Kopernikus-Projekt
Energiewende-Navigationssystem | ENavi
Statusbericht 2018

ENERGIEWENDE BRAUCHT DEN DIALOG MIT DER GESELLSCHAFT

KOPERNIKUS PROJEKTE
ENavi
Die Zukunft unserer Energie

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

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*
- *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: 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*

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

Bildnachweis

Titel: Getty Images; S. 4, 12, 23: iStock; S. 14, 17, 20: ©IASS; Foto: R. Schulten; Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität des BMUB;
S. 7, 8, 27: ©IASS; Foto: P. Chiussi

Layout

MÜLLER MÖLLER BRUSS Werbeagentur GmbH
Wilhelmine-Gemberg-Weg 6
10179 Berlin
www.mmb.berlin

Druck

Königsdruck Printmedien und digitale Dienste GmbH
Alt-Reinickendorf 28
13407 Berlin

Stand: Dezember 2018

INHALT

Seite 5 **1. ENavi: Navigieren für eine gelingende Energiewende**

Seite 7 **2. Das will ENavi erreichen: Evidenzbasierte und praktikable Handlungsempfehlungen**

Seite 13 **3. Die Stromwende: Testlauf für das Navigationssystem**

Seite 18 **4. Die Wärmewende: Sektorkopplung, Effizienz und Digitalisierung**

Seite 22 **5. Die Verkehrswende: Der inter- und transdisziplinäre Ansatz**

Seite 26 **6. Sichtbare Beiträge von ENavi zur Energiewende**

Die vier Kopernikus-Projekte zur Erforschung der Energiewende werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und sind Ende 2016 angelaufen. Im Mittelpunkt des hier beschriebenen Kopernikus-Projekts **ENavi** steht die Roadsmap für eine systemisch verknüpfte Navigation in Richtung Energiewende. Dieser Statusbericht beschreibt die wesentlichen Ergebnisse. Vor allem die aus vielen Mosaiksteinen der 13 Arbeitspakete zusammengesetzten Collagen zu den drei Schwerpunktthemen liefern Einblicke in nachhaltige Strukturen und Anforderungen für Stromsystem, Wärmeversorgung und Mobilität.

1. ENAVI: NAVIGIEREN FÜR EINE GELINGENDE ENERGIEWENDE

Eine erfolgreiche Energiewende braucht die Gesellschaft

Die Transformation des gegenwärtig von fossilen Energieträgern bestimmten Energiesystems in ein weitgehend CO_2-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.

Nach wie vor befürworten fast 90 Prozent der deutschen Bevölkerung die Energiewende, so die Untersuchung zur sozialen Nachhaltigkeit der Energiewende unter Mitwirkung von ENavi, aber mehr als die Hälfte der Befragten hält ihre Umsetzung für teuer und ungerecht. Viele haben das Vertrauen in die Energiepolitik verloren.

Betroffen sind BürgerInnen im gleichen Maße wie VertreterInnen aus Wirtschaft, Wissenschaft, Zivilgesellschaft und Politik. Allen fehlt eine verlässliche Orientierung. Wer trägt die Kosten des Umbaus zu einer Energieversorgung unter weitgehendem Verzicht auf fossile Brennstoffe? Welche Umweltkosten entstehen, wenn die Energiewende nicht zeitgerecht umgesetzt wird? Vor allem aber: Wie können in komplexen Politikfeldern Eingriffe (Interventionen) auf ihre Wirkungen und Nebenwirkungen überprüft werden? Welche Folgen sind zu erwarten, wenn beispielsweise der Staat einen Ausstieg aus der Kohlenutzung zu einem bestimmten Zeitpunkt vorschreibt? Über alle Stakeholder-Gruppen hinweg herrscht Unsicherheit.

Auf dem Weg der Energiewende bieten wir Orientierung dort, wo die Komplexität besonders groß ist.

Prof. Dr. Ortwin Renn, Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung (IASS), Sprecher des Kopernikus-Projekts ENavi

- **59 Verbundpartner** (24 Forschungseinrichtungen, 18 Universitätsinstitute, drei Nichtregierungsorganisationen, neun Wirtschaftsunternehmen, drei Stadtwerke, zwei Gebietskörperschaften) arbeiten in **13 fachlichen Arbeitspaketen**
- Dazu bringen **26 Kompetenzpartner** Praxiserfahrungen zu Infrastruktur, Wärme und Mobilität ein

Das Kopernikus-Projekt „Energiewende-Navigationssystem | ENavi" bringt unterschiedliche Fachexpertisen mithilfe eines dezidiert systemischen Ansatzes zusammen. Die Schlüsselwörter dafür sind **Integration und Vernetzung:** Angestrebt ist eine inter- und transdisziplinäre, sektorübergreifende und politikintegrierende Vorgehensweise. Die Arbeitspakete (AP) fügen ihre Forschungsergebnisse als einzelne Elemente in ein gemeinsames Mosaik eines in sich konsistenten und wissensbasierten Entwicklungsstranges in Richtung nachhaltige Energiewende ein. Je nach Themenstellung setzt sich das jeweilige Mosaik flexibel aus vielen interagierenden Bausteinen zusammen, zum Beispiel aus Szenarien, Technologiesteckbriefen und Handlungszusammenhängen (sogenannten „Narrativen").

Die Energiewende wurde lange nach einem linearen Muster betrachtet und konsekutiv umgesetzt. Erst wurden Energiesysteme techno-ökonomisch simuliert, anschließend ökologische Aspekte einbezogen und zum Schluss die gesellschaftliche Akzeptanz unter die Lupe genommen. Diese Vorgehensweise verfehlte ihr Ziel. Das wird zum Beispiel an den mangelnden Investitionen in die energetische Sanierung von Gebäuden oder an der schleppenden Nachfrage nach Elektroautos deutlich. Eine tiefgreifende, durch Innovationen getriebene Transformation kann nicht ohne Akzeptanz und eine frühzeitige Unterstützung der BürgerInnen erfolgen.

2. DAS WILL ENAVI ERREICHEN: EVIDENZBASIERTE UND PRAKTIKABLE HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Navigation als inter- und transdisziplinärer Prozess

Um die Energiewende und die Klimaziele 2050 der Bundesregierung zu erreichen, muss das Energiesystem in seiner Gesamtheit verstanden werden. Dazu gehört auch die systemische Analyse der damit verbundenen technischen, ökonomischen, ökologischen, juristischen und sozialen Herausforderungen. Das Energiewende-Navigationssystem | ENavi informiert wirtschaftliche und politische EntscheidungsträgerInnen über konkrete Handlungsoptionen, die gleichermaßen wissenschaftlich evidenzbasiert und praxiserprobt sind.

Der damit verbundene inter- und transdisziplinäre Ansatz wird mit dem Bild der Navigation zum Ausdruck gebracht. Das Navigationssystem soll Politik und Wirtschaft bei anstehenden Entscheidungen zur Ausgestaltung der Energiewende helfen, indem es für verschiedene Optionen (Transformationspfade) die jeweiligen Folgen, Pfadabhängigkeiten und Zielkonflikte aufzeigt. Je nach politscher Programmatik oder Zukunftsvision können EntscheidungsträgerInnen dann selbst bestimmen, welche dieser Pfade besonders angemessen, politisch opportun oder praktikabel sind.

Da verschiedene Optionen offeriert werden, gibt ENavi nicht nur eine Roadmap, sondern eine Roadsmap vor: Die Roadsmap zeigt viele Wege zur Energiewende auf, aber nicht alle führen ohne größere Belastungen oder Nebenfolgen zum Ziel. Eine zentrale Aufgabe von ENavi ist es, Vorschläge zur Minderung von negativen Auswirkungen sowie flanki - rende Maßnahmen für nicht zu vermeidende Nebenwirkungen zu entwickeln und gleichzeitig Chancen bei positiven Nebenwirkungen zu identifizieren. or allem gilt es, die Auswirkungen von politischen und wirtschaftlichen Interventionen in das Energiesystem in all ihren Facetten und Zielkonflikten (trade-offs) abzubilden. Dazu werden Simulationen, Szenarien und Modelle, aber auch Expertenbefragungen (Gruppen-Delphi) und interaktive Stakeholder-Dialoge eingesetzt sowie praktische Erfahrungen (Reallabore, Modellregionen) systematisch gesammelt, um ein möglichst vollständiges Bild zu erhalten.

Ausgangspunkt der systemischen Analyse ist die Identifizierung gesam - gesellschaftlich relevanter Fragestellungen im Umfeld der Energieversorgung mit den zentralen Sektoren: Strom, Wärme, Verkehr. Das breit aufgestellte Forscherteam bearbeitet die Aufgaben interdisziplinär über die Ingenieur-, Natur-, Wirtschafts-, Rechts-, Sozial- und Verhaltenswissenschaften, Ökologie und Systemanalyse hinweg.

Wesentliches Kennzeichen von ENavi ist das Zusammenwirken von **Systemwissen** (was bewirkt was?), **Orientierungswissen** (wo soll es hingehen?) und **Transformationswissen** (wie kommt man am besten dahin?). Dies geschieht in den 13 Arbeitspaketen (vergleiche Seite 9) und darüber hinaus in sechs Arbeitsgruppen (AGs: Akzeptanz, Modellierung und Szenarien, Recht, Technik, transdisziplinärer Diskurs, DoktorandInnen), die quer zu den Arbeitspaketen liegen und Anknüpfungspunkte beziehungsweise Möglichkeiten zum Austausch mit den anderen Kopernikus-Projekten bereitstellen.

Seite 9: Die 13 fachlichen ENavi-Arbeitspakete

Roadsmap & 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 Sellk	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 Fischedick	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.

So weit die wissenschaftliche Analyse mit ihrem inter- und transdisziplinären Anspruch. Doch das reicht noch nicht aus, um die Ergebnisse in politik- und handlungsrelevante Orientierungen zu überführen. Über einen institutionalisierten Dialog mit gesellschaftlichen AkteurInnen wie Unternehmen, Verbänden und Nichtregierungsorganisationen übersetzt ENavi die interdisziplinären Forschungsergebnisse in konkrete Maßnahmenbündel, bewertet diese anhand zentraler Kriterien wie Effektivität, Effizienz, Akzeptabilität sowie Fairness und erprobt sie zum Teil in Modellregionen und Reallaboren. Die gemeinsame Erstellung und Reflexion dieser Maßnahmenbündel im Zusammenspiel von Wissenschaft und Praxis stellen die wesentlichen Merkmale des vom Projekt verfolgten transdisziplinären Ansatzes dar. Abb. 1 zeigt das Zusammenspiel der Arbeitspakete zur Erstellung, Bewertung und Erprobung von Maßnahmenbündeln und von (gekoppelten) Szenarien (Roads für die Roadsmap(s)) zur Erreichung der angestrebten Ziele auf.

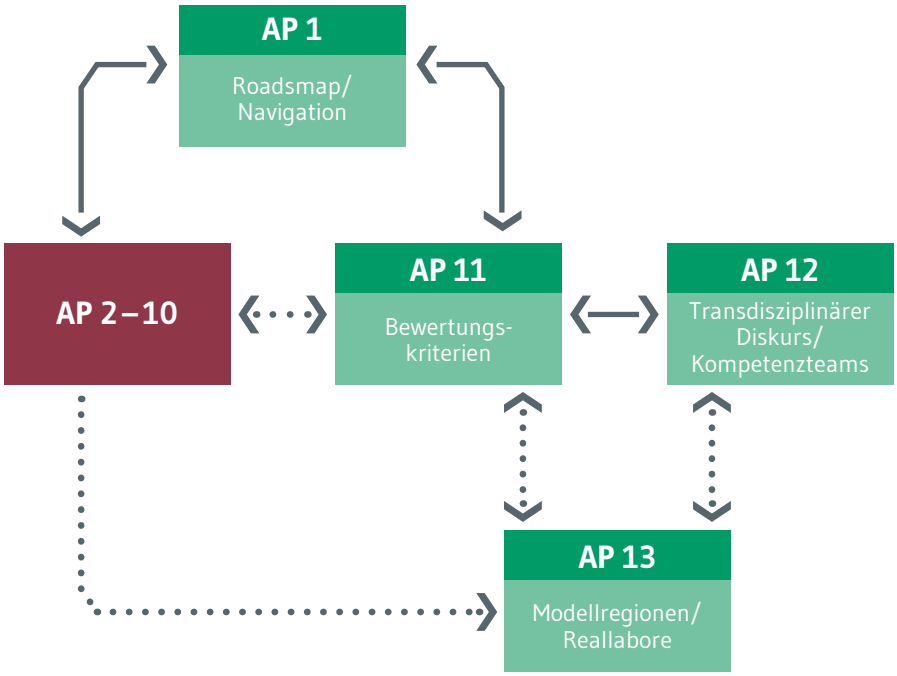


Abb. 1: ENavi-Zusammenspiel zur Erstellung einer Roadsmap

In einem *ersten Schritt* erstellen und sammeln die Forschungsteams in den Arbeitspaketen (AP) 2–10 handlungsrelevante Forschungsergebnisse und entwickeln daraus Vorschläge für Transformationspfade und mögliche Politikinterventionen (Maßnahmenbündel), die geeignet sind, die mit der Energiewende verbundenen Zielsetzungen zu erreichen. Weitere Expertise dazu kommt aus den Kompetenzteams (PraktikerInnen, Betriebsräte) und den Reallaboren.

In einem *zweiten Schritt* werden mithilfe einer Interdependenzanalyse Nebenwirkungen, Synergien und Unverträglichkeiten für jedes Maßnahmenbündel identifiziert und so weit wie möglich quantifiziert (AP 1). Dadurch entstehen für Maßnahmenoptionen Auswirkungsprofile auf all den Auswirkungsfeldern, die für die folgende Bewertung der Maßnahmen notwendig sind. Parallel dazu werden Szenarien erstellt (Roads für die Roadsmap), in denen die Maßnahmenbündel als Treiber der jeweils erwünschten Zielsetzung eingebaut sind.

Im *dritten Schritt* steht die Bewertung der Maßnahmenbündel und später auch der Roadsmaps auf dem Programm. Die ForscherInnen nehmen eine umfassende Bewertung der Maßnahmenbündel und Roadsmaps einschließlich ihrer voraussichtlichen Nebenwirkungen vor. Auch identifizieren sie auftretende Zielkonflikt und die mit der Umsetzung verbundenen Unsicherheiten. Das interdisziplinäre Team von AP 11 hat dazu einen umfassenden Kriterienkatalog ausgearbeitet. Methodisch wird dazu überwiegend eine dynamische Multi-Kriterienbewertung eingesetzt.

Im *vierten Schritt* speisen die ForscherInnen von AP 12 die Maßnahmenbündel mit ihren bewerteten Auswirkungsprofilen in den Dialog mit PraxisakteurInnen (den „Kompetenzteams“ und der „Betriebsräteplattform“) und EntscheidungsträgerInnen aus Politik, Zivilgesellschaft und Wirtschaft ein.

Unter Anwendung des methodischen Ansatzes der Reallabore werden die wissenschaftlichen Ergebnisse praktisch erprobt und die Erfahrungen wiederum in den wissenschaftlichen Diskurs eingebracht. Aus den Modellregionen wird zudem Wissen aus bereits erfolgten Transformationsprozessen aufbereitet und in die Diskussion eingespeist.

Im *fünften und letzten Schritt* werden die Ergebnisse des diskursiven Dialogs und der Praxistests als Elemente in eine größere Roadsmap integriert.

Diesen ENavi-Prozess zeigt in der Abfolge Abb. 2 auf. Den konkreten Ablauf demonstrieren in der ersten Projektphase bis 2019 die Testläufe zu **drei Schwerpunktthemen:**

1. **Transformation des Stromsystems** einschließlich der Kopplung mit Wärme
2. **Wärmewende** durch Sektorkopplung, Nutzerintegration und flexible, intelligente Steuerung
3. **Dekarbonisierung des Verkehrs** mit einem Fokus auf Multi- und Intermodalität und alternative Antriebe

In der Umsetzung sind diese drei Schwerpunktthemen der ersten Phase unterschiedlich weit fortgeschritten. Das aus den vielen einzelnen Mosaiksteinen zusammengesetzte Bild zur Stromwende umfasst vor allem Modellszenarien, die zurzeit im transdisziplinären Dialog mit Stakeholdern zu komplexen Maßnahmenoptionen weiterentwickelt werden. Die systemische Übersicht zur Wärmewende umfasst Modellierungen für innovative Formen der Strom-Wärme-Kopplung, aber auch neue Entwicklungen zur Erzeugung von grünen Brennstoffen und verbesserter Effizienz durch Digitalisierung.

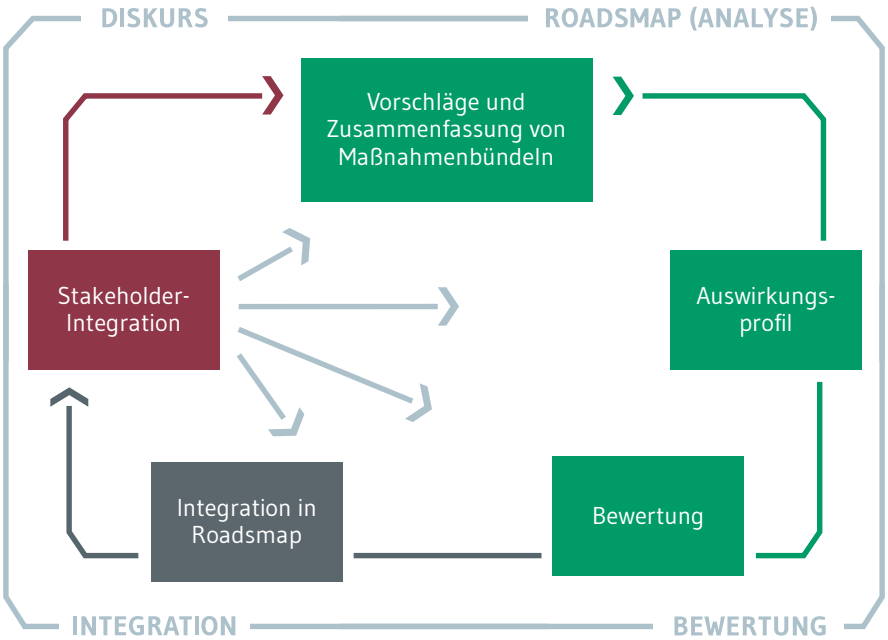


Abb. 2: Methodisches Vorgehen

Mögliche Lösungswege werden in Reallaboren, wie beispielsweise Stadtwerken (GEODE), auf Praxistauglichkeit getestet. Die Zusammenschau zur Verkehrswende konzentriert sich auf die Entwicklung von in sich optimierten Maßnahmenbündeln zur Förderung nachhaltiger Mobilität. Hierzu wurden Literaturanalyse und Expertenwissen (Gruppen-Delphi-Ansatz) mit dem Wissen aus den Kompetenzteams kombiniert sowie eine umfangreiche Folgenanalyse vorgenommen. Die in diesem Prozess bisher entstandenen Schwerpunktanalysen werden in den folgenden Kapiteln ausführlich beschrieben.

Durch den Dialog mit Praxis und Gesellschaft wird die Umsetzbarkeit der erforderlichen technologischen Transformation der Energiewende erheblich erleichtert.

Prof. Dr. Frithjof Staiß, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

3. DIE STROMWENDE: TESTLAUF FÜR DAS NAVIGATIONSSYSTEM

Die Stromwende als erstes Mosaik

Das „Mosaik" zur Stromwende ist das erste und am weitesten entwickelte Schwerpunktthema zur konkreten Umsetzung des Navigationsansatzes. Es analysiert mögliche Transformationspfade des Stromsektors vor dem Hintergrund der aktuellen politischen Diskussion: der Verfehlung der 2020-Klimaziele und der Einrichtung einer Kommission zur Erarbeitung von Vorschlägen für den Ausstieg aus der Kohle.

Die Ergebnisse sollen EntscheidungsträgerInnen über Maßnahmen für einen Kohleausstieg und die Effekte entsprechender Pfade informieren.

Der Mehrwert gegenüber anderen Studien besteht vor allem darin, dass gesellschaftliche AkteurInnen, eine Vielzahl von wissenschaftlichen Disziplinen und die europäische Perspektive konsequent mit einbezogen werden. Die Ergebnisse werden zielgerichtet in den politisch-gesellschaftlichen Diskurs eingespeist und in **einem Synthesebericht** zusammengefasst, der als erster Entwurf vorliegt. Schon jetzt sind die WissenschaftlerInnen mit Mitgliedern der „Strukturkommission" und anderen Entscheidungsgremien im intensiven Austausch.

Methodisches Vorgehen und Stand der Arbeiten

Das methodische Vorgehen orientiert sich am ENavi-Prozess (siehe Abb. 2), für den die einzelnen Schritte zur Anwendung in den Schwerpunktthemen methodisch konkretisiert wurden. Die entsprechende Schleife wurde derzeit insgesamt anderthalbmal durchlaufen. Zu Beginn wurden eine Reihe von Szenarien rund um mögliche Maßnahmen entwickelt und die entsprechenden Pfade grob exploriert, um erste Einsichten zu gewinnen. Diese waren Diskussionsgrundlage für den anschließenden Austausch mit Stakeholdern. Basierend auf den Rückmeldungen der Stakeholder wurden die Auswahl und Definition der Szenarien und Maßnahmen überarbeitet und dabei alternative beziehungsweise flankierende Maßnahmen mit einbezogen. Dafür wurden dann vertiefte qualitative Analysen, zum Beispiel zur juristischen Umsetzbarkeit, sowie qualitative Folgenabschätzungen entlang mehrerer Dimensionen durchgeführt. Im Folgenden sind erste wesentliche Ergebnisse dieser Analysen einschließlich der Einbeziehung der Rückmeldungen der Stakeholder exemplarisch beschrieben.

Wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse der Szenarien und modellbasierten Voruntersuchungen:

› Die modellbasierten Analysen, die auch alle anderen Sektoren einbeziehen (Sektorintegration), zeigen, dass die Erreichung der Klimaziele einen fast vollständigen Kohleausstieg bis 2050 (unter 50 TWh) erfordert. Nur beim Einsatz von Carbon Capture and Storage (CCS) ist dies nicht der Fall, was aber in breitem Konsens von den Stakeholdern als unrealistisch angesehen und daher nicht weiterverfolgt wurde.

› Für das Jahr 2030 besteht allerdings noch erheblicher Gestaltungsspielraum: Die Kohleverstromung variiert zwischen 44 und 150 TWh in den Szenarien. Zwei Faktoren wirken dabei klimagasreduzierend: (a) eine Einbettung der Energiewende in eine ambitionierte europäische Politik und (b) eine im Gegensatz zu den bestehenden Sektorzielen kosteneffizi - te Verteilung der Klimaschutzanforderungen auf die verschiedenen Sektoren. Letzteres würde ein noch ambitionierteres 2030-Ziel für den Sektor „Energiewirtschaft" bedeuten, gleichbedeutend mit einem schnelleren Kohleausstieg (siehe Abb. 3).

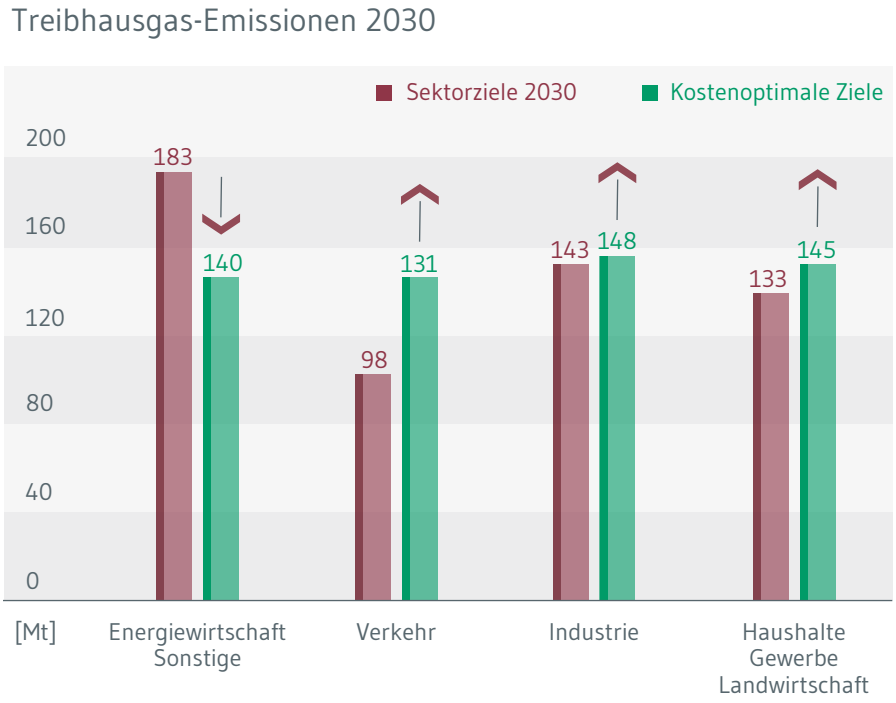


Abb. 3: Treibhausgas-(THG-)Emissionen nach Sektor bei Erreichung der Sektorziele 2030 und kostenoptimaler Zielerreichung

› Die Voruntersuchungen zeigen weiterhin deutliche Vorteile einer europäischen Einbettung des Kohleausstiegs. Die angestrebten nationalen Maßnahmen in Deutschland sollten daher – auch vor dem Hintergrund aktueller Diskussionen bezüglich einer Zusammenarbeit mit Frankreich – mit den Maßnahmen anderer europäischer Länder (klimapolitische Vorreiterallianz) sowie der EU koordiniert werden.

Wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse zu Maßnahmen und Pfaden:

› Juristische Analysen zeigen, dass eine ordnungsrechtliche Umsetzung durch Abschaltzeitpunkte für Kraftwerke verfassungsrechtlich zulässig ist, möglicherweise aber eine Pflicht zu Entschädigungszahlungen mit sich bringt. Andere Optionen (zum Beispiel Emissionsbudgets) entfalten keine vergleichbare Signalwirkung oder sind unionsrechtlich mit erheblichen Rechtsunsicherheiten behaftet. Eine alternative Stilllegung durch europäisches Industrieanlagenrecht wurde von Stakeholdern insgesamt kritisch gesehen und daher nicht weiter betrachtet. Eine direkte CO_2-Steuer auf CO_2-Emissionen ist unionsrechtlich zulässig, erfordert aber eine Änderung des Grundgesetzes mit einer Zweidrittelmehrheit. Indirekt könnte eine Bepreisung über eine Anpassung der Energiesteuern an die CO_2-Intensität der jeweiligen Energieträger durch Reform des europaweit harmonisierten Energiesteuerrechts erfolgen, ohne das Grundgesetz ändern zu müssen.

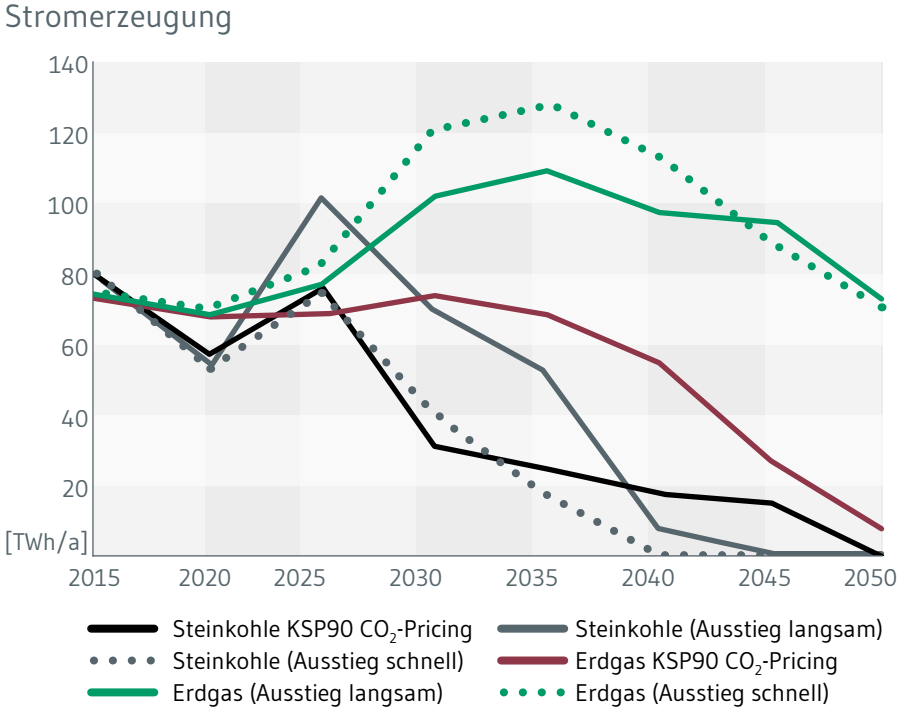


Abb. 4: Rebound-Effekte (höhere Kohle- und Gasverstromung) bei ordnungsrechtlichem Kohleausstieg

› Bei einem ordnungsrechtlichen Kohleausstieg zur Erreichung der Sektorziele im Jahr 2030 würden noch rund 18–22 GW Kohlekraftwerke am Markt aktiv sein (43 GW Ende 2017), die circa 110–136 TWh Kohlestrom erzeugen. Die Differenzen ergeben sich dabei aus unterschiedlichen Abgrenzungen bezüglich der Fernwärme und Gaserzeugung, die aktuell noch zwischen den Modellen konsolidiert werden. Ein ordnungsrechtlicher Ausstieg allein reicht jedoch nicht aus, um die langfristigen Klimaziele zu erreichen, da die wegfallende Stromerzeugung durch existierende Kohlekraftwerke, zusätzliche Gaskraftwerke oder höhere Importe kompensiert wird (Rebound-Effekte, siehe Abb. 4). Daher sind zusätzliche Maßnahmen wie zum Beispiel ein CO_2-Mindestpreis oder die verstärkte Förderung des Ausbaus heimischer Erneuerbarer Energien notwendig.

› Ein CO_2-Mindestpreis hätte außerdem den Vorteil, dass er auch die oben angeführten Rebound-Effekte reduziert sowie – bei geeigneter Wahl – kosteneffizient ist. Letzteres ist wichtig, weil eine begleitende Befragung von 11.000 Haushalten gezeigt hat, dass die Akzeptanz für die Energiewende zwar weiterhin recht hoch, die Zahlungsbereitschaft für entsprechende Maßnahmen jedoch gesunken ist. Die hinsichtlich der Versorgungssicherheit relevanten höheren Stromimporte können durch einen weiter verstärkten heimischen Ausbau der Erneuerbaren Energien auf allen Ebenen (Großanlagen beziehungsweise intelligente dezentrale Systeme) reduziert werden.

› Alle Formen nationaler Maßnahmen sind zudem mit einem Wasserbett-Effekt innerhalb des europäischen Emissionshandels verbunden: Emissionseinsparungen in Deutschland führen kurz- bis langfristig zu Mehremissionen in anderen Ländern. Dies könnte durch eine Stilllegung von 1 bis 2 Mrd. Zertifikaten verhindert werden (Osorio et al.). Ein koordiniertes Vorgehen im Rahmen einer Vorreiterallianz zugunsten eines CO_2-Preises könnte diesen Effekt ebenfalls abschwächen.

› Diskussionen mit Stakeholdern haben darüber hinaus ergeben, dass auch die gesamtwirtschaftlichen und die Verteilungseffekte von Maßnahmen – Wer sind die Gewinner und Verlierer? – eine wichtige Rolle spielen. Im Vordergrund stehen dabei flankierende Maßnahme für direkt betroffene Regionen. Daher wurden im Rahmen der Modellregionen Erfahrungen gesammelt, wie ein mit der Reduktion der Kohleverstromung verbundener notwendiger Strukturwandel gestaltet werden könnte. Im Reallabor Ensdorf wird dies praktisch erprobt.

Wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse der Folgenabschätzung:

› Die undiskontierten kumulierten Mehrkosten in der Stromerzeugung für einen schnellen ordnungsrechtlichen Ausstieg gegenüber dem Sektorziel-Szenario (Erreichung der sektoralen Klimaschutzplan-Ziele, siehe Abb. 3) betragen 37 Mrd. Euro (4 Prozent Erhöhung); im gesamten Energiesystem belaufen sie sich auf 106 Mrd. Euro. Das entspricht jährlichen Kosten (über 30 Jahre) von circa 31 beziehungsweise 90 Euro pro Haushalt. Dabei sind jedoch induzierte Strompreiseffekte in den Märkten und andere Kostenkomponenten wie zum Beispiel Entschädigungszahlungen oder zusätzliche Fördermittel für den weiter verstärkten Ausbau der heimischen Erneuerbaren Energien noch nicht berücksichtigt.

› Mit Blick auf die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen ergeben sich stark divergierende Ergebnisse insbesondere bei den ambitionierten Klimazielen für das Jahr 2050. Grund dafür sind die verschiedenen verwendeten Modellansätze, deren entsprechende Stärken und Schwächen gerade von einer Expertengruppe untersucht werden, um letztendlich robuste Ergebnisse zu erhalten.

› Die Erreichung der Klimaschutzziele hat einen deutlichen Zusatznutzen: Durch Minderung der Luftverschmutzung werden im Jahr 2030 circa 3.000 (Europa) beziehungsweise 1.800 (Deutschland) vorzeitige Todesfälle pro Jahr vermieden und die Wassernutzung um 50 bis 70 Prozent reduziert. Die erwartete Flächennutzung vor allem für Bioenergiepflanzen kann sich jedoch bis ins Jahr 2050 verdoppeln.

Ausblick

Bis zum Ende der ersten Projektphase ist ein erneuter Austausch mit Stakeholdern geplant, der zu einer weiteren Vertiefung der Ergebnisse und einer Verbesserung der Robustheit der Handlungsoptionen führen soll. In diesem Rahmen sollen die erarbeiteten Maßnahmen weiterhin systematisch bewertet werden. Themenstellungen, die aus diesem Austausch entstehen, sollen dann auch im Sinne eines Co-Designs in die nachfolgende Antragstellung für die zweite Projektphase einfließen. Der grundsätzliche Ansatz soll dafür fortgeführt und die Einbindung von Stakeholdern noch konsequenter umgesetzt werden. Inhaltlicher Leitgedanke dafür soll die (Fast-)Null-Emissions-Gesellschaft sein, die eine Transformation aller Sektoren und eine entsprechend integrierte Betrachtung (Sektorintegration) erfordert. In dieser Hinsicht wird auch eine intensivere Integration mit den anderen Kopernikus-Projekten, zum Beispiel durch die Entwicklung gemeinsamer Szenarien, angestrebt, die auf den Erfahrungen und Ergebnissen dieses Schwerpunktthemas aufbauen könnte.

Die Transformation des Stromsystems ist ein zentraler Meilenstein zur Erreichung der deutschen Klimaschutzziele. Eine entsprechende Strategie muss jedoch europäisch eingebettet sein, um langfristig erfolgreich zu sein.

Prof. Dr. Ottmar Edenhofer, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

4. DIE WÄRMEWENDE: SEKTORKOPPLUNG, EFFIZIENZ UND DIGITALISIERUNG

Ein weiteres Mosaik auf dem Weg zu einer gelingenden Energiewende betrifft den Wärmebereich. Die Wärmeversorgung in Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), öffentlichen Gebäuden und Haushalten trägt zu mehr als der Hälfte des gesamten Endenergieverbrauchs bei. Anders als bei der Stromversorgung spielen erneuerbare Energieträger hier bislang nur eine geringfügige Rolle. Das Hauptaugenmerk im Wärmesektor liegt zurzeit auf der Verbesserung der Energieeffizienz, sowohl bei der Wärmedämmung der Gebäude als auch bei der Umwandlung von Primärenergie in die benötigte Energiedienstleistung. Ein besonderes Potenzial zur Effizienzverbesserung kommt dabei der Digitalisierung von Wärmedienstleistungen zu. Mit den herkömmlichen Instrumenten und Anreizen konnten bislang die politisch angestrebten Effizienzsteigerungen nicht erreicht werden.

Digitale Steuerungssysteme, die vom ENavi-Team konzipiert und in Zukunft auch erprobt werden, können hier signifikante Effizienzverbesserungen erziele

Wenig Fortschritte gibt es auch beim Ausbau der Fernwärmeinfrastruktur, weil ökonomische und regulative Rahmenbedingungen oftmals den Ausbau unattraktiv machen. Gleichzeitig gibt es zu geringe Anstrengungen, die Dekarbonisierung des Wärmesektors ähnlich systematisch anzugehen wie beim Stromsektor. Es fehlt an wirkmächtigen AkteurInnen, die Innovationen im Wärmesektor über alle Anwendergruppen hinweg nach vorne bringen können. Auch innovative dezentrale Ansätze als Chance sind häufig mit Wärmeanwe - dungen verbunden, benötigen aber entsprechende Investitionsentscheidungen einer Vielzahl kleiner AkteurInnen.

Modellierungen der Wärmewende

Das ENavi-Konsortium hat deshalb die Wärmeversorgung als eines seiner drei Schwerpunktthemen gewählt. In den Modellierungen des lokalen sowie nationalen Energiesystems sind dabei die Praxiserfahrungen aus den Reallaboren und Fallstudienclustern integriert. Unter Einbezug der von ENavi entwickelten Bewertungskriterien wird im Anschluss geprüft, welche Instrumente am besten geeignet sind, um die Verbreitung erneuerbarer Wärmetechnologien einschließlich intelligenter dezentraler Strom-/Wärme-Erzeugungs- und Speichersysteme zu steigern und die Effizienz zu verbessern.

Ein zentrales Element im Mosaik der Wärmewende stellt die Analyse des sektorengekoppelten Energiesystems dar, insbesondere eine Untersuchung der Rolle von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), Wärmepumpen-Anlagen, bidirektionalen Wärmenetzen und der Nutzung der Solarthermie. Im Mittelpunkt stehen dabei System- und Nutzerintegration sowie Betriebsoptimierung und Marktintegration (zum Beispiel P2P-Vermarktung) der Anlagen.

Ein weiteres Element der systemischen Analyse ist die Einbeziehung der individuellen Kosten und Nutzen dezentraler Wärmeanwendungen sowie des Speichereinsatzes und deren Verflechtung mit dem Gesamtsystem. or allem werden dabei relevante dezentrale Strom- und Wärmesysteme (Wärmepumpen, PV-Eigennutzung, Batteriespeicher, Mini-KWK-Anlagen) einschließlich der neuen Chancen und Möglichkeiten durch die Digitalisierung auf Gesamtsystem- und Einzelakteursebene miteinander verglichen.

Eine wichtige Fragestellung betrifft die Investitionsentscheidungen: Welche (monetären und nicht-monetären) Faktoren beeinflussen die Investitionsentscheidung im Wärmemarkt? Anreizsysteme fokussieren bisher auf (vornehmlich selbstnutzende) Eigenheimbesitzende und Eigentumsgemeinschaften, wohingegen MieterInnen nur unzureichend berücksichtigt werden. Auch fehlt es an der Integration geeigneter MultiplikatorInnen (zum Beispiel Handwerksbetriebe). ENavi überprüft aktuelle Marktmechanismen und bestehende Instrumente auf ihre Wirksamkeit hinsichtlich Investitionsentscheidungen der AkteurInnen auf unterschiedlichen Ebenen. Von besonderer Aussagekraft sind zudem Analysen des Wärmemarktes für Gebäude im Vergleich mit den Entwicklungen im Industriebereich (Prozesswärme und Effizienzmaßnahmen)

Die PartnerInnen von ENavi haben bereits die derzeit verfügbaren Technologien im Wärmemarkt einschließlich der intelligenten Steuerung hinsichtlich ihrer technologischen und ökonomischen Reife analysiert und in ihrer Funktionsweise sowie ihren Auswirkungen charakterisiert. Weiche Faktoren wie sozialwissenschaftliche beziehungsweise rechtliche Aspekte stellen zudem wichtige Hemmnisse im Wärmebereich dar. Diese fließen nun erstmalig in die modellbasierten Energiesystemanalysen ein und erlauben eine tiefergehende Hemmnisanalyse mit der Ableitung von Lösungsstrategien.

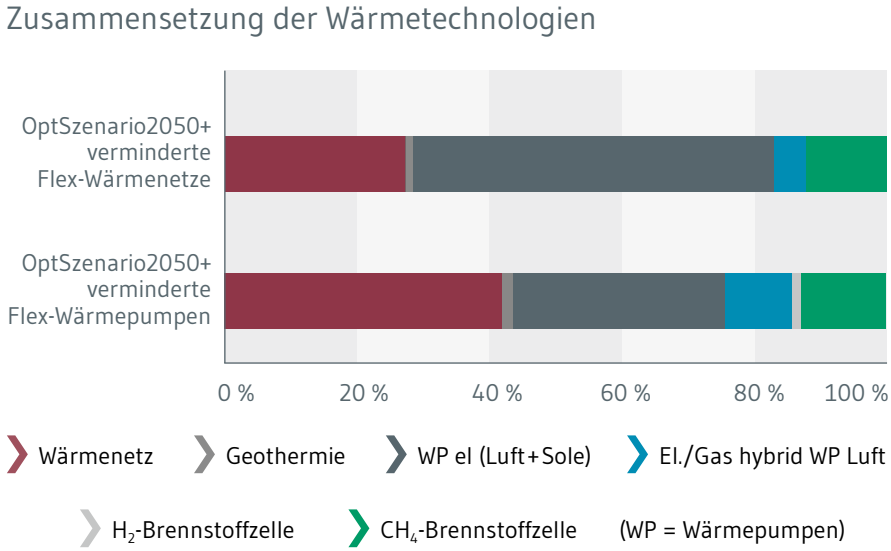


Abb. 5: Auswirkung von verminderter Flexibilität von Wärmepumpen und Wärmenetzen auf die optimierte Zusammensetzung der Wärmeversorgungstechnologien in 2050

Die Modellierungsergebnisse zeigen, dass eine Umsetzung der Energiewende im Wärmebereich ohne eine sehr viel stärkere Verschränkung mit der Stromerzeugung nicht erreichbar ist. Die ProjektpartnerInnen konzentrieren sich hierbei auf zwei wichtige Themen: 1.) die Analyse von flexiblem, durch gezielte intelligente Steuerung angepassten Betrieb von Wärmetechnologien (zum Beispiel Wärmepumpen und Wärmenetze, siehe Abb. 5) und Nutzerintegration sowie 2.) den Vergleich der unterschiedlichen Power-to-X-Anwendungen im Wärmebereich wie etwa dem Potenzial von „grünem" Gas, das aus erneuerbaren Energiequellen wie Wasserstoffelektrolyse und anschließender Methansynthetisierung gespeist wird.

Institutionelles Design: Rechtsrahmen und Regulierung

Die Analyse des bestehenden Rechtsrahmens und Vorschläge zu dessen Weiterentwicklung sind Themen der ENavi-Untersuchungen aus juristischer Perspektive. Fokussiert wird unter anderem auf die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Strom im Wärmesektor und die vereinheitlichende Umstrukturierung des Rechtsrahmens zur Erleichterung von Investitionen im Bereich Effizienz sowie Wärmegewinnung mithilfe von Sektorenkopplung und erneuerbaren Energiequellen. Dies beinhaltet detaillierte institutionenökonomische Analysen unter anderem zu Effektivität und Effizienz sowie zu Verteilungswi - kungen und Akzeptanzaspekten vor allem auch im Hinblick auf die Digitalisierung. Die rechtlichen Analysen werden flankiert durch psychologische und sozialwissenschaftliche Untersuchungen zu den wahrgenommenen Barrieren und Hemmnissen bei Investitionsentscheidungen im Bereich Wärmeversorgung.

Praxiswissen aus den Reallaboren

Das technische, juristische und sozialwissenschaftliche Wissen fließt in die praktische Umsetzung beziehungsweise betriebliche Erprobung der Vorschläge in realen Anwendungsfeldern ein. So entwickeln die Stadtwerke Bietigheim-Bissingen ein integriertes Quartierskonzept für die CO_2-freie Versorgung der historischen Altstadt mit Energie aus der Region unter Berücksichtigung der Anforderungen des Denkmalschutzes. Im Fallstudiencluster Mecklenburg wird die Energiewertschöpfungskette einschließlich der Wärmeversorgung optimiert.

Dazu werden mithilfe von Modellen mögliche regionale Dekarbonisierungspfade bestimmt. Dabei geht es insbesondere auch um die Entwicklung von passenden Geschäftsmodellen und wirksamen Anreizsystemen.

Die Stadtwerke Rosenheim arbeiten mit der Nischentechnologie der Vergasung von Holz in Kombination mit einer KWK-Anlage, die durch eine flexible Strom- und Wärmeerzeugung einen Beitrag zur Systemstabilität leisten kann.

Mit dem von den PraxispartnerInnen entwickelten „SekOptima"-Tool wird die intelligente markt- und systemdienliche, sektorübergreifende Steuerung der Wärmeproduktion anhand von Wärmebedarfsprognosen ermöglicht und in einem Quartier in Heidelberg getestet.

Im Reallabor Berlin werden Wärmeversorgungskonzepte unter enger Einbindung des Stromsektors erarbeitet. Einbezogen werden dabei die energetische Sanierung und Modernisierung sowie die Digitalisierung im Wohnumfeld.

ENavi plant, ab der Heizsaison 2018/19 in insgesamt zwei bis drei Heizperioden zu untersuchen, wie digitale Steuerungsinstrumente in Verbindung mit wirtschaftlicher Förderung den Wärmeverbrauch im Wohnbereich reduzieren können.

Circa 300 Haushalte sollen hierzu in der Region Anhalt mit intelligenten Raumwärmeregelungssystemen ausgestattet werden. Im Fokus steht die Frage: Welche Verhaltensanreize und welche gesellschaftlichen Regulierungen motivieren die Verbraucher?

Gebäudeenergieeffizienz ist ein zentraler Ansatzpunkt zur Emissionsminderung. Die Regulierung ist wegen der Vielzahl beteiligter AkteurInnen mit heterogener Interessenlage herausfordernd. Gleichwohl ist angesichts der Langfristigkeit von Investitionsentscheidungen eine zügige Anpassung des Rechtsrahmens auf der Basis fundierter interdisziplinärer Handlungsempfehlungen erforderlich.

Prof. Dr. Michael Rodi, Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität (IKEM)

5. DIE VERKEHRSWENDE: DER INTER- UND TRANSDISZIPLINÄRE ANSATZ

Das dritte Mosaik befasst sich mit der Dekarbonisierung des Verkehrs als Teil der Transformation des Gesamtenergiesystems in Richtung Klimaneutralität und Nachhaltigkeit. Bislang ist es nicht gelungen, die Treibhausgasemissionen des Verkehrs unter das Niveau des Jahres 1990 zu senken. Im Gegenteil: Die CO_2-Ausstöße steigen seit einigen Jahren deutlich an, daneben sind jüngst auch weitere Emissionen wie Stickoxide in den Blick geraten. Um hier gegenzusteuern, sind der Verzicht auf den Einsatz fossiler Energieträger im Verkehr und eine Wende im Mobilitätsverhalten notwendig. Langfristig müssen Veränderungen in der Stadtstruktur und der Vernetzung des ländlichen Raumes komplementär dazu folgen.

Der inter- und transdisziplinäre Ansatz bei der Gestaltung der Maßnahmenbündel

Zentral beim Schwerpunktthema Verkehr ist ein inter- und transdisziplinärer Maßnahmenbündel-Ansatz, der diese Herausforderung aufgreift.

Was sind dessen wesentliche Merkmale?

› Problemstellungen und Lösungsansätze unterscheiden sich deutlich je nach Verkehrsbereich. Übergreifende Lösungen für verschiedene Verkehrsbereiche wie beispielsweise urbaner Personenverkehr, Güter- oder Flugverkehr sind nur bedingt zielführend. Zunächst wird daher der urbane Personenverkehr in Kernstädten und verdichteten Umlandkreisen in den Blick genommen. Weitere Verkehrsbereiche in ENavi-Phase II sollen untersucht werden.

› Der Ansatz zielt auf Erfolg versprechende Transformationspfade in Richtung eines klimaverträglichen und nachhaltigen Energiesystems und die damit verbundenen Politikinterventionen und Maßnahmen. Im urbanen Personenverkehr gelten die Transformationspfade „Multi- und Intermodalität" und „Alternative Antriebe" als Erfolg versprechend für eine Verkehrswende – sie stehen derzeit im Mittelpunkt der Forschungsarbeit.

› Die Perspektive der systemisch aufgebauten Maßnahmenbündel steht für die Idee, dass es kombinierter Interventionen und Maßnahmen bedarf, die darauf abzielen, die wechselseitig nicht-intendierten Wirkungen abzumildern und Nutzen zu verstärken. Nur so lassen sich Erfolg versprechende Transformationspfade hin zu einer klimaverträglichen Zukunft realisieren. Es geht also um maßgeschneiderte Maßnahmenbündel, die in der Lage sind, zielkonforme Transformationspfade zu realisieren.

› Für die Transformationspfade „Multi- und Intermodalität" und „Alternative Antriebe" wird jeweils ein Maßnahmenbündel bestehend aus Kern- und flankierenden Maßnahmen mittels unterschiedlicher Methoden entwickelt: Literaturauswertung, ENavi-internes Gruppen-Delphi, rechtsökonomische Modellierung, Input durch Reallabore und weitere Einbettung von Praxiserfahrungen.

Für diesen Schwerpunktthemen-Komplex ist von besonderer Bedeutung, dass frühzeitig und in mehreren Iterationen das Praxis- und Erfahrungswissen von wirtschaftlichen und gesellschaftlichen AkteurInnen in die Entwicklung der Maßnahmenbündel eingebunden wird. Ein erster literaturbasierter Entwurf der Maßnahmenbündel wurde auf der Basis eines Gruppen-Delphi-Workshops mit ENavi-internen ExpertInnen modifiziert und erweitert. Daran schlossen sich moderierte Wissenschaft-Praxis-Dialoge mit allen drei ENavi-Kompetenzteams an.

Dazu kommen institutionenökonomisch und juristisch fundierte Studien zur Elektromobilität (zum Beispiel Aufbau der Ladeinfrastruktur, gesteuertes Laden, Quotenregelung für alternative Antriebe, Diesel-Fahrverbot). Eine weitere zentrale Feedbackschleife wird darin bestehen, die Bewertungsprofile der Maßnahme -bündel mit den PraxispartnerInnen und weiteren Stakeholdern im Hinblick auf Zielkonflikte und Praxistauglichkeit diskursiv zu erörtern.

Durch die inter- und transdisziplinäre Vorgehensweise werden Brücken zwischen den ENavi-Disziplinen sowie zwischen Wissenschaft und Praxis bei der Entwicklung von Transformationspfaden hin zu einer nachhaltigen Mobilität gebaut.

Wesentliche Ergebnisse: Die beiden Maßnahmenbündel für Multi- und Intermodalität und alternative Antriebe

Das Maßnahmenbündel „Stärkung Multi- und Intermodalität" (Abb. 6) zielt darauf ab, eine Veränderung im Mobilitätsverhalten zu erreichen. Es besteht aus zwei Kernmaßnahmen: Kernmaßnahme I „ÖPNV fördern" umfasst eine Erhöhung des Anteils des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) am Modal Split (unter anderem durch Ausbau des ÖPNV-Angebotes beispielsweise bezüglich Taktung, Streckennetz, zusätzlicher Linien), während Kernmaßnahme II „Integriertes Flächenmanagement" durch eine zielorientierte Flächen(um)nutzung und Stadtplanung eine Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) im urbanen Raum anstrebt.

Um die Wirkung der Kernmaßnahmen zu verstärken und zugleich nicht-intendierte Folgen abzumildern, werden diese durch weitere regulatorische, förderpolitische und informatorische Maßnahmen flankiert. Die Einführung von Zufahrtsbeschränkungen im innerstädtischen Bereich, beispielsweise als sozialverträgliche City-Maut oder auch in Form von Tempo-30-Zonen, verstärkt den Effekt der Verkehrsberuhigung in diesen Gebieten.

Als weitere flankierende Maßnahme wird die Vereinfachung intermodaler Angebote (Ausbau Digitalisierung und Sharing-Konzepte, Integrated Ticketing über One-Stop-Shop-Lösung et cetera) in die Analyse einbezogen. Dabei können verschiedene Maßnahmen – bei entsprechenden rechtlichen Voraussetzungen – auch als Quelle für die Querfinanzierung anderer Maßnahmen dienen. Eine partizipative Informationskampagne begleitet alle Maßnahmen, um sowohl kommunale Angebote klar und positiv zu kommunizieren als auch, um kompensatorische Alternativen zu erfahrenen Einschränkungen aufzuzeigen.

Das Maßnahmenbündel „Steigerung alternative Antriebe" zielt darauf ab, mit technologischen Mitteln einen klimaneutralen Verkehrssektor in 2050 zu erreichen. Im Mittelpunkt steht der Einsatz von alternativen Antrieben im Bereich des motorisierten Verkehrs. Die Maßnahmen stellen eine Integration unterschiedlicher Instrumente dar und setzen auf verschiedenen regulatorischen Ebenen an. Mit der Kernmaßnahme I „CO_2-Flottengrenzwert von 60 g/km bis 2030" wird ein ordnungsrechtliches Leit-instrument gewählt. Den CO_2-Grenzwerten für Neuwagen wird trotz aller Kritik an den Berechnungsmethoden

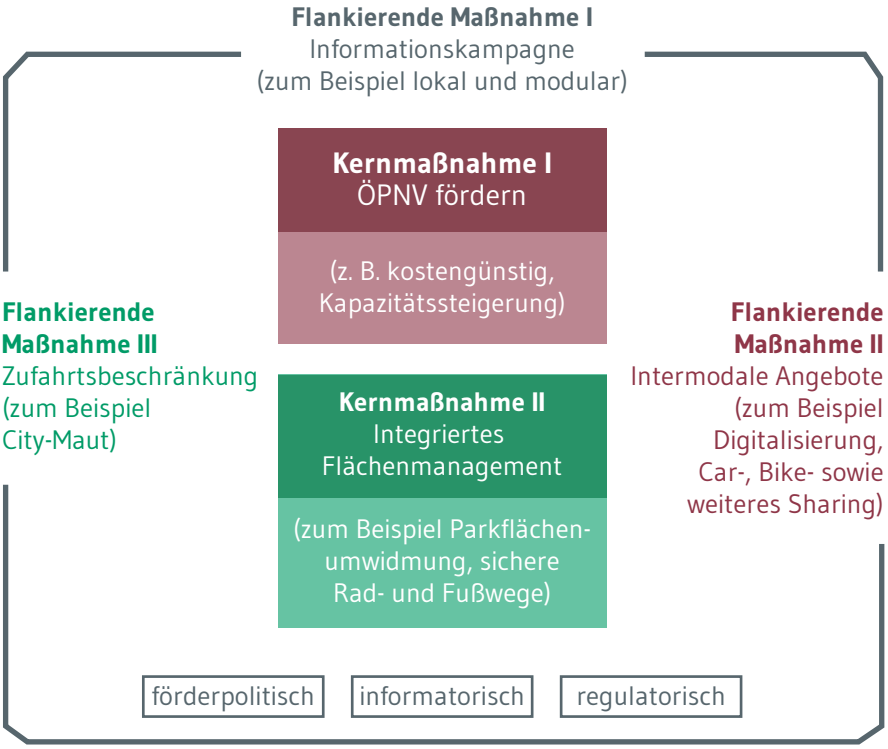


Abb. 6: Das Maßnahmenbündel „Stärkung der Multi- und Intermodalität in urbanen Räumen durch (kostengünstigen) ÖPNV und integriertes Flächenmanagement"

Die unterschiedlichen Fachkulturen, Denkschulen und Methoden zu einem gemeinsamen Produkt zu verschmelzen, ist die größte Herausforderung für ENavi – und dabei seine größte Stärke.

Prof. Dr. Michèle Knodt, Technische Universität (TU) Darmstadt

im Vergleich mit anderen Maßnahmen eine besonders weitreichende Wirkung zugetraut, da sie die gesamte Neuwagenflotte und nahezu alle Hersteller (mit Ausnahme von Kleinstflotten) adressiert. Über diese Push-Maßnahme sind Hersteller gezwungen, Technologieentwicklungen voranzutreiben und auf dem Markt anzubieten.

Dagegen ist die Kernmaßnahme II „Einführung einer CO_2-Komponente für fossile Kraftstoffe" eine ökonomische Pull-Maßnahme, die primär auf die Erhöhung der Nutzerkosten für den motorisierten Individualverehr (MIV) mit konventionellen Antrieben und fossilen Kraftstoffen abzielt. Es geht um die Privilegierung der alternativen Antriebe gegenüber den konventionellen Antrieben.

Dies wird durch verschiedene flankierende Maßnahmen wie eine Reform der Kraftfahrzeugsteuer zugunsten von klimafreundlichen, verbrauchsarmen, leichten Fahrzeugen und eine CO_2-abhängige Parkraum-Gebührengestaltung direkt unterstützt. Beide Maßnahmen sollen die Attraktivität alternativer Antriebe mit zusätzlichen ökonomischen Vorteilen steigern und die NutzerInnen zum Kauf animieren. Zwei weitere flankierende Maßnahmen aus dem Bereich der Infrastruktur (Ladeinfrastrukturaufbau und Technologieentwicklung „Intelligente Ladesäule") und Kommunikation (nutzerspezifische Informationskampagnen zur Elektromobilität) ergänzen die Push- und Pull-Kernmaßnahmen.

Ausblick

Um ein umfassendes Bild über die potenziellen Implikationen der Maßnahmenbündel zu gewinnen, wird entsprechend dem ENavi-Prozess (Abb. 2) im zweiten Halbjahr 2018 unter Einbezug der Expertise aus allen ENavi-Arbeitspaketen eine systematische Folgenabschätzung der (intendierten und nicht-intendierten) Wirkungen und Wechselwirkungen der beiden zentralen Maßnahmenbündel erfolgen.

Diese Sammlung, Systematisierung und Interpretation von quantitativen und qualitativen Daten dient als Basis für die Erstellung von Bewertungsprofilen, die anschließend in den Bewertungsprozess und in den diskursiven Abwägungsprozess eingespeist werden. Beide Schritte bilden die Grundlage für ein mögliches Redesign der Maßnahmenbündel.

6. SICHTBARE BEITRÄGE VON ENAVI ZUR ENERGIEWENDE

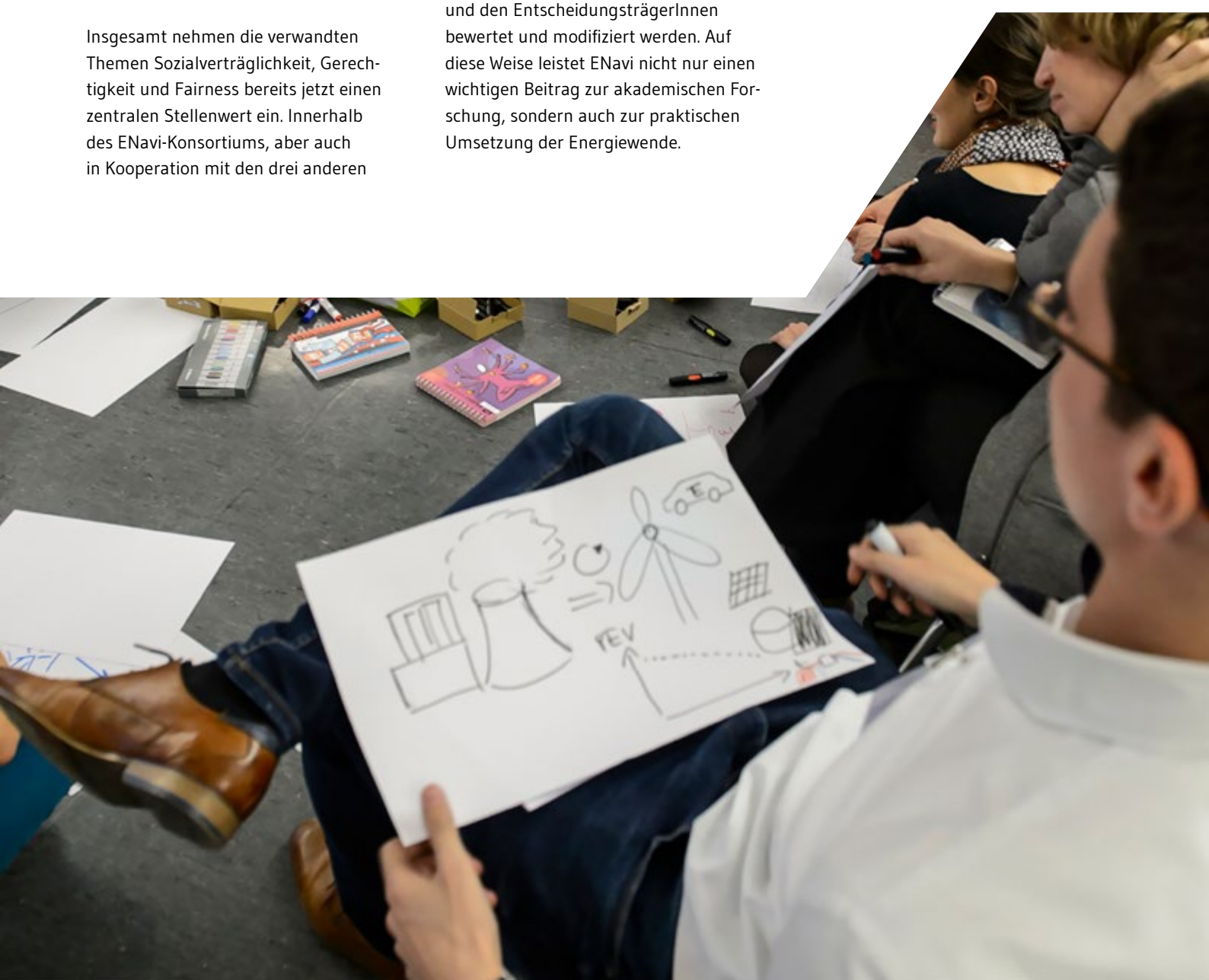
Praxisgerechte Einsichten mit Langzeitwirkung

Die bereits vorliegenden und für die Laufzeit der ersten Phase absehbaren Ergebnisse liefern verlässliche und praxisgerechte Beiträge zur Umsetzung der Energiewende, die über die herkömmliche Politikberatung durch ExpertInnen hinausgehen: Die besondere Architektur von ENavi sorgt für einen disziplinenübergreifenden und transdisziplinären Ansatz im Rahmen einer transparenten und nachvollziehbaren Sequenz von Erkenntnisgewinnung, Integration von evidenzbasierten Erkenntnissen (Mosaiksteinen) zu konsistenten und dynamisch ausgerichteten Gesamtbildern, Bewertung der darauf aufbauenden Maßnahmenbündel und Entwicklungspfade (Roadsmap), Diskurs mit EntscheidungsträgerInnen und PraxispartnerInnen, Erprobung in Reallaboren und Modifik - tion der Ergebnisse für die Umsetzung in praktische Politik. Der Schwerpunkt liegt auf wissenschaftlich fundierten, systemisch vernetzten, im Diskurs erprobten und gleichzeitig praktisch umsetzbaren Strategien und Interventionen zur schrittweisen Umsetzung der Energiewende. Für diese Aufgaben ist das Team von ENavi optimal aufgestellt, vor allem, um Lösungen und Handlungsempfehlungen im Kontext einer demokratisch verfassten und pluralistisch agierenden Gesellschaft zu schaffen und zu bewerten.

Die bisherigen Ergebnisse sind in zahlreichen Veröffentlichungen dokumentiert sowie durch Präsentationen und auf ENavi-Veranstaltungen vorgestellt worden. Viele Forschungsergebnisse konnten bereits erfolgreich in den politischen Diskurs eingebracht werden.

Die über die Arbeitspakete hinausgehende inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit kristallisierte sich in der ersten Projektphase in den **drei Schwerpunktthemen** heraus. Diese stehen repräsentativ für spezielle Fragestellungen bei der Dekarbonisierung in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr. Hier werden bereits mittelfristig politische Entscheidungen notwendig sein, die mithilfe der ENavi-Ergebnisse effektiv und wissenschaftlich fundiert unterstützt werden können. In der zweiten Phase sollen diese Themen weiter ausgearbeitet und durch weitere Schwerpunkte ergänzt werden. Vor allem der Bereich Sektorenkopplung sowie Prozesse der Digitalisierung werden hier eine zentrale Rolle spielen.

Kopernikus-Projekt-übergreifend haben sich erste Pläne für eine konkrete Zusammenarbeit zwischen den Kopernikus-Projekten SynErgie und ENavi herausgeschält, um eine Abschätzung des wirtschaftlichen Flexibilitätspotenzials bei der Sektorenkopplung in der

Industrie zu ermitteln. ENavi könnte dabei mithilfe seines Instrumentariums im Zuge eines neuen Schwerpunktthemas wichtige Hinweise für SynErgie generieren. Auf dieser Basis könnte das SynErgie-Konsortium wirtschaftliche Flexibilitäten und deren Kosten simulieren. Die Ergebnisse würden dann wieder in die Szenarien von ENavi einfließen. So könnte ein iterativer Prozess entstehen.

Insgesamt nehmen die verwandten Themen Sozialverträglichkeit, Gerechtigkeit und Fairness bereits jetzt einen zentralen Stellenwert ein. Innerhalb des ENavi-Konsortiums, aber auch in Kooperation mit den drei anderen Kopernikus-Projekten werden auch in Zukunft die Wechselwirkungen zwischen technischer Entwicklung, organisatorischer Umsetzung, regulativen Rahmenbedingungen und individuellen wie sozialen Verhaltensweisen zunehmend systemisch analysiert und darauf aufbauend Maßnahmenbündel und zielgerechte Roadsmaps entwickelt, die gemeinsam mit den PraxispartnerInnen und den EntscheidungsträgerInnen bewertet und modifiziert werden. Auf diese Weise leistet ENavi nicht nur einen wichtigen Beitrag zur akademischen Forschung, sondern auch zur praktischen Umsetzung der Energiewende.