

The First Principles Playbook:

**Wie neue Energie-  
speichertechnologien  
kostengünstige und resiliente  
Energieversorgung für  
Deutschland ermöglichen können**

Unterstützt von

**SPRIN-D**

## Executive Summary

**Die Energiewende in Deutschland muss sich an Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit für alle Nutzer orientieren.** Im Zuge des Ausstiegs aus fossilen Energieträgern und dem Aufbau eines klimaneutralen Energiesystems sollte der Maßstab für Erfolg eine zentrale Frage sein: Wie hoch sind die tatsächlichen Kosten für die Nutzer – also Haushalte und Industrie? Hohe Strompreise gefährden die Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandorts Deutschland und untergraben die gesellschaftliche Akzeptanz für die Klimapolitik. Um die Energiewende zukunftssicher und sozialverträglich zu gestalten, braucht es einen klaren Investitionskurs – basierend auf fünf Prinzipien: Preiswürdigkeit, Versorgungssicherheit, Effizienz, Langfristigkeit und Energieunabhängigkeit.

**Investitionen sollten auf Technologien mit nachhaltigem Mehrwert und geringem geopolitischem Risiko fokussiert werden.** Das bedeutet konkret, dass nur in Technologien investiert werden sollte, die kostengünstigen Strom erzeugen, langfristig zuverlässig funktionieren, Effizienzverluste durch unnötige Energieumwandlungen vermeiden, und wirtschaftlich tragfähig sowie zukunftsrelevant bleiben. Gleichzeitig kann Deutschland durch solche Investitionen seine Abhängigkeit von importierten fossilen Energieträgern und unsicheren Wasserstofflieferungen aus geopolitisch instabilen Regionen reduzieren.

**Erneuerbare Energien kombiniert mit Langzeitspeichern bieten den besten Weg zu bezahlbarer, sicherer Stromversorgung.** Direkte Elektrifizierung – insbesondere durch Wind- und Solarstrom – ist bereits heute eine kosteneffiziente und skalierbare Lösung. Diese Quellen sind jedoch volatil: Strom wird nur produziert, wenn die Sonne scheint oder der Wind weht. Langzeitspeicherlösungen (Long-Duration Energy Storage, LDES) können diese Schwankungen ausgleichen, indem sie Überschussstrom speichern und bei Bedarf abgeben. Laut McKinsey und dem LDES Council könnten solche Speicher bis 2040 bis zu 10 % des Strombedarfs abdecken und Einsparungen von bis zu 540 Mrd. USD generieren<sup>12</sup>. Damit wird grundlastfähiger Strom ohne fossile Gaskraftwerke möglich, was Preisvolatilität und Abhängigkeiten von Brennstoffimporten reduziert.

**Der Neubau von Gaskraftwerken ist mit hohen Kosten und strategischen Risiken verbunden.** Der Einstieg in eine neue Generation von Gaskraftwerken würde Deutschland in ein ineffizientes und politisch riskantes Energiesystem führen. Selbst wenn diese als „wasserstofffähig“ bezeichnet werden, sind nachhaltiger Betrieb und Wirtschaftlichkeit nicht gegeben – u. a. wegen der geringen Verfügbarkeit von Wasserstoff und hohen Betriebskosten. Solche Anlagen drohen, als gestrandeten Vermögenswerten vor dem Ende ihrer technischen Nutzungsdauer aus dem Markt zu fallen – mit Kostenrisiken für Investoren und Verbraucher.

---

<sup>1</sup> McKinsey (2021)

<sup>2</sup> LDES Council (2025)

**Langzeitspeicherlösungen sind nicht nur kosteneffizient, sie können auch mit heimischen Ressourcen gefertigt werden.** Innovative Technologien – wie reversible Festoxid-Brennstoffzellen, Eisen-Luft-Batterien und redoxbasierte Flussbatterien – ermöglichen Lebensdauern von 20 bis 40 Jahren bei geringen Betriebskosten. Die rasanten Fortschritte im SPRIND-LDES-Challenge-Programm zeigen, wie schnell diese Technologien zur Marktreife gelangen können. Mehrere Projektteams konnten binnen 18 Monaten signifikante Fortschritte beim Technologiereifegrad (TRL) erzielen und gleichzeitig Systemkosten um mehr als 20 % senken – ein Beleg dafür, dass europäische Innovation den Weg in eine bezahlbare und sichere Energiezukunft ebnen kann.

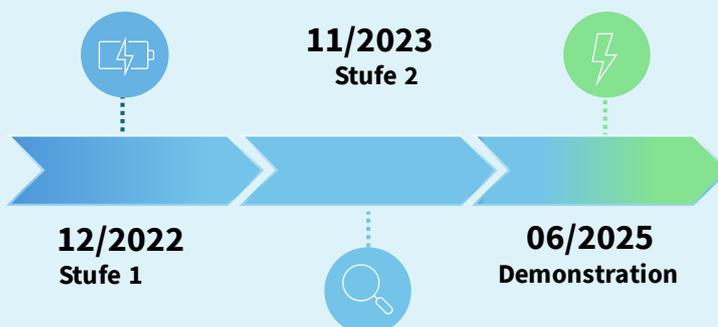
### BOX: SPRIND LDES Challenge – Überblick

Die Long-Duration Energy Storage (LDES) Challenge der SPRIND, gestartet im Dezember 2022, fördert skalierbare, resiliente und kostengünstige Speicherlösungen, die das Stromnetz stabilisieren und Energiekosten für Industrie und Haushalte senken können. Ziel ist ein robustes, wirtschaftliches und unabhängiges Energiesystem, das durch flexible Integration erneuerbarer Energien jederzeit zuverlässig betrieben werden kann – unabhängig von Wetter oder Tageszeit. Schnelle öffentliche Fördermittel ermöglichen die Umsetzung ambitionierter Ideen in marktfähige Technologien.

#### Struktur der Challenge

- Stufe 1 (Dez 2022 – Dez 2023):  
Mehr als 40 qualifizierte Teams haben sich auf bis zu 1 Million Euro beworben, um ihre Konzepte zu entwickeln. Die Fortschritte wurden nach einem Jahr auf der Grundlage von Machbarkeit, Innovation und Skalenpotenzial bewertet.
- Stufe 2 (Dez 2023 – Mai 2025):  
Vier Finalisten wurden im November 2023 ausgewählt. Jedes Team erhielt bis zu 3 Mio. EUR zusätzlich, plus individuelles Coaching, um ihre Technologien weiterzuentwickeln.

Finale Demonstrationen fanden im Juni 2025 statt.



## Finalisten & Schlüsseltechnologien

### 1. Reverion

*Technologie:* Kompaktes Hochleistungssystem zur Kombination von Gasspeicherung mit reversiblen Festoxid-Brennstoffzellen.

*Anwendung:* Wandelt überschüssigen Ökostrom in Gas um und re-elektrifiziert diesen bei Bedarf. Ermöglicht **Netzstabilität** durch Bereitstellung **regelbarer Leistung** und Teilnahme am **Energiemarkt-Arbitragehandel**.

### 2. Haliogen Power

*Technologie:* Fortgeschrittene Redox-Flow-Batterie mit **ultradünnen keramischen Membranen** für sicheren Ionenaustausch.

*Anwendung:* **Modulares und skalierbares Speichersystem** für mittel- bis langfristige Anwendungen. Vorteile: **hohe Sicherheit, Langlebigkeit, niedrige Kosten** im Vergleich zu herkömmlichen Batteriesystemen.

### 3. Ore Energy

*Technologie:* **Eisen-Luft-Batterie** mit günstigen, reichlich verfügbaren Materialien wie Eisen, Luft und Wasser.

*Anwendung:* Ermöglicht **Stromspeicherung für bis zu 100 Stunden**, ideal für **mehrtägige Versorgungsengpässe** bei Wind- und Solarstrom.

### 4. Unbound Potential

*Technologie:* **Membranlose Flow-Batterie** mit wasserbasierten, nicht mischbaren Elektrolyten und drastisch vereinfachter Produktion.

*Anwendung:* Ermöglicht **massive Skalierung stationärer Speicherlösungen, 30 % unterhalb der prognostizierten Li-Ionen-Kosten**, nicht brennbar und unabhängig von kritischen Rohstoffen.

## 1. Einleitung: First Principle der Energiewende definieren

**Deutschlands Energiewende muss Wettbewerbsfähigkeit, Versorgungssicherheit und Dekarbonisierung in Einklang bringen.** Das Land steht vor der dringlichen Herausforderung, die Energiepreise zu senken, um wirtschaftlichen Abschwung zu vermeiden – und gleichzeitig eine zuverlässige Energieversorgung sicherzustellen sowie die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Bezahlbarkeit schützt sowohl die Verbraucher\*innen als auch die industrielle Wettbewerbsfähigkeit. Resilienz stellt sicher, dass das Energiesystem Störungen und externe Schocks verkraften kann. Dekarbonisierung wiederum ist unerlässlich, um Klimaziele zu erreichen, die globale Erwärmung zu begrenzen und verfassungsrechtlichen Verpflichtungen gerecht zu werden. Diese Zielsetzungen lassen sich nur durch klare Investitionsleitplanken gleichzeitig verfolgen.

**Der zentrale Maßstab für den Erfolg sind die Energiekosten für Endverbraucher.** Energiepreise beeinflussen direkt die industrielle Wettbewerbsfähigkeit, die Haushaltsbudgets und die gesellschaftliche Akzeptanz der Energiewende. Laut der Deutschen Energie-Agentur (dena) führen hohe Strompreise zu Energiearmut und steigender Skepsis gegenüber der Klimapolitik.<sup>3</sup> Eine Energiewende, die Kosten erhöht ohne klaren Nutzen, riskiert politischen Gegenwind und Verzögerungen in der Umsetzung. Investitionen sollten daher gezielt in technologische Lösungen fließen, die Kosten senken, Importabhängigkeiten reduzieren, die Effizienz steigern und dauerhafte wirtschaftliche sowie geopolitische Stabilität gewährleisten.

**Investitionsentscheidungen werden durch vielfältige Risiken beeinflusst.** Sogenannte gestrandeten Vermögenswerten – also Investitionen, die vor Ende ihrer erwarteten Nutzungsdauer obsolet werden – stellen ein signifikantes finanzielles Risiko für Verbraucher und Volkswirtschaft dar. Beispiel: Der heutige Neubau von Gasturbinen dürfte angesichts sinkender Preise und wachsender Speichertechnologien künftig wirtschaftlich nicht tragfähig sein. Ein Technologie-Lock-in, bei dem frühe Entscheidungen überlegene Lösungen blockieren, muss vermieden werden, um strategische Flexibilität zu wahren.<sup>4</sup> Zudem stellen politische und Lieferkettenbezogene Risiken – insbesondere durch Importabhängigkeit von fossilen Energieträgern aus geopolitisch instabilen Regionen – eine zusätzliche Bedrohung für die Energiesicherheit dar.<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup> dena (2024)

<sup>4</sup> Agora Energiewende (2024)

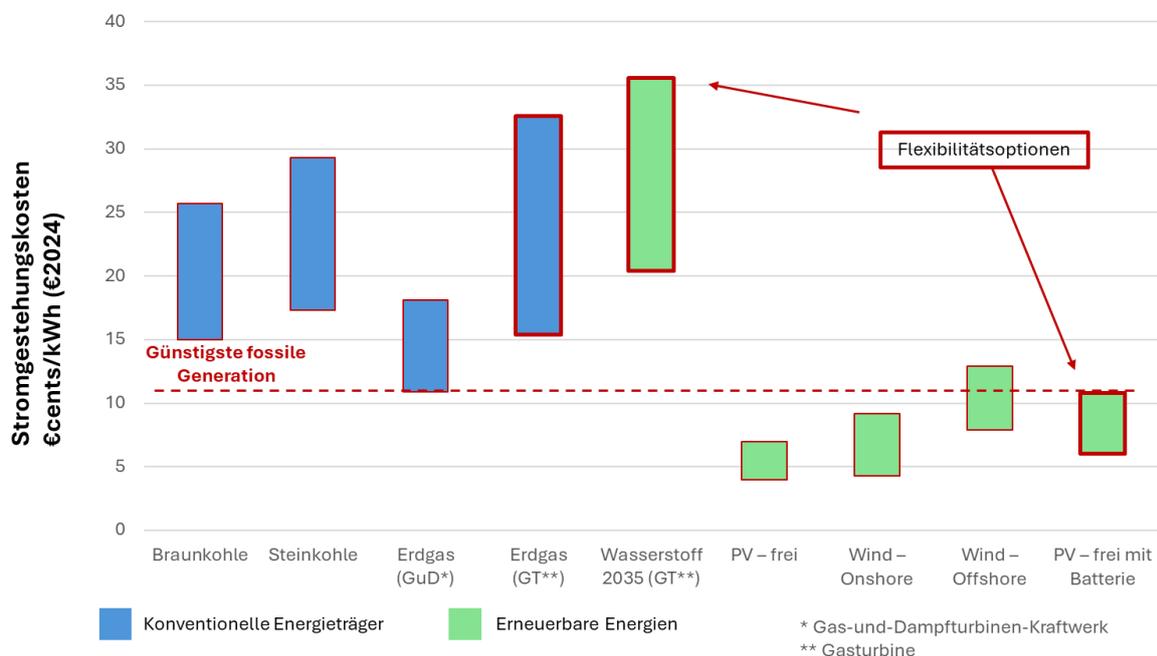
<sup>5</sup> PIK (2024)

## 2. Frist Principle: Industrielle Wettbewerbsfähigkeit

**Energiekosten sollten zentraler Entscheidungsfaktor für die Transformation sein, denn wettbewerbsfähige Energiepreise sind essenziell, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie während der Energiewende zu sichern.** Da Energiekosten einen wesentlichen Anteil an den Produktionskosten vieler Sektoren ausmachen, müssen politische und technologische Entscheidungen stets deren Auswirkungen auf die Stromgestehungskosten (LCOE) berücksichtigen. Die Minimierung von Kostensteigerungen schützt Unternehmen vor Wettbewerbsverlusten, verhindert Arbeitsplatzverluste und entlastet öffentliche Haushalte. Zur Veranschaulichung wird in der folgenden Abbildung der Vergleich der Stromgestehungskosten und der Netzintegrationskosten dargestellt – mit Fokus auf Gasturbinen versus Energiespeicherlösungen.

### Abbildung 1: Stromgestehungskosten (LCOE) – Erneuerbare Energien, Deutschland

Diese Darstellung zeigt die **LCOE-Werte** von erneuerbaren Energietechnologien und konventionellen Kraftwerken an deutschen Standorten im Jahr 2024. Die Investitionsspannbreiten wurden anhand von **Minimal- und Maximalwerten** ermittelt.



Hinweis: Zur Gewährleistung eines stabilen Netzbetriebs bieten aktuell nur drei Energiequellen flexible Regelenergie: Gasturbinen, Wasserstoffturbinen und Photovoltaikanlagen in Kombination mit Großbatteriespeichern.

Quelle: Fraunhofer ISE, Levelized Cost of Electricity- Renewable Energy Technologies 08/2024

## 2.1. Direkte Nutzung erneuerbarer Energien ist am kosteneffizientesten

**Die günstigste Stromerzeugung stammt direkt aus Wind- und Solarenergie – ohne Umwandlungsverluste.** Laut dem Fraunhofer-Institut weisen Onshore- und Offshore-Windkraft sowie Photovoltaik derzeit die niedrigsten durchschnittlichen Stromgestehungskosten (LCOE) für neue Kraftwerke in Deutschland auf.<sup>6</sup> Diese Technologien erzeugen Strom dauerhaft günstiger als fossile Alternativen. Im Gegensatz zu anderen Energieträgern liefern sie Energie ohne zwischengeschaltete Umwandlungsschritte – was zu einem Wirkungsgrad von über 90% von der Erzeugung bis zum Verbrauch führt.

**Offshore-Windenergie ist eine entscheidende, aber bislang unzureichend genutzte Ressource.** Die Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) schätzt das deutsche Offshore-Windpotenzial bis 2040 auf über 70 GW. Derzeit geplante Kapazitäten decken jedoch nur einen Bruchteil davon ab.<sup>7</sup> Hybride Energiesysteme – bestehend aus Wind, Solar und Speicherlösungen – können laut aktuellen Innovationsprogrammen Netzstabilitätsgrade von 90–95% erreichen und dabei Systemkosten senken.<sup>8</sup>

## 2.2. Auswirkungen von Wasserstoff und fossilem Erdgas auf die Systemkosten

**Erdgas kann zu höheren Systemkosten führen – bedingt durch Preisvolatilität und geopolitische Unsicherheiten.** Das zeigen aktuelle Krisen auf den europäischen Energiemärkten. Demgegenüber ermöglichen Stromüberschüsse aus erneuerbaren Quellen in manchen Regionen kosteneffiziente, langfristige Speicherung mittels molekülbasierter Systeme. Erneuerbare Gase – wie grüner Wasserstoff oder synthetisches Methan – können zur Energiesicherheit beitragen und Importabhängigkeiten reduzieren. Unter geeigneten Bedingungen kann lokal produzierter Wasserstoff helfen, die Netzstabilität zu erhöhen und Redispatch-Maßnahmen zu verringern, was die Gesamtsystemkosten senkt.

**Langzeitspeicherung erneuerbarer Energien mit molekularen Trägern ist langfristig wirtschaftlich.** Da die Erzeugung von Wasserstoff sehr energieintensiv ist, eignet er sich derzeit nur für schwer elektrifizierbare Sektoren – nicht aber für die Grundlaststromversorgung. Damit Wasserstoff wirtschaftlich einsetzbar ist, müssen Power-to-Gas- und Gas-to-Power-Technologien mit hohem Wirkungsgrad und Flexibilität verfügbar sein – etwa reversible Festoxid-Brennstoffzellen. Aktuell sind grüner Wasserstoff und moderne Elektrolyseure aufgrund der erneuerbaren Erzeugungskosten voraussichtlich frühestens ab 2040 wettbewerbsfähig für eine verlässliche, regelbare Strombereitstellung.<sup>9</sup>

---

<sup>6</sup> Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE (2024)

<sup>7</sup> Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH) (2023)

<sup>8</sup> SPRIND Innovation Challenge (2025)

<sup>9</sup> McKinsey (2024)

### 3. Vermeidung von gestrandeten Vermögenswerten<sup>10</sup>: Investitionen müssen auf langlebige Infrastruktur abzielen

#### 3.1. Neue Gaskraftwerke drohen zu gestrandeten Vermögenswerten zu werden

**Neue Gasturbinen bergen erhebliche finanzielle Risiken ohne tragfähiges Geschäftsmodell.** Die Bundesregierung plant die Ausschreibung von 10–20 GW an neuen Gasturbinen. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist jedoch nicht gegeben, wenn diese lediglich als Reservekraftwerke fungieren. Das Renditepotenzial ist gering, sodass private Investoren Investitionen scheuen und öffentliche Mittel in Milliardenhöhe erforderlich wären – zulasten dringend benötigter Kapitalallokationen für die Energiewende.

**Teure Gasturbinen verteuern die Stromversorgung und gefährden die industrielle Wettbewerbsfähigkeit Europas.** Erneuerbare Energien setzen zunehmend die Preise am Strommarkt, wodurch fossile Stromerzeugung aus dem Markt verdrängt wird. Angesichts von Bauzeiten von bis zu sechs Jahren drohen bei Gaskraftwerken Kostenüberschreitungen, die durch geringe Betriebsstunden weiter verschärft werden.<sup>11</sup> Das Resultat: hohe Spitzenpreise, mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen und eine verfestigte Abhängigkeit von fossiler Infrastruktur, die Klimaziele und industriellen Kernsektoren gefährdet.

#### 3.2. Erneuerbare Energien und Langzeitspeicher (LDES) sind langlebige Vermögenswerte

**Im Gegensatz dazu bieten erneuerbare Stromerzeugung und Langzeitspeichertechnologien (LDES) Lebensdauern von 20 bis 40 Jahren und schaffen damit eine nachhaltige Infrastruktur mit Kostenstabilität.** Technologien, wie Offshore-Windkraftanlagen, Photovoltaikinstallationen, Pumpspeicherkraftwerke, Fortschrittliche Flussbatterien, sind auf mehrere Jahrzehnte ausgelegt, gewährleisten langfristige Investitionsrenditen und reduzieren die Anfälligkeit gegenüber Brennstoffpreisisiken. Im Rahmen der SPRIND LDES Challenge entwickelten Finalisten modulare Batteriesysteme mit 30–40 Jahren technischer Lebensdauer und niedrigen Betriebskosten – ein klarer Beleg für deren wirtschaftliches Potenzial und Eignung für netzgebundene Großanwendungen.<sup>12</sup> Diese Investitionen tragen dazu bei, das deutsche Energiesystem zukunftssicher und importunabhängig zu machen – bei geringen Grenzkosten pro Kilowattstunde.

---

<sup>10</sup> Im Finanzjargon auch oft als Stranded Assets bezeichnet

<sup>11</sup> S & P Global (2025)

<sup>12</sup> SPRIND Innovation Challenge (2025)

## 4. Optimierung des Stromnetzes

### 4.1 Effizienz: Energieverluste durch Umwandlung vermeiden

**Die Minimierung von Umwandlungsprozessen ist entscheidend zur Senkung der Systemkosten und Steigerung der Effizienz.** Der Rückverstromungswirkungsgrad von erneuerbarem Strom über Wasserstoff beträgt mit konventioneller Technologie lediglich 20–30 %, da auf jeder Umwandlungsstufe erhebliche Verluste auftreten.<sup>13</sup> Im Gegensatz dazu bieten Langzeitspeichertechnologien (LDES) – insbesondere elektrochemische Systeme – Rückverstromungswirkungsgrade von 75–90 %. Damit kann ein deutlich höherer Anteil der erzeugten Energie effektiv genutzt werden. Dieser Effizienzvorteil senkt Systemkosten und reduziert den Kapitalbedarf der Energiewende, da weniger Erzeugungsanlagen notwendig sind. LDES trägt zur kosteneffizienten Netzausweitung bei und ermöglicht eine schlankere Infrastrukturplanung.

### 4.2 Elektrifizierung: Vorrang für die direkte Nutzung erneuerbarer Elektrizität

**Die direkte Elektrifizierung von Endanwendungen – wie Wärme, Mobilität und Industrie – ist der effektivste Weg, den Wert erneuerbarer Energien zu maximieren.** Technologien, wie Wärmepumpen, Elektrofahrzeuge und elektrische Lichtbogenöfen, bieten hohe Energieeffizienz bei niedrigen Grenzkosten im Vergleich zu stromwandlungsbasierten Alternativen. Die Vermeidung von Zwischenenergieträgern reduziert Infrastrukturkomplexität und Lebenszyklusverluste. In diesem Zusammenhang wirkt LDES als entscheidender Wegbereiter: Es bietet zeitliche Flexibilität (Time-Shifting) und stellt sicher, dass erneuerbare Elektrizität bedarfsgerecht verfügbar ist. Dadurch werden stabile Betriebsbedingungen in elektrifizierten Sektoren geschaffen, der Rückgriff auf fossile Reservekraftwerke verringert und der ökonomische Business Case für sektorübergreifende Elektrifizierung gestärkt.

### 4.3 Versorgungssicherheit: Resilienz und Preissicherheit durch LDES erhöhen

**LDES-Technologien sind zentral für die Resilienz des Energiesystems und den Schutz vor Marktvolatilität.** Durch die Speicherung überschüssiger erneuerbarer Energie für Zeiten geringer Einspeisung oder hoher Nachfrage reduziert LDES: die Abhängigkeit von fossilen Importenergieträgern und den Bedarf an kurzfristigem Redispatch über volatile Spotmärkte. Das stabilisiert Großhandelspreise für Strom, erhöht die Planungssicherheit für Investoren und Verbraucher, und erlaubt eine verlässliche Versorgung auch in einem durch variable Einspeisung geprägten Netz. LDES stellt gesicherte Leistung bereit – ohne Rückgriff auf CO<sub>2</sub>-intensive Technologien – und ermöglicht ein flexibles, selbstversorgendes Energiesystem mit geringen Betriebsrisiken und niedrigeren langfristigen Versorgungskosten.

---

<sup>13</sup> IRENA (2023)

#### 4.4 Autonomie: Strategische Unabhängigkeit durch lokale, skalierbare Technologien aufbauen

**LDES-Systeme aus der SPRIND-Challenge wurden unter Berücksichtigung von Materialkreisläufen und Lieferkettensouveränität entwickelt.** Beteiligte Technologien vermeiden den Einsatz kritischer Rohstoffe (CRMs) wie Lithium, Kobalt oder Seltenerdmetalle, und setzen stattdessen auf reichlich vorhandene Stoffe wie Eisen, Zink, Schwefel – verfügbar in Europa. Dieser Ansatz ermöglicht sichere, großflächige Implementierung, ohne das System geopolitischen Risiken oder langfristigen Lieferengpässen auszusetzen.<sup>14</sup> LDES ist hoch skalierbar, industriell flexible, förderlich für heimische Wertschöpfung und konform mit den EU-Zielen strategischer Autonomie. LDES ist damit nicht nur technisch leistungsfähig, sondern auch systemisch resilient – ein zentraler Baustein für europäische Energieunabhängigkeit.

### 5. Innovation und Skalierung: Kostenreduktion durch Wettbewerb beschleunigen

#### 5.1 Vorbildfunktion: Innovationszyklen als Kostensenker nutzen

**Die drastischen Kostenreduktionen bei Photovoltaikanlagen und Lithium-Ionen-Batterien in den vergangenen zwei Jahrzehnten bieten ein klares Modell für die Entwicklung von LDES.** Strategische Frühphasenförderung – wie etwa das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) in Deutschland oder industriepolitische Skalierungsprogramme in China – schufen verlässliche Nachfrage und stabile Erlösströme. Diese wiederum ermöglichten globale Skalierungseffekte in der Fertigung sowie Kostenreduktionen von 80 bis 90%.<sup>15</sup> Diese Dynamiken waren nicht zufällig, sondern politisch initiiert und lassen sich mit entsprechender Struktur gezielt replizieren.

Wenn vergleichbare Instrumente auf LDES angewendet werden – etwa langfristige Abnahmeverträge (Power Purchase Agreements), fördergebundene Skalierungsmechanismen oder staatlich gestützte Anschubfinanzierungen – können ähnliche Innovationskurven erreicht werden. Wie die aktuellen Ergebnisse der LDES-Challenge zeigen, konnten mehrere Teams ihre prognostizierten Investitionskosten innerhalb weniger Monate um 20 bis 40 % senken – durch iteratives Prototyping und kostenoptimiertes Design. Diese Entwicklungen bestätigen, dass sich LDES-Technologien aktuell in einer Phase beschleunigter Lernkurven und fallender Kosten befinden – vorausgesetzt, es bestehen stabile politische Förderkulissen und ein glaubwürdiger regulatorischer Rahmen für den Markt.

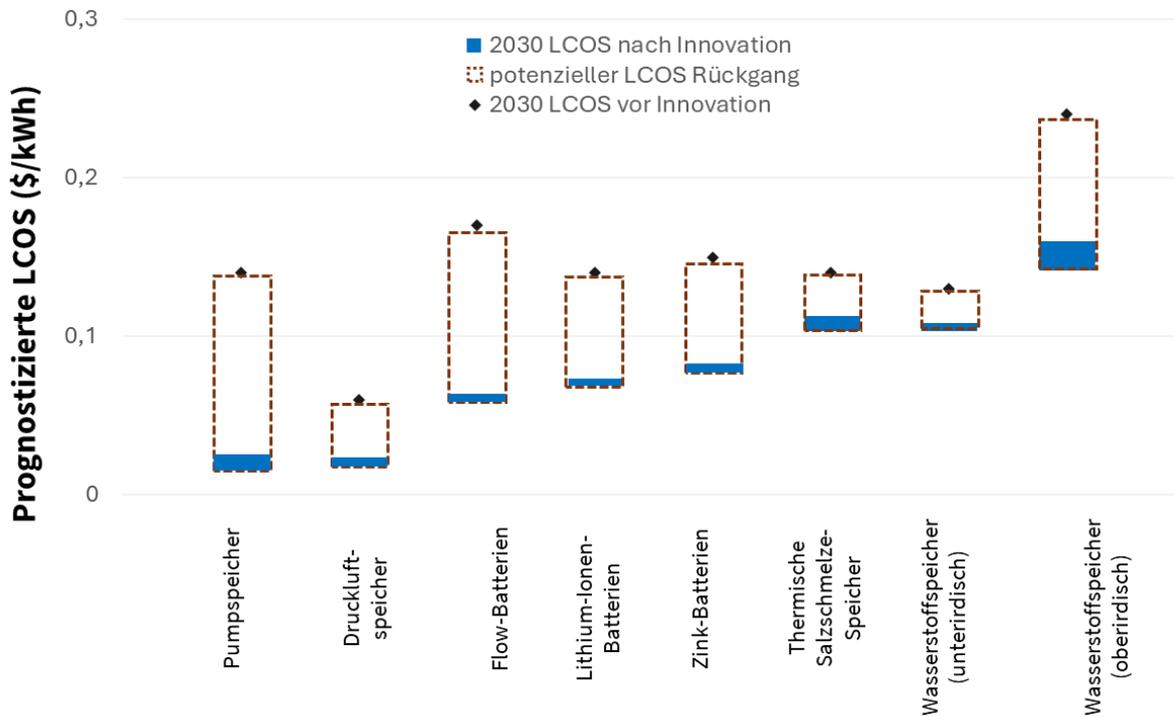
---

<sup>14</sup> SPRIND Innovation Challenge (2025)

<sup>15</sup> BNEF (2023)

## Abbildung 2: Potenzielle Kostenersparnisse bei LDES

Die Abbildung zeigt den prognostizierten Bereich der Reduktionen der Speicherkosten (LCOS) durch Innovationen für jede LDES-Technologie (Langzeitspeicherung von Energie).



Note: Für Langzeitspeicherung von Energie zeigt der Bereich der Auswirkungen auf die LCOS im Jahr 2030 nach Implementierung der besten 10 % der kostensenkenden Innovationen. Wasserstoffspeicher ober- und unterirdisch werden separat dargestellt. (LCOS: levelized cost of storage)

Quelle: U.S. Department of Energy (2024)

## 5.2 Skalierung: Systemwirkung durch gezielte Markteinführung freisetzen

Um das systemische Potenzial von Langzeitspeicherlösungen (LDES) voll auszuschöpfen, ist ein rascher Übergang von der Laborvalidierung hin zu großskaligen Demonstrations- und Umsetzungsprojekten erforderlich. Pilotprogramme im Multi-Gigawatt-Maßstab sind entscheidend, um Projektrisiken zu reduzieren, die Leistungsfähigkeit unter realen Netzbedingungen zu validieren und die Kostentransparenz auf industriellem Maßstab zu verbessern. Öffentliches Kapital – insbesondere über Instrumente wie den Europäischen Innovationsfonds, nationale Klimainvestitionsbanken oder öffentliche Beschaffungsprogramme – kann eine katalytische Rolle spielen, indem es Frühmärkte verankert und privates Kapital mobilisiert. Gezielte Fördermaßnahmen sollten sich insbesondere auf nicht-lithiumbasierte LDES-Technologien konzentrieren, wie z.B. reversible Festoxid-Zellen, Eisen-Luft-Batterien und Redox-Flow-Speichertechnologien, die

sich durch Netztauglichkeit auszeichnen und nicht auf kritische Rohstoffe angewiesen sind. Die jüngste SPRIND LDES Challenge hat gezeigt, dass Europa in der Lage ist, unter Zeitdruck hochdynamisch zu innovieren. Daraus ergibt sich ein übertragbares Modell für nationale und europäische Markthochlaufstrategien.<sup>16</sup> Mit gezielten Investitionen und einer skalierbaren Umsetzung kann LDES an frühere Erfolge der Energietechnologie-Transformationen anknüpfen und zu einer tragenden Säule eines wettbewerbsfähigen, resilienten Energiesystems in Europa werden.<sup>17</sup>

## 6. Politische Handlungsempfehlungen: Eine Energiepolitik im Dienste der Wettbewerbsfähigkeit

**Die volle Hebelwirkung von LDES-Technologien kann nur durch einen klar definierten regulatorischen Rahmen erschlossen werden, der sich an den First Principles der Energiewirtschaft orientiert.** Entscheidender Maßstab sollte nicht nur der Kapitalkostenaufwand, sondern die Gesamtkosten der Strombereitstellung für Endverbraucher sein. Diese Benchmark muss politische Investitionsentscheidungen leiten, um langfristige Wettbewerbsfähigkeit, Resilienz und Bezahlbarkeit zu sichern. Die Bundesrepublik sollte alle zukünftigen Infrastrukturinvestitionen an diesem Maßstab ausrichten, mit Priorität für erneuerbare Energien und Langzeitspeicher, während gleichzeitig Subventionen für neue fossile Gaskraftwerke schrittweise abgeschafft werden. Diese Weichenstellung würde die Dekarbonisierung beschleunigen und die Anfälligkeit für Brennstoffpreisvolatilität und externe Abhängigkeiten reduzieren.

Um diesen strategischen Paradigmenwechsel operativ umzusetzen, müssen bestehende ordnungspolitische Marktversagen korrigiert werden – insbesondere (1) das Fehlen bankfähiger Erlösmodelle für LDES, (2) überproportional hohe Markteintrittshürden für innovative Unternehmen und (3) regulatorische Rahmenbedingungen, die die Systemmehrwerte von Speichertechnologien unterbewerten.

Die folgenden Empfehlungen adressieren diese Herausforderungen in drei Bereichen: **nachfrageseitige Instrumente, angebotsseitige Ermöglichung**, sowie **Marktdesign und regulatorische Integration**.

### 6.1 Nachfrageseitige Instrumente: Bankfähige Erlöse und langfristige Marktpreissignale schaffen

LDES-Technologien generieren Systemmehrwerte wie Netzstabilität, Flexibilität und Einsparungen bei Infrastrukturinvestitionen, die im heutigen Energie-Only-Marktdesign nicht adäquat monetarisiert werden. Daher ist es essenziell, robuste Anreize auf der

---

<sup>16</sup> European Innovation Fund (2024)

<sup>17</sup> SPRIND LDES Challenge (2023)

Nachfrageseite zu schaffen, um privates Kapital zu mobilisieren und den Markthochlauf zu beschleunigen:

- **Langfristverfügbarkeits- oder Kapazitätsvergütungen:**  
Einführung technologieoffener Vertragsmodelle, die nicht nur die Lieferung („Dispatch“), sondern insbesondere die Verfügbarkeitsleistung vergüten. Diese sollten den vollständigen Systemwert von LDES abbilden – einschließlich Einspeisemanagement, Frequenzregulierung und saisonaler Flexibilität – und damit das Investitionsrisiko durch Abhängigkeit von volatilen Arbitragemärkten verringern.
- **Bonusmechanismus für Ultra-Langzeitspeicherung (>72 Stunden):**  
Zusätzliche Vergütungen oder Bewertungsvorteile in Ausschreibungen für Speicherlösungen, die mehr als 72 Stunden durchgehend entladen können. Dies adressiert längere Phasen mit geringer erneuerbarer Einspeisung, erhöht die Resilienz gegenüber mehrtägigen Engpasssituationen und steigert die Netzsicherheit.
- **Kosten-Effizienz-Grenze für CAPEX (EUR 75/kWh):**  
Einführung einer **Preisobergrenze für öffentliche Ausschreibungen**, um Wirtschaftlichkeit sicherzustellen und die Haushaltsdisziplin zu wahren – bei gleichzeitiger Innovationsförderung.
- **Nationaler Fahrplan für LDES-Markthochlauf:**  
Erstellung und kontinuierliche Aktualisierung eines strategischen Ausbauplanes für LDES bis 2040 – mit Kapazitätszielen, Ausbauzonen und technologischen Integrationspfaden zur Orientierung für Investoren, Netzbetreiber und Behörden.
- **Aufbau einer deutschen oder europäischen LDES-Allianz:**  
Förderung einer industriellen Allianz aus Unternehmen, Forschungseinrichtungen, öffentlichen und privaten Investoren zur Koordination von F&E, Risikominimierung und dem Aufbau resilienzfähiger Wertschöpfungsketten in Europa.

## **6.2 Angebotsseitige Ermöglichung: Marktzugang erleichtern und Innovationskapital mobilisieren**

Die aktuellen Ausschreibungs- und Förderbedingungen müssen gezielt angepasst werden, um Erstmarktentwicklungen zu ermöglichen und neue Marktteilnehmer anzuziehen. Zielgerichtete Reformen stärken die Investitionsfähigkeit, steigern den Wettbewerb und fördern den Aufbau eines global wettbewerbsfähigen LDES-Sektors.

- **Priorisierung nicht-lithiumbasierter, CRM-freier Technologien:**  
Öffentliche Fördermittel sollten bevorzugt in Technologien fließen, die nicht auf

kritische Rohstoffe oder Lithium angewiesen sind – zur Stärkung der strategischen Autonomie und der industriepolitischen Rohstoffsouveränität.

- **Reduzierung oder Abschaffung von Bürgschaftserfordernissen für Startups:**  
Finanzielle Sicherheiten sollten – wo möglich – um bis zu 90 % reduziert oder ganz abgeschafft werden, um Chancengleichheit für Frühphasenunternehmen zu gewährleisten. Das erhöht die Innovationsvielfalt und erweitert den Lösungskorridor.
- **Förderung mittlerer TRL-Technologien (TRL 6–8):**  
Ein Teil der öffentlichen Ausschreibungen sollte für Projekte im Demonstrationsmaßstab mit TRL 6–8 reserviert werden, um die Lücke zwischen Technologieentwicklung und Marktreife zu schließen.
- **Begrenzung von Strafklauseln:**  
Bei Ausschreibungen in der Frühphase sollten keine pauschalen Strafzahlungen verankert werden. Stattdessen sind leistungsorientierte Meilensteinverträge und flexible Risikoabfederungen sinnvoll, die an die Realitäten von First-of-a-Kind-Projekten angepasst sind.
- **Beschleunigte Umsetzungsfristen:**  
Die maximale Umsetzungsdauer von Projekten sollte von sechs auf drei Jahre gesenkt werden, um dringliche Flexibilitätsbedarfe im Netz zu adressieren und zeitliche Unsicherheiten für Entwickler und Investoren zu verringern.
- **Vorauszahlung von Investitionsmitteln in Tranchen:**  
Die Vergabe von Fördermitteln sollte in, meilensteinbasierten Tranchen erfolgen, um Liquidität und Finanzierbarkeit kapitalintensiver Speicherprojekte zu verbessern.

### 6.3 Marktdesign und Regulatorik: LDES regulatorisch im Netzbetrieb verankern

Um LDES vollständig in das Energiesystem zu integrieren, muss seine **multifunktionale Rolle** explizit im deutschen Regulierungs-, Planungs- und Marktrahmen verankert werden.

- **Regulatorische Einordnung von LDES als eigenständige Asset-Klasse:**  
Einführung einer formalen Asset-Definition für LDES, die dessen netzstabilisierende Eigenschaften berücksichtigt. Dies erleichtert maßgeschneiderte Eigentümermodelle (z. B. mit Übertragungsnetzbetreibern, Verteilnetzbetreibern oder öffentlich-privaten Konsortien), beschleunigt Genehmigungen und fördert die Integration in Netzausbaupläne.
- **Abschaffung doppelter Netzentgelte:**  
Stromspeicherprojekte sollten von mehrfacher Netznutzungsentgeltpflicht für Be-

und Entladung befreit werden. Doppelte Gebühren mindern die Wirtschaftlichkeit und sind zu eliminieren.

- **Integration in die Netzentwicklungsplanung:**

LDES muss verpflichtend in nationale und regionale Netzentwicklungspläne integriert werden, um dessen Infrastrukturbeitrag sichtbar zu machen und netzdienliche Standortwahl zu gewährleisten.

Diese politischen Empfehlungen sind darauf ausgerichtet, **kohärent mit den energie- und industriepolitischen Zielen Deutschlands** zu wirken. Sie orientieren sich an **internationalen Best Practices** und basieren auf Konsultationen mit Entwicklerteams, Finanzierern und Technologieanbietern.

## 7. Fazit: Aufbau eines resilienten, kosteneffizienten grünen Energiesystems

**Deutschland sollte sein Energiesystem auf der Grundlage von Erstprinzipien und nicht auf veralteten Strukturen planen.** In einer Ära rasanter Veränderung führt der einzige Weg zu einem resilienten Energiesystem über Effizienz, Skalierbarkeit und Unabhängigkeit. Das neue Energiesystem muss saubere Energie zu den niedrigsten Gesamtkosten für Haushalte, Unternehmen und das Klima bereitstellen – und gleichzeitig die Abhängigkeit von geopolitischen Gegnern wie Russland beenden.

**Kostenoptimierte Erneuerbare in Kombination mit LDES stellen einen bewährten Transformationspfad dar.** Offshore-Windkraft, Photovoltaik und netzgekoppelte Speicherlösungen – insbesondere technologische Innovationen wie reversible Festoxid-Brennstoffzellen, Eisen-Luft-Batterien und Redox-Flow-Systeme – ermöglichen heute eine 24/7-Versorgung mit erneuerbarer Energie, ohne kostenintensive Umwege. Wasserstoff als Ersatz für fossiles Gas sollte nur dort eingesetzt werden, wo er technisch zwingend erforderlich ist. Zirkuläre Energieketten verursachen Mehrkosten, führen zu Energieverlusten und bergen das Risiko technologischer Lock-ins.

**Das Zeitfenster zum Handeln schließt sich – aber Deutschland besitzt noch einen First-Mover-Vorteil.** Mit einem finanzpolitischen Spielraum von 500 Milliarden Euro, weltweit führender Ingenieurskompetenz und einem funktionsfähigen energiepolitischen Rahmen ist Deutschland in der Lage, die nächste Phase der Energiewende anzuführen – vorausgesetzt, es gelingt, Speichertechnologien und Systemeffizienz als Rückgrat der Industriepolitik zu verankern.

**Die Erkenntnisse aus der LDES-Challenge zeigen, dass beschleunigte Transformation nicht nur notwendig – sondern machbar ist.** Eine Vielzahl an Startup-Teams konnten nachweisen, dass LDES-Technologien die Investitionskosten halbieren und binnen drei bis fünf Jahren in den Markt skaliert werden können – sofern die Politik Planungssicherheit und Infrastrukturbereitstellung garantiert. Ein neues Energieparadigma ist keine Vision mehr – sondern greifbare Realität.

**Deutschlands energiepolitische Entscheidungen werden über Europas Zukunft mitentscheiden.** Wenn Deutschland Kosten, Effizienz und Resilienz konsequent priorisiert, kann ein Energiesystem entstehen, das seine Industrie langfristig wettbewerbsfähig hält, die Klimaziele erfüllt und die Souveränität stärkt. Aber diese Entscheidung muss jetzt getroffen werden – zwischen einem Festhalten an überholter Infrastruktur und dem Aufbruch in zukunftsfähige Lösungen.

## Bibliographie

Agora Energiewende (2024). *12 Insights on the Energy Transition 2024*, Agora Energiewende. URL: <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/12-insights-energy-transition-2024>

BloombergNEF (BNEF) (2023). *Energy Storage Outlook 2023*, BloombergNEF. URL: <https://about.bnef.com>

dena – Deutsche Energie-Agentur (2024). *Soziale Aspekte der Gebäude-Energiewende*, dena. URL: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2024/GEFO\\_Bericht\\_Soziale\\_Aspekte\\_final.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2024/GEFO_Bericht_Soziale_Aspekte_final.pdf)

European Commission (2024). *Innovation Fund: Advancing Clean Tech Deployment in Europe*, Directorate-General for Climate Action. URL: <https://climate.ec.europa.eu/eu-action/funding-climate-action/innovation-fund>

Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH) (2023). *Flächenentwicklungsplan Offshore 2023*, BSH. URL: <https://www.bsh.de/EN/TOPICS/Offshore>

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE (2024). *Study: Levelized Cost of Electricity – Renewable Energy Technologies*, Fraunhofer ISE. URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/cost-of-electricity.html>

International Energy Agency (IEA) (2023). *Global Gas Market Report Q4 2023*, IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/gas-market-report-q4-2023>

International Renewable Energy Agency (IRENA) (2023). *Renewable Power Generation Costs in 2022*, IRENA. URL: <https://www.irena.org/publications/2023/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2022>

LDES Council (2025). *Solar and LDES: Critical Partners to ensure 24/7 Reliable Renewable Energy*, LDES Council. URL: <https://www.ldescouncil.com/assets/pdf/isa-solarandldes-2.pdf>

McKinsey & Company (2024). *Hydrogen: Ready for Takeoff?*, McKinsey Sustainability. URL: <https://www.mckinsey.com>

McKinsey (2021). *Net-zero power: Long duration energy storage for a renewable grid*, LDES Council, McKinsey & Company. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/net-zero-power-long-duration-energy-storage-for-a-renewable-grid>

Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) (2024). *The Hydrogen Trap: How to Avoid a Costly Diversion*, PIK. URL: <https://www.pik-potsdam.de>

S & P Global (2025). *US gas-fired turbine wait times as much as seven years; costs up sharply*. Commodity-Insights S & P Global. URL: <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/news-research/latest-news/electric-power/052025-us-gas-fired-turbine-wait-times-as-much-as-seven-years-costs-up-sharply?>

SPRIND – Bundesagentur für Sprunginnovationen (2025). *Long Duration Energy Storage Innovation Challenge: LDES Magazine*, SPRIND. URL: <https://www.sprind.org/en/words/magazine/results-ldes-challenge>

## **TECH FOR NET ZERO**

Tech for Net Zero ist ein Netzwerk führender Klimatechnologie-Start-ups, Scale-ups und Investor\*innen in Deutschland und der DACH-Region. Das Ziel des Netzwerks ist es, den Hochlauf bahnbrechender Klimatechnologien zu beschleunigen – durch verbesserten Zugang zu Finanzierung, die Stimulierung der Marktnachfrage und ein förderliches regulatorisches Umfeld. Klimatechnologie bedeutet mehr als das Erreichen von Klimazielen – je schneller der Fortschritt, desto höher die Energiesicherheit, die wirtschaftliche Entwicklung und die Resilienz der Industrie.

Vor dem Hintergrund einer großen Bandbreite an Lösungen, verfügbarer Talente und Kapitalressourcen ist das Netzwerk überzeugt: Erfolg bei Klimazielen ist eine Frage von Geschwindigkeit, Fokus und konsequenter Umsetzung. Um Europa zu einem global führenden Hub für Klimatechnologie zu entwickeln, braucht es koordinierte, gemeinsame Anstrengungen aller Akteure – Gründer, Investor\*innen und politische Entscheidungsträger. Tech for Net Zero versteht sich als verlässlicher Partner bei der Etablierung eines widerstandsfähigen und skalierbaren Klimatech-Ökosystems in Deutschland und Europa.

Weitere Informationen unter: <https://techfornetzero.org>

### **Publikationsangaben**

#### **Herausgeber**

Tech for Net Zero

#### **Im Auftrag der:**

Bundesagentur für Sprunginnovationen SPRIND GmbH

#### **Autoren:**

Tobias Lechtenfeld, *Tech for Net Zero*

#### **Gutachter:**

Sebastian Berns, *SPRIND*

Jano Costard, *SPRIND*

#### **Status**

07/2025

Dieses Positionspapier gibt nicht notwendigerweise die Ansichten oder Positionen der Deutschen Energie-Agentur (dena) wieder. Alle Analysen, Meinungen und Schlussfolgerungen obliegen ausschließlich den Autor\*innen.