

Scherrer, Aline; Burghard, Uta

Working Paper

Synthetisches Methan für Lkw und Schiffe: Akteurslandschaft
und Marktentwicklungsvoraussetzungen in Deutschland.
Zwischenergebnisse der Akzeptanzforschung im Projekt MethSys

Working Paper Sustainability and Innovation, No. S10/2020

Provided in Cooperation with:

Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI

Suggested Citation: Scherrer, Aline; Burghard, Uta (2020) : Synthetisches Methan für Lkw und Schiffe: Akteurslandschaft und Marktentwicklungsvoraussetzungen in Deutschland. Zwischenergebnisse der Akzeptanzforschung im Projekt MethSys, Working Paper Sustainability and Innovation, No. S10/2020, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe,
<https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0011-n-6185614>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/228596>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Working Paper Sustainability and Innovation
No. S 10/2020



Aline Scherrer
Uta Burghard

Synthetisches Methan für Lkw und Schiffe –
Akteurslandschaft und Marktentwicklungs-
voraussetzungen in Deutschland

Zwischenergebnisse der Akzeptanzforschung
im Projekt MethSys

Executive Summary

Synthetisches Methan aus erneuerbaren Energien (EE-Methan) stellt eine neue Option zur Dekarbonisierung des Energiesystems insbesondere bei energieintensiven Anwendungen dar. Im Verkehrsbereich finden sich diese energieintensiven Anwendungen vor allem im Straßengüterverkehr und Schiffsverkehr. Neben techno-ökonomischen Betrachtungen sind auch sozialwissenschaftliche Fragestellungen relevant, denn eine neue Technologie wie EE-Methan muss bei verschiedenen gesellschaftlichen Akteuren Unterstützung erfahren, um sich durchsetzen zu können.

In diesem Working Paper werden die folgenden Fragen mittels einer Medien- und Publikationsanalyse untersucht: Welche Akteure aus welchen gesellschaftlichen Teilsystemen sind beim Thema EE-Methan (und speziell in den Anwendungen Lkw und Schiff) in Deutschland aktiv? Welche Voraussetzungen für eine zukünftige Marktentwicklung von EE-Methan lassen sich daraus ableiten? Die Forschungsfragen werden jeweils zunächst für das Thema EE-Methan allgemein und anschließend für dessen Anwendung im Straßengüterverkehr und der Schifffahrt untersucht und diskutiert. Dieses Papier richtet sich an politische Entscheider:innen, aber auch an Akteure aus Forschung und Industrie, etwa, um neue Netzwerke im Thema EE-Methan zu initiieren.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Technologie EE-Methan gesamtgesellschaftlich bisher fast ausschließlich in Fachkreisen diskutiert wird. Gleichzeitig sind, insbesondere aus Forschung und Industrie, schon vielfältige Akteure im Thema aktiv. Bei den aktuellen Aktivitäten und Vorhaben ist jedoch noch ein starker Fokus auf Forschung und Entwicklung zu verzeichnen und bei der Finanzierung spielt die öffentliche Hand eine dominante Rolle. Dementsprechend erfolgt noch wenig öffentlich wahrnehmbare Forschung in privaten Unternehmen und auch Lobbyarbeit für EE-Methan ist bisher noch wenig zu verzeichnen. Sofern eine weitere Unterstützung von EE-Methan angestrebt wird, sollten dabei folgende, aus den Ergebnissen abgeleitete, Handlungsempfehlungen berücksichtigt werden:

- Für die Bereitstellung von Geldern für die weitere Entwicklung von EE-Methan ist auch zukünftig zunächst die Politik in der Pflicht. Der Staat sollte dabei verstärkt auf Demonstrationsprojekte setzen. Diese bieten eine Plattform für die Kooperation zwischen unterschiedlichen Akteuren. Außerdem sind sie wichtig, um Erfahrungen mit der Anwendung der Technologie zu sammeln und die Technologie in der Gesamtgesellschaft bekannter zu machen.
- Gleichzeitig ist für die weitere Verbreitung von EE-Methan mehr Engagement von Seiten der Industrie notwendig. Durch unternehmerisches Experimentieren und Produzieren wird der Schritt von der Forschung zur Anwendung vollzogen und die Entwicklung der Technologie gefördert. Für die Nutzung von EE-Methan im Lkw- und Schiffsbereich können Erfahrungen aus dem Einsatz

von fossilem Erdgas in diesem Bereich eingebracht werden. Erfahrene Akteure aus dem Erdgas-Bereich können so das neue Innovationssystem rund um EE-Methan stärken.

- Schließlich gilt es, für die weitere Entwicklung dieser Technologien mehr Lobbyarbeit zu etablieren, bestehende Netzwerke auszubauen und neue zu schaffen. Ein solches Vorgehen integriert auch die Organisationen, die bisher in anderen Bereichen wie der Automobilherstellung oder der Energieversorgung tätig waren und sich nun an der Herstellung und Verteilung von EE-Methan beteiligen. Die Aktivitäten im Bereich EE-Methan können koordiniert und strategisch ausgerichtet werden, indem beispielsweise neue Institutionen, die als eine Art Koordinationsplattform fungieren, geschaffen werden.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung.....	1
2 Status quo zu EE-Methan in Deutschland.....	2
2.1 Was ist EE-Methan?.....	2
2.2 Förderrahmen und Forschungsprojekte	3
2.3 Regulatorische Rahmenbedingungen und Technologieinteraktionen	4
2.4 Die Fokus-Anwendungen Straßengüterverkehr und Binnenschifffahrt.....	5
3 Theorie	5
3.1 Sozio-technische Systeme und Akteure.....	6
3.2 Stakeholder-Forschung und Akteursbegriff	8
4 Methodik	9
4.1 Datenbasis: Medien- und Publikationsanalyse.....	11
4.2 Datenauswertung: Akteursidentifikation, Akteurskategorisierung und Akteursfunktionen	12
4.2.1 Arbeitsschritt 1: Akteursidentifikation.....	12
4.2.2 Arbeitsschritt 2: Akteurskategorisierung	13
4.2.3 Arbeitsschritt 3: Akteursfunktionen mit Marktentwicklung.....	15
4.3 Validierung der Ergebnisse in Experten-Workshops	15
5 Ergebnisse.....	16
5.1 EE-Methan-Akteurssysteme.....	16
5.1.1 EE-Methan allgemein	16
5.1.2 Akteurssystem EE-Methan in den Anwendungen Lkw- Verkehr und Schiffs-Verkehr	23

5.2	Funktionen und Akteurszuordnung Marktentwicklungsphasen.....	25
6	Diskussion.....	26
6.1	Zusammenfassung und inhaltliche Diskussion	26
6.2	Methodische Diskussion / Limitationen und weiterer Forschungsbedarf.....	30
7	Fazit und Ausblick	31
8	Danksagung	32
9	Anhang	33
10	Literaturverzeichnis.....	35

1 Einleitung

Synthetisches Methan aus erneuerbaren Energien, auch EE-Methan genannt, wird in Deutschland als eine mögliche Lösung im Gesamtkonzept der Energiewende diskutiert. EE-Methan bietet den Vorteil, dass damit fossiles Gas schrittweise ersetzt werden kann, da die gleiche Infrastruktur genutzt werden kann. Diskutierte Anwendungsbereiche für EE-Methan sind (energieintensive) Anwendungen wie Energiespeicher, Wärme, industrielle Anwendungen und Güterverkehr auf der Straße und im Wasser. Für diese Anwendungsbereiche wird aktuell fossiles Erdgas als sogenannte Brückentechnologie genutzt. Allerdings bestehen noch Hürden, die es für die breite Nutzung von EE-Methan zu überwinden gilt, wie ein hoher Energieaufwand für die Herstellung und dementsprechend ein großer Bedarf an erneuerbaren Energien.

Insbesondere im Verkehrssektor besteht Nachholbedarf in Sachen Klimaschutz, denn hier gelang es bisher nicht, die CO₂-Emissionen entsprechend der Klimaschutzziele zu senken. EE-Methan als Kraftstoff für Lkw und Schiffe kann zur Dekarbonisierung des Güterverkehrs beitragen.

Die Umstellung und Nutzung von EE-Methan im Energiesystem und Verkehrssystem ist Gegenstand von Untersuchungen mit technischem und ökonomischem Fokus. Für die Transformation des Energiesystems spielen jedoch auch sozialwissenschaftliche Fragestellungen eine wichtige Rolle, denn der Umstieg auf erneuerbare Energien und Kraftstoffe muss in der Gesellschaft breit mitgetragen werden. Die Innovationsliteratur in der Forschung zu nachhaltigen Transitionen beschäftigt sich daher mit sogenannten sozio-technischen Systemen, um das Zusammenspiel zwischen sozialen und technischen Elementen im System berücksichtigen zu können (Geels et al. 2017). Bisher wurden zu EE-Methan keine sozialwissenschaftlichen Untersuchungen durchgeführt. Diese Forschungslücke soll mit dem vorliegenden Working Paper geschlossen werden.

In diesem Papier wird die folgende Forschungsfrage adressiert: Welche Akteurstypen sind derzeit im Innovationssystem rund um EE-Methan (und speziell in den Anwendungen Lkw und Schiff) aktiv und welche Aussagen lässt die derzeitige Konstellation mit Blick auf die Voraussetzungen für eine zukünftige Marktentwicklung zu? Die Forschungsfrage wird für EE-Methan insgesamt sowie für die beiden Anwendungsfälle Lkw und Schiffe betrachtet.

Die hier dargestellten Ergebnisse sind im Rahmen des Projekts „MethQuest: Mit erneuerbarem Methan die Energiewende voranbringen“, Verbund „MethSys: Wir-

kung von erneuerbarem Methan im Verkehrs- und Energiesystem ermitteln“ entstanden. Dieses Papier richtet sich an politische Entscheidungsträger sowie an Akteure, die mit der Erforschung, Herstellung und Verbreitung von EE-Methan und verwandten Gasen befasst sind, wie beispielsweise Forschungsinstitute, Unternehmen, Kommunen, Genossenschaften, Verbände und Netzwerke.

2 Status quo zu EE-Methan in Deutschland

Im Folgenden wird EE-Methan als Untersuchungsobjekt zunächst charakterisiert und abgegrenzt. Anschließend folgt eine kurze Zusammenfassung der bereits erfolgten, öffentlich geförderten Forschungsarbeiten zu diesem Energieträger und relevanten Kontextfaktoren.

2.1 Was ist EE-Methan?

Als EE-Methan wird aus erneuerbaren Energien erzeugtes Methan bezeichnet. Es stellt damit ein mögliches Erzeugnis aus einem Power-to-Gas-Prozess dar und ist, neben beispielsweise Biokraftstoffen, eine Variante eines Erdgassubstituts (Substitute Natural Gas, SNG) (van Basshuysen 2015). Der Herstellungsweg besteht im Wesentlichen aus der Wasserstoff-Herstellung über eine mit erneuerbaren Energien betriebene Elektrolyse und der anschließenden Methanisierung mit CO₂ in einem Synthesereaktor (Sabatier-Prozess) (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Das so erzeugte Gas besitzt annähernd dieselben Eigenschaften wie fossiles Erdgas und kann daher im vorhandenen Erdgasnetz gespeichert werden und den Einsatz von fossilem Erdgas in vielfältigen Anwendungen ersetzen.¹

Dies unterscheidet EE-Methan zentral von aus erneuerbaren Energien hergestelltem Wasserstoff als seinem primären Vorkettenerzeugnis. Dieser kann nur bis zu Anteilen von rund 5 % im vorhandenen Erdgasnetz gespeichert werden² und bedarf in der Anwendung anderer Technologien als den bereits vorhandenen

¹ Diese Ähnlichkeit in der Anwendung besteht auch bei bereinigtem Biogas (aus biogenem Material wie beispielsweise Klärschlamm, Gülle oder Pflanzen hergestelltem Gas) mit hohem Methan-Anteil. Biogase stellen keinen zentralen Teil der hier vorliegenden Analyse dar, sollten jedoch mit Blick auf die Systeminteraktionen bei der Entwicklung von Politiken und Fördermaßnahmen mit berücksichtigt werden (vgl. Abschnitt 2.3 und 6).

² Mit noch geringeren Anteilen bei einzelnen, auf H₂ empfindlicher reagierenden, Endverbräucher, z. B. an Tankstellen.

Gasmotoren, wie beispielsweise der Brennstoffzelle. Als Produkt eines zweiten Umwandlungsschrittes ergibt sich für EE-Methan allerdings ein höherer Energiebedarf im Vergleich zur direkten Nutzung von Wasserstoff.

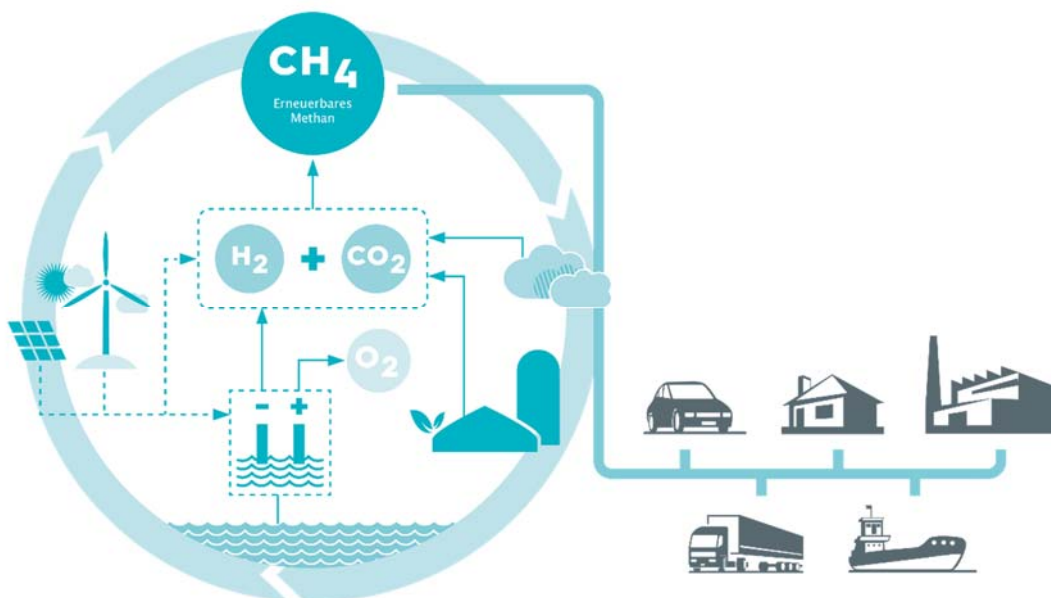


Abbildung 2-1: Herstellungspfad für synthetisches Methan

2.2 Förderrahmen und Forschungsprojekte

Im Gesamtzusammenhang der Power-to-X- und darin speziell der Power-to-Gas-Technologien wurde und wird EE-Methan durch die Bundesregierung bereits in diversen Forschungsprogrammen gefördert. Insbesondere das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie fördert eine Reihe von Projekten zu synthetischen Kraftstoffen und EE-Methan (vgl. Anhang 9). Eine größere programmübergreifende Förderinitiative stellt hier die Initiative „Energiewende im Verkehr: Sektor- kopplung durch die Nutzung strombasierter Kraftstoffe“ dar, bei der ab 2017 Projekte zur Herstellung und Nutzung von synthetischen Kraftstoffen und zur Einbin- dung dieser in das Energiesystem gefördert werden. Gefördert werden For- schung, Entwicklung und Demonstration. Betrachtete Anwendungen sind hier Pkw, Lkw, Schiffe, Baumaschinen und Industriemotoren.

Die im Juni 2020 veröffentlichte Nationale Wasserstoffstrategie räumt Wasser- stoff – als Zwischenprodukt für die Herstellung synthetischer Kraftstoffe – eine wichtige Rolle bei der Umsetzung der Energiewende ein. Im Rahmen der Strate- gie sollen Anlagen zur Erzeugung strombasierter Kraftstoffe bis 2023 mit mehr

als 1 Milliarde Euro gefördert werden (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020).

Insgesamt zeigt sich ein Fokus auf technische und techno-ökonomische Fragestellungen. Eine übergeordnete sozio-technische Perspektive fehlt bisher und wird derzeit durch Arbeiten zu Akteuren und Akzeptanz im Projekt MethSys herausgearbeitet, welche in Teilen Gegenstand dieses Working Papers sind.

2.3 Regulatorische Rahmenbedingungen und Technologieinteraktionen

Die politischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen, vor allem mit Blick auf eine Befreiung von der Stromsteuer, Netznutzungsentgelten und EEG-Umlagen für Elektrolyseure, sind zum jetzigen Entwicklungszeitpunkt noch nicht eindeutig (Lischke et al. 2015).

In der Anwendung im Lkw- und Schiffsverkehr kommt es für die Frage, inwiefern EE-Methan einen Platz im Gesamtsystem einnehmen kann, auch auf die Ausgestaltung von Flottengrenzwerten auf der einen Seite und Fördermaßnahmen auf der anderen Seite an. In diesen Anwendungen sind derzeit eine Vielzahl möglicher Antriebe wie batterieelektrische Antriebe, Brennstoffzellenantriebe, Oberleitungs-Antrieb, Erdgas, Biokraftstoffe, oder synthetische Kraftstoffe im Gespräch, um eine Dekarbonisierung zu erreichen (NOW 2018; Plötz et al. 2018).

EE-Methan konkurriert aber nicht nur mit deutlich anders ausgestalteten Antrieben um die Ersetzung des Dieselantriebs bei Lkw und Schiffen, sondern weist mögliche Interaktionen schon direkt im Kraftstoff selbst auf. Interaktionen bzw. Konkurrenzen lassen sich sowohl „upstream“, d. h. in der Herstellungs- bzw. Produktionskette, als auch „downstream“, d. h. in der Nutzung, beobachten und sollten, auch wenn sie kein zentraler Aspekt der hier vorliegenden Forschungsarbeit sind, mitgedacht werden (Andersen und Markard 2020; Sandén und Hillman 2011).

Durch gemeinsame Schritte in der Herstellungskette konkurriert EE-Methan „upstream“ potenziell mit aus erneuerbaren Energien hergestelltem Wasserstoff. Erneuerbarer Wasserstoff, der direkt genutzt wird, steht beispielsweise nicht mehr für den weiteren Prozessschritt der Methanisierung zur Verfügung. „Downstream“ interagiert EE-Methan durch die sehr ähnlichen Anwendungseigenschaften potenziell mit fossilem Erdgas. Diese Interaktionen sind dynamisch, d. h. zeitlich variabel und veränderlich zu betrachten, was sich beispielsweise in der Bezeichnung von Erdgas als „Brückentechnologie“ zeigt.

2.4 Die Fokus-Anwendungen Straßengüterverkehr und Binnenschifffahrt

Aufgrund der hohen Energiedichte wird EE-Methan für Anwendungen diskutiert, die eine hohe Kraftübertragung sowie hohe Speicherkapazitäten voraussetzen (Zerta et al. 2019). Eine solche Anwendung stellt der Schwerlast- bzw. Güterverkehr, sowohl auf dem Land als auch auf dem Wasser, dar. Die aus dem Projekt MethSys gewonnenen Ergebnisse, die Gegenstand dieses Working Paper sind, beziehen sich daher neben den Ergebnissen für das Innovationssystem EE-Methan allgemein zusätzlich auf die Anwendung von EE-Methan in Lastkraftwagen sowie in (Binnen-)Schiffen. Dabei wird in diesem Papier der Fokus auf die Nutzung in Gasmotoren gelegt, das heißt die Nutzung von EE-Methan in verflüssigter Form (auch E-LNG genannt)³.

3 Theorie

In dem Projekt MethSys, in dem dieses Papier entstanden ist, werden sozialwissenschaftliche Fragestellungen in Bezug auf EE-Methan untersucht. Dabei werden Ansätze aus den Bereichen Innovations- und Transitionsforschung mit soziopsychologischen Konzepten der Einstellungs- und Entscheidungsbildung aus der Akzeptanzforschung verbunden.

Die *Innovationsforschung* nimmt hierbei eine Systemperspektive ein, bei der (unter anderem) die Akteure oder Stakeholder, die im Zusammenhang mit einer bestimmten Technologie oder Innovation aktiv sind, den Untersuchungsgegenstand bilden. Die so (z. B. mittels Medienanalysen) identifizierten Akteure im sog. Innovationssystem rund um EE-Methan werden in verschiedene Kategorien (wie Staat oder unterstützende Organisationen) eingeteilt. Darauf aufbauend erfolgt eine Bewertung hinsichtlich der Potentiale für eine weitere Marktentwicklung.

Die stärker *sozio-psychologisch* orientierte *Akzeptanzforschung* zielt dagegen darauf ab, die Perspektiven, Sichtweisen und Wahrnehmungen verschiedener Akteure in Bezug auf die Technologie zu erfassen (z. B. mittels Interviews) (Abbildung 3-1).

³ Die potenzielle Nutzung über SOFC-Brennstoffzellen wird somit hier ausgeklammert.

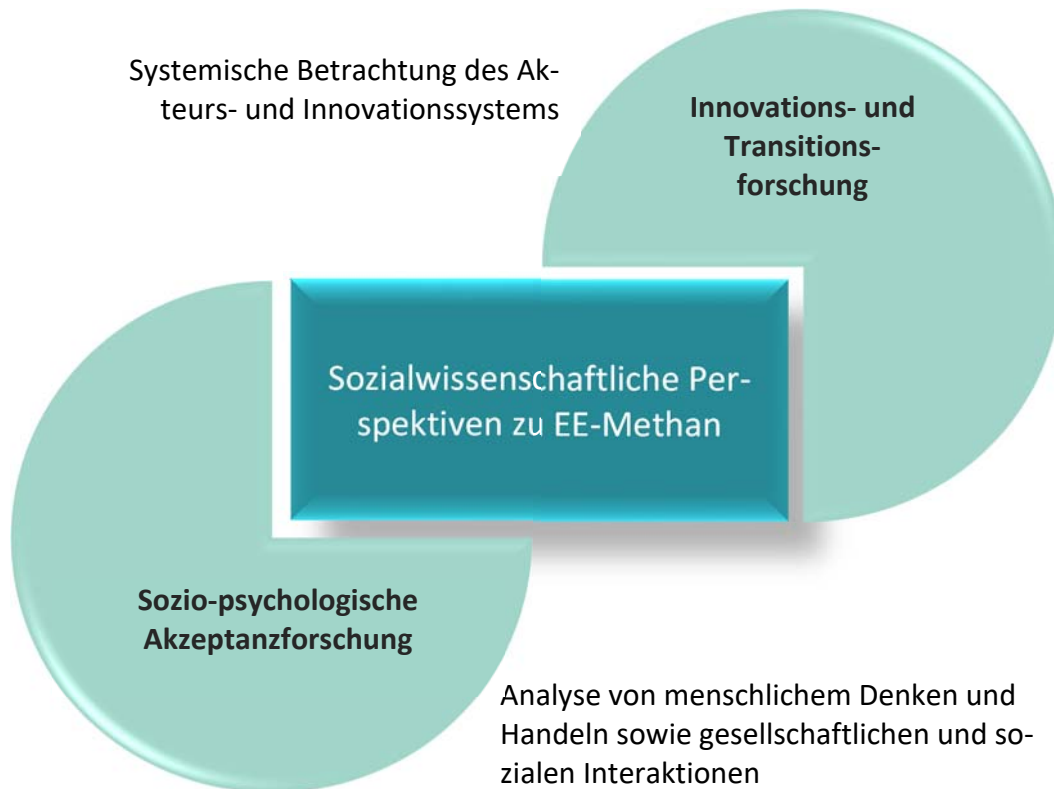


Abbildung 3-1: Forschungsrichtungen in der sozialwissenschaftlichen Analysen rund um EE-Methan

Im Rahmen dieses Working Papers werden (Zwischen-)Ergebnisse aus Arbeiten mit Fokus auf Akteure im Innovationssystem dargestellt; der Schwerpunkt liegt hier folglich auf Ansätzen aus der Innovationsforschung. Außerdem wird ein Ansatz aus der Stakeholder-Forschung zur Strukturierung der Analyse genutzt. Im weiteren Verlauf des Projekts erfolgen Untersuchungen aus dem Bereich der Akzeptanzforschung.

3.1 Sozio-technische Systeme und Akteure

Für die Beantwortung der Forschungsfrage hinsichtlich der im Innovationssystem von EE-Methan aktiven Akteurstypen sowie deren Bedeutung für die zukünftige Marktentwicklung werden Konzepte aus der Innovationssystemforschung zu nachhaltigen Transitionen (so genannten „sustainability transitions“) herangezogen. An dieser Stelle erfolgt daher eine kurze Einführung zu dieser Forschungsrichtung.

Die Literatur zu sozio-technischen Systemen erweitert die Forschung zu Technologien beziehungsweise Innovationen und ihrer Marktentwicklung um ihre gesellschaftliche Komponente. Ein sozio-technisches System ist eine „miteinander verbundene Kombination aus Technologien, Infrastrukturen, Organisationen, Märkten, Regelungen und Nutzungspraktiken, die gemeinsam gesellschaftliche Funktionen, wie beispielsweise persönliche Mobilität, liefern“⁴ (Geels et al. 2017, S. 1242).

Einen wichtigen Ansatz in dieser Literatur stellt das „technologische Innovationsystem“ (TIS) dar. Dieser Ansatz vereint eine (statische) Analyse von strukturellen Komponenten oder Teilsystemen eines TIS – Akteuren, Netzwerken und Institutionen – mit einer (dynamischen) funktionellen Analyse der Entwicklung eines TIS (Bergek et al. 2008; Markard und Truffer 2008). Die Analyse hat das Ziel, die Art und die Geschwindigkeit technologischen Wandels zu erklären (Hekkert et al. 2011, S. 3). Die Teilsysteme lassen sich weiter untergliedern. Ein von Hekkert et al. (2011) vorgestellter Ansatz unterscheidet auf der Akteursseite beispielsweise die Kategorien Angebot, Nachfrage, Forschung und Bildung, Politik und Institutionen sowie unterstützende Organisationen wie Kapitalgeber und spezifische Netzwerke.

Um die eher statische Analyse zu diesen Strukturen zu ergänzen, wurde das TIS um eine dynamische Komponente ergänzt. Der Verlauf einer TIS-Entwicklung über die Zeit wird so in der Literatur durch sieben Prozesse bestimmt, die Funktionen genannt werden (Bergek et al. 2008; Hekkert et al. 2007; Hekkert et al. 2011; Suurs et al. 2009). Hekkert et al. (2011) fassen diese Funktionen wie folgt zusammen; (1) *Unternehmerisches Experimentieren und Produzieren*, (2) *Wissensentwicklung*, (3) *Wissensaustausch*, (4) *Lenkung der Suchaktivitäten*, (5) *Marktformierung*, (6) *Ressourcenmobilisierung* und (7) *Resistenz gegenüber Wandel entgegenwirken*. Um Hemmnisse für die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt stattfindende Entwicklung der Innovation zu identifizieren, wird überprüft, inwiefern diese sieben Funktionen erfüllt sind. Ist eine Funktion nicht erfüllt, spricht man von einer Barriere.

Hekkert et al. (2011) differenzieren diese Analyse weiter aus und identifizieren Funktionen, die in bestimmten Entwicklungsphasen des TIS relevant, beziehungsweise am wichtigsten sind, um die jeweils nächste Entwicklungsphase zu erreichen. Die Autoren unterscheiden zwischen den vier Phasen *Vor-Entwicklung*

4 eigene Übersetzung

(pre-development), *Entwicklung* (development), *Start* (take-off) und *Beschleunigung* (acceleration) (vgl. Abbildung 3-2). Für unsere Analyse verstehen wir diese Phasen als Phasen der Marktentwicklung der Innovation.

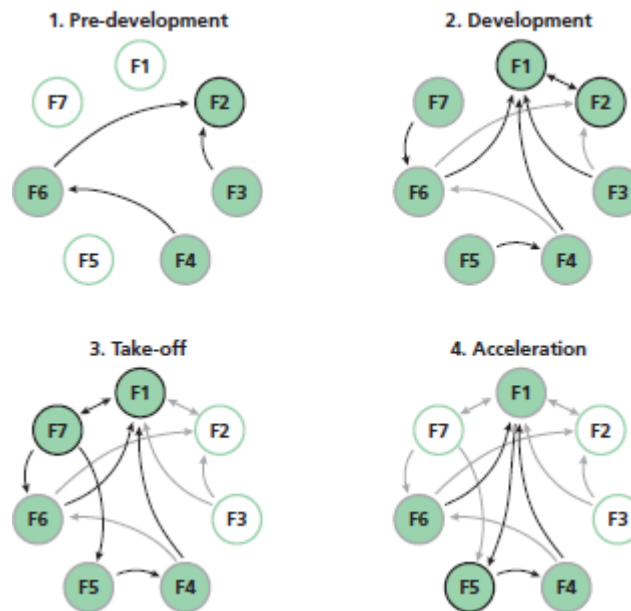


Abbildung 3-2: Phasen der TIS-Entwicklung aus Hekkert et al. (2011)

Für die Phase *Vor-Entwicklung* wird die Funktion der *Wissensentwicklung* (F2) als zentral angesehen (Hekkert et al. 2011). Diese Systemfunktion kann durch die Nichterfüllung anderer Funktionen wie *Wissensaustausch* (F3), *Lenkung der Suchaktivitäten* (F4) sowie *Ressourcenmobilisierung* (F6) negativ beeinflusst werden (Hekkert et al. 2011). Kritisch für die Entwicklungsphase als nächste Phase ist vor allem die Funktion *Unternehmerisches Experimentieren und Produzieren* (F1). Alle anderen Systemfunktionen werden in dieser Phase als Einflüsse gesehen. *Wissensentwicklung* (F2), *Wissensaustausch* (F3), *Lenkung der Suche* (F4) und *Ressourcenmobilisierung* (F6) haben dabei einen direkten Einfluss.

Aufgrund des noch frühen Entwicklungsstands der Innovation EE-Methan stehen vor allem die Phasen *Vor-Entwicklung* und *Entwicklung* im Blickpunkt. Die bisherige Entwicklung der Technologie kann der Phase *Vor-Entwicklung* zugeordnet werden, während *Entwicklung* die nächste Phase darstellt.

3.2 Stakeholder-Forschung und Akteursbegriff

Ergänzend zur Innovationssystemforschung wird in dieser Analyse ein Vorgehen aus der Stakeholder-Forschung genutzt. Als Stakeholder werden im engeren

Sinne, das heißt vor allem in der Management-Literatur, Gruppen oder Individuen bezeichnet, ohne die eine Organisation nicht weiter existieren kann oder die direkt von der Performanz der Organisation betroffen sind (siehe Zusammenfassung von Reed et al. 2009). Häufig genutzt wird jedoch die breit gefasste Definition von Freeman (1984), der in der Stakeholdertheorie zwischen „jenen, die eine Entscheidung oder Aktivität beeinflussen und jenen, die davon beeinflusst werden“⁵ (Reed et al. 2009, S. 1934) unterschied. Während dieser breitere Begriff auch für die vorliegende Analyse passt, werden Gruppen oder Individuen im Folgenden jedoch als *Akteure* bezeichnet, um einer Verwechslung mit der enger gefassten Stakeholder-Literatur aus dem Management vorzubeugen.

Für die Forschung zu Beeinflussern und Beeinflussten sind verschiedene Analysen nötig und möglich, die Reed et al. (2009) in einer Typologie anhand dreier Hauptschritte zusammenfassen: (1) Identifizierung der Stakeholder, (2) Differenzierung zwischen und Kategorisierung der Stakeholder, (3) Untersuchung der Beziehungen zwischen den Stakeholdern. Für die vorliegende Analyse werden die ersten beiden Schritte übernommen. Schritt 2 wird durch Reed et al. (2009) in eine analytische, so genannte „top-down“-Kategorisierung und eine rekonstruktive, so genannte „bottom-up“-Kategorisierung unterteilt. Das Vorgehen in dieser Analyse orientiert sich mit Hilfe des TIS-Akteursschemas vor allem an der „top-down“-Methode, enthält jedoch auch einen Verifizierungs-Schritt, der Elemente einer „bottom-up“-Kategorisierung mit einbezieht.

Die abschließende Ergänzung der Identifizierung und Kategorisierung um die Analyse der Erfüllung der Marktentwicklungsphasen adressiert den Anspruch der Stakeholder-Literatur, über eine rein deskriptive Analyse hinauszugehen.

4 Methodik

Zunächst erfolgt die Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands bzw. der betrachteten Innovationssysteme. Den Untersuchungsgegenstand bzw. das Akzeptanzobjekt für diese Studie stellt synthetisches Methan, auch EE-Methan genannt, dar. Dieses wird abgegrenzt von weiteren „grünen Gasen“ wie Biogas und erneuerbarem Wasserstoff, aber auch fossilem Erdgas, welche im Rahmen dieser Analyse nicht zentral betrachtet werden.

⁵ eigene Übersetzung

Die in diesem Papier dargestellte Untersuchung soll die Forschungsfrage nach den im Innovationssystemen aktiven Akteurstypen beantworten und Aussagen für die zukünftige Marktentwicklung ableiten. Dafür wird eine Medien- und Publikationsanalyse durchgeführt.

Die folgenden aus der Stakeholder- und Transitionsliteratur abgeleiteten Arbeitsschritte werden im Rahmen dieser Analyse durchgeführt (Abbildung 4-1):

1. Akteursidentifikation: Welche Akteure und Akteurstypen sind im Innovationssystem um EE-Methan bereits aktiv?
2. Akteurskategorisierung: Wie lassen sich die Akteurstypen den verschiedenen Bereichen im Innovationssystem um EE-Methan zuordnen?
3. Akteursfunktionen mit Marktentwicklung: Was bedeutet die Verteilung der Akteure im Innovationssystem für die weitere Marktentwicklung?

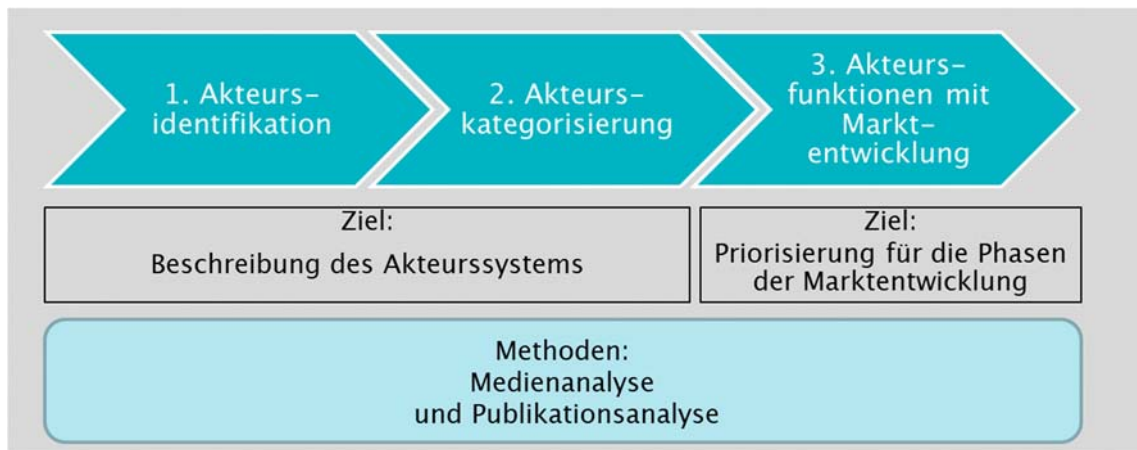


Abbildung 4-1: Vorgehen und Arbeitsschritte

Als nächster Schritt werden im weiteren Projektverlauf Interviews durchgeführt, um Lücken im Material zu schließen und um die hier erzielten Ergebnisse mit den Sichtweisen der Akteure / Stakeholder anzureichern und zu validieren. Diese geplanten Analysen sind der Akzeptanzforschung zuzuordnen (Kapitel 3).

Im Folgenden wird zunächst die Datenbasis beschrieben. Anschließend folgt die Beschreibung der drei Analyseschritte Akteursidentifikation, Akteurskategorisierung und Akteursfunktionen mit Marktentwicklung. Schließlich wird das Vorgehen bei der Durchführung der Experten-Workshops dargestellt.

4.1 Datenbasis: Medien- und Publikationsanalyse

Die zentrale Datenbasis für die Arbeitsschritte stellt eine Medien- und Publikationsanalyse in deutschen Quellen dar. Als Quellen dienen zum einen deutsche Zeitungsartikel (Medienanalyse). Zum anderen werden auch (wissenschaftliche) Veröffentlichungen zu in Deutschland koordinierten Forschungsprojekten rund um EE-Methan als Teilmenge grauer Literatur (Publikationsanalyse), herangezogen. Zeitungsartikel werden gewählt, da sie sowohl die öffentlich wahrnehmbaren und hauptsächlich kommunikativ aktiven Akteure abbilden als auch deren Positionen in Bezug auf EE-Methan. Veröffentlichungen rund um EE-Methan-Forschungsprojekte liefern zusätzlich Informationen zu aktiven Akteuren, die wenig oder gar nicht in den Medien sichtbar sind. Aufgrund des noch frühen Entwicklungsstands der Technologie und wenig Auseinandersetzung mit EE-Methan abseits der Medien bzw. eines Fachpublikums, wurden keine weiteren grauen Literaturquellen berücksichtigt.

Um ein umfassendes Bild der Akteurslandschaft rund um EE-Methan zu erhalten, erfolgt für den Zeitraum vom 23.05.2014 bis zum 23.05.2019 eine stichwortbasierte Suche in der Zeitungsdatenbank LexisNexis. Folgende Stichworte werden unterschieden:

- Methan
 - UND erneuerbar
 - UND synthetisch
 - UND EE
- Erdgas
 - UND erneuerbar
 - UND synthetisch

Die so ermittelten Zeitungsartikel werden zunächst geprüft und sortiert. Die in der Überprüfung ermittelten Dopplungen sowie thematisch nicht relevanten Artikel werden aussortiert. Die Anzahl der ermittelten Artikel reduziert sich somit von 457 auf 249.

Um eine möglichst große Anzahl von wissenschaftlichen Artikeln abzudecken, wird die Suche nach akademischer Literatur mit Hilfe der Datenbank GVK (Gemeinsamer Verbundkatalog Deutsche Bibliotheken) als eine der größten wissenschaftlichen Datenbanken in Deutschland durchgeführt. Die Suche mit Hilfe der Suchbegriffe [(synthetisch* UND Methan*) ODER (erneuerbar* UND Methan*) ODER (EE UND Methan*) ODER (synthetisch* Erdgas*)] in den Titeln der Publikationen für die Jahre 2014-2019 (plus zwei zusätzlicher relevanter Publikationen aus dem Jahr 2012) liefert 64 Treffer. Nach Bereinigung der Treffer auf Duplikate

und Teilmengen (beispielsweise Kapitel derselben schon in der Liste enthaltenen Publikation) bleiben 30 Treffer. Die so ermittelten Artikel sind technischer und naturwissenschaftlicher Natur und beschäftigen sich nicht mit (einzelnen) Akteuren und deren Handlungen. Als für die Analyse relevante Akteure werden daher in diesen Fällen die an der Forschung beteiligten Organisationen gewertet.

4.2 Datenauswertung: Akteursidentifikation, Akteurskategorisierung und Akteursfunktionen

In diesem Abschnitt wird die Auswertung der in der Medien- und Publikationsanalyse gesammelten Zeitungsartikel und wissenschaftlichen Veröffentlichungen beschrieben. Die Auswertung erfolgt entlang der drei Schritte Akteursidentifikation, Akteurskategorisierung und Akteursfunktionen.

4.2.1 Arbeitsschritt 1: Akteursidentifikation

Die Analyse der in der Medienanalyse als relevant identifizierten Artikel hinsichtlich der enthaltenen Akteure erfolgt mit Hilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse. Hierfür werden in den Artikeln auftretende Akteure händisch kodiert. Zusätzlich werden die Eigenschaften der jeweiligen Artikel, wie Datum, Name des Autors und Name der Veröffentlichung, dokumentiert. Die Ergebnisse werden zunächst in Tabellenform aufbereitet. Dabei wird in einer Excel-Liste für jeden einzelnen Artikel notiert, welche Akteure im Zusammenhang mit EE-Methan erwähnt werden. Darauf aufbauend wird anschließend eine Akteurstabelle erstellt, die eine spätere Zuordnung von Funktionen und Kategorien erlaubt.

Insgesamt ergibt sich aus der Analyse der Zeitungsartikel eine Liste von 114 Akteuren zum Akzeptanzobjekt EE-Methan. Auf Basis der so gewonnenen Akteursliste werden Einzelakteure sowohl einem Akteurstyp zugeordnet⁶ als auch, falls zutreffend, einer der beiden Anwendungen Lkw oder Schiff. Auf der Grundlage des Akteurstyps wird außerdem ergänzt, welche die überwiegenden Kernaktivitäten der Akteurstypen sind, d. h. welche Aktivität die Organisation hauptsächlich ausführt und sie damit charakterisiert.

⁶ Akteurstypen fassen Einzelakteure zusammen. So werden beispielsweise die Einzelakteure Fraunhofer ISI oder Öko-Institut dem Akteurstyp Forschungsinstitut zugeordnet. Dies erlaubt sowohl eine vereinfachte grafische Darstellung der Akteurslandschaft als auch eine besser generalisierbare Analyse der erfüllten Funktionen durch aktive Akteure in bestimmten Marktphasen.

Die Akteursliste auf Basis der Zeitungsartikel wird um Akteure aus der wissenschaftlichen Literatur ergänzt. Da eine Voranalyse zeigt, dass sich die Artikel inhaltlich nicht mit Akteuren beschäftigen, werden die Affiliationen (Organisationen der Autor:innen) in die Akteursanalyse aufgenommen. Insgesamt ergibt sich aus der Analyse wissenschaftlicher Artikel eine Liste von 56 Akteuren. Nach Ausschluss der Überschneidungen mit den bereits in den Zeitungsartikeln identifizierten Akteuren bleiben 41 neue Akteure.

4.2.2 Arbeitsschritt 2: Akteurskategorisierung

Ziel des zweiten Arbeitsschritts ist es, mit Hilfe eines Kategoriensystems einen Überblick des Akteurssystems zu erstellen. Zur Akteurskategorisierung wurde die Akteurssystematisierung von Hekkert und Kollegen aus der TIS-Literatur (Hekkert et al. 2011) weiterentwickelt, um sie für die vorliegende Innovation eines Kraftstoffs nutzbar zu machen (Abbildung 4-2).

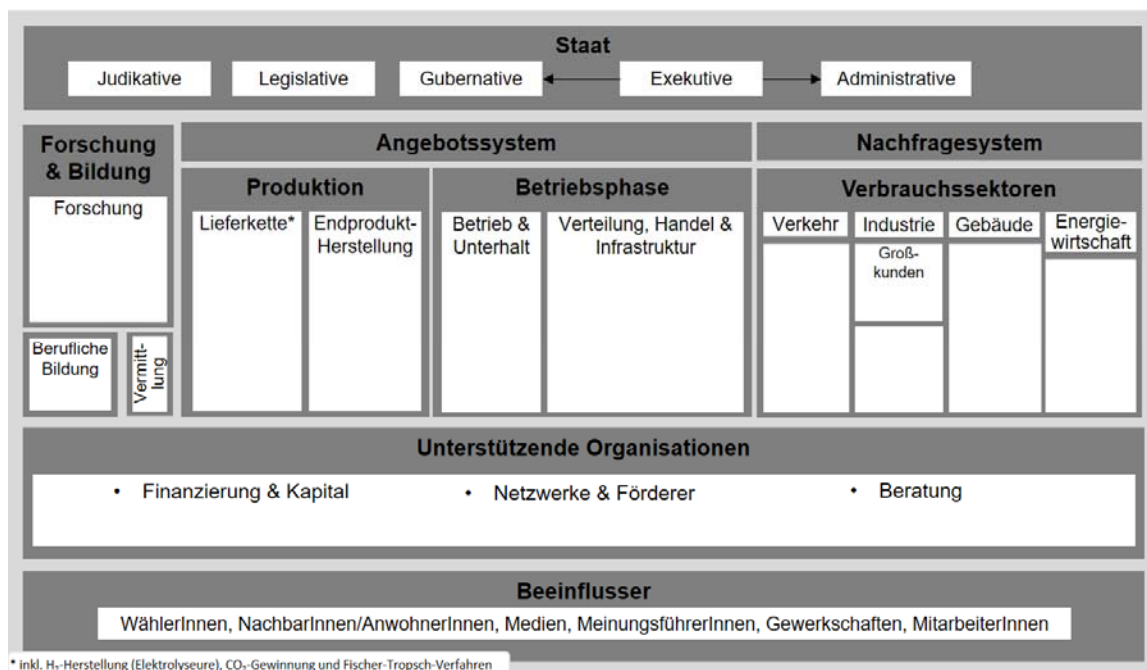


Abbildung 4-2: Kategoriensystem für die Akteurskategorisierung, weiterentwickelt basierend auf Hekkert et al. 2011

Die Kategorien *Forschung und Bildung*, sowie *Angebots- und Nachfragesystem* bilden die Hauptachse des Kategoriensystems. Die Kategorie *Vermittlung* wurde als zusätzliche Verbindung zwischen *Forschung und Bildung* und der Marktseite

eingefügt. Diese beinhaltet beispielsweise Institute im Bereich angewandter Forschung⁷. Auf der Angebotsseite erfolgt eine Differenzierung in *Produktions- und Betriebsphase*. Innerhalb der *Produktionsphase* wird zwischen *Lieferkette* und *Endproduktherstellung* unterschieden. Innerhalb der *Betriebsphase* wird zwischen *Betrieb und Unterhalt* und *Verteilung, Handel und Infrastruktur* unterschieden. Das *Nachfragesystem* zu EE-Methan wird in die Verbrauchssektoren *Verkehr, Industrie, Gebäude* und *Energiewirtschaft* unterteilt.

Gerahmt wird diese Hauptachse von der politischen Dimension (*Staat*), die durch die *Legislative* (Fördermechanismen und Regulierungen, u. a. des Energiemarktes) Rahmenbedingungen setzt. Deren Umsetzung erfolgt durch die *Exekutive*, welche einerseits die *Gubernative* als Regierungsgewalt, andererseits die *Administrative* umfasst. Die jeweiligen Dimensionen sind hierbei auf verschiedenen Ebenen verankert (international, national, regional und kommunal). Die staatliche Gewaltenteilung umfasst zusätzlich auch die *Judikative* als unabhängig rechtsprechenden Akteur. Flankiert werden diese Subsysteme durch *unterstützende Organisationen* (z.B. Investoren oder Branchenverbände) und *Beeinflusser* (z. B. Bürgerinnen und Bürger als Wähler oder Medien).

Um die Akteurskategorisierung vorzunehmen, wurden alle in Arbeitsschritt 1 identifizierten Einzelakteure in die Kategorie eingetragen, die ihrer hauptsächlichen Aktivität im sozio-technischen System um EE-Methan entspricht. Diese Information zur Art der Aktivität im Zusammenhang mit EE-Methan wurde den analysierten Zeitungsartikeln und Publikationen entnommen. Akteure mit Aktivitäten in mehreren Kategorien wurden entsprechend mehrfach zugeordnet und andersfarbig kenntlich gemacht. Bei Aktivitäten in oder zwischen zwei angrenzenden Kategorien wurden Akteure auch grafisch an den Schnittstellen platziert. Die grafische Darstellung erfolgte für die Einzelakteure sowie für die zugewiesenen Akteurstypen (vgl. Fußnote 6).

Die Analyse in diesem Arbeitsschritt beschreibt schließlich die Verteilung der Akteure im Akteurssystem und vergleicht die Kategorien, die diese Akteure rund um EE-Methan ausfüllen, mit den bisherigen Kernaktivitäten dieser Akteure. Die Verteilung wird deskriptiv über eine Auszählung der Einzelakteure nach Kategorien dargestellt. Der Vergleich erfolgt anhand der in Arbeitsschritt 1 zugeordneten Kernaktivität der Akteurstypen und wird pro Kategorie zusammengefasst. Hieraus ergeben sich Erkenntnisse darüber, inwiefern die Innovation EE-Methan mit

⁷ Aus Gründen der starken Überlappung dieser Kategorie mit der Kategorie Forschung werden diese beiden Kategorien im vorliegenden Papier nicht ausdifferenziert.

in bestehende sozio-technische Systeme, wie beispielsweise das System rund um fossiles Erdgas, integriert wird oder ob durch neue Aktivitäten und Akteure ein überwiegend neues System entsteht.

4.2.3 Arbeitsschritt 3: Akteursfunktionen mit Marktentwicklung

Ziel der Analyse ist es, herauszufinden, inwieweit die bisherige Akteurslandschaft rund um EE-Methan das Potenzial einer Weiterentwicklung des technischen Innovationssystems aus der Vorentwicklungsphase in die Entwicklungsphase hinein ermöglicht.

Um zu ermitteln, inwiefern die heutige Akteurslandschaft rund um EE-Methan für eine weitere Marktentwicklung der Technologie zuträglich ist, gilt es, zwei Analyseschritte durchzuführen. Zunächst müssen auf Basis der theoretischen Überlegungen Akteure bzw. Akteurstypen identifiziert werden, die für die wichtigsten Funktionen in den einzelnen Phasen der Marktentwicklung zentral sind. Für die Funktion Wissensentwicklung werden beispielsweise Universitäten und Forschungsinstitute als zentral identifiziert. In der Ressourcenmobilisierung hingegen sind es Akteure wie Bundesministerien oder Hersteller und für die Marktentwicklung Hersteller sowie nachfragende Akteure. Anschließend werden die empirisch ermittelten Akteure rund um EE-Methan (vgl. Akteursidentifikation in Abschnitt 4.2.1) mit den theoretisch ermittelten wichtigen Akteurstypen für die aktuelle sowie die nächste Entwicklungsphase verglichen. So können fehlende oder weniger stark ausgeprägte Akteurstypen sowie andere Abweichungen festgestellt werden.

4.3 Validierung der Ergebnisse in Experten-Workshops

Die Ergebnisse der Arbeitsschritte 1-4 wurden in zwei virtuellen Experten-Workshops präsentiert und diskutiert. Das Ziel war es, die mit der Medien- und Publikationsanalyse identifizierten Akteure und Akteurstypen mit Experten zu validieren und gegebenenfalls Lücken im Material zu schließen. Zielgruppe waren Projektbeteiligte aus dem MethQuest-Projekt.

Der erste Workshop (WS) fand am 30.4.2020 statt, bei dem zunächst die Ergebnisse den Vertreter:innen aus dem MethSys-Verbund präsentiert wurden. Elf Personen nahmen an diesem Termin teil. Im Anschluss wurden die Teilnehmer:innen im Rahmen eines interaktiven Workshops gebeten, Akteure und Akteurstypen in den Innovationssystemen EE-Methan Allgemein, EE-Methan im Lkw-Ber-

reich sowie EE-Methan im Schiffsbereich zu ergänzen. Dafür wurde den Teilnehmenden das leere TIS-Kategoriensystem für die Akteurskategorisierung vorgelegt (Abbildung 4-2). Hierfür wurde das Tool MS Office 365 Powerpoint genutzt, neun Personen waren dabei anwesend. Insgesamt dauerte der Termin 1,5 Stunden.

Ein zweiter Workshop fand am 15.5.2020 mit VertreterInnen des MethQuest-Projekts statt. Wie bei dem ersten Termin wurde dieser auch in die zwei Teile Vortrag (39 Teilnehmende) und interaktiver Workshop (acht Teilnehmende) aufgeteilt.

5 Ergebnisse

Die Akteursidentifizierung in Zeitungsartikeln und wissenschaftlichen Veröffentlichungen (Arbeitsschritt 1) und anschließende Kategorisierung (Arbeitsschritt 2) ermöglicht einen ersten Überblick über das Akteurssystem rund um EE-Methan in Deutschland allgemein sowie für die Anwendungsfälle Lkw und Schiff. Diese Akteurssysteme sind in Abschnitt 5.1 dargestellt. Im zweiten Teil der Ergebnisse in Abschnitt 5.2 wird die Frage beantwortet, welche Funktionen des Innovationsystems die bereits (kommunikativ) aktiven Akteure in Bezug auf die Marktentwicklung erfüllen und welche Funktionen noch nicht abgedeckt werden (Arbeitsschritt 3).

5.1 EE-Methan-Akteurssysteme

Nach der Darstellung des Akteurssystems für EE-Methan allgemein werden die Akteurssysteme für die Anwendungsfälle Lkw und Schiff identifiziert. Diese können als Teilmenge des allgemeinen Akteurssystems gesehen werden. Die so aus der Medienanalyse und den wissenschaftlichen Veröffentlichungen erstellten Akteurssysteme werden im Anschluss jeweils durch die Ergebnisse aus den Validierungs-Workshops ergänzt.

5.1.1 EE-Methan allgemein

Auf Basis der TIS-Akteurskategorisierung bietet Abbildung 5-1 einen Überblick über das mit Hilfe der Zeitungsartikel und akademischen Literatur erstellte Akteurssystem rund um EE-Methan in Deutschland. Darin sind zunächst die einzelnen Akteure enthalten (Akteurstypen sind in Abbildung 5-2 enthalten). Wie die

Legende im rechten unteren Teil der Abbildung zeigt, sind Akteure entweder einer oder mehreren Kategorien zugeordnet (vgl. Abschnitt 4.2.2). Im Überblick wird deutlich, dass sich die Akteure in einigen Kategorien konzentrieren, während andere Kategorien leer oder nur wenig gefüllt sind. Die dominierenden Kategorien sind die Kategorie *Produktion* (42 Akteure) im *Angebotssystem*, die Unterkategorie *Universitäten & Forschungsinstitute* in der Kategorie *Forschung & Bildung* (35 Akteure), sowie die Kategorie *Unterstützende Organisationen* (28 Akteure). Kategorien ohne oder mit sehr wenigen Akteuren sind *Beeinflusser*, sowie die Unterkategorien *Berufliche Bildung* und *Vermittler* in der Kategorie *Forschung & Bildung*, die *Judikative* und *Legislative*, die Unterkategorie *Finanzierung & Kapital* der Kategorie *Unterstützende Organisationen*, sowie Teile der *Verbrauchssektoren*.

In den Verbrauchssektoren, d. h. auf der Anwendungsseite, zeigt sich ein Fokus auf dem *Verkehrsbereich* (vgl. Abschnitt 5.1.2 zu Lkw und Schiffen), gefolgt von der Anwendung in *Gebäuden* (Wärme). Dahingegen befassen sich bislang nur wenige der derzeit zu EE-Methan aktiven oder kommunizierenden Akteure mit *Industrieprozessen* oder beispielsweise der Rückverstromung in der *Energiewirtschaft*.

Abbildung 5-2 zeigt die Abstraktion der Einzelakteure auf der Basis von Akteurstypen. Die Abstraktion zeigt grafisch, welche Akteurstypen im System rund um EE-Methan welche Aktivitäten bereits ausführen oder in den Medien ankündigt haben. Bis auf eine Ausnahme befinden sich alle Akteurstypen in sechs zentralen (Unter)Kategorien: *Staat*, *Forschung*, *Produktion*, *Betriebsphase*, *Verbrauchssektoren* und *Unterstützende Organisationen*. Im Folgenden werden die Informationen zu den EE-Methan-Aktivitäten, dargestellt durch die Kategorienzuordnung im System, mit den Kernaktivitäten des jeweiligen Akteurstyps dieser Einzelakteure verglichen (vgl. Abschnitt 4.2.2). So kann beispielsweise ermittelt werden, ob zuvor vor allem in der Herstellung von Fahrzeugen aktive Unternehmen sich nun auch in der Lieferkette oder Endproduktherstellung von EE-Methan wiederfinden.

In der Kategorie *Staat* sind alle drei Hauptregierungsebenen vertreten: Bund, Land und Kommune. In der *Gubernative* sind *Bundesregierung* und *Landesregierungen* sowie *Parteien* mit EE-Methan befasst. In der *Administrativen* konnten neben *Kommunen* und *Ministerien* auch die Kategorien *Landesenergieagentur*, *bundeseigenes Unternehmen* und *Bundes(ober)behörde* identifiziert werden.

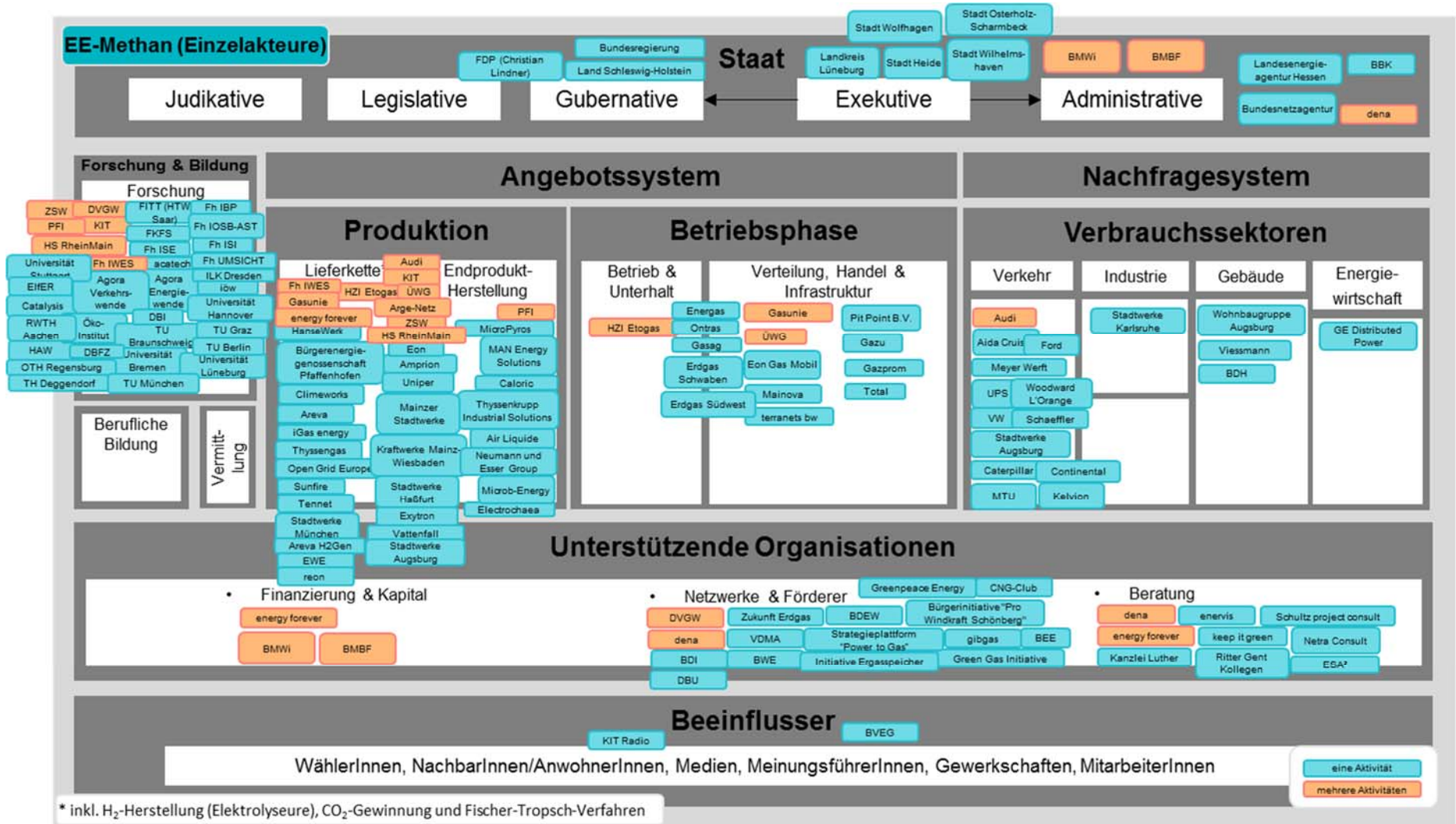


Abbildung 5-1: Akteurskategorisierung EE-Methan, Einzelakteure

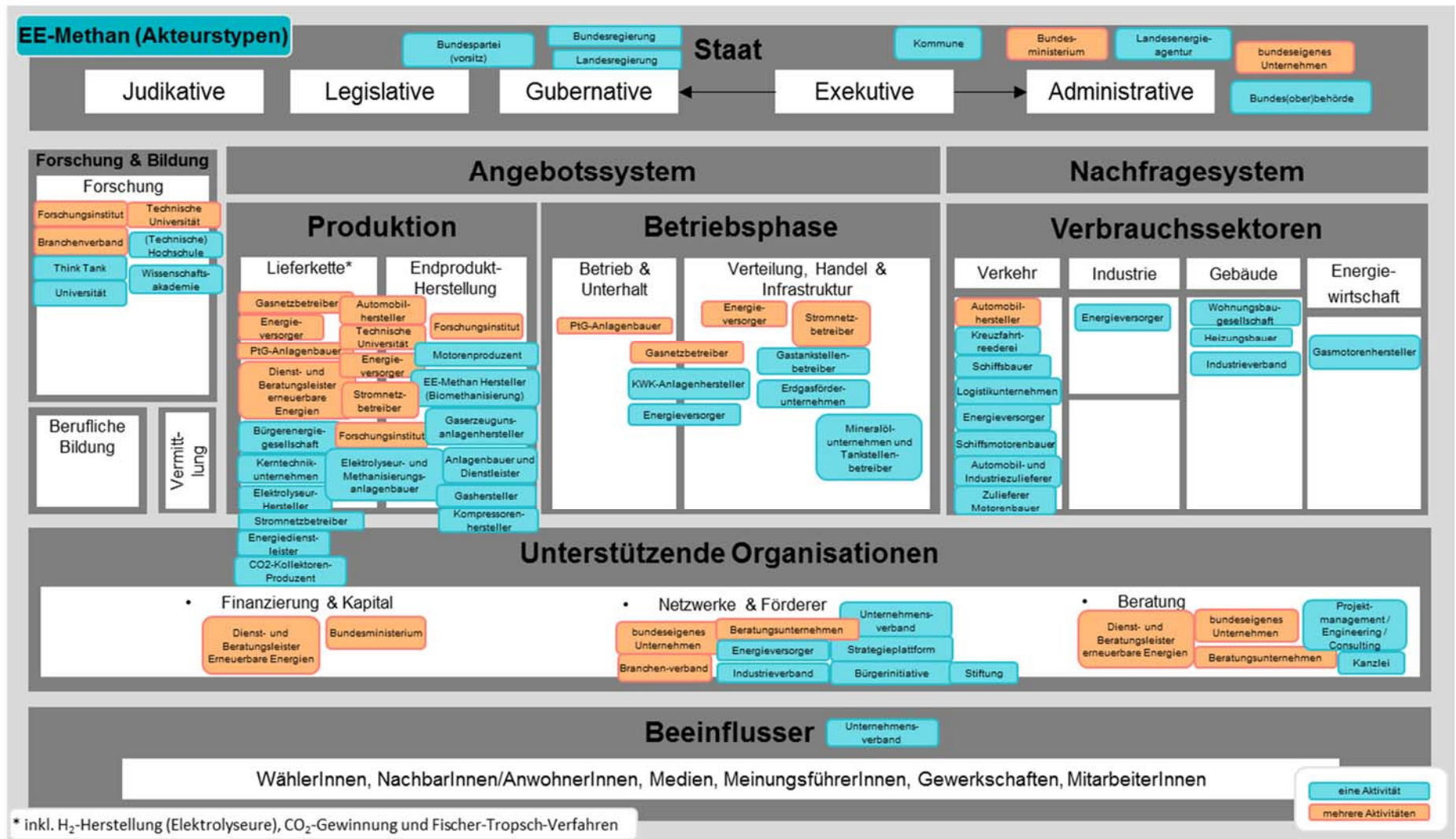


Abbildung 5-2: Akteurskategorisierung EE-Methan, Akteurstypen

In der Kategorie *Forschung* sind, ihrer Kernaktivität entsprechend, *Universitäten*, *Forschungsinstitute* und *Think Tanks* zu finden. Vertreten sind besonders *Hochschulen* mit ihrem größeren Anwendungsbezug, sowie *technische Hochschulen* und *technische Universitäten* mit ihrem Fokus auf (angewandte) Technologieforschung. Die Kategorien *Branchenverband* und *Wissenschaftsakademie* können als ungewöhnlicher für die Funktion *Forschung* eingestuft werden. In einigen in der Literatur identifizierten Forschungsprojekten werden Praxispartner wie *Automobil- und Motorenhersteller* eingebunden. Diese tragen Daten aus der Praxis bei und unterstützen Projekte vor allem bezüglich Anwendungsentwicklung und -anpassung. Sie sind daher in der Kategorie *Forschung* nicht aufgeführt.

Die Kategorie *Produktion* und ihre Unterkategorien *Lieferkette* und *Endproduktherstellung* weisen sehr heterogene Akteurstypen auf. *Universitäten* und *Forschungsinstitute* haben eine Doppelfunktion inne: Sie finden sich in der *Endprodukt-, d. h. EE-Methan-Herstellung* sowie zwischen dieser Kategorie und der *Lieferkette*. Die meisten spezialisierten und teilweise erst in der jüngeren Vergangenheit gegründeten Akteure finden sich in der *Endproduktherstellung*: Hier werden *EE-Methan-Hersteller (Biomethanisierung)*, *Gaserzeugungsanlagenhersteller*, *Gashersteller* und *Kompressorenhersteller* identifiziert. In der *Endproduktherstellung* finden sich jedoch auch etablierte Akteure mit eigentlich anderen Kernaktivitäten wie die Akteurstypen *Forschungsinstitut* oder *Motorenproduzent*.

Die *Lieferkette* umfasst die Erzeugung und Bereitstellung sowohl von erneuerbarer Energie als auch von Wasserstoff und CO₂ als Vorprodukte für EE-Methan. Daher finden sich hier Akteurstypen wie *Energieversorger*, *Kerntechnikunternehmen* und *Stromnetzbetreiber*, aber auch *PtG-Anlagenbauer*, *Elektrolyseurhersteller*, *Gasnetzbetreiber* oder *CO₂-Kollektoren-Produzenten*. Die Spezialisierung auf einzelne Aktivitäten im System nimmt vom *Energieversorger* bis zum *CO₂-Kollektoren-Produzenten* zu und die Aktivitäten der Akteurstypen entsprechen so zunehmend ihren Kernaktivitäten.

Die ermittelten Akteurstypen an der Schnittstelle zwischen *Lieferkette* und *Endproduktherstellung* zeigen ein anderes Bild auf. Neben dem auf diese Schnittstellenaktivität spezialisierten Typ des *Elektrolyseur- und Methanisierungsanlagenbauers* sind ausschließlich Akteurstypen vertreten, die ursprünglich eine andere Kernaktivität haben: *Automobilhersteller*, *Technische Universitäten*, *Forschungsinstitute*, *Energieversorger* und *Stromnetzbetreiber*. Im System EE-Methan übernehmen diese Akteurstypen neue Aktivitäten und sind sowohl in der *Vorkette* als auch bei der *Herstellung von EE-Methan* selbst tätig.

In der *Betriebsphase* sind mit *Betrieb & Unterhalt* vor allem *PtG-Anlagenbauer* beschäftigt. An der Schnittstelle zu *Verteilung, Handel & Infrastruktur* befinden sich außerdem, wie bereits in der *Produktion*, *Gasnetzbetreiber* und *Energieversorger* sowie *KWK-Anlagenhersteller*. In der Kategorie *Verteilung, Handel & Infrastruktur* kommen zu *Energieversorgern* und *Stromnetzbetreibern*, die sich in der zukünftigen Aktivität EE-Methan-Handel und -Verteilung sehen, auch Akteurstypen aus dem derzeit noch fossilen System hinzu: *Erdgasförderunternehmen*, *Mineralölunternehmen* und *Tankstellenbetreiber* sowie *Gastankstellenbetreiber*. Wird die Kernaktivität dieser Akteurstypen als die Verarbeitung und Verteilung von flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen verstanden, so kann dies als eine Passung mit den EE-Methan-Aktivitäten gewertet werden. Trennt man jedoch EE-Methan durch seinen anderen Herstellungsweg von der Förderung, Verarbeitung und Verteilung von fossilen Kraftstoffen, so finden sich diese Unternehmen hier in neuen Aktivitäten wieder.

Die in den *Verbrauchssektoren* dominierende Unterkategorie des *Verkehrs* wird im folgenden Abschnitt zu Lkw und Schiffen thematisiert. In den Kategorien *Industrie*, *Gebäude* und *Energiewirtschaft* finden sich Akteurstypen, die hinsichtlich dieser Zuordnung ihren sonstigen Kernaktivitäten entsprechen. In der *Industrie* sind dies *Energieversorger*, im *Gebäudebereich* sind es die Typen *Wohnungsbau-gesellschaft*, *Heizungsbauer* und *Industrieverband* und in der *Energiewirtschaft* der Typ *Gasmotorenhersteller*.

Die Kategorie der unterstützenden Organisationen wird geprägt durch *Bundesministerien* in der *Finanzierung*, vielfältige Akteurstypen wie *Verbände*, *Unternehmen*, *Plattformen*, *Stiftungen* und *Initiativen* als *Netzwerke* und *Förderer*, sowie *Unternehmen*, *Beratungen* und *Kanzleien* in der *Beratung*. Diese Akteurstypen sind auch außerhalb des EE-Methan-Systems mit ihren Kernaktivitäten in diesen Kategorien vertreten.

Zusammenfassend lässt sich eine Dominanz von Akteurstypen, die in ihren Kernaktivitäten tätig sind, feststellen. Einige Ausnahmen wurden jedoch identifiziert: *Energieversorger* und *Automobilhersteller* finden sich im EE-Methan-System in den unterschiedlichsten Aktivitäten wieder und damit in Kategorien, die teilweise von ihren Kernaktivitäten abweichen. *Universitäten* und Forschungsinstitute sind sowohl in der *Forschung* als auch in der *Produktion* tätig. Aufgrund des Experimentcharakters dieser *Produktionen* kann dies jedoch eine temporäre Aktivität darstellen, die über Prototypen oder Feldversuche nicht hinausgeht oder diese im Anschluss an fertiggestellte Forschungsprojekte an die Industrie weitergibt.

Validierung (Workshop)

Die in den Validierungs-Workshops (Abschnitt 4.3) von den Expert:innen genannten Akteure stellen zum großen Teil eine Teilmenge der in der Medien- und Publikationsanalyse identifizierten Akteure dar. Die identischen Akteure und Akteurstypen wurden, bis auf eine Ausnahme, von den Expert:innen auch den gleichen Systemkategorien zugeordnet. Lediglich ein Akteur wurde anstatt der *Produktion* der *Betriebsphase* zugeordnet.

Die Expertinnen und Experten nannten jedoch auch noch weitere Akteure und Akteurstypen. Dies stellen einerseits Akteure bzw. -typen dar, die aktuell schon im System um EE-Methan aktiv sind und nicht durch die Medien- und Publikationsanalyse ermittelt werden. Andererseits wurden auch einige Akteure bzw. -typen genannt, die für eine zukünftige weitere Verbreitung von EE-Methan wichtig sein können, wie beispielsweise solche im System um fossiles Erdgas. Im ersten Workshop wurde ein weiteres *Forschungsinstitut* ergänzt. *Produktionsseitig* wurden *Hersteller von Gasnetzkomponenten* als allgemein wichtig für den Erhalt des Gassystems und mit Interesse an dessen Fortbestand ergänzt. Für *Verteilung, Handel und Infrastruktur* wurde die Bedeutung von (*freien*) *Tankstellenbetreibern* hervorgehoben, da diese auch im fossilen Erdgassystem eine wichtige Rolle bei der Verfügbarkeit spielen. In diesem Workshop lassen sich die Ergänzungen in den *Verbrauchssektoren* als Intermediäre⁸ zusammenfassen: Für den *Verkehr* wurden *Autowerkstätten* genannt, die die Möglichkeit der Umrüstung konventioneller Pkw auf CNG anbieten, sowie für *Industrie und Gebäude Heizgerätehersteller, Energieberater, Architekten, Bauingenieure* und *Heizungsinstallateure*. Die Kategorie *unterstützende Organisationen* wurde ergänzt um *Förderprogramme, Automobilclubs, relevante Bundesämter* und *Netzwerke zwischen Forschung und Industrie*.

Im zweiten Workshop wurden zusätzlich zu den bereits vorhandenen Akteuren aus der Voranalyse in der *Lieferkette Biogas-Anlagenbetreiber, Hersteller und Betreiber von Direct Air Capture Anlagen* (für die CO₂-Gewinnung), *Anlagenbauer* generell, sowie *Gasanbieter und Komponentenhersteller* (bspw. von Ventilen) ergänzt. In der *Betriebsphase* wurden für *Betrieb und Unterhalt regionale Energieversorger* sowie für *Verteilung, Handel und Infrastruktur Gasfernleitungsnetzbetreiber* betont. In den *Verbrauchssektoren* wurde auf BHKW als potenzielle Kunden im Bereich *Gebäude und Energiewirtschaft* hingewiesen. Als mögliche

⁸ So werden in Transitionsprozessen „Broker“, d. h. Vermittler zwischen Akteuren oder Institutionen genannt (Kivimaa et al. 2019).

Beeinflusser wurden auf Umwelt und Verkehr spezialisierte *Nichtregierungsorganisationen* (NGOs) genannt.

5.1.2 Akteurssystem EE-Methan in den Anwendungen Lkw-Verkehr und Schiffs-Verkehr

Die Übersicht von Akteuren in diesem Bereich, als Untergruppe der allgemein identifizierten Akteure (Abschnitt 5.1.1), liefert Abbildung 5-3. Auf Basis der Medien- und Publikationsanalyse lässt sich hier insgesamt feststellen, dass noch sehr wenige Akteure über die Anwendung von EE-Methan speziell im Lkw- oder Schiffs-Verkehr kommunizieren oder in diesem Bereich aktiv sind.

Die Grafik zeigt, dass sich die geringe Anzahl der Akteure, die sich bisher mit der Anwendung von EE-Methan im Lkw- und Schiffsverkehr beschäftigt, insbesondere in den entsprechenden *Verbrauchssektoren* befindet. Auf Seiten der *Universitäten und Forschungsinstitute*, des *Staats* und der *Netzwerke und Förderer* äußert sich in den analysierten Mediendarstellungen jeweils ein Akteur zu einer solchen Anwendung, mit einem stärkeren Fokus auf dem Lkw- als auf dem Schiffsverkehr.

Im Bereich Lkw ist als *Netzwerk und Förderer* ein *Unternehmensverband* tätig sowie wenige Akteure aus dem *Projektmanagement-, Engineering-, und Consulting-Bereich*. Im *Verbrauchssektor Verkehr* sind im Schiffsbereich zur Kategorie in ihrer Kernfunktion passend die Akteurstypen *Kreuzfahrtreederei, Schiffsbauer, Schiffsmotorenbauer* sowie deren *Zulieferer* aktiv. Im Lkw-Bereich sind es entsprechend der Typ *Automobilhersteller* sowie einige *Zulieferer*.

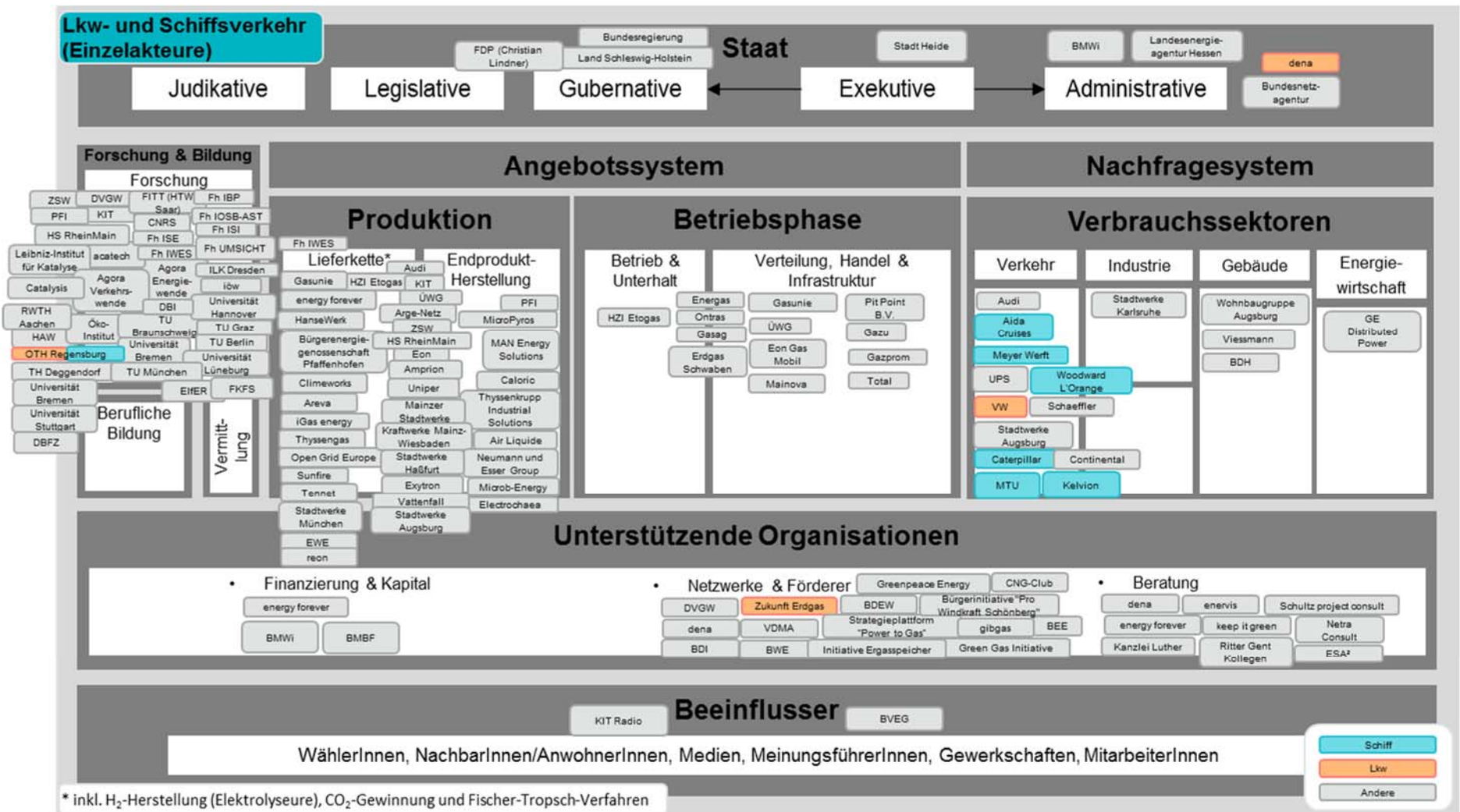


Abbildung 5-3: Akteurssystem für die Anwendungen Lkw- und Schiffsverkehr in Deutschland (Einzelakteure)

Validierung (Workshop)

Für den Lkw-Bereich erbrachte der Validierungs-Workshop einen deutlich größeren Akteurskreis. Hier wurde jedoch die enge Interaktion mit fossilem Erdgas wieder deutlich. Viele der im Workshop genannten, möglicherweise für das System rund um EE-Methan wichtigen Akteure wurden aus dem Bereich des bisherigen fossilen Gassystems ergänzt. Diese wurden vor allem als potenziell relevant für eine erfolgreiche Diffusion der Innovation gesehen und gehen über bereits heute involvierte Akteure hinaus. Beispiele sind große *Fahrzeughersteller* in der *Produktion* sowie *Supermarktketten* und *Speditionen* als *Nutzergruppen*. Als Netzwerke und Förderer schätzen die Workshop-Teilnehmenden schon bestehende *Gasverbände* und *Industrienetzwerke bzw. -plattformen* als relevant für die Systementwicklung ein.

Bei den Schiffsanwendungen wurden von den Workshop-Teilnehmenden keine Akteure identifiziert, die über die ursprünglichen Analysen hinausgingen. Als möglicher politischer Treiber wurde jedoch das Interesse von *Hafenstädten* am Thema Luftreinhalte identifiziert.

5.2 Funktionen und Akteurszuordnung Marktentwicklungsphasen

Ziel der Analyse ist es, herauszufinden, inwieweit die bisherige Akteurslandschaft rund um EE-Methan das Potenzial einer Weiterentwicklung des sozio-technischen Innovationssystems aus der Vorentwicklungsphase in die Entwicklungsphase hinein ermöglicht.

Hierfür müssen zunächst die Funktionen der Vorentwicklungsphase abgedeckt sein. Die Analyse des Akteurssystems zeigt, dass Universitäten und Forschungsinstitute stark vertreten sind (*Wissensentwicklung, F2*). Der *Wissensaustausch* innerhalb von Projekten ist gegeben, allerdings finden sich in den bisher analysierten Dokumenten wenige Hinweise auf Austausch zwischen den Akteuren verschiedener Projekte oder mit der Öffentlichkeit (*F3*). Die *Lenkung der Suchaktivitäten* findet durch Forschung und Industrie statt (*F4*). Die EE-Methan-Entwicklung wird hauptsächlich über Forschungsprojekte finanziert (öffentliche Gelder sowie anteilsweise Industriemittel) – eine nennenswerte *Ressourcenmobilisierung* in der Vorentwicklungsphase ist also vorhanden (*F6*). Insgesamt lässt sich sagen, dass die Funktionen der Vorentwicklungsphase soweit abgedeckt sind, dass eine Überprüfung der Abdeckung der Funktionen der nächsten Phase schon sinnvoll erscheint.

Das für die Entwicklungsphase zentrale *Unternehmerische Experimentieren und Produzieren (F1)* beschränkt sich derzeit noch auf einen Automobilhersteller sowie verschiedene Energieversorger. Ein Großteil der für die EE-Methan-Herstellung nötigen Anlagen wurde bisher noch von Forschungsakteuren bereitgestellt. Auch die *Marktformierung* ist noch nicht weit fortgeschritten – das System rund um EE-Methan beruht noch überwiegend auf Fördergeldern und es sind nur erste Ansätze einer Marktformierung durch einen Automobilhersteller beobachtbar.⁹ In den Medien ist noch eine sehr geringe Lobbyarbeit der Akteure rund um EE-Methan zu verzeichnen. Dies zeigt zum einen die noch nicht erfüllte Funktion *Resistenz gegenüber Wandel entgegenwirken (F7)*, zum anderen aber eventuell auch die noch nicht wahrgenommene Notwendigkeit der Lobbyarbeit aus Sicht der Akteure, da EE-Methan noch wenig bekannt ist und sich daher noch wenig Opposition gegenüberstellt. Insgesamt sind die Funktionen der Entwicklungsphase daher bisher nur schwach abgedeckt.

6 Diskussion

Aus den Analyseergebnissen ergeben sich sowohl inhaltliche als auch methodische Diskussionspunkte.

6.1 Zusammenfassung und inhaltliche Diskussion

Im Rahmen dieses Working Papers wird analysiert, welche Akteure und Akteurstypen derzeit im Innovationssystem rund um EE-Methan (und speziell in den Anwendungen Lkw und Schiff) in Deutschland aktiv sind und was diese Konstellation für eine zukünftige Marktentwicklung von EE-Methan bedeutet. Dafür wurde eine Medien- und Publikationsanalyse durchgeführt, ergänzt um Experten-Workshops.

Die Ermittlung der zurzeit schon aktiven oder bereits kommunizierenden Akteure im sozio-technischen System rund um EE-Methan (Akteursidentifizierung) zeigt eine große Zahl von Akteuren bzw. Akteurstypen in Forschung sowie Produktion, bei gleichzeitig geringer Menge an Akteuren in den Verbrauchssektoren. Dies spiegelt den aktuellen Entwicklungsstand von EE-Methan wider. In der Kombination handelt es sich bei Forschung und Produktion derzeit vor allem um Versuche

⁹ Hier gilt es zu beachten, dass noch keine direkte Vermarktung von EE-Methan als Kraftstoff beim Endkunden stattfindet, sondern der Kraftstoff Erdgas beigemischt wird.

und Testanlagen, die als Kooperation zwischen Forschungsinstituten und Praxispartnern durchgeführt werden. In diesen Demonstrationsprojekten liegt der Fokus auf der erfolgreichen Herstellung des synthetischen Gases aus erneuerbaren Energien. Bei den überwiegend geringen Mengen des hergestellten Gases ist daher der Verbrauchssektor noch von untergeordneter Bedeutung. Eine Ausnahme im fast ausschließlich von Forschungsprojekten geprägten System bildet der Forschungs- und Herstellungsverbund rund um den Automobilhersteller Audi. Das von diesem Verbund hergestellte EE-Methan wird von Kunden des Automobilherstellers, die einen (Erd-)Gas-Pkw besitzen, bereits indirekt kommerziell genutzt.

Die Mehrheit der in der Betriebsphase und den Verbrauchssektoren auftretenden Akteure ist im Gegensatz hierzu noch nicht aktiv in die Verbreitung und Nutzung von EE-Methan eingebunden. Jedoch äußern diese Akteure ihr Interesse einer solchen Funktion für die Zukunft. Beispielhaft lassen sich hier CNG-Tankstellenbetreiber nennen, die zum jetzigen Zeitpunkt kein EE-Methan anbieten, dies jedoch als eine realistische Möglichkeit für die Zukunft sehen und die Intention haben, sich in diesem Geschäft zu positionieren.

Daneben ist eine große Anzahl an unterstützenden Organisationen sowie eine Abwesenheit kritischer Stimmen in der Kategorie Beeinflusser zu verzeichnen. Die Abwesenheit kritischer Stimmen unterscheidet EE-Methan von den verwandten Kraftstoffen fossiles Erdgas und Biogas, welche in Fachkreisen und der Öffentlichkeit kritisch diskutiert werden. Die große Anzahl der unterstützenden Organisationen und eine Abwesenheit kritischer Stimmen speziell zu EE-Methan in der Kategorie Beeinflusser lässt sich auf zweierlei Weise interpretieren. Zum einen befindet sich EE-Methan noch in einem frühen Entwicklungsstadium, in dem vor allem wissenschaftliche und technische Akteure aktiv sind. Die konkrete Anwendung ist daher noch weniger im Blickpunkt und sichtbare technische Ausprägungen wie Elektrolyseure oder Methanisierungsanlagen sind gering an der Zahl und für lokale Akteure daher noch nicht kritisch oder direkt relevant. Zum anderen wird die Debatte um synthetische Kraftstoffe auf Basis von erneuerbaren Energien in Medien und Expertenkreisen auf höherer Ebene diskutiert – d. h. im Hinblick auf Power-to-Gas oder Power-to-Fuel im Allgemeinen. In dieser übergeordneten Debatte gibt es noch keine einheitliche „Storyline“ zur zukünftigen Bedeutung dieser Kraftstoffe im Energiesystem und daher auch nicht zu detaillierteren Bedeutung einzelner synthetischer Kraftstoffe wie EE-Methan.

In den Anwendungen von EE-Methan im Lkw- und Schiffs-Verkehr sind bisher noch sehr wenige Akteure bzw. Akteurstypen aktiv, was der noch schwach vertretenen Kategorie der allgemeinen Verbrauchssektoren für EE-Methan entspricht. Im Lkw- und Schiffsverkehr dominieren, der Medienanalyse nach, im EE-Methan-System solche Akteurstypen, die in ihren Kernaktivitäten tätig sind. Beispielsweise sind dies Lkw- oder Schiffsmotorenbauer, die sich nun mit der (Weiter-)Entwicklung von Gasmotoren befassen oder Reedereien, die sich mit dem Einsatz von gasbetriebenen Schiffen auseinandersetzen. Wenige Ausnahmen stellen beispielsweise Automobilhersteller und Energieversorger dar: *Energieversorger* mit vorherigem Fokus auf Strom sind so beispielsweise auch an der Herstellung von erneuerbaren Gasen beteiligt. Ebenso gehen auch *Automobilhersteller* über ihre Kernaktivität der Fahrzeugherstellung hinaus, hin zu einer Orientierung in Richtung der Kraftstoffherstellung.

Die Einordnung anhand der Marktphasen zeigt, dass die zentralen Funktionen der Vorentwicklungsphase größtenteils abgedeckt sind (Bsp. *Wissensaustausch*, *Lenkung der Suchaktivitäten* und *Ressourcenmobilisierung*). Für den Übergang von EE-Methan in die Entwicklungsphase ist insbesondere noch mehr unternehmerisches Experimentieren und Produzieren wichtig sowie eine stärkere Marktformierung – abseits der bisher fast ausschließlichen Finanzierung durch Fördergelder.

Inhaltlich ergeben sich drei Hauptdiskussionpunkte. Zunächst ist die starke Präsenz bereits etablierter Akteure aus dem Energie- und Kraftstoffbereich sowie den Anwendungen im Verkehr zu diskutieren, die eine starke Verknüpfung, vor allem mit dem Erdgassystem andeutet. Energieversorger, aber auch Fahrzeug-, Schiffs- und Motorenhersteller sind bisher in anderen Kernbereichen tätig und weiten ihre Kommunikation (und teilweise schon Aktivitäten) nun auf EE-Methan aus. Speziell bei den Gasversorgern, aber auch bei den genannten Verkehrsakteuren bauen diese Aktivitäten größtenteils auf bereits erfolgten Tätigkeiten im fossilen Erdgassystem auf. Dies betrifft sowohl die Speicherung/Verteilung von Gas und den Bau/Betrieb der zugehörigen Infrastruktur (wie Gasnetze und Tankstellen), als auch den Bau von zunächst auf fossiles Gas angelegten Gasmotoren. EE-Methan wird hier als zusätzliche Dekarbonisierungsoption in einem bereits vorhandenen oder sich im Aufbau befindlichen System verstanden, mit fossilem Erdgas als so genannte „Brückentechnologie“. Der Grund für diese hohe Präsenz bereits etablierter Akteure kann deren größeres Potential für Ressourcenmobilisierung sowie deren stärkere Einbindung in bestehende Netzwerke sein, die dann auch zu einer stärkeren Beteiligung in Forschungs- und Demonstrationsprojekten führt. Anders sieht es in der Herstellung von EE-Methan und

seinen Vorprodukten aus. Während auch hier etablierte Akteure aus der Energie- und Fahrzeugbranche aktiv sind, so wird die Kategorie zusätzlich stark geprägt durch Akteure/Akteurstypen, die sich hauptsächlich mit synthetischen Kraftstoffen beschäftigen. Das bedeutet, die Kernaktivität liegt im Bereich der Produktion von Wasserstoff und/oder EE-Methan und daher wird hier von „innovationsspezifischen Akteuren“ gesprochen.

Für die Entwicklung des Systems kann dies zwei mögliche, entgegengesetzte Auswirkungen haben. Zum einen kann ein deutliches Engagement bereits im fossilen System etablierter Akteure einen Vorteil bringen, da auf deren bereits etablierte Marktstellung, Netzwerke und deren gesellschaftlichen und politischen Einfluss zurückgegriffen werden kann. Zum anderen halten etablierte Akteure möglicherweise länger an fossilem Erdgas fest. Dies kann in Kombination mit weniger etablierten Akteuren aus der Produktion dazu führen, dass sich das EE-Methan-System nicht zeitnah weiterentwickeln kann und an Momentum verliert. Weiterführende Analysen sollten daher auch die politische Dimension und damit verbundene Machtpositionen, Vernetzungen und Interessen der beteiligten und in angrenzenden Systemen zentralen Akteure in den Blick nehmen.

Dies leitet über zu einem zweiten zentralen Diskussionspunkt, der Marktentwicklung von EE-Methan. Was die Bereitstellung von Geldern für die weitere Entwicklung von EE-Methan angeht, wird auch zukünftig erst einmal weiterhin die Politik in der Pflicht sein. Denn die Medien- und Publikationsanalyse hat ergeben, dass bisher noch wenig Forschung in privaten Unternehmen zu verzeichnen ist. Der Staat sollte dabei, insofern die Verbreitung von EE-Methan gewünscht ist, neben Forschung und Entwicklung in der Zukunft auch stärker auf Demonstrationsprojekte setzen. Gleichzeitig wäre für die weitere Verbreitung von EE-Methan und den Übergang in die Entwicklungsphase mehr Engagement von Seiten der Industrie notwendig.

Schließlich bleibt als dritter Diskussionspunkt die Frage, inwiefern der Güterverkehr und die hier zentral betrachteten Anwendungen im Lkw- und Schiffsbereich zu den Hauptanwendungen für EE-Methan zählen werden und welche Interaktionen und mögliche Konkurrenzen rund um die Technologie wichtig werden können. Möglich ist beispielsweise, dass mehr Anwendungen im Industriebereich entstehen werden als im Verkehrssektor. Dies ist stark abhängig von der Kostenentwicklung synthetischer Kraftstoffe und EE-Methan im speziellen sowie der Entwicklung alternativer Antriebsmöglichkeiten wie batterieelektrische Fahrzeuge auch für energieintensivere Transporte. Möglich ist auch eine entstehende Konkurrenz rund um Vorkettenerzeugnisse wie beispielsweise Wasserstoff, der

in anderen Anwendungen ohne Umwandlung direkt genutzt werden kann, aber neue Infrastrukturen benötigt. Zudem ist denkbar, dass ein Verteilungskampf um CO₂ entsteht, welches zunächst aus anderen Prozessen oder der Umgebung abgeschieden werden müsste. Außerdem bleibt offen, inwieweit es möglich ist, für die Produktion von EE-Methan die erforderliche Menge an erneuerbarem Strom herzustellen oder zu importieren. Daher könnte es erforderlich sein, die derzeitige geographische Begrenzung des EE-Methan-Systems auf Deutschland in der Analyse in Richtung eines europäischen oder globalen Systems zu erweitern. Zukünftige Forschungsarbeiten zu den sozialwissenschaftlichen Aspekten eines EE-Methan-Systems sollten sich daher mit solchen technologie- und systemübergreifenden sowie verschiedene geographische und politische Level umspannenden Interaktionen auseinandersetzen.

6.2 Methodische Diskussion / Limitationen und weiterer Forschungsbedarf

Die zur Identifizierung von Akteuren genutzte Medien- und Publikationsanalyse bietet aufgrund der guten Datenverfügbarkeit den Vorteil, dass damit recht einfach umfangreiches Datenmaterial zur Aktivität von Akteuren gesammelt und ausgewertet werden kann. Es muss dabei jedoch berücksichtigt werden, dass möglicherweise nicht alle bereits aktiven Akteure dadurch identifiziert werden können, falls diese medial oder in wissenschaftlichen Veröffentlichungen (noch) nicht erscheinen. So könnte durch die Medienanalyse die Industrie- und Forschungsperspektive stärker repräsentiert sein, wohingegen die Perspektiven der breiten Bevölkerung, der Zivilgesellschaft und/oder politischen Akteure und damit ggf. auch kritischere Stimmen, unterrepräsentiert sein könnten.

Methodisch ist zu diskutieren, inwiefern das gewählte Vorgehen aus Stakeholder- und Innovationssystem-Literatur aufschlussreiche Ergebnisse über das frühe Akteurssystem um die Technologie liefert. In Bezug auf Akteursidentifizierung und -kategorisierung zeigte die Kombination aus Medien- und Publikationsanalyse und Validierungsworkshops eine große Übereinstimmung zwischen den „top-down“ in der Medienanalyse ermittelten Akteur(styp)en und den von Projektpartnern aus Wissenschaft und Praxis „bottom-up“ genannten Akteur(styp)en. Zukünftige Arbeiten in diesem und weiteren Projekten könnten hier jedoch noch einen Schritt weitergehen. Es ist anzunehmen, dass die Präsentation des bereits vorhandenen Akteurssystems aus der TIS-Literatur die Antworten der Workshop-Teilnehmenden bei der gedanklichen Suche nach Akteuren beeinflusst hat. Eine offene Sammlung möglicher Akteure könnte dem entgegenwirken. Allerdings

muss dann darauf geachtet werden, eine geeignete Struktur und Anhaltspunkte für die Diskussion zu finden, um Teilnehmende nicht zu überfordern. Der „bottom-up“-Aspekt könnte außerdem ergänzt werden durch ein Schneeballverfahren in der Akteursidentifikation. Hier bietet es sich beispielsweise an, Projekt-externe Interviewpartner:innen zusätzlich zu ihren themen- und technologiebezogenen Einstellungen auch zur Beschreibung der Akteurslandschaft zu befragen. Eine solche Vorgehensweise wird auch für die noch ausstehenden Interviews mit Akzeptanz-Fokus geprüft, die in dem diesem Working Paper vorstehenden Projekt durchgeführt werden.

Die in diesem Projekt gewählte Ergänzung des ausschließlich beschreibenden strukturellen Ansatzes rund um das Akteurssystem um die Einordnung der Akteure in Funktionen der verschiedenen Marktphasen erlaubt eine erste Einschätzung der Entwicklung des sozio-technischen Systems rund um EE-Methan. Als erste aggregierte Evaluation des Potenzials eines sozio-technischen Systems zu einem bestimmten Entwicklungszeitpunkt kann dieser Ansatz auch für die Analyse weiterer Systeme empfohlen werden. Um allerdings die Dynamik eines solchen Systems noch besser abbilden zu können, könnte es zusätzlich einen Mehrwert haben, verschiedene Entwicklungsphasen analytisch zu begleiten und zu vergleichen. Hier könnte auch ein Vergleich mit der Entwicklung ähnlicher Innovationen in der Vergangenheit einen analytischen Mehrwert bringen sowie eine Analyse aller TIS-Funktionen im Zeitverlauf.

7 Fazit und Ausblick

Die Technologie EE-Methan befindet sich noch in einem sehr frühen Stadium und wird gesamtgesellschaftlich bisher fast ausschließlich in Fachkreisen diskutiert. Dies trifft auch für weitere strombasierte Kraftstoffe zu. Gleichzeitig sind, insbesondere aus Forschung und Industrie, schon vielfältige Akteure im Thema aktiv, was sich in der Medienberichterstattung widerspiegelt. Hierbei ist jedoch noch ein starker Fokus auf Forschung und Entwicklung zu verzeichnen – Demonstrationen in größerem Maßstab und in einem realen Anwendungsfall spielen bisher noch eine untergeordnete Rolle. Diese sind jedoch wichtig, um Erfahrungen mit der Anwendung der Technologie zu sammeln und die Technologie in der Gesamtgesellschaft bekannter zu machen. Was braucht es, um die Entwicklung von EE-Methan und strombasierten Kraftstoffen weiter voranzutreiben? EE-Methan muss noch einige Herausforderungen, wie beispielsweise die hohen Kosten, die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien und die Marktreife, meistern,

um sich am Markt durchsetzen und einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten zu können. Weitere staatliche Förderung ist insofern von zentraler Bedeutung. Gleichzeitig sollte fossiles Erdgas mittelfristig nicht mehr politisch unterstützt und für die Akteure eine Planbarkeit hinsichtlich der weiteren Förderung von strombasierten Kraftstoffen geschaffen werden. Die Nationale Wasserstoffstrategie, die eine weitere Förderung strombasierter Kraftstoffe vorsieht, kann als ein Schritt in diese Richtung gesehen werden. Auch private Unternehmen sind gefragt, weiter an der Entwicklung und Erprobung von EE-Methan und strombasierten Kraftstoffen zu arbeiten. Lobbyarbeit für EE-Methan ist bisher zudem noch wenig zu verzeichnen; diese findet aktuell stärker auf der höheren Ebene der strombasierten Kraftstoffe insgesamt statt. Hier gilt es, für die weitere Entwicklung dieser Technologien mehr Lobbyarbeit zu etablieren, bestehende Netzwerke auszubauen und neue zu schaffen.

Der Güterverkehr auf der Straße und im Wasser stellt einen möglichen Anwendungsbereich für EE-Methan dar. Hier sind bisher noch wenige Aktivitäten zu verzeichnen – im Straßengüterverkehr ist aktuell jedoch in der öffentlichen Debatte eine Konkurrenz zwischen verschiedenen alternativen Antrieben zu beobachten. Insofern stellt sich die Frage danach, wie sich EE-Methan als relativ neuer alternativer Kraftstoff hier positionieren kann. Diese Frage nach den geeigneten Anwendungsbereichen sollte in Forschungsvorhaben eine wichtige Rolle spielen und beispielsweise Aspekte wie Marktreife, Konkurrenztechnologien, gesellschaftliche Akzeptanz, Kosten und Beitrag zur Erreichung der Klimaziele berücksichtigen.

8 Danksagung

Die hier dargestellten Ergebnisse sind im Rahmen des Projekts „MethQuest: Mit erneuerbarem Methan die Energiewende voranbringen“, Verbund „MethSys: Wirkung von erneuerbarem Methan im Verkehrs- und Energiesystem ermitteln“ entstanden.

9 Anhang

Tabelle 9-1: Projektübersicht deutsche Forschungsvorhaben EE-Methan und synthetische Kraftstoffe

Projektname	Projektkoordinator	Laufzeit	Fördermittelgeber
100 % EE durch PtG	juwi international GmbH, Reiner Lemoine Institut gGmbH	11/1/2012-11/15/2014	BMWi
BEniVer	DLR	6/1/2018-5/31/2022	BMWi
BEST-Systems	FITT-Institut für Technologietransfer an der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes	6/1/2019-11/30/2021	BMWi
BioPower2Gas	IdE Institut dezentrale Energietechnologien gGmbH	9/1/2013-8/31/2016	BMWi
CombiFuel	Graforce GmbH	1/1/2019-6/30/2021	BMWi
E2Fuels	MAN Energy Solution SE	10/1/2018-10/31/2021	BMWi
FlexDME	ARCUS Technologie GmbH & Co. GTL Projekt KG	7/1/2019-06/30/2022	BMWi
HELMETH	KIT	3/1/2016-2/29/2021	FP7-JTI
ISystem4EFuel	Woodward L'Orange GmbH	6/1/2018-5/31/2021	BMWi
KATMETHAN	KIT (?)	9/1/2014-8/31/2017	BMBF
MENA-Fuels	Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH	12/1/2018-3/31/2022	BMWi
MethQuest	MTU Friedrichshafen GmbH DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des KIT	9/1/2018-9/30/21	BMWi
<i>MethCar</i>	Ford-Werke GmbH	9/1/2018-8/31/2021	BMWi
<i>MethFuel</i>	AREVA H2Gen GmbH	10/1/2018-12/31/2021	BMWi
<i>MethGrid</i>	DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des KIT	7/1/2018-6/30/2021	BMWi
<i>MethMare</i>	MTU Friedrichshafen GmbH	7/1/2018-6/30/2021	BMWi
<i>MethPower</i>	MTU Friedrichshafen GmbH	8/1/2018-7/31/2021	BMWi
<i>MethSys</i>	Fraunhofer ISI	9/1/2018-8/31/2021	BMWi
NAMOSYN	Dechema e.V.	4/1/2019-3/31/2022	BMBF
P2X-2	RWTH Aachen ITCM Forschungszentrum Jülich GmbH Dechema e.V.	2016-2019	BMBF (Kopernikus-Projekt)
P2X-2	RWTH Aachen ITCM Forschungszentrum Jülich GmbH Dechema e.V.	2019-2022	BMBF (Kopernikus-Projekt)
Power to Gas	ZSW	4/1/2011-3/31/2014	BMWi

Projektname	Projektkoordinator	Laufzeit	Fördermittelgeber
PtG250-II	ZSW	10/1/2014-9/30/2016	BMWi
RegEnKibo	e-rp GmbH	6/1/2015-5/31/2018	BMWi
SPIKE	OTH Regensburg FENES	2/15/2017-8/31/2019	BMBF (Kopernikus-Teilprojekt)
Store&Go	DVGW	3/1/2016-2/29/2020	H2020-EU.3.3.
SuperP2G	DBI Gastechnologisches Institut Freiberg	11/1/2019-10/31/2022	BMWi
Vorstudie Power to Gas	Infraserv GmbH & Co. Höchst KG	8/1/2013-10/31/2014	BMWi
ORBIT	OTH Regensburg FENES	7/1/2017-12/31/2020	BMWi
RESYSTR	Universität Bremen – Fachbereich Produktionstechnik – Fachgebiet Technikgestaltung & Technologie- entwicklung	6/1/2013-11/30/2016	BMBF

10 Literaturverzeichnis

- Andersen, Allan Dahl; Markard, Jochen (2020): Multi-technology interaction in socio-technical transitions: How recent dynamics in HVDC technology can inform transition theories. In: *Technological Forecasting and Social Change* 151, S. 119802. DOI: 10.1016/j.techfore.2019.119802.
- Bergek, Anna; Jacobsson, Staffan; Carlsson, Bo; Lindmark, Sven; Rickne, Annika (2008): Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. In: *Research Policy* 37 (3), S. 407–429. DOI: 10.1016/j.respol.2007.12.003.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. Berlin.
- Freeman, Robert Edward (1984): Strategic management. A stakeholder approach. Boston, Mass.: Pitman (Pitman series in business and public policy).
- Geels, Frank W.; Sovacool, Benjamin K.; Schwanen, Tim; Sorrell, Steve (2017): Sociotechnical transitions for deep decarbonization. In: *Science (New York, N.Y.)* 357 (6357), S. 1242–1244. DOI: 10.1126/science.aao3760.
- Hekkert, Marko P.; Negro, Simona O.; Heimeriks, Gaston; Harmsen, Robert (2011): Technological Innovation System Analysis. A manual for analysts.
- Hekkert, Marko P.; Suurs, Roald A.A.; Negro, Simona O.; Kuhlmann, Stefan; Smits, Ruud E.H.M. (2007): Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. In: *Technological Forecasting and Social Change* 74 (4), S. 413–432. DOI: 10.1016/j.techfore.2006.03.002.
- Lischke, Andreas; Windmüller, Daniel; Wurster, Reinhold; Weindorf, Werner; Heidt, Christoph; Naumann, Karin (2015): Identifizierung von Hemmnissen der Nutzung von LNG und CNG im schweren Lkw-Verkehr sowie Möglichkeiten zu deren Überwindung. DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Berlin, München, Heidelberg, Leipzig.
- Markard, Jochen; Truffer, Bernhard (2008): Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. In: *Research Policy* 37 (4), S. 596–615. DOI: 10.1016/j.respol.2008.01.004.
- NOW (2018): NOW-Symposium zeigt alternative Energiesysteme für eine nachhaltige Schifffahrt.
- Plötz, Patrick; Gnann, Till; Wietschel, Martin; Kluschke, Philipp; Doll, Claus; Hacker, Florian et al. (2018): Alternative Antriebe und Kraftstoffe im Straßengüterverkehr – Handlungsempfehlungen für Deutschland. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Karlsruhe, Berlin, Heidelberg.
- Reed, Mark S.; Graves, Anil; Dandy, Norman; Posthumus, Helena; Hubacek, Klaus; Morris, Joe et al. (2009): Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. In: *Journal of environmental management* 90 (5), S. 1933–1949. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.01.001.
- Sandén, Björn A.; Hillman, Karl M. (2011): A framework for analysis of multi-mode interaction among technologies with examples from the history of alternative transport

- fuels in Sweden. In: *Research Policy* 40 (3), S. 403–414. DOI: 10.1016/j.respol.2010.12.005.
- Suurs, Roald A.A.; Hekkert, Marko P.; Smits, Ruud E.H.M. (2009): Understanding the build-up of a technological innovation system around hydrogen and fuel cell technologies. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 34 (24), S. 9639–9654. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2009.09.092.
- van Basshuysen, Richard (Hg.) (2015): Erdgas und erneuerbares Methan für den Fahrzeugantrieb. Wege zur klimaneutralen Mobilität. Wiesbaden: Springer Vieweg (Der Fahrzeugantrieb).
- Zerta, Martin; Schmidt, Patrick; Weindorf, Werner; Bünger, Ulrich; Langfeldt, Lars; Scholz, Benjamin et al. (2019): Strombasierte Kraftstoffe für Brennstoffzellen in der Binnenschifffahrt. NOW. München, Hamburg, Berlin.



Autorinnen

Aline Scherrer, Dr. Uta Burghard

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI)
Competence Center Energietechnologien und Energiesysteme

Kontakt: Aline Scherrer
Fraunhofer-Institut für System-
und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI)
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
Germany
E-Mail: aline.scherrer@isi.fraunhofer.de
www.isi.fraunhofer.de
Karlsruhe 2020