



Themenkurzprofil Nr. 88
Februar 2026

Energiespeicher der nächsten Generation: Natrium-Ionen-Batterien im Fokus

Christoph Bogenstahl | Sebastian Will | Stefan Wolf

In Kürze

Der global steigende Bedarf an elektrochemischen Energiespeichern wird derzeit vor allem durch Lithium-Ionen-Batterien (LIB) gedeckt. Doch geopolitische Spannungen und die drohende Verknappung von Lithium und anderen kritischen Rohstoffen rücken alternative Speichertechnologien zunehmend in den Fokus, zum Beispiel Metall-Ionen-, Metall-Schwefel-, Metall-Luft- und Redox-Flow-Batterien. Diese Post-LIB-Technologien befinden sich in unterschiedlichen Reifegraden. Sie unterscheiden sich durch zentrale Eigenschaften wie Energiedichte und Zyklenfestigkeit, aber auch durch Rohstoffverfügbarkeit und Nachhaltigkeitsaspekte.

Besondere Aufmerksamkeit erhält derzeit die Natrium-Ionen-Technologie (Sodium-Ion Battery – SIB), die unter den Post-LIB-Ansätzen den höchsten technologischen Entwicklungsstand aufweist. Natrium ist weltweit in großen Mengen verfügbar und geologisch breit verteilt – ein entscheidender Vorteil gegenüber

Lithium. Jüngste Studien, zahlreiche Praxisbeispiele und die hochlaufende industrielle Produktion belegen den hohen technologischen Reifegrad der SIB. SIB lassen sich langfristig günstiger, sicherer und umweltfreundlicher herstellen, weil dafür fast keine kritischen Rohstoffe nötig sind und die Produktion weniger Emissionen verursacht.

Der größte Nachteil von SIB ist ihre geringere Energiedichte. Für vergleichbare Speicherkapazitäten sind größere und schwerere Batterien nötig. Die Forschung arbeitet daher intensiv an der Erhöhung der Energiedichte. Parallel rücken Anwendungen wie stationäre Energiespeicher in den Blick. Voraussetzung dafür ist eine funktionierende Wertschöpfungskette: von Rohstoffgewinnung und -veredelung über die Herstellung batterietauglicher Materialien, Zell- und Komponentenfertigung bis zu Systemintegration und Recycling.

Hintergrund und Entwicklungsstand

Der weltweite Bedarf an Batterien wird sich von aktuell 2 Terrawattstunden (TWh) pro Jahr bis zu 4 TWh im Jahr 2030 verdoppeln. Dieser Anstieg ist hauptsächlich auf die Elektromobilität zurückzuführen. Über 90 % der Nachfrage entfallen auf den Mobilitätssektor, etwa 6 % auf stationäre Energiespeichersysteme und etwa 3 % auf die Verbraucherelektronik. Batterien spielen somit sowohl in der Mobilitäts- als auch in der Energiewende eine entscheidende Rolle (PEM-RWTH/Roland Berger o. J.).

Derzeit wird die globale Nachfrage nach Batterien vor allem durch Lithium-Ionen-Batterien (LIB) gedeckt. Eine Fortsetzung dieses Trends bei gleichzeitig stark steigender Nachfrage könnte signifikante Auswirkungen auf die Umwelt, die Wertschöpfungsketten und die Verfügbarkeit kritischer und knapper Ressourcen haben. Gerade der Bedarf an Metallen wie Kobalt, Lithium, Nickel und Kupfer könnte die derzeit bekannten Reserven in Zukunft übersteigen (ÖAW-ITA/KIT-ITAS 2023). Um diesen Herausforderungen zu begegnen, zielt die Entwicklung alternativer Batteriesysteme (Post-Lithium-Batterien – Post-LIB), darauf ab, den Einsatz kritischer und teurer Rohstoffe zu minimieren und somit

potenzielle Nachhaltigkeitskonflikte bei steigender Nachfrage zu reduzieren (Fraunhofer ISI 2023; AIT 2025).

Zu den Post-LIB zählen insbesondere Metall-Ionen-Batterien (Me-Ion) auf Basis von Natrium, Magnesium, Aluminium und Zink sowie Metall-Schwefel Batterien (Me-S), Metall-Luft Batterien (Me-Air) und Redox-Flow-Batterien (RFB). Die Forschung an Post-LIB verfolgt mehrere zentrale Ziele: Einerseits soll die elektrochemische Energiespeicherung effizienter werden, indem höhere Energiedichten und geringere Verluste erreicht werden; andererseits wird ein erhöhter Sicherheitsstandard angestrebt, der die Brand- und Explosionsgefahr im Vergleich zu herkömmlichen Li-Ion-Systemen reduziert. Gleichzeitig soll die Produktion in Europa vereinfacht werden, indem regional verfügbare Rohstoffe und bestehende Produktionsinfrastrukturen genutzt werden. Langfristig sollen Post-LIB eine kostengünstige und ökologisch verträgliche Alternative zu Lithium-Ionen-Batterien darstellen, indem die Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen verringert und die Umweltbilanz verbessert wird. Post-LIB unterscheiden sich dabei nach zentralen Kriterien wie Technologiereifegrad, Energiedichte, Zyklenfestigkeit, primären Anwendungsbereichen und Nachhaltigkeit (Tabelle 1).

Tabelle 1 Vergleich ausgewählter Post-Lithium-Batterietechnologien

Technologie	Technologie-reife (TRL)*	potenzielle Anwendungsfelder	Stärken	Schwächen	Rohstoffverfügbarkeit
Metall-Ionen-Batterien (Me-Ion)					
Natrium-Ionen (SIB)	TRL 8–9	stationäre Speicher (USV**, Haushalt, Groß- und Notstromspeicher), kleinere E-Fahrzeuge, militärische Anwendungen, Starterbatterien***	hohe Zyklenfestigkeit, höhere Sicherheit (weniger Brandrisiko), bessere Leistung bei tiefen Temperaturen, tiefenentladungsresistent	geringere Energiedichte (Wh/kg, Wh/l) als LIB, daher größere Bauweise für gleiche Kapazität, Lebensdauer und Leistungsdichte noch hinter LIB, weitere Materialforschung erforderlich	sehr gut: Natrium reichlich vorhanden, keine Konfliktrohstoffe
Magnesium-Ionen (MIB)	TRL 3	E-Mobilität (Autos, Busse, Lkw), stationäre Speicher und Luftfahrt (hohe Sicherheitsanforderungen)	hohe theoretische Energiedichte, nachhaltiger und sicherer (keine Dendritenbildung****, Nichtentflammbarkeit des Elektrolyten; Magnesium weniger toxisch), geringere Kosten	technologische Hürden (insbesondere existiert derzeit keine Kathoden-Elektrolyt-Konfiguration, die gleichzeitig hohe Spannung, Stabilität und schnelle Reaktionskinetik bietet sowie niedrige Ionenmobilität), geringe Zyklenfestigkeit und Leistungsdichte im Vergleich zu Li-Ion, Forschung und Entwicklung noch in frühem Stadium	gut: Magnesium weltweit verfügbar, kein kritisches Material

Technologie	Technologie-reife (TRL)*	potenzielle Anwendungsfelder	Stärken	Schwächen	Rohstoffverfügbarkeit
Aluminium-Ionen (AIB)	TRL 3–4	Hochleistungsanwendungen	extrem hohe theoretische Energiedichte; hohe Sicherheit (nicht brennbar), extrem schnelle Lade-/Entladezeiten möglich	herausfordernde Elektrolytchemie (Korrosion, dendritische Abscheidung), Schwierigkeiten bei der Entwicklung stabiler Kathoden, derzeit noch im Stadium der Grundlagenforschung	sehr gut: Aluminium global verfügbar, günstig, gut recycelbar
Zink-Ion	TRL 3–4	stationäre Speicher, tragbare Elektronik, medizinische Geräte, potenziell kleine Elektrofahrzeuge	hohe Sicherheit (auf Wasserbasis möglich, nicht brennbar), geringe Kosten, umweltfreundlich, hohe Leistungsdichte möglich	geringere Energiedichte als Li-Ion (bei wässrigen Elektrolyten), Herausforderungen bei der Zyklenfestigkeit und der Materialentwicklung für Kathoden	sehr gut, hohe Rohstoffverfügbarkeit
Metall-Schwefel-Batterien (Me-S, vor allem Li-S)					
	TRL 5–7 (Li-S)	Drohnen, Luftfahrt, militärische Anwendungen, potenzielle E-Fahrzeuge	extrem hohe theoretische Energiedichte (insbesondere Lithium-Schwefel), geringe Materialkosten (Schwefel ist sehr günstig), geringes Gewicht	geringe Zyklenfestigkeit und geringe Lebensdauer (aufgrund geringer elektrischer Leitfähigkeit des Schwefels und Volumenänderungen der Kathode, die zu mechanischem Stress und schnellerer Alterung führen)	sehr gute Rohstoffverfügbarkeit (Ausnahme: Lithium)
Metall-Luft-Batterien (Me-Air, vor allem Zn-Air, Li-Air, Al-Air)					
	TRL 2–3 (Li-Air)	Notstromversorgung, Hörgeräte (Zn-Air bereits kommerziell erhältlich), stationäre Speicher, E-Fahrzeuge (mit sehr hoher Reichweite)	extrem hohe theoretische Energiedichte, potenziell geringes Gewicht (Sauerstoff muss nicht in die Batterie gebaut werden), geringe Kosten für den Kathodenreaktanten (Luft)	sehr komplexe Chemie (Luftsauerstoffreaktion), geringe Effizienz, Probleme mit CO ₂ -Absorption und Wasserverdunstung bei Li-Air/Al-Air, begrenzte Zyklenfestigkeit (insbesondere bei wiederaufladbaren Varianten)	sehr gute Rohstoffverfügbarkeit (Ausnahme: Lithium)
Redox-Flow-Batterien (RFB)					
	TRL 9 (Vanadium-RFB)	stationäre Großspeicher (z. B. Netze)	hohe Sicherheit, lange Lebensdauer, flexible unabhängige Skalierung von Leistung und Kapazität	geringe Energiedichte, komplexes Systemdesign, nur stationär sinnvoll einsetzbar	abhängig vom Elektrolyten (z. B. Vanadium teils kritisch)

* TRL: Technology Readiness Level, siehe Tabelle 2

** USV: unterbrechungsfreie Stromversorgung zur Überbrückung von Stromausfällen, beispielsweise für Krankenhäuser, Rechenzentren, Industrieanlagen und kritische Infrastrukturen

*** Starterbatterien (auch SLI-Batterien für Starting, Lighting, Ignition) sind für kurze, starke Leistungsabgaben optimiert und werden insbesondere in Fahrzeugen (Pkw, Lkw, Nutzfahrzeuge) oder in Stromerzeugungsaggregaten eingesetzt.

**** nadelförmige Strukturen, die sich durch ungleichmäßige Abscheidungen während elektrochemischer Prozesse bilden und zu Kurzschlüssen in Batterien führen können

Eigene Zusammenstellung nach AIT (2025); Fraunhofer ISI (2023) und (2024); KIT (o. J.); Oscilion (o. J.)

Natrium-Ionen-Technologie (SIB) ist eine der derzeit aus-sichtsreichsten Post-LIB-Technologien

Magnesium- und Aluminiumbatterien versprechen theoretisch hohe Energiedichten. Jedoch sind zahlreiche technische Hürden noch ungelöst, sodass sie weit von marktreifen Anwendungen entfernt sind. Redox-Flow-Batterien haben sich bereits als Ni-schenlösung für stationäre Großspeicher etabliert, sind jedoch wegen ihrer spezifischen Technologie nicht für mobile Anwen-dungen geeignet und können daher Lithium-Ionen-Batterien nicht ersetzen.

Unter den Post-LIB-Technologien nimmt daher die Natrium-lo-nen-Technologie (Sodium-Ion-Battery – SIB) eine Sonderstellung ein. Sie verbindet eine hohe technologische Marktreife (TRL 8–9; Tabelle 2) mit ökonomischer Tragfähigkeit und breiter Roh-stoffverfügbarkeit – ein günstiges Zusammenspiel, das andere Post-LIB-Kandidaten nicht aufweisen.

Der zentrale Wettbewerbsvorteil liegt in ihrer weitgehenden Kom-patibilität mit vorhandenen Herstellungs- und Nutzungsweisen (Drop-in-Fähigkeit): Aufbau, Herstellung und Prozessierung sind sehr ähnlich zur Lithium-Ionen-Technologie. Bestehende LIB-Produktionslinien und -Infrastrukturen können weiterver-wendet werden. Sie müssen nur geringfügig angepasst wer-den, wodurch Produktionskapazitäten schnell hochgefahren werden können (Keiner et al. 2026). SIB stehen bei Herstellern wie CATL, Faradion, BYD und HiNa Battery an der Schwelle zur industriellen Massenfertigung (Kory o. J.; Werwitzke 2023). Für den chinesischen Markt gingen bereits 2024 zwei mit SIB be-triebene Kleinwagenmodelle in Serie (EnBW 2025; Werwitzke 2024). In Bremen wurde kürzlich Europas größter stationärer Natrium-Ionen-Speicher in Betrieb genommen, um den lokalen Energieverbrauch, der mittels Photovoltaik erzeugt wird, zu op-timieren (Bayern Innovativ 2025).

Spezifische Vor- und Nachteile der SIB

Bei der SIB wird die Anode standardmäßig aus Hartkohlenstoff (Hard Carbon – HC)¹ hergestellt. Im Gegensatz dazu wird das für LIB benötigte Graphit von der Europäischen Union als kritischer Rohstoff eingestuft und ist zudem in seiner Herstellung sehr energieintensiv. Die relevantesten zwei Kathodenmaterialien bei LIB sind das Schichtoxid Nickel-Mangan-Kobalt (NMC) und Lithium-Eisen-Phosphat (LFP). Der Einsatz von NMC ermöglicht Hochleistungsbatterien, wobei Nickel und Kobalt benötigt wer-den. LFP dagegen setzt auf eine nickel- und kobaltfreie Struktur, hat aber eine geringere Energiedichte als NMC. Die Energiedichte ist dennoch für die meisten Anwendungen ausreichend und mit seiner hohen Zyklenfestigkeit hat sich LFP bereits in der Elektro-mobilität etabliert. Im Gegensatz dazu etablierten sich bei SIB

Tabelle 2 Technologiereifegrad

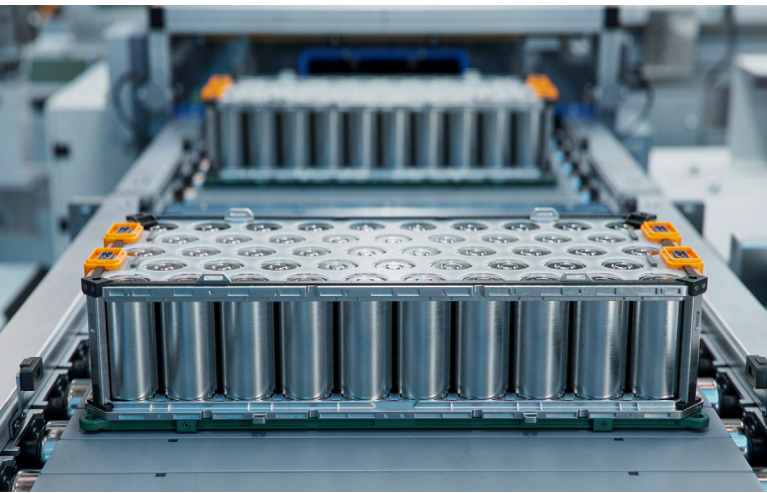
TRL	Beschreibung
TRL 1	Grundlagenforschung: Grundprinzipien der Technologie sind beobachtet und beschrieben. Fokus auf neue Ent-deckungen, noch keine konkrete Anwendung.
TRL 2	Technologiekonzept formuliert: Erste Ideen und Anwen-dungsbereiche werden auf Basis der Grundlagenforschung entwickelt. Das technologische Konzept wird formuliert.
TRL 3	Experimenteller Nachweis des Konzepts: Erste Laborunter-suchungen und Experimente beweisen die Machbarkeit des Technologiekonzepts (Proof of Concept).
TRL 4	Validierung der Technologie im Labor: Einzelne Kompo-nenten oder Prototypen der Technologie werden im Labor unter kontrollierten Bedingungen getestet.
TRL 5	Validierung der Technologie in relevanter Umgebung: Die Technologie wird in einer Umgebung getestet, die die realen Anwendungsbedingungen simuliert (zum Beispiel in einer relevanten industriellen Umgebung).
TRL 6	Demonstration eines Prototyps in relevanter Umgebung: Ein Prototyp des Systems wird in einer relevanten, realisti-schen Umgebung demonstriert.
TRL 7	Systemprototypdemonstration in Einsatzumgebung: Der Prototyp wird in einer operativen Einsatzumgebung demonstriert, oft als fast maßstabsgetreues System.
TRL 8	Qualifiziertes System mit Nachweis der Funktionstüchtig-keit im Einsatzbereich: Das System ist vollständig ent-wickelt und qualifiziert durch Tests und Demonstration in der Einsatzumgebung.
TRL 9	Nachweis des erfolgreichen Einsatzes in realer Umgebung: Die Technologie ist im realen Einsatz erfolgreich erprobt und hat sich bewährt, zum Beispiel durch erfolgreiche Missionen oder kommerzielle Nutzung.

TRL: Technology Readiness Level
Eigene Zusammenstellung nach ESA (o. J.)

noch keine spezifischen Kathodenmaterialien so, wie es mit LFP und NMC bei LIB der Fall ist. Auf der Kathodenseite gibt es für SIB drei geeignete Materialgruppen, wobei der wesentliche Unterschied zu LIB darin besteht, dass die Materialgruppe der Preußisch-Blau-Analoga (PBA) ein geeignetes Kathodenmaterial darstellt. Mit Schichtoxiden² können die höchsten Energiedichten realisiert werden, allerdings sind die Kosten für Schichtoxide hoch. Überdies ist die Zyklenfestigkeit begrenzt, da wiederholtes

1 Feste Form des Kohlenstoffs, die nicht in Graphit umgewandelt werden kann.

2 Geschichtete Übergangsmetallverbindungen, häufig auf Basis von Nickel, Mangan, Eisen oder Kobalt.



Ein- und Auslagern von Natriumionen mechanische Spannungen und Instabilitäten verursacht. Polyanionische Materialien zeichnen sich durch eine überlegene Zyklenfestigkeit aus, die mehr als 10.000 Ladezyklen erreichen kann. Sie bleiben in Bezug auf die realisierbare Energiedichte jedoch hinter Schichtoxiden zurück. Polyanionische Materialien zeigen Schwächen in der elektronischen Leitfähigkeit, die durch leitfähige Beschichtungen (zum Beispiel Kohlenstoff) kompensiert werden müssen. PBA überzeugen durch ihre geringen Herstellungskosten und die Verwendung des gut verfügbaren Rohstoffs Eisen. Im Vergleich zu Schichtoxiden ist die realisierbare Energiedichte aber geringer. PBA liegen in Bezug auf die Zyklenfestigkeit zwischen Schichtoxiden und polyanionischen Materialien.

Ein wesentlicher Vorteil der SIB- gegenüber der LIB-Technologie liegt in der Rohstoffverfügbarkeit: Natrium ist das sechsthäufigste Element der Erdkruste und in nahezu unbegrenzten Mengen verfügbar, insbesondere in Meerwasser. Die Gewinnung ist geografisch breit verteilt und kaum geopolitischen Risiken ausgesetzt, was mit potenziell geringeren Herstellungskosten gegenüber Lithium-Ionen-Batterien verbunden ist (Fraunhofer ISI 2024; Voß et al. 2025). Lithium ist zwar grundsätzlich verfügbar, die Förderung konzentriert sich jedoch auf wenige Regionen wie Chile, China, Australien und Argentinien. Zudem ist der Abbau ressourcenintensiv, insbesondere in Bezug auf den Wasserverbrauch, und kann erhebliche lokale Umweltbelastungen verursachen.

Auch hinsichtlich der Umweltverträglichkeit besitzen SIB sehr günstige Eigenschaften. Da keine energieintensiven und mit langen Transportwegen verbundenen Rohstoffe wie Lithium oder Kobalt benötigt werden, ist der ökologische Fußabdruck des Rohstoffabbaus grundsätzlich geringer. SIB bieten das Potenzial für einen signifikant geringeren CO₂-Fußabdruck (Voß et al. 2025). Dies gilt insbesondere dann, wenn als Anodenmaterial Hartkohlenstoff anstelle von energieintensivem synthetischem Graphit verwendet wird (Liu et al. 2024; Voß et al. 2025). Die Recyclingfähigkeit von SIB wird hinsichtlich der technischen

Machbarkeit als grundsätzlich vorteilhaft eingeschätzt. Durch den geringeren Anteil kritischer Materialien und die einfacheren Trennverfahren könnten sie langfristig sogar Vorteile gegenüber LIB aufweisen. Die Recyclingprozesse haben jedoch den industriellen Maßstab noch nicht erreicht. Zusätzlich besteht bei SIB im Vergleich zu LIB mit NMC, die wertvolle Metalle wie Kobalt und Nickel enthalten, ein geringerer wirtschaftlicher Anreiz der Materialrückgewinnung (Fraunhofer ISI 2023). Im Vergleich zu LIB mit LFP ist die Differenz beim wirtschaftlichen Anreiz geringer. Für LIB sind Recyclingverfahren bereits grundlegend etabliert, wenngleich sich die industrielle Skalierung in Europa ebenfalls noch im Aufbau befindet.

SIB weisen eine höhere thermische Stabilität³ auf, was das Risiko eines thermischen Durchgehens (Thermal Runaway) verringert – ein selbstverstärkender Prozess, bei dem die Temperatur in der Batterie rasch ansteigt, was die zugrunde liegende chemische Reaktion weiter beschleunigt und zu Überhitzung, Beschädigung oder Explosion der Batterie führen kann (Mekdour et al. 2025). SIB sind zudem unempfindlich gegenüber Tiefentladung, was ihre Lebensdauer erhöht und ihren sicheren Transport erleichtert. Weiterhin verfügen SIB gegenüber LIB über eine hohe Leistungsfähigkeit auch bei niedrigen Temperaturen (Kory o. J.): Sie behalten bei -20 °C noch bis zu 90 % ihrer Kapazität. Dieser Aspekt ist besonders relevant und vorteilhaft für Anwendungen in kälteren Klimazonen oder bei stark schwankenden Umgebungsbedingungen. LIB hingegen verfügen über einen vergleichsweise begrenzten optimalen Betriebstemperaturbereich (Zhao et al. 2024). Bei sehr niedrigen oder sehr hohen Temperaturen nehmen deren Leistung und Lebensdauer deutlich ab, weshalb häufig ein aktives Temperaturmanagement erforderlich ist. Für SIB ist eine Luftkühlung ausreichend.

Die Zyklenfestigkeit gibt an, wie oft eine Batteriezelle geladen und entladen werden kann, bevor ihre Leistung signifikant nachlässt, und ist damit ein entscheidender Faktor für die wirtschaftliche und ökologische Tragfähigkeit von Batterien und deren Marktreife. Besonders für stationäre Energiespeicher, die möglichst über Jahrzehnte hinweg kosteneffizient funktionieren müssen, ist die Zyklenfestigkeit von großer Bedeutung. SIB weisen bereits heute eine gute Zyklenfestigkeit auf, wobei mit weiteren Verbesserungen aufgrund der hohen Forschungsdynamik gerechnet werden kann. Dennoch verfügen SIB derzeit häufig noch über eine etwas geringere Zyklenfestigkeit als der Lithium-Benchmark, insbesondere im Vergleich zu LFP (Voß et al. 2025). Für viele Anwendungen, vor allem stationäre Energiespeicher, ist die Zyklenfestigkeit von SIB jedoch bereits ausreichend. SIB mit Kathodenmaterialien aus der Materialgruppe PBA erreichen

³ Natrium ist weniger reaktiv als Lithium und es besteht die Möglichkeit, wässrige Elektrolyte einzusetzen, was bei Lithium-Ionen-Batterien aufgrund der hohen Reaktivität von Lithium mit Wasser kaum realisierbar ist.

10.000 bis über 50.000 Ladezyklen ohne signifikante Einbußen (Ather 2025) und liegen damit sogar deutlich vor den LIB – bei allerdings deutlich reduzierter Energiedichte.⁴

Ein zentraler Nachteil der SIB- im Vergleich zur LIB-Technologie ist deren niedrigere Energiedichte. Die gravimetrische Energiedichte (Wh/kg) gibt an, wie viel Energie pro Kilogramm Batterie gespeichert ist. Sie ist besonders wichtig für mobile Geräte wie Elektroautos oder Drohnen, deren Reichweite maßgeblich durch das Batteriegewicht beeinflusst wird. Für platzkritische Anwendungen (beispielsweise in Smartphones) wird eher die volumetrische Energiedichte (Wh/l) betrachtet, die angibt, wie viel Energie pro Volumen gespeichert ist. Bei der gravimetrischen Energiedichte haben SIB beinahe zu den weniger energiedichten LIB mit LFP aufgeschlossen. Diese erreichen eine gravimetrische Energiedichte von bis zu 214 Wh/kg, während SIB mit Schicht-oxidkathoden (147 bis 206 Wh/kg), mit PBA (161 bis 185 Wh/kg) sowie mit polyanionischen Materialien (158 bis 192 Wh/kg) knapp darunter liegen (Tabelle 3). Allerdings sind bei der volumetrischen Energiedichte die Unterschiede deutlich ausgeprägter: Hier liegen LIB (mit LFP) bei bis zu 507 Wh/l und SIB (Schichtoxide) bei lediglich 333 bis 419 Wh/l. SIB mit PBA und polyanionischen Materialien fallen noch deutlicher ab (Voß et al. 2025).

Die niedrigere Energiedichte der SIB hat zur Folge, dass für gleiche Speicherkapazität größere und schwerere Batterien benötigt werden – ein Nachteil insbesondere für volumenkritische Anwendungen und Anwendungen, die sehr hohe Reichweitenanforderungen stellen (beispielsweise Raumfahrt sowie bestimmte Militär- und Spezialfahrzeuge).

Marktpotenziale, Kosten und Anwendungsfelder

SIB eignen sich aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften besonders für stationäre Energiespeicher. Sie stellen gerade für große Stromspeicherlösungen im Kontext erneuerbarer Energien eine kostengünstige und sichere Alternative dar, etwa als Zwischenspeicher für Windkraft- und Solaranlagen oder als Notstromspeicher, auch im Tieftemperaturbereich. Sie sind zudem aufgrund ihrer geringen Kosten und hohen Sicherheit auch für Anwendungen im Bereich der Konsumelektronik attraktiv, beispielsweise bei Powerbanks, wo die hohe Zyklenfestigkeit und Temperaturbeständigkeit von Vorteil sind (Resch 2025), und als Systembackup. Im Bereich der E-Mobilität und Mikromobilität werden SIB vor allem wegen ihrer hohen thermischen Stabilität und ihrer guten Leistungswerte bei niedrigen Temperaturen als geeignet für E Bikes, Stadtbusse und kleinere Elektrofahrzeuge bzw. Stadt-E-Autos eingeschätzt. Bei SIB wird zukünftig

Tabelle 3 Vergleich der Energiedichten von SIB und LIB

Energiedichte	volumetrisch in Wh/l	gravimetrisch in Wh/kg
SIB (Schichtoxide)	333–419	147-206
SIB (PBA)	260–302	161–185
SIB (polyanionische Materialien)	310–366	158–192
LIB (LFP)	340–450	165–190
LIB (NMC)	440–750	195–300

Eigene Zusammenstellung nach Voß et al. (2025); Koloch et al. (2025)

von niedrigeren Herstellungskosten ausgegangen (Keiner et al. 2026), was auf die deutlich höhere Verfügbarkeit und die geringeren Kosten für die eingesetzten Rohstoffe zurückzuführen ist: Natrium statt Lithium, Verzicht auf Kobalt oder Nickel als Kathodenmaterial gegenüber LIB mit NMC, bei LIB mit LFP ist die Verfügbarkeitsdifferenz geringer.

Es lässt sich festhalten, dass SIB insbesondere durch ihre exzellente Rohstoffverfügbarkeit, die potenziell bessere Umweltbilanz und Sicherheitsvorteile überzeugen. Damit stellen sie vor allem für stationäre Speicheranwendungen und kosten- sowie nachhaltigkeitsgetriebene Einsatzfelder eine zunehmend attraktive Alternative dar. Die aktuellen Forschungsbemühungen konzentrieren sich auf die Erhöhung der Langzeitstabilität und der Energiedichte, um die technologische Attraktivität weiter zu erhöhen und SIB für weitere Marktsegmente, etwa mobile Anwendungen, einsatzfähig zu machen (Fraunhofer IFAM 2025; Koloch et al. 2025). Darüber hinaus werden Elektrodenmaterialien weiter optimiert, da noch Spielraum für Leistungssteigerungen durch gezielte Materialverbesserungen vorhanden ist und die Hoffnung besteht, dass die Lücke zu LIB in Zukunft weiter geschlossen werden kann (Fraunhofer FFB 2025). Kurzfristig ist allerdings anzunehmen, dass die LIB aufgrund ihrer höheren Energiedichte und technologischen Reife die bevorzugte Lösung für mobile und sehr leistungsintensive Anwendungen bleiben (hier vor allem die LIB-NMC). Es ist daher zunächst weniger von einer Substitution als vielmehr von einer komplementären Koexistenz beider Technologien auszugehen, bei der sich der jeweilige Einsatz am konkreten Anforderungsprofil orientiert (Keiner et al. 2026). Das liegt zum einen an der wachsenden, durch Marktakteure erzeugten Nachfrage nach Energiespeichern und zum anderen am durch politische Rahmenbedingungen (beispielsweise strategische Ziele der Energiewende) vorgegebenen, enorm steigenden weltweiten Bedarf, den keine einzelne Technologie vollständig decken kann.

4 Die Zyklenanzahl hängt maßgeblich vom Kathodenmaterial ab. Während polyanionische Materialien eine hohe Zyklenfestigkeit aufweisen, ist die Zyklenfestigkeit bei den Schichtoxiden aktuell noch begrenzter. Hinsichtlich der Energiedichte verhält es sich bei den alternativen SIB genau umgekehrt.

Gesellschaftliche und politische Relevanz

Geopolitische und ökonomische Aspekte

Natrium ist weltweit in großen Mengen verfügbar und gleichmäßiger verteilt als Lithium. Durch gezielte Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen in Post-Lithium-Batterien (insbesondere SIB) lässt sich die Abhängigkeit von lithiumfördernden Regionen wie Chile, Argentinien, Australien oder China verringern, wodurch geopolitische Risiken für die Europäische Union reduziert werden. Mit SIB können neue Anwendungsfelder erschlossen werden und sie ermöglichen langfristig eine diversifizierte, resiliente Speicherinfrastruktur. Der Aufbau einer verantwortungsvollen Lieferkette ist unerlässlich, um soziale und ökologische Risiken zu minimieren und wettbewerbsfähige Strukturen zu sichern.

Das Thema berührt mehrere Politikfelder – Industrie- und Rohstoffpolitik, Energiepolitik sowie Fragen der technologischen Souveränität – und eröffnet neue Chancen für industrielle Wertschöpfung, insbesondere für Start-ups, kleine und mittlere Unternehmen und rohstoffärmere Regionen. Die Batteriewertschöpfungskette ist sehr komplex: Sie umfasst Rohstofflieferanten, Material- und Zellproduzenten, Modul- und Packintegratoren, Maschinen- und Anlagenbauer, Fahrzeug- und Systemhersteller sowie Forschung, Zertifizierung und Recycling. Diese Vielzahl an Akteuren bildet ein Netzwerk, das nicht nur die Produktion, sondern auch die Weiterentwicklung und Kreislaufführung von Post-Lithium-Batterien gewährleisten kann und damit ihre strategische Bedeutung für eine nachhaltige und autonome europäische Energiespeicherlandschaft unterstreicht.

Ökologische Dimension

LIB sind mit erheblichen Umweltbelastungen beim Rohstoffabbau verbunden, was den Bedarf an alternativen oder ergänzenden Technologien unterstreicht. Der Einsatz von Natrium, Magnesium oder Aluminium kann Umweltbelastungen reduzieren, da sich diese Elemente mit weniger Energie- und Ressourceneinsatz gewinnen lassen als Lithium und Kobalt. Durch diese umweltverträglichere Rohstoffbasis verbessert sich die ökologische Bilanz von Post-Lithium-Systemen.

Dennoch müssen die potenziellen Umweltauswirkungen einer großvolumigen Natriumförderung frühzeitig und kritisch bewertet werden. Ökologische Nachhaltigkeit bedeutet, auch bei alternativen Rohstoffen ökologische Grenzen zu respektieren und Kreislaufaspekte konsequent einzubeziehen. Wichtige Prüfgrößen sind dabei die Energieintensität der Herstellung, die tatsächliche Recyclingfähigkeit im industriellen Maßstab und die Ökobilanz über den vollständigen Lebenszyklus.

Post-Lithium-Systeme können einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten – vorausgesetzt, ihre Produktion erfolgt ressourcenschonend und sozial verantwortlich. Unter



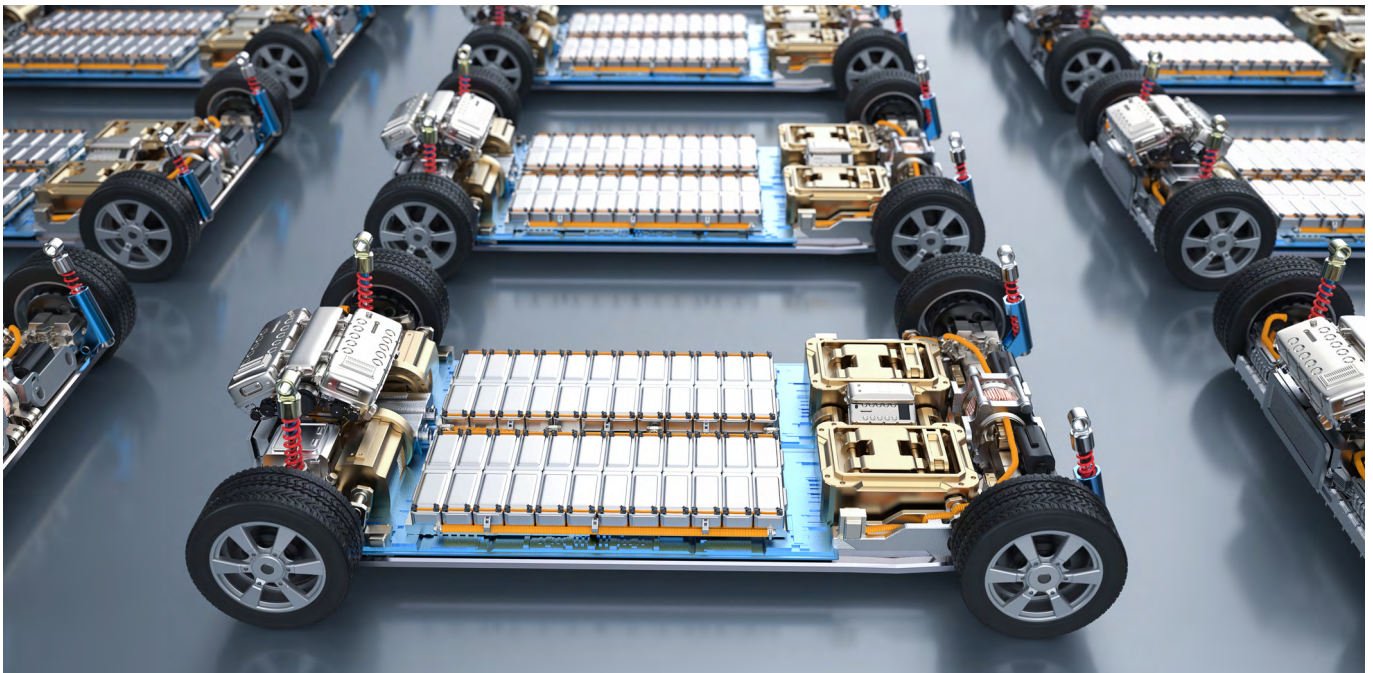
ethischen Gesichtspunkten bergen diese Technologien zudem das Potenzial, zu mehr globaler Gerechtigkeit beizutragen. Indem sie Konfliktrohstoffe ersetzen, können sie Menschenrechtsverletzungen im Rohstoffsektor verringern – ein besonders dringliches Anliegen angesichts der Probleme im Lithium- und Kobaltabbau.

Forschungs- und Innovationsdynamik sowie internationaler Wettbewerb

Die globale Forschungs- und Innovationslandschaft hinsichtlich Publikationsleistung und Patentanmeldungen im Bereich Batterieforschung und -fertigung wird derzeit von Asien dominiert, insbesondere von China, Japan und Südkorea. China ist zugleich ein zentraler Leitmarkt für Elektrofahrzeuge und stationäre Speicher, was die Entwicklung und frühe Anwendung neuer Batterietechnologien dort zusätzlich beschleunigt und zu einer strategischen Vorherrschaft geführt hat. Großprojekte auf europäischer und deutscher Ebene wie Battery2030+ und BIG-MAP adressieren diese Wettbewerbssituation und setzen auf die Entwicklung nachhaltiger und leistungsfähiger Post-Lithium-Batteriesysteme. Der EU-Anteil an Patentanmeldungen liegt für die meisten alternativen Technologien im Bereich von etwa 13 bis 19 % [etc.] (bei LIB rund 15 %), während der Anteil bei Redox-Flow-Batterien mit etwa einem Viertel deutlich höher ist (Fraunhofer ISI 2023). Japan gilt in vielen Segmenten als führend bei Patentanmeldungen und erreicht je nach Technologie Anteile von etwa 25 bis über 40 %. Deutschland hält im Bereich der Lithium-Ionen-Batterien einen globalen Patentanteil von rund 7 % und liegt damit hinter China, Japan und Südkorea, besitzt aber dennoch im europäischen Kontext eine wettbewerbsfähige Position. Diese Befunde verdeutlichen: Europa und insbesondere Deutschland weisen zwar etablierte Kompetenz auf, gegenüber der asiatischen Dominanz hinken sie aber deutlich hinterher, was nur durch gezielte Investitionen aufgeholt werden könnte.

Politische Handlungsoptionen

Um einen neuen Batteriestandard zu etablieren, ist neben robusten Finanzierungsmodellen und vorausschauender strate-



gischer Planung, die auch die Entwicklung der Rohstoffpreise berücksichtigt, ein entschlossener politischer Wille in Form von Forschungsförderung, des Setzens von Anreizen sowie der Berücksichtigung in der Strategieentwicklung unerlässlich (Battery News 2025).

Durch gezielte Forschungsförderung, die Stärkung von Anreizen für Pilot- und Großserienproduktionen sowie die systematische Verankerung von Post-Lithium-Batterien in energie- und mobilitätspolitischen Strategien könnten die forschungs- und innovationspolitischen Rahmenbedingungen wesentlich verbessert werden.

Investitionen in deutsche und europäische Forschungs- und Produktionskapazitäten stärken die Technologiesouveränität im Bereich der Post-Lithium-Batteriespeicherung. Dabei ist von einer Koexistenz verschiedener Batterietechnologien auszugehen (Keiner et al. 2026). Der massive Anstieg des zukünftigen Bedarfs für die Energie und Mobilitätswende schafft Raum für mehrere speichertechnologische Ansätze und ermöglicht eine weitere Differenzierung nach Anwendungsbereichen (stationäre Speicher, E-Mobilität etc.).

Der Aufbau neuer Lieferketten sowie die Förderung internationaler Kooperationen für Standardisierung und Innovation erfordern – unter Beachtung von Umwelt- und Sozialstandards – koordinierte, länderübergreifende Anstrengungen. Eine zentrale Frage lautet dabei, wie Lieferketten so gestaltet werden können, dass in Europa eine resiliente und technologiesouveräne Batteriewertschöpfungskette entsteht, die wirtschaftliche, geopolitische und ökologische Erfordernisse gleichermaßen berücksichtigt.

Der Übergang von der etablierten Lithium-Ionen-Ära in eine Post-Lithium-Ära mit einem breiten Spektrum unterschiedlicher Batterietechnologien bietet die Chance, die Technologieentwicklung mit einem klaren Fokus auf Nachhaltigkeit, soziale Gerechtigkeit und Resilienz statt ausschließlich auf technologische oder ökonomische Optimierung neu zu strukturieren.

Mögliche vertiefte Bearbeitung des Themas

Da sich im Bereich der Batterie-, Batteriezell- und Materialforschung eine sehr aktive und dynamische Forschungslandschaft gebildet hat, kann ein kontinuierlicher technologischer Fortschritt beobachtet werden. Für die weitere Gestaltung politischer Rahmenbedingungen im Bereich Forschungsförderung sowie der Entwicklung ökonomischer Anreizstrukturen erscheint es angebracht, Orientierungswissen für politische Entscheidungsträger bereitzustellen. Dies kann im Rahmen eines TA-Projekts erfolgen. Ein solches TA-Projekt könnte dabei nicht nur den aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstand von SIB systematisch zusammenfassen, sondern auch die weiteren relevanten Post-Lithium-Technologien berücksichtigen. Ein umfassendes TA-Projekt könnte verschiedene Entwicklungspfade der unterschiedlichen Technologien beschreiben und durch geeignete Methoden und Analysen die Potenziale und Risiken der verschiedenen Post-Lithium-Technologien charakterisieren. Das Ergebnis wäre ein detaillierter TAB-Bericht mit Handlungsoptionen sowie einer möglichen Technologieroadmap.

Literatur

- AIT (2025): HighMag: Magnesium-Batterien als Schlüsseltechnologie für die nachhaltige Energiezukunft. Austrian Institute of Technology, <https://presse.ait.ac.at/news-highmag-magnesium-batterien-als-schluessestechnologie-fuer-die-nachhaltige-energiezukunft?id=222167&menu-aid=33866&l=deutsch> (4.2.2026)
- Ather, I. (2025): Sodium-ion batteries in 2025: a snapshot of the fast-emerging „post-lithium“ option. Synergy Files, <https://synergyfiles.com/2025/06/sodium-ion-batteries-in-2025-a-snapshot-of-the-fast-emerging-post-lithium-option/> (3.2.2026)
- Battery News (2025): „Natron Energy“ stellt Betrieb ein. <https://battery-news.de/2025/09/08/natron-energy-stellt-betrieb-ein/> (4.2.2026)
- Bayern Innovativ (2025): Phenogy stellt Natrium-Ionen-Speicher in Bremen vor. Erster großtechnischer Natrium-Ionen-Speicher Europas in Bremen in Betrieb genommen. <https://www.bayern-innovativ.de/emagazin/detail/phenogy-stellt-natrium-ionen-speicher-in-bremen-vor> (4.2.2026)
- EnBW (2025): Natrium-Ionen-Akku: Was macht die Technologie so interessant? Energie Baden-Württemberg AG <https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/laden/natrium-ionen-akku-was-macht-die-technologie-so-interessant/#herausforderungen-und-zuk%C3%BCnftige-forschungsperspektiven> (17.2.2026)
- ESA (o. J.): Technology Readiness Levels (TRL). European Space Agency, https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Shaping_the_Future/Technology_Readiness_Levels_TRL (4.2.2026)
- Fraunhofer IFAM (2025): BMBF-Projekt zur schnellen industriellen Umsetzung der Natrium-Ionen-Technologie gestartet. <https://www.ifam.fraunhofer.de/de/Presse/bmbf-projekt-natrium-ionen-technologie.html> (4.2.2026)
- Fraunhofer ISI (2023): Alternative Battery Technologies Roadmap 2030+ (Autor/innen: Stephan, A. et al.). Karlsruhe, <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2023/abt-roadmap.pdf> (16.2.2026)
- Fraunhofer ISI (2024): Alternativen zur Lithium-Ionen-Batterie: Potenziale und Herausforderungen alternativer Batterietechnologien. Karlsruhe, <https://www.isi.fraunhofer.de/de/blog/themen/batterie-update/alternative-batterie-technologien-lithium-ionen-potenziale-herausforderungen.html> (4.2.2026)
- Fraunhofer FFB (2025): Fraunhofer FFB-Studie belegt: Natrium-Ionen-Batterien stehen kurz vor der Marktreife. https://www.ffb.fraunhofer.de/de/news/Pressemitteilungen/Natrium_Ionen_Batterien_stehen_kurz_vor_der_Marktreife.html (4.2.2026)
- Keiner, D. et al. (2026): Sodium-ion battery cost projections and their impact on the global energy system transition until 2050. In: Journal of Energy Storage 146, Art. 119861, <https://doi.org/10.1016/j.est.2025.119861>
- KIT (o. J.): Forschung an Post-Lithium-Batterien. Karlsruher Institut für Technologie, aktualisiert 15.7.2022, <https://www.iam.kit.edu/mmi/deutsch/2052.php> (4.2.2026)
- Koloch, J. et al. (2025): From Cell to Pack: Empirical Analysis of the Correlations Between Cell Properties and Battery Pack Characteristics of Electric Vehicles. In: World Electric Vehicle Journal 16(9), No. 484, <https://doi.org/10.3390/wevj16090484>
- Kory, M. (o. J.): Natrium-Ionen-Technologie: Wie ein 1000-fach verfügbarer Rohstoff die Energiespeicherung neu definiert. Handelsblatt, aktualisiert 29.10.2025, <https://live.handelsblatt.com/natrium-ionen-technologie-wie-ein-1000-fach-verfuegbarer-rohstoff-die-energiespeicherung-neu-definiert/> (4.2.2026)
- Liu, H. et al. (2024): Life cycle assessment of bio-based hard carbon for sodium-ion batteries across different production scales. In: Chemical Engineering Journal 495, Art. 153410, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.153410>
- Mekdour, K. et al. (2025): Comparative Analysis of Cell Design: Form Factor and Electrode Architectures in Advanced Lithium-Ion Batteries. In: Batteries 11(12), Art. 450, <https://doi.org/10.3390/batteries11120450>
- ÖAW-ITA; KIT-ITAS (2023): Batteriesysteme der Zukunft. Aktualisiert Mai 2025, https://www.parlament.gv.at/dokument/fachinfos/zukunftsthemen/148_superbatterien.pdf (16.2.2026)
- Oscilion (o. J.): Next-generation energy storage – safe, sustainable, and ready for Nordic conditions. <https://oscilion.com/batteries/> (5.2.2026)
- Resch, R. (2025): Erste Powerbank mit Natrium-Ionen-Akku im Handel: Vorteile und Nachteile. PC-Welt, <https://www.pcwelt.at/news/erste-powerbank-mit-natrium-ionen-akku-im-handel-vorteile-und-nachteile>

pcwelt.de/article/2639227/erste-powerbank-mit-natrium-
ionen-akku-erreicht-den-handel.html (5.2.2026)

- ▶ PEM-RWTH; Roland Berger GmbH; RWTH Aachen University (2025): Battery Monitor 2024/2025. The Value Chain between Economy and Ecology. Production Engineering of E-Mobility Components of RWTH Aachen University, Roland Berger GmbH, Aachen/Stuttgart
- ▶ Voß, P. et al. (2025): Benchmarking state-of-the-art sodium-ion battery cells – modeling energy density and carbon footprint at the gigafactory-scale. In: Energy & Environmental Science 18(17), S. 8104–8129, <https://doi.org/10.1039/d5ee00415b##>
- ▶ Werwitzke, C. (2023): BYDs Fabrik für Natrium-Ionen-Batterien soll auf 30 GWh kommen. Electrive, <https://www.electrive.net/2023/11/20/byds-fabrik-fuer-natrium-ionen-batterien-soll-auf-30-gwh-kommen/> (4.2.2026)
- ▶ Werwitzke, C. (2024): China: Produktionsdebüt für E-Kleinwagen mit Natrium-Ionen-Akkus. Electrive, <https://www.electrive.net/2024/01/02/china-produktionsdebut-fuer-e-kleinwagen-mit-natrium-ionen-akkus/> (4.2.2026)
- ▶ Zhao, Y. et al. (2024): Sodium-Ion Battery at Low Temperature: Challenges and Strategies. In: Nanomaterials 14(19), No. 1604, <https://doi.org/10.3390/nano14191604##>

Herausgeber

Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag (TAB)

Bildnachweise

da-kuk/iStock (S. 1); SweetBunFactory/iStock (S. 5);
sarawuth702/iStock (S. 7); PhonlamaiPhoto/iStock (S. 8)

ISSN: 2629-2874

DOI: 10.5445/IR/1000191045

Horizon SCANNING

Das Horizon-Scanning ist Teil der Foresight-Aktivitäten des
TAB und wird vom Institut für Innovation und Technik (iit) in
der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH durchgeführt.

www.tab-beim-bundestag.de/horizon-scanning