

## Strategische Integration eisenbasierter Energiespeicher in die hessische Energiewende

Die hessische Energiewende steht vor entscheidenden Weichenstellungen. Eisenbasierte Speichertechnologien bieten dabei eine strategische Ergänzung zur bestehenden hessischen Wasserstoffstrategie und adressieren gleichzeitig die wachsenden Energiebedarfe des Rhein-Main-Gebiets als Europas größtem Rechenzentrumsstandort. Eisenbasierte Speicher ermöglichen nicht nur verlustarme Langzeitspeicherung erneuerbarer Energie, sondern schaffen auch neue Möglichkeiten für eine sektorenübergreifende Kreislaufwirtschaft. Durch frühzeitige Verankerung eisenbasierter Energieträger in der Landespolitik kann Hessen seine Position als Innovationstreiber für zukunftsfähige Energietechnologien nachhaltig stärken.

### **Ausgangssituation: Hessens Energiewende braucht innovative Speicherlösungen**

Hessen verfolgt ehrgeizige Klimaziele. Bis 2045 soll der gesamte Endenergieverbrauch aus erneuerbaren Energien gedeckt und Klimaneutralität erreicht werden. Diese ambitionierte Roadmap erfordert leistungsfähige Speichertechnologien, die über die bestehende Wasserstoffstrategie hinausgehen.

Besondere Herausforderungen ergeben sich dabei im Rhein-Main-Gebiet. Als Europas größter Rechenzentrumsstandort benötigt die Region eine grundlastfähige, CO<sub>2</sub>-freie Stromversorgung. Der ohnehin hohe Grundlastbedarf der produzierenden Wirtschaft wird durch digitale Infrastrukturen – allen voran Rechenzentren – verstärkt: Ihr Stromverbrauch stieg allein im Stadtgebiet Frankfurt von 1,1 TWh (2017) auf 2,4 TWh (2022) und könnte laut Landesprognose auf bis zu 6,2 TWh im Jahr 2030 anwachsen. Damit übertrifft er bereits heute das Jahresaufkommen mehrerer Mittelstädte und wächst exponentiell. Fossile Backup-Systeme stehen im klaren Widerspruch zu den Dekarbonisierungsstrategien des Landes – innovative klimaneutrale Speicherlösungen im Tandem mit erneuerbaren Energien sind daher unverzichtbar. Batteriespeicher allein reichen für die langfristige Energiespeicherung nicht aus, da sie technologisch und wirtschaftlich primär für die Kurzzeitspeicherung geeignet sind.

### **Eisenbasierte Speicher als strategische Ergänzung für die Energiewende**

Eisenbasierte Speichersysteme können diese Lücke schließen. Sie ermöglichen nicht nur die verlustarme Speicherung überschüssiger erneuerbarer Energie, sondern schaffen auch Synergien mit bestehenden Infrastrukturen. Eisen in elementarer Form ermöglicht es, große Energiemengen zu speichern, zu transportieren und bei Bedarf Strom, Wärme oder Wasserstoff zu produzieren – als recyclebarer Energieträger in einem CO<sub>2</sub>-freien Energiesystem. So erhöhen sich die Versorgungssicherheit, decken den durch Elektrifizierung und Rechenzentren stetig wachsenden Grundlastbedarf CO<sub>2</sub>-frei ab und fördern gleichzeitig eine sektorenübergreifende Kreislaufwirtschaft, die sowohl Hessens Klimaziele als auch Europas digitale Resilienz stärkt.

### **Komplementäre Technologie zur Wasserstoffstrategie**

Eisenbasierte Speicher sollten als zentraler Baustein im Hessischen Klimaplan 2030 verankert werden. Sie ergänzen die Wasserstoffwirtschaft optimal und kompensieren deren Schwächen. Während Wasserstoff für spezifische Industrieprozesse und leitungsgebundene Verteilung unverzichtbar bleibt, bieten eisenbasierte Systeme eine lokal skalierbare und verlustarme Langzeitspeicherlösung.

Diese Technologie funktioniert ohne aufwendige Transportlogistik und ohne den teuren Aufbau neuer Leitungsinfrastruktur, wie er für Wasserstoff erforderlich ist. Durch die Diversifizierung reduzieren sich Abhängigkeiten von globalen Lieferketten und Preisschwankungen erheblich. Besonders bedeutsam ist ihre Eignung für die saisonale Energiespeicherung – eine der kritischsten Herausforderungen der Energiewende, die weit über kurzfristige Überbrückungen hinausgeht.

Eisenbasierte Speicher ermöglichen es, überschüssigen grünen Strom aus sonnenreichen Sommermonaten verlustarm in Eisenpulver zu speichern und Monate später in den energieintensiven Wintermonaten wieder in grundlastfähigen Strom, Wärme oder Wasserstoff umzuwandeln. Diese langfristige saisonale Speicherung ist entscheidend für ein stabiles, vollständig erneuerbares Energiesystem.

## Infrastrukturelle Vorteile in Hessen

Hessen verfügt über ideale Voraussetzungen für eisenbasierte Energiespeicherung. Die leistungsfähige Schieneninfrastruktur im Rhein-Main-Korridor und das dichte Netz an Wasserwegen mit Binnenhäfen wie Frankfurt-Höchst und Gernsheim ermöglichen kosteneffiziente Transportlösungen für Eisenpulver als Energieträger. Diese Dualität aus regionaler Kreislaufwirtschaft und internationaler Handelsfähigkeit über die Seehäfen an der Nordseeküste reduziert Lieferkettenrisiken und schafft dezentrale Energieversorgungslösungen.

## Hessen als Innovationstreiber für eisenbasierte Speichertechnologien

Die frühzeitige Förderung eisenbasierter Speichertechnologien positioniert Hessen als führenden Innovationsstandort für nachhaltige Energietechnologien. Diese strategische Weichenstellung bietet die Chance, industriepolitische Impulse zu setzen, die weit über die Landesgrenzen hinausreichen.

## Konkrete Handlungsempfehlungen

- » **Verankerung im Klimaplan Hessen:** Eisenbasierte Speicher müssen als wichtiger Baustein für Energie, Industrie und Kreislaufwirtschaft im Klimaplan verankert werden. Dies schafft die rechtliche Grundlage für zielgerichtete Fördermaßnahmen.
- » **Optimale Nutzung bestehender Förderprogramme:** Die gezielte Verankerung eisenbasierter Speicher im Hessischen Klimaplan 2030 würde die systematische Nutzung bereits bestehender Fördermöglichkeiten ermöglichen. Programme basierend auf der EFRE-Verordnung für innovative Energievorhaben und dem Hessischen Energiegesetz können dann gezielt genutzt werden, um eisenbasierte Speicherlösungen und Modellprojekte als innovative Energietechnologien zu fördern.
- » **Technologieoffene Wasserstoffstrategie:** Bei der Fortschreibung der hessischen Wasserstoffstrategie sollte Eisen als zu Wasserstoff komplementärer Partner integriert werden. Eisen dient einerseits als großskaliger Energiespeicher, andererseits kann es auch zur dezentralen Erzeugung von Wasserstoff eingesetzt werden. Perspektivisch sollte die Strategie zu einer umfassenden Speicherstrategie weiterentwickelt werden, die sich nicht auf ein einzelnes Speichermedium fokussiert, sondern technologieoffen die Bedarfe in Hessens Energiewende definiert.
- » **CO<sub>2</sub>-freie Grundlastversorgung für Europas Digitalzentrum:** Als Europas größter Rechenzentrumsstandort benötigt die Region grundlastfähige CO<sub>2</sub>-freie Stromversorgung. Eisenbasierte Speicher können diese Herausforderung lösen und fossile Backup-Systeme ersetzen.
- » **Gezielte Förderung:** Der Auf- und Ausbau von Pilot- und Retrofit-Projekten sowie Logistiknetzen sollte über EFRE- und HEG-Programme vorangetrieben werden. Zusätzlich können Bundesmittel genutzt werden, um die Markteinführung zu beschleunigen.
- » **Europäisches Ökosystem für Kreislaufwirtschaft:** Ein internationaler Innovationsverbund mit Partnern aus Deutschland, den Niederlanden, Schweden und Frankreich kann die Entwicklung und Skalierung eisenbasierter Kreislaufsysteme beschleunigen und internationale Kooperationen stärken.
- » **Reallabor Rhein-Main:** Die Einrichtung eines Testfelds in Hessen belegt die industrielle und logistische Umsetzbarkeit der Technologie im Realbetrieb und schafft Vertrauen bei Investoren und Partnern.

## Roadmap zur Skalierung: Von Hessen über den Bund bis zur EU

### Hessische Pionierphase (2024-2026)



**Ziel:** Etablierung des Landes Hessen als Innovationshub für eisenbasierte Speichertechnologien mit Fokus auf industrielle Kreislaufwirtschaft und CO<sub>2</sub>-freie Energieversorgung.

#### Metal Energy Hub

- » Aufbau eines Netzwerks von Forschungsinstitutionen, Energieversorgern und energieintensiver Industrie.
- » Validierung der industriellen Skalierbarkeit eisenbasierter Speichersysteme durch 1 MW-Demonstrator.
- » Start von 2-3 Anlagen (1-10 MW) in hessischen Industrieclustern ohne H<sub>2</sub>-Infrastruktur, oder zur CO<sub>2</sub>-freien Stromversorgung von Rechenzentren.

#### Regulatorische Verankerung

- » Integration in den Klimaplan Hessen 2030 als Baustein für CO<sub>2</sub>-freie Energieversorgung, Sektorkopplung und Dekarbonisierung der Industrie.

### Nationale Skalierung (2026-2028)



**Ziel:** Überführung der Technologie in den bundesweiten Markt als komplementären Baustein zur nationalen Wasserstoffwirtschaft sowie Einbindung in die Fortschreibung der nationalen Wasserstoffstrategie hin zu einer technologieoffenen Speicherstrategie.

#### Strategische Integration

- » Aufnahme eisenbasierter Speicher in die Nationale Wasserstoffstrategie als komplementäre Technologie zur Entlastung der H<sub>2</sub>-Infrastruktur.
- » Förderung von Großdemonstratoren (>10 MW) in Energieclustern über den Innovationsfonds und IPCEI-Programme.

#### Infrastrukturelle Vernetzung

- » Entwicklung eines integrierten Logistikkonzepts für Eisenpulver unter Nutzung bestehender Schienen- und Wasserstraßeninfrastruktur.
- » Aufbau strategischer Speicherreserven und Einrichtung von Umschlagplätzen an Binnenhäfen.

#### Industriepolitische Flankierung

- » Etablierung einer bundesweiten Industrieinitiative zur standardisierten Planung, Umsetzung und Fertigung eisenbasierter Speichersystemen.
- » Aufbau eines bundesweiten Netzes von Demonstrationsanlagen (>10 MW) in Kooperation mit Energieversorgern und Industriepartnern.

## Europäische Integration (2025-2030)



**Ziel:** Schaffung eines europäischen Marktes für eisenbasierte Speicher als eine Säule der EU-Energiesouveränität und strategischer Baustein für die Transformation des europäischen Energiesystems.

### EU-Strategische Verankerung

- » Integration eisenbasierter Speicher in den EU-Strategic Energy Technology (SET) Plan und Weiterentwicklung der EU-Wasserstoffstrategie zu einer technologieoffenen europäischen Speicherstrategie, die eisenbasierte Systeme als komplementäre Speicher- und Transportlösung einbezieht.
- » Aufnahme in die EU-Wasserstoffbank zur Co-Finanzierung grenzüberschreitender Projekte und Hafenkooperationen.

### Transnationale Wertschöpfung

- » Aufbau eines europäischen Handels- und Transportsystems für Eisenpulver mit Partnerschaften zu europäischen und außereuropäischen erneuerbaren-Energie-Regionen, insbesondere im Mittelmeerraum und anderen Regionen mit kostengünstiger grüner Energieproduktion.
- » Nutzung europäischer Förderprogramme wie dem EU Innovation Fund für eine großskalige Implementierung eines Eisen-Energiekreislaufsystems.

### Industrielle Marktdurchdringung

- » Marktreife mit Retrofit von Kohlekraftwerken im GW-Maßstab und Einrichtung eines europäischen Handelsplatzes.
- » Integration in die EU-Dekarbonisierungsstrategie und Harmonisierung von Transportvorschriften für Eisenpulver via TEN-T-Korridore.