



*Abschlussbericht 2019 | Kopernikus-Projekt
Energiewende-Navigationssystem | ENavi*

WEGBESCHREIBUNGEN ZUM KLIMANEUTRALEN ENERGIESYSTEM

KOPERNIKUS
ENavi **PROJEKTE**
Die Zukunft unserer Energie

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

VORWORT

Die Transformation des gegenwärtig von fossilen Energieträgern bestimmten Energiesystems in ein weitgehend CO₂-freies und auf erneuerbaren Energien basierendes System ist ein tiefgreifender Veränderungsprozess. Die Energiewende umfasst technische, ökonomische, organisatorische, rechtliche, politische, soziale und systemwissenschaftliche Herausforderungen – über alle Sektoren (Strom, Wärme, Mobilität) und über alle Anwendungsbereiche (Haushalt, Industrie, Handel, Verkehr) hinweg. Das Kopernikus-Projekt ENavi hat die Muster und Dynamik bei der Umsetzung der Energiewende systematisch erforscht, systemische Zusammenhänge identifiziert und Entwicklungspfade zur klimaneutralen Energieversorgung in all ihren Facetten aufgezeigt.

Das Forschungsteam entwickelte Politikoptionen zur Erreichung der angestrebten Ziele und analysierte deren Haupt- und Nebenwirkungen. Diese Aufgabe hat das ENavi-Team zunächst getrennt für Strom, Wärme und Verkehr geleistet, dann integrativ eine sektorübergreifende Perspektive erarbeitet. Das zweistufige Vorgehen hat den politischen, wirtschaftlichen und zivilgesellschaftlichen EntscheidungsträgerInnen geholfen, die

vernetzten Implikationen unterschiedlicher Maßnahmen zu erkennen sowie effektive, effiziente und faire Politikoptionen zu wählen. Für die anderen drei Kopernikus-Projekte hat ENavi vor allem Einsichten zu den sozialen Dimensionen der Einführung neuer Infrastrukturen und innovativer technischer Lösungen geliefert.

Mit einer systemischen Sichtweise begreift ENavi die Energiewende als ko-evolutionären Prozess, der zu einer umfassenden Transformation der Gesellschaft und Ökonomie führt. Die Energiewende vollzieht sich in der Interaktion zwischen **Veränderungen in vier Dimensionen**:

› Veränderungen in der **technischen Dimension** (Entwicklung neuer Technologien, Sektorenkopplung und Transformationen der Infrastruktur, neue, zum Teil synthetisch hergestellte Kraftstoffe, neue Einsatzgebiete bekannter Technologien)

› Veränderungen in der **politischen und regulatorischen Dimension** (Neuordnung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), neues Klimaschutzgesetz, Abgaben, Steuern, Subventionen etc.)

› Veränderungen in der **ökonomischen Dimension** (neue Geschäftsmodelle, Prosumer, Attraktivität für Investoren im In- und Ausland etc.)

› Veränderungen in der **sozialen Dimension** (Kluft zwischen Wissen und Handeln, Lebensstile und Konsummuster, Akzeptanz von Infrastruktur, Anerkennung der Herausforderungen durch den Klimawandel).

Zu diesen vier Dimensionen hat das ENavi-Team die gegenwärtige Entwicklung analysiert, Pfade zur Erreichung der Energie- und Klimaziele charakterisiert und Maßnahmenpakete auf ihre Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und Sozialverträglichkeit untersucht. Das ENavi-Team hat einen eigenen Katalog von Bewertungskriterien entwickelt, operationalisiert und auf die verschiedenen Maßnahmenpakete angewandt.

Der folgende Bericht verdeutlicht die wissenschaftlichen Erkenntnisse, die sich aus der Analyse der drei Sektoren und der integrativen Sichtweise ergeben. Er zeigt die Handlungsmöglichkeiten zur Zielerreichung auf. Welche davon letztendlich gewählt wird, ist Aufgabe der Politik.



Prof. Dr. Ortwin Renn

Institute for Advanced Sustainability Studies e. V. (IASS)
Projektsprecher Kopernikus-Projekt Energiewende-Navigationssystem

INHALT

1. Navigation durch die Energiewende	5
2. Orientierung bei der Transformation	6
3. Innovationsfreundliches Umfeld	8
4. Instrumente auf dem wirtschaftlichen Prüfstand	10
5. Marktdesign, Regulierung und rechtssicheres Gelingen	12
6. Wirksame Partizipation und Governance	14
7. Verhaltensänderung braucht Anreize	16
8. Nachhaltigkeit erfordert Balance	18
9. Wirkung entfaltet sich im Gesamtsystem	20
10. Software unterstützt Kommunikation	22
11. Energiesystem überschreitet Ländergrenzen	25
12. Kriterien für eine nachhaltige Energiewende	26
13. Wissenschaft und Praxis im Dialog	28
14. Praxistest in Reallaboren und Modellregionen	30
15. Publikationen (Auswahl)	32

Roadmap & Navigation

Prof. Dr. Armin Grunwald

Wir entwickeln das Navigationsinstrument als einen „Werkzeugkasten“, der die Erkenntnisse aus den anderen Arbeitspaketen zusammenführt und Wege zu einem nachhaltig ausgestalteten Energiesystem aufzeigt.

Technologische Transformation

Prof. Dr. Frithjof Staiß

Wir zeigen Vor- und Nachteile der Technologien auf und suchen neue technologische Lösungen. Dazu entwickeln wir „Technologiesteckbriefe“. Darüber hinaus untersuchen wir, wie sich Innovationen erfolgreich am Markt behaupten können.

Wirtschaftlicher Instrumentencheck

Prof. Dr. Ottmar Edenhofer (bis 05/2018),
Dr. Michael Pahle (ab 05/2018),
Prof. Dr. Kai Hufendiek

Wir untersuchen mithilfe energieökonomischer Modelle, wie deutsche und europäische Politikinstrumente die nachhaltige Umgestaltung des Energiesystems steuern können. Ergänzt wird dies um die mikroökonomische Perspektive, unter anderem bei der wettbewerblichen Preisbildung in Märkten mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien.

Marktdesign, Regulierung und rechtssicheres Gelingen

Prof. Dr. Michael Rodi

Wir beantworten die wichtigsten Fragen zum Gelingen der Energiewende in Bezug auf Markt-, Regulierungs- und Institutionendesign, Mehrebenen-Kompetenzverteilung auf Recht und Regulierung, Legalität und Legitimität.

Politikkoordination & Partizipation

Prof. Dr. Michèle Knodt

Wir analysieren die Energie-Governance in Deutschland, Österreich, Polen und der EU sowie die politische Einbindung von BürgerInnen und der Zivilgesellschaft in die Energiewende.

Verhalten im Wandel von Werten & Lebensstilen

Dr. Birgit Mack,
Prof. Dr. Ellen Matthies

Wir betrachten, wie private Haushalte und Unternehmen die Energiewende umsetzen. Wir untersuchen ganz konkret die Bereitschaft zu Investitionen und Verhaltensänderungen.

Einklang der Nachhaltigkeitsziele

Prof. Dr. Ottmar Edenhofer,
Dr. Gunnar Luderer

Wir bringen die verschiedenen Nachhaltigkeitsziele miteinander in Einklang. Wir untersuchen, welchen Nutzen und welche unbeabsichtigten Nebenwirkungen die Energiewende auf die Umwelt hat (zum Beispiel auf Luftverschmutzung oder Ressourcenverbräuche).

Systeme zusammenführen

Prof. Dr. Hans-Martin Henning

Wir entwickeln Methoden zur Analyse von Maßnahmen der Kopplung der Sektoren und beschreiben sektorübergreifende Transformationspfade. Dabei soll auch eine visuell nachvollziehbare Gesamtübersicht entstehen, um das Zusammenspiel der diversen Sektoren anschaulich darzustellen.

Digitalisierung und IKT

Prof. Dr. Clemens Hoffmann,
Prof. Dr. Carlo Jaeger

Wir zeigen Flexibilisierungsmöglichkeiten sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite auf. Besonderes Augenmerk auf: Flexibilisierung der Stromnachfrage, Durchbruch von Smart Heating durch problemgerechte Digitalisierung, Änderungen im Verkehrsverhalten.

Internationaler Blickwinkel

Prof. Dr. Ottmar Edenhofer,
Dr. Michael Pahle

Wir erstellen klima- und energiepolitische Länderstudien zum Beispiel zu Polen und veranstalten internationale Workshops zum Beispiel in China – vor dem Hintergrund, dass die Energiewende nur durch internationale Einbettung gelingen kann.

Multikriterielle Bewertung

Prof. Dr. Ortwin Renn

Aus dem komplexen Wissen der ENavi-PartnerInnen leiten wir Handlungsempfehlungen und Szenarien ab. Wir bewerten sie anhand von ethischen, juristischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Kriterien.

Wissenschaft und Praxis im Dialog

Dr. Marion Dreyer,
Dr. Steffi Ober, Dr. Piet Sellke

Wir unterstützen die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Gesellschaft im Forschungsprozess, binden AkteurInnen und Erkenntnisse aus der Praxis in den wissenschaftlichen Diskurs ein und sichern den fortwährenden Austausch miteinander.

Praktische Erprobung und Rückkopplung

Prof. Dr. Michael Rodi,
Prof. Dr.-Ing. Manfred Fishedick

Die Reallabore (unter anderem Stadtwerke / GEODE) unterziehen die wissenschaftlichen Ergebnisse einem Praxistest und speisen die Erfahrungen in den wissenschaftlichen Diskurs ein. Darüber hinaus analysieren wir anhand von Modellregionen (zum Beispiel Ruhrgebiet), welche Erfahrungen aus realen Transformationsprozessen bereits vorliegen und für die Gestaltung zukünftiger Prozesse verwertet werden können.



1. NAVIGATION DURCH DIE ENERGIEWENDE

Das Kopernikus-Projekt Energiewende-Navigationsystem, kurz ENavi, sah die Transformation des gegenwärtigen Energiesystems in ein weitgehend CO₂-freies und auf erneuerbaren Energien basierendes System als einen gesamtgesellschaftlichen Prozess. ENavi verknüpfte wissenschaftliche Analysen mit politisch-gesellschaftlichen Anforderungen. Zentrales Produkt war eine Navigationshilfe, mit der die Forschenden die Wirkungen und Nebenwirkungen von wirtschaftlichen, politischen, rechtlichen oder sozialen Maßnahmen im Voraus abschätzen wollten.

Wesentliches Kennzeichen von ENavi war das Zusammenwirken von **Systemwissen** (was bewirkt was?), **Orientierungswissen** (wo soll es hingehen?) und **Transformationswissen** (wie kommt man am besten dahin?).

Werteorientierter Dialog mit der Gesellschaft

In 14 Arbeitspaketen erarbeitete ENavi eine Navigationshilfe für eine systemische Energiewende. Politische Entscheidungen, staatliche Fördermaßnahmen, Ordnungsrecht und weitere Instrumente wurden als Transformationspfade in einer Road(s)map aufgezeigt.

Für Multiakteurs-Dialoge entwickelte ENavi ein interaktives Format, das Decision Theater. Diskussionsergebnisse wurden mit einer datenbankgestützten Anwendung in Echtzeit auf mehreren Monitoren visualisiert. Die Diskutierenden konnten vor Ort die Ausgangsszenarien mit alternativen Lösungsoptionen vergleichen.

Im Dialog mit AkteurInnen bewertete ENavi die Maßnahmen anhand zehn zentraler Kriterien: Effektivität, Kosteneffizienz/Gesamtkosten und Resilienz bemaßen, ob und mit welchen Kosten einzelne Maßnahmen zu zentralen energie- und klimapolitischen Zielen beitragen. Politische Instrumente wurden darauf überprüft, welche (Mitnahme-)Effekte und unerwünschten Nebenwirkungen sie auf wirtschaftliche Planungssicherheit hatten und welchen Beitrag sie zur gesellschaftlichen Wohlfahrt leisteten. Darüber hinaus maßen sie Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, den Ressourcenverbrauch und die Umwelt. Soziale Kriterien umfassten die Förderung des sozialen Zusammenhalts, Legalität, ethische Akzeptabilität und die Legitimität von Eingriffen in das Energiesystem.

› **58 Verbundpartner**
(23 Forschungseinrichtungen, 18 Universitätsinstitute, drei Nichtregierungsorganisationen, neun Wirtschaftsunternehmen, drei Stadtwerke, zwei Gebietskörperschaften) arbeiteten in **13 fachlichen Arbeitspaketen**

› Über **20 Kompetenzpartner** brachten zusätzlich Praxiserfahrungen zu Infrastruktur, Wärme und Mobilität ein



ENavi
Das Kopernikus-Projekt
Energiewende-Navigationsystem

Das transdisziplinäre Kopernikus-Projekt ENavi betrachtet die Transformation des Energiesystems als gesellschaftliches Prozess. 40 Teilnehmende aus 24 Forschungseinrichtungen, 18 Universitätsstellen, drei Nichtregierungsorganisationen, zwei Wirtschaftsuniversitäten, vier Bundeswerke, zwei Gebietskörperschaften und 23 Kompetenzpartnern erarbeiten in multidisziplinär verfahren Arbeitspakete relevanten Wissens. Das Energiewende-Navigationsystem überführt diese Forschungsergebnisse über eine Roadmapping in klimawandeltaugliche sowie sozial und politisch kompatible Maßnahmen.

2. ORIENTIERUNG BEI DER TRANSFORMATION

Es existiert eine Vielzahl von Möglichkeiten, die Energiewende hin zu einem weitgehend CO₂-freien Energiesystem in Deutschland auszugestalten. Das Arbeitspaket 1 „Roadmap und Navigation“ lieferte hierzu eine grundlegende Orientierung für EntscheidungsträgerInnen in Wissenschaft, Politik und Gesellschaft zur Entwicklung und Aufbau eines integrierten Roadmap- und Navigationssystems. Hierzu wurden in Arbeitspaket 1 die folgenden drei wichtigsten Ergebnisse erarbeitet.

Roadmap und Navigation

Es wurde eine konzeptionelle Heuristik „Roadmap und Navigation“ entwickelt (vgl. Abbildung 1). Das Phasenmodell sieht vor, in der Metapher der Verkehrsnavigation alle zur Navigation erforderlichen Informationen über die verfügbaren Transformationspfade zu liefern. Dieses Phasenmodell stellt den zentralen ENavi-Mechanismus für eine integrierte Folgenabschätzung mit multikriterieller Bewertung und Stakeholderdialoge dar.

Sortierkasten für Zielpfade

Die Identifikation von zielorientierten und Erfolg versprechenden Transformationspfaden erfolgte über zwei komplementäre Ansätze. Das Konzept der Leitomotive explorierte und analysierte Leitomotive als alternative, übergreifende Rationale und Vorstellungen der Gesellschaft darüber, wie die Energiewende in Deutschland ausgestaltet werden soll.

Ein wesentlicher Analyseschritt waren die Fragestellungen:

- › Inwieweit sind diese unterschiedlichen gesellschaftlichen Zielvorstellungen miteinander vereinbar?
- › Mit welchen technisch-ökonomischen Richtungsentscheidungen der Energiewende müssen sie einhergehen?
- › Führen sie zu Nebeneffekten, die in den Leitmotiven nicht einbegriffen sind?

Das Konzept des „Sortierkastens“ eruierte existente wissenschaftliche Befunde und Zielvorstellungen über Transformationspfade auf Basis der vorhandenen Forschungsliteratur. Der Sortierkasten stellt ein Ordnungssystem bereit, in dem unterschiedliche, szenarienbasierte Forschungsergebnisse zu Pfaden der Energiewende sortiert und dadurch die in der derzeitigen Forschungslandschaft prioritär behandelten Pfade identifiziert werden können.

Methoden-Inventur die vielfältigen ENavi-Kompetenzen systematisch erhoben und vergleichend analysiert. Über einen Fragebogen wurden quantitative und qualitative Modelle und Methoden sowie Interventionen erhoben. Die Inventur umfasste insgesamt 107 Fragebögen zu 23 Modellen, 32 Methoden und 52 Interventionen.

Methoden-Inventur

Zur Unterstützung einer integrierten Energieforschung wurden über eine Me-

Das Forscherteam entwickelte und testete das Konzept „Lastprofilwandel“, um Konsistenz zwischen Modellrechnungen

mit zeitlich unterschiedlicher Auflösung sicherzustellen. Darin werden die Wirkungen des gesellschaftlichen und technologischen Wandels auf die elektrische Nachfrage reflektiert und dazu passende Lastprofile bestimmt.

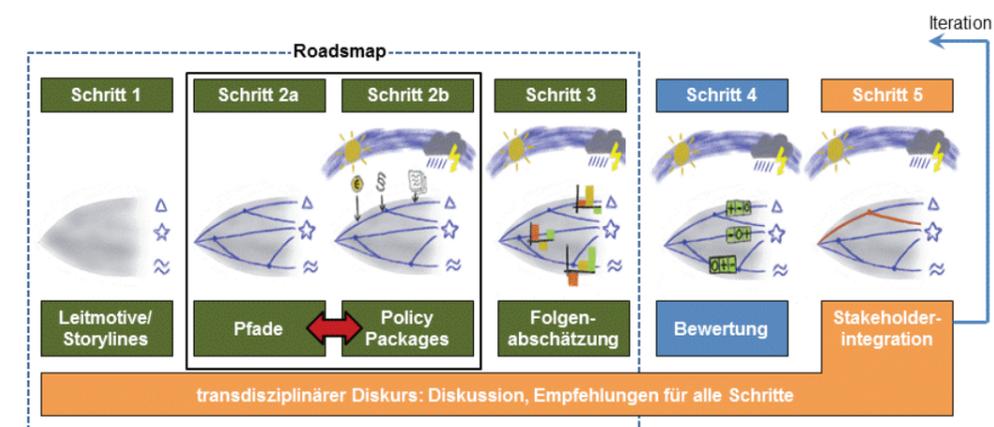


Abbildung 1: Ablauf der multikriteriellen Bewertung (Institut für Technikfolgenabschätzung / Karlsruher Institut für Technologie:)



3. INNOVATIONSFREUNDLICHES UMFELD

Technologiesteckbriefe zum Energiesystem

Ein wichtiges Ziel des Arbeitspakets 2 „Technologische Transformation“ war es, die vorhandene Technologiebasis ebenso wie laufende Technologieentwicklungen im Kontext der Energiewende zu erfassen und strukturiert aufzubereiten. Umfangreiche Technologiesteckbriefe wurden erstellt zu Technologien der Stromerzeugung (konventionell und erneuerbar), für Carbon Capture and Utilization/Carbon Capture and Storage (CCU/CCS)-, Kraft-Wärme-Kopplungs-, Gebäudeeffizienz-, Netz- und Speicher-Technologien sowie Technologien der Wärmebereitstellung, für

Mobilitätsanwendungen und für Flexibilitätsoptionen. Die Technologiesteckbriefe enthalten eine ausführliche Beschreibung der Technologien.

Mittels der Technologiesteckbriefe wurde eine umfassende Technologiedatenbasis in Form eines Datenrasters erarbeitet. Dabei flossen Ist-Werte ebenso wie mögliche Zukunftsentwicklungen ein. Es entstand eine umfangreiche, hochaktuelle Datenbasis, die als Input für die Modellierung in den anderen Arbeitspaketen zur Verfügung stand. Die Datenbasis stellte sicher, dass die mit unterschiedlichen Modellen erarbeiteten Szenarien und Analysen auf denselben Annahmen zur Technologieentwicklung beruhen. Die für das Datenraster herangezogenen Quellen wurden erstmals hinsichtlich ihrer Belastbarkeit und Qualität bewertet. Das erlaubt die Bewertung der verbleibenden Unsicherheiten bezüglich der Zukunftsentwicklung.

Innovationsstandort Deutschland

Innovationen unterstützen und gestalten den Energiewende-Transformationsprozess. Das Innovationsumfeld in Deutschland wurde mit Fokus auf energiewenderelevante Technologien

intensiv analysiert, um die Gestaltungsspielräume der Politik auszuloten. Eine umfassende Patentstudie ordnete Deutschlands Performance auch im internationalen Vergleich ein. In nahezu allen betrachteten Technologiefeldern ist Deutschland eines der Top-Drei-Länder unter den Anmeldern am europäischen Patentamt.

Basierend auf diesen Ergebnissen wurde mit KollegInnen der Universität Aalborg ein Tool zur Analyse von globalen Innovationsaktivitäten entwickelt. Hiermit konnte die erste OECD IP Statistics for Decision Makers (IPSDM) „Big Data Analytics“ Challenge gewonnen werden. Das Tool, der sogenannte Global Patent Explorer, visualisiert und verortet geografisch weltweite erfinderische Tätigkeiten. Der Global Patent Explorer basiert auf Methoden, die in ENavi entwickelt wurden. Die neuen Methoden verknüpfen klassische Patentanalysen mit maschinellen Lernverfahren und dem sogenannten Natural Language Processing. So werden unter anderem neuartige Qualitätsindikatoren für Patente generiert. Der Explorer kann zum einen für die Politikberatung angewandt werden. Außerdem können Unternehmen und Investoren damit zukünftige Technologieentwicklungen identifizieren.

Vorab-Bewertung politischer Maßnahmen

Innovationen und Technologieentwicklung allein reichen nicht aus, um den Transformationsprozess zu gestalten. Die Diffusion neuer Technologien und in-

novativer Produkte ist erforderlich. Gerade die Diffusion war jedoch bislang schwer prognostizierbar. Es fehlte insbesondere die Voraussage, wie wirksam der Einfluss von Politik auf Diffusionsprozesse ist.

Ein agentenbasiertes Modell wurde entwickelt, das die Diffusion der Elektromobilität simuliert, um der Politik eine Hilfestellung zu geben und Förderinstrumente zielorientierter zu gestalten. Beim agentenbasierten Modell bildet eine Vielzahl von autonomen Einheiten, die sogenannten „Agenten“, mögliche Entscheidungen und Handlungen von Individuen, Gruppen und Organisationen ab. In der Instrumentenfolgenabschätzung

zum ENavi-Schwerpunkt 3 „Dekarbonisierung des Verkehrs“ wurde untersucht, wie sich verschiedene Preisinstrumente (CO₂-Steuer versus Kaufprämie) und eine Informationskampagne auf den Kauf von Elektroautos auswirken. Hieraus können wertvolle Erkenntnisse, insbesondere für die sinnvolle Kombination von Einzelmaßnahmen zu Policy Packages, gewonnen werden.

Das als Toolbox für die Politikberatung konzipierte Modell wurde am Beispiel der Elektromobilität demonstriert. Es ist auch auf andere Technologiefelder übertragbar, wenn die Annahmen entsprechend angepasst werden.

Der komplexe Transformationsprozess der Energiewende kann nur gelingen, wenn neben wichtigen ökonomischen, ökologischen, (ordnungs-)politischen und gesellschaftlichen Aspekten insbesondere technologische Innovationen ziel- und zeitgerecht zur Wirkung kommen. Politische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen müssen ein innovationsfreundliches Umfeld schaffen.



Abbildung 2: Analyse von globalen Innovationsaktivitäten mit dem Global Patent Explorer (Quelle: <https://psim.shinyapps.io/patent/>)

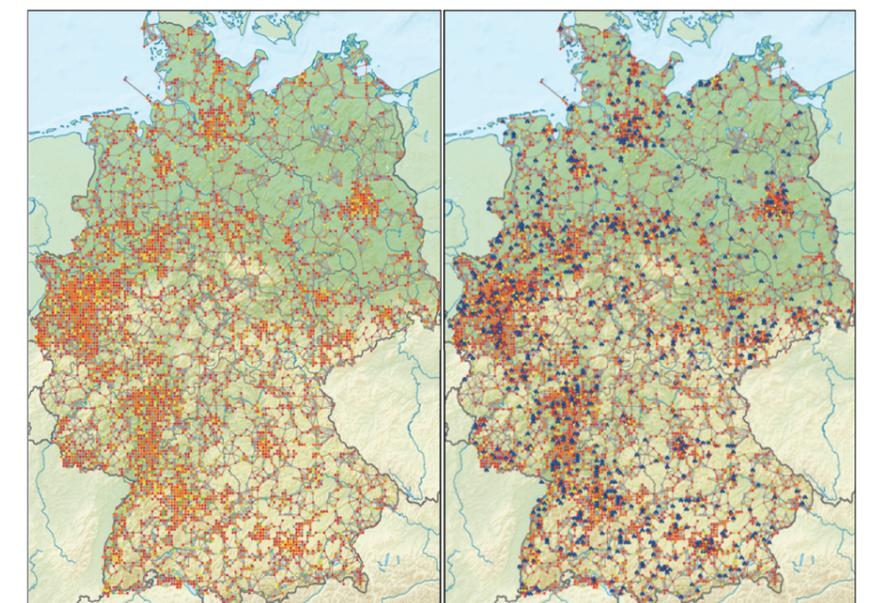


Abbildung 3: Visualisierung der Diffusion der Elektrofahrzeuge im Rahmen eines Simulationslaufs (links vorher, rechts nachher) (Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW))



4. INSTRUMENTE AUF DEM WIRTSCHAFTLICHEN PRÜFSTAND

Die Energiewende erfordert einen grundlegenden Systemwandel. Die gesamt-, energie- und elektrizitätswirtschaftlichen Auswirkungen einer solchen Transformation waren Untersuchungsgegenstand des Arbeitspakets 3 „Wirtschaftlicher Instrumentencheck“. Hierbei konnten

einige wichtige Erkenntnisse gewonnen werden, die insbesondere in die Bearbeitung des ENavi-Schwerpunkthemas „Die Transformation des Stromsystems mit Fokus Kohleausstieg“ eingeflossen sind.

Im Fokus: Kohleausstieg

Die von der Kohlekommission vorgeschlagene schrittweise Abschaltung von deutschen Kohlekraftwerken birgt die Risiken, (1) das deutsche Klimaziel für 2030 nicht zu erreichen beziehungsweise (2) europaweit sogar zu höheren Emissionen zu führen (Wasserbett-Effekt) und kann (3) für das Klimaziel 2050 zu Fehlinvestitionen führen (Gassockel). Alle drei Risiken könnten durch ebenfalls vorgeschlagene flankierende Maßnahmen reduziert werden; insbesondere der Wasserbett-Effekt könnte durch eine Löschung von Zertifikaten neutralisiert werden.

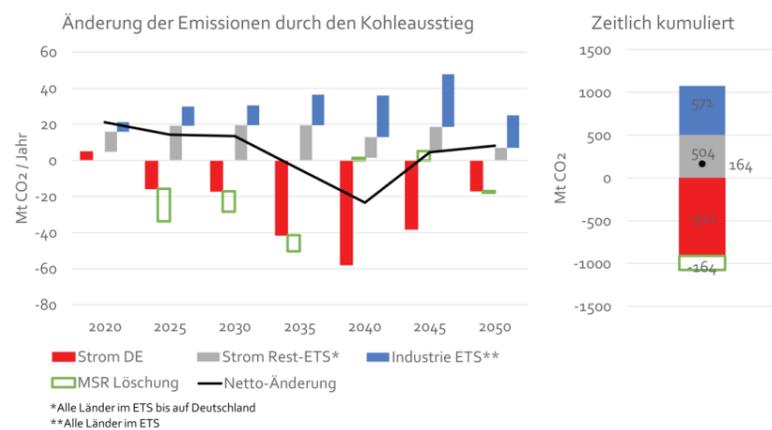


Abbildung 4: Differenz der Emissionen zwischen den Szenarien „Kohleausstieg“ und „Referenz (kein Ausstieg)“ (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)

Eine geeignetere alternative Maßnahme wäre ein CO₂-Mindestpreis in ausreichender Höhe, der die folgenden Vorteile hätte:

- › Er könnte auf dem aktuellen Trend steigender Preise im EU-Emissionshandel (European Union Emissions Trading System, EU ETS) aufsetzen, die bereits jetzt zu einer deutlichen Reduktion der Kohleverstromung führen.
- › Im Gegensatz zur rechtlich unsicheren direkten Löschung von Zertifikaten in ausreichender Zahl, für die zudem noch eine komplexe Regel notwendig wäre, würde ein Mindestpreis die Zertifikate preisbasiert und damit erwartungsstabilisierend aus dem Markt nehmen.
- › Er wäre „zukunftsorientiert“ in dem Sinn, dass dadurch schon jetzt auch der langfristig notwendige Ausstieg aus Erdgas angereizt würde.
- › Er würde sich in den angestrebten Rahmen einer sektorübergreifenden CO₂-Bepreisung einfügen und direktere Möglichkeiten für regionale Kooperationen bieten.

› Er könnte für die Behebung von ungleichen Belastungen unterschiedlicher Haushaltsgruppen genutzt werden. Ein Übergang zu dieser Maßnahme sollte für die geplante erste Überprüfung der Klimaschutzwirkung des Kohleausstiegs im Jahr 2023 anvisiert und bereits jetzt vorbereitet werden.

Wettbewerbliche Preisbildung

Das Forscherteam hat analysiert, wie sich derzeit die Preisbildung in Strommärkten darstellt, die bereits heute einen hohen Anteil von Strom aus erneuerbaren Energien aufweisen.

Die Analyse des norwegischen Marktes hat ergeben, dass Wasser einen Wert hat. Wenn entsprechend große Speicher existieren und genügend Produktionskapazität dieser Speicher vorhanden ist, dann entspricht der Wert von Wasser der teuersten Produktionseinheit (thermische Produktion, Import) oder den Kosten einer Lastreduktion im betrachteten Zeitrahmen. Wenn allerdings bei gleichbleibender Speichergröße die Produktionskapazität beziehungsweise der Betriebsbereich eingeschränkt wird (in Norwegen beispielsweise durch das

Niveau der Flüsse, durch die Laufwasserkapazitäten oder durch den Regelleistungsmarkt), gibt es Preisausschläge.

Die Unsicherheit insbesondere hinsichtlich des natürlichen Zuflusses ist in Norwegen aufgrund saisonaler Speicher und großer Schwankungen wichtig für die Preisbildung. Da der Wert des Wassers von der Erwartung über die Zukunft abhängt, wirkt sich auch bei der Modellierung der methodische Ansatz zur Berücksichtigung der Unsicherheit auf die simulierten Preise aus. Je nach Ansatz ergeben sich volatilere oder flachere Preisstrukturen. Dies gilt es, entsprechend auch bei der Analyse der zukünftigen Preisbildung auf dem deutschen Strommarkt mit zu berücksichtigen.



5. MARKTDESIGN, REGULIERUNG UND RECHTSSICHERES GELINGEN

Im Arbeitspaket 4 „Rechtssicheres Gelingen“ wurden interdisziplinär die drei Forschungsbereiche institutionen-ökonomische, rechtswissenschaftliche sowie technisch-systemische Analysen zur Energiewende verknüpft. Wissenschaft und Praxis wurden eng verzahnt. Erforscht wurde aus diesen umfassenden Blickwinkeln Governance und Regulierung zur praktischen Umsetzung technischer Pfade mit hochaktuellem Bezug zu politischen Entwicklungen und Gesetzgebungsverfahren. Die Forschung wurde insbesondere über die Schwerpunktthemen mit den Arbeiten der anderen Partner des Konsortiums koordiniert und zusammengeführt. Das Team des Arbeitspakets hat sich konzeptionell eingebracht und umfangreiches Wissen für die Folgenanalyse erarbeitet.

Definition der Sektorkopplung

Die Basis für die Arbeiten in den Schwerpunktthemen bildete ein Konsortium-übergreifendes Arbeitspapier zu Definition, Chancen und Herausforderungen der Sektorkopplung. Koordinationsherausforderungen bei den Infrastrukturen für die Sektorkopplung sowohl zwischen als auch innerhalb der Sektoren können nur durch langfristige, integrierte Planungsentscheidungen gelöst werden.

Herausforderungen der Energiewende

Die Bepreisung von CO₂-Emissionen wurde aus juristischer Perspektive analysiert.

Es wurde ein Weg für eine rechtssichere Umsetzung ohne Änderung des Rechts der EU beziehungsweise des Grundgesetzes über die Gewichtung der Energiesteuern aufgezeigt. Rechtliche Grenzen und Potenziale einer entsprechenden Bepreisung wurden zudem mit Perspektive auf den Wärme- und Verkehrssektor weiter rechtswissenschaftlich analysiert. Letztlich soll, aufgrund der gesetzgeberischen Entscheidung, eine Ausgestaltung durch ein (nationales) Zertifikathandelsystems erfolgen, wodurch sich neue Rechtsfragen ergeben.

Für eine Nachweisführung für den Bezug von (regionalem) Grünstrom und den Einsatz in den anderen Sektoren eignen sich sortenreine Bilanzkreise. Auch der bestehende Rechtsrahmen des Gebäudewärmesektors und der Power-to-X-Technologie wurde umfassend analysiert, Hemmnisse und Weiterentwicklungsoptionen aufgezeigt. Aus einzelökonomischer Perspektive wurde ebenfalls ein Fokus auf die Power-to-X-Technologie und ihre zentrale Rolle im Wärmesektor gelegt. Ein fossiler Gasausstieg und Herausforderungen für Gasverteilnetze sind absehbar.

Untersucht wurde auch auf Ebene der Stromverteilnetze die Planung der Kapazitäten, die Kapazitätsallokation und die zu berücksichtigende Steuerung flexibler Nachfrager. Erstmals wurde zudem eine Vollaufnahme von über 600 Geschäftsmodellen der Energiewende erstellt und

ein Schema zur Systematisierung dieser entwickelt.

Neben einer institutionenökonomischen Analyse des Zusammenspiels von zentralem und dezentralem Stromsystem wurde zu zellularen Energiesystemen geforscht. Diese können die Grundlage für eine effiziente Erschließung von dezentralen erneuerbaren Energien bilden und die Integration von neuen Lasten und Sektorenkopplung in den niedrigen Netzebenen mit minimalem Netzausbau ermöglichen.

Die Weiterentwicklung eines rechtswissenschaftlichen Akzeptanzverständnisses stand im Mittelpunkt der partizipationsrechtlichen Forschung im Rahmen von ENavi. Die Forschenden versuchten, eine juristische Konkretisierung des Akzeptanzbegriffes zu erreichen. Die Stellung der Akzeptanz im Verwaltungsverfahren wurde analysiert und die sozialwissenschaftlichen Faktoren der Akzeptanz im Bereich der Energiewende in juristische Kategorien übertragen. Die Ergebnisse wurden in einem gemeinsamen Sammelband der Kopernikus-Projekte zur Akzeptanz veröffentlicht.

Es wurden Finanzierungsaspekte der Energiewende als eine ihrer zentralen Herausforderungen untersucht, um die aktuellen Investitionsströme und -lücken zur Dekarbonisierung des Gebäudesektors zu identifizieren und zu berechnen. Mögliche Finanzierungsmodelle zur Auf-

stockung des privaten Kapitals wurden aufgezeigt und bewertet.

Bei der Etablierung eines intermodalen Verkehrssystems bietet es sich an, die öffentliche Hand zu involvieren. Entweder indem sie bestimmte Aufgaben übernimmt oder indem sie teilweise oder vollständig entsprechende Angebote finanziert. Zudem ist zu prüfen, inwieweit Mobilitätsanbieter durch Vorgaben zur Teilnahme an einem intermodalen Vertriebssystem verpflichtet werden sollten.

Reallabore als Schnittstelle zur Praxis

Die Forschung im Arbeitspaket ging über die wissenschaftlich-theoretische Betrachtung hinaus, indem eine enge Schnittstelle zu den Reallaboren im ENavi-Projekt aufgebaut wurde. Entwickelt wurden Konzeptpapiere für die Übertragung der Forschungsergebnisse in die Reallabore. Die Arbeiten in den Reallaboren wurden wissenschaftlich begleitet und allgemeingültige Ableitungen getroffen.

Untersuchungen zur Wärmewende in den Reallaboren, wie die Analyse und Modellierung regionaler Dekarbonisierungspfade für die Modellregion Mecklenburg, fließen ebenfalls in die ENavi-Schwerpunkte ein. Juristische und einzelökonomische Analysen wurden in Gutachten zu Power-to-Heat als Wärme-

bereitstellungsoption und Flexibilisierung der erneuerbaren Stromerzeugung durch Biomasse-Kraftwerke mit den Erkenntnissen aus der Praxis im Reallabor zusammengebracht.

Fachdialog

Die Forschungsergebnisse wurden auf einer Vielzahl interdisziplinärer Tagungen einem breiten Publikum vorgestellt. Sie wurden in den wissenschaftlichen Diskurs auch außerhalb des Projekts eingespeist und mit ExpertInnen verschiedenster Fachrichtungen diskutiert.

Ein Workshop zur Governance-Methode gemeinsam mit dem Arbeitspaket 5 „Politikkoordination und Partizipation“ bildete den Auftakt. Weitere Themen waren unter anderem ökonomische Grundsatzfragen der Sektorenkopplung, die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur für Elektromobilität und neue sektorkopplende Lasten in den Stromverteilnetzen sowie das in Politik und Forschung aktuell zentrale Thema der CO₂-Bepreisung. Die Eignung verschiedener Ansätze und die Bedeutung der Einordnung in einen Policy-Mix wurden untersucht. Autorenbeiträge in Fachzeitschriften, Stellungnahmen, Fachvorträge und Interviews erhöhten die öffentliche Wahrnehmung der Projektarbeit.



6. WIRKSAME PARTIZIPATION UND GOVERNANCE

Das Arbeitspaket 5 „Politikkoordination und Partizipation“ erarbeitete Lösungsansätze, um eine effektive und legitime Governance der Energietransformation sicherzustellen. Die Koordination des Transformationsprozesses auf nationaler und europäischer Ebene sowie partizipative Verfahren bei der Umsetzung der Energietransformation standen im Fokus. Neben Fachpublikationen wurden die Ergebnisse des Arbeitspaketes auch der breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht, unter anderem durch mehrere Artikel im Tagesspiegel Background Energie & Klima.

Energietransformation auf nationaler und europäischer Ebene

Das Teilprojekt „Energietransformation im europäischen Vergleich“ untersuchte die Transformation von Energiesystemen in den Vergleichsländern Deutschland, Österreich und Polen. Es konnte gezeigt werden, dass neben materiellen (zum Beispiel natürliche Ressourcen) und ökonomischen (zum Beispiel Organisation des Energiesektors) Pfadabhängigkeiten bestimmte Governancemuster sowohl Optionen als auch Verlauf von Transformationsprozessen prägen. Dabei kann idealtypisch zwischen eingebetteter und verbundener Governance unterschieden werden. Während eingebettete Governance durch eine Rangordnung gekenn-

zeichnet ist, in der bestimmte Muster (zum Beispiel Verhandlung) andere (zum Beispiel Wettbewerb) dominieren, ist verbundene Governance durch das Fehlen einer Über- oder Unterordnung gekennzeichnet.

Ein eingebettetes Governancemuster mit geringer Akteursverflechtung zeigt Polen. Hier wird Transformation hierarchisch gesteuert. Politikwechsel erfolgen kurzfristig aufgrund neuer politischer Mehrheiten oder außeninduziert (insbesondere durch die Europäische Union). Dies führt zu einer vergleichsweise geringen Kontinuität der politischen Entwicklung. Stabilität im Energiesystem schafft allerdings die Pfadabhängigkeit der heimischen Kohle.

Ein verbundenes Koordinationsmuster mit starker Akteursverflechtung findet sich in Österreich. Die Transformation des Energiesystems wird korporatistisch gesteuert. Dies führt zu einer vergleichsweise hohen Stabilität, Politikwechsel erfolgen eher langfristig und werden durch Einbindung neuer AkteurlInnen in die bestehenden korporatistischen Strukturen ermöglicht.

In Deutschland zeigen sich sowohl Merkmale verbundener als auch eingebetteter Governance. Politikwechsel werden

teils durch neue politische Mehrheiten und teils durch externe Einflüsse angestoßen, in ihrer Wirkung allerdings durch institutionalisierte Politikverflechtung beschränkt.

Die Ergebnisse werden im Vergleich mit weiteren europäischen Ländern im „Handbook of Energy Governance in Europe“ (herausgegeben von Jörg Kemmerzell und Michèle Knodt) dargestellt. Zudem ist die Forschung zu Deutschland und Polen in einen mit KollegInnen der Universität Brunn erstellten Artikel mit dem Titel „What’s next for the European coal heartland? Exploring the future of coal as presented in the in German, Polish and Czech print media“ in der Zeitschrift Energy Research and the Social Sciences erschienen.

Mehrebenenkoordination in der Energieunion

Ziel des Teilprojektes war die Analyse der im Dezember 2018 von der Europäischen Union (EU) verabschiedeten Governance-Verordnung für die Energieunion, welche die Erreichung der parallel ausgehandelten EU 2030 Energie- und Klimaziele sichern, die Energiepolitiken der Mitgliedstaaten besser koordinieren sowie die Einhaltung und Implementierung des Pariser Klimaschutzabkommens gewährleisten

soll. Das Forscherteam von Arbeitspaket 5 analysierte die Verordnung im Hinblick auf ihre „Harder Soft-Governance“: einer Form der weichen Steuerung, jedoch mit harten Zügen und versehen mit einem dichten Netz von Monitoring- und Rechenschaftspflichten sowie automatisch einsetzenden Korrekturmechanismen im Falle mangelhafter Compliance.

Die „Harder Soft-Governance“ erscheint als eine Option, um in Politikfeldern mit unvollständiger Zuständigkeit der Europäischen Union, wie der Energiepolitik, sowie angesichts sich verstärkender Machtkonflikte in Rat und EU-Parlament dennoch ambitionierte Policy-Vorhaben voranzutreiben. Problematisch erscheint die Unschärfe zwischen Verbindlichkeit und Unverbindlichkeit. „Harder Soft-Governance“ erfordert von den europäischen Policy Makern ein erhebliches Maß an Präzision bei der Politikformulierung.

Die These der „Harder Soft-Governance“ wurde im Artikel „Governance der Energieunion: Weiche Steuerung mit harten Zügen?“ in der Zeitschrift integration (2017/2) erörtert und anschließend im Sammelband „Governance der Europäischen Energieunion“ (herausgegeben von Michèle Knodt, Sabine Schlacke, Heike Böhler und Simon Lammers) weiter ausformuliert. Auch ein Special Issue „Harder Soft-Governance in European Climate and Energy Policy: Following a New Trend?“ des Journal of Environmental Policy and Planning erscheint im Frühjahr 2020.

Neue Partizipationsformen in der Energietransformation

Das Teilprojekt „Modell der Mehrebenenpartizipation“ hat gezeigt, dass die bestehenden Beteiligungsformate in der Energiewende unzureichend in die Mehrebenen-Governance der Energiewende integriert sind. Während auf der nationalen Ebene im Rahmen der politischen Steuerung Ausbauziele festgelegt werden, werden auf der regionalen und lokalen Ebene im Rahmen der Steuerung durch hoheitliche Planung konkrete Standortentscheidungen getroffen. Dabei müssen die regionalen und lokalen Ebenen genügend Raum für den Ausbau erneuerbarer Energien stellen.

Raumplanung wird in erster Linie als ein von fachlichen Erwägungen und rechtlichen Vorgaben geprägter Prozess verstanden, es bestehen enge Grenzen hinsichtlich der Frage, welche inhaltlichen Interessen seitens der BürgerInnen als zulässig und somit als im Rahmen der Bürgerbeteiligung verhandelbare Interessen gelten. BürgerInnen waren zwar auch in die Prozesse der politischen Steuerung auf der Bundes- und der Landesebene eingebunden. Allerdings sind Formate der unkonventionellen BürgerInnenbeteiligung im Rahmen der politischen Steuerung auf der Landes- und Bundesebene institutionell nicht verankert. Es gibt somit keine verbindlichen Regelungen hinsichtlich der Beteiligung noch hinsichtlich der Frage, wie Ergebnisse aus BürgerInnenbeteiligungsmaßnahmen in den politischen Prozess der repräsentativen Demokratie eingespeist

werden. Einmalige Formate wie zum Beispiel der „BMBF Bürgerdialog Energietechnologien der Zukunft“ tragen der Dynamik der Präferenzen der BürgerInnen nur unzureichend Rechnung.

Die Problematik, dass sich wertebasierte Zielkonflikte in der Energietransformation herausbilden und dass kollektive Konflikte nur mangelhaft ausgetragen werden, da bestehende Beteiligungsformate in der Energiewende in die Mehrebenen-Governance der Energiewende nur unzureichend integriert sind, wurde exemplarisch für den Ausbau der Windenergie sowie für den Netzausbau in mehreren Publikationen dargelegt. Dies erfolgte teilweise in Form intensiver interdisziplinärer Zusammenarbeit in der ENavi AG Akzeptanz gemeinsam mit KollegInnen aus allen vier Kopernikus-Projekten wie im Springer Band „Akzeptanz und politische Partizipation in der Energietransformation. Gesellschaftliche Herausforderungen jenseits von Technik und Ressourcenausstattung“, herausgegeben von Cornelia Fraune, Michèle Knodt, Sebastian Gözl und Katharina Langer. Die Herausbildung von wertebasierten Zielkonflikten in der Energietransformation wurde in dem bereits vielzitierten Special Issue: „Sustainable energy transformations in an age of post-truth politics, populism, and local resistance“ in der Zeitschrift Energy Research & Social Sciences erarbeitet.

7. VERHALTENSÄNDERUNG BRAUCHT ANREIZE

Das Arbeitspaket 6 „Verhalten im Wandel von Werten und Lebensstilen“ legt in ENavi sein Augenmerk auf menschliches Verhalten und soziale Handlungen, die hohe Relevanz für die Nachhaltigkeits-transformation haben. Die Studien decken dabei alle wesentlichen gesellschaftlichen Bereiche der Energiewende ab: Es wurden Studien zur sozialen Akzeptanz des Transformationsprozesses durchgeführt und Studien zum Handeln professioneller AkteurInnen und EndverbraucherInnen zur Energieeffizienz und Investitionen in innovative Energieversorgung. Hochauflösende Machine-Learning Modelle brachten Erkenntnisse zu den Einflussfaktoren von Investitionsverhalten in Photovoltaik. Die folgenden drei Ergebnisse der Mobilitätsforschung stehen beispielhaft für die Vielzahl von Studien in Arbeitspaket 6.

Sharing-Angebote als Alternative zum eigenen Pkw

Mit den Möglichkeiten der Digitalisierung halten auch App-gestützte Mobilitäts-services wie On-Demand-Ridesharing-Shuttles Einzug in unseren Alltag. Sie

bündeln individuelle Fahrten zu optimierten Routen mit flexiblen Start- und Zielpunkten. Eine Studie mit VerkehrsteilnehmerInnen aus der Region Stuttgart untersucht, unter welchen Bedingungen On-Demand-Ridesharing-Shuttle zukünftig eine attraktive Alternative für den Pendlerverkehr in der Region Stuttgart darstellen könnten. Die Ergebnisse einer Online-Umfrage, die ein Choice-based Conjoint-Experiment beinhaltete, zeigt, dass geteilt genutzte On-Demand-Shuttles auch für PKW-FahrerInnen eine attraktive Alternative sind. Sie verdrängen den ÖPNV dann nicht, wenn man den Service hinsichtlich Preis und Fahrzeit sowie Fußwege richtig gestaltet und zugleich Parkgebühren für PKWs erhebt.

Parkplätze erhöhen Nachfrage nach Elektroautos

Der Absatz von Elektroautos bleibt nach wie vor hinter den Ambitionen der Regierung zurück, was im Privatbereich auch mit einer falschen Wahrnehmung zusammenhängt, ob sie zu den eigenen Mobilitätsanforderungen (Reichweitenangst) passen. In einer Studie wurden

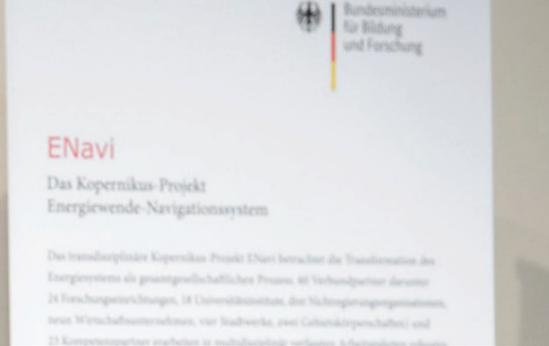
mit 101 EntscheidungsträgerInnen städtischer ambulanter Pflegedienste Entscheidungsexperimente durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass EntscheidungsträgerInnen vor allem dann bereit sind, Elektroautos anzuschaffen, wenn hierfür zusätzlicher Parkraum zur Verfügung gestellt wird. Weniger wichtig für die Kaufentscheidung war die Reichweite der Elektroautos, die häufig als hinreichend eingeschätzt wird. Bei den finanziellen Rahmenbedingungen wären aus Sicht der Branche weitere Zuschüsse wie eine Sonderprämie für gewerbliche Elektrofahrzeuge wünschenswert.

Mit Carsharing zu Nachhaltigkeit beitragen

Ob und wie man mit Carsharing einen Beitrag zu nachhaltigerer Mobilität leisten kann, konnte in einer quasi-ex-

perimentellen Feldstudie mit 1.237 Teilnehmenden gezeigt werden. Die Carsharing-Nutzung wird sowohl von der Umwelteinstellung einer Person (das heißt, ihrer individuellen Motivation die Umwelt zu schützen) beeinflusst, als auch vom Kontext, in dem eine Person lebt: In Städten mit hoher Carsharing-Verfügbarkeit war die Carsharing-Nutzung systematisch leichter. Dadurch war es dort wahrscheinlicher, dass auch Personen mit einer geringeren Umwelteinstellung auf Carsharing zurückgreifen. Über den Einfluss der Umwelteinstellung hinaus trug Carsharing-Nutzung dazu bei, dass Personen nachhaltiger mobil waren (das heißt weniger Autos besaßen, seltener Auto fuhren und in den letzten Jahren mehr Autos abgeschafft haben).





8. NACHHALTIGKEIT ERFORDERT BALANCE

Das Forscherteam im Arbeitspaket 7 „Einklang der Nachhaltigkeitsziele“ zeigte auf:

› Der EU-Klimaschutz reduziert die Luftverschmutzung deutlich. Dabei kommt der Energiewirtschaft eine Schlüsselrolle zu.

in monetäre Einheiten, entspricht das einer Schadenswirkung von etwa 25 Milliarden Euro.

› Die Wasserentnahme lässt sich durch den Ausstieg aus Atom- und Kohleverstromung im Zusammenspiel mit smarter Bewässerung von Energiepflanzen fast halbieren.

Forschungsergebnisse zeigen einen erheblichen Reduktionseffekt der Gesundheitswirkungen der Luftverschmutzungen durch ein starkes EU-Klimaschutzziel (95 Prozent Emissionsminderung bis 2050 gegenüber 1990). Die Zahl der modellierten vorzeitigen Todesfälle wird gegenüber dem heutigen Stand fast halbiert. Dies verdeutlicht die Schlüsselrolle der Energiewirtschaft bei der Luftreinhaltung.

Ein schwacher Klimaschutz (keine weiteren Anstrengungen über bisherige Instrumente) führt durch technologischen Fortschritt und strengerer Schadstoffemissionsgrenzwerte auch zu einer Minderung. Vorzeitige Todesfälle sind aber um etwa 20.000 Fälle höher im Vergleich zu einem starken Klimaschutz. Hiervon trägt Deutschland mit mehr als 6.000 Todesfällen die Hauptlast. Bei Anwendung der durch die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) empfohlenen Methode zur Übersetzung

Die bisher größte Flächennutzung durch erneuerbare Energien stellt der Anbau von Biomasse mit 2,2 Millionen Hektar dar. Nimmt man im Energiesystemmodell den Biomasseanbau als emissionsfrei an, steigt der Bedarf weiter an. Allerdings müssen bei einer detaillierteren Betrachtung des Agrarsektors die Düngemissionen auf die Biomasseanbauprozesse umgerechnet werden, was zu einer Halbierung der optimalen Biomassenachfrage in 2050 führen könnte.

Bei der Wassernutzung hat die Wasserkühlung von Kohlekraftwerken aktuell den größten Einfluss. Mit dem Atom- und Kohleausstieg sinken die Wasserentnahmen und die damit verbundenen Wärmeeinträge in Fließgewässer stark ab. Einen potenziell zukünftig immer wichtigeren Wasserverbraucher stellt die Bewässerung von Energiepflanzen dar. Wenn hierfür gereinigtes Abwasser wiederverwendet wird, könnte die gesamte Wasserentnahme in Deutschland gegenüber dem Wert in 2015 um 45 Prozent

bis 2050 absinken, wobei die Flächenproduktivität durch gesteigerte Erträge zunehmen würde.

› Der Ausbau erneuerbarer Energien führt zu einem erhöhten Bedarf an Neodym, Dysprosium, Lithium und Kobalt. Je nach Entwicklung der weltweiten Nachfrage und Produktionskapazitäten könnte dies den schnellen Ausbau behindern, ein ambitioniertes Recycling kann diesem aber entgegenwirken.

Es wurde der Bedarf an Neodym (Nd), Dysprosium (Dy), Lithium (Li) und Kobalt (Co) in der Stromerzeugung und -speicherung sowie in den Verkehrssystemen bis 2050 unter sechs globalen Szenarien der tiefen Defossilisierung analysiert. Dabei wurden unterschiedliche plausible Entwicklungen auf den Subtechnologiemärkten für die Lithium-Ionen-Batteriechemie, die Windkraft und die Elektromotoren für den Straßenverkehr und der Einfluss von Unsicherheiten über den spezifischen Materialgehalt dieser Subtechnologien erfasst.

Die Ergebnisse zu den verschiedenen Szenarien zeigen, dass der maximale jährliche Bruttobedarf aller Materialien die aktuellen Produktionsmengen übersteigt. Das Verhältnis der kumulierten Bruttonachfrage und der aktuellen Reserveschätzungen variiert von 0,1 bis 0,6 (Neodym), 0,1 bis 1,5 (Dysprosium), 0,7 bis 9,3 (Lithium) und 1,3 bis 15,7 (Kobalt). Die Ressourcenschätzungen von

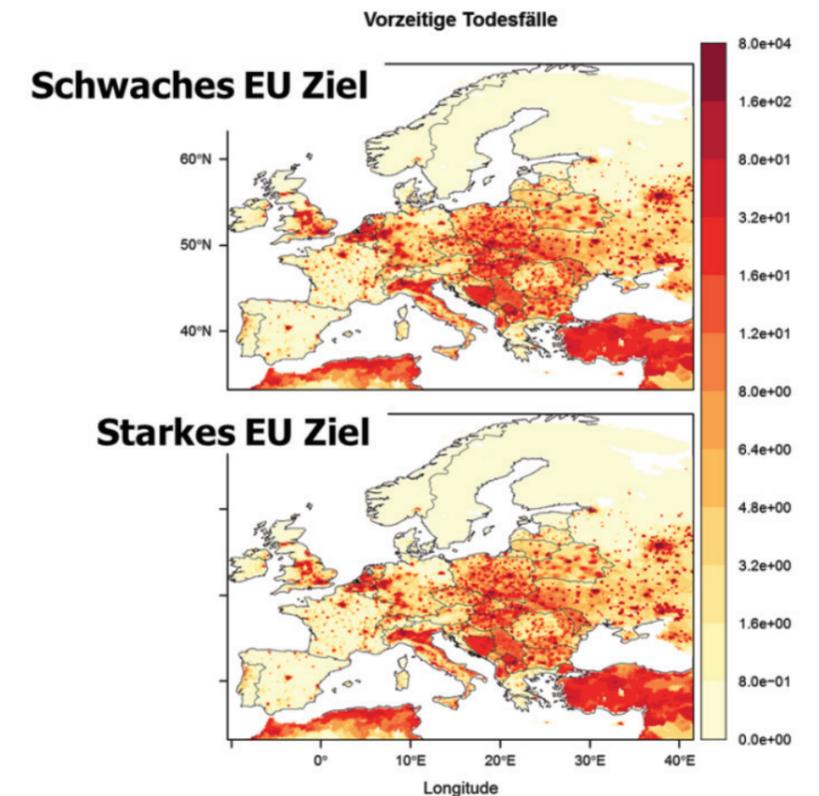


Abbildung 6: Geografische Verteilung der vorzeitigen Todesfälle bei starkem und schwachem EU-Ziel (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)

Lithium und Kobalt werden um einen Faktor von bis zu 2,8 beziehungsweise 4,4 überschritten. Ambitionierte Recyclingraten können den maximalen jährlichen Materialbedarf deutlich reduzieren.

Darüber hinaus werden in einigen Szenarien die Reserven für Lithium und Kobalt bei vollständiger Materialrückgewinnung nicht mehr erreicht. Dennoch kann das

Recycling den kurzfristigen Nachfrageanstieg nur bedingt abfedern, da das Recyclingpotenzial stark von der Lebensdauer der Technologien abhängt. Besonders langlebige Technologien (zum Beispiel Windkraftanlagen) können im Zeithorizont der Analyse wenig zum Recyclingpotenzial beitragen.

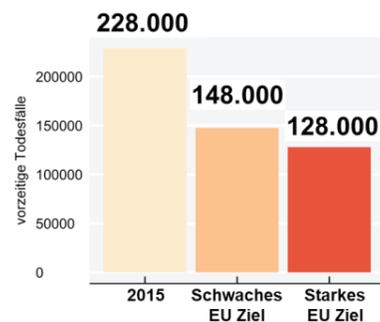


Abbildung 5: Anzahl der durch Luftverschmutzung verursachten vorzeitigen Todesfälle in Abhängigkeit des EU-Klimaschutzziels (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)

9. WIRKUNG ENTFALDET SICH IM GESAMTSYSTEM

Im Arbeitspaket 8 wurde „Sektorkopplung“ als eines der zentralen Themen der Energiewende mit einer Vielzahl von Modellentwicklungsaktivitäten und quantitativen Analysen zum Energiesystem Deutschland mit unterschiedlichen Zeithorizonten (kurzfristig bis 2025 und langfristig bis 2050) bearbeitet. In der Veröffentlichung „Sektorkopplung – Was

ist darunter zu verstehen?“ (Wietschel et al. 2018) wurde eine Definition von Sektorkopplung erreicht: „Sektorkopplung bezeichnet den fortschreitenden Prozess der Substitution fossiler Energieträger durch weit überwiegend erneuerbar erzeugten Strom oder durch andere erneuerbare Energieträger und nachhaltige Energienutzungsformen, wie die Nutzung von Abwärme, in neuen sektorenübergreifenden Anwendungen oder durch verstärkte Nutzung bekannter sektorenübergreifender Anwendungen. [...] Neben sektorenübergreifenden Anwendungen zwischen Umwandlungs- und Nachfragesektoren durch die Kopplung der Energieträger kann Sektorkopplung auch in Form einer neuartigen Verzahnung zwischen den klassischen Verbrauchssektoren (Haushalte, Gewerbe/Handel/Dienstleistung, Industrie und Verkehr) über Netzinfrastrukturen gegeben sein.“ (Wietschel et al. 2018, S. 13-14)

Die zentralen Ergebnisse von Arbeitspaket 8 „Systeme zusammenführen“ sind:

› Lastmodellierung, Nachfrageentwicklung und Sektorkopplungseffekte (Gesamtsystemanalyse) von alternativen Antrieben im Verkehrssektor

Antriebspezifische Abbildungen und Simulation von batterieelektrischen Antrieben, wasserstoffbetriebene Fahr-

zeuge und oberleitungsgebundene LKWs in Bezug auf Ladeinfrastruktur und Betankung wurden soweit weiterentwickelt, dass sie in die Gesamtsystemmodelle REMIX, REMod und TIMES integriert werden konnten. Die Abbildungen ermöglichen ein Policy Maßnahmen-abhängiges Verhalten zu analysieren, zum Beispiel bei der Einführung einer City-Maut oder eines CO₂-Preises auf den Kraftstoff. Die Koppelung an die Energiesystemmodelle ermöglichte gleichzeitig, eine potenzielle Nutzung von Oberleitungs-LKWs in Szenarien mit sehr hohen CO₂-Reduktionszielen in Bezug auf inflexible Stromnachfrage und Leistungsspitzen zu quantifizieren. Erste Ansätze zeigten ebenfalls Verhaltensänderungen bei der Wahl von Verkehrsmitteln, bei Lade-Betankungsvorgängen und bei der Nutzung der Infrastruktur.

› Modellentwicklungen und Analysen zur zentralen Rolle von Wärmepumpen im Wärmesektor aus betriebswirtschaftlicher und gesamtsystemischer Sicht

Im Projekt wurden Transformationspfade für den Wärmesektor unter hohen

Anteilen von Wärmepumpen (bis zu über 50 Prozent) berechnet. Wärmepumpen sollten zur besseren Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien flexibel und gesamtsystemisch koordiniert gesteuert werden. Hierzu wurden Demand und Reponse von Wärmepumpen und Gebäudehüllen mittels grey-box-Modellen detailliert analysiert. Ebenso wurde untersucht, wie Großwärmepumpen in Nah- und Fernwärmenetze integriert werden können. Die Ergebnisse zeigen, dass die Strompreise und eine CO₂-Bepreisung angepasst werden müssen, damit die Großwärmepumpen besser integriert werden. Außerdem wurde untersucht, wie wirtschaftlich Wärmepumpen in Verbindung mit Prosumer-Geschäftsmodellen sind. Dabei wurde insbesondere auf resultierende Verteilungseffekte hingewiesen (Benachteiligung von Non-Prosumern).

› Gesamtsystemanalysen, Dialog und Visualisierung

Die Gesamtsystemmodelle wurden mit sektorspezifischen Inputs erweitert (Beispiel: Nachfrageprofile Oberleitungs-

LKW), Energiesystemmodelle wurden mit Sektormodellen (unter anderem auch TAPAS) und mit anderen Energiesystemmodellen gekoppelt. Durch die Erweiterung und Kopplungen werden Transformationen vollständiger abgebildet, Policy Packages und Maßnahmen werden besser berücksichtigt.

Für Dialogsituationen mit den Stakeholdern der Energiesystemtransformation wurde ein Dialogtool für interaktive Energiesystemanalysen sowie eine Visualisierung von Sektorkopplungseffekten in Webplattformen wie energy-charts.de entwickelt. Im Dialogtool mit einer grafischen Benutzeroberfläche (mehrdimensionale Lösungsräume) liefert der entwickelte Optimierungsalgorithmus Reaktionszeiten im Sekundenbereich.

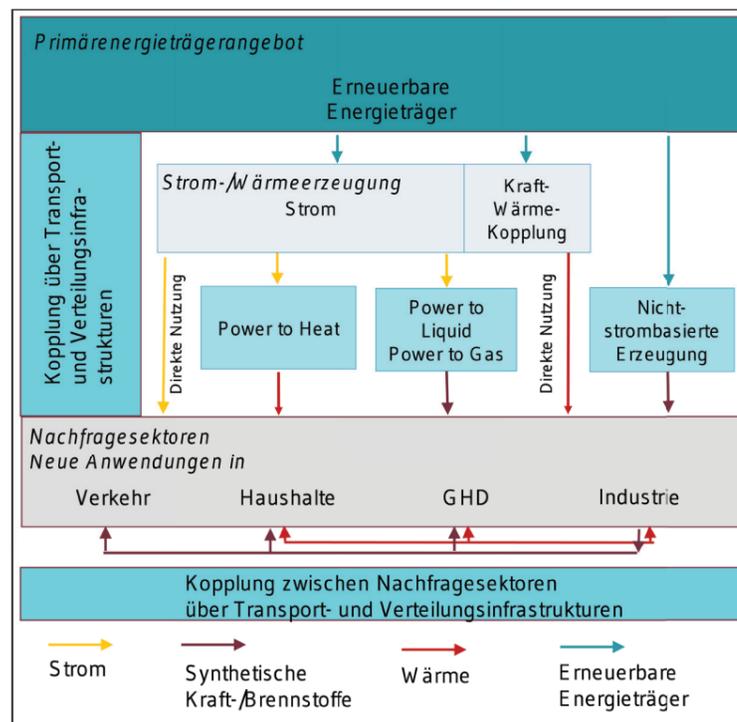


Abbildung 7: Verbindung der Sektoren ist eine der zentralen Aufgaben der Energiewende (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE)



10. SOFTWARE UNTERSTÜTZT KOMMUNIKATION

Ziel von Arbeitspaket 9 „Digitalisierung und IKT“ war die Untersuchung und Beschreibung möglicher Entwicklungspfade des Energiesystems unter dem Aspekt der Digitalisierung. Anhand ausgesuchter Anwendungsfälle bezüglich „Gesamtgesellschaftlicher Dimensionen der Digitalisierung“, „Strukturentwicklung im Energiesystem“ und „Steuer-/Regelungskonzepte“ wurden zentrale Ergebnisse erarbeitet.

Diskussion mit simultaner Visualisierung

Für gesamtgesellschaftliche Dimensionen lag der Fokus auf Mobilität. In diesem Bereich ergibt Digitalisierung Potenziale für Veränderungen im Nutzerverhalten und für die Kopplung zwischen Verkehrs- und Stromsektor.

Das agentenbasierte Mobility Transition Model und das softwareunterstützte Diskussionsformat des mobilen Decision Theater für Stakeholderdialoge wurden als Forschungs- und Partizipationsinstrument weiterentwickelt. Das Modell bildet mit vielfältigen autonomen Einheiten, den sogenannten „Agenten“, mögliche Entscheidungen und Handlungen von Individuen, Gruppen und Organisationen ab.

Das Decision Theater eignet sich insbesondere für Dialogforen, bei denen Szenarien und konkrete Handlungsempfehlungen diskutiert werden. In der Diskussion werden mögliche Zukunftsentwicklungen interaktiv durch Diagramme und Landkarten auf Monitoren visualisiert. Zum Beispiel ergab die Modellierung, dass ein CO₂-Preis allein nur geringe Auswirkungen auf Verkehrsverhalten der BürgerInnen hat. Die Ausgestaltung möglicher flankierender Maßnahmen kann im Decision Theater ausgelotet werden.

Zentrales intelligentes Meßsystem erforderlich

Strukturelle Entwicklungen wie die Dezentralisierung des Energiesystems sowie steigende Lasten durch Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen führen dazu, dass auch kleine Energieanlagen in der Nieder- und Mittelspannung zukünftig Systemverantwortung übernehmen müssen. KonsumentInnen werden zu ProsumentInnen, die in die Prozesse des Energiemarkts einbezogen werden müssen. Kosteneffizient möglich ist dies nur, wenn Marktmechanismen, Schnittstellen und Sicherheitsanforderungen konsequent standardisiert weiterentwickelt werden.

In Deutschland soll ein zentrales intelligentes Messsystem, das sogenannte Smart Meter Gateway, dabei eine zentrale Rolle spielen. Eine wichtige Voraussetzung für das Gelingen der Energiewende ist, dass in den kommenden Jahren eine standardisierte und anpassungsfähige Prozesskette auf Basis des Smart Meter Gateways aufgebaut wird. Es sollte bestehende ad-hoc-Lösungen ablösen, die kleinere Anlagen kommunikationstechnisch anbinden.

Am Anwendungsbeispiel einer Stromversorgungsgemeinschaft wurde untersucht, wie dezentrale Anlagen innerhalb eines offenen Teilhabesystems zusammenwirken. Einzelne AkteurInnen eines lokalen Energiesystems wurden in Steuer- und Regelungskonzepten abgebildet und aktiv einbezogen. Dabei wurde deutlich, wie dezentrale Agenten und die Blockchain-Technologie lokale Energieversorgungslösungen mitgestalten und (auch volkswirtschaftlich) optimieren können. Der tatsächliche Energiebedarf lässt sich besser reflektieren und flexibilisieren. Die Blockchain-Technologie charakterisiert den Eigenverbrauch besser und erleichtert eine Konsensfindung.





11. ENERGIESYSTEM ÜBERSCHREITET LÄNDERGRENZEN

Länderstudien zur Energie- und Klimapolitik

Länderstudien zur Energie- und Klimapolitik in Polen, Österreich und Deutschland resultieren aus der interdisziplinären Zusammenarbeit der Partnerinstitute Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart, Technische Universität Darmstadt und Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE und richten sich an EntscheidungsträgerInnen aus Politik, Wirtschaft und Industrie. Sie beschreiben Klima- und energiepolitische Strategien und Ziele, Governance- und Koordinationsmechanismen sowie die Struktur und die Entwicklung des Energiesystems.

Der in den Länderstudien bereitgestellte Gesamtüberblick der Klima- und Energiepolitik soll Koordinations- und Kooperationsmöglichkeiten für das Gelingen der Energiewende aufzeigen, aber auch nationale Entwicklungen in den europäischen Kontext einordnen. Auf der Grundlage der Länderstudie Österreich konnte zum Beispiel im Mai 2018 eine Parlamentarische Enquête zur Klima- und Energiestrategie der österreichischen Bundesregierung „Mission2030“ hinsichtlich der geplanten Minderungsziele und Maßnahmen beraten werden.

Klimaschutzambitionen der EU im internationalen Vergleich

Im Pariser Klimaabkommen wurde das Ziel festgelegt, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C zu begrenzen, und die Vertragsstaaten aufgefordert, ihre geplanten Beiträge zur Erreichung dieses Zieles in „Nationally Determined Contributions“ (NDCs) zu dokumentieren. Zur Bewertung der in den NDCs enthaltenen Klimaschutzanstrengungen zum 2°C-Ziel wurden globale Klimaschutzszenarien entworfen, in das Energie-Ökonomie-Landnutzungs-Modellsystem REMIND-MAGPIE implementiert und auf regionaler Ebene analysiert.

Die Rechnungen zeigen, dass die NDCs sich deutlich in Bezug auf die zusätzlichen Minderungen unterscheiden. Für Europa ergeben sich zusätzliche Minderungsanstrengungen von 28 Prozent, im Vergleich zu 37 Prozent beziehungsweise 13 Prozent für die USA und Japan, und 12 beziehungsweise 14 Prozent für Indien und China. In Bezug auf die Emissionsintensität der Wirtschaft entwickelt sich Europa deutlich CO₂-ärmer als andere Länder: Im NDC-Szenario erreicht die EU eine Karbonintensität von 1.2 kgCO₂/\$, während die USA und Japan auf einem deutlich höheren Niveau bleiben, und auch China, Indien und Russland die europäische Karbonintensität um einen Faktor 2,5 bis 3,2 übertreffen.

Reform des Emissionshandels

Im Jahr 2018 wurde das Europäische Emissionshandelssystem (EU-ETS) grundlegend reformiert. Angesichts eines Überschuss an Zertifikaten und daraus resultierender niedriger Zertifikatspreise wurde eine Marktstabilitätsreserve (MSR) eingeführt, um den Überschuss zu reduzieren und das System zukünftig stabiler gegen Preisschwankungen zu machen. Im Projekt wurde analysiert, welchen Einfluss die MSR auf zukünftige Zertifikatspreise und Emissionsreduzierungen hat.

Es zeigte sich einerseits, dass die Löschung von Zertifikaten einen geringeren Einfluss auf die Zertifikatspreise haben kann als erwartet. Andererseits kann sie bei zukünftig stark schwankender Nachfrage nach Zertifikaten das System jedoch preislich instabiler machen. Diese Ergebnisse sind von hoher Relevanz für die Begutachtung der MSR im Jahr 2021. Um sie zu diskutieren und mit entsprechenden Arbeiten anderer europäischer Fachkollegen zu vergleichen, wurde im November 2019 in Berlin ein internationaler Workshop durchgeführt.



12. KRITERIEN FÜR EINE NACHHALTIGE ENERGIEWENDE

Im Arbeitspaket 11 „Multikriterielle Bewertung“ wurde ein multikriterieller Bewertungsansatz in Form eines strukturierten Prozesses mithilfe geeigneter Bewertungskriterien entwickelt. Das Hauptprodukt von Arbeitspaket 11, ein integriertes Nachhaltigkeits- beziehungsweise Bewertungsprofil für Szenarien und Maßnahmenbündel, stellt innerhalb der transdisziplinären Forschung von ENavi die zentrale Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Praxis und Politik dar.

Durch den Dialog unterschiedlicher Akteursgruppen über Handlungsoptionen sollte ENavi einen Beitrag zur Gestaltung einer nachhaltigen Energie-wende-Politik leisten. In die Ausgestaltung der Politikoptionen wurden sowohl die klassischen energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung als auch andere, für die Gesellschaft wichtige Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung einbezogen.

Diese sind im Bewertungsansatz in Form von zehn Bewertungskriterien verankert, die zusammen mit Stakeholdern in einem ko-kreativen Arbeitsprozess entwickelt wurden. In ihrer Gesamtheit vermitteln die verwendeten Kriterien, Unterkriterien und Indikatoren ein ausgewogenes und umfassendes Bild über wesentliche Ansprüche an die

Energiewende (siehe Abbildung 8). Der ENavi-Ansatz sieht die Bewertung von Maßnahmenbündeln anhand eines Ampelsystems vor, um die Erwünschtheit ihrer potenziellen Auswirkungen farblich zu illustrieren und so für den transdisziplinären Dialog greifbar zu machen: „rot“ für negative, „gelb“ für neutrale oder ambivalente sowie „grün“ für positive Bewertung.

Zusätzlich eignet sich das Kriterienset zur Analyse von Wechselbeziehungen, Zielkonflikten und Synergien, deren Kenntnis für die politische Durchsetzbarkeit von großer Bedeutung ist.

Integrative und systematische Bewertung von Varianten eines deutschen Kohleausstiegs im Stromsektor

In der Projektlaufzeit ist es in einem einjährigen, intensiven inter- und transdisziplinären Austausch gelungen, den Bewertungsansatz exemplarisch auf mehrere markt- und politikgetriebene Szenarien eines Kohleausstiegs anzuwenden. Die ENavi-ForscherInnen erarbeiteten zunächst einen wissenschaftlichen Vorschlag zur multikriteriellen Bewertung, der im Wesentlichen auf Ergebnissen von verschiedenen Energiesystemmodellen basierte und Stärken, Schwächen sowie Zielkonflikte der

Szenarien in Form von integrierten Nachhaltigkeitsprofilen zusammenführte.

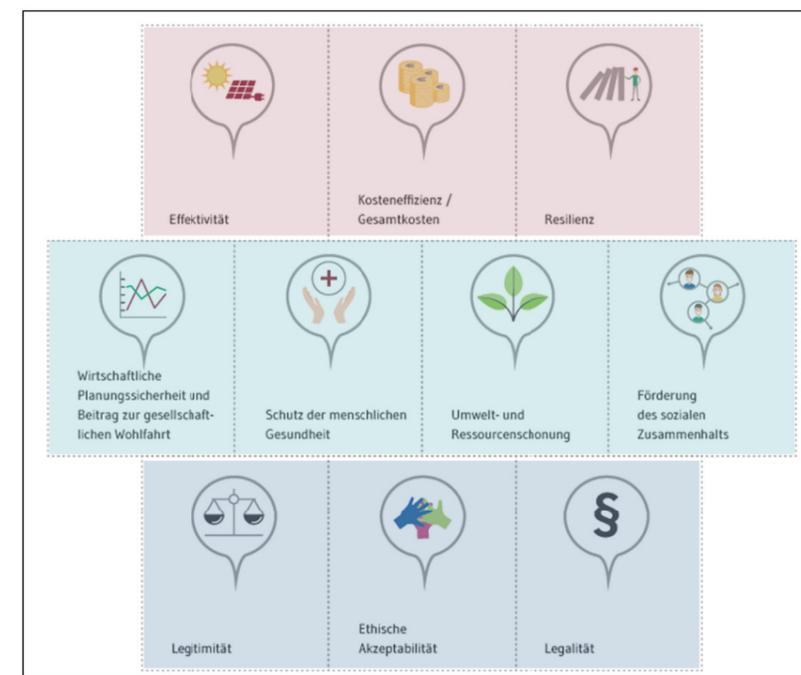
Im Anschluss wurde der Entwurf im Dialog mit AkteurInnen aus Zivilgesellschaft, Wirtschaft und Politik in zwei Workshops überprüft und nachgebessert, um so robustes und handlungsrelevantes Wissen zu generieren. Insbesondere wurde klar, dass durchsetzbare Maßnahmenbündel vor allem die Ziele Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit, Klima- und Umweltverträglichkeit sowie Sozialverträglichkeit gleichermaßen berücksichtigen sollten.

Unterstützung durch den Bewertungsansatz in den Sektoren Wärme und Verkehr

Der multikriterielle Bewertungsansatz wurde auch in den ENavi-Schwerpunktthemen „Nutzerintegration durch intelligente Steuerung“ und „Dekarbonisierung des Verkehrs“ eingesetzt. Aufgrund umfangreicher Maßnahmenbündel und eines breiten Methodenspektrums konnten nicht für alle Kriterien evidenzbasierte Folgenabschätzungen und disziplinäre Bewertungen vorgenommen werden. Der Ansatz wurde daher fallspezifisch angepasst. Im Bereich Verkehr fokussierte Arbeitspaket 11 auf eine grobe Ampelbewertung für einzelne Kriterien und Unterkriterien. Vor allem die Maßnahmen mit vielen roten Ampeln

können als Aufforderung verstanden werden, die jeweiligen Maßnahmenbündel zeitnah nachzubessern: entweder indem vorhandene Maßnahmen entfernt oder modifiziert werden oder indem flankierende Maßnahmen ergänzt werden.

Im Wärmesektor wurden die Bewertungskriterien als Strukturierungshilfe für Folgenabschätzungen auf Basis einzelner, gut abzuschätzender Indikatoren verwendet. Zudem lieferten Partner aus Arbeitspaket 11 für einzelne Kriterien und Maßnahmen zusätzliche Einschätzungen (unter anderem Legitimitätsbewertung eines CO₂-Preises im Wärmebereich). Die Ergebnisse der fallspezifischen Anwendung wurden in den Abschlussberichten zu den Schwerpunkten erläutert.



Kriterien-Cluster

› Beiträge zu zentralen energie- und klimapolitischen Zielsetzungen („Zieldreieck“)

› Wichtige Bereiche, in denen Nebenwirkungen von Energiepolitik auftreten

› Vereinbarkeit mit rechtlichen, politischen und ethischen Normen / Orientierungen

Abbildung 8: Die zehn Bewertungskriterien des ENavi-Ansatzes (Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung Potsdam, IASS)



13. WISSENSCHAFT UND PRAXIS IM DIALOG

Das Arbeitspaket 12 „Wissenschaft und Praxis im Dialog“ hat unter der Leitung einer zivilgesellschaftlichen Organisation und zweier Forschungsorganisationen die Strukturen und Prozesse für den transdisziplinären Diskurs in ENavi bereitgestellt. Das Teilprojekt hat Dialogforen für einen kontinuierlichen Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis aufgebaut mit PraxisakteurInnen aus Wirtschaft, Verbänden, organisierter Zivilgesellschaft, Betriebsräteplattform mit Betriebsräten und Arbeitsdirektoren sowie Diskusbeirat mit VertreterInnen aus Politik und Verwaltung.

Für ausgewählte Forschungsaufgaben wurden Dialogprozesse zur Verbindung von Wissensbeständen aus Wissenschaft und Praxis durchgeführt, um die

Forschungsagenda zu konkretisieren, ein Maßnahmen-Bewertungsschema zu erstellen und Maßnahmen in den ENavi-Schwerpunktthemen zu entwickeln.

Das Team im Arbeitspaket 12 hat außerdem gemeinsam mit AkteurInnen vor Ort digitale, simulationsbasierte Instrumente zur Visualisierung von Maßnahmen und Entscheidungen entwickelt und erprobt, um Entscheidungen auf lokaler und regionaler Ebene zu erleichtern. Die projektinterne Evaluation des transdisziplinären Ansatzes von ENavi insgesamt war ebenfalls in Arbeitspaket 12 verortet.

Dialogprozesse

In den drei ENavi-Schwerpunktthemen erzielten Dialogprozesse und moderierte Interaktionen zwischen PraxisakteurInnen und WissenschaftlerInnen eine Integration von wissenschaftlichem Wissen und Praxiswissen bei der Entwicklung von Maßnahmen für die Strom-, Wärme- und Verkehrswende. Zum einen gab Praxiswissen Impulse für die Schwerpunktsetzung bei der Auswahl der Maßnahmen, die von den WissenschaftlerInnen dann vertieft auf ihre Wirkungen hin erforscht wurden. Außerdem validierte, schärfte und ergänzte das Wissen der PraxisakteurInnen um Systembeschaffheiten, Umsetzungserfordernisse und Zielkonflikte eine multikriterielle Bewertung dieser Maßnahmen auf Grundlage der wirkungsbezogenen Forschungsergebnisse. Schließlich gab Praxiswissen Impulse für die weitere Ausgestaltung der Maßnahmen auf Basis der gemeinsamen Bewertung und die Formulierung von Handlungsempfehlungen für die Politik.

Optimierung lokaler und regionaler Entscheidungsprozesse

In einem iterativen Entwicklungsprozess wurden zwei Stakeholder-Empowerment-Tools entwickelt. Auf Basis von Bedarfsanalysen in den Reallaboren und Modellregionen Nordwestmecklenburg und Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg wurden aktuelle Fragestellungen im Kontext der Energiewende identifiziert, für die ein Tool zur Nachhaltigen Quartierwärmeversorgung und ein Tool zur erneuerbaren Energieversorgung einer Region entwickelt wurden. Die Entwicklung erfolgte mit regionalen AkteurInnen aus den Bereichen Politik, Wirtschaft, Verwaltung und Zivilgesellschaft. In regelmäßigen Workshops wurden Anforderungen ermittelt, Feedback eingeholt und Forschungstestläufe durchgeführt. Technische Grundlage für die Tools sind offene Energiesystemmodelle die über eine webbasierte grafische Oberfläche bedient werden können. Die Tools sind online verfügbar unter der Website des Reiner Lemoine Instituts.

Interne Evaluation

Ein Forscherteam begleitete, bewertete und unterstützte die transdisziplinären Prozesse in ENavi. Eine zentrale Erkenntnis besteht in der Schwierigkeit eines „nachholenden Co-Designs“: Aufgrund der Entstehungsgeschichte des Forschungsverbundes konnte es kein „echtes“ Co-Design mit PraxisakteurInnen zu Fragestellung und Problemkonstitution geben. Weitere Herausforderungen waren:

› Der Forschungsgegenstand von ENavi war sehr weit gefasst, Fallstudien zum Herstellen eines konkreten Lösungsbezugs spielten kaum eine Rolle.

› Die hohe Zahl an VerbundpartnerInnen erschwerte die Bemühungen um inter- und transdisziplinäre Integration. Durch die Aufstellung der drei Schwerpunktthemen wurden dann konkretere Lösungen ermöglicht und Integration gefördert.

Die vor allem über Workshops hergestellte transdisziplinäre Integration von wissenschaftlichem und Praxiswissen kann unter diesen Umständen als gelungen bezeichnet werden.



14. PRAXISTEST IN REALLABOREN UND MODELLREGIONEN

Im Arbeitspaket 13 „Praxistest“ wurden Praxiserfahrungen aus Fallstudien und Reallaboren miteinander verknüpft. Es wurden effiziente Strukturen für die Zusammenarbeit mit den anderen Arbeitspaketen sowie innerhalb der Reallabore und Modellregionen des Arbeitspaket 13 aufgebaut.

Die Reallabore und Modellregionen verknüpften Forschung, Praxis und Analyse der energiepolitischen Umsetzung der Energiewende auf Ebene der Bundesländer in ausgewählten Modellregionen.

Die Reallabormethode hat sich als geeignetes Format zur Innovationssteigerung und Vernetzung in den Regionen erwiesen. Das Forscherteam, die Landkreise und die teilnehmenden Kommunen empfehlen, an diesem Format festzuhalten und die durch das Kopernikus-Projekt ENavi initiierten Ideen weiterzuentwickeln.

Initiierung innovativer Partizipationsprozesse

Im Reallabor Nordwestmecklenburg wurden im Untersuchungsgebiet innovative Ansätze für die Organisation der Energiewende definiert. Die Einbindung von WissenschaftspartnerInnen in den Planungsprozess gab der regionalen Entwicklung neue Impulse. Außerdem entstand ein detailliertes Rahmenkonzept für die strategische Partizipation von Interessengruppen und Bevölkerung an der regionalen Energiewende. Das Partizipationskonzept initiierte eine partizipative Entwicklung eines kom-

munalen Klimaschutzkonzeptes. Bei der Analyse geeigneter regionaler Geschäftsmodelle entstand eine Systematisierung von Geschäftsmodellen, die auf andere Regionen übertragbar ist.

In den weiteren Modellregionen Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg wurden ebenfalls zentrale AkteurInnen und Politikinstrumente recherchiert und analysiert. Die Analyse floss über die ENavi-Schwerpunkthemen in die Diskussion um die Ausgestaltung der ENavi-Roadmaps und Policy Packages.

Zusammenarbeit von Wissenschaft und Stadtwerken

Gemeinsam mit Stadtwerken haben die Forschenden Konzepte zur Ausgestaltung eines emissionsarmen Energiesystems entwickelt und erprobt, die andere Regionen als Vorlage nutzen können.

An der Rosenheimer Holzhackschnitzelvergasungsanlage wurde eine Lambda-regelung entwickelt, die einen Betrieb über einen Lastbereich von 80 bis 130 Nm³/h mit konstant bleibendem Wirkungsgrad von mehr als 70 Prozent darstellt.

Der Einsatz von einer Power-to-Heat-Anlage als Option der Wärmebereitstellung (in Verbindung mit einem Wärmespei-

cher) wurde als Beitrag zur Systemdienlichkeit untersucht. Die Stadtwerke analysierten die Rahmenbedingungen und die Wirtschaftlichkeit geltender Regularien. Daraus konnten Handlungsempfehlungen zur Optimierung abgeleitet werden.

Praxiserprobtes Heat-Cockpit

Das Forscherteam baute im Arbeitspaket 13 eine enge Schnittstelle zwischen den PraxispartnerInnen und ENavi-WissenschaftlerInnen auf. Gemeinsam entwickelten und testeten sie eine intelligente Vernetzung von Erzeugung und Verbrauch auf dem Wärmemarkt über ein Heat-Cockpit sowie die optimierte Vermarktung von Flexibilität auf dem Gasmarkt. Hierfür wurden die Teilsysteme von SekOptima (Optimierungs- und Integrationsplattform) zu einem funktionsfähigen Gesamtsystem integriert und anhand des Reallabors der Stadtwerke Heidelberg in einen kontinuierlichen Demonstrationsbetrieb überführt.

Die Plattform ermöglicht eine markt- und systemdienliche, sektorübergreifende Flexibilitätsbewirtschaftung des Kraftwärmekopplungs(KWK)-Nahwärmesystems des Reallabors der Stadtwerke Heidelberg. Dabei berücksichtigten sie eine nutzerspezifische Wärmebedarfsprognose, das technische Flexibilitätspotenzial und marktgetriebene Preissignale.

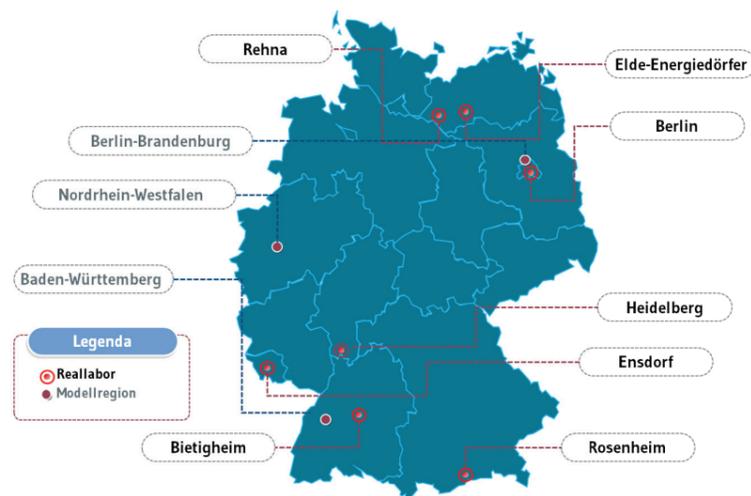


Abbildung 9: Reallabore und Modellregionen verknüpften Forschung und Praxis (Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e. V. (IKEM))

15. PUBLIKATIONEN (Auswahl)

Peer-Reviewed Artikel

Andor, M., Frondel, M. & Sommer, S. (2018). Equity and the Willingness to Pay for Green Electricity: Evidence from Germany. *Nature Energy*, 3, 876-881.

Andor, M., Frondel, M. & Vance, C. (2017). Germany's Energiewende: A Tale of Increasing Costs and Decreasing Willingness-To-Pay, *Energy Journal (Special Issue #1 – Renewables and Diversification in Heavily Energy Subsidized Economies)*, 38(1), 211-228.

Andor, M., Frondel, M. & Horvath, M. (2019). Consequentiality and the Willingness-To-Pay for Renewables: Evidence from Germany. #9/2017, SFB 823.

Andor, M., Frondel, M. & Vance, C. (2017). Mitigating Hypothetical Bias: Evidence on the Efforts of Correctives from a Large Field Study. *Environmental and Resource Economics*, 68(3), 777-796.

Bataille, C., Fishedick, M. et al (2018). A review of technology and policy deep decarbonization pathway options for making energy-intensive industry production consistent with the Paris Agreement *Journal of Cleaner Production*, 187, 960-973.

Bayer, B. (2018). Experience with auctions for wind power in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2644-2658.

Bayer, B., Berthold, L. & Moreno Rodrigo de Freitas, B. (2018). The Brazilian experience with auctions for wind power: An asses-

sment of project delays and potential mitigation measures. *Energy Policy*, 122, 97-117.

Bayer, B., Schäuble, D. & Ferrari, M. (2018). International experiences with tender procedures for renewable energy – A comparison of current developments in Brazil, France, Italy and South Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Becker, S. & Rudolf, C. (2018). Exploring the Potential of Free Cargo Bike Sharing for Sustainable Mobility. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 2018-2, 156–164.

Beier, G., Niehoff, S., Ziems, T. & Xue, B. (2017). Sustainability Aspects of a Digitalized Industry-A Comparative Study from China and Germany. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 4(2), 227-234.

Beier, G., Niehoff, S. & Xue, B. (2018). More Sustainability in Industry through Industrial Internet of Things. *Applied Sciences*, 8(2), 219.

Bobeth, S. & Matthies, E. (2017). New opportunities for electric car adoption: the case of range myths, new forms of subsidies, and social norms. *Energy Efficiency*.

Buchmann, T., Hain, D., Kudic, M. & Müller, M. (2018). Endogenous Dynamics of Innovation Networks in the German Automotive Industry: Analyzing Structural Network Evolution using a Stochastic Actor-Oriented Approach. *International Journal of Computa-*

tional Economics and Econometrics.

Buchmann, T. & Wolf, P. (2018). Break-through inventions in solar PV and wind technologies: Identification and explanation. *Technological Forecasting & Social Change*.

Daubener, D. (2018). Die Altstadt fit machen für die Wärmewende. *ZfK Zeitung für Kommunale Wirtschaft*, 11/18.

Fraune, C. & Knodt, M. (2018). Sustainable energy transformations in an age of populism, post-truth politics, and local resistance. *Energy Research & Social Science*, 43, 1-7, Special Issue: Sustainable energy transformations in an age of populism, post-truth politics, and local resistance.

Fraune, C. & Knodt, M. (2017). Challenges of Citizen Participation in Infrastructure Policy-Making in Multi-Level Systems—The Case of Onshore Wind Energy Expansion in Germany. *European Policy Analysis (EPA)*, 3, 2, 256-273, Special Issue: Infrastructure Policy Between Regional Interests and Societal Goals Wiley.

Frey, U.J., Klein, M. & Deissenroth, M. (2019). Modelling complex investment decisions in Germany for renewables with different machine learning algorithms. *Environmental Modelling & Software*, 118, 61-75.

Fronde, M. & Kussel, G. (2019). Switching on Electricity Demand Response: Evidence for German Households. *Energy Journal*, 40, 1-15.

Fronde, M. (2018). Die Verteilung der

Kosten des Ausbaus der Erneuerbaren - Eine qualitative Bewertung der meist-diskutierten Vorschläge. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, 42(2).

Fronde, M. & Sommer, S. (2019). Schwindende Akzeptanz für die Energiewende? Ergebnisse einer wiederholten Bürgerbefragung. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, 43, 1, 27-38.

Fronde, M. & Sommer, S. (2018). Der Preis der Energiewende: Anstieg der Kostenbelastung einkommensschwacher Haushalte. *List Forum für Wirtschafts- und Finanzpolitik*, 44, 335-356.

Fronde, M., Kussel, G. & Sommer, S. (2019). Heterogeneity in the Price Response of Residential Electricity Demand: A Dynamic Approach for Germany. *Resource and Energy Economics*, 57, 119-134.

Fronde, M., Sommer, S. & Vance, C. (2019). Heterogeneity in Residential Electricity Consumption: A Quantile Regression. *Energy Policy*.

Fronde, M., Kutzschbauch, O., Sommer S. & Traub S. (2017). Die Gerechtigkeitslücke in der Verteilung der Kosten der Energiewende auf die privaten Haushalte. *Perspektiven der Wirtschaftspolitik*, 18 (4), 1-13.

Fronde, M., Sommer, S. & Tomberg, L. (2019). Versorgungssicherheit mit Strom: Empirische Evidenz auf Basis der Inferred-Valuation-Methode. *Zeitschrift für Wirtschaftspolitik*, 68, 1-21.

Fronde, M. & Sommer, S. (2017). Der Wert von Versorgungssicherheit mit Strom: Evidenz für deutsche Haushalte. *Zeitschrift für Wirtschaftspolitik*, 66(3), 294-317.

Gawel, E., Korte, K., Lehmann, P. & Purkus, A. (2017). 20 Jahre EEG: Ist das Förderende für alte Anlagen ein Problem für die Energiewende? *Wirtschaftsdienst*, 97(10), 727-732.

Gawel, E., Lehmann, P., Purkus, A., Söderholm, P. & Witte, K. (2017). Rationales for Technology-Specific Renewable Energy Support and their Relevance for Germany. *Energy Policy*, 102, 16-26.

Gawel, E., Lehmann, P., Söderholm, P. & Strunz, S. (2017). Policy convergence as a multi-faceted concept: The case of renewable energy policies in the EU. *Journal of Public Policy*.

Gawel, E., Purkus, A. & Thrän, D. (2017). Addressing Uncertainty in Decarbonisation Policy Mixes – Lessons Learned from German and European Bioenergy. *Policy Energy Research & Social Science*, 33.

Gawel, E. & Strunz, S. (2017). Transformative Wissenschaft: Eine kritische Bestandsaufnahme der Debatte. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 26(4), 321-325.

Gölz, S. & Wedderhoff, O. (2018). Explaining regional acceptance of the German energy transition by including trust in stakeholders and perception of fairness as socio-institutional factors. *Energy Research & Social Science*.

Henn, L., Taube, O. & Kaiser, F. G. (2019). The role of environmental attitude in the efficacy of smart-meter-based feedback interventions. *Journal of Environmental Psychology*, 63, 74-81.

Henn, L., Taube, O. & Kaiser, F. G. (2019). The role of environmental attitude in the efficacy of smart-meter-based feedback interventions. *Journal of Environmental Psychology*, 63, 74-81.

Hillerbrand, R., Milchram, C. & Schippl, J. (2019). The Capability Approach as a normative framework for technology assessment. Capabilities in assessing digitalization in the energy transformation. *Technikfolgenabschätzung in Theorie*

und Praxis, 28/1, 52-57.

Hirzel, S., Viebahn, P. & Fishedick, M. (2018). A Decision Support System for Public Funding of Experimental Development in Energy Research. *Energies*, 11(6), 1357.

Huang, B., Zhao, J., Chai, J., Xue, B., Zhao, F. & Wang, X. (2017). Environmental influence assessment of China's multi-crystalline silicon (multi-Si) photovoltaic modules considering recycling process. *Solar Energy*, 143, 132-141.

Jackson, I., Tor, H., Tews, K. & Turner, B. (2018). Is there a Prosumer Pathway? Exploring household solar energy development in Germany, Norway, and the United Kingdom. *Energy Research & Social Science*, 42, 258-269.

Jarass, J. & Oostendorp, R. (2017). Intermodal, urban, mobil – Charakterisierung intermodaler Wege und Nutzer am Beispiel Berlin. *Raumforschung und Raumordnung*, 75 (4), 355-369.

Kaiser, F. G., Merten, M. & Wetzel, E. (2018). How do we know we are measuring environmental attitude? Specific objectivity as the formal validation criterion for measures of latent attributes. *Journal of Environmental Psychology*, 55, 139-146.

Kastner, I. & Bobeth, S. (2018). How Households Adopt Sustainable Innovations? A Free Decision Enforced by Others. *Journal of Energy*.

Knodt, M. & Ringel, M. (2018). The governance of the European Energy Union: Efficiency, effectiveness and acceptance of the Winter Package 2016. *Energy Policy*, 112, 209-220.

Lehmann, P. & Söderholm, P. (2017). Can Technology-Specific Deployment Policies Be Cost-Effective? The Case of Renewable Energy Support Schemes. *En-*

vironmental and Resource Economics.

Lenz, B. & Heinrichs, D. (2017). What can we Learn from Smart Mobility Technologies. *IEEE Pervasive Computing*, 16(2), 84-86.

Lu, C., Meng, P., Zhao, X., Jiang, L., Zhang, Z. & Xue, B. (2019). Assessing the Economic Environmental Efficiency of Energy Consumption and Spatial Patterns in China. *Sustainability*, 11(3), 591.

Lu, C., Ren, W., Jiang, L. & Xue, B. (2017). Modelling impact of climate change and air pollution in cities. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 170, 3, 133-140.

Luderer, G., Vrontisi, Z., Bertram, C., Edelenbosch, O., Pietzcker, R., Rogelj, J., Sytze De Boer, H. et al. (2018). Residual Fossil CO₂ in 1.5-2°C Pathways. *Nature Climate Change*, 626–633.

Mack, B., Tampe-Mai, K., Kouros, J., Roth, F., Taube, E. & Diesch, E. (2019). Bridging the electricity saving intention-behavior gap: A German field experiment with a smart meter website. *Energy Research & Social Science*, 53, 34-46.

Mielke, J., Fischer, T., Jaeger, C. & Hoffmann, C. (2018). IKT und Klimaschutz: eine digitale Architektur für die Energiewende. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 27/4, 401.

Neukirch, M. (2018). Die Energiewende in der Bundesrepublik Deutschland (1974-2017) – Reform, Revolution, oder Restauration? *Makroperspektive auf einen Dauerkonflikt. sozialpolitik.ch*, Vol. 1/2018.

Osička, J., Kemmerzell, J., Zoll, M., Lehotský, L., Černoč, F., Knodt, M. (2020): What's next for the European coal heartland? Exploring the future of coal as presented in German, Polish and Czech press. *Energy Research & Social Science*, 61, 101316.

Pehl, M., Arvesen, A., Humpenöder, F., Popp, A., Hertwich, E.G. & Luderer, G. (2017). Understanding future emissions from low-carbon power systems by integration of life-cycle assessment and integrated energy modelling. *Nature Energy*, 2, 939–945.

Reisch, L. A. & Zhao, M. (2017). Behavioural

economics, consumer behaviour and consumer policy: state of the art. *Behavioural Public Policy*, 1(2), 1-17.

Rösch, C., Bräutigam, K-R., Kopfmüller, J., Stelzer, V. & Fricke, A. (2018). Sustainability assessment of the German energy transition. *Energy, Sustainability and Society*, 8(12).

Rösch, C., Bräutigam, K-R., Kopfmüller, J., Stelzer, V. & Lichtner, P. (2017). Indicator system for the sustainability assessment of the German energy system and its transition. *Energy, Sustainability and Society*, 7(1), 1-13.

Rösch, C., Roßmann, M. & Weickert, S. (2018). Microalgae for integrated food and fuel production. *Global Change Biology: Bioenergy*, 11(1), 326-334.

Samadi, S., Fishedick, M. & Lechtenböhrer, L. (2018). Long-term low greenhouse gas emission development strategies for achieving the 1.5 °C target – Insights from a comparison of German bottom-up energy scenarios. *Carbon Management (Special Issue)*.

Scheer, D. (2017). Communicating energy system modeling to the wider public: an analysis of German media coverage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1389-1398.

Scheer, D., Konrad, W. & Wassermann, S. (2017). The good, the bad, and the ambivalent: A qualitative study of public perceptions towards energy technologies and portfolios in Germany. *Energy Policy*, 100, 89-100.

Schmitz, S., Weiland, L., Becker, S., Niehoff, N., Schwartzbach, F. & Schneidmesser, E. von (2018). An assessment of perceptions of air quality surrounding the implementation of a traffic-reduction measure in a local urban environment. *Sustainable Cities and Society*, 41, 525-537.

Schoenefeld, J. J. & Jordan, A. J. (2019). Environmental policy evaluation in the EU: between learning, accountability, and political opportunities? *Environmental Politics*, 28(2), 365-384.

Schoenefeld, J. & Jordan, A. (2017). Governing policy evaluation? Towards a new typology. *Evaluation*, 23, 274-293.

Sheng, C., Cao, Y & Xue, B. (2018). Residential Energy Sustainability in China and Germany: The Impact of National Energy Policy System. *Sustainability*, 10(12), 4535.

Sunstein, C. R., Reisch, L. A. & Rauber, J. (2017). A worldwide consensus on nudging? Not quite, but almost. *Regulation & Governance*.

Taube, O., Kibbe, A., Vetter, M., Adler, M. & Kaiser, F. (2018). Applying the Campbell Paradigm to sustainable travel behavior: Compensatory effects of environmental attitude and the transportation environment. *Transportation Research Part F*, 56, 392-407.

Tews, K. (2018). The Crash of a Policy Pilot to Legally Define Community Energy. Evidence from the German Auction Scheme. *Sustainability*, 10, 3397.

Truffer, B., Schippl, J. & Fleischer, T. (2017). Decentering technology in technology assessment. Prospects for socio-technical transitions in electric mobility in Germany. *Technological Forecasting and Social Change*, 122, 34-48.

Vögele S., Hansen P., Poganietz W.-R., Prehofer S. & Weimer-Jehle, W. (2017). Scenarios for energy consumption of private households in Germany using a multi-level cross-impact balance approach. *Energy*, 120, 937-946.

Wan, W.Y., Zhao, X.Y., Wang, W.J. & Xue, B. (2017). Analysis of Spatio-temporal patterns of carbon emission from Energy consumption by rural residents in China *Acta Ecologica Sinica*, 37, 19, 6390-6401.

Wietschel, M., Plötz, P., Klobasa, M., Müller-Kirchenbauer, J., Kochems, J., Hermann, L., Grosse, B., Nacken, L., Küster, M., Naumann, D., Kost, C., Fahl, U., Timmermann, D. & Albert, D. (2018). Sektor-kopplung – Was ist darunter zu verstehen? *Zeitschrift für Energiewirtschaft (ZfE)*.

Wittenberg, I., Blöbaum, A. & Matthies, E. (2018). Environmental motivations for energy use in PV households: Proposal of a modified norm activation model for the specific context of PV households. *Journal of Environmental Psychology*, 55, 110-120.

Wittenberg, I. & Matthies, E. (2018). How Do PV Households Use Their PV System and How is This Related to Their Energy Use? *Renewable Energy*, 122, 291-300.

Wu, K.J., Zhu, Y., Tseng, M.L., Lim, M.K. & Xue, B. (2018). Developing a hierarchical structure of the co-benefits of the triple bottom line under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 195, 908-918.

Xue, B. (2019). Survey on the households' energy-saving behaviors and influencing factors in the rural loess hilly region of China. *Cleaner Production*, 30.04.

Xue, B., Jiang, L. & Chen, X. (2019). Features, Driving Forces and Transition of the Household Energy Consumption in China: A Review. *Sustainability*, 11(4), 1186.

Xue, B., Thomas, H. & Stückrad, S. (2019). Comparing the energy transitions in Germany and China: Synergies and recommendations. *Energy Reports*.

Xue, B., Butler, T., Ren, W., Zhang, Z.L., Wang, Y. & Mu, Z.L. (2018). Reviewing Air Pollution and Public Health in China. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering Sustainability*, 171/7, 358-367.

Yang, N., Zhang, Z, Xue, B., Ma, J., Chen, X. & Lu, C. (2018). Economic Growth and Pollution Emission in China: Structural Path Analysis. *Sustainability*, 10(7), 2569.

Zeccola, Marc (2018). Die Akzeptanz im Verwaltungsverfahren – Ein Beitrag zur Aufwertung der Akzeptanz als Rechtmäßigkeitsvoraussetzung. *Die Öffentliche Verwaltung (DÖV)*.

Zhao, R., Gu, X., Xue, B., Zhang, J. & Ren, W. (2018). Short period PM_{2.5} prediction based on multivariate linear regression model. *PLOS One*, 13(7).

Zhao, X. Chen, H., Ma, Y., Gao, Z. & Xue, B. (2018). Spatio-temporal variation and its influencing factors of rural energy poverty in China from 2000 to 2015. *Geographical Research*, 38(5), 717-726.

Zhao, X., Zhao, H., Jiang, L., Lu, C. & Xue, B. (2018). The Influence of Farmers' Livelihood Strategies on Household Energy

Consumption in the Eastern Qinghai–Tibet Plateau, China. *Sustainability*, 10(6), 1780.

Zeitschriftenartikel

Bangert, A. (2018). Entfremdete Mobilität: Der Preis der Geschwindigkeit. *mobilogisch! Zeitschrift für Ökologie, Politik und Bewegung*, 51(1), 51-53.

Bangert, A. (2018). Konflikte im Verkehrsflächenmanagement. *mobilogisch! Zeitschrift für Ökologie, Politik und Bewegung*, 39(3), 51-53.

Becker, S. & Rudolf, C. (2018). Exploring the Potential of Free Cargo-Bikesharing for Sustainable Mobility. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 27/1, 156-164(9).

Buchmann, T., Schmidt, M. & Staiß, F. (2018). Technologische Lücken schließen: innovative Lösungen für die Energiewende. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 27/2, 253.

Dreyer, M., Ober, S. & Sellke, P. (2017). Wissenschaft und Praxis gemeinsam für die Energiewende: Der transdisziplinäre Ansatz von ENavi. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 26, 287.

Ellner, M., Pfeifer F. & Schumacher, O. (2018). Die Mobilitätszentrale aus öffentlich-rechtlicher Perspektive. *Zeitschrift für Umweltrecht (ZUR)*, 3/2019.

Fishedick, M. (2018). Klimaziel 2020: Eine Rückkehr zu einer erfolgreichen Klimapolitik ist möglich. *ifo Schnelldienst* 71. Jahrg. 11, 11ff.

Fishedick, M. & Weigel, P. (2018). Rolle der Digitalisierung in der sozio-technischen Transformation des Energiesystems. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 68(5), 10-16.

Fronde, M. (2018). Vom Sinn und Unsinn nationaler Klimaschutzziele *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, 46(12), 1.

Fronde, M., G. Kussel & S. Sommer (2019). Heterogeneity in the Price Response of Residential Electricity Demand: A Dynamic Approach for Germany. *Ruhr Economic Papers*, #793.

Gawel, E., Lehmann, P., Purkus, A. & Söderholm, P. (2017). Ist eine technologiespezifische Erneuerbaren-Förderung wirklich ineffizient? *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 67(5), 19-24.

Knodt, M. & Ringel, M. (2017). Governance der Energieunion: Weiche Steuerung mit harten Zügen? *integration*, 2017-2, 125-140.

Knodt, M., Kemmerzell, J., Fraune, C. & Müller, R. (2018). Die Energiewende im Mehrebenensystem *Politische Koordination und Partizipation im Fokus. GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 27/3, 323.

Knodt, M. & Ringel, M. (2017). „Soft“ Governance in European Energy Policy. The “Winter Package” for the Energy Union of the European Commission. *Mainz Papers on International and European Politics (MPIEP)*, 14.

Matthies, M., Mack, B., Kastner, I., Tampe-Mai, K. & Arnold, A. (2019). Energiewende: So kommen neue Technologien im Alltag an. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 28/2 (2019), 171.

Pahle, M., Edenhofer, O., Pietzcker, R., Tietjen, O., Osorio, S. & Flachsland, C. (2019). Die unterschätzten Risiken des Kohleausstiegs. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 69, 1-4.

Pahle, M., Zabel, C., Edenhofer, O., Fahl, U., Fishedick, M., Hufendiek, K., Knodt, M., Löschel, A., Luderer, G., Ober, St., Pietzcker, R., Renn, O., Schlacke, S. & Sensfuß, F. (2019). Interdisziplinärer Synthesebericht zum Kohleausstieg. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 28/1, 61-62.

Renn, O. (2017). Ein Kompass für die Energiewende: Das Kopernikus-Projekt *Energiewende-Navigationssystem (ENavi)* ist gestartet. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 26 (1), 68-69.

Renn, O. (2018). Real-World Laboratories – the Road to Transdisciplinary Research? *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society – Special Issue*, 27(1), 1.

Renn, O. & Quitzow, R. (2017). Entscheidungshilfe: Transdisziplinäre Forschung trägt zum Gelingen der Energiewende bei. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 26(4), 363-363(1).

Samadi, S., Fishedick, M. & Lechtenböhrer, S. (2018). Vergleich der vom BDI beauftragten Energieszenarien mit anderen vorliegenden Energieszenarien für Deutschland. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 68(6).

Schaefer-Stradowsky, S. & Timmermann, D. (2018). Verschiebung von Kompetenzen zwischen ÜNB und VNB durch die Digitalisierung der Energiewende – Bedarf einer Mittelebene? *Zeitschrift für das gesamte Recht der Energiewirtschaft (EnWZ)*, 2018-6, 199-207.

Schaefer-Stradowsky, S., Venjakob, J. & Fishedick, M. (2018). Modellregionen und Reallabore im Kopernikus-Projekt ENavi. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 27/1, 180-181.

Schaefer-Stradowsky, S., Venjakob, J. & Fishedick, M. (2018). Modellregionen und Reallabore im Kopernikus-Projekt ENavi: Energiewende im Praxistest. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 27, 180-181.

Scheer, D. & Grunwald, A. (2017). Orientierungswissen für die Energiewende: der Roadmap-und-Navigation-Ansatz. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 26, 155.

Uhlemeyer, B., Garzon-Real, J., Schroeder, H., Hobert, A. & Zdrallek, M. (2019). Optimal Battery Storage Sizing for Residential Buildings with Photovoltaic Systems under Consideration of Generic Load and Feed-In Time Series. *Proceedings of the International Hybrid Power Systems Workshop*.

Wassermann, S. & Schrage, A. (2018). Innovation „Mieterstrom“ – eine soziologische Betrachtung. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 12, 89-92.

Winkler, D., Zeccola, M. & Willing, C. (2019). Die Folgen eines legislativen und exekutiven Vakuums am Beispiel der Fahrverbots-Rechtsprechung. *Deutsches*

Verwaltungsblatt (DVBl), 2/2019, 79-86.

Xue, B. & Yu, L. (2018). Chinas Energiewende (China's Energy Transition). *ChinaContact*, 3, 42-45.

Winkler, D. & Zeccola, M. (2018). Ausschreibungen für Erneuerbare Energien nach EEG 2017 – Wettbewerb–Effizienz–Akzeptanz. *Zeitschrift für europäisches Umwelt- und Planungsrecht (EurUP)*, 3/2018, 306-313.

Monographien / Beiträge in Sammelbänden

Alcántara, S., Arnold A., Lindner, D., Busch, S., Dietz, R., Friedrich, M., Ritz, C. & Sonnberger, M. (2018). Wunsch und Wirkung – Ein Workshopkonzept zur partizipativen Entwicklung von Zukunftsvisionen. In Defila, R. & Di Giulio, A. (Hrsg.), *Transdisziplinär und transformativ forschen. Eine Methodensammlung*. Wiesbaden: Springer VS.

Alle, K., Fettke, U., Fuchs, G. & Hinderer, N. (2017). Lokale Innovationsimpulse in der Transformation des Energiesystems. In Fuchs, G., *Energieinnovationen in Deutschland. Lokale Impulse und Transformationsprozesse*. Springer.

Arnold, A. & Piontek, F. M. (2018). Zentrale Begriffe im Kontext der Reallaborforschung. In *Transdisziplinär und transformativ forschen*. Wiesbaden: Springer VS.

Blind, K. & Quitzow, R. (2017). Nachhaltige Innovationen. In Gordon, G. & Nelke, A., *CSR und Nachhaltige Innovation: Management-Reihe Corporate Social Responsibility*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Bobeth, S. & Matthies, E. (2017). New opportunities for electric car adoption: the case of range myths, new forms of subsidies, and social norms. In *Energy Efficiency*. The Netherlands: Springer.

Fettke, U. (2017). Governance und Innovativität von Wärmeliefer-Contracting. In Fuchs, G., *Energieinnovationen in Deutschland. Lokale Impulse und Transformationsprozesse*. Springer.

Finger, M., Bert, N., Razaghi, M., Kupfer, D. & Bouchard, K. (2017). Regulatory Challenges

for Smart Cities. In *Network Industries Quarterly*, European University Institute.

Fraune, C. (2017). Bürgerbeteiligung in der Energietransformation – auch für Bürgerinnen? In Holstenkamp, L. & Radtke, J. (Hrsg.), *Energietransformation und Partizipation – Transformationen von Gesellschaft und Technik*. Wiesbaden: Springer VS.

Fraune, C., Knodt, M. (2019). Politische Partizipation in der Mehrebenengovernance der Energiewende als institutionelles Teilnehmungsparadox. In Fraune, C., Knodt, M., Gözl, S. & Langer, K. (Hrsg.), *Akzeptanz und politische Partizipation in der Energietransformation*. Wiesbaden: Springer VS, 159-182.

Fraune, C., Knodt, M., Gözl, S. & Langer K. (Hrsg.) (2019). Akzeptanz und politische Partizipation in der Energietransformation. Wiesbaden: Springer VS.

Fraune, C., Knodt, M., Gözl, S. & Langer, K. (Hrsg.) (2019). Einleitung: Akzeptanz und politische Partizipation – Herausforderungen und Chancen für die Energiewende. In Fraune, C., Knodt, M., Gözl, S. & Langer, K. (Hrsg.), *Akzeptanz und politische Partizipation in der Energietransformation*. Wiesbaden: Springer VS, 1-26.

Frondele, M., Kussel, G., Sommer, S. (2019). Heterogeneity in the Price Response of Residential Electricity Demand. *A Dynamic Approach for Germany*. *Resource and Energy Economics*, 57, 119-134.

Frondele, M., Sommer, S., Vance, C. (2019). Heterogeneity in Residential Electricity Consumption: A Quantile Regression. *Energy Policy* forthcoming.

Fuchs, G. & Fettke, U. (2017). Incumbent-Challenger-Interaktionen und die Veränderungen im Markt für Stromerzeugung in Deutschland. In Giacobelli, S., *Die Energiewende aus wirtschaftssoziologischer Sicht – Theoretische Konzepte und empirische Zugänge*. Wiesbaden: Springer VS, 15-43.

Gawel, E., Geibler, H. & Lehmann, P. (2017). Beeinträchtigt die Förderung erneuerbarer Energien die Erschwinglichkeit der Stromversorgung? Eine empirische Untersuchung für Deutschland. In

Großmann, K., Schaffrin, A., *Energie und soziale Ungleichheit: Zur gesellschaftlichen Dimension der Energiewende in Deutschland und Europa*. Berlin u.a.O.: Springer, 319-346.

Gawel, E., Lehmann, P. & Strunz, S. (2017). Support policies for renewables. Instrument choice and instrument change from a Public Choice perspective. In Arent, D., Arndt, C., Miller, M., Tarp, F. & Zinaman, O., *The Political Economy of Clean Energy Transitions*. Oxford: Oxford University Press, 80-99.

Gawel, E., Strunz, S. (2019). Energy Policies in the EU – A Fiscal Federalism Perspective. In Knodt, M. & Kemmerzell, J., *Handbook of Energy Governance in Europe*, Springer.

Gözl, S., Langer, K., Fraune, C. & Knodt, M. (2019). Fazit: Akzeptanz und politische Partizipation in der Energietransformation: Gesellschaftliche Herausforderungen und Chancen aus inter- und transdisziplinärer Perspektive. In Fraune, C., Knodt, M., Gözl, S. & Langer, K. (Hrsg.), *Akzeptanz und politische Partizipation in der Energietransformation*. Wiesbaden: Springer VS, 463-477.

Henn, L. & Kaiser, F.G. (2018). Sustainable societies: Committed people in supportive conditions. In Gausset, Q., Hoff, J. V. & Lex, S. W., *Community driven sustainable futures*.

Jakobs, E. (2019). Technikakzeptanz und -kommunikation – Ein vielschichtiges Konstrukt. In Fraune, C., Knodt, M., Gözl, S. & Langer, K. (Hrsg.), *Akzeptanz und politische Partizipation in der Energietransformation*. Wiesbaden: Springer VS.

Knodt, M. (2017). Energy Policy. *Handbook of European Policies: Interpretive Approaches to the EU*. In Heinel, H. & Münch, S., Palgrave.

Knodt, M. (2019). Multilevel Coordination in EU Energy Policy: A New Type of “Harder” Soft Governance? In Behnke, N., Broschek, J. & Sonnicksen, J., *Configurations, Dynamics and Mechanisms of Multilevel Governance*, 173-191.

Knodt, M. & Kemmerzell, J. (Hrsg.) (2019). *Handbook of Energy Governance*

in Europe. Springer.

Knodt, M. & Ringel, M. (2018). The European Commission as a Policy Shaper – Harder Soft Governance in the Energy Union. In Bauer, M., Ege, J. & Becker, St., *The European Commission in Turbulent Times*, Nomos, 181-204.

Knodt, M. & Ringel, M. (2018). Creating convergence of national energy policies by increased cooperation: The EU energy governance and its impact on the German energy transition. In Gawel, E., Strunz, S., Lehmann, P. & Purkus, A., *From a German to a European Energy Transition? Opportunities and Conflicts*, Springer.

Lennert, F. & Schönduwe, R. (2017). Disrupting Mobility: Decarbonising Transport? In Meyer, G., & Shaheen, S., *Disrupting Mobility – Impacts of Sharing Economy and Innovative Transportation on Cities*, Springer.

Nabitz, L., Scheer, D., Arnold, A. & Schmidt, M. (2019). Policy Packages für eine Mobilitätswende im urbanen Personenverkehr. In Lindner, R., Decker, M., Ehrensperger, E., Heyen, N., Lingner, S., Scherz, C. & Sotoudeh, M., *Gesellschaftliche Transformationen: Gegenstand oder Aufgabe der Technikfolgenabschätzung?* Nomos.

Neukirch, M. (2017). Zur Dialektik von Technikbewertungen durch Staat und Gesellschaft – Drei Beispiele aktiver Partizipation durch soziale Bewegungen im Energiesektor. In *Das Bild des Ingenieurs im 21. Jahrhunderts: Technikfolgenabschätzung und Nachhaltige Entwicklung*. Nationale Polytechnische Forschungsuniversität Verlag.

Neukirch, M. (2019). Transition of Energy Systems: Patterns of Stability and Change. In Knodt, M. & Kemmerzell, J., *Handbook of Energy Governance in Europe*, Springer.

Otto, S. & Wittenberg, I. (2018). Die Praxis der Energiewende, ihre zwei Determinanten aus psychologischer Sicht und wie man Rebound vermeiden kann. In Bamberg, E. & Schmitt, C., *Psychologie und Nachhaltigkeit*. Wiesbaden: Springer, 191-201.

Reisch, L. A. & Thøgersen, J. B. (2017). Behaviourally informed consumer policy: Research and policy for “humans”. In Keller, M., Halkier, B., Wilska, T-A. & Monica

Truninger, M., *Routledge Handbook on Consumption*. London: Routledge, 246-308.

Reisch, L. A. & Sunstein, C. R. (2017). Verhaltensbasierte Regulierung (Nudging). In Kenning, P., Oehler, A., Reisch, L. A. & Grugel, C., *Verbraucherwissenschaften: Rahmenbedingungen, Forschungsfelder und Institutionen*. Berlin: Springer, 341-365.

Rösch, C., Bräutigam, K.-R., Kopfmüller, J. & Stelzer, V. (2017). Indikatorensystem zur Bewertung des deutschen Energiesystems und der Energiewende. In Schippl, J., Grunwald, A. & Renn, O., *Die Energiewende verstehen – orientieren – gestalten. Erkenntnisse aus der Helmholtz-Allianz ENERGY-TRANS*. Baden-Baden: Nomos, 351-370.

Rösch, C., Bräutigam, K.-R., Kopfmüller, J., Stelzer, V., Lichtner, P., Fricke, A. (2018). Indicator-based sustainability assessment of the German energy system and its transition. In *KIT Scientific Publishing*, Karlsruhe.

Scheer, D. (2017). Between knowledge and action: conceptualizing scientific simulation and policy-making. In Resch, M., Gehring, P., Kaminski, A., *Science and Art of computer Simulations – Volume 1*. Wiesbaden: Springer, 103-118.

Schoenefeld, J., Rayner, T. (2019). Monitoring Energy Policy. In Knodt, M. & Kemmerzell, J., *Handbook of Energy Governance in Europe*, Springer, 1-24.

Selk, V., Kemmerzell, J. & Radtke, J. (2019). In der Demokratiefalle? Probleme der Energiewende zwischen Expertokratie, partizipativer Governance und populistischer Reaktion. In Radtke, J., Canzler, W., Schreurs, M. & Wurster, S., *Energiewende in Zeiten des Populismus*, Springer.

Steierwald, M. & Weimer-Jehle, W. (2018). Aspekte der Qualität - Spezielle Szenarien und Bewertungsverfahren zur Entscheidung über die Realisierung von Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energien. In Kühne O. & Weber F., *Bausteine der Energiewende*. Wiesbaden: Springer VS, 447-468.

Stelzer, V., Knapp, M., Meyer, R. & Pehle, A. (2017). Integrative sustainability

assessment to evaluate OUI biomass scenarios over Upper Rhein Region. In Schumacher, K., Fichtner, W. & Schultmann, F., Innovations for Sustainable Biomass Utilisation in the Upper Rhine Region. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 218-226.

Stern, P.C., Wittenberg, I., Wolske, K.S. & Kastner, I. (2018). Household Production of Photovoltaic Energy: Issues in Economic Behavior. In Lewis, A., The Cambridge Handbook of Psychology and Economic Behaviour. Cambridge: Cambridge University Press.

Sunstein, C. R. & Reisch, L. A. (2017). The economics of nudge: Critical concepts in economics. London: Routledge.

Vögele, S., Matthies, E., Kastner, I., Buchgeister, J., Kleemann, H.M., Ohlhorst, D. & Nast, M. (2017). Reduktion des gebäuderelevanten Energiebedarfs als Herausforderung für die Energiewende. Sechs Thesen zu unterschätzten Barrieren und Potenzialen. In Schippl, J., Grunwald, A., Renn, O., Die Energiewende verstehen – orientieren – gestalten. Erkenntnisse aus der Helmholtz-Allianz ENERGY-TRANS. Baden-Baden: Nomos.

Weimer-Jehle, W., Prehofer, S., Vögele, S., Buchgeister, J., Hauser, W., Kopfmüller, J., Naegler, T., Poganietz, W.-R., Pregger, T., Rösch, C. & Scholz, Y. (2017). Kontextszenarien – Ein Konzept zur Behandlung von Kontextunsicherheit und Kontextkomplexität bei der Entwicklung von Energieszenarien und seine Anwendung in der Helmholtz-Allianz ENERGY-TRANS. In Schippl, J., Grunwald, A., Renn, O., Die Energiewende verstehen – orientieren – gestalten. Erkenntnisse aus der Helmholtz-Allianz ENERGY-TRANS. Baden-Baden: Nomos.

Weitere Veröffentlichungen

Albert, D., Schäfer-Stradowsky, S., Doderer, H. (2018). Ein Rechtsrahmen für den Wärmesektor. IKEM – Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Albert, D., Schäfer-Stradowsky, S., Lerm V., (2018). Regionale Grünstromvermarktung. IKEM – Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Antoni, J., Selinger, J., Held, D. (2019). Bereitstellung von Flexibilität in der Niederspannung – Status quo, Wechselwirkungen und Ausblick. IKEM - Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Arnold, A., Bangert, A., Dreyer, M., Nabitz, L., Scheer, D., Schmidt, M. (2019). Die Transformation des Verkehrssystems mit Fokus auf Policy Packages. Forschungsbericht, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Becker, T. & Beckers, T. (2018). Intermodale Finanzierung von Verkehrsinfrastrukturen – Eine institutionenökonomische Analyse des Schweizer Modells für die Eisenbahninfrastrukturen. TU Berlin, WIP, Working Paper.

Beckers, T., Gizzi, F. & Kreft, T. (2018). Identifikation effizienter Modelle für die Bereitstellung der Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität im öffentlichen Bereich in Deutschland unter Rückgriff auf institutionenökonomische Erkenntnis. TU Berlin, WIP, Working Paper.

Beckers, T. & Hoffrichter, A. (2018). Cross-border coordination as a prerequisite for efficient sector coupling in interconnected power systems – Institutional economic considerations on allocating decision-making competencies in the European Union. TU Berlin, WIP, Working Paper.

Bergmann, M. & Marg, O. (2018). Erkenntnisse und Empfehlungen zum transdisziplinären Prozess in ENavi. ISOE.

Bieschke, N., Vorwerk, L. & Beckers, T. (2018). Kapazitätsauslegung und -allokation bei Stromverteilnetzen unter Berücksichtigung neuer Lasten aus dem Verkehrs- und Wärmesektor. TU Berlin, WIP, Working Paper.

Dreyer, M., Bergmann, M., Dratsdrummer, F., Klöpper, C., Marg, O., Ober, S., Sellke, P., Tuttlies, I. & Ulmer, F. (2018a). Weiterführender Forschungsbedarf. Impulse für ENavi aus Politik, Wirtschaft und organisierter Zivilgesellschaft, Stuttgart, DIALOGIK.

Dreyer, M., Dratsdrummer, F., Ober, S.,

Sellke, P. & Ulmer, F. (2018b). ENavi-Schwerpunktthemen: Offene Fragen im Austausch zwischen Praxis und Wissenschaft, Veranstaltungsbericht KT/01-2018, Stuttgart, DIALOGIK.

Dreyer, M., Dratsdrummer, F., Ober, S., Sellke, P. & Ulmer, F. (2019a). Der Kohleausstieg und die Folgen – Was sind Ansatzpunkte für die Politik?, Veranstaltungsbericht (KT/01-2019) zur diskursiven Bewertung von Szenarien des Kohleausstiegs mit Praxisakteuren einschließlich Mitgliedern der Kompetenzteams, Stuttgart, DIALOGIK.

Dreyer, M., Dratsdrummer, F., Ober, S., Sellke, P. & Ulmer, F. (2019b). Herausforderung Maßnahmengestaltung: Wie verleihen wir der Verkehrswende die erforderliche Dynamik?, Veranstaltungsbericht (KT/02-2019) zum Praxis-Wissenschaft-Dialog zur Verkehrswende mit Praxisakteuren einschließlich Mitgliedern der Kompetenzteams, Stuttgart, DIALOGIK.

Dreyer, M., Dratsdrummer, F., Ober, S., Sellke, P. & Ulmer, F. (2019c). Transdisziplinäre Forschung. Ein Schlüssel für die Energiewende? Veranstaltungsbericht (KT/03-2019).

Fahl, U., Gaschnig, H., Hofer, C., Hufendiek, K., Maier, B., Pahle, M., Pietzcker, R., Quitzow, R., Rauner, S., Sehn, V., Thier, P. & Wiesmeth, M. (2019). Das Kopernikus-Projekt ENavi. Die Transformation des Stromsystems mit Fokus Kohleausstieg. Endbericht, Stuttgart, Potsdam : Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung.

Gartner, M., Kochems, J., Seim, St. & Müller-Kirchenbauer, J. (2019): Ein einzelwirtschaftliches Bewertungsmodell für Nachfrageflexibilisierung im Stromsektor, Berlin.

Giehl, J., Göcke, H., Grosse, B., Kochems, J., Mikulicz-Radecki, F. von & Müller-Kirchenbauer, J. (2019): Data Documentation: Vollaufnahme und Klassifikation von Geschäftsmodellen der Energiewende, Berlin (Data Documentation Energie und Ressourcen).

Giehl, J., Göcke, H., Grosse, B., Kochems,

J. & Müller-Kirchenbauer, J. (2019a): Survey and Classification of Business Models of the Energy Transformation, Conference Paper, Enerday 2019, Dresden, 12.04.2019, TU Dresden.

Giehl, J., Göcke, H., Grosse, B., Kochems, J. & Müller-Kirchenbauer, J. (2019b): Vollaufnahme und Klassifikation von Geschäftsmodellen der Energiewende, TU Berlin E&R, Berlin.

Klinge, A., Novikova, A., Juergens, I. & Stamo, I. (2018). Erkenntnisse aus der Politikmaßnahmenlandschaft im Gebäudesektor in den Modelregionen: Berlin, Mecklenburg-Vorpommern und Baden-Württemberg. Studie, IKEM – Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Knoll, F., Held, D. (2019). Rechtsrahmen der Digitalisierung. IKEM – Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Kochems, J., Hermann, L. & Müller-Kirchenbauer, J. (2018): Auswirkungen und Rückwirkungen von Klimaschutz und Energiewende auf die Gasversorgung einschließlich erneuerbarer Gase in Deutschland, TU Berlin E&R, Studie im Rahmen des Forschungsprojekts Kopernikus ENavi, Berlin.

Kroll-Fiedler, M., Kochems, J., Grosse, B. & Müller-Kirchenbauer, J. (2019): Szenarien für die deutsche Wärmewende im Vergleich, TU Berlin E&R, Berlin.

Milanzi, S., Spiller, C., Grosse, B., Hermann, L., Kochems, J. & Müller-Kirchenbauer, J. (2018): Technischer Stand und Flexibilität des Power-to-Gas-Verfahrens, TU Berlin E&R, Berlin.

Ober, S., Köppen, E., Ebinger, K., Harrison, J. & Püschel, D. (2018). Impulse aus dem Stakeholderdialog „Transformation des Stromsystems“, Berlin, NABU.

Quitzow, R., Bangert, A., Düber, D., Fraune, C., Fricke, A., Gaschnig, H., Göbbling-Reisemann, S., Kaltenegger, O., Kemmerzell, J., Kopfmüller, J., Löschel, A., Meyer, T., Ollier, L., Renn, O., Schlacke, S., Schnittker, D., Stelzer, V., Thier, P. & Zeccola, M. (2018). Multikriterieller Bewertungsansatz für eine nachhaltige Energiewende: Von der Analyse

zur Entscheidungsfindung mit ENavi, Potsdam, Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS), Potsdam.

Quitzow, R., Gaschnig, H., Camier, C., Berger, M., Renn, O., Bangert, A., Kopfmüller, J., Kaltenegger, O., Meyer, T., Schnittker, D., Stelzer, V. & Thier, P. (2019). Multikriterieller Bewertungsansatz für eine nachhaltige Energiewende. Von der Analyse zur Entscheidungsfindung mit ENavi. Broschüre, Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS), Potsdam.

Schmidt, M., Bickel, P., Buchmann, T., Fidaschek, S., Püttner, A., O’Sullivan, M., Wolf, P. & Zabel, C. (2018). Vom Innovationsumfeld zur Diffusion von Technologien. Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW).

Schmidt, M., Bickel, P., Bischler, R., Buchmann, T., Fidaschek, S., Püttner, A. & Wolf, P. (2018). Technologiesteckbriefe zur Analyse der Gestaltungsoptionen des zukünftigen Energie- und Mobilitätssystems. Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW).

Rodi, M. & Antoni, J. (2018). ENavi: Transformation des Stromsystems: Kohleausstieg – Möglichkeiten einer flankierenden CO₂-Bepreisung durch öffentlich-rechtliche Abgaben. IKEM – Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Selinger, J., Held, D., Schäfer-Stradowsky, S., Kagerer, A., Hochmuth, S., Noël, Schwittau, A. (2019). Holzhack-schnitzelvergasung – eine juristische Betrachtung. Berlin: Stadtwerke Rosenheim, BBH, IKEM – Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Setton, D., Matuschke, I. & Renn, O. (2017). Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energiewende 2017: Kernaussagen und Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse. Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS), Potsdam.

Stamo, I. & Novikova, A. (2018). Energieeffizienz im Gebäudesektor in Berlin:

Interaktion von verschiedenen Schlüsselakteuren. IKEM – Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V.

Staiß, F., Schmidt, M., Hufendiek, K. & Schick, C. (2019). Kopernikus-Projekt ENavi – Navigationssystem für eine nachhaltige Energiewende. ETG-Ta-gungsband, Internationaler ETG-Kongress 08.09.05.2019, 177-183.

Tuttlies, I. & Klöpper, C. (2018). Forschungsfragen der ENavi-Betriebsräte-plattform. INEP Institut Oldenburg.

Ulmer, F., Dreyer, M., Dratsdrummer, F., Ober, S., Paulick-Thiel, C. & Sellke, P. (2018). Energiewende: Gemeinsame Forschungsbedarfe, neues politische Rahmenbedingungen, Bewertung der Maßnahmenbündel – Austausch und Vernetzung zwischen ENavi-Kompetenzteams und ENavi-Wissenschaftler*innen, Veranstaltungsbericht KT/02-2017, Stuttgart, DIALOGIK.

Wietschel, M., Plötz, P., Pfluger, B., Klobasa, M., Eber, A., Haendel, M., Müller-Kirchenbauer, J., Kochems, J., Hermann, L., Grosse, B., Nacken, L., Küster, M., Pacem, J., Naumann, D., Kost, C., Kohrs, R., Fahl, U., Schäfer-Stradowsky, S., Timmermann, D. & Albert, D. (2018). Sektorkopplung – Definition, Chancen und Herausforderungen. Fraunhofer ISI, TU Berlin (E&R), Universität Kassel, VSE AG, Fraunhofer ISE, (IER), Universität Stuttgart, IKEM. Working Paper.

Winter, M. (2018). Effiziente Kopplung der Sektoren Energie und Verkehr – Stand der Forschung. TU Berlin, WIP, Working Paper.

Xue, B. (2018). China Country Report. Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS), Potsdam.

Zivilgesellschaftliche Plattform Forschungswende (2018). ENavi Schwerpunktthema „Wärme“: Ergebnisse des Stakeholderdialogs, Dokumentation vom 14.12.2018, Berlin, Zivilgesellschaftliche Plattform Forschungswende.

Autorinnen und Autoren

- › Dr. Marion Dreyer, DIALOGIK gemeinnützige Gesellschaft für Kommunikations- und Kooperationsforschung mbH: dreyer@dialogik-expert.de
- › Prof. Dr. Ottmar Edenhofer, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: ottmar.edenhofer@pik-potsdam.de
- › Prof. Dr.-Ing. Manfred Fischedick, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: manfred.fischedick@wupperinst.org
- › Dipl. Umweltwiss. Hannes Gaschnig, Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung Potsdam, IASS: hannes.gaschnig@iass-potsdam.de
- › Prof. Dr. Armin Grunwald, Institut für Technikfolgenabschätzung / Karlsruher Institut für Technologie: armin.grunwald@kit.edu
- › Prof. Dr. Hans-Martin Henning, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE: hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de
- › Prof. Dr. Clemens Hoffmann, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE: clemens.hoffmann@iee.fraunhofer.de
- › Prof. Dr. Kai Hufendiek, Stuttgart Research Initiative on Integrated Systems Analysis for Energy / Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung: kai.hufendiek@ier.uni-stuttgart.de
- › Prof. Dr. Carlo Jaeger, GCF – Global Climate Forum e. V.: carlo.jaeger@globalclimateforum.org
- › Prof. Dr. Michèle Knodt, Technische Universität Darmstadt: knodt@pg.tu-darmstadt.de
- › Dr. Christoph Kost, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE: christoph.kost@ise.fraunhofer.de
- › Dr. Gunnar Luderer, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: gunnar.luderer@pik-potsdam.de
- › Dr. Birgit Mack, Stuttgart Research Initiative on Integrated Systems Analysis for Energy / Zentrum für interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung: birgit.mack@zirius.uni-stuttgart.de
- › Prof. Dr. Ellen Matthies, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg: ellen.matthies@ovgu.de
- › Dr. Steffi Ober, Zivilgesellschaftliche Plattform Forschungswende: steffi.ober@forschungswende.de
- › Dr. Michael Pahle, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: michael.pahle@pik-potsdam.de
- › Prof. Dr. Ortwin Renn, Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung Potsdam, IASS: ortwin.renn@iass-potsdam.de
- › Prof. Dr. Michael Rodi, IKEM – Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e. V.: michael.rodi@ikem.de
- › Dr. Dirk Scheer, Institut für Technikfolgenabschätzung / Karlsruher Institut für Technologie: dirk.scheer@kit.edu
- › Prof. Dr. Frithjof Staiß, Stuttgart Research Initiative on Integrated Systems Analysis for Energy / Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg: frithjof.staiss@zsw-bw.de
- › Dr. Stefan Stückrad, Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung Potsdam, IASS: stefan.stueckrad@iass-potsdam.de
- › Dr. Heiko Thomas, Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung Potsdam, IASS: heiko.thomas@iass-potsdam.de

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen FKZ 03SFK4A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Herausgeber

Geschäftsstelle des Kopernikus-Projekts
Energiewende-Navigationssystem | ENavi
Institute for Advanced Sustainability
Studies e. V. (IASS)
Berliner Straße 130
14467 Potsdam
Tel: +49 (0) 331 - 2 88 22 - 300
Fax: +49 (0) 331 - 2 88 22 - 310
www.iass-potsdam.de
E-Mail: enavi-media@iass-potsdam.de
www.kopernikus-projekte.de/enavi

Verantwortliche Redakteure

Prof. Dr. Ortwin Renn:
ortwin.renn@iass-potsdam.de
Dr. Stefan Stückrad:
stefan.stueckrad@iass-potsdam.de
Christina Camier:
christina.camier@iass-potsdam.de

Layout

Christina Camier, IASS
Maren Berger, IASS

Bildnachweis

Titel: © IASS, Foto: C. Camier; S. 2: © IASS,
Foto: L. Ostermann; S. 5, 26: © IASS, Foto:
M. Berger; S. 7, 8, 11, 13, 14, 17, 18, 21, 28,
31: © IASS, Foto: P. Chiussi; S. 23, 24: © IASS,
Foto: C. Camier

Stand: Dezember 2019