Energiewendeforschungs-Roadmap für das Land Schleswig-Holstein

Leistungselektronik & Batteriespeicher

Version 1.0 | 20. Oktober 2026

Arbeitsdokument

Landeskompetenzzentrum Energiewendeforschung

EK SH
Gesellschaft für Energie und Klimaschutz Schleswig-Holstein

Impact — Impact und gesellschaftliche Missionen

Outcome — Wirkungsebene in Sektoren und Anwendungen

Output — Technologische Innovationen und wissenschaftliche Erkenntnisse

Input — Gesellschaftliche, politische und Institutionelle Rahmenbedingungen

Grundlegende Anerkennung von Versorgungs-sicherheit und Resilienz als zentrale Ziele
Ein sicheres und resilientes Energiesystem gilt als zentrale Voraussetzung der Transformation.

Leistungselektronik & Batteriespeicher als Schlüsseltechnologien für die Energiewende
Diese Schlüsseltechnologien ermöglichen den Aufbau einer sicheren und resilienten Energieversorgung, -verteilung und -nutzung in allen Sektoren.

Innovationsgetriebene Wertschöpfungs-ketten für Anwendungssyteme
Innovation, Geschäftsmodelle und Standards im Bereich LE und Batterietechnik machen Klimaneutralität wirtschaftlich attraktiv.

Zukunftsfähige Arbeit, Qualifikation und Arbeitsmärkte
Arbeitsmärkte und Qualifikationen entwickeln sich aktiv mit der Transformation.

Schutz von Natur, Umwelt und Ressourcen
Klimaneutralität geht mit messbarem Schutz von Natur, Umwelt und Ressourcen einher. Eine nachhaltige, resourcenschonende Produktion steht dabei im Fokus.

Wettbewerbsfähiger Standort und industrielle Transformation
Klimaneutralität stärkt den Standort und zieht zukunftsfähige Industrie aus dem Bereich LE & Batteriespeicher an.

Technologien der Leistungselektronik & Batteriespeicher als Schlüssel-komponenten für die Energiewende
Alle Energiesysteme sind mit Komponenten aus der Leistungselektronik & Batteriespeicher-technologie ausgestattet.

Klimaneutrales Industrieland Schleswig-Holstein
Technologien der Leistungselektronik & Batteriespeicher sind die "Enabler" der Enrgiewende.

Klimaneutraler Gebäudebestand und netzdienlicher Gebäudebetrieb
Gesamter Gebäude-bestand ist auf klimaneutrale und bezahlbare Wärme-versorgung umgestellt und netzdienlicher Gebäudebetrieb stabilisiert das Energiesystem.

Bezahlbare, resiliente und souveräne Energieversorgung
Energie ist klimaneutral, bezahlbar, krisenfest und strategisch abgesichert.

Digital steuerbares, flexibles und effizientes Energiesystem
Das Energiesystem ist sicher steuerbar und nationale Wertschöpfung und Wettbewerbsfähigkeit ist gestärkt.

Leistungselektronik
LE dominiert durch Si-Leistungshalbleiter wird zunehmend mit WBG (SiC/GaN)-Halbleiter ersetzt. Hocheffiziente LE wird für verschiedenste Anwendungen benötigt u. in sehr großem Maßstab eingesetzt.

Energie-Erzeugung u. -verteilung im sicheren Netz
Wind- u. PV sind massiv ausgebaut u. hinsichtlich Leistung, Effizienz u. geringeren Kosten weiterentwickelt. Das Netz ist sicher steuerbar und stabil. Überbauung von Netzverknüpfungspunkten beginnt. HVDC Ausbau.

Großspeicher u. netz-dienliche Integration von Elektrolyseuren für die H_2-Erzeugung
Großskalige BESS werden für Peak-Shaving, Netzdienstleistungen und PV-Integration genutzt u. Elektrolyseure werden als netzdienliche, hochdynamische Verbraucher integriert.

Sichere, resiliente, robuste Energie-systeme und Wettbewerbsfähigkeit
Fortschritte in der Transformation wirken sich auf alle Sektoren positiv aus.

Leistungselektronik für die Elektrifizierung aller Sektoren
Leistungselektronik für die Netzintegration von Energieerzeugern, -speichern u. -verbrauchern, für eine Vielzahl von elektrischen Antrieben u. Prozessen nimmt eine zunehmende Rolle ein.

Sicher steuerbare Energieverteilung
Vollständig erneuerbarer Strom. Offshore Wind erzeugt teils direkt H_2. Ein sicheres Netz entsteht aus Speicher, H_2-Kraftwerke u. Sektorkopplung. DC -Kopplung u. autonome Mikronetze gewinnen an Bedeutung.

Netzdienliche Energiespeicherung
Speichersystem aus E-Fahrzeugen u. (Groß-) Speichern kann Erzeuger-spitzen aufnehmen (Peak shaving). Stationäre Spei-cher nehmen im Energie- und Industriebereich stark zu. H_2 als Energieträger u. f. chemische Nutzung.

Resiliente, robuste und ausfallsichere Energiesysteme
Energiesysteme sind robust gegenüber Störungen, Extremereignissen und systemischen Risiken.

Modulare WBG-LE für DC-Industrienetze
Vollintegrierte LE ermöglicht Energiehub-Systeme (Elektrizität + H_2), emissionsfreie maritime Antriebe u. HV-BESS. Vorbereitung Ultra-WBG (Ga2O3/Diamant) für zukünftige Anwendungen.

WBG- u. globale HVDC-Netze
WBG-Hallbleiter dominie-ren die LE. Hybride AC/DC-Netze sind etabliert. Supraleitung ermöglichen in bestimmten Teilen verlustarmen Transport. Ein flexibles Stromsystem sichert die Residuallast,

Netzdienliches Speichersystem, hybride Energiespeicher
Fahrzeuge, stationäre Speicher u. Großspeicher sind netzdienlich integriert als fundamentaler Teil der Netzregulation (1°-, 2°-, 3°-Regelung). Hybrid-Energiespeicher bestehen aus Batterie + H_2+ Superkondensatoren.

Erste Effizienz- und Konsistenzwirkunge n der Energiewende
In einzelnen Sektoren zeigen sich erste Wirkungen durch Effizienzsteigerung, Technologiewechsel und Nachfrageanpassung.

Leistungselektronik für Energieerzeugung und -verteilung
Leistungselektronik für Anbindung der Energie-erzeugung (DC) an die Stromnetze (AC), ein sicher steuerbares Netz mit fort-schreitender Integration von Erzeugern, Ver-brauchern, Speichern sowie Gefahrenabwehr der durch Cybersecurity.

Batteriespeicher für die Netzstabilisierung und alle Sektoren
Großskalige Batteriespeichersysteme BESS sind in die Netze integriert.Spezifische Akkus und Batterien sind für alle Anwendungen in der Entwicklung.

Elektrifizierung der Industriesysteme mit Leistungselektronik
Industrieprozesse werden mit leistungselektro-nischen Komponenten zunehmend effizienter und THG-sparender. Robotik-Anwendungen nehmen zu, Energieintensive KI-Rechenzentren sind ans HV-Netz angeschlossen.

Energieversorgung der Haushalte mit PV, Speicher und Wärmepumpen
Installation von PV, Bat-teriespeicher und Wärme-pumpen hat zuge-nommen. Effizienz-anforderungen an Energie-verbraucher wachsen. Erste smart home Konzep-te sind in der Umsetzung.

E-Mobilität für Per-sonen, Waren, Schiffe
EE-Mobilität im PKW- u. LKW-Bereich nimmt zu, bei gleichzeitigem Ausbau der Ladeinfrastruktur. Für den Schienenverkehr u. die Landwirtschaft werden Akkus entwickelt. Kleinere Schiffe/ Fähren u. Hafen-fahrzeuge fahren elektrisch.

Große Palette an Speichertechnologie n
Groß- u. Langzeitspeicher nehmen stark zu. Na-Ionen Batterien sind neben Li-Ionen gängig. Feststoff-batterien beginnen sich zu etablieren. Metallbasierte wässrige Energiespeicher spielen im stationären Großspeicherbereich zunehmend eine Rolle.

Defossilierung der Industrieprozesse
Zunahme von Robotik in Fertigungsprozessen findet massiv statt. DC-Netze versorgen Fabriken mit Energie. KI-Rechenzentren werden ausgebaut. Der Bedarf für deren Anbindung an die Netze inkl. Energieversorgung nimmt zu.

Haus-Energiesystem aus Wärmepumpe, PV u. Batteriespeicher
Installation von PV mit Batteriespeichern für die Stromversorgung u. Wärmepumpen für Wärmeversorgung sind weit verbreitet.

Mobilität: "all goes electric"
HV-Bordnetz ist etabliert. Hochleistungsladesysteme in Häfen. Schiffe sind elektrifiziert. Neue elek-trische Flugzeugtypen sind auf dem Markt. Batterie-elektrische Zugantriebe sind teilw. etabliert u. für die Landwirtschaft werden Konzepte entwickelt.

Batteriespeicher für Netze, Mobilität
Na- u. Li-Ionen-Batterien u. weitere, wie Redoxflow- u. Eisenflow-Batterien (JFB) dominieren. Energiespeicher sind netzdienlich integriert (auch Hausspeicher) u. große HV-BESS Parks (MW-GW) sind fundamentaler Teil der Netze.

Industriesysteme / Prozesswärme: DC-Netze, HV-Bess
DC-Netze sind, insbes. für Fertigungsprozesse, unter Einsatz von vollintegrierten, modularen Leistungsendstufen ("Plug & Play") und HV-Batteriespeichersystem en (HV-BESS, <1.500V) etabliert.

Haus-Energiesystem aus PV, Speicher und Wärmepumpe
PV, Wärmepumpen, EV und Batteriespeicher sind in Haushalten Standard u. über DC- Mikronetze verbunden. Haushalte sind netzdienlich integriert.

Emissionsfreie Schiff-fahrt, HV-Bordnetz, Avionik
HV-Bordnetze (1500V) in der Anwendung, Hafen-infrastruktur ist vollständig elektrifiziert, Schiffs-antriebe sind emissionsfrei, Drohnen f. Kurzstrecken mit Batterieantrieb in Betrieb, Elektrifizierung der Avionik hat begonnen.

Leistungselektronik- und Batteriesystem-Innovationen
Entwicklung innovativer und kostengünstiger Leistungselektronik- und Speichertechnologien mit hohem Wirkungsgrad und hohen Leistungsdichten.

WBG-LE mit hohen Wirkungsgraden u. Leistungsdichten
Entwicklung robuste WBG-Leistungselektronik (GaN, SiC) u. Systemtopologien auch für den NV- und MV-Bereich (z. B. FACTS, MMC/CHB, SSTs). WBG-LE mit hohen Wirkungsgraden u. Leistungsdichten.

Schwarzstartfähige LE für stabile Netze
Entwicklung kosten-günstiger Umrichter mit WBG (SiC/GaN), netzbil-dender Stromrichter (schwarzstartfähig) u. netz-stabilisierender, zuver-lässiger LE, um Volatilität zu ermöglichen. Integration von DC-Netzen u. netzstützenden Energiespeichern.

Großspeicher, Elektro-lyseure, Batterien BMS
Entwicklung effizienter LE und Umrichtersysteme für Elektrolyseure und Großspeicher mit WBG-Halbleitern (SiC/GaN). Entwicklung Smart Battery Cells und intelligente Batteriemanagement-systeme (BMS) und Festkörperbatterien.

Weiterentwicklung Leistungselektronik- und Batteriesystem-Innovationen
Steigerung Energiedichte, Leistungsdichte und neue Batteriezelltopologien mit neuen Materialen. Weiter-entwicklung von Schlüssel-komponenten für die Energiesysteme aller Sektoren.

Nachhaltige, kosten-effiziente, intelligente LE
Konzepte für nachhaltige, kostengünstige Produktion von LE-Komponenten. Weiterentwicklung von WBG-Halbleiter u. Vorbereitung Ultra-WBG. Entwicklung LE f. Robotik, KI, Fusionskraftwerke.

Energieerzeugung, -transport, vermaschte DC-Netze
Weiterentwicklung WBG-Wechselrichter für Wind- u. PV-Parks u. LE-Komponenten für Netze (z.B. SSTs, Schütze) sowie vermaschte DC-Netze. Technologien für Small Modular Reactors (SMRs) u. Fusionskraftwerke.

Großskalige Batterie-systeme u. H_2 für Industrie
Weiterentwicklung großskaliger Batterie-systeme aus Li-, Na- u. Redox-Flow-Batterien für Großspeicher. Vorbereitung Festkörperbatterien für stationäre Speicher. LE für die industrielle Nutzung von H_2.

Zukunftsweisende LE
Entwicklung von LE-Sys-temen, die effizient, leistungsstark, langlebig, kostengünstig u. nach-haltig sind - bei Dominanz von WBG (SiC/GaN). Entwicklung von LE für Fusionskraftwerke. Einführung von Ultra-WBG Systemen (Diamand, Ga2O3).

EE-Erzeugung, -verteilung u. -speicherung
Entwicklung von LE für standardisierte Einspeisesysteme mit WBG. Integration neuer Speichertechnologien im xMWh-Bereich, z.B. Na-Ionen-Batterien.

Haushalte: Batteriespeicher
Entwicklung von DC-Mikronetz im Haushalt als Standard für PV/Speicher/ Elektrofahrzeug/ Wärmepumpe mit KI-gesteuertem Lastmangement

Innovationen im Bereich Leistungselektronik und Batteriespeicher
Weiterentwicklung wissenschaftlicher Grundlagen hinsichtlich Effizenz und Leistungsfähigkeit.

Industrie, Digitalisierung und Ressourcen
Wissenschaftliche Grundlagen zur Transformation energieintensiver, digitaler und ressourcenrelevanter Anwendungen.

Neue Batterie-zelltypen und 5r
Kostengünstige industrielle Fertigung, intelligente BMS u. Konzepte für 5r. Bessere Li-Ionen- (mit Si-Anoden), Na-Ionen- und Feststoffbatterien u. Entwicklung modulärer Wechselakkus (z.B. f. Landwirtschaft).

Effiziente Industrie-systeme u. KI-Rechenzentren
Entwicklung von spezif. Umrichtern und Netzteilen für industrielle DC-Fertigungsnetze, KI-Rechenzentren, sowie Umrichter-/ Antriebssystemen für Hochdruckpumpen, Kompressoren u. Robotik.

Wärmepumpen, Hausnetze, Geräte
Entwicklung effizienter Netzteile für Integration von Verbrauchern im Haushalt u. Steuerbarkeit über Smart Meter Gateway. Pumpen u. Antriebe für Wärme-pumpen sowie Teil-DC-Netze in Haushalten, um Volatilität im Stromnetz zu verringern.

Mobilität: bidirektio-nales Laden, DC-Bord-netz, Wechselakkus
Entwickl. hocheffizienter, bidirektion. Ladesysteme f. Netzanbindung von Auto-batterien u. Hochleistungs-ladestationen mit Batterie-speicher, Wechselakkus f. Landwirtschaft, spezif. LE-Komponenten f. Schiffs-DC-Netze, Brennstoffzell-systeme, Batteriespeicher u. Schiffs-Ladesysteme.

Hochleistungs- und Langzeit-Batteriespeicher
Weiterentwicklung von Na-Ionen-Batterien, Redox-Flow-, LFP-, wässrigen Metallspeicher-, und Festkörperbatterien. Ent-wicklung von graphenen Superkondensatoren. KI-unterstützte EMS und BM. sowie nachhaltige Produktion u. Betrieb.

Industriesysteme/ Prozesswärme: LE für Rechenzentren, Robotik
Entwicklung modularisier-ter LE für Rechenzentren u. Fertigungsprozesse: Ent-wicklung effizienter Umrichter (für DC- u. AC-Verteilung, auf NV- u. MV-Ebene). LE für Robotik z. B. für humanoide Roboter.

Haushalte/ Wärme: Netzintegration
Integration der Hausnetze (PV, Batteriespeicher, Wärmepumpe, EV) in die Stromnetze via bidirek-tionaler Wechselrichter (DCAC). Nutzung von E-Auto- u. PV-Batterien zur Netzstabilisierung des Haus- u. Stromnetzes.

Mobilität zu Land, Wasser, in der Luft
Einsatz von Na-Ionen-Batterien. Entwicklung von WBG-LE u. Batterien für DC-Bordnetze, Ladeinfra-strukturen im MV-Bereich, elektrische Schiffsantriebe, airborne urbane transport sowie von ultraschnellade-fähigen Batterien, SiS/LiS-Batterien für Avionik.

Innovative Batteriespeicher und Nachhaltigkeit
Entwicklung hybrider Batterien und Redoxflow- u. Eisenflow-Batterien (JFB) im xMWh-Maßstab. Festkörperbatterien gewinnen an Bedeutung. Batteriesystem sind nachhaltiger (5r).

Industriesysteme/ Prozesswärme
Leistungselektronik für industrielle Anwendungen: HV-Batteriespeicher-systeme, hybride Industrienetze auf DC-Basis, DC-backbone.

Klimaneutrale Mobilität
Entwicklung von LE u. Batteriespeicher für HV-Bordnetze, Avionik u. urbane Luftfahrt sowie für hybride Energiesysteme in der Schiffahrt (z. B. aus H2+Batterien+DC-Bordnetze+WBG o. grüne Ammoniakverbrennung).

Umsetzungsfähige Geschäfts- und Akteursmodelle
Breitenwirksame Transformation erfordert Geschäftsmodelle, die auf handelnde Akteure ausgerichtet sind.

Dynamische Netzentgelte
Eine einheitlich Regulation stellt die technische Umsetzung zur Verwendung von dynamischen Netzentgelten sicher.

Preis-, Anreiz- und Marktregeln des Energiesystems
Ökonomische Rahmenbedingungen setzen konsistente Anreize für klimaneutrale Entscheidungen.

Wissens-, Fachkräfte- und Innovations-infrastruktur
Personelle, akademische und unternehmerische Kapazitäten für Transformation sind institutionell verankert.

Akzeptanz für die Elektrifizierung aller Bereiche
Die zunehmende Elektrifizierung von Mobilität, Wärme-versorgung, Industrie und weiteren Verbrauchs-sektoren erfordert neben technolo-gischen Lösungen auch eine breite gesell-schaftliche und wirtschaftliche Akzeptanz

Verbindliche Regulierung und technische Betriebsstandards
Regulatorische Vorgaben und technische Standards ermöglichen einen sicheren, effizienten und flexiblen Systembetrieb.

Batteriespeicher: Regulatorik für die Energiespeicherung
Das Regelwerk für die Speicherung von Energie ist definiert.

Status quo — **Hinweis:** Innerhalb der Blöcke besteht keine zeitliche Reihenfolge.

heute — **bis 2030** — **bis 2035** — **bis 2040**

Transformation der Industriesysteme

Transformation der Haushalte

Transformation der Mobilität und maritimer Anwendungen

Erzeugung, Speicherung und Verteilung von erneuerbarer Energie

Erstellt in Zusammenarbeit mit:
INSTITUT FÜR INNOVATION UND TECHNIK

Gefördert durch:
Schleswig-Holstein
Ministerium für Allgemeine und Berufliche Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur

©2026 Landeskompetenzzentrum Energiewendeforschung| EKSH