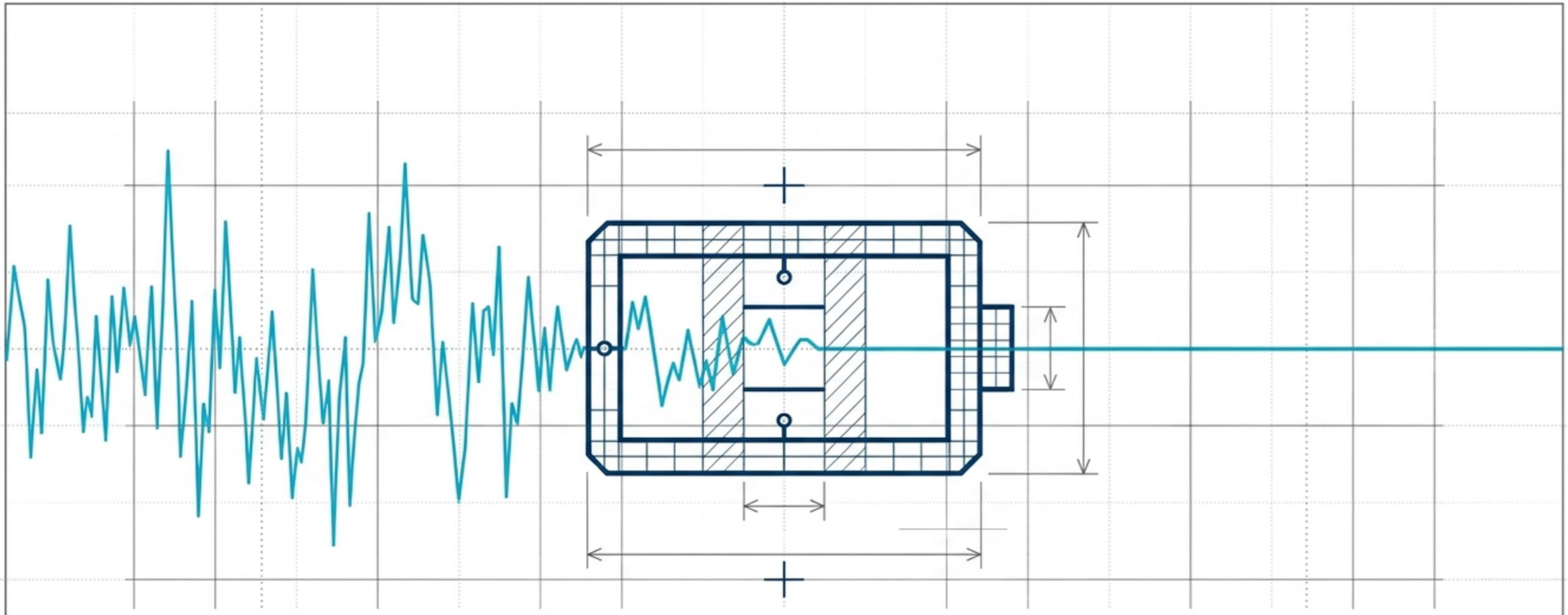


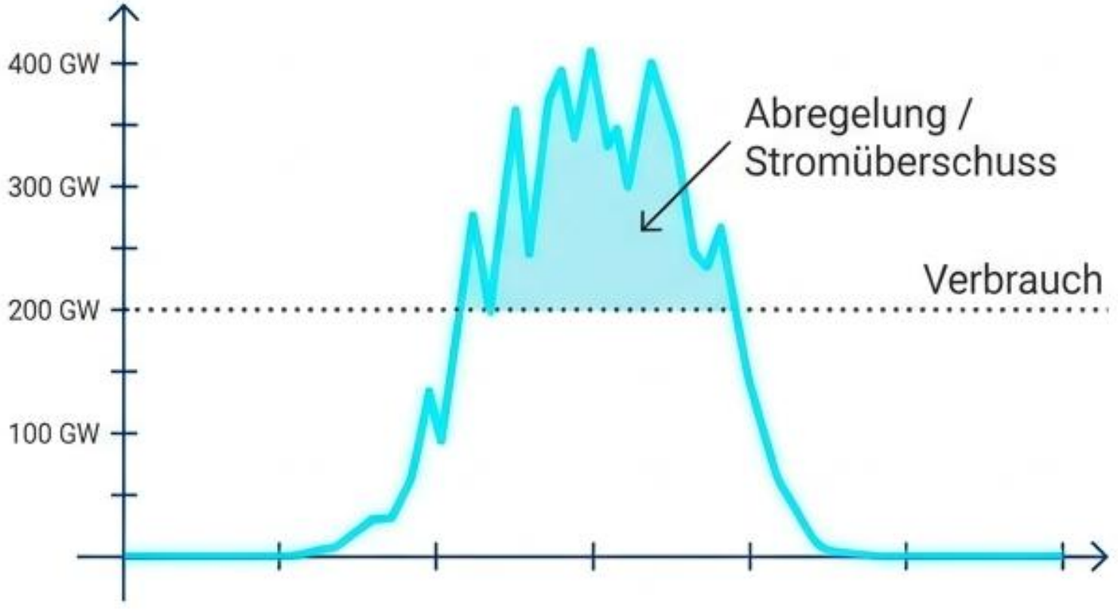
Energiespeicher in der Energiewende

Technologie, Netzintegration, Geschäftsmodelle und der rechtliche Rahmen

Das Ausgangsproblem: Der Verlust der konventionellen Steuerbarkeit

Die Hellbrise

Erzeugung übersteigt Verbrauch.
Folge: Erneuerbare Energien (EE) müssen abgeregelt werden.
(Szenario 2050: ca. 400 GW EE-Leistung vs. 80 GW Spitzenlast).



Die Dunkelflaute

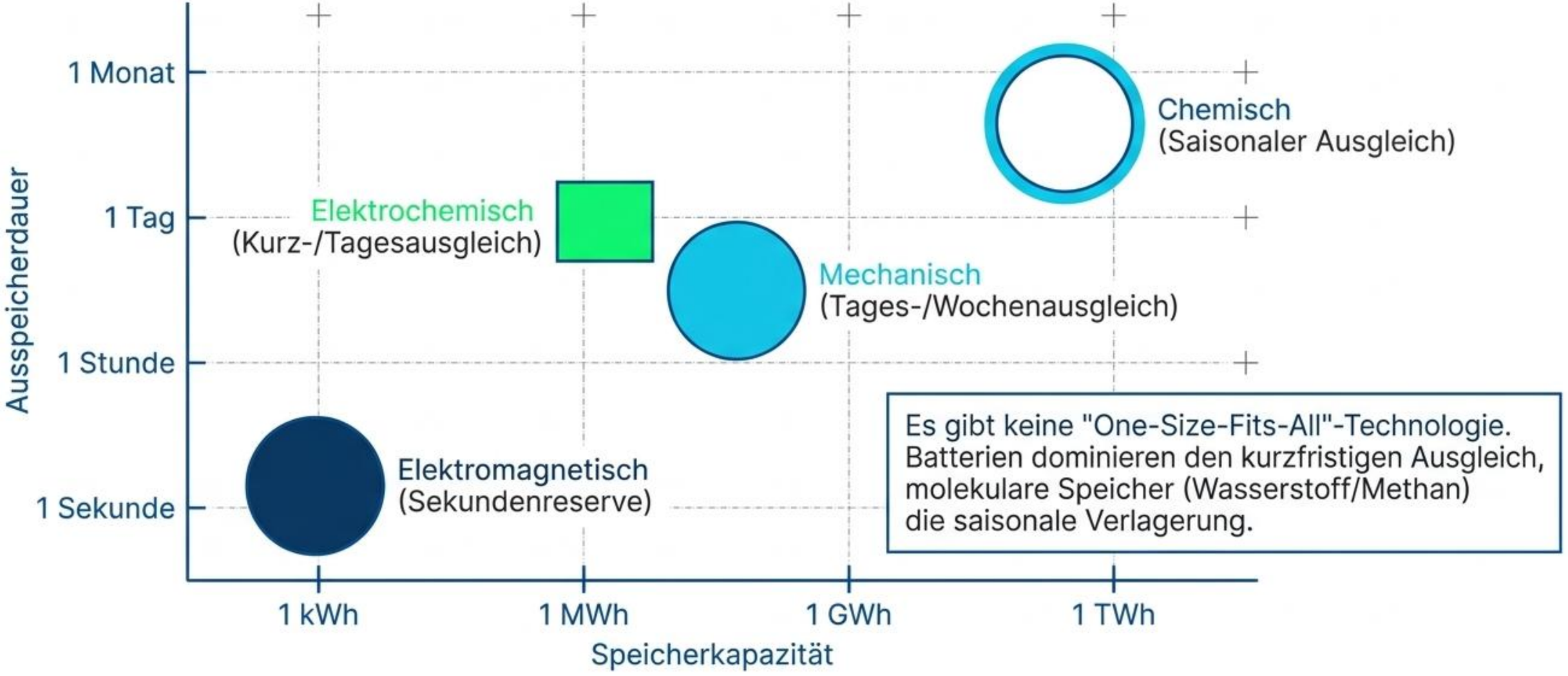
Minimales Dargebot über mehrere Tage.
Folge: Hoher Bedarf an gesicherter, abrufbarer Leistung.



Das System erfordert eine zeitliche Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch.

Gemini Notebook

Das Arsenal der Flexibilität: Klassifizierung von Energiespeichern

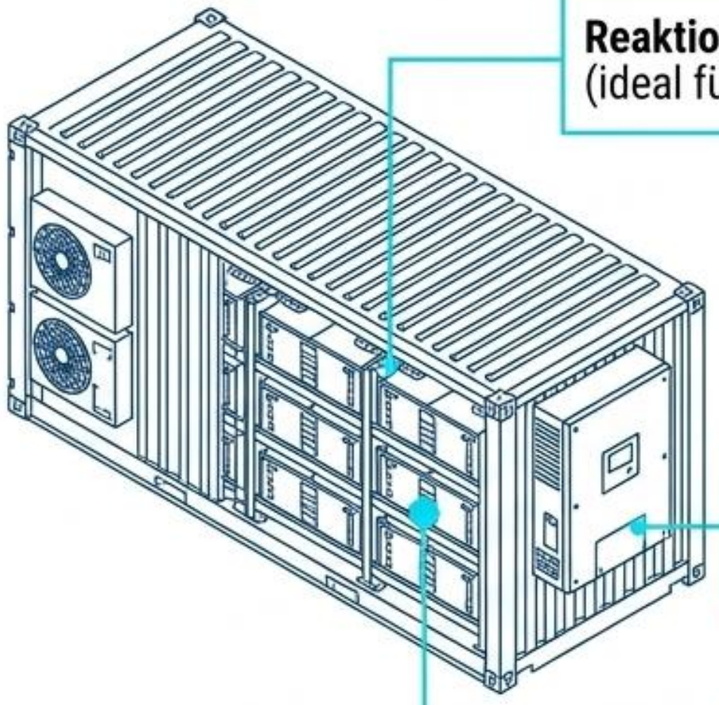


Es gibt keine "One-Size-Fits-All"-Technologie. Batterien dominieren den kurzfristigen Ausgleich, molekulare Speicher (Wasserstoff/Methan) die saisonale Verlagerung.

Gemini Notebook

Technologie-Fokus I: Großbatteriespeicher (BESS)

Technologie und Funktion

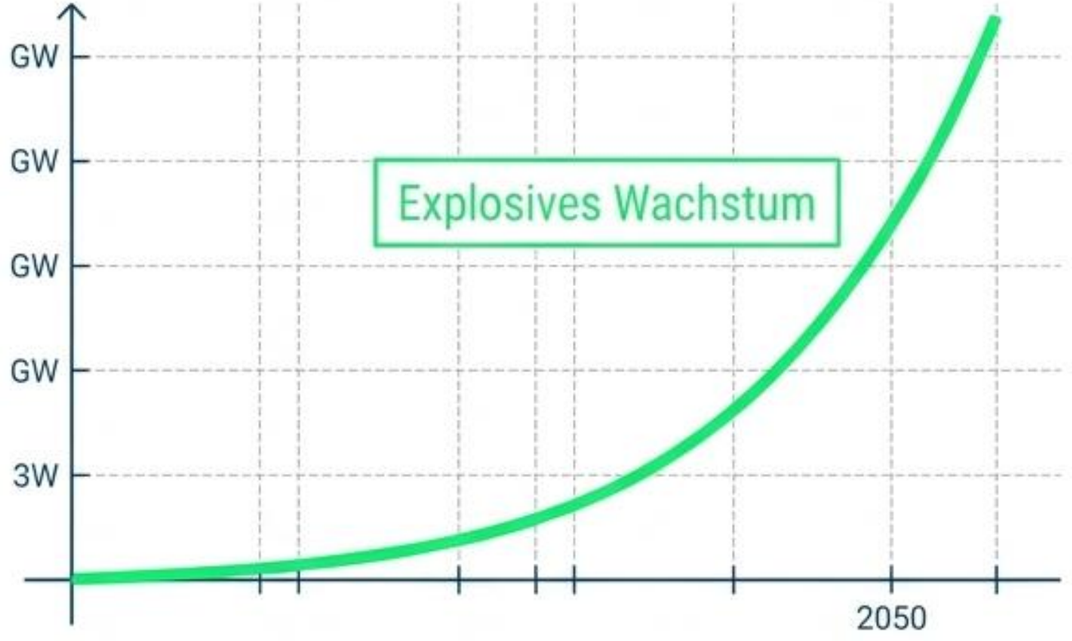


Reaktionszeit: Millisekunden (ideal für Primärregelleistung)

Ausspeicherdauer: Typischerweise 1 bis 4 Stunden

Rolle: Die "Sprinter" im Stromnetz

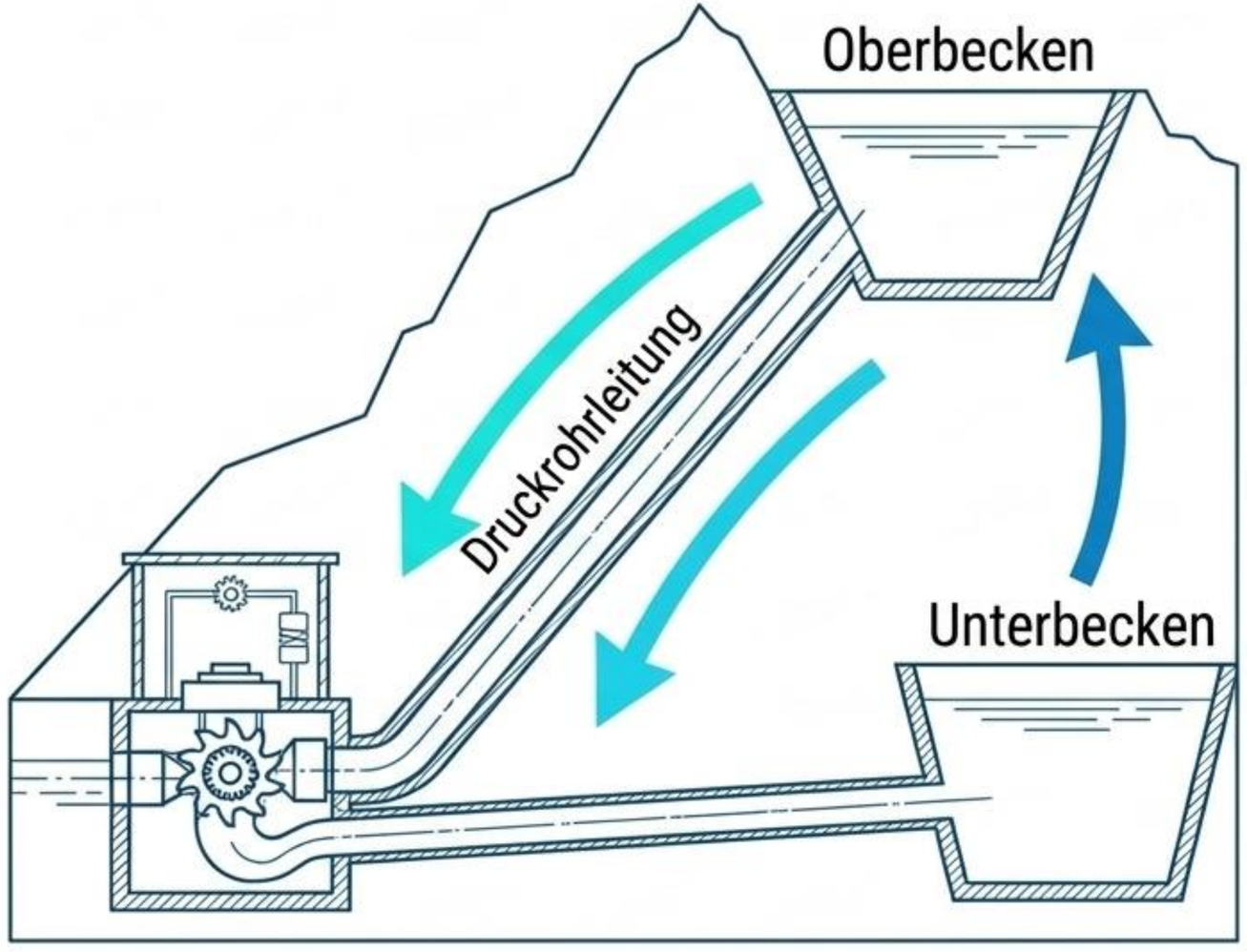
Marktwachstum und Prognose



- Über 650 Netzanschlussbegehren (ca. 200 GW) allein bei Übertragungsnetzbetreibern (Amprion, 2025).
- Frontier Economics Prognose: Ausbau auf bis zu 61 GW / 271 GWh bis 2050 im deutschen Stromsystem.

Gemini Notebook

Technologie-Fokus II: Pumpspeicherkraftwerke (PSW)



- Bewährte mechanische Lageenergiespeicher für den Tages- und Wochenlastausgleich.
- Beispiel: PSW Goldisthal (Thüringen) – 1.060 MW Leistung, 8.500 MWh Kapazität, ca. 80 % Wirkungsgrad.
- Rolle: Die “Marathonläufer” der Energiewende.
- Herausforderung: Gigantische Kapazitäten, aber in Deutschland kaum noch topografisches oder ökologisches Ausbaupotenzial.

Gemini Notebook

Das Paradoxon des Netzes: Markt vs. Physik



Strommarkt
(Kupferplatten-Logik)

Negativer Strompreis
= Speicher lädt



Lokales
Stromnetz

Lokaler Netzengpass
= Kabel überlastet

Ein hohes Winddargebot im Norden drückt den Börsenpreis. Ein netzgekoppelter Speicher lädt (ökonomisch rational), zieht aber zusätzlichen Strom über einen bereits überlasteten Netzknotenpunkt (physisch fatal).

Amprion-Warnung: Speicher verhalten sich nicht automatisch im Sinne der Netzstabilität. Sie können bestehende Engpässe massiv verstärken.

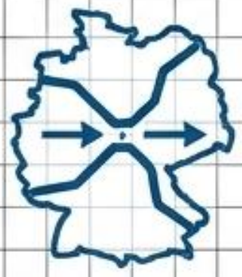
Gemini Notebook

Netzinteraktion: Systemdienstleistung vs. Engpassmanagement



Primärregelleistung / FCR

- **Ziel:** Haltung der 50 Hz Netzfrequenz.
- **Eigenschaft:** Standortunabhängig (europaweit relevant).
- **Anforderung:** Millisekunden-Reaktion, symmetrische Erbringung (0,83 MWh pro MW_{PRL}).
- **Gesamtsystembedarf:** ca. 600 MW.



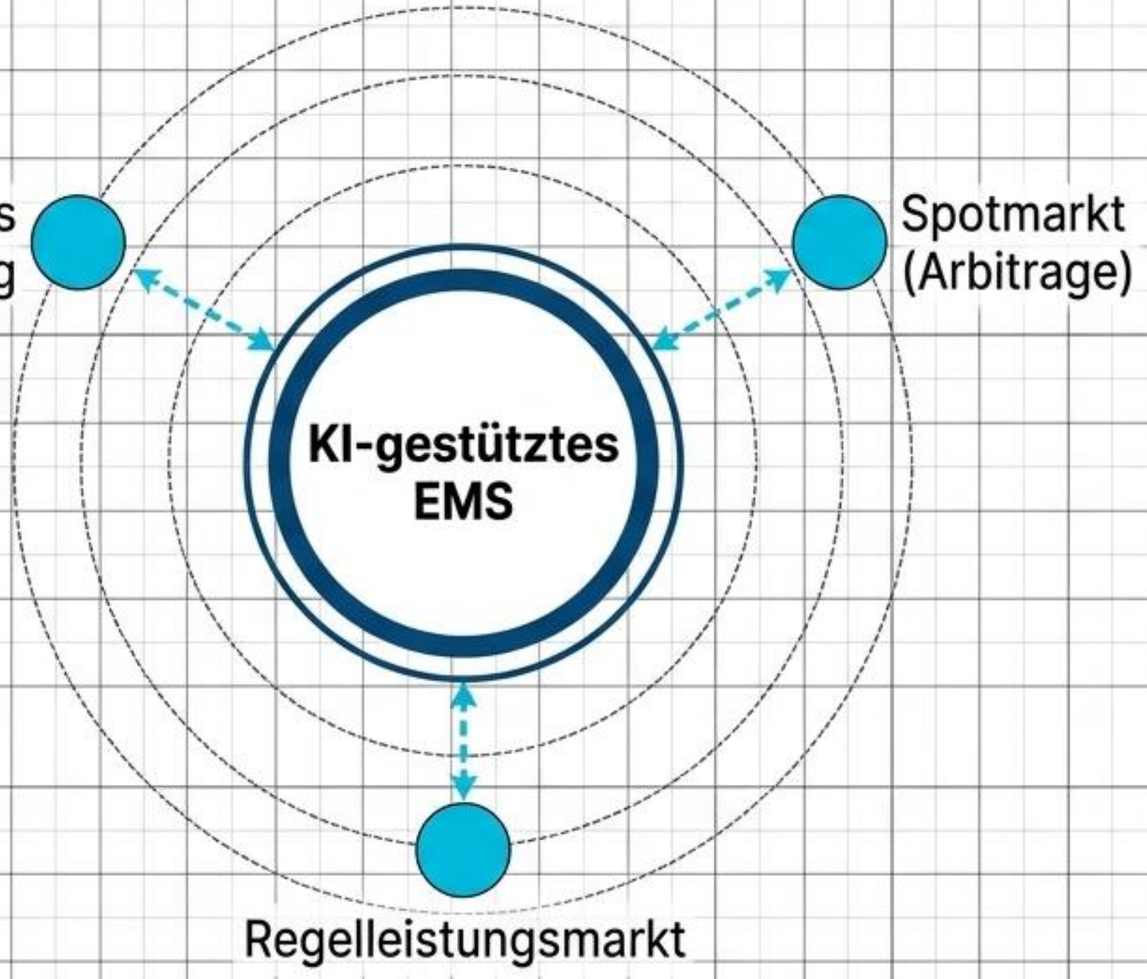
Redispatch / Engpassmanagement

- **Ziel:** Vermeidung der thermischen Überlastung lokaler Leitungen.
- **Eigenschaft:** Geografisch streng gebunden (hyperlokal).
- **Anforderung:** Standortspezifischer Eingriff in die Fahrweise (Einspeisung senken/erhöhen) zur Auflösung physikalischer Staus.

Gemini Notebook

Die digitale Lösung: Cross-Market Optimization

Ein leistungsfähiges Energiemanagementsystem (EMS) entscheidet in Echtzeit, in welchem Markt der Speicher eingesetzt wird.

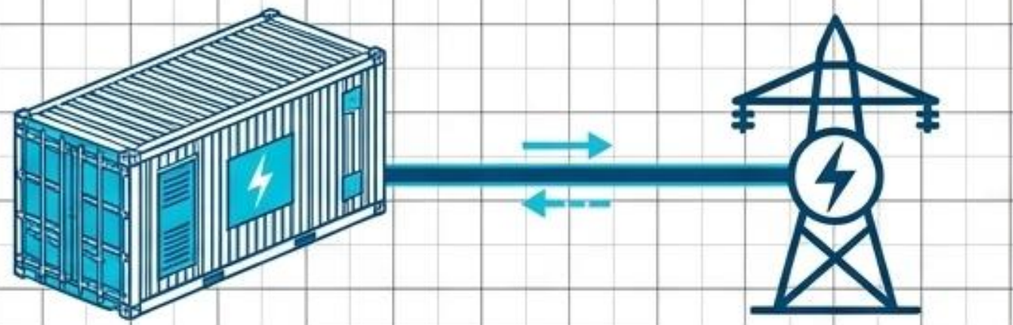


- ✓ Routet Energie dynamisch zur höchsten Wertschöpfung.
- ✓ Kombiniert netzdienliche Ziele (lokale Entlastung) mit marktdienlichen Zielen (Preissignale).
- ✓ Schaltet sekündlich zwischen Lade-/Entlade-Strategien um.

Gemini Notebook

Vermarktungsstrukturen: Stand-Alone vs. Anlagenkombination

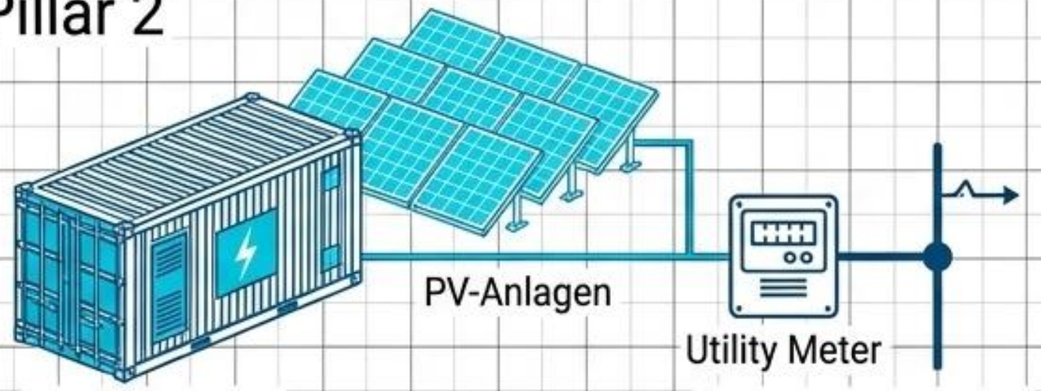
Pillar 1



Stand-Alone-Projekte

- Unabhängiger Betrieb direkt am Netz.
- **Fokus**: Arbitragehandel (Kauf bei Überschuss, Verkauf bei Mangel), Regelenergiedienstleistungen, Energiespeicher-Contracting (§ 11a EnWG).

Pillar 2



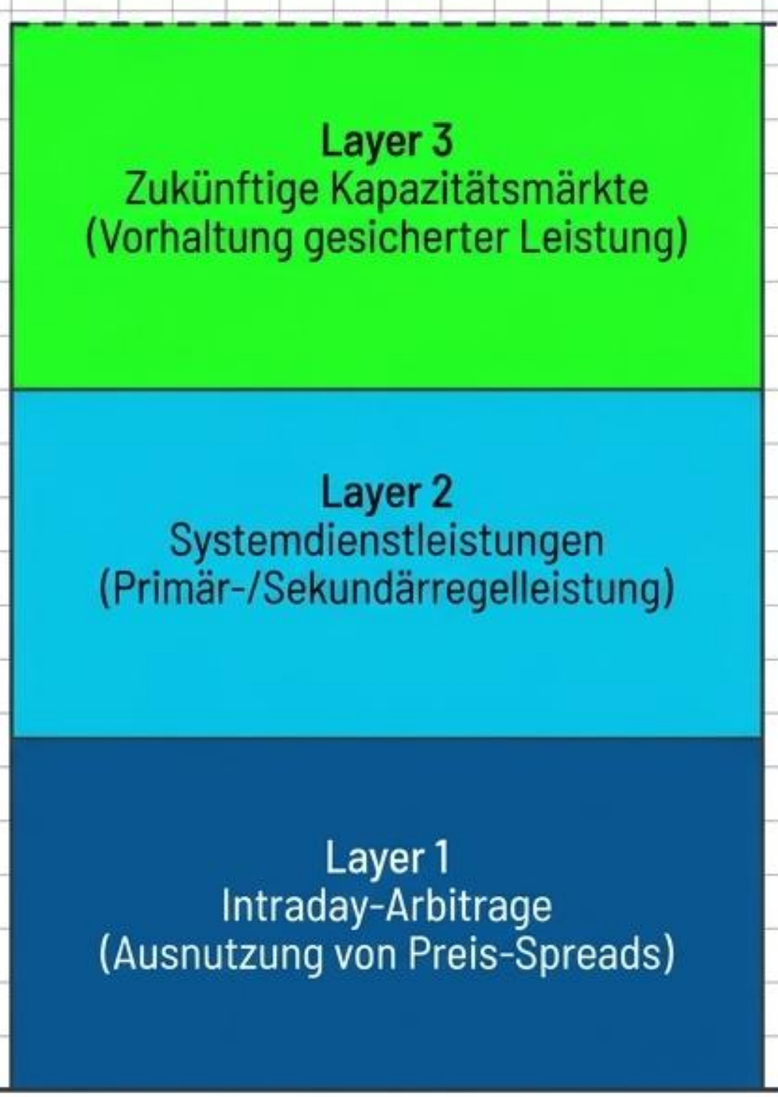
Anlagenkombination / Co-Location

- Gekoppelter Betrieb mit EE-Anlagen (PV/Wind).
- **Fokus**: Innovationsausschreibung (InnAusV), Peak-Shaving, Maximierung der EEG-Förderung durch zeitversetzte Einspeisung.

Gemini Notebook

Ökonomie der Speicher: Revenue Stacking

Die zunehmende ‘Kannibalisierung’ (sinkende Arbitrage-Spreads bei hohem Speicherzubau) zwingt Betreiber zur Erschließung aller drei Ebenen.



Context:
Investitionskosten (CAPEX) für BESS fallen bis 2030 voraussichtlich unter 150 EUR/kWh (Frontier Economics). Dennoch erfordert die Wirtschaftlichkeit gestapelte Erlöse.

Gemini Notebook

Der rechtliche Rahmen I: Das Netzentgelt-Dilemma (§ 118 EnWG)

Problem: Speicher sind juristisch Verbraucher und Erzeuger. Ohne Privilegierung droht Doppelbelastung.

Zieht der Speicher Strom aus dem Verteil-/Transportnetz?

Ja

Wird der Strom zeitverzögert wieder in **dasselbe** Netz eingespeist?

Ja

Ergebnis: Befreiung von Netzentgelten

- Gilt für neu errichtete Stromspeicher (Inbetriebnahme bis August 2029).
- Dauer der Privilegierung: 20 Jahre.
- Bedingung der Einspeisung ins selbe Netz ist zwingend (gilt z.B. nicht für reine Power-to-Heat Anlagen ohne Rückverstromung).

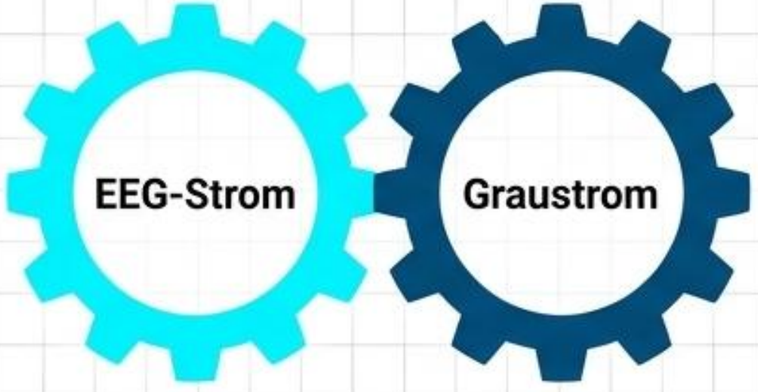
Gemini Notebook

Der rechtliche Rahmen II: Das Solarspitzenpaket (Februar 2025)



Vorher - Ausschließlichkeitsoption

Strenge Trennung. Zwischenspeicherung von reinem EEG-Strom vs. Graustrom aus dem Netz. Bei Mischung drohtente der Verlust der EEG-Förderung.



Neu - Mischbetrieb & Pauschaloption

- Der bidirektionale Einsatz wird rechtlich entfesselt.
- Speicherung von Graustrom am Markt ohne Förderverlust möglich.
- Pauschaloption für Anlagen bis 30 kW (pauschalierter Förderanspruch für max. 500 kWh/kW pro Jahr).

Gemini Notebook

Die Zukunft der Regulatorik: Die AgNes-Reform

Nutzung des Netzes muss bezahlt werden. Pauschale Befreiungen sind nicht mehr gerechtfertigt, da die marktdienliche Fahrweise das Netz oft zusätzlich belastet.



Privilegierung endet 2028

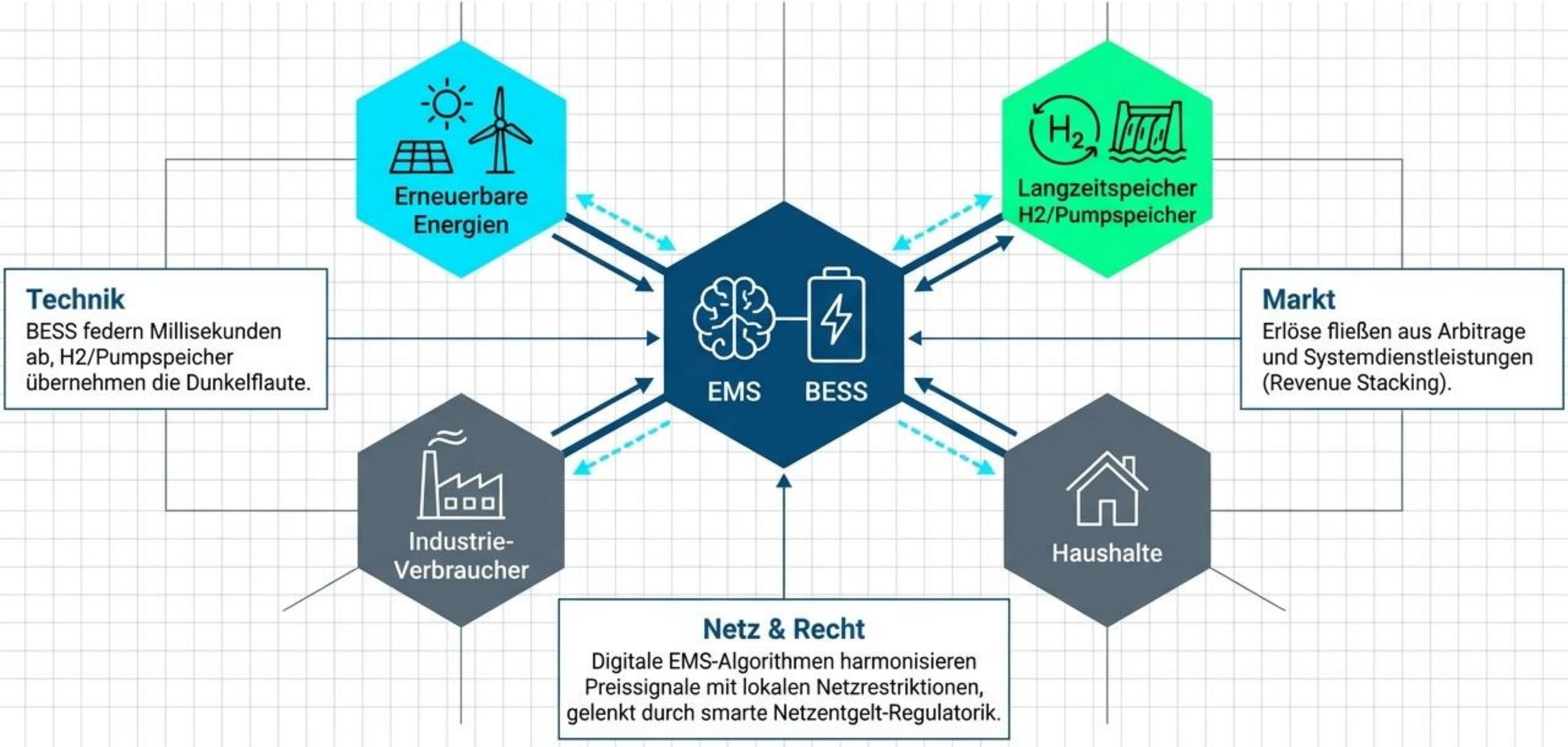
Speicherhochlauf nicht ausbremsen. Kostenreflexive, standortabhängige Signale (z.B. eine Netzampel) sind nötig, um systemdienliches Verhalten anzureizen, statt pauschaler Belastungen.

Fazit: Die Netzentgeltlogik muss zukünftig Flexibilität und lokale Systemdienlichkeit belohnen.

Gemini Notebook

Synthese: Der Bauplan des Energiesystems 2050

Speicher sind keine isolierten Assets, sondern das zentrale Nervensystem der künftigen Energiewelt.



Gemini Notebook

Zusammenfassung: Drei Kern-Takeaways

Fragen & Diskussion

1. **Die technologische Lücke:** Speicher (von BESS bis Power-to-Gas) sind zwingend erforderlich, um die physikalische Lücke zwischen Hellbrise und Dunkelflaute zeitlich zu überbrücken.

2. **Das Markt-Netz-Paradoxon:** Marktdienlichkeit (Arbitrage) und Netzdienlichkeit (Engpassvermeidung) können kollidieren. Ihre Harmonisierung erfordert KI-gestützte Cross-Market-Optimization.

3. **Regulatorik als Treiber:** Die Ökonomie von Speichern basiert auf Revenue Stacking und rechtlichen Privilegien (§ 118 EnWG, Solarspitzenpaket). Der zukünfige Rechtsrahmen muss lokale Netzdienlichkeit anreizen.

Gemini Notebook