Energiewendeforschungs-Roadmap Schleswig-Holstein

Executive Summary · Stand: September 2026

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

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.

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/Wissenssysteme 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.

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).

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.

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.