



Tiefenbohrung

"Sektorenkopplung"



Tiefenbohrung

"Sektorenkopplung"



Inhaltsverzeichnis

1	Zielse	tzung und Relevanz	3
2	Theor	etische Grundlagen	5
	2.1	Definition / Verständnis des Begriffs Sektorenkopplung	5
	2.1.1 2.1.2	Beschreibungen und Definitionen des Begriffs Sektorenkopplung Definition Sektorenkopplung der Wissenschaftlichen Begleitforschung	5
		ENERGIEWENDEBAUEN	6
	2.2	Darstellung Sektorenkopplung	7
3	Metho	odik	11
	3.1	Vorgehen	11
	3.2	Schlagwortkatalog	13
4	Auswe	ertungen	15
	4.1	Thematische Verteilung relevanter Projekte der Förderinitiative	
		ENERGIEWENDEBAUEN	15
	4.2	Fragestellungen der Sektorenkopplung	19
	4.3	Hemmnisse der Sektorenkopplung und Lösungsansätze	20
	4.3.1	Hemmnisse	21
	4.3.2	Lösungsvorschläge und -ansätze	25
5	Ausbli	ck anhand wissenschaftlicher Veröffentlichungen	29
Lit	eratur	verzeichnis	35





1 Zielsetzung und Relevanz

Die Klimaschutzziele der Bundesregierung beinhalten eine Verringerung der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 Prozent bis zum Jahr 2050. Um diese Zielvorgaben erreichen zu können, müssen sowohl der Energiesektor (61 - 62 % Minderung bis 2030 gegenüber 1990), als auch der Gebäudesektor (66 - 67 %), der Verkehrssektor (40 - 42 %) und der Industriesektor (49 - 51 %) maßgebliche Emissionsreduktionen erzielen [1]. Die notwendige Transformation von einer zentralen Energieversorgung auf Basis von fossil-nuklearen Energieträgern hin zu einer dezentralen, erneuerbaren Energieversorgung hat weitreichende Folgen für das Energiesystem. Durch den geplanten Ausbau der erneuerbaren Energien wird auf der einen Seite die Fluktuation bei der Energiebereitstellung deutlich zunehmen. Daraus ergibt sich ein hoher Bedarf an Reservekapazitäten und Flexibilitäten. Auf der anderen Seite stehen zeitweise außerordentliche Überkapazitäten zur Verfügung, die enorme Energiemengen aus erneuerbaren Energiequellen zur Verfügung stellen. Beides wird dazu führen, dass die einzelnen Energiesysteme und -sektoren stärker miteinander interagieren müssen, um die Fluktuation nachhaltig auszugleichen.

Um die Energiewende langfristig erfolgreich gestalten zu können, muss demnach nicht nur der Stromsektor auf erneuerbare Energien umgestellt, sondern auch im Wärme- und Verkehrsbereich stärker auf die erneuerbaren Energien gesetzt werden. Dies geschieht etwa durch den direkten Einsatz von erneuerbaren Energien wie beispielsweise dem Heizen eines Hauses mittels Solarthermie sowie durch Einsatz von Strom aus erneuerbaren Quellen zur Deckung des Wärmebedarfs. Die Nutzung dieses sauberen Stroms, um in anderen Sektoren den Einsatz von fossilen Energien zu substituieren und den Ausstoß klimarelevanten CO₂ zu reduzieren, gehört zum Bereich der "Sektorenkopplung" [2]. Allerdings umfasst die Sektorenkopplung nicht ausschließlich die Stromnutzung in anderen Energiesektoren (Power-2-X), sondern prinzipiell die Kopplung aller Energiesektoren mit- bzw. untereinander. Aufgrund der Relevanz werden in der vorliegenden Querauswertung vorrangig Power-2-X-Optionen betrachtet.

Der Sektorenkopplung wird innerhalb der energiepolitischen Diskussion ein hoher Stellenwert zugeschrieben, was sich nicht zuletzt an der ausführlichen thematischen Behandlung innerhalb des Klimaschutzplans 2050 [3] und des Grünbuchs Energieeffizienz [4] widerspiegelt. Das hohe energiepolitische Interesse findet sich auch in der Förderpolitik wieder. Daher werden Projekte, die sich mit der Weiterentwicklung crosssektoraler Technologien befassen, im 7. Energieforschungsprogramm [5] ausdrücklich fokussiert.

Der Begriff der Sektorenkopplung wird demnach heutzutage in vielen Bereichen genutzt, ohne jedoch eine wirkliche einheitliche und umfängliche Definition zu besitzen. Die Tiefenbohrung "Sektorenkopplung" soll daher einen Beitrag zum besseren Verständnis dieser Thematik leisten und hierbei eine anschauliche Darstellung gängiger Definitionen sowie einen Entwurf einer möglichst umfassenden Definition beinhalten. Des Weiteren wird ein Schlagwortkatalog entworfen, mit dessen Hilfe relevante Projekte des Bundesministeriums für Energie und Wirtschaft (BMWi), die sich mit der Thematik der Sektorenkopplung befassen, identifiziert werden, um die thematische Verteilung und



Forschungsfragen in diesem Bereich herauszufinden. Zudem werden auf Grundlage der Projekte und Ergebnissen aus Projektworkshops und Veröffentlichungen, Hemmnisse und Problemstellungen identifiziert, die bei der Nutzung cross-sektoraler Technologien auftreten können. Abschließend werden diese Ergebnisse mit wissenschaftlichen Veröffentlichungen verglichen und somit zukünftige Forschungsbereiche genauer identifiziert.



2 Theoretische Grundlagen

Um zunächst den Begriff der Sektorenkopplung klar zu definieren, sollen in diesem Kapitel gängige Definitionen gegenübergestellt, ein Entwurf einer für die Wissenschaftliche Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN gültigen Definition erstellt und eine Darstellung des Themenbereiches angefertigt werden.

2.1 Definition / Verständnis des Begriffs Sektorenkopplung

2.1.1 Beschreibungen und Definitionen des Begriffs Sektorenkopplung

Obwohl die Sektorenkopplung einen hohen Stellenwert in der heutigen energiepolitischen Diskussion einnimmt, existiert bislang keine einheitliche und umfassende Definition. Stattdessen gibt es eine Vielzahl an mitunter deutlich abweichenden Auffassungen des Begriffs. Innerhalb der Fachliteratur und der Förderprojekte werden die Begriffe "Sektorenkopplung" und "Sektorkopplung" gleichermaßen verwendet. Für ein einfacheres Verständnis wird in den nachfolgenden Ausführungen durchgehend von "Sektorenkopplung" gesprochen.

Das Bundesministerium für Energie und Wirtschaft (BMWi) beschreibt die Sektorenkopplung wie folgt:

"Was bedeutet "Sektorkopplung"? Nicht nur im Stromsektor, auch in den Bereichen Wärme, Kälte und Verkehr sollen fossile Energieträger nach und nach durch erneuerbare Energien ersetzt werden. Dabei kann die sogenannte Sektorkopplung helfen. Wie, das erfahren Sie hier. Darum geht's: Strom aus Erneuerbaren einsetzen, um Wärme, Kälte und Antriebsenergie zu erzeugen. Ziel ist, fossile Energien zu ersetzen." [2]

Für die Deutsche Energie-Agentur (dena) steht die Sektorenkopplung unter der Kurzbeschreibung "Alles mit allem verbinden – Integriertes Energiesystem". Die detailliertere Beschreibung lautet "Das Gelingen der Energiewende ist auch eine Frage des Zusammenspiels der verschiedenen Teile und Sektoren des Energiesystems. Die dena engagiert sich für die sogenannte Sektorkopplung, also die Verzahnung von Strom, Wärme und Mobilität, damit die erneuerbaren Energien optimal genutzt und integriert werden können. Einen Schwerpunkt setzt die dena dabei auf die Herstellung von Wasserstoff und Methan mit Strom aus erneuerbaren Energien (Power to Gas)." [6]

"Der BDEW versteht unter Sektorkopplung die energietechnische und energiewirtschaftliche Verknüpfung von Strom, Wärme, Mobilität und industriellen Prozessen sowie deren Infrastrukturen mit dem Ziel einer Dekarbonisierung bei gleichzeitiger Flexibilisierung der Energienutzung in Industrie, Haushalt, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen und Verkehr unter den Prämissen Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit. Sektorkopplung ist im Sinne dieser Definition nicht nur eine Elektrifizierung der Bereiche Wärme und Verkehr, sondern dient der Dekarbonisierung und stellt gleichzeitig Flexibilität für das System zur Verfügung." [7]



Der Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE) hebt bei der Diskussion der Begrifflichkeit "Sektorenkopplung" hervor, dass es hierbei weniger um die Kopplung mehrerer Energieabnehmer (Industrie, GHD, Haushalte und Verkehr) geht, sondern mehr um die Kopplung der verschiedenen, benötigten Energieformen (elektrische, thermische, mechanische und chemische Energie (auch zur stofflichen Nutzung)). Die Sektorenkopplung umfasst die Interaktion von Energiebereitstellung und -verbrauch über verschiedene Energieformen hinweg. Ziel ist die mittel- und langfristige Dekarbonisierung und damit ein weitgehend von fossilen Energieträgern freies sowie effizientes Gesamtenergiesystem. Somit dient die Sektorenkopplung dazu, die verschiedenen erneuerbaren Energieerzeugungstechnologien gezielt einzusetzen, um fossile Energieträger zu substituieren und ein räumlich und zeitlich optimiertes Gesamtsystem zu generieren. Des Weiteren sind mehrere Sektorenkopplungstechnologien zusätzlich geeignet einen Beitrag zur Flexibilisierung des Energiesystems leisten. [8]

Ein Vergleich der zuvor dargestellten Beschreibungen/Definitionen des Begriffs "Sektorenkopplung" zeigt, dass darunter unterschiedliche Tragweiten verstanden werden. Die kleinste Schnittmenge stellt eine Verknüpfung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr bzw. Mobilität dar und wird vereinzelt durch Kälte und den Industriesektor ergänzt. Die mit dem Einsatz von Sektorenkopplungstechnologien verfolgten Zielstellungen sind weitgehend dieselben. Im Vordergrund steht die Substitution fossiler Energieträger und damit die Minimierung des Ausstoßes energiebedingter CO₂-Emissionen bzw. die Dekarbonisierung des Energiesystems. Hierfür soll hauptsächlich elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen Einsatz finden, die in andere der benötigten Energieformen (vorrangig: thermische, mechanische und chemische Energie) gewandelt werden soll (Power-to-X).

Des Weiteren wird teilweise der im Sinne der Energiewende nützliche Nebeneffekt benannt, dass einige Technologien zur Sektorenkopplung zusätzlich zur Flexibilisierung des elektrischen Energiesystems dienen können. Hierbei geht es um die Anpassung bzw. Entkopplung der Energieverbrauchsseite an die zeitlich und räumlich fluktuierende Stromerzeugung aus EE-Anlagen.

2.1.2 Definition Sektorenkopplung der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN

Im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN wird die "Sektorenkopplung" wie folgt beschrieben. Unter dem Begriff der Sektorenkopplung, bzw. cross-sektoraler Energienutzung, wird die Verknüpfung der Bereiche Strom, Wärme, Gas, Verkehr und Industrie verstanden. Dabei umfasst die Sektorenkopplung sowohl die energetische, als auch eine strukturelle Kopplung des Energiesystems.

Die energetische Kopplung der Sektoren bezeichnet das Wandeln bzw. Überführen einer Energieform (z. B. Strom) in eine andere Energieform (z. B. Wärme) bzw. Energieträger (z. B. synthetisches Erdgas), während die strukturelle Sektorenkopplung die technische Kopplung der verschiedenen Infrastrukturen zum Transport und Verteilung der unterschiedlichen Energieformen bzw. Energieträger beinhaltet.

Der Einsatz von Technologien zur Sektorenkopplung ermöglicht die Flexibilisierung des Energiesystems sowie die Nutzung von sektorenübergreifenden (bzw. energieform-



und energieträgerübergreifenden) Synergieeffekten zwischen der erneuerbaren Energieerzeugung und dem Energieverbrauch. Damit dient die Sektorenkopplung der Erhöhung der Integrationsfähigkeit der fluktuierenden Energiebereitstellung aus erneuerbaren Quellen und verfolgt die Zielstellung der sektorenübergreifenden Substitution fossiler Energieträger zur Minimierung energiebedingter CO₂-Emissionen bzw. zur Dekarbonisierung des Energiesystems.

2.2 Darstellung Sektorenkopplung

Wie bereits im vorherigen Abschnitt erläutert, wird im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN unter dem Begriff der Sektorenkopplung bzw. cross-sektoraler Energienutzung die Verknüpfung der Bereiche Strom, Wärme, Gas, Verkehr und Industrie verstanden. Diese Kopplung der Sektoren soll in Abbildung 1 dargestellt werden.

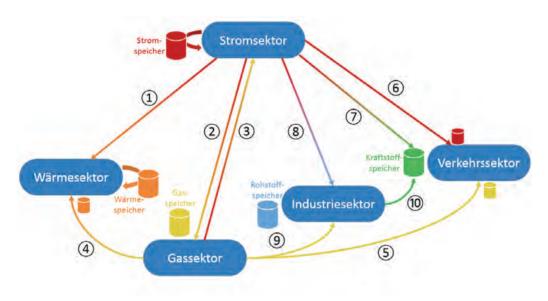


Abbildung 1: Darstellung Sektorenkopplung und Energiespeicher (nach [9])

Die Kopplung der Sektoren erfolgt durch unterschiedliche Technologien unter dem Einsatz verschiedener Speichertechnolgien:

- 1 Power-To-Heat, Wärmepumpe, Flexible KWK
- (2) Einspeichertechnologie Power-To-Gas
- (3) Power-To-Gas als Stromspeicher
- (4) Power-To-Gas als Wärmespeicher
- (5) Power-To-Gas als Stromkraftstoff
- (6) Elektromobilität
- (7) Power-To-Liquid als Stromkraftstoff
- (8) Einspeichertechnologie Power-To-Chemicals
- (9) Power-To-Gas als Rohstoffspeicher
- (10) Power-To-Chemicals als Kraftstoffspeicher



Unter dem im Bereich der Sektorenkopplung weit verbreiten Begrifflichkeit Power-To-X wird die Wandlung elektrischer Energie (Power) in (To) eine beliebige Energieform bzw. -träger (X) verstanden. Somit umfasst Power-To-X technische Möglichkeiten, elektrische Energie in andere, ebenfalls benötigte, Energieformen (vorrangig thermische Energie (Wärme, Kälte) und mechanische Energie (u. a. Antrieb, Druckluft)) zu wandeln bzw. in synthetische Energieträger (z. B. Wasserstoff) zu überführen [10]. Wesentliche Power-To-X-Technologien sind Power-To-Heat (P2H), Power-To-Gas (P2G) und Power-To-Liquid (P2L), jedoch kann auch eine Unterscheidung nach dem Verwendungszweck wie beispielsweise bei Power-To-Mobility und Power-To-Fuel vorgenommen werden. [11] [12]

Ein wesentlicher Aspekt der Nutzung cross-sektoraler Potentiale ist der effiziente Einsatz von Speichern. Allgemein ist laut [13] unter einem Speicher eine Einrichtung zur Bevorratung, Lagerung und Aufbewahrung von Gütern zu verstehen. Ein Energiespeicher stellt als energietechnische Einrichtung eine spezielle Form der Speicher dar und beinhaltet drei Prozesse: das Einspeichern (Laden), das Speichern und das Ausspeichern (Entladen). Innerhalb eines Energiespeichers wird die Energie in der zugeführten Energieform gespeichert, in eine andere Energieform gewandelt und anschließend gespeichert oder in einen Energieträger überführt, der anschließend als Speichermedium dient. Vorrangig dienen Energiespeicher dem zeitlichen Ausgleich von Energieangebot und -nachfrage, während Energienetze für den räumlichen Ausgleich zuständig sind. Zu weiteren Aufgaben der Energiespeicher zählt die Sicherstellung von Versorgungsqualität, also die Zuverlässigkeit der Stromversorgung sowie die Spannungsqualität und Stabilität der Netzfrequenz. Energiespeicher können unter anderem in primäre, also Energiespeicher, die nur einmal geladen und entladen werden können, und sekundäre Energiespeicher, die mehrmalig geladen und entladen werden können, unterschieden werden. Eine weitere Möglichkeit der Unterscheidung ist die Differenzierung sektoraler und sektorenkoppelnder Energiespeicher [14]. Während sektorale Energiespeicher rein in einem Energiesektor eingesetzt werden, das Ein- und Ausspeichern somit bidirektional im selben Sektor stattfindet, dienen sektorenkoppelnde Energiespeicher dazu, Energie aus einem Sektor zu Speicher- und Nutzungszwecken in einen anderen zu transferieren, um dort synergetische Vorteile zu nutzen [15]. Klassische Beispiele für sektorale Energiespeicher sind Pumpspeicher und Batteriekraftwerke im Stromsektor, klassische Pufferspeicher und Latentwärmespeicher (PCM) im Wärmesektor sowie Kraftstofftanks im Verkehrssektor. Der Gasspeicher stellt hierbei eine Besonderheit dar, da er aus Sicht des Gassektors ein sektoraler Speicher ist, jedoch ebenso in den Sektoren Strom, Wärme, Verkehr und Industrie zum Einsatz kommt. Die Kopplungen der einzelnen Sektoren in Abbildung 1 stellen sektorenkoppelnde Energiespeicher, wie beispielsweise die Nutzung von Power-To-Heat (1) oder Elektromobilität (6) dar.



Weitere Möglichkeiten der Klassifizierung von Energiespeichern sind unter anderem:

- physikalisch-energetisch: elektrisch, elektrochemisch/chemisch, mechanisch, thermisch
- energetisch: Leistung, Energie
- zeitlich: Kurzzeit (< 24 h), Langzeit (> 24 h)
- räumlich: zentral, dezentral, ortsfest, mobil
- ökonomisch: Märkte, Kapitalkosten, Betriebskosten

Innerhalb der Literatur besteht weitestgehend Konsens, dass die Sektorenkopplung im Allgemeinen die Kopplung der Energiesektoren Strom, Gas und Wärme, unter Verwendung verschiedener Energiewandlungs- und -speichertechnologien umfasst. Allerdings ist eine Einbeziehung bzw. Betrachtung weiterer Sektoren wie Industrie und Verkehr umstritten. Die technisch weitgehend ausgereifte Kopplung der Sektoren Strom und Wärme mittels Power-To-Heat wird in einer Vielzahl von Forschungsprojekten hinsichtlich der Systemintegration untersucht, während weitere Sektorenkopplungsbereiche wie Power-To-Liquid oder Power-To-Chemicals bislang nicht tiefer erforscht wurden und sich die Technologien überwiegend im Prototypenstadium befinden. Auch die Kopplung des Verkehrssektors mit dem Stromsektor mittels Elektrofahrzeugen, insbesondere der Vehicle-To-Grid Ansatz, bietet in vielen Bereichen wie dem intelligenten Laden (und Entladen), Standardisierung und Batterieentwicklung Forschungsbedarf. [8] [10] [13]





3 Methodik

Im Folgenden werden das Vorgehen und die Methodik der Tiefenbohrung näher beschrieben.

3.1 Vorgehen

Die Basis der Auswertung zum Thema Sektorenkopplung stellen die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekte dar, deren Projektabschluss nach dem Stichtag des 01.01.2016 liegt und somit von der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN analysiert und ausgewertet werden. Innerhalb der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN werden derzeit 969 Projekte für Auswertungen einbezogen¹.

Um einen Überblick über die für die Sektorenkopplung relevanten Begrifflichkeiten zu erhalten, wird zunächst ein umfangreicher Schlagwortkatalog erstellt. Dieser ist in Abschnitt 3.2. dargestellt und soll gleichzeitig als Basis für eine Filterung der Projekte innerhalb der "Digitalen Projektlandkarte" dienen. [16]

Anhand dieser Schlagworte werden die Projekte gefiltert und somit eine Auswahl der Projekte vorgenommen, die eine grobe thematische Zuordnung zur Sektorenkopplung erlauben. Um eine möglichst umfangreiche Auswahl zu erhalten, werden unterschiedliche Quellen für die Filterung der Projekte verwendet:

• Digitale Projektlandkarte

Die digitale Projektlandkarte ist ein zentrales Element der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN. Sie dient zum einen öffentlichkeitswirksamen Darstellung betreuten der Forschungsprojekte und zum anderen als erste Instanz einer statistischen Querauswertung. Die zugrundeliegende Datenbank der Projektlandkarte verwaltet sämtliche Projektinformationen hinsichtlich der wesentlichen Kennwerte aus Wissenschaftlichen Begleitforschung. Die dargestellten Informationen stammen aus dem projektspezifischen Fragebogen sowie der Informationsplattform EnArgus, die nachfolgend beschrieben werden [16]

Online-FragebogenderWissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN Innerhalb des Fragebogens der Wissenschaftlichen Begleitforschung, der in regelmäßigen Abständen an alle Zuwendungsempfänger des BMWi im Forschungsbereich Energie in Gebäuden und Quartieren versendet wird, werden detaillierte Daten der Projekte abgefragt, die anschließend in einer Datenbank hinterlegt werden. Ziel des Online-Fragebogens ist es, aus allen Forschungsvorhaben aus dem Bereich ENERGIEWENDEBAUEN eine detailreiche Erfassung von allgemeinen Projektinformationen, objekt- und technologiespezifischen Daten sowie energetischen und ökonomischen Kenndaten zu generieren.

¹Berücksichtigt wurden Projekte, deren Abschluss nach dem 01.01.2016 liegt (Fokus der Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN, Stand 04.12.2018)



- Informationsplattform EnArgus
 Im Projekt EnArgus ist ein zentrales Informationssystem entstanden, das Politik,
 Projektträgern und der interessierten Öffentlichkeit einen zentralen Zugang
 zur Energieforschung in Deutschland ermöglicht. Bislang wurden rund 22.000
 geförderte Forschungsvorhaben seit dem Jahr 1968 erfasst. [17] Über diese Informationsplattform können grundsätzliche Projektinformationen wie beispielsweise
- Projektlisten und weiterführende Daten
 Durch den Projektträger Jülich erhielt die wissenschaftliche Begleitforschung
 Zugang zu Listen, in denen alle relevanten Projekte mit einer Kurzbeschreibung
 dargestellt sind. Weitere Informationen wurden bei Bedarf bei den jeweiligen
 Projekten eingeholt.

Kurzbeschreibungen oder ausführende Stellen ermittelt werden.

Innerhalb der zuvor benannten Quellen wird nach den eingangs aufgestellten Schlagworten gesucht und alle relevanten Projekte aus dem Projektpool herausgefiltert. Das Ergebnis der Filterung wird in einer Matrix erfasst und damit die anschließende Auswertung der Daten relevanter Projekte vorbereitet. Zusätzlich werden Abschlussberichte und weitere verfügbare Datenquellen aus den einzelnen Forschungsprojekten gesammelt und in die Auswertung einbezogen. Hierbei soll jedem Projekt ein Hauptthema sowie bis zu drei Nebenthemen zugeordnet und damit die Matrix ergänzt werden. Zudem werden die bei der Durchführung identifizierten wesentlichen Frage- und Problemstellungen, die sich beim verwendeten Vorgehen ergeben, aufgenommen, um den Umgang mit dem System sowie die Filterergebnisse zu verbessern. Zusätzliche Informationen wie Fördersumme, Projektphasen und relevante Kenngrößen werden ebenfalls erhoben und in der Matrix hinterlegt. Vereinzelt wird ein direkter Kontakt zu ausgewählten Förderprojekten hergestellt, um punktuell detailliertere Informationen abzufragen und somit z. B. Best-Practice-Erfahrungen und weitere Erkenntnisse zu erhalten.

Anhand der erhobenen Daten werden im nächsten Schritt Auswertungen vorgenommen und somit ein Überblick über die wesentlichen Themenstellungen, Forschungsfragen und aufgetretenen Hemmnisse und Problemstellungen innerhalb der Projekte im Themenbereich Sektorenkopplung erstellt.

Um die erzielten Ergebnisse vergleichen und zielführend einordnen zu können, werden im letzten Schritt zu den einzelnen Themengebieten der Sektorenkopplung wissenschaftliche Publikationen zusammengetragen, ausgewertet und somit wesentliche Forschungsfragen aus der internationalen Forschungslandschaft identifiziert.

Die beschriebene Methodik ist ergänzend in Abbildung 2 dargestellt.





Abbildung 2: Methodik der Querschnittsauswertung

3.2 Schlagwortkatalog

Um einen Überblick über die für die Sektorenkopplung relevanten Begrifflichkeiten zu erhalten, wird, wie bereits beschrieben, zunächst ein umfangreicher Schlagwortkatalog erstellt. Die im Schlagwortkatalog enthaltenen Begriffe sind nachfolgend aufgelistet und dienen als Basis für die Suche und Auswertung relevanter Projekte.

Die erstellten Schlagworte für die Filterung lauten in alphabetischer Reihenfolge:

- Biomethan-Aufbereitung
- Blockheizkraftwerk (BHKW)
- Brennstoffzellenkraftwerke
- CO₂-Emission
- Dekarbonisierung
- Demand-Side-Management (DSM)/ Laststeuerung
- Elektromobilität/E-Fahrzeuge
- Elektrifizierung (Dezentralisierung; Unabhängigkeit von z. B. fossilen Energieträgern)
- Erdgas
- Fluktuation Erneuerbarer Energien (EE)
- Gas-und-Dampf-Kraftwerke (GuD)
- Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)/ Mikro-KWK
- Mieterstrom
- Photovoltaik
- Power-To-X (hierzu gehören u. a. Power-To-Heat (P2H), Power-To-Gas (P2G),
 Power-To-Liquid (P2L))
- Sektorenkopplung/Sector coupling
- Solarthermie
- Speicher
- Smart-Grid (intelligentes Stromnetz)
- Vehicle-To-Grid
- Wärmepumpe



Einige mehrdeutig interpretierbare Begrifflichkeiten des Schlagwortkatalogs werden nachfolgend kurz erläutert.

Die Dekarbonisierung des Energiesystems bedeutet die Minimierung bzw. Vermeidung von energiebedingten CO₂-Emissionen, durch Substitution fossiler Energieträger mittels der Umstellung und Nutzung neuer/innovativer Technologien insbesondere aus den Bereichen der Erneuerbarer Energien und der Energieeffizienz sowie Sektorenkopplung. Während das Demand-Side-Management (DSM) ein Konzept zur Laststeuerung mit dem Ziel der Flexibilisierung der Stromnachfrage und der Reduzierung von Energiebezugskosten darstellt. Im Kontext der Energiewende bieten DSM Maßnahmen Möglichkeiten (in einem beschränkten Rahmen) den Stromverbrauch (bzw. die Stromnachfrage) an die fluktuierende Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen anzupassen.

Dezentralisierung stellt eine weitere mehrdeutige Begrifflichkeit dar und bedeutet im vorliegenden Bericht eine im gesamten Energiesystem (in der Fläche bzw. räumlich) verteilte Energiebereitstellung.

Durch eine Suche unter Verwendung der zuvor benannten Schlagworte wurden insgesamt 129 Projekte² identifiziert. Aus einer ersten Auswertung der Kurzbeschreibungen, konnten 39 Projekte für eine weiterführende Analyse bestimmt werden. Diese folgt im nachfolgenden Kapitel.

² Stand: 17.06.2018



4 Auswertungen

Wie bereits beschrieben, wurden auf Basis des Schlagwortkataloges relevante Projekte identifiziert und diese nach ihrer vorhandenen Datenbasis kategorisiert. Bei ausreichender Datenlage wurden die Projekte näher hinsichtlich ihrer thematischen Verteilung sowie möglicher Fragestellungen und Hemmnissen ausgewertet. Diese Auswertungen werden in diesem Kapitel näher betrachtet.

4.1 Thematische Verteilung relevanter Projekte der Förderinitiative ENERGIEWENDEBAUEN

Durch eine erste Suche unter Verwendung der in Abschnitt 3.2 benannten Schlagworte wurden insgesamt 129 Projekte³ identifiziert. Aus einer ersten Auswertung der Kurzbeschreibungen, konnten 39 Verbundprojekte aufgrund ihrer umfassenden Datenbasis für eine weiterführende Analyse bestimmt werden. Projekte wurden anschließend tabellarisch hinsichtlich ihres thematischen Schwerpunktes sowie bis zu drei weiteren Themengebiete ausgewertet. Verbundprojekte wurden hierbei als ein Projekt zusammengefasst, um so eine Dopplung von Schwerpunkten zu vermeiden. Die 39 Verbundprojekte entsprechen insgesamt 106 Einzelprojekten.

Werden die insgesamt 39 relevanten Verbundprojekte betrachtet, die insgesamt 106 Einzelprojekte darstellen, ergibt sich eine Gesamtsumme der Förderung von 58.020.022,81 €. Eine nähere Analyse dieser Fördergelder bezogen auf die thematischen Schwerpunkte wird nicht vorgenommen, da ein Projekt mehrere thematische Ausrichtungen verfolgen kann und somit eine Auswertung größere Ungenauigkeiten beinhalten würde.

Innerhalb der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN werden die Förderprojekte in sechs Kategorien geclustert. Eine Zuordnung zu den Kategorien erfolgt entweder innerhalb des in Abschnitt 3.1 beschriebenen Online-Fragebogens durch die Projekte selbst, oder durch die Wissenschaftliche Begleitforschung auf Grundlage der verfügbaren Daten. Eine Zuordnung in mehrere Kategorien ist möglich. Die Verteilung der Projekte des Themenbereichs Sektorenkopplung ist in Abbildung 3 dargestellt.

³ Stand: 17.06.2018





Abbildung 3: Verteilung der relevanten Projekte in Kategorien der Wissenschaftlichen Begleitforschung

Hierbei wird deutlich, dass die analysierten Projekte oftmals den Kategorien Tools, Neue Technologien, Methoden und Konzepte sowie Quartiere zugeordnet werden können. Um diese Ergebnisse besser einordnen zu können, wird die prozentuale Verteilung in die jeweiligen Kategorien in Tabelle 1 mit der Verteilung aller Projekte, die durch die Wissenschaftliche Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN betreut werden und eindeutig mindestens einer Kategorie zugeordnet werden konnten, verglichen. Diese stellen insgesamt 422 Projekte⁴ dar.

Im Vergleich fällt auf, dass die relevanten Projekte des Bereichs Sektorenkopplung alle Kategorien gleichmäßiger abdecken und insbesondere Quartiere einen wesentlich höheren Anteil an Projekten abdecken (18,3 %), als in der Verteilung über alle Projekte (8,0 %). Der Themenbereich Sektorenkopplung ist demnach für alle Projektkategorien von Bedeutung, da Synergien zwischen den energierelevanten Bereichen analysiert werden.

Tabelle 1: Verteilung der relevanten und aller ENERGIEWENDEBAUEN-Projekte in Kategorien der Wissenschaftlichen Begleitforschung

Projektkategorie	Alle Projekte ENERGIEWENDEBAUEN⁵	Projekte Sektorenkopplung
Neue Technologien	29,6 %	19,7 %
Methoden und Konzepte	22,0 %	18,3 %
Tools und Planungswerkzeuge	14,0 %	19,7 %
Quartiere	8,0 %	18,3 %
Gebäude	19,0 %	14,0 %
Versorgungsnetze	7,4 %	10,0 %

⁴43,5 % der 969 Projekte der Förderinitiative ENERGIEWENDEBAUEN (Stand: 12.11.2018)

⁵ Stand:12.11.2018



Innerhalb der Auswertungen wurden jedem Projekt ein Hauptthema sowie bis zu drei Nebenthemen zugeordnet und damit die vorher erstellte Matrix ergänzt. Somit konnten jedem Projekt bis zu vier Themengebiete zugeordnet werden. Die Verteilung der Themengebiete der Sektorenkopplungsprojekte ist in Abbildung 4 dargestellt. In die Auswertung sind dabei nur Themengebiete aufgenommen worden, die in mehr als einem Projekt behandelt wurden.

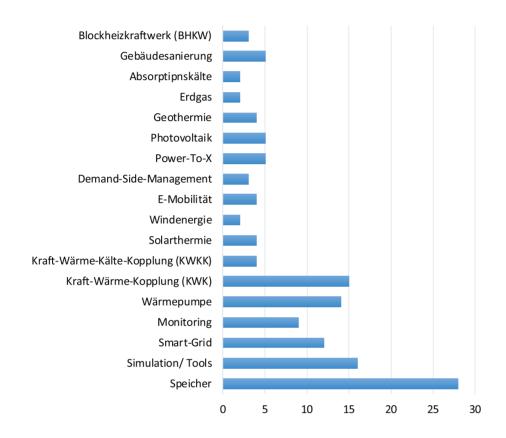


Abbildung 4: Themengebiete der Sektorenkopplungsprojekte

Durch die Darstellung wird deutlich, dass das Themengebiet der Energiespeicher am häufigsten innerhalb der für die Sektorenkopplung relevanten Projekte behandelt wird. Dies liegt darin begründet, dass für eine Kopplung verschiedener Energiesektoren zur Flexibilisierung und Dekarbonisierung des Energiesystems sowie zur Nutzung von Synergieeffekten zwischen den einzelnen Sektoren verschiedene Energiespeicher (thermische, elektrische und stoffliche Speicher) erforderlich werden. Wind- und Sonnenkraft sind volatile Energiequellen, das bedeutet, dass sie zu verschiedenen Zeiten unterschiedlich viel Energie erzeugen. Wenn die erzeugte Energie nicht vollständig verwendet kann, muss diese zwischengespeichert werden, um eine Nutzung zu einem späteren Zeitpunkt zu ermöglichen. Speichertechnologien können hierbei dazu beitragen, das Energiesystem effizienter zu gestalten und den Ausstoß von Treibhausgasen sektorenübergreifend zu reduzieren [18]. Da hierbei noch weiterer Optimierungsbedarf besteht sowie die Speichertechnologien eine wesentliche Rolle im



Bereich der Sektorenkopplung darstellen, nehmen sich 28 der 39 geförderten Projekte dieser Thematik an.

Die Transformation der Energieversorgungsstruktur hin zu einem System mit hohem Anteil an Erneuerbaren Energien (EE) bewirkt eine aktuell beobachtbare Umstrukturierung von zentralen sowie dezentralen Einrichtungen. Um beispielsweise Quartiere entsprechend der zukünftigen Anforderungen gestalten zu können, bedarf es neuer umfangreicher Tools und Planungswerkzeuge. Daher konnte in 16 der 39 Projekte ein Bezug zu Tools und Planungswerkzeugen festgestellt werden.

Innerhalb der Wärmeerzeugung repräsentiert die Wärmepumpe den wesentlichen Gedanken der Sektorenkopplung: Wärmepumpen nehmen mit Hilfe von Strom vorhandene Umweltwärme aus der Luft, der Erde, oder dem Grundwasser auf, um daraus Wärme auf Nutztemperaturniveau bereitzustellen. Damit Wärmepumpen CO₂-neutral arbeiten können, müssen sie mit regenerativ erzeugtem Strom aus beispielsweise Wind-, Solarkraft, Biogas-Blockheizkraftwerke (BHKW) oder über den Bezug grünen Stroms eines Energieversorgers betrieben werden [19]. Daher wird in Förderprojekten, die sich mit dem Einsatz und der Optimierung von Wärmepumpen befassen, ebenfalls die Nutzung von Solarthermie, Windenergie oder eines BHKW analysiert.

Um Synergien zwischen den einzelnen Sektoren nutzen zu können, werden unterschiedliche Verbindungselemente wie Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) sowie alle Power-To-X-Technologien genutzt und spielen daher innerhalb der Projekte, die einen cross-sektoralen Schwerpunkt besitzen, eine große Rolle.

Grundsätzlich umfasst die Sektorenkopplung sowohl eine energetische als auch eine strukturelle Kopplung des Energiesystems. Die energetische Kopplung der Sektoren bezeichnet das Wandeln bzw. Überführen einer Energieform (z. B. Strom) in eine andere Energieform (z. B. Wärme) bzw. Energieträger (z. B. synthetisches Erdgas), während die strukturelle Sektorenkopplung die (technische) Kopplung der verschiedenen Netze zur Verteilung der unterschiedlichen Energieformen bzw. Energieträger beinhaltet. Hierbei spielt das sog. Smart-Grid, also ein intelligentes Stromnetz indem die Energieerzeugung, -speicherung und -verbrauch gesteuert werden können, eine bedeutende Rolle. Daher befassen sich 12 der analysierten Projekte mit dieser Thematik.

Im Jahr 2017 machten Erneuerbare Energien lediglich 5,2 % des Energieeinsatzes im Verkehrssektor aus [20]. E-Mobilität wird daher in vergleichsweise wenigen Projekten behandelt und birgt noch größeren Forschungsbedarf.

Um die Vielfältigkeit der Themengebiete innerhalb der Sektorenkopplung nochmals zu veranschaulichen, ist in Abbildung 5 eine Wordcloud dargestellt, welche auf Grundlage der häufigsten Begrifflichkeiten innerhalb der analysierten Projekte erstellt wurde. Hierbei sind besonders die Themengebiete der einzelnen Sektoren sowie Tools, Speicher und CO₂ wichtige Begriffe, die im Kontext cross-sektoraler Technologien genannt werden. Dies bestätigt die vorangegangenen Analysen.





Abbildung 5: Wordcloud Themengebiete Sektorenkopplung

4.2 Fragestellungen der Sektorenkopplung

Durch die inhaltliche Analyse der Projekte ergibt sich eine Vielzahl an Fragestellungen für den Themenbereich der Sektorenkopplung, die im Folgenden aufgezeigt werden sollen.

Zunächst gilt es die grundlegenden Fragestellungen, die innerhalb der analysierten Projekte untersucht wurden, zu identifizieren. Diese werden in der Fachliteratur immer wieder als Leitfragen der Sektorenkopplung angeführt [13] [21].

- Wie können CO₂-Emissionen und der Primärenergiebedarf weiterhin gesenkt werden? Die Senkung der CO₂-Emissionen und des Primärenergiebedarfs sind grundlegende Ziele der Klimaschutzpolitik der Bundesregierung. Hierbei reichen mögliche Maßnahmen von der vermehrten Nutzung von Elektromobilität über effizientere Speichertechnologien bis zur Gebäudesanierungen und der Anpassung spezifischer Regelungstechnik.
- Welche Möglichkeiten bietet die Kopplung der Energiesektoren Strom, Wärme und Mobilität und welche Grenzen hat sie? In welchen Bereichen ist eine Elektrifizierung sinnvoll und wo sollten andere Lösungsansätze verfolgt werden (wie z. B. die Verwendung synthetischer Kraftstoffe)?
- Wie kann sichergestellt werden, dass durch die vermehrte Nutzung von Strom in neuen Anwendungsbereichen tatsächlich CO₂-Emissionen reduziert werden? Ist es vertretbar, die Technologien heute schon einzuführen, obwohl der Strom noch überwiegend aus fossilen Quellen stammt?



 Welche Rahmenbedingungen und Infrastrukturen sind erforderlich? Wie müssten rechtliche Regelungen (bspw. das EEG), Umlagen und Abgaben angepasst werden? Welche sozialen und politischen Zusammenhänge müssen mitbedacht werden? Wer trägt die Kosten der Transformation?

Weiterhin werden innerhalb der Projekte spezifische Fragestellungen adressiert, die zukünftig ebenfalls für eine Verbindung und Vernetzung einzelner Energiesektoren von Interesse sind. Diese Fragestellungen wurden im Zuge der Auswertung der Projekte gesammelt. Nachfolgend ist ein Überblick der relevanten Fragestellungen zu finden.

- Wie können Stromüberschüsse gespeichert oder in andere Energieformen gewandelt werden?
- Inwiefern müssen Versorgungsnetze ausgebaut werden, um eine langfristige, sichere und dezentrale Versorgung auf Basis Erneuerbarer Energien zu gewährleisten?
- Wie k\u00f6nnen die Versorgungsnetze unterschiedlicher Energietr\u00e4ger und -formen miteinander verkn\u00fcptimiert werden?
- Wie können Fördermechanismen angepasst und gestaltet werden, um den Ausbau cross-sektoraler Ansätze und Technologien zu unterstützen?
- Welche Geschäftsmodelle lassen sich identifizieren, um einen wirtschaftlichen Betrieb von Technologien zur Sektorenkopplung zu erzielen?
- Wie kann die Attraktivität der Elektromobilität für Bürger gesteigert werden?
- Wie können Gebäudesanierungsraten gesteigert und Sektorenkopplungsansätze verbreitet werden?
- In welchem Maß ermöglicht Power-To-X einen höheren EE-Anteil im elektrischen Energiesystem? Kann eine vollständige Dekarbonisierung der Sektoren Verkehr und Chemie erreicht werden?
- Ist Power-To-Gas die einzige Speichertechnologie für Deutschland, die die fluktuierende Energiebereitstellung von EE-Anlagen sowohl räumlich als auch zeitlich ausgleichen kann und gleichzeitig genügend Speicherkapazitäten aufweist?

4.3 Hemmnisse der Sektorenkopplung und Lösungsansätze

Um die Energiesektoren Strom, Wärme, Gas, Verkehr und Industrie nachhaltig und effizient mit einander zu verknüpfen, müssen Technologien eingesetzt werden, die eine Kopplung der unterschiedlichen Sektoren ermöglichen. Derzeit besteht jedoch noch eine Vielzahl an Hemmnissen, die einen umfassenden Einsatz dieser Technologien und somit auch die Nutzung von (zeitlichen und räumlichen) Synergieeffekten hindern. Die identifizierten Hemmnisse lassen sich grundsätzlich in drei Kategorien einteilen: technisch, regulatorisch und sozioökonomisch.

Nachfolgend werden keine einzelnen technologiespezifischen Problemstellungen und Hemmnisse der Sektorenkopplung dargestellt, sondern verallgemeinerbare, die verschiedene Sektorenkopplungstechnologien betreffen.

Die aufgeführten Hemmnisse hindern allerdings nicht ausschließlich die weitere Verbreitung von Technologien zur Sektorenkopplung, sondern gelten teilweise ebenfalls als Hinderung in anderen Bereichen wie dem Demand-Side-Management (DSM), die für die Sektorenkopplung wiederrum eine wichtige Rolle spielen kann.



4.3.1 Hemmnisse

Die Hemmnisse, die einer weiteren Verbreitung der Sektorenkopplung entgegenstehen, sind vielschichtig und zum Teil verzahnt. Nachfolgend werden die Hemmnisse benannt und kurz erläutert, die sowohl innerhalb der analysierten Projekte, als auch in der Wissenschafts- und Fachwelt vorrangig angebracht und diskutiert werden. Am Ende des Abschnitts sind die Hemmnisse zusammenfassend in einer Tabelle dargestellt, die ebenfalls die, zusätzlich zu den Erkenntnissen aus den Projekten, verwendeten Quellen enthält.

Kein Anreiz zur Flexibilisierung des Strombezugs

Die Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV) regelt die Bedingungen und Kosten für den Zugang zum öffentlichen elektrischen Versorgungsnetz. Für sog. atypische Netznutzer ist nach §19 Abs. 2 StromNEV eine teilweise Befreiung von Netzentgelten möglich. Die Vereinbarung individueller Netzentgelte ist für Abnehmer möglich, die einen signifikanten Anteil an der Netzlast im angeschlossen Netz aufweisen oder einen jährlichen Verbrauch vom mehr als 10 GWh verursachen. Die Staffelung der Erlassung der Netzentgelte ist geregelt und richtet sich nach den sog. Vollbenutzungsstunden am Netzanschlusspunkt des Verbrauchers. Die Vollbenutzungsstunden eines Verbrauchers gibt eine Aussage über das Energiebezugsverhalten des Nutzers. Umso höher die Vollbenutzungsstunden eines Verbrauchers sind, umso gleichmäßiger stellt sich der Leistungsbezug am Netzanschlusspunkt dar. Die Regelung sieht eine Befreiung bis 80 % bei 7.000 Vollbenutzungsstunden vor und reicht bis 90 % bei Verbrauchern die mehr als 8.000 Vollbenutzungsstunden vorweisen. Folglich wird durch diese Regelung der möglichst gleichmäßige Energiebezug aus dem elektrischen Versorgungsnetz unterstützt. In einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung, ist wiederrum Flexibilität gefragt, um den Energieverbrauch an das schwankende Dargebot anpassen zu können. Eine Option den elektrischen Energiebezug zu flexibilisieren stellen Sektorenkopplungstechnologien dar, die gleichzeitig dazu dienen können energiebedingte CO.,-Emissionen in anderen Sektoren zu reduzieren. Doch derzeit haben Verbraucher, insbesondere Industrieunternehmen, die das Sonderrecht reduzierter Netzentgelte genießen, keinen Anreiz dem Energiesystem Flexibilität anzubieten, wenn dadurch das Privileg der reduzierten Netzentgelte entfallen könnte. Des Weiteren verursacht die bezogene Jahreshöchstleistung (Jahresspitze) Kosten für Verbraucher. Es ist davon auszugehen, dass eine Flexibilisierung des Energiebezugs und Einsatz von Sektorenkopplungsoptionen die Bezugsleistung am Netzanschlusspunkt zeitweise erhöht. Entsprechend existiert ebenfalls kein Anreiz, die Bezugsleistung zu systemdienlichen Zeitpunkten am richtigen Ort (hohe EE-Erzeugung) zu erhöhen oder im Gegenzug zu reduzieren (niedrige EE-Erzeugung).

Unterschiedliche Bepreisung von Energieträgern

Konventionelle Technologien bei denen fossile Energieträger Einsatz finden und entsprechende ${\rm CO_2}$ -Emissionen verursachen, sind derzeit zumeist finanziell attraktiver für den Nutzer. Die Kosten für die zum Einsatz kommenden Energieträger spiegeln die ${\rm CO_2}$ -Intensität meist gar nicht bzw. nur begrenzt wieder. Somit stehen sektorengekoppelte ${\rm CO_2}$ -arme Produkte in direkter Konkurrenz zu Produkten, die nicht alle externen



Kosten beinhalten. Bei der Betrachtung von Power-To-Heat Technologien wird dies besonders deutlich. Die mit dieser Technologie bereitstellbare Wärme konkurriert direkt mit konventionellen Technologien zur Wärmeerzeugung unter Einsatz fossiler Energieträger. In Deutschland wird elektrische Energie stärker mit Abgaben, Umlagen und Steuern belastet als fossile Energieträger. Die Energiewende soll über Umlagen finanziert werden, doch bislang liegen weitgehend alle entsprechenden Umlagen ausschließlich im Stromsektor. Alle anderen Sektoren bzw. Energieformen und -träger (insbesondere Fossile) haben keine solchen expliziten Umlagen zur Unterstützung der Finanzierung der Energiewende. Woraus für Technologien zur Sektorenkopplung, insbesondere beim Stromeinsatz ein Wettbewerbsnachteil entsteht. Das Hemmnis resultiert letztlich aus unterschiedlichen Rahmenbedingungen an den Energiemärkten, insbesondere die unterschiedliche Belastung durch Abgaben, Steuern und Umlagen. Und führt zu Verzerrungen an den Schnittstellen zwischen den Sektoren und erschwert eine integrative Optimierung des Energiesystems.

Bewirtschaftung der Übertragungs- und Verteilnetze

Das Reglement zur Bewirtschaftung der Übertragungs- und Verteilnetze berücksichtigt nicht die physisch tatsächlich nutzbaren Übertragungskapazitäten. In diesem Zusammenhang führt die Bewirtschaftung von Deutschland als eine Preiszone immer wieder zu Netzengpässen zwischen den Verbraucherzentren im Süden und Westen und den Regionen mit hoher EE-Erzeugung (insbesondere Windkraft) im Norden und Osten Deutschlands. Der §13 Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) regelt die kurzfristigen Notmaßnahmen zum Ausgleich der Netzengpässe und beinhaltet in aller Regel das Herunterfahren von EE-Anlagen durch das Einspeisemanagement (§13 Abs.2 EnWG) und das Hochfahren von thermischen (zumeist fossilen) Kraftwerken. Die nicht vorhandene Regulierung der Bewirtschaftung von Netzengpässen sowie nicht transparente Beschaffungsprozesse verhindern die Nutzung von Sektorenkopplungstechnologien, die ebenfalls geeignet sind Netzengpässe zu begegnen bzw. auszugleichen.

Systemdienstleistungen

Neben der Bereitstellung von Regelleistung können Sektorenkopplungstechnologien weitere Systemdienstleistungen erbringen. Hierzu gehören Schwarzstartfähigkeit, Spannungshaltung und Redispatch-Maßnahmen zur Vermeidung von Netzengpässen (siehe hierzu auch Hemmnis: Bewirtschaftung der Übertragungs- und Verteilnetze). Obschon auch im Verteilnetz Netzengpässe auftreten, sind Verteilnetzbetreiber nicht verpflichtet, die Netze aktiv zu bewirtschaften. Entsprechend finden keine lokalen Vermeidungs- und Ausgleichsmaßnahmen unter dem möglichen Einsatz von Technologien zur Sektorenkopplung statt. Im Bereich des elektrischen Verteilnetzes ist die nicht ausreichende Digitalisierung und Vernetzung räumlich verteilter Energiespeicher- und weiterer Flexibilitätsoptionen, wie cross-sektorale Energieanwendungen ein Hemmnis zur Umsetzung eines koordinierten, systemdienlichen Anlagenbetriebs (siehe hierzu auch Hemmnis: Stand der Digitalisierung in der Energieinfrastruktur).

Stand der Digitalisierung in der Energieinfrastruktur

Die nicht ausreichende Digitalisierung der Energieinfrastruktur verhindert die Interoperabilität und den koordinierten Betrieb von Technologien in unterschiedlichen



Energiesektoren. Dies hemmt insbesondere Sektorenkopplungstechnologien durch den Mehraufwand für die Integration der Digitaltechnik in verschiedenen Infrastrukturen. Darüber hinaus bildet eine offen zugängliche, kompatible und sichere Infrastruktur für die Information- und Kommunikationstechnik (IKT) die Grundvoraussetzung für den optimierten Einsatz von Technologien zur Sektorenkopplung. Somit unterbindet der derzeitige Zustand ein effektives sektorenübergreifendes Energiemanagement (mit der Möglichkeit der aktiven Beeinflussung von Betriebsmitteln und Optionen der Sektorenkopplung auf der Verbraucherseite (z. B. eMobility)).

Kein Wechsel zwischen Vermarktungsmodellen von EE-Anlagen

Die derzeit gültige Fassung des EEG sieht die Vermarktung von EE-Anlagen nach dem Marktprämienmodell vor. Dieses Vergütungsmodell bedingt, dass die bereitgestellte Energie in das Versorgungsnetz eingespeist wird. Es besteht zusätzlich die Möglichkeit EE-Anlagen unabhängig vom EEG direkt zu vermarkten, allerdings nur unter Verzicht des garantierten Netzzugangs und der Marktprämienvergütung. Ein Wechsel zwischen beiden Vermarktungsmodellen innerhalb des Förderzeitraums ist nicht vorgesehen und verhindert eine flexiblere Nutzung der Anlagen. Das im EEG verankerte Gebot der vollständigen Einspeisung im Marktprämienmodell unterbindet somit die intelligente Nutzung von abgeregelten Strommengen, die im Grunde zur Bedarfsdeckung in anderen Sektoren genutzt werden könnte.

Nachteile für dezentrale elektrische Energiespeicher

Die Markteinführung dezentraler Speicher wurde nicht durch die Einführung neuer bzw. Anpassung bestehender Regularien begleitet. Der Wert der Zwischenspeicherung für das Energiesystem wird derzeit nicht berücksichtigt. Regulatorisch stellt die Entnahme elektrischer Energie aus dem Versorgungsnetz zum Beladen des Speichers ein Verbrauch der Energie dar und die Netzeinspeisung durch Entladen des Speichers die Erzeugung elektrischer Energie. Allerdings führt der Sachverhalt, dass Abgaben, Umlagen und Steuern beim Verbraucher fällig werden dazu, dass die gespeicherte elektrische Energie doppelt belastet wird. Zum einen beim Einspeichern (beladen) und zum anderen beim Verbrauch der ausgespeicherten (entladen) Energie.

Mangelnde Verbreitung neuartiger, innovativer Technologien zur Sektorenkopplung

Innovative und neuartige Sektorenkopplungstechnologien haben durch die Forschungsförderung das Grundlagenstadium verlassen. Aufgrund der geringen Verbreitung der Technologien sind die Kosten und Zuverlässigkeit derzeit nicht gleichwertig mit konventionellen Alternativen. Das Durchschreiten der Lernkurven durch die Weiterverbreitung und Nutzung dieser Sektorenkopplungstechnologien im größeren Maßstab trägt zur Kostenreduktion bei und verbessert deren wirtschaftliche Attraktivität.

Regulatorische Konstanz

Für Unternehmen ist eine Prognose der Entwicklung der regulatorischen Rahmenbedingungen über einen mittelfristigen Zeitraum schwierig zu treffen. Dies betrifft sowohl die Seite der Gesetzgebung als auch die damit in Verbindung stehenden Fördermechanismen, wodurch mögliche Investitionen im Bereich der Sektorenkopplungsoptionen gebremst werden. Daher bauen bspw. Netzbetreiber ihre Netze kaum aus, da Unklarheit darüber



besteht, ob diese im Nutzungs- bzw. Abschreibungszeitraum wirtschaftlich betrieben werden können oder zukünftig womöglich lokale Lösungen im regulatorischen Vordergrund stehen. Energieversorgungsunternehmen und Hersteller (kundenabhängig) können die Entwicklung folglich nicht abschätzen und wissen in letzter Konsequenz nicht, welche Lösungen sich auch als wirtschaftlich nachhaltig darstellen. Die derzeitige Förderlandschaft besitzt lediglich eine überschaubare Anzahl an Förderprogrammen auf Bundes- und Länderebene, die technologische Entwicklungen der Sektorenkopplung zielführend unterstützen. Da zusätzlich teilweise zersplitterte Antragsverfahren vorliegen, liegt hierdurch ein weiteres Hemmnis für Forschungseinrichtungen vor.

Akzeptanz

Die zum Teil mangelnde (und konträre) Akzeptanz der verschiedenen Akteure (Bevölkerung (Nutzer), Wirtschaft und Politik) gegenüber einigen Technologien und Ansätzen zur Verbreitung sektorenübergreifender Energienutzung stellt ebenfalls ein signifikantes Hemmnis dar. Innerhalb der Bevölkerung müssen komplexe Technologien möglichst einfach und plausibel erklärt und dargestellt werden, ohne hierbei zu hohe Energiekosten zu verursachen. Dem gegenüber stehen wirtschaftliche Interessen von Unternehmen und Verbänden sowie politische, beziehungsweise parteienspezifische Ansichten und Strategien zur Umsetzung der Energiewende.

Abschließend und zusammenfassend zeigt die nachfolgende Tabelle 2 die identifizierten, allgemeinen Hemmnisse der Sektorenkopplung. Darin wurden die Hemmnisse den Bereichen technisch, regulatorisch und sozioökonomisch zugeordnet und die verwendeten inhaltlichen Quellen angegeben.

Tabelle 2: Übersicht allgemeiner Hemmnisse der Sektorenkopplung

Hemmnis	Bereich	Quelle
Kein Anreiz zur Flexibilisierung des Strombezugs	Regulatorisch	[8]
Unterschiedliche Bepreisung von Energieträgern	Regulatorisch	[8], [22], [23]
Bewirtschaftung der Übertragungs- und Verteilnetze	Regulatorisch	[8]
Systemdienstleistungen	Regulatorisch	[8]
Stand der Digitalisierung in der Energieinfrastruktur	Regulatorisch	[8], [22]
Kein Wechsel zwischen Vermarktungsmodellen von EE-Anlagen	Regulatorisch	[8]
Nachteile für dezentrale elektrische Energiespeicher	Regulatorisch	[8], [22]
Mangelnde Verbreitung neuartiger, innovativer Technologien zur Sektorenkopplung	Technisch	[8]
Regulatorische Konstanz	Regulatorisch	[22]
Akzeptanz	Sozioökonomisch	[22]

Durch die tabellarische Zusammenfassung der benannten Hemmnisse wird ersichtlich, dass der überwiegende Teil der Hemmnisse im Bereich der regulatorischen Rahmenbedingungen gesehen werden. Insbesondere die unterschiedliche Bepreisung von Energieträgern und die damit in Verbindung stehenden Rahmenbedingungen an den Energiemärkten werden häufig als Hemmnis für die Weiterverbreitung der Sektorenkopplung und zugehöriger Technologien genannt. Ebenfalls stellen die fehlen-



den Anreize zur Flexibilisierung des elektrischen Energiebezugs (insbesondere von Großabnehmern) Hemmnisse für die Anpassungsfähigkeit der Verbrauchsseite an die zeitlich und räumlich schwankende Energiebereitstellung aus erneuerbaren Quellen dar. Entsprechend wird dadurch gleichzeitig die weitere Verbreitung von Sektorenkopplungstechnologien verhindert, die zum einen geeignet sind, dass Energiesystem zu flexibilisieren und zum anderen einen Beitrag leisten können, dass Energiesystem zu dekarbonisieren und die Klimaschutzziele auch abseits des Stromsektors zu unterstützen. Neben dem fehlenden Anreiz den Energiebezug zu flexibilisieren, stellt ebenfalls der nicht ausreichende Stand der Digitalisierung in der Energieinfrastruktur ein Hemmnis für die Umsetzung einer Flexibilisierung des Strombezugs auf der Verbraucherseite dar.

4.3.2 Lösungsvorschläge und -ansätze

Zur Lösung der im vorangegangenen Kapitel benannten, allgemeinen Hemmnisse der Sektorenkopplung werden in der Fach- und Wissenschaftswelt u. a. nachfolgende Vorschläge und Ansätze diskutiert. In Tabelle 3 sind die Lösungsvorschläge den adressierten Hemmnissen aus Tabelle 2 zugeordnet.

Tabelle 3: Hemmnisse und Lösungsvorschläge

Hemmnis	Lösungsvorschlag / Lösungsansatz	Quelle
Kein Anreiz zur Flexibilisie- rung des Strombezugs	Netzentgelte flexibilisieren, EEG-Umlage flexibilisieren,	[8] [8]
f	 Harmonisierung der Rahmenbedingungen an den Energiemärkten hinsichtlich Steuern, Abgaben und Umlagen, Vereinheitlichte energieträger- und sektorenübergreifende 	[23]
Unterschiedliche Bepreisung	Preise für CO ₂ -Emission	[23]
von Energieträgern	Reformierung des europäischen Emissionshandels,	[23]
	 Stromsteuer durch sektorenübergreifende CO₂-Bepreisung ersetzen, Einführung einer CO₂-Steuer 	[8] [22]
	Netzentgelte flexibilisieren	[8]
	 Netzentgelte in Infrastrukturabgabe überführen 	[8]
Bewirtschaftung der Übertra- gungs- und Verteilnetze	 Einführung regionaler, grenzübergreifender Strompreiszonen Alternative Nutzung von Strom-Überangeboten ermöglichen 	[23]
Systemdienstleistungen	Digitalisierung im Versorgungsnetz verbessern Schaffen von Anreizen und Geschäftsmodellen für umfangreichen Roll-Out von IKT-Strukturen	[22] [22]
Stand der Digitalisierung in der Energieinfrastruktur	 Einführung eines hersteller- und anbieterübergreifenden IKT-Standards Schaffen von Anreizen und Geschäftsmodellen für umfang- 	[22]
Kein Wechsel zwischen Ver-	reichen Roll-Out von IKT-Strukturen	[22]
marktungsmodellen von EE- Anlagen	Alternative Nutzung von Strom-Überangeboten ermögli- chen	[8]



Tabelle 3 (Fortsetzung): Hemmnisse und Lösungsvorschläge

Nachteile für dezentrale elektrische Energiespeicher	 Doppelbelastung durch Letztverbraucherabgaben für Speicher abschaffen, Netzentgelte flexibilisieren, EEG-Umlage flexibilisieren Alternative Nutzung von Strom-Überangeboten ermöglichen 	[8] [8] [8]
Mangelnde Verbreitung neu- artiger, innovativer Techno- logien zur Sektorenkopplung	 Förderung Technologieentwicklung Stromsteuer durch sektorenübergreifende CO₂-Bepreisung ersetzen, 	[8]
Regulatorische Konstanz	 Reduzieren der Vielzahl unterschiedlicher Gesetze und För- dermechanismen zur Unterstützung und Umsetzung der Energiewende 	
Akzeptanz	 Reduzierung der Komplexität für Endnutzer, Planer und Handwerker Erhöhung der Transparenz bei Förderung und Zielen "Gamification" des CO₂-Footprints (Schaffung Bewusstsein) 	[22] [22] [22]

Durch die Analyse der aufgeführten Hemmnisse und vorgeschlagen Lösungen kann festgestellt werden, dass einzelne Lösungsvorschläge geeignet scheinen um mehreren Hemmnissen zu begegnen. So könnte eine einheitliche energieträger- und sektorenübergreifende Gestaltung von (denen im Endkundenpreis enthaltenen) Abgaben, Umlagen und Steuern maßgeblich beitragen, die Wettbewerbsfähigkeit der meisten Technologien zur Sektorenkopplung steigern und damit die weitere Verbreitung und Nutzung unterstützen. Durch die derzeitig unterschiedliche Belastung der Energieträger entstehen Verzerrungen an den Schnittstellen zwischen den einzelnen Sektoren und erschweren eine integrative Optimierung des Energiesystems. Vor diesem Hintergrund sollten die Rahmenbedingungen vereinheitlicht werden, dass alle Energieträger und Technologien fair miteinander konkurrieren können. In diesem Sinne sollten ebenfalls die resultierenden CO₃-Emissionen für alle Energieträger und in allen Sektoren die gleichen Kosten verursachen und die Rahmenbedingungen diesbezüglich angepasst werden. Eine adäquate Bepreisung von energiebedingten CO₂-Emissionen zur Unterstützung und Weiterverbreitung der Sektorenkopplung und Erreichung der Klimaschutzziele und der damit in Verbindung stehenden Dekarbonisierung des Energiesystems sind in der Wissenschafts- und Fachwelt unstrittig. Lediglich die vorgeschlagenen Maßnahmen zur kostenseitigen Berücksichtigung gestalten sich unterschiedlich (Vereinheitlichte energieträger- und sektorenüber-greifende Preise für CO₂-Emission, Reformierung europäische Emissionshandel, CO₂-Steuer, etc.). Die Überlegungen zur CO₂-Bepreisung könnten zum Teil auch für eine Umverteilung der Umlagen zur Finanzierung der Energiewende dienen, wobei eine monetäre "Bewertung", bzw. Geltendmachung von energiebedingten CO₃-Emissionen einen Betrag leisten könnte. Durch eine gezielte Umverteilung der Umlagen außerhalb des Stromsektors könnte dies zu einer höheren Verbreitung von Sektorenkopplungsansätzen führen.

Für eine Erhöhung der Flexibilität auf der Verbraucherseite könnte eine Dynamisierung der Netznutzungsentgelte beitragen. Die Netzentgelte haben einen signifikanten Anteil am Endkundenstrompreis und sind derzeit zeitlich invariabel. Entsprechend können die



Netzentgelte nicht die aktuelle Situation im Energiesystem widerspiegeln und bieten ebenfalls keinen Anreiz den Bezug elektrischer Energie zu flexibilisieren, um damit ein systemdienlichen Verbraucherverhalten zu erreichen.

In der Praxis werden teilweise Verbraucher (ohne produktiven Nutzen) zugeschaltet, um die vorzuweisenden Vollbenutzungsstunden gesichert zu erreichen und damit Nutznießer des Privilegs der reduzierten Netzentgelte zu bleiben. Die aus dieser künstlichen Verbrauchssteigerung resultierende Erhöhung der Strombezugskosten, fällt im Vergleich zum potentiellen Wegfall reduzierter Netzentgelte kaum ins Gewicht.

Für eine Dynamisierung der Netzentgelte wird vorgeschlagen, das Entgelt mit dem EPEX SPOT Strompreis zu koppeln. Des Weiteren könnte ein zusätzlicher Faktor gleichzeitig dazu dienen die regionale, physikalische Situation im Versorgungsnetz mit zu berücksichtigen. Neben dem Anreiz zur Flexibilisierung des Stromverbrauchs ist erwartbar, dass die elektrische Energie zur Nutzung in anderen Sektoren wirtschaftlicher beschafft werden könnte. Neben einer variablen Gestaltung der Netzentgelte, könnte ebenfalls die EEG-Umlage dynamisiert werden, um ebenfalls die Flexibilisierung der Verbraucherseite zu unterstützen und damit eine energetisch effektive Nutzung der fluktuierenden Energiebereitstellung aus CO₃-armen, erneuerbaren Quellen zu fördern. Die EEG-Umlage stellt aktuell die größte Einzelkomponente im Strompreis dar. Diese Umlage ist ebenfalls zeitlich nicht variabel und wird einmal jährlich an die im vorangegangen Jahr ausgezahlte Einspeisevergütung angepasst. Für eine Dynamisierung der EEG-Umlage wird analog zum Vorschlag der Dynamisierung der Netzentgelt eine Kopplung mit dem EPEX SPOT Strompreis vorgeschlagen. In Zeiten hoher Einspeisung aus EE-Anlagen sind die Großhandelspreise in der Regel niedrig. Eine Kopplung der EEG-Umlage an den Großhandelspreis gibt somit einen wirtschaftlichen Anreiz den elektrischen Energiebezug zu flexibilisieren und in Zeiten zu legen, in denen der Strommix von erneuerbaren, CO₂-armen Strom bestimmt wird. Bei einer Dynamisierung mehrerer Strompreiskomponenten sollte auf eine ganzheitliche Ausgestaltung achtet werden, um entgegengesetzte Wirkungen durch mehrere Anreize auszuschließen.





5 Ausblick anhand wissenschaftlicher Veröffentlichungen

Im vorherigen Kapitel 4 wurden die vom BMWi geförderten Projekte und verschiedene weitere Untersuchungen hinsichtlich der bearbeiteten und in Bearbeitung befindlichen Fragestellungen im Bereich der Sektorenkopplung analysiert. Des Weiteren wurden Hemmnisse identifiziert, die derzeit eine weitere Verbreitung und Nutzung von Technologien zur Sektorenkopplung entgegenstehen. Parallel dazu wurden die in der Wissenschafts- und Fachwelt diskutierten Ansätze zur Beseitigung der Hemmnisse dargestellt. Um einen Ausblick auf die für die Zukunft relevanten Forschungsfragstellungen innerhalb des Themengebietes der Sektorenkopplung zu erhalten, erfolgt abschließend die Analyse aktueller Veröffentlichungen bezüglich identifizierter F&E-Themen und Fragestellungen, die sich aus der Bearbeitung aktueller und abgeschlossener Projekte ergeben haben und die in einer zukünftigen Förderung berücksichtigt werden sollten.

Innerhalb der Forschungslandschaft ist erkennbar, dass die Themenbereiche Gebäudesanierung [24], Power-To-Heat und Null-/Plusenergiehäuser umfassend betrachtet werden. Verschiedene Energiespeichertechnologien und sozial-ökonomische Fragestellungen werden ebenfalls aufgrund ihrer großen Bedeutung für die cross-sektorale Energienutzung in einer großen Anzahl von Veröffentlichungen analysiert [21] [25] [26]. Diese inhaltlichen Schwerpunkte bestätigen die Erkenntnisse der Betrachtung der Projektthemen in Kapitel 4.1.

Ebenso werden Themengebiete der Geothermie und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), bzw. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) innerhalb wissenschaftlicher Veröffentlichungen umfassend behandelt.

Aufgrund der bereits beschriebenen Vielseitig- und -schichtigkeit des Themengebietes Sektorenkopplung wird sich innerhalb der nachfolgenden Ausführungen lediglich auf die Bereiche beschränkt, für die seitens der Autoren weiterhin ein erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf gesehen wird. Dies betrifft unter anderem Konzepte im Bereich der Elektromobilität, insbesondere der Vehicle-to-Grid (V2G) Ansatz. Des Weiteren birgt sektorenübergreifende Energiespeicheroptionen wie Powerto-Gas (P2G) weiterhin Forschungs- und Entwicklungspotenzial. Darüber hinaus bietet die Quartiersbetrachtung als Energiequelle und -senke für verschiedene Energieformen und -träger viele Möglichkeiten zum Einsatz an Sektorenkopplungsoptionen, die auf Grund von Wirtschaftlichkeitsaspekten, Datenschutzbelangen und des Umfangs zur IKT-Anbindung als einfacher erschließbares Potenzial zur Sektorenkopplung erscheinen als die Erschließung von energierelevanten Komponenten und Anlagen im Einzelgebäude.

Unter P2G werden im Wesentlichen zwei Konzepte verstanden. In einem Konzept wird elektrische Energie genutzt, um mittels Elektrolyse Wasserstoff herzustellen. Der Wasserstoff kann anschließend für verschiedene, Sektor übergreifende Zwecke Einsatz finden. Im zweiten Konzept wird Wasserstoff analog zum ersten Konzept hergestellt. Anschließend wird der Wasserstoff mit Kohlendioxid zu Methan konvertiert, dem sog. synthetischen Erdgas (Erdgas besteht > 99 % aus Methan). Kommt bei der Wasserstoffherstellung elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen zum Einsatz wird



auch von regenerativen Wasserstoff bzw. Methan gesprochen.

Im Potentialatlas der Deutschen Energie-Agentur (dena) [27] sowie in weiteren Veröffentlichungen wie beispielsweise der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg [28] werden mögliche Nutzungsoptionen von Power-To-Gas Technologien und potentielle kurz- und mittelfristige Marktentwicklungen untersucht. Hierbei wird deutlich, dass Marktchancen für P2G in anderen Energiesektoren, insbesondere Mobilität, Industrie und Wärme vorhanden sind und gleichzeitig sowohl Flexibilitäten im elektrischen Energiesystem aufgebaut, als auch eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit erreicht werden könnte.

Im Bereich der Mobilität bestehen gute Marktaussichten für P2G, da der Druck zur Treibhausgassenkung sowohl politisch als auch gesellschaftlich weiter steigt.

Da die konventionelle Bereitstellung von Wasserstoff im Vergleich zum regenerativen Wasserstoff bezüglich der Kostenstrukturen günstiger ist und somit die Chancen für regenerativen Wasserstoff über Emissionshandel sich stetig verbessern, ist auch im Industriesektor ein deutliches Potential für P2G erkennbar.

Die Nutzung von regenerativem Methan im Wärmesektor ist grundsätzlich möglich, jedoch durch die hohen Gestehungskosten, im Vergleich zu fossilem Methan nicht konkurrenzfähig. Hierfürmüssten Anreize geschaffen und rechtliche sowie wirtschaftliche Rahmenbedingungen entsprechend angepasst werden. Auch der Stromsektor birgt Marktchancen für P2G, da unter der Maßgabe einer höheren Marktdurchdringung P2G als Langzeitspeicher dienen, Regelleistung und weitere Systemdienstleistungen anbieten könnte.

Die dena sieht als wichtigste Handlungsempfehlung eine Anpassung des regulatorischen Rahmens. Hierbei sollte P2G als Energiespeicher sowie die Produkte aus P2G z. B. im Mobilitätssektor als Biokraftstoff anerkannt und der Einfluss der weiteren Entwicklungen am Strommarkt berücksichtigt werden. Zusätzlich sollte nicht-integrierbarer EE-Strom genutzt und Emissionsminderungsmöglichkeiten von P2G-Produkten im Rahmen des Emission Trading Systems der EU (EU ETS) anerkannt werden. Dies bedeutet, dass P2G-Produkte wie gasförmige Biomasse behandelt und im Wärmemarkt genutzt werden sollten. Im Bereich der Technologieentwicklung müssten die Anteile an zulässigem Wasserstoff im Gasnetz erhöht werden, um somit eine umfassendere Nutzung von P2G zu ermöglichen. Durch Anreize für die Nutzung von P2G auf Landesebene sowie eine verstärkte Strategieabstimmung von Bund und Ländern, könnte eine verstärkte Nutzung von Synergien bewirkt werden. Zudem sollte die Nutzung von P2G in die Prozesse der Netzentwicklung eingebunden werden, um somit die Zukunftsfähigkeit der Netze zu gewährleisten. [6] [27] [28]

"Die meisten Szenarien sehen den Einsatz von Elektrolyseuren und Methanisierungsanlagen daher erst ab ca. 2030" [29]. Durch dieses Zitat aus der Metaanalyse der Agentur für erneuerbare Energien wird deutlich, dass derzeitige Studien die Verbreitung von P2G erst für spätere Zeitpunkte vorsehen und daher eine Verbreitung dieser und ähnlicher Technologien derzeit nicht realistisch erscheint. Zudem werden derzeit vor-rangig die Netzstruktur und erst nachgelagert der Einsatz von Speichern analysiert, anstatt zielführend beide Bereiche gleichzeitig zu untersuchen. Nur durch einen gemeinsamen



Ausbau von Netzen und Speichern kann das Potenzial der Sektorenkopplung genutzt werden.

Vehicle-To-Grid (V2G) bezeichnet ein Konzept zur Integration der Traktionsbatterie eines (zum Zeitpunkt des Bedarfs – Laden/Entladen) nicht benutzten Elektro-/ Hybridfahrzeugs an das öffentliche Stromnetz (95 % aller Fahrzeuge sind geparkt). Das Konzept umfasst die Speicherung und Abgabe elektrischer Energie an bzw. in das Versorgungsnetz. [30] [31] Dieser Bereich gewinnt besonders im Themengebiet der Sektorenkopplung (zwischen dem Strom- und dem Mobilitätssektor) aufgrund der Möglichkeiten zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen (z. B. Spannungs-, Frequenzstabilisierung und Regelenergie sowie Spitzenlastglättung und Absicherung des Netzes) immer weiter an Bedeutung und ist Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Veröffentlichungen. Abwandlungen von V2G sind beispielsweise die Abgabe des Stromes in das eigene Wohnhaus (Vehicle-To-Home) oder in ein weiteres Fahrzeug (Vehicle-To-Vehicle). [32] Innerhalb des Bereiches von V2G existieren derzeit unterschiedliche Problemstellungen, die es durch zukünftige Forschungsprojekte zu untersuchen und zu lösen gilt. Da V2G eine Möglichkeit der Rückspeisung in das elektrische Versorgungsnetz bewirken soll, ist eine bidirektionale Ladefunktion der Ladesäulen erforderlich, die derzeit noch nicht sonderlich weit verbreitet sind. Zudem ist durch das bidirektionale Laden mit einer Erhöhung der Lade- und Entladezyklen eines Fahrzeuges zu rechnen, was einen erhöhten Verschleiß der Traktionsbatterie und somit einen Leistungs- und Reichweitenverlust für die Fahrzeugbesitzer auswirkt. Die fehlende Durchdringung bidirektionaler Ladestationen könnte durch eine Standardisierung der Ladeinfrastruktur entgegen gewirkt werden. Smart-Charging-Konzepte, die neben der Fahrzeugbeladung eine Entlastung des Netzes adressieren, sowie umfassende Vermarktungsmöglichkeiten zur Steigerung der Akzeptanz von V2G fehlen bislang zu großen Teilen. Ein weiteres Problem stellt der hohe Bedarf an Daten und Informationen zur Umsetzung eines intelligenten Stromnetzes dar, das V2G zielgerecht unterstützen kann, jedoch mit derzeitigen Bestimmungen hinsichtlich des Datenschutzes nicht vereinbar ist. [33] [34] Aktuelle Forschungen adressieren speziell den Bereich der Kommunikation und IT-Sicherheitsthemen für V2G. Zudem wird an der Entwicklung eines Programms zum autonomen Parken von Fahrzeugen an V2G-Koppelpunkten geforscht und Studien zur optimalen Lade-/Entladezeitpunkten mithilfe hierarchischer analytischer Prozesse durchgeführt. [35] [34]

Besonders im Bereich der Batterieforschung und dem intelligenten Laden besteht hoher Forschungsbedarf, um V2G und die Funktionalität des bidirektionalen Ladens effizient zu nutzen. Zudem müssen innerhalb zukünftiger Forschungsinitiativen die Bereitstellung sowie Standardisierung der Ladeinfrastruktur (z. B. Smart Grids zur Ermittlung von Eingangsgrößen für geregeltes Laden, Aufbau regelbarer Ladeinfrastruktur) vermehrt untersucht werden. Um ein Gesamtoptimum erreichen zu können, müssen Geschäftsmodelle entwickelt und somit die unterschiedlichen Zielfunktionen einzelner Akteure wie beispielsweise Mobilitätsdienstleister, Netzbetreiber und Bilanzgruppenverantwortlicher kombiniert werden. [36] [37]



Städtische Quartiere bieten gute Voraussetzungen für eine Umsetzung integrativer Energiekonzepte, die einen wichtigen Beitrag bei der Umsetzung der Energiewende leisten können. Ziel ist die Generierung eines nachhaltigen und intelligenten Energiesystems, das den Bedarf an fossilen Energieträger minimiert und die Versorgung aus erneuerbaren Energien optimiert. Die Herausforderungen zur Erreichung effizienter, systemdienlicher Städte und Quartiere besteht vor allem in der Integration des fortlaufend steigenden Anteils dezentral bereitgestellter erneuerbarer Energie in Verbindung mit zunehmenden Sektorenkopplungsoptionen für Strom, Wärme, Kälte und Mobilität. Diesbezüglich werden nach [38] in folgenden Bereichen Forschungs- und Entwicklungsbedarf gesehen:

- Entwicklung von Methoden zur Bestandserfassung unter Energieverbrauchs- und Nachhaltigkeitsaspekten für die Erstellung von Quartiersentwicklungsplänen
- Konzeption zur optimalen Integration von Energiespeichern auf Gebäude-, Quartiers-, Stadtteil- und Stadtebene
- Weiterentwicklung von Simulationswerkzeugen zur Optimierung von Ziel-Energieszenarien und Umsetzungsfahrplänen
- Entwicklung von Methoden zur Berücksichtigung der Transformation des Energiesystems in der Stadtentwicklungs- und Regionalplanung
- Strategien und Monitoringtools zur sozialverträglichen Umsetzung der Energiewende
- Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und regulatorischer Rahmenbedingungen
- Konzepte zur Steigerung der Elektromobilität und deren Integration in die Infrastruktur von Quartieren und Städten
- IKT zur Kommunikation zwischen den verschiedenen Akteuren und Komponenten im Energiesystem zur intelligenten Steuerung und Bereitstellen neuer Dienstleistungen
- Effizientere Lösungen zur Speicherung, Verteilung und zum Lastmanagement von thermischer Energie unter der Maßgabe der Anteilserhöhung erneuerbarer Energie bei der Bereitstellung von Raum- und Prozesswärme
- Konzepte zur Flexibilisierung und Optimierung existierender Wärmenetze und deren Betrieb
- Entwicklung von Methoden zur aktiven Beteiligung der Bürger und relevanter Akteure bei Zielsetzung, Planung und Umsetzung der Transformation von Städten und Quartieren zu "Smart Cities"

Bei Betrachtung des weitreichenden Feldes der Sektorenkopplung, wird deutlich, dass cross-sektorale Technologien wie Power-To-Gas und teilweise auch Vehicle-To-Grid bereits heute schon kommerziell verfügbar sind und die Ziele der Energiewende zielführend unterstützen können, da sie zu einer Flexibilisierung der Stromnachfrage und somit zur Anpassung des Verbrauchs an die EE-Erzeugung beitragen können. Ebenso wird die Erreichung der Klimaschutzziele in weiteren Bereichen wie beispielsweise im Gebäudebereich vorangetrieben und die Möglichkeit des Ausbaus der Eigenstromnutzung privater PV-Anlagen, die derzeit noch durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gehemmt wird, geschaffen. Neben dem Gebäudebereich sollte eine Quartiersbetrachtung weiterhin forciert werden, da dieser Bereich ein umfangreiches Potenzial für die Nutzung cross-sektoraler Technologien bietet. Power-To-Heat-Technologien, wie beispielsweise Heizstäbe und Wärmepumpen, stellen



kommerziell verfügbare Technologien dar, die auch außerhalb der Eigenstromnutzung in ein übergeordnetes Energiemanagement eingebunden werden können und so für das Gesamtenergiesystem dienlich (bezüglich Netzsituation, Regelleistung, EE-Einspeisung, CO_2 , etc.) betrieben werden können.





Literaturverzeichnis

- [1] frontier economics, "Sektorenkopplung Eine integrierte Betrachtung," 01 12 2017. [Online]. Available: https://www.frontier-economics.com/media/1121/20180205_sektorkopplung-eine-integrierte-betrachtung_frontier. pdf. [Zugriff am 18 11 2018].
- [2] Bundesministerium für Energie und Wirtschaft, "Energiewende direkt Was bedeutet "Sektrokopplung"?," 11 07 2016. [Online]. Available: https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2016/14/Meldung/direkt-erklaert.html. [Zugriff am 30 01 2018].
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsischerheit, "Klimaschutzplan 2050 Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung," BMUB, Berlin, 2016.
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, "Grünbuch Energieeffizienz Diskussionspapier des Bundseministeriums für Wirtschaft und Energie," BMWi, Berlin, 2016.
- [5] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, "7. Energieforschungsprogramm," BMWi, Berlin, 2018.
- [6] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), "Sektorkopplung: Alles mit allem verbinden," [Online]. Available: https://www.dena.de/themen-projekte/energiesysteme/sektorkopplung/. [Zugriff am 30 01 2018].
- [7] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), "Thesen Sektorkopplung," [Online]. Available: https://www.bdew.de/media/documents/ Stn_20170427_Thesen-Sektorkopplung.pdf. [Zugriff am 30 01 2018].
- [8] D. M. J. E4tech und D. C. S.-K. Fraunhofer IEE, "DAS GEKOPPELTE ENERGIESYS-TEM Vorschläge für eine optimale Transformation zu einer erneuerbaren und effizienten Energieversorgung," Bundesverband Erneuerbarer Energie e.V., Berlin, 2018.
- [9] M. Sterner, "Bedeutung und Notwendigkeit von sektorenkoppelnden Speichern für die Energiewende," BMWi, Berlin, 2016.
- [10] P. Lund , J. Lindgren, J. Mikkola und J. Salpakari, "Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity," Elsevier, 2015, pp. 785-807.
- [11] M. Sterner, "Energieland Hessen," 2014. [Online]. Available: https://www.energieland.hessen.de/BFEH/giessen/Prof_Dr_Michael_Sterner_Power_to_X_Technologien_und_Sektorkopplung.pdf. [Zugriff am 02 05 2018].
- [12] J. Blondelle, "Eurpean Framework for Power-To-X," European Commission, 2016.
- [13] M. Sterner und I. Stadler, Energiespeicher: Bedarf Technologien Integration, Berlin: Springer Vieweg, 2014.
- [14] S. Adler und P. Boileau, "Technische Universität Kaiserslautern," 28 04 2017. [Online]. Available: https://wiwi.uni-kl.de/fileadmin/wiwi.uni-kl.de/downloads_pdf_doc/blank/segel_30/Speichertechnologien.pdf. [Zugriff am 03 11 2017].
- [15] Verein Deutscher Ingenieure (VDI), "Verein Deutscher Ingenieure (VDI)," 01 10 2017. [Online]. Available: https://www.i-suedpfalz-energie.de/app/down-



- load/5818666003/VDI-Statusreport_Energiespeicher_Oktober_2017.pdf. [Zugriff am 27 09 2018].
- [16] Wissenschschaftliche Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN, "Projektlandkarte," [Online]. Available: https://projektinfos.energiewendebauen.de/projektlandkarte/. [Zugriff am 13 11 2018].
- [17] Projektträger Jülich, "EnArgus," [Online]. Available: https://www.enargus.de. [Zugriff am 03 03 2018].
- [18] Agentur für Erneuerbare Energien, "Unendlich viel Energie," [Online]. Available: https://www.unendlich-viel-energie.de/themen/strom/sektorenkopplung. [Zugriff am 07 11 2018].
- [19] PV Magazine, "PV Magazine," 13 02 2018. [Online]. Available: https://www.pv-magazine.de/unternehmensmeldungen/waermepumpe-kaum-kopp-lung-mit-erneuerbarer-energie-unternehmen-verschenken-wertvolles-potential-der-sektorenkopplung/. [Zugriff am 02 11 2018].
- [20] Agentur für Enrneuerbare Energien, "Erneuerbare Energien im Verkehssektor 2017," [Online]. Available: https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/erneuerbare-energien-im-verkehrssektor. [Zugriff am 30 10 2018].
- [21] G. Schwan, K. Treichel und A. Höh, "Sektorkopplung von der Stromwende zur Energiewende," 01 01 2016. [Online]. Available: http://www.governance-platform.org/wp-content/uploads/2017/03/HVGP_Trialog-Bericht-Sektorkopplung.pdf. [Zugriff am 30 04 2018].
- [22] S. Kharboutli und S. Flemming, Workshop-Dokumentation: "Das Quartier als Stabilisierungsoption für das Gesamtenergiesystem", Essen: Wissenschaftliche Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN, 2018.
- [23] Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina; acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; Union der deutschen Akademien der Wissenschaften, "»Sektorkopplung« Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft)," München, 2017.
- [24] H. Ruf, P. Kober und F. Meier, "Sektorkopplung im Smart Home: Ergebnisse aus einem Jahr Monitoring des Projekthauses Ulm," Ulm, 2017.
- [25] F. Betker, "Mit der Sektorkopplung die Wärmewende einleiten: Ein sozial-ökologischer Aufriss," FONA, Bonn, 2016.
- [26] D. Stakic und F. Ebe, "Sektorkopplung als Baustein in der Energiewende Ergebnisse einer bidirektionalen Simulation von Energienetzen," Ulm, 2017.
- [27] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), "Potenzialatlas Power to Gas," Berlin, 2016.
- [28] M. Sterner, "Langzeitspeicher in der Energiewende," FENES, Regensburg, 2014.
- [29] Agentur für erneuerbare Energien, "Forschungsradar Energiewende," 04 2016. [Online]. Available: http://www.forschungsradar.de/metaanalysen/einzelansicht/news/metaanalyse-zur-flexibilitaet-durch-sektorkopplung.html. [Zugriff am 03 05 2018].
- [30] C. Cleveland und C. Morris , "Dictionary Of Energy," Amsterdam, Elsevier, 2006, p. 473.



- [31] ITWissen.info, "V2G (vehicle to grid)," ITWissen.info, 2018.
- [32] C. Liu, K. Chau, D. Wu und S. Gao, "Opportunities and Challenges of Vehicle-To-Home, Vehicle-To-Vehicle, and Vehicle-To-Grid Technologies," in Proceedings of the IEEE, IEEE, 2013, pp. 2409-2427.
- [33] S. Ying, "Auswirkungen auf die Niederspannungsnetze bei hoher Penetration von innerstädtischen Photo-voltaikanlagen und Elektrofahrzeugen," Dissertation. Universitätsbibliothek der BTU Cottbus, 2011.
- [34] B. Sovacool, L. Noel, J. Axsen und W. Kempton, "The neglected social dimensions to a vehicle-to-grid (V2G) transition: a critical and systematic review," 2018IOP Publishing.
- [35] D. Ciechanowicz, M. Leucker und M. Sachenbacher, "Ökonomische Bewertung von Vehicle-To-Grid in Deutschland," 2012.
- [36] R. Rezania, W. Prüggler, M. Litzlbauer, A. Schuster, W. Gawlik, H.-J. Bacher, T. Rieder, R. Pointner, D. B. De Castro und H. Brunner, "EEG TU Wien," [Online]. Available: https://www.eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/research/downloads/PR_287_2-V2G-Strategies_Aktionsplan-final_draft.pdf. [Zugriff am 03 12 2018].
- [37] PG&E News Department, "Pacific Gas and Electric Company Energizes Silicon Valley With Vehicle-to-Grid Technology," 2007.
- [38] ForschungsVerbund Erneuerbarer Energien, "Forschungsziele 2019," [Online]. Available: http://www.fvee.de/publikationen/publikation/?sb_damorder%-5Buid%5D=5890&cHash=1fe98e523270af6e36cbd737e901a6f4. [Zugriff am 04 12 2018].

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Impressum

Herausgeber: Wissenschaftliche Begleitforschung_ENERGIEWENDEBAUEN RWTH Aachen University
Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik
Mathieustraße 10
52074 Aachen

E-Mail: begleitforschung@eonerc.rwth-aachen.de

Internet: energiewendebauen.de

Autoren: Samir Kharboutli¹, Sebastian Flemming¹, Peter Bretschneider¹ unter Mitwirkung

weiterer Mitglieder der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN

Bildquelle sofern nicht explizit anders angegeben Wissenschaftliche Begleitforschung.

Für den Inhalt und das Bildmaterial der einzelnen Beiträge tragen alleine die Autoren die Verantwortung. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie oder in einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

ISBN: 978-3-942789-96-7

¹ Fraunhofer IOSB-AST

