EKSH Gesellschaft für Energie und Klimaschutz Schleswig-Holstein

SH Schleswig-Holstein Ministerium für Allgemeine und Berufliche Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur

Arbeitspapier: Energiewendeforschungs-Roadmap

für das Land Schleswig-Holstein

Transformationspfade zur Klimaneutralität 2040

Stand Oktober 2026

Inhalt

I. Executive Summary 2
- I.I. Abstract 2
- I.II. Ausgangslage und Zielsetzung der Roadmap 2
- I.III. Die vier Wirkungsebenen 3
- I.IV. Transformationspfade zur Klimaneutralität 2040 5
- I.V. Von der Roadmap zur Umsetzung 6
- I.VI. Fazit und Ausblick 6

1. Hintergrund und Zielsetzung der Roadmap 7
2. Methodik „Visual Roadmapping“ 7
   - 2.1. Die vier Dimensionen 8
   - 2.2. Transformationspfade 10
   - 2.3. Abgleich mit den sieben fokusfeldspezifischen Roadmaps 11
3. Energiewendeforschungs-Roadmap Schleswig-Holstein 11
   - 3.1. Rahmenbedingungen, Beitrag und Wirkung 11
   - 3.2. Input: Gesellschaftliche, politische und institutionelle Rahmenbedingungen 12
   - 3.3. Output: Technologische Innovationen und wissenschaftliche Erkenntnisse 13
   - 3.4. Outcome: Wirkungsebene in Sektoren und Anwendungen 16
   - 3.5. Impact: Langfristige Wirkungen und Zielperspektiven 17
4. Transformationspfade zur Klimaneutralität 2040 19
   - 4.1. Erneuerbare und resiliente Infrastrukturen 19
   - 4.2. Governance und soziale Teilhabe 20
   - 4.3. Zukunftsfähige Wohn- und Verkehrskonzepte 21
   - 4.4. Innovation, Transfer, Wirtschaft 22
5. Handlungsoptionen 23
6. Zusammenfassung und Ausblick 24
7. Danksagung 25
8. Impressum 26

I. Executive Summary

I.I. Abstract

Die Energiewendeforschungs-Roadmap dokumentiert zentrale Handlungsfelder für die wissenschaftliche Forschung sowie die Begleitung der Transformation hin zur Klimaneutralität in Schleswig-Holstein:

- Aktuell liegt der Forschungsschwerpunkt auf dem analytischen Verständnis zentraler Systemgrundlagen: Energiesysteme, Netze und Infrastruktur; Governance, Geschäftsmodelle und Regulierung; Industrie, Digitalisierung und Ressourcen (Digitalisierung als Enabler, nicht als Selbstzweck); sowie Mobilität und sektoraler Transformation.
- Bis 2030 verschiebt sich der Fokus zur Integration, digitalen Durchdringung und praktischen Erprobung – zentrale Forschungsfelder sind die Sektorkopplung und Flexibilitätsoptionen, digitale Energiesysteme und Systemmodellierung, Governance- und Entscheidungsprozesse, Reallabore und Demonstratoren, Forschung in der Leistungselektronik und Hardware-Innovationen, Gesellschaft/Akzeptanz/Wissens-systeme sowie Raumplanung und Flächennutzung.
- Von 2030 bis 2035 rücken skalierte, systemreife Lösungen in den Vordergrund: Offshore-Energiesysteme und hybride Erzeugung, Wasserstoff- und Power-to-X-Systeme, hybride Netze und Systembetrieb, Speichertechnologien, Kreislaufwirtschaft, autonome Mobilität, maritime Sicherheitssysteme sowie die Weiterentwicklung von Reallaboren zu Experimentierräumen für die Systemtransformation.

Im Kern liegt der Beitrag der Wissenschaft darin, Systemverständnis zu schaffen, Integration zu ermöglichen und Lernprozesse zu strukturieren – wissenschaftliche Outputs sind Bausteine eines Transformationswissens, der politische Entscheidungen, wirtschaftliche Investitionen und gesellschaftliche Aushandlungsprozesse fundiert.

Die Roadmap wird fortlaufend weiterentwickelt und schafft die Grundlage für eine evidenzbasierte Priorisierung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten

I.II. Ausgangslage und Zielsetzung der Roadmap

Schleswig-Holstein verfolgt das Ziel, bis 2040 „klimaneutrales Industrieland" zu werden – rechtlich verankert im Energiewende- und Klimaschutzgesetz Schleswig-Holstein. Das Landeskompetenzzentrum Energiewendeforschung bei der EKSH hat hierfür unter Beteiligung aller Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen des Landes sowie von Wirtschaft und Verwaltung eine Energiewendeforschungs-Roadmap erarbeitet. Start war ein Auftaktworkshop im Dezember 2025, in den Vertreterinnen und Vertreter der genannten Stakeholder und der sieben Fokusfelder des Landeskompetenzzentrums Energiewendeforschung – Wind, Wasserstoff, Netzintegration, Leistungselektronik & Batteriespeicher, Mobilität, Gebäude & Wärme

sowie Gesellschaftliche Transformation – ihre Forschungsbedarfe einbrachten. Die Roadmap dient als strategischer Orientierungsrahmen für Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft und soll zugleich Fördermittel auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene (u. a. den Landesförderfonds Energiewendeforschung) gezielt auf die identifizierten Forschungsbedarfe ausrichten.

Die Roadmap beantwortet insbesondere zwei zentrale Fragen:

- Was muss erforscht werden, um Klimaneutralität bis 2040 zu ermöglichen?
- Welche gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Wirkungen sollen durch diese Forschung erreicht werden?

Methodisch kommt „Visual Roadmapping" in Kombination mit „Backcasting“ zum Einsatz: Von der Zielperspektive 2040 wird rückwärts bestimmt, welche Wirkungen, Ergebnisse und Rahmenbedingungen erforderlich sind (Backcasting); gleichzeitig werden vom Status quo aus zeitlichen Sequenzen und Abhängigkeiten in 5-Jahres-Zeitscheiben vorwärts kartiert (Roadmapping). Die Roadmap ist explizit kein Umsetzungs- oder Maßnahmenplan, sondern ein Orientierungsinstrument, das Komplexität strukturiert. Auf dieser übergreifenden Roadmap bauen die sieben Fokusfeld-Roadmaps auf, die die identifizierten Bedarfe fachlich vertiefen und als spezifische Forschungsagenden fungieren. Die dargestellten Transformationspfade zeigen beispielhaft, wie Ebenen und Themen miteinander verknüpft sein können.

I.III. Die vier Wirkungsebenen

Von Rahmenbedingungen über Forschung zu gesellschaftlicher Wirkung

Die Roadmap gliedert den Transformationsprozess in vier verknüpfte Ebenen – Input, Output, Outcome und Impact –, die keine lineare Ursache-Wirkungs-Kette, sondern Bestandteile eines dynamischen Gesamtprozesses sind. Aufgrund der Forschungsfokussierung der Roadmap sind die Ebenen Output und Outcome zentral.

Input: Gesellschaftliche, politische und institutionelle Rahmenbedingungen

Die Input-Ebene umfasst die regulatorischen, förderpolitischen und institutionellen Voraussetzungen, die Forschung, Innovation und Transformation erst ermöglichen – etwa beschleunigte administrative Verfahren, faire ökonomische Rahmenbedingungen und Anreize, verbindliche Betriebsstandards sowie gesellschaftliche Akzeptanz, Qualifizierung und Fachkräfteentwicklung. Im Status quo entscheidet sich das Umsetzungstempo der Energiewende vor allem über rechtliche Verfahren, tragfähige Geschäfts- und Akteursmodelle sowie den industrie- und geopolitischen Rahmen.

Bis 2030 sollen regulatorische Anerkennung und Bewertungslogiken, soziale Sicherungsmechanismen, institutionelle Zuständigkeiten sowie Preis- und Anreizregeln aufgebaut sein; bis 2035 sollen Standardisierung und Vergleichbarkeit Skalierung, Interoperabilität und Kostensenkung ermöglichen. Bis 2040 sollen diese Rahmenbedingungen zunehmend krisenfest und adaptiv gegenüber sich wandelnden – etwa geopolitischen – Entwicklungen werden. Die Input-Ebene bildet damit keinen statischen Rahmen, sondern eine lernfähige Grundlage für den eigentlichen wissenschaftlichen Beitrag.

Output: Der wissenschaftliche Beitrag zur Klimaneutralität

Im Zentrum der Roadmap steht die Forschung, denn Klimaneutralität 2040 ist nicht durch den Ausbau einzelner Technologien allein erreichbar, sondern bedarf einer wissenschaftlichen Begleitung für die Integration eines erneuerbaren Energiesystems. . Wissenschaft übernimmt dabei eine doppelte Rolle: Sie entwickelt neue technische, digitale und systemische Lösungen und schafft zugleich die Wissensgrundlagen, um Wechselwirkungen, Zielkonflikte und Skalierungsfragen frühzeitig zu erkennen.

Aktuell liegt der Forschungsschwerpunkt auf dem analytischen Verständnis zentraler Systemgrundlagen: Energiesysteme, Netze und Infrastruktur; Governance, Geschäftsmodellen und Regulierung; Industrie, Digitalisierung und Ressourcen (Digitalisierung als Enabler, nicht als Selbstzweck); sowie Mobilität und sektorale Transformation.

Bis 2030 verschiebt sich der Fokus zur Integration, digitalen Durchdringung und praktischen Erprobung – zentrale Forschungsfelder sind die Sektorkopplung und Flexibilitätsoptionen, digitale Energiesysteme und Systemmodellierung, Governance- und Entscheidungsprozesse, Reallabore und Demonstratoren, Forschung in der Leistungselektronik und Hardware-Innovationen, Gesellschaft/Akzeptanz/Wissens-systeme sowie Raumplanung und Flächennutzung.

Von 2030 bis 2035 rücken skalierte, systemreife Lösungen in den Vordergrund: Offshore-Energiesysteme und hybride Erzeugung, Wasserstoff- und Power-to-X-Systeme, hybride Netze und Systembetrieb, Speichertechnologien, Kreislaufwirtschaft, autonome Mobilität, maritime Sicherheitssysteme sowie die Weiterentwicklung von Reallaboren zu Experimentierräumen für die Systemtransformation.

Für die Zeit nach 2035 verzichtet die Roadmap bewusst auf weitere übergreifende wissenschaftliche Schwerpunkte – ein Ausdruck reflektierten Umgangs mit den Grenzen strategischer Vorausschau, nicht eines Defizits: Wissenschaft agiert hier in lernenden, adaptiven Prozessen statt in starren Zielbildern. Im Kern liegt der Beitrag der Wissenschaft also darin, Systemverständnis zu schaffen, Integration zu ermöglichen und Lernprozesse zu strukturieren – wissenschaftliche Outputs sind Bausteine eines Transformationswissens, das politische Entscheidungen, wirtschaftliche Investitionen und gesellschaftliche Aushandlungsprozesse fundiert.

Outcome: Wirkung in Sektoren und Anwendungen

Die Outcome-Ebene beschreibt, wie sich diese wissenschaftlichen Erkenntnisse und technologischen Entwicklungen in konkrete Wirkungen in Sektoren und Anwendungen übersetzen – den Übergang von ersten, vergleichbaren Effekten hin zu integrierten, flexiblen und resilienten Systemen. Im Status quo lassen sich Technologien und Maßnahmen zunehmend bewerten und vergleichen; erste sektorale Effekte zeigen sich durch Effizienzsteigerung, Technologiewechsel und Nachfrageanpassung.

Bis 2030 sollen Akteure informierte, koordinierte Entscheidungen treffen können, das Strom- und Energiesystem datenbasiert transparent und flexibel steuerbar sein, klimaneutrale Technologien industriell und sektorübergreifend skaliert werden und wirksame Markt- und Preisanreize für Flexibilität und Effizienz greifen.

Von 2030 bis 2035 soll Mobilität flächendeckend klimaneutral und vernetzt organisiert sein, sollen Energiesysteme sektorübergreifend integriert und hochflexibel arbeiten, Wasserstoff- und Speichertechnologien technisch ausgereift und systemdienlich integriert sein, Netze auf Dezentralität und digitale Steuerung ausgelegt sein und sich Methoden integrierter Planung etablieren.

Bis 2040 soll die Energieversorgung vollständig auf erneuerbaren Quellen basieren und systemisch effizient organisiert sein, sollen unvermeidbare Emissionen systematisch erfasst, genutzt oder gespeichert werden, Energiesysteme robust gegenüber Störungen sein, Wasserstoff international eingebunden sein und Mobilität wie Raumplanung klimaneutral und ressourcenschonend organisiert sein.

Entscheidend ist dabei stets das Zusammenspiel von Technologien, Marktmechanismen und Akteursentscheidungen. Die Outcome-Ebene macht sichtbar, wo Transformation tatsächlich greift – im Betrieb von Energie- und Verkehrssystemen, in industriellen Wertschöpfungsketten und in der praktischen Umsetzung –, und wie Forschung dazu beiträgt, diese Wirkungen systematisch zu ermöglichen und zu stabilisieren.

Impact: Langfristige gesellschaftliche Wirkung

Die Impact-Ebene bildet den strategischen Orientierungshorizont der Roadmap: Klimaneutralität bis 2040, gekoppelt mit sicherer und bezahlbarer Energieversorgung, resilienten Infrastrukturen, nachhaltiger Ressourcennutzung und langfristiger Wettbewerbsfähigkeit von Wirtschaft und Industrie. Forschung macht hierzu Wirkungszusammenhänge transparent, hält Zielkonflikte sichtbar und liefert belastbare Entscheidungsgrundlagen, damit sich Schleswig-Holstein als klimaneutraler, wettbewerbsfähiger Energie-, Industrie- und Wirtschaftsstandort etablieren kann.

I.IV. Transformationspfade zur Klimaneutralität 2040

Die Roadmap verdichtet die vier Wirkungsebenen zu vier beispielhaften, nicht abschließenden Transformationspfaden, die zeigen, wie Entwicklungen zeitlich aufeinander aufbauen: „Erneuerbare und resiliente Infrastrukturen" (von digitalen Energiesystemmodellen über den Ausbau hybrider Netze, Speicher- und Wasserstofftechnologien bis zu einer bezahlbaren, resilienten und souveränen Energieversorgung), „Governance und soziale Teilhabe" (von Wissens- und Planungssystemen über Verteilungswirkungen und Dialogformate bis zu einem klimaneutralen, sozial stabilen und demokratisch legitimierten Energiesektor), „Zukunftsfähige Wohn- und Verkehrskonzepte" (von Digitalisierung und Raumplanung über die Skalierung autonomer Mobilität bis zu klimaneutraler Mobilität und Gebäudebetrieb als gesellschaftliche Grundversorgung) sowie „Innovation, Transfer, Wirtschaft" (von umsetzungsfähigen Geschäfts- und Akteursmodellen über gestärkte Wertschöpfung und Wettbewerbsfähigkeit bis zu einer ausgereiften Wasserstoff- und Speicherökonomie als Rückgrat des Industriestandorts).

I.V. Von der Roadmap zur Umsetzung

Aus der Energiewendeforschungs-Roadmap können erste Handlungsoptionen abgeleitet werden. Zu diesen gehören beispielsweise:

- der Aufbau und die Koordination leistungsfähiger, sektorübergreifend verbundener Forschungs-Infrastrukturen (Strom-, Wärme- und Wasserstoffnetze, Speicher, Ladeinfrastruktur, digitale Steuerung) bspw. für Reallabore.
- Integration und Abgleich der Themen und Inhalte der Fokusfelder des Landeskompetenzzentrums Energiewendeforschung mit den Themen der Energiewendeforschungs-Roadmap und vice versa, um einen möglichst umfassenden Blick zu bekommen.
- der gezielte Einsatz von Reallaboren, Demonstrationsprojekten, Anwendungszentren und Testinfrastrukturen für alle Fokusfelder sowie die enge Zusammenarbeit von Wissenschaft, Wirtschaft, Kommunen und Politik, verbunden mit früher Beteiligung, Transfer, Transparenz, Bildung und sozialer Gerechtigkeit als Voraussetzung gesellschaftlicher Akzeptanz.

In einem weiteren Schritt werden aus der Roadmap konkrete, für Schleswig-Holstein zentrale Flagship-Maßnahmen abgeleitet. Diese interdisziplinären Leuchtturmprojekte sollen den Beitrag der Forschung zur Klimaneutralität stärken. Sie werden für jedes Fokusfeld mit Forschenden und Praxisakteuren identifiziert, geschärft und geben der Politik konkrete Handlungsoptionen.

I.VI. Fazit und Ausblick

Klimaneutralität 2040 in Schleswig-Holstein hängt wesentlich von der kontinuierlichen wissenschaftlichen Begleitung des Transformationsprozesses ab: Die Energiewendeforschungs-Roadmap versteht sich dabei als lernendes und adaptives Instrument, das kontinuierlich fortgeschrieben und in den Fokusfeldern thematisch vertieft wird. Die Flagship-Maßnahmen übersetzen diesen konzeptionellen Rahmen in konkrete, priorisierte Handlungsoptionen für die Landespolitik und bieten damit Ansatzpunkte, wie Forschung in Schleswig-Holstein gezielt entlang der Energiewendeforschungs-Roadmap vorangebracht werden kann

1. Hintergrund und Zielsetzung der Roadmap

Schleswig-Holstein verfolgt das Ziel, bis 2040 Klimaneutralität zu erreichen und sich gleichzeitig als international wettbewerbsfähiger Industriestandort zu etablieren. Mit dem Modell des „klimaneutralen Industrielandes 2040" definiert das Land eine langfristige Transformationsperspektive, in der die Windenergie als eines der zentralen Elemente für die Dekarbonisierung des Energiesystems fungiert. Die rechtliche Grundlage hierfür bildet das Energiewende- und Klimaschutzgesetz Schleswig-Holstein, das die langfristigen Klimaschutzziele des Landes verankert und den Rahmen für den Transformationspfad zur Klimaneutralität festlegt.

Das Landeskompetenzzentrum Energiewendeforschung bei der EKSH hat unter Einbezug aller schleswig-holsteinischen Hochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Stakeholdern aus Verbänden und Verwaltung eine Energiewendeforschungs-Roadmap erarbeitet. Ziel der Roadmap ist es, die Forschungsaktivitäten im Land strategisch auszurichten und einen gemeinsamen Orientierungsrahmen für Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft zu schaffen. Die Arbeit an der Roadmap begann mit einem Auftaktworkshop in Kiel im Dezember 2025, in den Vertreterinnen und Vertreter aller Fokusfelder des Landeskompetenzzentrums Energiewendeforschung (*Wind, Wasserstoff, Netzintegration, Leistungselektronik & Batteriespeicher, Mobilität, Gesellschaftliche Transformation und Gebäude & Wärme*) sowie von weiteren Forschungseinrichtungen und Wirtschaftsverbänden Themenfelder, Forschungsfragen und Entwicklungsperspektiven einbringen konnten. Dieser Workshop befasste sich mit den methodischen Grundlagen des „Visual Roadmapping" und insbesondere der vom Institut für Innovation und Technik (iit) entwickelten „IOOI-Logik" (siehe Kapitel Methodik). Die dort erarbeiteten Ergebnisse bildeten die Grundlage für die Priorisierung der identifizierten Forschungsbedarfe und deren Zusammenführung zu Transformationspfaden in der Roadmap. Zudem hatten alle Teilnehmenden und Akteure die Gelegenheit, die vorläufigen Ergebnisse zu kommentieren. Das Team des Landeskompetenzzentrums Energiewendeforschung hat die Beiträge konsolidiert und redaktionell bearbeitet.

Außerdem verfolgt die Roadmap das Ziel, Fördermittel nach Schleswig-Holstein zu leiten, indem die Förderkulisse auf Bundes- und EU-Ebene durch Aufzeigen der Forschungsbedarfe dahingehend gestaltet wird, dass diese gewinnbringend in Förderprogramme einfließen können. Zusätzlich kann der Landesförderfonds Energiewendeforschung (LEF) strategisch auf die „technologischen Innovationen und wissenschaftlichen Erkenntnisse (Outputs)" der Roadmap ausgerichtet werden, um gezielt eine Anschubfinanzierung für Forschungsthemen entlang der Roadmap zu leisten.

2. Methodik „Visual Roadmapping"

Das Landeskompetenzzentrum Energiewendeforschung Schleswig-Holstein setzt die Methodik „Visual Roadmapping" ein, um unterschiedliche Perspektiven, Bedarfe und Visionen aus Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft zusammenzuführen. Damit dient die Roadmap den Forschenden selbst zur Ausrichtung ihrer Forschung, Hochschulpräsidien zur Schwerpunktsetzung sowie Energiepolitik, Wirtschaft und Gesellschaft zur Orientierung.

Visual Roadmapping ist ein **Orientierungsinstrument der strategischen Vorausschau**, mit dem komplexe Transformationsprozesse über längere Zeiträume hinweg strukturiert betrachtet werden können. Es wird eingesetzt, um **mögliche Transformationspfade** sichtbar zu machen, Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Themenfeldern zu verstehen

und langfristige Zielbilder mit heutigen Entscheidungen in Beziehung zu setzen. Der Prozess zielt dabei nicht auf Prognosen, sondern auf **Orientierung und gemeinsame Verständigung**. Er hilft dabei, **Komplexität handhabbar** zu machen, ohne sie zu reduzieren. Es zeigt auf, welche **Entwicklungen** zeitlich aufeinander aufbauen, wo **Abhängigkeiten** bestehen und an welchen Stellen gezielte Impulse besonders wirksam sein können. In der Energiewende, die durch Unsicherheiten, dynamische Rahmenbedingungen und vielfältige Akteurskonstellationen geprägt ist, unterstützt Visual Roadmapping den Dialog über Prioritäten und mögliche Entwicklungspfade.

Gleichzeitig ist die ausgearbeitete Roadmap kein Umsetzungs- oder Maßnahmenplan. Sie ersetzt weder politische Entscheidungen noch detaillierte Fach- oder Investitionsplanungen. Sie abstrahiert bewusst von einzelnen Technologien und kurzfristigen Maßnahmen, um eine **konzeptionelle Gesamtsicht** zu ermöglichen. Ihr Mehrwert liegt darin, Lernprozesse zu strukturieren, unterschiedliche Sichtweisen zu integrieren und **strategische Orientierung** für die weitere Ausarbeitung zu geben. Dabei werden **notwendige Zwischenschritte** auf dem Weg zur Klimaneutralität 2040 sichtbar gemacht und der **Beitrag wissenschaftlicher Forschung** hervorgehoben, der erforderlich ist, um ambitionierte Zielsetzungen in **umsetzbare Transformationspfade** zu überführen.

In der in diesem Kontext verwendeten Methodik des „Visual Roadmapping“ wurden zwei komplementäre Perspektiven eingesetzt.

Backcasting geht vom zukünftigen Ziel des klimaneutralen Industrielandes Schleswig-Holstein aus und arbeitete rückwärts, um die erforderlichen Schritte zu bestimmen. Von der Zielperspektive 2040 wird rückwärts analysiert:

- welche systemischen Veränderungen (Outcome) bis dahin erreicht sein müssen,
- welche technologischen und nicht-technologischen Ergebnisse (Output) benötigt werden,
- welche Rahmenbedingungen (Input) vorab zu schaffen sind.

Roadmapping ordnet und visualisiert die relevanten Zusammenhänge und zentralen Meilensteine zeitlich ein. Von der Gegenwart aus werden zeitliche Sequenzen, Meilensteine, kritische Entscheidungen und Abhängigkeiten vorwärts kartiert, wobei der Status quo bestehende und chronologisch übergreifende Themen umschreibt.

Die Kombination beider Methoden ermöglicht ein konsistentes Verständnis der notwendigen Transformationspfade. Die Zeitachse wird nicht kontinuierlich, sondern in 5-Jahres-Zeiträumen von z. B. 2030 bis 2035 angegeben.

2.1. Die vier Dimensionen

Die Roadmap wird entlang einer Zeitachse von heute bis 2040 als Zielperspektive entwickelt. Vertikal gliedert sie den Transformationsprozess in **vier kohärente Dimensionsebenen**, die sowohl den Forschungs- und Innovationsprozess als auch die daraus resultierenden gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Veränderungen abbilden. Die Struktur orientiert sich an der Logik von Input, Output, Outcome und Impact (IOOI) und dient als methodischer Rahmen, um Entwicklungsprozesse, Wechselwirkungen und Transformationspfade der Energiewende systematisch darzustellen. Die Ebenen sind dabei nicht als lineare Ursache-Wirkungs-Kette zu verstehen, sondern als eng miteinander verknüpfte Bestandteile eines dynamischen Transformationsprozesses.

Input
Gesellschaftliche, politische und institutionelle Rahmenbedingungen

Die Input-Ebene umfasst die Rahmenbedingungen und Voraussetzungen, um die Forschung, Innovation und Transformation in der Energiewendeforschung zu ermöglichen oder zu beeinflussen.

Dazu zählen regulatorische Vorgaben, Normen und Standards, förderpolitische Instrumente und Programme auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene sowie institutionelle, organisatorische, infrastrukturelle und gesellschaftliche Voraussetzungen, die Forschungs-, Innovations- und Transformationsprozesse ermöglichen und strategisch ausrichten. Hierzu gehören beispielsweise beschleunigte administrative Verfahren, faire und nachvollziehbare ökonomische Rahmenbedingungen und Anreize sowie eine verbindliche Regulierung von Betriebsstandards für einen flexiblen Systembetrieb. Ebenso spielen gesellschaftliche Akzeptanz, Qualifizierung, Fachkräfteentwicklung sowie (geo-)politische Zielsetzungen eine entscheidende Rolle. Dabei werden die Anforderungen aus den angestrebten Zielzuständen und Wirkungen rückblickend analysiert, um die notwendigen Voraussetzungen für deren Erreichung abzuleiten.

Output
Technologische Innovationen und wissenschaftliche Erkenntnisse

Die Output-Ebene stellt dar, welche wissenschaftlichen Erkenntnisse, methodische Ansätze und technologischen Innovationen für eine erfolgreiche Transformation des Energiesystems erforderlich sind.

Die Roadmap verdeutlicht, dass Klimaneutralität bis 2040 nicht durch einzelne Technologien allein erreicht werden kann, sondern auf einer kontinuierlichen wissenschaftlichen Begleitung, der Integration komplexer Energie-, Mobilitäts-, Wärme- und Infrastruktursysteme sowie auf der aktiven Gestaltung von gesellschaftlichen Transformationsprozessen beruht. Forschung übernimmt dabei eine doppelte Rolle: Einerseits entwickelt sie technische, digitale und systemische Lösungen, andererseits schafft sie die Wissensgrundlagen, um Wechselwirkungen, Zielkonflikte, Skalierungsfragen und Systemeffekte frühzeitig zu erkennen und zu bewerten. Zu den Ergebnissen zählen neue Technologien, Konzepte, Methoden, Werkzeuge, Demonstratoren, Analysen und Bewertungsansätze, die als Grundlage für die praktische Umsetzung der Transformation dienen können.

Outcome
Wirkungen in Sektoren und Anwendungen

Die Outcome-Ebene beschreibt die Überführung wissenschaftlicher Erkenntnisse und technologischer Entwicklungen in konkrete Anwendungen und Veränderungen innerhalb der relevanten Sektoren. Sie macht sichtbar, wo Transformation konkret wirksam wird und wie Forschung dazu beiträgt, Veränderungen zu ermöglichen und zu beschleunigen.

Im Mittelpunkt stehen die Transformation und Systemdienlichkeit von Energie-, Wärme- und Verkehrssystemen, der Aufbau und Integration einer Wasserstoffwirtschaft sowie die Nutzung von Leistungselektronik und Batteriespeichern zur Erhöhung von Flexibilität, Effizienz und Resilienz. Die Ebene umfasst die gesamte Bandbreite von der Erzeugung über Transport, Speicherung und Verteilung bis hin zur Nutzung von Energie in Industrie, Mobilität, Gebäuden und weiteren Anwendungsbereichen. Entscheidend ist, die Akzeptanz neuer Technologien und Infrastrukturen zu stärken und gesellschaftliche Teilhabe zu etablieren.

Impact
Langfristige Wirkungen und Zielperspektiven

Die Impact-Ebene betrachtet die langfristigen gesellschaftlichen, wirtschaftlichen, institutionellen als auch ökologischen Wirkungen der Transformation. Sie bildet den strategischen Orientierungshorizont der Roadmap und umfasst die übergeordneten Zielzustände, die durch das Zusammenwirken technologischer, politischer und gesellschaftlicher Entwicklungen erreicht werden sollen.

Im Zentrum steht das Ziel der Klimaneutralität bis 2040, gekoppelt mit einer sicheren und bezahlbaren Energieversorgung, der Stärkung resilienter Infrastrukturen, der nachhaltigen Nutzung von Ressourcen sowie der langfristigen Wettbewerbsfähigkeit von Wirtschaft und Industrie. Forschung leistet hierzu einen zentralen Beitrag, indem sie Wirkungszusammenhänge transparent macht, Zielkonflikte sichtbar hält und belastbare Entscheidungsgrundlagen bereitstellt. Auf dieser Basis kann sich Schleswig-Holstein als innovativer, klimaneutraler und wettbewerbsfähiger Energie-, Industrie- und Wirtschaftsstandort etablieren, der sowohl wirtschaftliche Leistungsfähigkeit, Versorgungssicherheit als auch gesellschaftliche Akzeptanz und ökologische Verantwortung dauerhaft miteinander verbindet.

Zusammenspiel der Ebenen

Die vier Dimensionsebenen bilden gemeinsam die methodische Grundlage der Energiewendeforschungs-Roadmap. Durch ihre Verknüpfung wird nachvollziehbar, wie gesellschaftliche und politische Rahmenbedingungen, Forschungsaktivitäten, technologische Entwicklungen, Anwendungsprozesse und langfristige Wirkungen zusammenhängen. Gleichzeitig ermöglicht die Struktur eine transparente Einordnung von Forschungsthemen, Innovationspfaden und Transformationsprozessen über die verschiedenen Fokusfelder hinweg. Dadurch entsteht ein konsistenter Orientierungsrahmen, der die strategische Ausrichtung von Forschung und Innovation unterstützt und die Energiewende in Schleswig-Holstein bis 2040 systematisch begleitet.

2.2. Transformationspfade

Im Prozess des Roadmappings identifizierten die Koordinatorinnen und Koordinatoren der Fokusfelder des Landeskompetenzzentrums Energiewendeforschung zentrale Transformationspfade, die aufzeigen, wie wissenschaftliche Erkenntnisse und technologische Entwicklungen schrittweise zur Erreichung der Klimaneutralität in Schleswig-Holstein im Jahr 2040 beitragen können. Diese Transformationspfade strukturieren die komplexe Gesamtentwicklung in nachvollziehbare, zeitlich und kausal verknüpfte Entwicklungslinien und verdeutlichen das Zusammenspiel der verschiedenen Impulse. Das heißt, wie sich technologische, infrastrukturelle, regulatorische und gesellschaftliche Entwicklungen innerhalb der Roadmap bis 2040 entfalten müssen auf dem Weg zur Klimaneutralität.

Die entwickelten Transformationspfade sind bewusst nicht als abschließende oder vollständige Abbildung aller relevanten Forschungsbedarfe zu verstehen. Sie erheben keinen Anspruch darauf, sämtliche notwendigen Entwicklungen innerhalb eines Forschungsfeldes zu erfassen oder andere Handlungsbedarfe auszuschließen. Vielmehr identifizieren sie zentrale Entwicklungslinien, entlang derer wissenschaftliche Beiträge in Schleswig-Holstein wirksam zur Umsetzung der Energiewende beitragen können.

2.3. Abgleich mit den sieben fokusfeldspezifischen Roadmaps

Ausgehend von der Energiewendeforschungs-Roadmap Schleswig-Holstein, die den notwendigen Beitrag von Wissenschaft und Forschung zum Gelingen der Energiewende systematisch beschreibt, wurden für jedes der sieben Fokusfelder eigenständige forschungsfeldspezifische Roadmaps entwickelt.

Die Energiewendeforschungs-Roadmap definiert dabei, welche Beiträge (Outputs) insgesamt erforderlich sind, um die angestrebten Transformationspfade zur Klimaneutralität 2040 konsistent zu erreichen. Sie macht sichtbar, welchen Beitrag die einzelnen Fokusfelder jeweils leisten müssen, damit sich die verschiedenen Entwicklungslinien zu einem tragfähigen Gesamtsystem zusammenfügen.

Die fokusfeldspezifischen Roadmaps erfüllen damit **zwei komplementäre Funktionen**:

Erstens greifen sie die in der Energiewendeforschungs-Roadmap identifizierten notwendigen Beiträge des jeweiligen Forschungsfeldes auf und **konkretisieren diese entlang fachlicher Fragestellungen, technologischer Entwicklungen und systemischer Anforderungen.** Sie zeigen auf, wie das jeweilige Forschungsfeld zum Gelingen der Energiewende insgesamt beiträgt und welche **spezifischen Entwicklungs- und Forschungsbedarfe** sich daraus ableiten.

Zweitens sind die fokusfeldspezifischen Roadmaps als **eigenständige strategische Forschungsagenden** zu verstehen. Sie strukturieren die fachliche Weiterentwicklung innerhalb des jeweiligen Feldes und **formulieren prioritäre Themen, Fragestellungen und Entwicklungspfade**. Damit leisten sie nicht nur einen Beitrag zur Energiewende im engeren Sinne, sondern adressieren zugleich übergreifende Herausforderungen der sozial-ökologischen Transformation und tragen zur langfristigen Stärkung von Innovationsfähigkeit, Wertschöpfung und gesellschaftlicher Resilienz bei.

In der anschließenden Synthese werden die Ergebnisse der fokusfeldspezifischen Roadmaps wieder in die übergreifende Perspektive integriert und Inhalte abgeglichen. Auf diese Weise entsteht ein iterativer Gesamtprozess, der sowohl die Kohärenz zwischen den Fokusfeldern sicherstellt als auch Raum für fachliche Differenzierung und Weiterentwicklung lässt.

3. Energiewendeforschungs-Roadmap Schleswig-Holstein

Die Energiewendeforschungs-Roadmap beschreibt die Rolle von Forschung und Wissenschaft auf dem Weg zur Klimaneutralität Schleswig-Holsteins bis 2040. Sie wurde in einem partizipativen Prozess mit Hochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie Vertreterinnen und Vertretern aus Wirtschaft und Verwaltung entwickelt und dient als strategische Grundlage für die Ausrichtung künftiger Forschungs- und Innovationsaktivitäten.

3.1. Rahmenbedingungen, Beitrag und Wirkung

Die Energiewendeforschung in Schleswig-Holstein bietet eine zentrale Grundlage für das Gelingen der klima- und energiepolitischen Ziele bis 2040. Vor dem Hintergrund steigender Anforderungen an Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umsetzung liefert sie wissenschaftliche Erkenntnisse und technologische Innovationen für den Umbau des Energiesystems. Ihr Beitrag umfasst die Entwicklung und Integration erneuerbarer

Energien, Speichertechnologien, intelligenter Netze, Wasserstofftechnologien, Mobilitätslösungen, gesellschaftliche Teilhabe, Wärmeerzeugung und Nutzung sowie sektorübergreifender Lösungen. Die Wirkung der Energiewendeforschung zeigt sich insbesondere in der Möglichkeit der Beschleunigung von Transformationsprozessen, der Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit und der Reduktion von Treibhausgasemissionen. Damit schafft sie wesentliche Voraussetzungen für eine klimaneutrale, resiliente und zukunftsfähige Energieversorgung bis 2040. Im Folgenden werden die vier Ebenen der Energiewendeforschungs-Roadmap zusammengefasst, um einen Überblick auf Themen und Zeithorizonte zu geben.

3.2. Input: Gesellschaftliche, politische und institutionelle Rahmenbedingungen

Input – Status quo: Umsetzungstempo, Geschäftsmodelle, Geopolitik

- Es werden beschleunigte rechtliche und administrative Verfahren benötigt. Es steht außer Frage, dass rechtliche Rahmenbedingungen das Umsetzungstempo der Energiewende beeinflussen.
- Umsetzungsfähige Geschäfts- und Akteursmodelle sind unabdingbar, denn eine breit wirksame Transformation erfordert Geschäftsmodelle, die auf handelnde Akteure ausgerichtet sind.
- Der industriepolitische und geopolitische Rahmen ist ausschlaggebend, da die Energiewende in internationale Wettbewerbs- und Machtverhältnisse eingebettet ist.

Input 2025–2030: Institutionelle Stabilisierung und tragfähige Anreize

- Regulatorische Anerkennung und Bewertungslogiken sind erstellt: sie definieren, was als klimaneutral, förderfähig und wirksam gilt.
- Soziale Sicherungs- und Unterstützungsmechanismen etabliert und verhindern strukturelle Verwerfungen.
- Institutionelle Zuständigkeiten, Entscheidungsstrukturen und Koordinationsmechanismen sind aufgebaut und handlungsfähig.
- Preis-, Anreiz- und Marktregeln des Energiesystems sind aufgestellt und schaffen ökonomische Rahmenbedingungen als konsistente Anreize für klimaneutrale Entscheidungen.
- Die Wissens-, Fachkräfte- und Innovationsinfrastruktur ist eine wesentliche Voraussetzung: Personelle, akademische und unternehmerische Kapazitäten für Transformation sind institutionell verankert.
-

Input 2030–2035: Fortschritt durch Standardisierung und Vergleichbarkeit

- Bewertungs- und Anreizsysteme erfassen Umweltwirkungen systematisch und vergleichbar.
- Regulatorische Vorgaben und technische Standards ermöglichen einen sicheren, effizienten und flexiblen Systembetrieb.

- Standardisierte Prozesse und Regeln ermöglichen Skalierung, Interoperabilität und Kostensenkung.
- Verbindliche Regulierung und Betriebsstandards ermöglichen einen sicheren, effizienten und flexiblen Systembetrieb.
- Interdisziplinär abgestimmte Rahmenbedingungen sind definiert und sichern das Gelingen der Energiewende.

Einordnung 2035–2040: Krisenfeste und adaptive Rahmenbedingungen

Alle zuvor genannten strukturellen, politischen und gesellschaftlichen Voraussetzungen eines Prozesses sind erfüllt und weiterentwickelt, wobei die Anpassungsfähigkeit und Geschwindigkeit auf z.B. sich ständig ändernde geopolitische Rahmenbedingungen zunehmen muss.

Fazit

Die Input-Ebene der Roadmap macht deutlich, dass gesellschaftliche, politische und institutionelle Rahmenbedingungen eine zentrale Voraussetzung für das Gelingen der Energiewende bis 2040 in Schleswig-Holstein sind.

Klare Regeln, tragfähige Anreizstrukturen und leistungsfähige Institutionen ermöglichen es, wissenschaftliche Erkenntnisse, technologische Entwicklungen und gesellschaftliche Interessen miteinander zu verbinden. Die Input-Ebene bildet damit keinen statischen Rahmen, sondern eine lernfähige Grundlage, die Anpassung, Skalierung und Stabilisierung der Transformation über den gesamten Zeitraum hinweg unterstützt.

3.3. Output: Technologische Innovationen und wissenschaftliche Erkenntnisse

Diese Ebene wird im nachfolgenden Abschnitt ausführlicher beschrieben als die übrigen drei Ebenen, da hier der Fokus der Forschungsarbeit zu verorten ist, der sich in den anderen Ebenen fortschreibt, respektive von der Input-Ebene beeinflusst wird.

Der wissenschaftliche Beitrag zur Klimaneutralität

Die vorliegende Roadmap macht deutlich, dass Klimaneutralität 2040 nicht allein durch den Ausbau einzelner Technologien erreichbar ist, sondern auf einer kontinuierlichen wissenschaftlichen Begleitung, Weiterentwicklung und Integration komplexer Energiesysteme beruht. Die Output-Ebene beschreibt dabei jene technologischen Innovationen, methodischen Ansätze und wissenschaftlichen Erkenntnisse, die notwendig sind, um politische Zielsetzungen, gesellschaftliche Erwartungen und wirtschaftliche Anforderungen in tragfähige Transformationspfade zu überführen.

Wissenschaft übernimmt in diesem Verständnis eine doppelte Rolle: Zum einen entwickelt sie neue technische, digitale und systemische Lösungen, zum anderen schafft sie die Wissensgrundlagen, um Wechselwirkungen, Zielkonflikte und Skalierungsfragen frühzeitig zu erkennen. Die Output-Ebene bildet damit das zentrale Bindeglied zwischen heutigen Forschungsaktivitäten und den späteren Wirkungen auf Energiesystem, Wirtschaft und Gesellschaft.

Output – Status quo: Grundlagen schaffen und Systeme verstehen

In der aktuellen Phase liegt der Schwerpunkt der Energiewendeforschung auf dem Verständnis und der Weiterentwicklung zentraler Systemgrundlagen. Wissenschaftliche Arbeit konzentriert sich darauf, bestehende Energiesysteme, Infrastrukturen und gesellschaftliche Rahmenbedingungen analytisch zu durchdringen und konzeptionell weiterzuentwickeln.

- Ein zentraler Fokus liegt auf Energiesystemen, Netzen und Infrastruktur. Hier arbeitet die Forschung an technischen, räumlichen und systemischen Konzepten, um die Integration erneuerbarer Energien, die Stabilität der Netze und die zukünftige Ausgestaltung der Infrastruktur zu analysieren. Diese Arbeiten schaffen die Voraussetzung, um spätere Systementscheidungen fundiert treffen zu können.
- Parallel dazu gewinnt die Forschung zu Governance, Geschäftsmodellen und Regulierung an Bedeutung. Wissenschaft untersucht institutionelle, regulatorische und ökonomische Wirkzusammenhänge der Energiewende und analysiert, wie Steuerungsmechanismen, Marktmodelle und politische Instrumente gestaltet sein müssen, um Transformation zu ermöglichen.
- Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf Industrie, Digitalisierung und Ressourcen. Hier werden wissenschaftliche Grundlagen für die Transformation energieintensiver Industrien, für digitale Anwendungen sowie für den effizienten Umgang mit Ressourcen gelegt. Digitale Technologien werden dabei nicht als Selbstzweck betrachtet, sondern als Enabler für Effizienz, Transparenz und Systemsteuerung.
- Schließlich bilden Mobilität und sektorale Transformation einen weiteren Grundpfeiler der aktuellen Output-Ebene. Wissenschaft entwickelt hier konzeptionelle Grundlagen für die klimaneutrale Integration des Verkehrs in das Gesamtsystem.

Output 2025–2030: Integration, Digitalisierung und Erprobung

In der Zeitscheibe bis 2030 verschiebt sich der wissenschaftliche Fokus von der primären Analyse hin zur Integration, digitalen Durchdringung und praktischen Erprobung von Energiesystemen. Forschung wird stärker anwendungsnah und systemisch.

- Ein zentrales Feld ist die Sektorkopplung und Flexibilitätsoptionen. Wissenschaft arbeitet an der Kopplung von Strom, Wärme, Wasserstoff und Industrie sowie an der Ausgestaltung hybrider Infrastrukturen. Ziel ist es, physische Systeme so zu gestalten, dass sie flexibel, skalierbar und resilient betrieben werden können.
- Gleichzeitig gewinnt die Arbeit an digitalen Energiesystemen und Systemmodellierung erheblich an Bedeutung. Digitale Energiesysteme, Datenmodelle und Simulationen werden entwickelt, um komplexe Zusammenhänge analysierbar zu machen und Entscheidungsprozesse zu unterstützen. Wissenschaft liefert hier Werkzeuge, mit denen Planung, Optimierung und Bewertung von Transformationspfaden möglich werden.
- Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf Governance, Entscheidungsprozessen und Systemsteuerung. Forschung entwickelt und testet neue Governance-Modelle, Entscheidungsinstrumente und Steuerungsansätze, die der Komplexität sektorübergreifender Transformationsprozesse gerecht werden.

- Mit **Reallaboren, Demonstratoren und industrieller Umsetzung** entsteht ein zentraler Output-Strang, der Lernen unter realen Bedingungen ermöglicht. Wissenschaftliche Erkenntnisse werden in Pilotanwendungen überführt, um Skalierungsfragen, Akzeptanz und technische Machbarkeit zu überprüfen.
- Flankierend dazu arbeitet die Forschung **an Leistungselektronik, Komponenten und Hardware-Innovationen.** Diese technologischen Schlüsselkomponenten sind essenziell für Effizienz, Stabilität und Resilienz zukünftiger Energiesysteme.
- Die Arbeit an Fragen rund um **Gesellschaft, Akzeptanz und Wissenssystemen** baut Grundlagen zur wissensbezogenen Kommunikation als Grundlage für eine tragfähige Energiewende auf.
- Planung und Energieeffizienz sind in **Raumplanungssystemen, Energieeffizienz und Flächennutzung** für die systemische Planung und Steuerung von Energie, Wärme, Mobilität und deren Flächen auf lokaler Ebene.

Output 2030–2035: Skalierung, Systemreife und neue Energiesysteme

In der Phase bis 2035 rücken skalierte, integrierte und systemreife Lösungen in den Vordergrund. Die Output-Ebene beschreibt hier Forschungsarbeiten, die über Einzeltechnologien hinausgehen und ganze Energiesysteme adressieren.

- Ein wichtiger Schwerpunkt sind **Offshore-Energiesysteme und hybride Erzeugung**. Wissenschaft entwickelt integrierte Konzepte, die verschiedene erneuerbare Erzeugungsformen kombinieren und Kopplung sowie Resilienzsteigerung ermöglichen.
- Eng damit verbunden sind **Wasserstoffsysteme und Power-to-X-Anwendungen**. Forschung begleitet die Skalierung von Wasserstoff- und PtX-Systemen für Industrie, maritime Anwendungen und Energiespeicherung und analysiert deren Systemwirkungen.
- Im Bereich **Energieinfrastruktur, hybride Netze und Systembetrieb** liegt der Fokus auf dem stabilen Betrieb komplexer Systeme mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. Wissenschaft liefert hier Konzepte, Modelle und Betriebsstrategien für ein hochdynamisches Energiesystem.
- Mit **Speichertechnologien** wird ein weiterer zentraler Output-Strang sichtbar. Forschung arbeitet an der Weiterentwicklung, Bewertung und Integration nachhaltiger Speicherlösungen.
- In der Forschung im Bereich **Kreislaufwirtschaft** werden Fragen der Ressourceneffizienz und Kreislaufführung adressiert.
- Ergänzt wird dies durch **autonome Mobilität** in der digitale, autonome und KI-basierte Systeme für eine klimaneutrale Mobilität erforscht werden.
- In der Forschung rund um **maritime Sicherheitssysteme** werden digitale Systeme beforscht, die eine resiliente Nutzung des Raumes ermöglichen.
- Reallabore entwickeln sich in dieser Phase zu **Experimentierräumen für Systemtransformation**, in denen komplexe Energiesysteme unter realen Bedingungen getestet und weiterentwickelt werden.

Einordnung 2035–2040: Plausible Offenheit statt Scheingenauigkeit

Für den Zeitraum nach 2035 wurden auf der Output-Ebene bewusst keine weiteren übergreifenden wissenschaftlichen Schwerpunkte definiert. Dieses Ergebnis ist plausibel und konsistent mit dem Anspruch strategischer Vorausschau. Technologische, gesellschaftliche und geopolitische Entwicklungen lassen sich über einen Horizont von mehr als zehn Jahren nur begrenzt belastbar antizipieren.

Die Roadmap macht damit transparent, dass Wissenschaft in der Energiewende nicht in starren Zielbildern, sondern in lernenden, adaptiven Entwicklungsprozessen agiert. Die Offenheit der Output-Ebene ab 2035 ist kein Defizit, sondern Ausdruck eines reflektierten Umgangs mit Unsicherheit und Komplexität.

Fazit

Die Output-Ebene der Roadmap zeigt eindrücklich, dass der Beitrag der Wissenschaft zur Klimaneutralität 2040 in Schleswig-Holstein vor allem darin liegt, Systemverständnis zu schaffen, Integration zu ermöglichen und Lernprozesse zu strukturieren. Wissenschaftliche Outputs sind dabei nicht isolierte Technologien, sondern Bausteine eines umfassenden Transformationswissens, das politische Entscheidungen, wirtschaftliche Investitionen und gesellschaftliche Aushandlungsprozesse fundiert unterstützt.

3.4. Outcome: Wirkungsebene in Sektoren und Anwendungen

Outcome – Status quo: Erste Effekte durch anwachsende Vergleichbarkeit

- Technologien und Maßnahmen können in zunehmendem Maß bewertet und vergleichbar gemacht werden.
- In einzelnen Sektoren zeigen sich bereits erste Wirkungen durch Effizienzsteigerung, Technologiewechsel und Nachfrageanpassung.

Outcome 2025–2030: Transformation durch Transparenz und Koordination

- Akteure treffen informierte, koordinierte und transparente Entscheidungen im Transformationsprozess.
- Das Strom- und Energiesystem ist datenbasiert transparent, flexibel steuerbar und systemeffizient betreibbar.
- Transformation wird durch qualifizierte Akteure getragen, akzeptiert und praktisch umgesetzt.
- Klimaneutrale Technologien werden industriell und sektorübergreifend skaliert und stärken nationale Wertschöpfungsketten.
- Markt- und Preisstrukturen setzen wirksame Anreize für Flexibilität, Effizienz und netzdienliches Verhalten.

Outcome 2030–2035: Sektorübergreifende Integration klimaneutraler Systeme

- Mobilität ist flächendeckend klimaneutral, vernetzt und bedarfsgerecht organisiert.
- Energiesysteme sind sektorübergreifend integriert, hochflexibel und robust gegenüber Volatilitäten.
- Wasserstoff- und Speichertechnologien sind technisch ausgereift, wirtschaftlich und systemdienlich integriert.
- Netze sind auf hohe Dezentralität, neue Betriebslogiken und digitale Steuerung ausgelegt.
- Klimaneutralität stärkt Wertschöpfung, Innovationsfähigkeit und soziale Fairness.

- Methoden zur integrierten Planung und Steuerung komplexer Entscheidungen etablieren sich.

Outcome 2035–2040: Vollständig erneuerbare, resiliente Systemlandschaft

- Energieversorgung basiert vollständig auf erneuerbaren Quellen und ist systemisch effizient organisiert.
- Unvermeidbare Emissionen werden systematisch erfasst, genutzt oder dauerhaft gespeichert.
- Energiesysteme sind robust gegenüber Störungen, Extremereignissen und systemischen Risiken.
- Wasserstoff ist systemisch integriert und international wirtschaftlich eingebunden.
- Mobilität und Raumplanung sind klimaneutral, integriert und ressourcenschonend organisiert.

Fazit

Die Outcome-Ebene der Roadmap zeigt, wie sich wissenschaftliche Erkenntnisse, technologische Entwicklungen und politische Rahmenbedingungen in konkrete Wirkungen in Sektoren und Anwendungen übersetzen. Sie beschreibt den Übergang von ersten, vergleichbaren Effekten hin zu integrierten, flexiblen und resilienten Systemen. Entscheidend ist dabei das Zusammenspiel von Technologien, Marktmechanismen und Akteursentscheidungen. Die Outcome-Ebene macht sichtbar, wo Transformation tatsächlich greift, im Betrieb von Energie- und Verkehrssystemen, in industriellen Wertschöpfungsketten und in der praktischen Umsetzung, und wie Forschung dazu beiträgt, diese Wirkungen systematisch zu ermöglichen und zu stabilisieren.

3.5. Impact: Langfristige Wirkungen und Zielperspektiven

Impact Status quo: Gemeinsames Ziel, begrenzte Durchdringung

- Technologische Lösungen zur Minderung unvermeidbarer Emissionen werden zunehmend akzeptiert.
- Ein sicheres und resilientes Energiesystem gilt als zentrale Voraussetzung der Transformation.
- Klimaneutralität ist als strategisches Ziel in Industrie, Innovation und Wissenschaft anerkannt, aber noch nicht durchgängig handlungsleitend.

Impact 2025–2030: Transformation wird erfahrbar

- Klimaneutralität wird als Beitrag zu Lebensqualität, Gesundheit und Alltagstauglichkeit erlebt.
- Innovation, Geschäftsmodelle und Standards machen Klimaneutralität wirtschaftlich attraktiv.
- Arbeitsmärkte und Qualifikationen entwickeln sich aktiv mit der Transformation.
- Die Energiewende wird verstanden, akzeptiert und als gemeinschaftliches Projekt getragen.
- Energie ist zuverlässig, bezahlbar und zunehmend klimaneutral verfügbar.

Impact 2030–2035: Klimaneutralität als gesellschaftlicher Standard

- Der Ausstieg aus fossilen Energien gelingt fair, inklusiv und unabhängig von individueller wirtschaftlicher Stärke.
- Klimaneutralität geht mit messbarem Schutz von Natur, Umwelt und Ressourcen einher.

- Das Energiesystem ist klimaneutral, zuverlässig und für Bürgerinnen und Bürger wie Unternehmen nachvollziehbar.
- Klimaneutrale Mobilität ist flächendeckend verfügbar und gesellschaftlicher Standard.
- Klimaneutralität stärkt den Standort und zieht zukunftsfähige Industrie an.

Impact 2035–2040: Stabiler und zukunftsfähiger Zielzustand

- Energie ist klimaneutral, bezahlbar, krisenfest und strategisch abgesichert.
- Gebäude können netzdienlich und klimaneutral betrieben werden.
- Unvermeidbare Emissionen werden verantwortungsvoll und dauerhaft kompensiert.

Ziel: Schleswig-Holstein ist 2040 ein wettbewerbsfähiger, klimaneutraler Industrie-, Energie- und Wirtschaftsstandort.

Fazit

Die Impact-Ebene der Roadmap beschreibt die langfristigen gesellschaftlichen Wirkungen der Transformation und ihren Beitrag zur Zukunftsfähigkeit des Standorts Schleswig-Holstein. Sie zeigt, wie sich aus technologischen, institutionellen und sozialen Veränderungen eine neue klimaneutrale Normalität entwickelt. Forschung leistet dabei einen zentralen Beitrag, indem sie Wirkungen nachvollziehbar macht, Zielkonflikte sichtbar hält und belastbare Grundlagen für Entscheidungen schafft. Auf dieser Basis kann sich Schleswig-Holstein als wettbewerbsfähiger, klimaneutraler Industrie-, Energie- und Wirtschaftsstandort etablieren, der Bezahlbarkeit, Resilienz und ökologische Verantwortung dauerhaft miteinander verbindet.

4. Transformationspfade zur Klimaneutralität 2040

Die Roadmap bündelt die identifizierten Forschungsbedarfe in vier beispielhafte Transformationspfade, die zentrale Entwicklungslinie und somit die wesentlichen Veränderungsprozesse auf dem Weg zur Klimaneutralität beschreiben. Diese vier Pfade sind eine Auflistung, die nicht abschließend ist. Sie verdeutlicht vielmehr, welche Möglichkeiten diese Methode bietet Kausalitäten aufzuzeigen. Andere und weitere Pfade sind denkbar.

4.1. Erneuerbare und resiliente Infrastrukturen



<<Eine bezahlbare, resiliente und souveräne Energieversorgung entsteht, wenn das Energiesystem frühzeitig als integriertes Gesamtsystem verstanden, gesteuert und weiterentwickelt wird.>>

Kurzbeschreibung

Der Weg zur Klimaneutralität im Energiesektor führt über den systematischen Aufbau von Infrastruktur, digitaler Steuerungsfähigkeit und Integration von Sektoren. Digitale Modelle, Daten und Simulationen bilden die Grundlage, um das Energiesystem analysierbar, planbar und optimierbar zu machen. Darauf aufbauend werden Energieinfrastruktur, hybride Netze und der Systembetrieb schrittweise weiterentwickelt, so dass hohe Anteile erneuerbarer Energien sicher integriert werden können und das System resilient und souverän läuft.

Entwicklungspfad

In der zweiten Hälfte der 2020er Jahre steht der Aufbau digitaler Energiesysteme und systemischer Modellierung im Mittelpunkt. Digitale Modelle, Datenräume und Simulationen ermöglichen es, Wechselwirkungen zwischen Erzeugung, Netzen, Verbrauch und Flexibilitäten sichtbar zu machen. Diese Systemkenntnis ist Voraussetzung, um Entscheidungen für Planung, Ausbau und Betrieb des Energiesystems fundiert treffen zu können. Leistungselektronik und Hardware-Entwicklungen fungieren dabei als Enabler.

Auf dieser Wissensbasis werden in den frühen 2030er Jahren Energieinfrastrukturen, hybride Netze, Speichertechnologien, Wasserstofftechnologien und der Systembetrieb gezielt weiterentwickelt. Reallabore werden genutzt, um Infrastrukturentscheidungen, Netzdesigns und Betriebsweisen zu testen und abzusichern. Forschung trägt hier dazu bei, Integrationsgrenzen erneuerbarer Energien, Flexibilitätsbedarfe und Anforderungen an die Systemstabilität präzise zu bestimmen. Der Fokus liegt auf der sicheren Integration hoher Anteile erneuerbarer Energien und auf der Beherrschung zunehmender Volatilität. Das Energiesystem wird zunehmend als zusammenhängendes System betrieben und nicht mehr entlang einzelner Sektoren oder Technologien gesteuert.

In dieser Phase entstehen auf der Wirkungsebene integrierte, flexible und resiliente Energiesysteme, die sektorübergreifend funktionieren und auf unterschiedliche Belastungen reagieren können. Diese Systemintegration bildet die Voraussetzung für den Übergang zu einer vollständig erneuerbaren und zugleich effizienten Energieversorgung in der zweiten Hälfte der 2030er Jahre.

Auf Grundlage der kontinuierlichen Weiterentwicklung wissenschaftlicher Modelle und Bewertungen wird als Impact eine bezahlbare, resiliente und souveräne Energieversorgung erreicht, die Klimaneutralität dauerhaft absichert und als stabile Grundlage für gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung dient.

4.2. Governance und soziale Teilhabe

<<Governance und soziale Teilhabe sind ein zentraler Punkt, um das Gelingen der Energiewende in einer Form zu ermöglichen, die eine breite Partizipation ermöglicht. Systeme sind so verlässlich und performant, dass möglichst alle Stakeholder sie verstehen und nachvollziehen können. So kann die Energiewende ein hohes Akzeptanz-Niveau erreichen.>>

Kurzbeschreibung

Der Umgang mit administrativen, sozialen und regulatorischen Voraussetzungen und Inhalten bildet eine Grundlage, um die Energiewende für die Gesellschaft verständlich und nachvollziehbar zu gestalten. Die Energiewende soll dabei gesellschaftliche Partizipation und Akzeptanz fördern und soziale Absicherung gewährleisten. Steuerungs- und Entscheidungsverfahren basieren auf etablierter Wissensbasis und effektiver Kommunikation, um eine sozialverträgliche und gerechte Planung und Umsetzung der Energiewende zu gewährleisten.

Entwicklungspfad

Ab Ende der 2020er Jahre werden Wissens- und Planungssysteme aufgebaut, die die Akzeptanz und das Verständnis sowohl transparent gestalten als auch fördern sollen. Wissenschaftliche Akteure entwickeln Methoden zur Kommunikation auf faktischer Basis, um kontinuierliche Grundlagen für die Energiewende zu legen. Raumplanungssysteme und Flächennutzung werden mit systemischen Ansätzen auch in lokale Prozesse integriert und können so effektiv steuern. In regulatorisch abgesicherten Innovationsräumen erproben Kommunen, Unternehmen, Wissenschaft und Gesellschaft diese integrierten Energiesysteme.

Ab Anfang der 2030er Jahre berücksichtigen energiepolitische Entscheidungen systematisch Verteilungswirkungen, Effizienzgewinne und regionale Wertschöpfung. Dauerhafte Informations- und Dialogformate und die Stärkung lokaler Lösungen erhöhen Akzeptanz und demokratische Legitimität. Die Transformation wird zunehmend als gemeinsames gesellschaftliches Projekt verstanden.

Ende der 2030er Jahre ist der Energiesektor weitgehend klimaneutral organisiert und sozial stabil eingebettet. Bezahlbare, sichere und effiziente Energieversorgung ist strukturell gewährleistet und soziale Ausgleichsmechanismen sind dauerhaft verankert. Governance und Wissenssysteme sind lernfähig und transparent ausgestaltet, so dass ein Teil der politischen Steuerung auf gesellschaftlichem und wissenschaftlichem Feedback basiert. Klimaneutralität bildet die Grundlage für gesellschaftlichen Zusammenhalt, eine stabile Wirtschaft und die Akzeptanz demokratischer Entscheidungen im Energiesektor.

In dem Entwicklungspfad richten sich Forschungsfragen darauf, die soziale Absicherung der Energiewende zu analysieren, insbesondere auf Kommunikation und Beteiligungsformate zur Vertrauensbildung. Weiterhin fokussieren sie auf strukturelle Gerechtigkeit, indem Verteilungswirkungen, regionale Wertschöpfung und Effizienz in der Planung systematisch untersucht werden. Forschungsfragen betreffen zudem institutionalisierte Bürgerbeteiligung, partizipative Governance, Wissensintegration und Monitoring sozialer Effekte, um einen klimaneutralen, sozial stabilen Energiesektor zu gestalten, der Resilienz, nachhaltige Wertschöpfung und demokratische Legitimität langfristig sichert.

4.3. Zukunftsfähige Wohn- und Verkehrskonzepte



<<Klimaneutrale und zukunftsfähige Mobilität sowie Wohn- und Gebäudesysteme werden zur gesellschaftlichen Grundversorgung, wenn gleichermaßen Mobilität als auch Wärmeerzeugung und -planung, Konstruktion von Gebäuden und Verkehrs- und Raumplanung systematisch integriert und lokal umgesetzt werden.>>

Kurzbeschreibung

Klimaneutrale Mobilität und ein dekarbonisierter Gebäudebetrieb entstehen nicht durch einzelne Verkehrs- und Versorgungstechnologien, sondern durch ein vertieftes Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Verkehr, Raum, Energie, Wärmebereitstellung und Nutzung. Digitale Modelle, übertragbare Planungsansätze sowie lokale und regionale Konzepte zur integrierten Transformation von Verkehrs- und Gebäudeinfrastruktur ermöglichen es, Komplexität zu strukturieren und Entscheidungen in beiden Bereichen evidenzbasiert vorzubereiten. Entscheidungen in diesen Bereichen sollten auf soliden und verlässlichen Kriterien aufbauen, da die Umsetzung in diesem Bereich neben der regulatorischen Basis maßgeblich durch eine sehr heterogene Gruppe an Menschen (Verbrauchende) getragen werden muss.

Entwicklungspfad

Der Entwicklungspfad setzt ab Mitte der 2020er Jahre auf gezielte Forschungsfragen im Kontext von Digitalisierung, Modellierung und Raumplanungssystemen, die die Effektivität in Energie und Fläche adressieren und interdisziplinäre Ansätze miteinander vereinen. Diese bereiten die Grundlagen für funktionsfähige Markt- und Preissignale für die Energiewende vor und somit ein verständliches und funktionales Energie- und Verkehrssystem, das Bürgerinnen und Bürger dazu animiert, klimaverträgliches Verhalten zu entwickeln.

Ab Anfang der 2030er Jahre rückt die wissenschaftlich begleitete Skalierung erfolgreicher Lösungen im Bereich der autonomen Mobilität in den Fokus. Diese Entwicklungen zahlen auf eine flächendeckende Verfügbarkeit von klimaneutraler Mobilität ein. Verständliche Umsetzung der Energiewende im Bereich des Wohnumfelds kann verlässliche Anreize für ein klimaverträgliches Verhalten schaffen und die Versorgung mit krisenfester und bezahlbarer erneuerbarer Energie sorgt für eine gute Versorgungssicherheit.

Mitte der 2030er ist die Erprobung in Reallaboren auch für den Bereich von Verkehrs- und Wohnkonzepten in der Umsetzung. Die gewonnenen Erkenntnisse spielen auch wieder in eine angepasste Basis an Inputparametern ein, die effiziente und verlässliche Systeme im Bereich der Mobilität und des Gebäudebetriebs befördern. Klimaneutrale Mobilität, eine bezahlbare, resiliente und souveräne Energieversorgung schafft gemeinsam mit einem klimaneutralen und netzdienlichen Gebäudebetrieb in den Sektoren Mobilität und Gebäude/Wohnen eine funktionierende Grundlage für ein klimaneutrales Industrieland Schleswig-Holstein 2040.

4.4. Innovation, Transfer, Wirtschaft



<<Innovationen aus der Wissenschaft finden den Weg schnell hin zu einem Transfer in gesellschaftlich und wirtschaftlich gewinnbringende Lösungen und Produkte.>>

Kurzbeschreibung

Klimaneutralität gelingt dauerhaft nur, wenn die Innovationszyklen direkt von der Wissenschaft in die gesellschaftliche oder wirtschaftliche Umsetzung kommen und der Transfer innerhalb der verschiedenen Ökosysteme praktisch umsetzbar ist. Das bedeutet, dass technische und soziale Innovation möglichst schnell eine Entwicklung als Produkt oder politische Maßnahme bewirken.

Entwicklungspfad

Diese Entwicklungen basieren auf umsetzungsfähigen Geschäfts- und Akteursmodellen im Status quo. Die Forschungsanstrengungen werden, vor allem im Bereich der Leistungselektronik, bereits in industrielle Anwendungen überführt. Ende der 2020er Jahre ermöglichen diese und weitere Innovationspfade eine gestärkte nationale Wertschöpfung und technologische Wettbewerbsfähigkeit. Diese wiederum erleben auf dem Weg zu Klimaneutralität einen selbstverstärkenden Effekt und führen Anfang der 2030er Jahre zu einem Zuwachs in Wertschöpfung, Innovationsfähigkeit und sozialer Fairness. Wissenschaftliche Akteure übernehmen dabei eine aktive Rolle als Initiatoren, Übersetzer und Reflexionsinstanzen. Ab Anfang der 2030er Jahre rückt die wissenschaftlich begleitete Skalierung erfolgreicher Lösungen in den Vordergrund und es bilden sich neue Akteursmodelle, die Systemdienstleister, Plattformbetreiber und industrielle Ankerkunden einbinden, um den Markthochlauf zu beschleunigen.

Die Nutzung von dezentral und kleinteilig erzeugter erneuerbarer Energie macht Speichertechnologien immer mehr zu einem integralen Bestandteil der erfolgreichen Energiewende. Anfang der 2030er sind hierfür leistungsfähige und innovative Lösungen im Fokus von wissenschaftlichen Projekten. Diese ermöglichen ein flexibles und resilientes Energiesystem. Die Wasserstoff- und Speicherökonomie ist Mitte der 2030er Jahre so weit fortgeschritten, dass die Wertschöpfung in Schleswig-Holstein davon maßgeblich profitiert. Diese Entwicklungen machen den Standort Schleswig-Holstein insgesamt zu einem wettbewerbsfähigen Standort, auch für die industrielle Transformation. Zukunftsfähige und energieintensive Industriezweige profitieren auf dieser Ebene von der Verfügbarkeit erneuerbarer Energie im Land, um die Umsetzung von wissenschaftlicher Innovation ebenfalls unternehmerisch zu begleiten.

In diesem Entwicklungspfad richten sich Forschungsfragen darauf, wie Wissenschaft im Rahmen von Transfer- und Innovationsräumen dauerhaft als aktiver Gestaltungsakteur im Energiesystem wirken kann. Von zentraler Bedeutung ist dabei, wie Erkenntnisse aus Innovationsräumen künftig in die Regulierung und den Markt integriert werden können. Ergänzend kann wissenschaftlich untersucht werden, wie moderierte Transformationsprozesse gesellschaftliche Akzeptanz, Teilhabe und Legitimität innovationsgetriebener Energiesysteme sichern können.

5. Handlungsoptionen

Aus der Energiewendeforschungs-Roadmap ergibt sich für Schleswig-Holstein die Notwendigkeit, die Energiewende als vernetztes Gesamtsystem zu gestalten. Der Ausbau erneuerbarer Energien, die Entwicklung von Wasserstoffwirtschaft, Wärmeversorgung, Mobilität, Netzen und Speichern müssen dabei aufeinander abgestimmt werden, um Klimaneutralität bis 2040 effizient und wirtschaftlich umsetzbar zu erreichen.

Eine der zentralen Voraussetzungen für die Energiewendeforschung ist der Aufbau leistungsfähiger Forschungs-Infrastrukturen. Mit dem Landeskompetenzzentrum ist hier ein Grundstein gelegt, der Synergien zwischen den verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen und Standorten hebt und somit für ein innovatives und funktionsfähiges Konzept in der Unterstützung der Forschenden in diesem Bereich wirkt. Eine Zusammenstellung der Schwerpunkte mit der Aufstellung der Energiewendeforschungs-Roadmap bündelt die Schwerpunkte zu einem Orientierungsinstrument, welches fortgeschrieben werden könnte.

Eine Schlüsselrolle dabei spielen Innovation, Forschung und Technologieentwicklung. Windenergie, Wasserstoff, Leistungselektronik, Batteriespeicher sowie digitale Anwendungen für Netz- und Energiemanagement bilden wichtige Grundlagen der Transformation. Reallabore, Demonstrationsprojekte und Testinfrastrukturen sollten genutzt werden, um neue Technologien und Geschäftsmodelle unter realen Bedingungen zu erproben und schneller in die Anwendung zu bringen, auch um soziale Fragestellungen, Teilhabe und Akzeptanz gebührend im Blick zu behalten.

Ebenso wichtig ist die enge Zusammenarbeit von Wissenschaft, Wirtschaft, Kommunen und Politik. Forschung sollte nicht nur technologische Entwicklungen begleiten, sondern auch Entscheidungsgrundlagen bereitstellen, den Wissenstransfer stärken und die Umsetzung in der Praxis unterstützen. Dabei gilt es, regionale Wertschöpfung auszubauen, Fachkräfte zu sichern und Innovationen gezielt in neue Produkte, Dienstleistungen und industrielle Anwendungen zu überführen.

Insgesamt sollte Schleswig-Holstein seine Stärken als Energiewendestandort nutzen und technologische Innovation, Infrastrukturentwicklung, wissenschaftliche Begleitung und gesellschaftliche Mitwirkung konsequent miteinander verbinden. So können die Voraussetzungen geschaffen werden, um die Klimaneutralität bis 2040 zu erreichen und gleichzeitig Wettbewerbsfähigkeit, Versorgungssicherheit und regionale Wertschöpfung zu stärken.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die Energiewendeforschungs-Roadmap verdichtet die erarbeiteten Zwischenziele auf dem Weg zur Klimaneutralität 2040 zu zentralen Transformationspfaden und macht deren Wirkungslogik sichtbar. Sie schafft damit einen konzeptionellen Orientierungsrahmen, der aufzeigt, wie Energiewendeforschung in Schleswig-Holstein zur Erreichung der Klimaneutralität beitragen kann.

Aufbauend auf dieser Grundlage wurden für die sieben Fokusfelder des Landeskompetenzzentrums Energiewendeforschung eigene Roadmaps erstellt. Diese ergänzen die vorliegende Roadmap, indem sie die übergreifende Perspektive fachlich vertiefen und konkrete Fragestellungen, technologische Entwicklungen sowie wissenschaftliche Beiträge näher ausführen. Die Fokusfeld-Roadmaps greifen die in der Energiewendeforschungs-Roadmap identifizierten, notwendigen Outputs systematisch auf und übersetzen diese in Forschungsbeiträge einzelner Disziplinen und Forschungsbereiche.

Während die Energiewendeforschungs-Roadmap bewusst eine konzeptionelle Gesamtsicht einnimmt, ermöglichen die Fokusfeld-Roadmaps eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Forschungsbereiche. Sie machen sichtbar, wie die unterschiedlichen Disziplinen der Energiewendeforschung jeweils zum Gelingen der Transformation beitragen und welche spezifischen Forschungsbedarfe sich daraus bis 2040 ableiten.

Der resultierende strategische Rahmen aus der Energiewendeforschungs-Roadmap bietet Orientierung für Wissenschaft, Politik und Verwaltung und schafft zugleich die Grundlage für eine kontinuierliche Weiterentwicklung. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse, technologische Entwicklungen und veränderte Rahmenbedingungen können im weiteren Prozess systematisch integriert werden, so dass die Roadmap als lernendes und adaptives Instrument fortgeschrieben wird.

Die nächsten Arbeitsschritte der Energieforschungs-Community könnten die Umsetzung der Roadmap in konkreten Anwendungsfeldern sein, die für Schleswig-Holstein nicht nur von besonderer Bedeutung sind, sondern auch hohe Dekarbonisierungspotenziale aufweisen, wie beispielsweise das Leben im ländlichen Raum oder der maritime Sektor. Insbesondere interdisziplinäre Leuchtturmprojekte, die als Flagship-Maßnahmen übergeordnete Potenziale haben, tragen zum Wissensaufbau bei und stärken die Position des Landes auf dem Weg zum klimaneutralen Industrieland.

7. Danksagung

Wir danken den zahlreichen Forschenden, die direkt oder indirekt zum Inhalt der Energiewendeforschungs-Roadmap und zu den einzelnen Fokusfeld-Roadmaps beigetragen haben:

Dr.-Ing. Lars Baetcke[1], Prof. Dr.-Ing. Aylin Behrend-Bicakci[2], Ronja Behrens[3], Dr. Hamzeh Beiranvand[4], Lukas Bernhardt[5], Dr. Heike Bille[6], Dr. Marina Blohm[6], Dr. Sönke Bohm[6], Prof. Dr.-Ing. Sten Böhme[2] Dr. Michael Brand[7], Prof. Dr.-Ing. Florian Brauer[2], Prof. Dr. Christian Buchmüller[8], Lennart Bunnenberg[9], Prof. Dr.-Ing. Hendrik Dankowski[2], Jorgen Depken[1], Peter Drews[10], Dr.-Ing. Nassipkul Dyussembekova[8], Prof. Dr. Sören Ehlers[1], Carlos Epia[6], Prof. Sebastian Fiedler[10], Dr. Firdovsi Gasanzade[4], Prof. Dr.-Ing. Gunther Gehlert[8], Dr. Prokopios Georgopanos[13], Verena Gerbaulet[6], Prof. Dr.-Ing. Frauke Gerder-Rohkamm[2], Dr. Gerrit Green[10], Jan Peter Grigat[11], Prof. Dr. Axel Grimm[9], Bente Grimm[12], Dr.-Ing. Salah Habouti[8], Dr. Mominul Hasan[9], Carina Haupt[1], Prof. Dr. Patrick Hennig[2], Ilka Hoffmann[8], Prof. Dr.-Ing. Jochen Immel[2], Prof. Dr. Julian Jepsen[13], Hamza Kateb[8], Prof. Dr.-Ing. Christian Keindorf[2], Dr.-Ing. Marius Langwasser[4,15], Daniel Laufs[4], Sandra Ledderer[9], Prof. Dr. Ingmar Leiße[6], Prof. Dr. Olaf Magnussen[4], Felix Marold[8], Dr. Michael Mensing[14], Prof. Dr. Bernd Möller[9], Dr. Reinhard Mörtel[15], Prof. Dr. Pao-Yu Oei[9], Prof. Dr. Oliver Opel[8], Jannes Ophey[15], Prof. Dr. Sebastian Otte[5], Dr. Yoann Pascal[15], Dr. Maximilian Passing[13], Prof. Dr. Mirjam Perner[16], David Petersen[9], Prof. Dr. Sonja Peterson[4], Prof. Dr.-Ing. Michael Prange[2], Katharina Prehn[8], Carlotta Richter[6], Prof. Dr. Steffen Risius[2], Sinja Roloff[8], Marcel Schedat[6], Dr. Frank Schiller[8], Prof. Dr.-Ing. David Schlipf[6], Prof. Dr.-Ing. Kay Schmidt-Rethmayer[2], Benno Schöl[17], Prof. Dr. Corinna Schrum[13], Prof. Dr.-Ing. Ulf Schümann[2], Prof. Dr.-Ing. Reiner Schütt[8], Dr. Finn-Ole Semrau[17], Dr. Michael Siegel[1], Mats Söhrnsen[10], Prof. Dr.-Ing. Henning Strauß[2], Prof. Dr. Nadia Tan[4], Prof. Dr.-Ing. Ilja Tuschy[6], Prof. Dr. Hinrich Uellendahl[6], Prof. Dr. Reinhard von Hanxleden[4], Dr. Christian Wagner-Ahlfs[4], Prof. Dr. Christoph Weber[2], Simon Weich[6], Prof. Dr. Brigitte Wotha[2], Dr. Andreas Würsig[15], Anna Zweigardt[6].

---

[1] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
[2] Hochschule für Angewandte Wissenschaften Kiel
[3] Verband kommunaler Unternehmen Nord
[4] Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
[5] Universität zu Lübeck
[6] Hochschule Flensburg
[7] Stadt Kiel
[8] FH Westküste
[9] Europa-Universität Flensburg
[10] Technische Hochschule Lübeck
[11] Industrie- und Handelskammer zu Flensburg
[12] Institut für Tourismus- und Bäderforschung in Nordeuropa (NIT) GmbH
[13] Helmholtz-Zentrum Hereon GmbH
[14] Technische Universität Hamburg
[15] Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie
[16] GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
[17] Kiel Institut für Weltwirtschaft

Unser besonderer Dank gilt allen beteiligten Vertreterinnen und Vertretern aus den sieben Fokusfeldern der Energiewendeforschung SH sowie aus Politik und Wirtschaft, die durch ihre fachliche Expertise, ihre kritischen Anmerkungen sowie ihre wertvollen Impulse maßgeblich zur Erstellung dieser Energiewendeforschungs-Roadmap beigetragen haben. Ihre Beiträge haben wesentlich dazu verholfen, die inhaltliche Tiefe, Qualität und Praxisrelevanz dieses Dokuments zu sichern. Besonderer Dank gilt zudem dem Institut für Innovation und Technik (iit) in Berlin. Für die Bereitstellung der finanziellen Ressourcen danken wir dem Ministerium für Allgemeine und Berufliche Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur (MBWFK) des Landes Schleswig-Holstein.

Hinweis

Die in dieser Energiewendeforschungs-Roadmap sowie im zugehörigen Textdokument dargestellten Positionen, Einschätzungen und Schlussfolgerungen geben nicht notwendigerweise die individuelle Meinung der oben genannten beteiligten Personen oder Institutionen wieder. Die Verantwortung für die inhaltliche Ausarbeitung liegt beim Herausgeber.

8. Impressum

Herausgeber:

Landeskompetenzzentrum Energiewendeforschung bei der EKSH

Redaktion und verantwortlich für den Inhalt:

Landeskompetenzzentrum Energiewendeforschung bei der EKSH

Stand: September 2026