologien. Sektorkopplung im engeren Sinne bezieht sich zwar auf die zweite Option. Ihr Erfolg hängt jedoch nicht nur von der Nutzung erneuerbarer Energien in allen energieverbrauchenden Sektoren ab, sondern auch von einer Einschränkung des Verbrauchs (Quaschnig 2016).

Wietschel et al. (2018: 13) definieren Sektorkopplung aus technologischer Perspektive als »den fortschreitenden Prozess der Substitution fossiler Energieträger durch weit überwiegend erneuerbar erzeugten Strom oder durch andere erneuerbare Energieträger und nachhaltige Energienutzungsformen (...) in neuen sektorenübergreifenden Anwendungen oder durch verstärkte Nutzung sektorübergreifender Anwendungen.« Zudem verweisen die Autoren auf eine zweite, eher systemische Dimension der Sektorkopplung, nämlich die Transformation von Infrastrukturen (Canzler 2018). Dies erfordert, die noch starren Grenzen zwischen den Sektoren mit ihren unterschied-

lichen Infrastruktursystemen, Märkten und Vorschriften zu flexibilisieren, damit Energieträger wie Strom, Erdgas, synthetische Kraftstoffe und Biomasse in allen Anwendungsbereichen flexibel und bedarfsgerecht eingesetzt werden können. Die *Substitution* fossiler Energieträger stellt gewissermaßen eine normative Komponente der vorgestellten Definitionen von Sektorkopplung dar, da Elektrifizierung ja auch mit Hilfe von Kohle- oder Atomstrom bewerkstelligt werden könnte. Der weitere Ausbau der Erneuerbaren wird damit also zu einem konstitutiven Merkmal der Sektorkopplung. Da das Potenzial von Energieträgern wie Wasserkraft, Biomasse und Geothermie in Deutschland begrenzt ist, werden Windkraft und Photovoltaik also auch zur Bereitstellung von Wärme und zur Versorgung des Verkehrssektors zentrale Technologien. Die Ausweitung der Anwendungsfelder von Elektrizität führt aber unweigerlich zu einem höheren Stromverbrauch (BMWi 2016b).

Bei der Elektrifizierung werden zwei Typen unterschieden, direkte und indirekte Elektrifizierung (ESYS 2017: 17). Direkte Elektrifizierung bedeutet, dass kraftstoffbetriebene durch elektrizitätsbasierte Anwendungen ersetzt werden. Beispiele sind Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen. Unter indirekter Elektrifizierung ist die Nutzung von Strom zur Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse oder die Herstellung synthetischer Kraftstoffe durch die Umwandlung von Wasserstoff in andere Energieträger zu verstehen.

Es wird deutlich, dass ein positiver Effekt auf die Reduzierung der Treibhausgasemissionen wesentlich von der Energiewende abhängt. Die Reduzierung der Treibhausgasemissionen gemäß *Klimaschutzprogramm 2030* (Bundesregierung 2019) bedingt, bei gleichbleibendem Gesamtenergieverbrauch, eine Steigerung des Strombedarfs bis 2030 um etwa 170 Terawattstunden (TWh). Für 2018 schätzt die AG Energiebilanzen den Nettostromverbrauch auf 527 TWh (BDEW 2019). Die Stromerzeugung bezogen auf den aktuellen Verbrauch muss bis 2030 also um 30 % steigen. Unter der Bedingung des im *Klimaschutzprogramm 2030* festgelegten 65 %-Ziels von Strom aus EE (Bundesregierung 2019) erhöht sich der Strombedarf aus EE bis 2030 auf rund 450 TWh. 2017 trugen die Erneuerbaren 218 TWh zum Strommix bei. Das bedeutet, dass ein jährlicher Zuwachs von ca. 25 TWh an erneuerbarem Strom erforderlich ist. Die Daten der AG Energiebilanzen (2019) verzeichnen seit 2010 einen durchschnittlichen jährlichen Anstieg bei Erneuerbaren von 15 TWh, mit zuletzt abfallender Tendenz, weshalb eine Trendumkehr eingeleitet und das jährliche Wachstum deutlich erhöht werden müsste. Es zeigt sich zudem, dass bei einem konstanten Strommix, das

heißt ohne einen höheren Anteil erneuerbarer Energien, die positiven Effekte der Elektrifizierung trotz einiger Effizienzsteigerungen, zum Beispiel bei Elektrofahrzeugen, vernachlässigbar wären (Ausfelder et al. 2017). Vor diesem Hintergrund sind die Aufhebung des »Photovoltaik-Deckel«, die Anhebung der Ausbauziele für Offshore-Windenergie sowie der »Regionalisierungsbonus« im *Klimaschutzprogramm 2030* (Bundesregierung 2019) notwendig, damit Sektorkopplung überhaupt einen Beitrag zur Verminderung der Treibhausgasemissionen leisten kann.

Die Kopplung von Energie- und Verkehrssektor

Die technologischen Herausforderungen der *Elektrifizierung* als zentraler Baustein der Sektorkopplung ergeben sich aus dem Anstieg des Bedarfs an Strom aus erneuerbaren Energien, die Modernisierung der Netzkapazitäten, die Bereitstellung von Infrastrukturen sowie die Entwicklung von Speichertechnologien. Nachfolgend werden zunächst die unterschiedlichen Optionen der E-Mobilität aus Perspektive des Energiesystems kurz dargestellt. Daraufhin wird untersucht, wie sich ein Ausbau der E-Mobilität auf diese vier Herausforderungen auswirken könnte.

Varianten der E-Mobilität

Bislang dominieren im Verkehrssektor fossile Brennstoffe, denen im geringen Maß biologische Brennstoffe beigemischt werden. Nichtfossile, erneuerbare Energieträger bleiben weitgehend auf den Bahnbetrieb beschränkt. Die weitgehende Konzentration auf fossile Energieträger (siehe Abb. 1) und geringe Effizienzgewinne sowie Rebound-Effekte machen insbesondere den Individualverkehr, der etwa 56 % zum Endenergieverbrauch im Sektor beiträgt (Quaschnig 2016: 20), zum *Nachzügler* der Energiewende. Kein anderer Bereich hinkt so weit den Zielsetzungen des Energiekonzeptes der Bundesregierung hinterher. Die angestrebte Zahl von einer Million E-Autos im Jahr 2020 wird deutlich verfehlt, der Endenergieverbrauch im Verkehrssektor war 2018 höher als im Jahr 2005 (geplant ist eine Senkung bis 2020 um zehn Prozent), der Anteil von Biokraftstoffen liegt mit 4,6 % des Energieverbrauchs deutlich unter der Zielmarke von zehn Prozent (BMWi 2019b). Die Dominanz fossiler Energieträger bedingt bislang eine spezifische Kopplung zwischen den Sektoren, da der Verkehrssektor über eine Versorgungsinfrastruktur verfügt, die

über bestimmte Knotenpunkte mit der allgemeinen Energieversorgung verbunden ist. Sowohl der Anteil erneuerbarer Energien (fünf Prozent) als auch von Elektrizität (zwei Prozent) am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors sind allerdings bislang zu vernachlässigen. Dies bedeutet, dass der Verkehrssektor und die Elektrizitätsversorgung bislang weitgehend entkoppelt sind.

Eine Elektrifizierung des Verkehrssektors kann sowohl direkt als auch indirekt erfolgen. Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) ermöglichen eine besonders effiziente Nutzung von Elektrizität und könnten den Endenergiebedarf deutlich reduzieren (Agora Verkehrswende 2017: 53; ESYS 2017: 29). Zur direkten Elektrifizierung zählen auch Hybridfahrzeuge, deren Antrieb Verbrennungs- und Batterietechnik kombiniert. Aus Perspektive der Sektorkopplung entstehen Probleme der direkten Elektrifizierung im zusätzlichen Strombedarf und in der Beanspruchung des Verteilnetzes, da der Strombedarf unregelmäßig anfällt.

Indirekte Elektrifizierung betrifft vor allem Fahrzeuge mit Brennstoffzelle (FCEV). Hier wird Strom zur Wasserstoffkonversion eingesetzt, Wasserstoff kann dann ähnlich wie konventionelle Kraftstoffe getankt werden und treibt einen Elektromotor an. Aus Sicht der Sektorkopplung hat indirekte Elektrifizierung den Vorteil einer Entlastung des Stromnetzes, da Wasserstoffherstellung im industriellen Maßstab eine bessere Planbarkeit des Bedarfs verspricht. Allerdings ist der Wirkungsgrad von FCEV geringer als der von BEV. Eine Sonderform der indirekten Elektrifizierung besteht in der Herstellung von E-Fuels, synthetischer Kraftstoffe, die in P2X-Verfahren durch Wasserstoffelektrolyse hergestellt werden (ESYS 2017: 49). Solche flüssigen oder gasförmigen synthetischen Kraftstoffe können im Prinzip in modifizierten Verbrennungsmotoren verwendet werden, allerdings treten im Herstellungsprozess noch sehr hohe Wandlungsverluste auf.²

E-Mobilität aus Perspektive der Sektorkopplung

Die unterschiedlichen Varianten der E-Mobilität sollen nachfolgend aus Perspektive der Sektorkopplung analysiert werden. Dabei werden der Strombe-

² Zu erwähnen sind Varianten, die in erster Linie oder ausschließlich den Güterverkehr betreffen, z.B. elektrische Oberleitungen (direkte Elektrifizierung). Da hier der Fokus auf dem Personenindividualverkehr liegt, werden güterverkehrsspezifische Optionen nicht grundständig berücksichtigt.

darf, die Anforderungen an die Netzkapazitäten, die Modernisierung der Infrastruktur sowie der Aspekt der Speichertechnologie berücksichtigt.

Strombedarf

Hinsichtlich der in Zukunft mehrheitlich auf EE basierenden Stromversorgung stellt die direkte Elektrifizierung mittels BEV aufgrund der hohen Antriebseffizienz die geringsten Anforderungen an den Strombedarf. Quaschnig (2016: 23) errechnet ein umfassendes Transformationsszenario, in dem eine 95 %-ige Substitution von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor durch BEV im Individualverkehr den Strombedarf um 120 TWh erhöht. In einem Alternativenzzenario, welches von einer nur zehnprozentigen Substitution durch BEV und eine 90 prozentige Substitution durch P2X-Kraftstoffe ausgeht, erhöht sich der Strombedarf um 580 TWh. Jenseits dieses umfassenden Transformationsszenarios stellt sich der zusätzliche Strombedarf etwas weniger dramatisch dar. Die »Nationale Plattform Elektromobilität (NPM)« geht von einem zehnprozentigen Anteil bei der Neuzulassung von Elektrofahrzeugen in den nächsten Jahren aus (NPM 2019a). Das Klimaschutzprogramm 2030 sieht somit sieben bis zehn Millionen zugelassene EV bis zum Jahr 2030 vor. Der Mehrbedarf an Strom fällt im Vergleich zu anderen Anwendungsfeldern der Sektorkopplung, auch bei der sehr hoch eingeschätzten Zulassungsquote der NPM, gering aus. Ein Anteil von zehn Prozent BEV entspricht jährlich einem zusätzlichen Stromverbrauch von 0,9 TWh, was einem Anteil von weniger als 0,2 % des Gesamtstrombedarfs entspricht.

FCEV besitzen zwar eine höhere Effizienz als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, liegen aber mit dem Faktor 2,5 unter derjenigen von BEV. Wird allerdings die CO₂-Bilanz der unterschiedlichen Antriebsarten berücksichtigt, verschwindet der Vorteil von BEV gegenüber FCEV (Schaal 2019). Auf Basis einer Lebenszyklusanalyse ermittelt eine Studie des Fraunhofer ISE Emissionsvorteile von FCEV bei mittleren und größeren Fahrzeugreichweiten (Sternberg et al. 2019). Grund dafür sind Emissionen, die bei der Batteriezellenproduktion anfallen und besonders den »CO₂-Rucksack« von Fahrzeugen mit hoher Batteriekapazität vergrößern (siehe dazu die Beiträge von Brunngräber und Kalt in diesem Band). Insgesamt erhöhen alle Elektrifizierungsvarianten den Strombedarf. Aus Perspektive des Energiesystems sind BEV aufgrund ihrer Effizienzvorteile zumindest kurzfristig vorteilhaft.

Beanspruchung des Verteilnetzes

Der Ausbau der E-Mobilität hat grundsätzlich Rückwirkungen auf die Flexibilitätserfordernisse der Verteilnetze. Die NPM geht zwar nicht von grundlegenden Engpässen aus, diese könnten jedoch zum Beispiel in Ballungsräumen bei vielen simultanen Ladevorgängen situativ auftreten. Um diese zu vermeiden, bedarf es für die Versorgung von BEV einer »netzdienlichen« Ladeinfrastruktur, welche beispielsweise ein Lademanagement zur temporären Netzentlastung gewährleistet (NPM 2019a: 7). Die Beanspruchung der Netzkapazitäten hängt stark vom Typ der Elektrifizierung ab. BEV erhöhen die Anforderungen an die Netzflexibilität, wofür Investitionen in die Verbesserung netzdienlicher Ladeoptionen anfallen. Deren Wirksamkeit hängt wiederum von der Entwicklung von »Smart Electricity Grids« ab, die eine Einbindung einer stärker schwankenden Elektrizitätsnachfrage ermöglichen (Lund et al. 2017). Die Eigentumsverhältnisse am BEV-Bestand werden auch zu einem kritischen Faktor. Eine einfache Substitution konventioneller durch batterieelektrische Fahrzeuge im individuellen Privatbesitz stellt höhere Anforderungen an das Verteilnetz. Der Ausbau des Carsharings würde hingegen netzdienliches Laden erleichtern, da Betreiber von Sharing-Flotten gleichermaßen als *Lademanager* fungieren könnten (siehe dazu den Beitrag von Canzler und Knie in diesem Band).

Während direkt gegenüber indirekt elektrifizierten Fahrzeugen beim Strombedarf über einen klaren Effizienzvorteil verfügen, tragen sie andererseits zu einer höheren Volatilität der Nachfrage bei. Indirekte Elektrifizierung ist hingegen durch das industrielle Produktionsverfahren von Wasserstoff netzdienlich implementierbar. FCEV werden mit Wasserstoff aus industriellen Anwendungen betrieben. Ihre Zunahme würde zwar den Strombedarf erhöhen, hätte jedoch keine direkte Auswirkung auf die Netzbelaistung. Dies gilt in gleichem Maße für indirekte Elektrifizierung durch E-Fuels. P2X-Verfahren stellen zudem Speicherkapazitäten bereit, die gezielt zur Netzentlastung eingesetzt werden können.

Anpassung der Infrastruktur

Sowohl BEV auch FCEV benötigen eine neue Lade- beziehungsweise Tankinfrastruktur, die als Schnittstellen zwischen dem Energie- und Verkehrssystem fungieren. Um Anforderungen an die Governance abzuleiten, muss allerdings zwischen unterschiedlichen Bedarfen differenziert werden, die gegebenenfalls unterschiedliche Lösungen erfordern. Direkte Elektrifizierung des

Verkehrs bedingt die Schaffung einer komplett neuen Versorgungsinfrastruktur. 85 % der Ladevorgänge werden derzeit an privaten Ladepunkten durchgeführt, die restlichen 15 % nutzen die öffentliche Ladeinfrastruktur (LIS).³ Ein Ausbau der E-Mobilität führt allerdings absehbar zu einem steigenden Bedarf an öffentlicher LIS, insbesondere in Ballungsräumen (NPM 2019b: 4). Gizzi et al. (2018: 4) unterscheiden bei der Ladeinfrastruktur für BEV »schnelles Laden«, »regelmäßiges Laden« und »nebenbei Laden«. Schnelles Laden erfordert eine standardisierte Gleichstrom-LIS im zumeist öffentlichen Raum, allgemein zugänglich und mit relativ hohen Anfangsinvestitionen verbunden. Regelmäßiges Laden findet hingegen eher im privaten oder halb-öffentlichen Raum statt, beziehungsweise am Arbeitsplatz (NPM 2019b). Die Nutzung erfolgt gewöhnlich über eine längere Zeitspanne, weshalb auch mit geringeren Leistungen geladen werden kann. Zudem sind hier die Investitionskosten geringer und der Nutzer*innenkreis beschränkt. Wenn BEV zu einem anderen Zweck als der Aufladung geparkt werden, wird die »nebenbei« genutzte LIS relevant. Sie besteht insbesondere im halböffentlichen Bereich, etwa auf Parkplätzen von Supermärkten. Investitionen erfolgen durch die Eigentümer dieser Flächen, die damit zum Beispiel einen selektiven Anreiz für Kund*innen schaffen. Der Ausbau der LIS stellt ein Mehrebenen-Governanceproblem dar, da die Regulierung insbesondere die Bundesgesetzgebung, die Raumordnung und der Städtebau hingegen die Länder und Kommunen betrifft (siehe hierzu Abschnitt 4).

FCEV benötigen ein Netz von Wasserstofftankstellen, das dem bekannten Tankstellensystem ähnelt. Auch der Tankvorgang erfordert von den Konsument*innen eine geringere Umstellung, sowohl habituell als auch in Bezug auf den Zeitaufwand. Während selbst bei Schnellladesäulen 15 bis 30 Minuten Ladezeit notwendig sind, um etwa 80 % der Batterie-Kapazität zu erreichen, erfordert ein Tankvorgang mit Wasserstoff nur drei Minuten. Dieser Vorteil wird allerdings durch den rudimentären Entwicklungsstand des Versorgungsnetzes derzeit mehr als aufgewogen. Während zumindest in Ballungsräumen, trotz Lücken bei Schnellladesäulen, ein relativ dichtes Netz mit insgesamt über 18.000 öffentlichen Ladepunkten entstanden ist, werden in Deutschland, Stand Juni 2019, lediglich 71 Wasserstofftankstellen betrieben, 28 weitere sind in Planung oder im Bau (H2 MOBILITY 2019). Die Einrichtung solcher Tankstellen ist für private Anbieter aufgrund der hohen

³ Die Bundesnetzagentur (2020) hat im Ladesäulenregister, Stand 02.03.2020, 25.434 öffentliche Ladepunkte erfasst, darunter 1.662 Schnellladeeinrichtungen.

Investitionskosten jedoch nicht attraktiv (Beckers et al. 2015), solange sich keine positiven Erwartungen und selbstverstärkenden Netzwerkeffekte einstellen. Die geringsten Transaktionskosten des Umbaus der Versorgungsinfrastruktur sind mit synthetischen Kraftstoffen verbunden, da im Grunde das bestehende Tankstellennetz genutzt werden könnte. Die Umstellung für die Nutzer*innen würde bei dieser Technologie am geringsten ausfallen.

Aus Sicht der Sektorkopplung liegt die Attraktivität indirekter Elektrifizierung darin, dass technische Infrastrukturen zur Wasserstoffherstellung und Konversion geschaffen werden, die in Zukunft an Bedeutung für die Energiewende gewinnen werden. Diese können einerseits *Überschussstrom*⁴ nutzen, andererseits aber auch Engpässe ausgleichen. Allerdings entstehen erhebliche Anfangsinvestitionen, die Investoren nur dann tragen werden, wenn sie von einer Marktexpansion bei FCEV ausgehen. Da diese jedoch selbst im Vergleich zu BEV ein Nischendasein fristen – allein im ersten Halbjahr 2019 wurden in Deutschland ca. 50.000 BEV und Plug-In-Hybridfahrzeuge zugelassen, während der Gesamtbestand an FCEV am 1. Januar 2019 bei lediglich 372 Fahrzeugen lag (Schlichtmeier 2019) – dürften sich private Investoren ohne öffentliche Förderung weiter stark zurückhalten.

Stromspeicher

Im Hinblick auf Speichereigenschaften bieten die technischen Konzepte unterschiedliche Möglichkeiten. BEV könnten durch entsprechende Ausstattung als Kurzzeitspeicher eingesetzt werden, um zu einem kurzfristigen Ausgleich des Stromsystems beizutragen oder durch intelligentes Lademanagement überschüssigen Strom kurzfristig aufzunehmen. Inwieweit das Automobil zum integralen *Speicher auf Rädern* werden kann hängt allerdings von der Entwicklung eines V2G (Vehicle-to-Grid) Standards (Kester et al. 2019; Wagner 2014) und einer Verlagerung hin zu netzdienlich betreibbaren Systemen, insbesondere Carsharing-Flotten, ab. Indirekte Elektrifizierung schafft langfristige Speichermöglichkeiten, die zudem den Energieeinsatz vom Verteilnetz entkoppeln. Gerade die großmaßstäbliche Herstellung von Wasserstoff erlaubt die Nutzung von großen Strommengen, was einem effizienten Einsatz von Strom aus volatilen erneuerbaren Quellen entgegen kommt.

4 Physikalisch handelt es sich dabei natürlich nicht um eine Überproduktion, sondern um Strommengen, die nicht einer direkten Nutzung zugeführt werden können.

Governance der Sektorkopplung

Sektorkopplung konstituiert ein komplexes Governanceproblem. Im Anschluss an die klassische Formulierung von Fritz W. Scharpf wird Komplexität als »Funktion der gleichzeitig zu verarbeitenden Relationen zwischen Entscheidungsalternativen in interdependenten Bereichen« verstanden (Scharpf 1972: 177). Die Komplexität eines Governanceystems variiert in Abhängigkeit der Zahl der Elemente und Akteure, ihrer Pluralität und der zwischen ihnen bestehenden Interdependenzen. Da Sektorkopplung unterschiedliche Politikfelder auf unterschiedlichen Ebenen des politischen Systems umfasst, muss also von einer hohen Komplexität der Governance ausgegangen werden. Die Politikfelder Energie und Verkehr zeichnen sich durch unterschiedliche Institutionen sowie Akteure mit unterschiedlichen und teilweise gegenläufigen Handlungsrationalitäten aus. Die Integration unterschiedlicher Politikfelder in Mehrebenensystemen stellt nach Scharpf (1976) ein »Integrations-/Interaktionsproblem« dar. Integrationsprobleme entstehen bei der Überlagerung territorialer und intersektoraler Effekte. Benz et al. (2016: 24) führen die Entstehung von Integrationsproblemen darauf zurück, dass »territoriale externe Effekte in unterschiedlichen Politikbereichen anfallen, weshalb die Koordination zwischen Gebietskörperschaften [...] zugleich mit einer Koordination zwischen Fachressorts der Regierungen und Verwaltungen [...] verbunden sein« müsse. Die Frage nach Governance bezieht sich auf zwei Aspekte: erstens auf die bereits angesprochene Koordination, die sich darum dreht, welche Akteure sich koordinieren (müssen) und wie Kompetenzen zur Aufgabenerfüllung verteilt werden; zweitens, natürlich eng mit dem Koordinationsproblem zusammenhängend, auf geeignete Instrumente der Sektorkopplung.

Koordination der Sektorkopplung

Energie und Verkehr bilden bislang unterschiedliche Politikfelder hinsichtlich ihrer Organisation im Regierungsapparat und der sie umlagernden Politikarenen. Eine Lösung von intersektoralen Problemen (z.B. des Anteils erneuerbarer Energien im Verkehr, des Treibhausgasausstoßes im Verkehrssektor, des zunehmenden Strombedarfs durch den Ausbau der E-Mobilität etc.) ist aufgrund der mehrdimensionalen Differenzierung des politischen Systems schwer zu realisieren. *Mehrdimensional* bezieht sich auf die horizontale Ein-

bindung unterschiedlicher Ressorts und auf die vertikal differenzierte Verteilung von Kompetenzen im föderalen System.

Dies bedeutet nicht, dass aufgrund der Komplexität auf jeden Fall mit Blockaden oder Stillstand im Entscheidungsprozess zu rechnen ist, denn diese sind mit hohen *politischen* Kosten verbunden. Vielmehr zeigt die Forschung zur Politikkoordination, dass die Bearbeitung intersektoraler Probleme oft im Modus »negativer Koordination« erfolgt (Scharpf 2000; Hustedt 2014; Hustedt/Danken 2017). Diese ist die häufigste Form der Koordination zwischen den Ministerien und erfolgt üblicherweise im *Mitzeichnungsverfahren*. Institutionalisierte Vetomacht sichert dabei *geschützte Positionen*. Wenn diese nicht bereits im Stadium der Politikformulierung wechselseitig antizipiert werden, machen sie die Betroffenen im Verlauf der *Ressortabstimmung* geltend. Ein Vorteil der negativen Koordination sind daher niedrige Transaktionskosten. Mit wachsender Zahl der Vetoakteure schrumpft allerdings der Entscheidungsspielraum, so dass nur kleine Abweichungen vom Status Quo möglich sind. Die, auch nur kurzfristige, Schlechterstellung einzelner Beteiligter ist unwahrscheinlich (Scharpf 2000: 192ff.). Beispiele der negativen Koordination in der Klimapolitik aus jüngerer Zeit sind die *Interministerielle Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie* oder der *Klimaschutzplan* der Bundesregierung.

Im ersten Fall ist interessant, dass sich trotz Gründung einer horizontalen Arbeitsgruppe der Modus negativer Koordination einstellte (Hustedt 2014). Beim Klimaschutzplan der Bundesregierung (BMUB 2016) wurde kein spezielles Gremium eingerichtet. Vielmehr wurde der Plan in normaler Ressortkoordination beschlossen. Infolgedessen nahmen die für die verschiedenen Themen zuständigen Ministerien große Änderungen am Entwurf des Umweltministeriums vor, die zu einem Dokument führten, das in vielerlei Hinsicht vage und weiche Ziele formulierte (Kemmerzell 2020).

Es sollte nicht das Missverständnis entstehen, bei negativer Koordination handele es sich um ein defizitäres Verfahren. Vielmehr stellt sie einen leistungsfähigen Modus im politischen Tagesgeschäft dar. Allerdings sind grundlegende oder gar transformative politische Entscheidungen, die die Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteure benötigen und über wechselseitige Anpassung hinausgehen, nur begrenzt in diesem Modus zu realisieren. Hierzu bedarf es »positiver Koordination«, die alle Betroffenen und gegebenenfalls mit Blockademacht ausgestatteten Akteure bereits im Politikformulierungsprozess an einen Tisch bringt. Scharpf (2000: 225ff.) sieht positive Koordination als Voraussetzung einer problemlösungsorientierten Politik. Sie basiert im

Gegensatz zur negativen Koordination auf einer gemeinsamen, sektorübergreifenden Problemdefinition, welche den kollektiven Nutzen, beziehungsweise das Gemeinwohl einer Strategie berücksichtigt. Positive Koordination ist jedoch zeit- und ressourcenaufwändig und wird durch die Rückfalloption der Akteure in den Modus negativer Koordination oder sogar Blockade gefährdet. Scharpf empfiehlt daher die Trennung von *Produktion* und *Distribution* in der Politikgestaltung. Das bedeutet, dass sich die Akteure zunächst auf »Standards der Verteilungsgerechtigkeit«, also auf eine grundsätzliche Verteilung von Kosten und Nutzen einigen und damit Rahmenbedingungen »für die gemeinsame Suche nach produktiven Lösungen« schaffen (Scharpf 2000: 228f.). Dann kann positive Koordination eine Lösung hervorbringen, die der Praxis der wechselseitigen Anpassung überlegen ist.

Der Komplexität von energiepolitischen Fragen, die sich nicht mehr auf das Politikfeld Energie begrenzen lassen, versucht die Bundesregierung zunehmend mit der Einrichtung koordinativer Gremien gerecht zu werden. So knüpft der Anfang 2019 eingesetzte Kabinettausschuss Klimaschutz (Klimakabinett), trotz aller an ihm geäußerten Kritik, gerade am Querschnittscharakter der Klimapolitik an und bezieht die auf der operativen Ebene relevanten Ressorts in die Politikformulierung ein (Kemmerzell/Knodt 2019). Hier könnte das Problem sein, dass positive Koordination an einem zu späten Punkt im politischen Prozess auftritt. Ein für unser Thema besonders relevantes aktuelles Beispiel ist die von der Bundesregierung eingesetzte »Nationale Plattform für die Zukunft der Mobilität« (NPM). Diese erarbeitet in sechs Arbeitsgruppen (AG) Vorschläge, welche die zunehmende Integration der Sektoren berücksichtigen. Die Federführung in den Arbeitsgruppen 1 bis 3 liegt beim Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur, in den Arbeitsgruppen 4 bis 6 beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Arbeitsgruppe 5 beschäftigt sich explizit mit dem Thema »Verknüpfung der Verkehrs- und Energienetze, Sektorkopplung«. Bei einem Expert*innengremium wie der NPM besteht grundsätzlich die Gefahr, dass keine ausreichende Bindung an den Kern des Entscheidungssystems besteht. Der Gefahr mangelnder Einbindung soll durch einen Lenkungskreis begegnet werden, in dem die Bundesministrien vertreten sind sowie eine beratende Kommission, die im regelmäßigen Austausch mit dem Bundestag steht.

Das Klimaschutzprogramm 2030 zeigt, dass die Vorschläge zumindest der AG 5, aber auch von AG 1 (»Klimaschutz im Verkehr«) in den Maßnahmenkatalog eingeflossen sind. Dies wird unter anderem daran deutlich, dass sich konkrete Maßnahmen gemäß der Vorarbeiten von AG 5 insbesondere auf den

Bereich der direkten Elektrifizierung/BEV konzentrieren (NPM 2019a). Die Empfehlungen der Arbeitsgruppe betreffen insbesondere den Bereich Ladeinfrastruktur, hier sieht sie den größten Handlungsbedarf (NPM 2019b). Ein Schwerpunkt wird auf die finanzielle Unterstützung privater Akteure gelegt, vor allem in der Form öffentlicher Förderung von LIS im privaten Raum sowie der Schaffung von Anreizen für Unternehmen öffentliche LIS bereitzustellen. Ein Beispiel hierfür ist der Vorschlag großzügiger Abschreibungsregelungen für neue Anlagen (NPM 2019b: 10).

Der Bericht »Sofortpaket Ladeinfrastruktur 2019« zeigt implizit einen großen Bedarf an intersektoraler und Mehrebenkoordination. Die 28 vorgeschlagenen Maßnahmen betreffen vier unterschiedliche Bundesministerien beziehungsweise ihnen untergeordnete Behörden, eine Landesministerkonferenz, die Kommunen in ihrer Gesamtheit sowie Verbände. Im Einzelnen adressieren elf Maßnahmen das Bundeswirtschaftsministerium, acht das Verkehrsministerium, drei das Finanzministerium, zwei das Justizministerium, zwei die Konferenz der Landesbauministerien und die Kommunen im Allgemeinen, drei die Verbände. Deutlich wird, dass die regulativen Kompetenzen zwar auf Bundesebene angesiedelt sind, die Umsetzung jedoch einerseits von baurechtlichen Genehmigungsverfahren und andererseits von stadtplanerischen Entscheidungen (Flächenverfügbarkeit) abhängt. Das Problem der »Flächenkonkurrenz« wird dabei zwar allgemein benannt, aber nicht im Maßnahmenkatalog explizit aufgegriffen. Hier schlägt die NPM lediglich vor einen »Flächenatlas für den städtischen Raum« zu entwickeln, »um zügig neue Standflächen bedarfsgerecht identifizieren zu können« (NPM 2019b: 9), auf dessen Basis dann beschleunigte Genehmigungsverfahren aufbauen können (NPM 2019b: 11). Auch wenn die Einführung einheitlicher Genehmigungsverfahren aus Gründen der Erwartungssicherheit und zur Schaffung positiver Netzwerkeffekte zu befürworten sind, klingt im Maßnahmenkatalog auf eigentümliche Weise die *autogerechte Stadt* unter den Bedingungen der E-Mobilität an. Die Frage eines Mobilitätswandels, welche mögliche Probleme und Widersprüche der E-Mobilität adressieren würde, wird nicht aufgeworfen. Gerade die Flächenkonkurrenz verweist darauf, dass, neben technischen Effektivitäts- und ökonomischen Effizienzfragen, Sektorkopplung gesellschaftlich und politisch eingebettet werden muss (Aykut et al. 2019).

Die Fixierung auf die Forderung nach verbesserten Bedingungen von technischen Lösungen durch private Unternehmen zeigt sich auch bei den vorgeschlagenen Maßnahmen zur öffentlichen LIS. Da insbesondere Schnell-

ladestationen mit relativ hohen Investitionskosten verbunden sind, wurde an anderer Stelle für eine stärkere öffentliche Beteiligung am Ausbau des Netzes argumentiert (Gizzi et al. 2018: 13), was sich im NPM-Papier allerdings nicht wiederfindet. Diese kann zum Beispiel mit dem Ziel einer relativ gleichmäßigen Ausstattung mit LIS, unabhängig von der wirtschaftlichen Rentabilität einzelner Anlagen, begründet werden. Zudem berücksichtigen die vorgeschlagenen Maßnahmen der NPM nicht die Unterschiede zwischen den typischen Ladevorgängen (s.o.). Denn auch das regelmäßige Laden im öffentlichen Raum könnte durch eine öffentliche, in dem Fall kommunal bereitgestellte LIS bedient werden. Dafür spricht zum Beispiel die Bündelung von Ladeinfrastruktur und öffentlichem Parkraum in einer Hand (Gizzi et al. 2018: 24). Das Klimaschutzprogramm erwähnt lediglich, dass »in Ausnahmefällen von regionalem Marktversagen« Verteilnetzbetreiber, an denen häufig die Kommunen als Mehrheitseigner beteiligt sind, die Genehmigung zur Errichtung öffentlicher LIS erhalten.

Die einseitige Ausrichtung der Vorschläge auf eine Förderung von und Erleichterungen für Unternehmen liegt sicher auch in der Zusammensetzung der Arbeitsgruppe begründet. In der NPM als Ganzem sind neben Vertreter*innen von Unternehmen auch die Wissenschaft, Verbände und Gewerkschaften, Politik und Verwaltung sowie zivilgesellschaftliche Akteure vertreten. Sie ist damit pluraler besetzt als ihre Vorgängerorganisation, die »Nationale Plattform Elektromobilität«. Allerdings sind einzelne Arbeitsgruppen sehr einseitig *wirtschaftslastig* besetzt. So besteht AG 5 ausschließlich aus Unternehmens- und Verbandsvertreter*innen (NPM 2019e), was die Ausrichtung der Vorschläge erklären mag. Es zeigt sich aber auch, dass über die Zusammensetzung von Expert*innengremien Machtverhältnisse reproduziert und Konflikte gegebenenfalls auf einen späteren Zeitpunkt im politischen Prozess verlagert werden. Ob sich diese Einseitigkeit in Politikvorschlägen wiederspiegelt, hängt auch von der Rolle des Lenkungskreises und der Beratenden Kommission ab. Allerdings gibt es Anzeichen, dass Zusammensetzung und bisherige Vorschläge der NPM konfliktreibend wirken, da die vertikale Dimension des Integrationsproblems, also die spezifische Betroffenheit von Ländern und insbesondere Kommunen, nicht hinreichend reflektiert wird.

Von Seiten der Länder und Kommunen wurde die Zusammensetzung der NPM kritisiert, etwa vom Baden-Württembergischen Ministerpräsident Winfried Kretschmann. Dieser bemängelte, dass die Länder bei der »Gestaltung der Mobilitätswende, unter anderem im Rahmen der Nationalen Plattform

Zukunft der Mobilität« zu wenig eingebunden werden: »Bei uns gibt es jede Menge Sachverständ, der nicht abgerufen wird« (Doll 2019). Tatsächlich sind die Länder nur über die Vorsitzende der Landesverkehrsministerkonferenz eingebunden, die Kommunen lediglich über ihre Spartenverbände (NPM 2019d). Auch von kommunaler Seite wurde deutliche Kritik geübt an der *zentralistischen* Konzeption der Sektorkopplung des Energie- und Verkehrssystems, die zudem auf eine Eins-zu-eins-Ersetzung fossil betriebener durch batterieelektrische Fahrzeuge setzt und damit eine Schließung zugunsten bestimmter Antriebe vorwegnimmt. Bei einem *Bürgerdialog* im Rahmen der Internationalen Automobilausstellung in Frankfurt a.M. erteilte der Tübinger Oberbürgermeister Boris Palmer Ansprüchen an einen umfassenden Stadtumbau eine Absage: »Schmieren Sie sich das in die Haare, ich grabe nicht ganz Tübingen um, damit Sie Ihre Ladesäulen kriegen.« Zudem mahnte er an, dass die Umsetzung von E-Mobilität im urbanen Raum mehr erfordere als den Austausch der Antriebstechnik: »Das Elektroauto muss ganz anders konzipiert werden, als das, was sie (die Autoindustrie, Anmerkung d. Verf.) da jetzt machen« (Vetter 2019). Angesichts des mehrdimensionalen Charakters des Integrationsproblems und der Bedeutung von Ländern und Kommunen für die Umsetzung von Infrastrukturpolitik, scheint die zentralistische und technokratische Herangehensweise eine Hypothek für eine problemlösungsorientierte Koordination der Sektorkopplung darzustellen.

Instrumente der Sektorkopplung

In der Diskussion um adäquate Instrumente der Transformation des Energiesystems nimmt das *marktorientierte* Instrument der CO₂-Bepreisung auch im Zuge eines gestiegenen öffentlichen Interesses an Klimaschutz eine bestimmende Rolle ein (Edenhofer/Schmidt 2018; EWK 2019; Matthes 2019). Die Idee hinter einem CO₂-Preis ist einfach: Die Kosten von Schadstoffemissionen sollen von den Verursacher*innen internalisiert werden. Vor allem die *Mainstreamökonomie* neigt dazu, einen CO₂-Preis, der sowohl über ein Zertifikatesystem als auch über eine Steuer ausgestaltet werden kann, als *one for all* Lösung im Klimaschutz zu betrachten, welche sektorübergreifend und technologienutral wirkt (ESYS 2019). Neben der juristischen Problematik, dass einer vollständigen Integration des Energierechts unter dem Gesichtspunkt der CO₂-Intensität hohe Hürden entgegenstehen (Wietschel et al. 2018: 24ff.), wirft auch die Wirksamkeit des Instruments Fragen auf. Betrachtet man die Kopplung von Energie- und Verkehrssektor genauer, erscheint die

transformative Wirkung einer Preissteuerung im Hinblick auf mehr direkte Elektrifizierung, zur Schaffung besserer Voraussetzungen indirekter Elektrifizierung sowie zur Lösung des Infrastrukturproblems unzureichend. Zudem sollte erwähnt werden, dass der Beitrag der Sektorkopplung zur Senkung des Treibhausgasausstoßes unter dem Vorbehalt des Ausbaus Erneuerbarer Energien steht (s.o.). Wird dieser nicht beschleunigt, und werden Altanlagen nicht durch effizientere Neuanlagen ersetzt, bleibt die Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbar erzeugten Strom aus.

Die begrenzte Wirkung eines CO₂-Preises liegt *erstens* an der bereits vorhandenen hohen indirekten Besteuerung von CO₂ (Edenhofer/Flachsland 2018: 11). Diese liegt für Benzin über, und bei Diesel knapp unter 200 Euro pro Tonne CO₂. Ein moderater Aufschlag im Rahmen der diskutierten Preise, hätte vermutlich nur eine geringe Lenkungswirkung. Die Kraftstoffpreise würden sich bei einem Aufschlag von 35 Euro pro Tonne CO₂, wie ihn das Klimaschutzprogramm 2030 für das Jahr 2025 vorsieht (Bundesregierung 2019), um etwa zehn Cent pro Liter erhöhen. Solch moderate Preiserhöhungen könnten bereits durch Preisveränderungen auf den globalen Rohstoffmärkten kompensiert werden. Zudem ist, anknüpfend an eine grundlegende Annahme der Neuen Politischen Ökonomie, von einer beschränkten Rationalität der Akteure auszugehen, die in den meisten Lebensbereichen, unter anderem aufgrund hoher Kosten der Informationsbeschaffung, nicht die Maximierung des individuellen Nutzens anstreben, sondern *satisfizieren*. Sie behalten also solange ihr routinemäßiges Handeln bei, solange dadurch nicht ein bestimmtes Anspruchsniveau unterschritten wird (Voigt 2009: 23). Beschränkte Rationalität hat eine weitere Konsequenz: Marktteilnehmer können aufgrund von Informationsdefiziten oder gegenläufiger Präferenzen Preissignale fehlinterpretieren oder ignorieren (ESYS 2017: 70).

Zweitens sind die Preiselastizitäten von Transportkosten gering. So hat der Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung in seinem klimapolitischen Sondergutachten festgestellt, dass gerade untere Einkommensgruppen kaum auf Preisänderungen bei Kraftstoffen reagieren (Sachverständigenrat 2019: 112). Dies bedeutet, dass trotz richtig verstandener Preissignale die Marktteilnehmer nicht reagieren können, zum Beispiel weil ihnen die finanziellen Mittel zum Umstieg auf andere Verkehrsträger fehlen, beziehungsweise diese nicht zur Verfügung stehen, oder nicht reagieren wollen, etwa weil sie kein Vertrauen in neue Technologien setzen und einen mit Unsicherheiten behafteten Umstieg scheuen.

Sowohl das Problem der Verfügbarkeit von Alternativen als auch der Aspekt der Unsicherheit betreffen *drittens* nicht nur individuelle Konsument*innenentscheidungen, sondern vor allem öffentliche Infrastrukturen. Private Akteure haben in vielen für die Sektorkopplung relevanten Bereichen nur wenig Anreiz, in diese zu investieren (ESYS 2017). Werden Infrastrukturen als *Kollektivgüter* verstanden, unterliegen sie den bekannten strukturellen Problemen der Kollektivgutbereitstellung (Voigt 2009: 98ff.). Auf das individuelle Nutzenkalkül ausgerichtete Preissignale sind schlecht geeignet Kollektivgüter bereitzustellen, wenn diese wie bei vielen Infrastrukturinvestitionen mit langfristigen Planungs- und Genehmigungsverfahren verbunden sind. Außerdem werden an kollektiv verfügbare Infrastrukturen oft normative Anforderungen gestellt, die durch einzelwirtschaftliche Kalküle nicht abgedeckt werden. Dies gilt beispielsweise bei der Forderung nach einer flächendeckenden Ausstattung mit Schnellladestationen. Diese könnte in Ballungsräumen sicher erreicht werden, jedoch nicht *in der Fläche*. Die Bundesregierung hat dies zumindest erkannt und kündigt einen »Masterplan Ladesäuleninfrastruktur« an, der ordnungsrechtliche Maßnahmen in Erwägung ziehen soll, wo eine »bedarfsgerechte Versorgung marktgetrieben nicht erfolgt« (Bundesregierung 2019: 78).

Viertens hängt die Sektorkopplung in langfristiger Perspektive von Investitionen ab, die aus Sicht der Marktteilnehmer kurz- und mittelfristig nicht rentabel sind. Der wahrscheinliche volkswirtschaftliche Nutzen dieser Investitionen stellt sich erst jenseits üblicher Amortisationszeiten ein. Insbesondere die Technologien und Infrastrukturen indirekter Elektrifizierung dürften hiervon betroffen sein. Das Klimaschutzprogramm 2030 trägt dem insoweit Rechnung, dass dem »grünen Wasserstoff« eine zentrale Rolle in »sektorübergreifenden Zusammenhängen« zugestanden wird. Konkrete Aussagen über »Investitionen in Forschung« und »Marktanreizprogramme« werden in einer »Wasserstoffstrategie« ausformuliert (Bundesregierung 2019).

Die genannten vier Aspekte zeigen, dass im Verkehrssektor ein CO₂-Preis nur eines von mehreren Instrumenten sein kann, und in vielen Fällen eine eher nachgeordnete Funktion besitzt. Das Problem beschränkter Rationalität und gegenläufiger Präferenzen erfordert sowohl regulative als auch strukturierende Instrumente (Braun/Giraud 2014). Regulative Politik würde beispielsweise die Effizienzstandards für Fahrzeuge unabhängig von ihrer Antriebstechnologie betreffen. Eine sukzessive Verschärfung flottenbezogener bestehender Effizienzstandards, aber auch die Einführung von Emissionsobergrenzen für Einzelfahrzeuge, hätten eine transformative Wirkung, da sie

das Angebot nicht-fossil betriebener Fahrzeuge attraktiver machen und damit auch die Nachfrage anreizen würden. Ein wichtiges Element in diesem Zusammenhang ist natürlich der Anschaffungspreis für Fahrzeuge, der durch Kaufprämien reduziert wird. Das Instrument der Kaufprämie besteht seit Juli 2016 und wurde auf dem »Autogipfel« im November 2019 erweitert (Deutsche Welle 2019), zusätzlich unterstützen einzelne Städte den Kauf (Paulsen 2019). Allerdings hat dieser finanzielle Anreiz bislang nicht zu einem Durchbruch der E-Mobilität geführt. Dies liegt daran, dass das Problem hoher Hürden des Umstiegs und das Infrastrukturproblem bislang nicht hinreichend adressiert werden. Das Klimaschutzprogramm 2030 kündigt eine Verlängerung der Kaufprämie an, aber auch eine CO₂-bezogene Reform der Kraftfahrzeugsteuer (Bundesregierung 2019). Es bleibt abzuwarten, inwiefern eine Steuerreform die transformative Wirkung von Prämien erhöht, die bislang offensichtlich eher einen Mitnahmeeffekt besitzen (Reiche 2018).

Um Unsicherheiten zu reduzieren, bedarf es klarer Signale der Zukunftsfähigkeit bestimmter Technologien. Diese Signale können durch technologische Entwicklungsfortschritte (etwa bei den Batterien) gesetzt werden, die Vorbehalte bei Konsument*innen abschwächen. Investitionen in Forschung und Entwicklung, aber auch die Förderung einer europäischen Batteriezellenproduktion und Standardsetzung (regulative Politik) sind hierbei zentral. Noch wichtiger, da der Staat damit langfristige Verpflichtungen eingeht, sind aber Investitionen in die Infrastruktur.

Der Aufbau einer flächendeckenden öffentlichen und privaten Infrastruktur scheint die wichtigste Aufgabe für materielle Politik im Bereich der direkten Elektrifizierung, vor allem beim Netzzugang und der Ladeinfrastruktur. Ein verstärktes Engagement des Bundes, aber auch der Kommunen hätte hierbei eine Gewährleistungsfunktion und würde helfen Vorbehalte abzubauen. Für die konkrete Umsetzung existiert eine Reihe von Vorschlägen (Gizzi et al. 2018), die hier nicht im Detail behandelt werden können. Zentraler Vorteil eines kontinuierlichen staatlichen Engagements wäre die Schaffung von Erwartungssicherheit, auf der weitere Effekte einer Pfadentwicklung wie Skalen- oder Netzwerkeffekte aufbauen können (Pierson 2000; Fischedick/Grunwald 2017). Im Klimaschutzprogramm 2030 wird die zentrale Bedeutung der Ladeinfrastruktur gewürdigt, allerdings bleiben zwei Probleme. Zum einen hofft die Bundesregierung, dass öffentliche LIS weitgehend durch öffentlich unterstützte private Akteure bereitgestellt werden kann. Damit könnte einer weitgehend auf die Antriebstechnologie beschränkten Verkehrswende Vorschub geleistet werden. Zum anderen wer-

den Länder und Kommunen nur am Rande eingebunden. Das Programm kündigt zwar die Einrichtung einer »Nationalen Leitstelle Elektromobilität« an, an anderer Stelle werden die Länder jedoch lediglich als »Stakeholder« des bereits 2015 gegründeten »Aktionsbündnis Klimaschutz« erwähnt. Eine über die bestehenden Fachminister*innenkonferenzen und Arbeitskreise hinausgehende Koordination ist nicht vorgesehen, was angesichts des Mehrebencharakters der Politikprobleme problematisch erscheint.

Der systemische Ansatz der Sektorkopplung muss zudem die Offenhaltung der Entwicklung solcher Technologien berücksichtigen, die momentan noch nicht rentabel sind, aber langfristig bedeutsam werden. Dies betrifft in unserem Zusammenhang insbesondere die indirekte Elektrifizierung des Verkehrs. Während im Individualverkehr batterieelektrische Fahrzeuge effizient eingesetzt werden können, steht die Option direkter Elektrifizierung für schwere Güter- und andere Nutzfahrzeuge nur sehr eingeschränkt zur Verfügung (NPM 2019c: 23). Die zugehörige Infrastruktur für die Herstellung und Verteilung von Wasserstoff sowie synthetischer Kraftstoffe kann derzeit weniger kosteneffizient betrieben werden als für Technologien der direkten Elektrifizierung. Wenn jedoch davon ausgegangen wird, dass diese Technologien in Zukunft immer wichtiger für die Sektorkopplung werden (ESYS 2017), besteht ein öffentliches Interesse an deren Entwicklung, Erprobung und Bereitstellung, die ohne öffentliche Förderung und gegebenenfalls regulatorische Eingriffe nicht sichergestellt werden können. Der Einsatz von Wasserstoff im großen Maßstab erfordert neben dem Aufbau einer inländischen Produktion zudem den Aufbau internationaler Transportstrukturen sowie ein entsprechendes politisches Engagement (Hydrogen Europe 2019).

Fazit

Der Ausbau der E-Mobilität intensiviert die Kopplung zwischen Energie- und Verkehrssektor, denn eine zunehmende Elektrifizierung der Mobilität erhöht den Strombedarf, erfordert flexible Verteilnetze und neue infrastrukturelle Schnittstellen zwischen den Sektoren. Sektorkopplung bleibt dabei nicht auf die technologische Transformation beschränkt, sondern produziert komplexe Governanceprobleme.

Bei der Governance der Sektorkopplung wurde unterschieden zwischen politisch-administrativer Koordination und den politischen Instrumenten. Im Hinblick auf Koordination konstituiert die Sektorkopplung ein mehrdi-

mensionales Integrationsproblem. Um Bedingungen der Problemlösung zu erfassen, wurde im Anschluss an Scharpf der Modus der »positiven Koordination« aufgegriffen. Dieser erfordert, dass alle für die Umsetzung relevanten Akteure sich über grundlegende Zielsetzungen beziehungsweise das zu erstellende Kollektivgut verständigen. Geschieht dies nicht, entstehen zwei Probleme: erstens eine Beschränkung auf wechselseitige Anpassung oder die Einigung auf den kleinsten gemeinsamen Nenner, wodurch transformative Entwicklungen verhindert werden können; zweitens die Verschiebung von Konflikten von der Politikformulierungs- in die Implementationsphase, etwa der kommunalen Umsetzung des Ausbaus von Infrastrukturen.

In der instrumentellen Dimension wurde auf Basis politökonomischer Überlegungen auf die Grenzen marktorientierter Instrumente für die Steuerung von Transformationsprozessen verwiesen. Die Komplexität der politischen Aufgaben erfordert hingegen differenzierte Arrangements, die unterschiedliche Akteure einbinden und verschiedenen Maßnahmen kombinieren. Dies gilt vor allem bei öffentlichen Gütern, deren Erstellung durch private Marktteilnehmer nicht ausreichend gewährleistet wird. Auch erfordert die Sektorkopplung Investitionen in langfristig ausgerichtete technische Innovationen, die keine kurz- und mittelfristigen Renditen versprechen. Gerade dort, wo hohe Vorleistungen und Anfangsinvestitionen existieren, sind sowohl starke regulative Eingriffe als auch öffentliche Entwicklungs- und Betriebsinvestitionen notwendig. Aus Perspektive der Sektorkopplung ist hierbei die Offenhaltung unterschiedlicher technischer Entwicklungspfade wichtig, um zukünftige Bedarfe, etwa an Speichertechnologien, bedienen zu können.

Literatur

- Agora Energiewende (2017). *Energiewende 2030. The Big Picture. Megatrends, Ziele, Strategien und eine 10-Punkte-Agenda für die zweite Phase der Energiewende*, Berlin.
- Agora Verkehrswende (2017). *Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern 12 Thesen zur Verkehrswende*, Berlin.
- AG (Arbeitsgemeinschaft) Energiebilanzen (2019). *Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2018 nach Energieträgern*. https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20171221_brd_stromerzeugung1990-2018.pdf, zuletzt geprüft am 22.10.2019.

- Ausfelder, F.; Drake, F.-D.; Erlach, B.; Fischedick, M.; Henning, H.-M.; Kost, C.; Münch, W.; Pittel, K.; Rehtanz, C.; Sauer, J.; Schätzler, K.; Stephanos, C.; Themann, M.; Umbach, E.; Wagemann, K.; Wagner, H.-J. und Wagner, U. (2017). *Sektorkopplung – Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft*, München.
- Aykut, S.; Neukirch, M.; Zengerling, C.; Engels, A. und Pohlmann, A. (2019). Energiewende ohne gesellschaftlichen Wandel? Der blinde Fleck in der aktuellen Debatte zur »Sektorkopplung«. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 69 (3), 20-24.
- BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft) (2019). *Entwicklung des Nettostromverbrauchs in Deutschland*, Berlin. https://www.bdew.de/media/documents/Nettostromverbrauch_nach_Verbrauchergruppen_EnTw_10J_online_o_jaehrlich_Ki_29032019.pdf, zuletzt geprüft am 22.10.2019.
- Beckers, T.; Gizzi, F. und Kreft, T. (2015). *Aufbau von (Tankstellen-)Infrastruktur für die Wasserstoffmobilität*, Gutachten Technische Universität Berlin, Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik (WIP), Berlin.
- Benz, A.; Detemple, J. und Heinz D. (2016). *Varianten und Dynamiken der Politikverflechtung im deutschen Bundesstaat*, Baden-Baden: Nomos.
- BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (2016). *Klimaschutzplan 2050. Klimapolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung*, Berlin.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2016a). Was bedeutet »Sektorkopplung«? In: *Newsletter Energiewende direkt*, Ausgabe 14/2016, Berlin. https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2016/14/newsletter_2016-14.html, zuletzt geprüft am 15.07.2019.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2016b). *Electricity 2030. Long-term trends – Tasks for the coming years*. Berlin.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2019a). *Gesamtausgabe der Energiedaten – Datensammlung des BMWi*, Berlin. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>, zuletzt geprüft am 22.10.2019.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2019b). *Die Energie der Zukunft. Zweiter Fortschrittsbericht zur Energiewende*, Berlin.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie); BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2010). *Ener-*

- giekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Berlin.
- Braun, D.; Giraud, O. (2014). Politikinstrumente im Kontext von Staat, Markt und Governance. In: Schubert, K.; Bandelow, N. (Hg.) (2014). Lehrbuch der Politikfeldanalyse 2.0, München: De Gruyter Oldenbourg (3. Auflage), 179-210.
- Bundesnetzagentur (2020). Ladesäulenkarte. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulenkarte/Ladesaeulenkarte_node.html, zuletzt geprüft am 19.03.2020.
- Bundesregierung (2019). Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050, Berlin. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1679914/e01d6bd855f09bf05cf7498e06doa3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1>, zuletzt geprüft am 23.11.2019.
- Canzler, W. (2018). Die infrastrukturelle Umsetzung der Energiewende. In: *dms – der moderne staat*, 11 (2), 461-477.
- Deutsche Welle (2019). »Autogipfel«: Länger und mehr Fördergeld für Elektroautos. <https://www.dw.com/de/autogipfel-l%C3%A4nger-und-mehr-f%C3%B6rdergeld-f%C3%BCr-elektroautos/a-51113194>, zuletzt geprüft am 23.11.2019.
- Doll, N. (2019). Die ganz große Koalition der Autoländer. In: *Welt Online*. <https://www.welt.de/wirtschaft/article194954889/Elektroautos-Die-ganz-grosse-Koalition-der-Autolaender.html>, zuletzt geprüft am 15.07.2019.
- Edenhofer, O.; Flachsland, C. (2018). Eckpunkte einer CO₂-Preisreform für Deutschland. MCC Working Paper 1/2018, Berlin.
- Edenhofer, O.; Schmidt, C. M. (2018). Eckpunkte einer CO₂-Preisreform. RWI Positionen 72, Essen.
- ESYS (Akademieprojekt Energiesysteme der Zukunft) (2017). *Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende*, Stellungnahme, München.
- ESYS (Akademieprojekt Energiesysteme der Zukunft) (2019). *Über eine CO₂-Bepreisung zur Sektorenkopplung: Ein neues Marktmodell für die Energiewende*, Impuls, München.
- EWK (Expertenkommission zum Monitoring-Prozess »Energie der Zukunft«) (2019). *Stellungnahme zum zweiten Fortschrittsbericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2017*, Berlin, Münster, Stuttgart.
- Fischbeck, M.; Grunwald, A. (Hg.) (2017). *Pfadabhängigkeiten in der Energiewende. Das Beispiel Mobilität. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft*, München.

- Frauenhofer ISE (2019). *Monatliche Stromerzeugung in Deutschland in 2019*.
https://www.energy-charts.de/energy_de.htm?source=all-sources&period=monthly&year=2019, zuletzt geprüft am 30.06.2019.
- Gizzi, F.; Kreft, T.; Beckers, T. (2018). *Identifikation effizienter Modelle für die Bereitstellung der Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität im öffentlichen Bereich in Deutschland unter Rückgriff auf institutionenökonomische Erkenntnisse*, Arbeitspapier Technische Universität Berlin, Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik (WIP), Berlin.
- H2 MOBILITY (2019). *H2 tanken – Wasserstoffmobilität beginnt jetzt*. <https://h2-live/>, zuletzt geprüft am 15.07.2019.
- Hustedt, S. (2014). Negative Koordination in der Klimapolitik: Die Interministerielle Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie. In: *dms – der moderne staat*, 7 (2), 311-330.
- Hustedt, S.; Danken, T. (2017). Institutional Logics in inter-departmental coordination. Why actors agree on a joint policy output. In: *Public Administration*, 95 (2017), 730-743.
- Hydrogen Europe (2019). *Hydrogen Roadmap Europe. A sustainable Pathway for the European Energy Transition*. Luxembourg, Publications Office of the European Union.
- Kemmerzell, J. (2020). Energy Governance in Germany. In: Knott, M.; Kemmerzell, J. (Hg.) (2020). *Handbook of Energy Governance in Europe*. Cham: Springer Nature.
- Kemmerzell, J.; Knott, M. (2019). Wie das »Klimakabinett« erfolgreich sein könnte – und wie nicht, Standpunkt. In: *Tagesspiegel, Energie & Klima Background*, 08.05.2019.
- Kester, J.; Noel, L.; Lin, X.; Zarazua de Rubens, G. und Sovacool, B. K. (2019). The coproduction of electric mobility: Selectivity, conformity and fragmentation in the sociotechnical acceptance of vehicle-to-grid (V2G) standards. In: *Journal of Cleaner Production*, 207, 400-410.
- Lund, H.; Ostergaard, P. A.; Conolly, D. und Mathiesen, B. V. (2017). Smart energy and smart energy systems. In: *Energy*, 137 (2017), 556-565.
- Matthes, F. (2019). CO₂-Preis jenseits der Leerformel, Standpunkt. In: *Tagesspiegel, Energie & Klima Background*, 08.04.2019.
- NPM (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Arbeitsgruppe 5) (2019a). *Red-Flag-Bericht 10 % EV-Neuzulassungen*, Berlin.
- NPM (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Arbeitsgruppe 5) (2019b). *Sofortpaket Ladeinfrastruktur 2019*, Berlin.

- NPM (Nationale Plattform Elektromobilität, Arbeitsgruppe 1) (2019c). *Wege zur Erreichung der Klimaziele 2030 im Verkehrssektor*, Berlin.
- NPM (Nationale Plattform Elektromobilität) (2019d). *Die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität*. <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/die-npm/>, zuletzt geprüft am 15.07.2019.
- NPM (Nationale Plattform Elektromobilität, Arbeitsgruppe 5) (2019e). *Verknüpfung der Verkehrs- und Energienetze, Sektorkopplung*. <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/schwerpunkte/ag-5/>, zuletzt geprüft am 15.07.2019.
- Paulsen, T. (2019). Förderung für Elektroautos: Hier gibt es Geld. In: ADAC Online. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/kaufen/foerderung-elektroautos/>, zuletzt geprüft am 15.07.2019.
- Pierson, P. (2000). Increasing Returns, Path Dependence, and the Study of Politics. In: *American Political Science Review*, 94 (2000), 251-267.
- Quaschnig, V. (2016). *Sektorkopplung durch die Energiewende. Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung*, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Forschungsgruppe Solarspeichersysteme, Berlin.
- Reiche, L. (2018). SPD will Kaufprämie für E-Autos auf 8000 Euro verdoppeln. In: Manager Magazin Online. <https://www.manager-magazin.de/politik/deutschland/elektroauto-spd-wuerde-praemie-auf-8000-euro-verdoppeln-a-1192967-2.html>, zuletzt geprüft am 22.10.2019.
- Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (2019). *Aufbruch zu einer neuen Klimapolitik*. Sondergutachten, Wiesbaden.
- Schaal, S. (2019). Batterie vs. Brennstoffzelle – Fraunhofer ISE vergleicht CO₂-Bilanz. In: Electrive.net. <https://www.electrive.net/2019/07/15/fraunhofer-ise-vergleicht-co2-bilanz-von-elektroautos-und-brennstoffzellen-fahrzeugen/>, zuletzt geprüft am 15.07.2019.
- Scharpf, F. W. (1972). Komplexität als Schranke politischer Planung. In: *Politische Vierteljahresschrift*, Sonderheft 4/1972, 168-192.
- Scharpf, F. W. (1976): Theorie der Politikverflechtung. In: Scharpf, F. W.; Reisert, B.; Schnabel, F. (Hg.) (1976): *Politikverflechtung. Theorie und Empirie des kooperativen Föderalismus in der Bundesrepublik*, Kronberg, 13-77.
- Scharpf, F. W. (2000). *Interaktionsformen. Akteurszentrierter Institutionalismus in der Politikforschung*, Opladen: Leske + Budrich.

- Schlichtmeier, T. (2019). Brennstoffzelle versus Batterie. In: *Elektronik*. <https://www.elektroniknet.de/elektronik/power/brennstoffzelle-versus-batterie-168950.html>, zuletzt geprüft am 23.11.2019.
- Sternberg, A.; Hank, C. und Hebling, C. (2019). *Treibhausgas-Emissionen für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge mit Reichweiten über 300 KM*, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/news/2019/ISE_Ergebnisse_Studie_Treibhausgasemissionen.pdf, zuletzt geprüft am 15.07.2019.
- Vetter, P. (2019). »Ich grabe nicht ganz Tübingen um, damit Sie Ihre Ladesäulen kriegen«. In: *Welt Online*. <https://www.welt.de/wirtschaft/article200285740/Boris-Palmer-Ich-grabe-nicht-ganz-Tuebingen-um-damit-Sie-Ihre-Ladesaeulen-kriegen.html>, zuletzt geprüft am 22.10.2019.
- Voigt, S. (2009). *Institutionenökonomik*. 2. Aufl., Paderborn: W. Fink.
- Wagner, L. (2014). Overview of Energy Storage Technologies. In: Letcher, T. (Hg.) (2014). *Future Energy Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet* (2. Auflage), Oxford/Amsterdam: Elsevier Science, 613-631.
- Wietschel, M.; Plötz, P.; Pfluger, B.; Klobasa, M.; Eßer, A.; Haendel, M.; Müller-Kirchenbauer, J.; Kochems, J.; Hermann, L.; Grosse, B.; Nacken, L.; Küster, M.; Pacem, J.; Naumann, D.; Kost, C.; Kohrs, R.; Fahl, U.; Schäfer-Stradowsky, S.; Timmermann, D. und Albert D. (2018). *Sektorkopplung – Definition, Chancen und Herausforderungen*, Fraunhofer ISI Working Paper Sustainability and Innovation No. S 01/2018, Karlsruhe.

