

Großbatteriespeicher für die Region Siegburg Lindenstr.

Batteriespeicher Siegburg Lindenstr.

Inhalt

1

Generelle Informationen

Typische Parameter, Speichertechnologien

2

Marktmechanismen

KI-Fahrpläne, Regelleistung, Stromhandel

3

Erlösberechnung

Studien, Backtests und Langfristprognosen

4

Projektskizze

Standort Lindenstr., effiziente Platznutzung, Lieferanten-Profil

Großbatteriespeicher

Versorgungssicherheit & Wertschöpfung



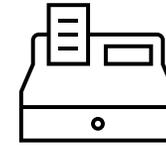
Netzstabilität sichern

*Groß-Batteriespeicher entlasten das Stromnetz, gleichen Schwankungen aus und erhöhen die **Versorgungssicherheit** – besonders bei wachsendem Anteil erneuerbarer Energien.*



Klimaziele erreichen

*Groß-Batteriespeicher sind ein **zentraler Baustein für die Energiewende** – lokal, sichtbar, wirksam.*



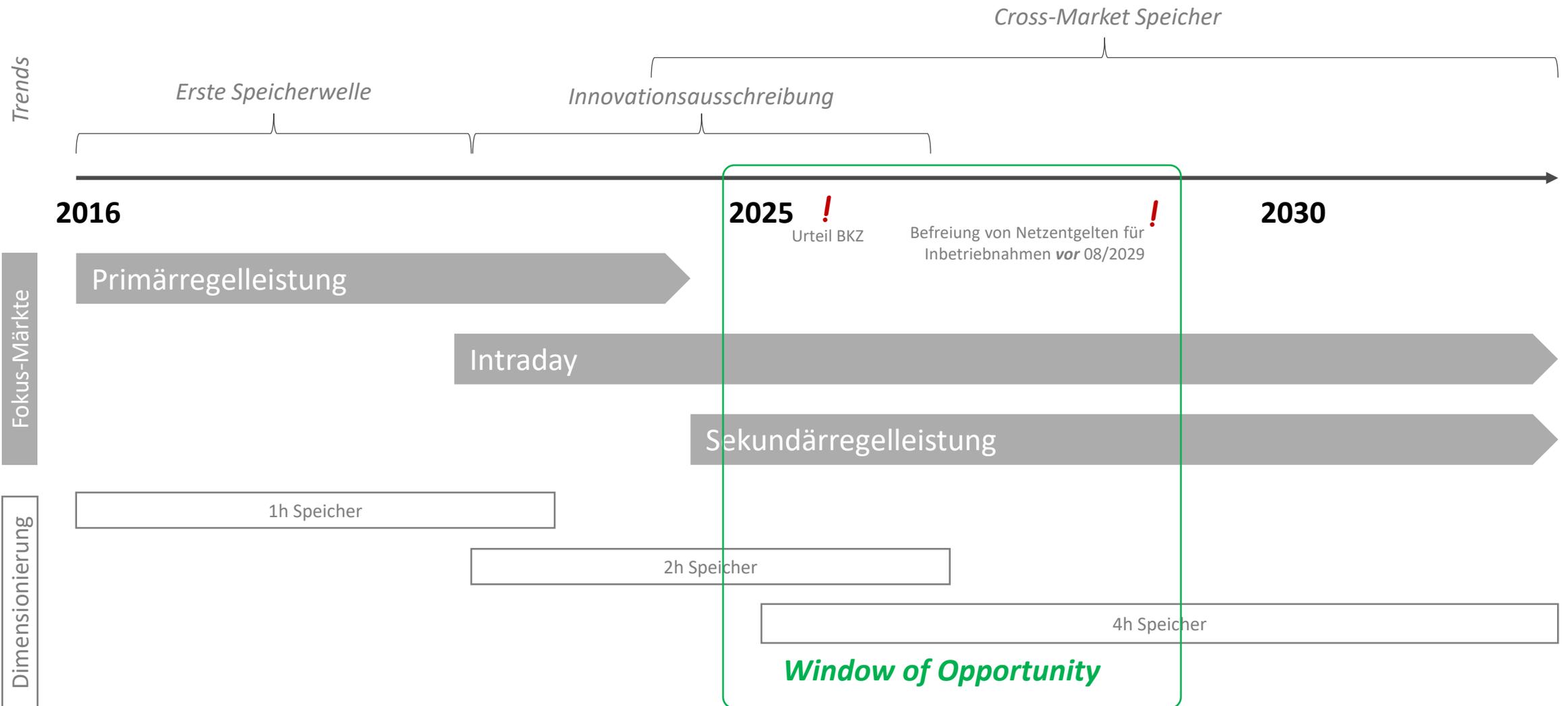
Wirtschaftlich profitieren

*Durch Bereitstellung von Systemdienstleistungen zur **Stabilisierung der Netzfrequenz** sowie die **aktive Glättung von Preisschwankungen** im Strommarkt entstehen laufende, planbare Einnahmen – ein nachhaltiges Geschäftsmodell.*

”

Mit unserem Großspeicher tragen wir gemeinsam aus der Region zur Energiewende, Netzstabilität und Versorgungssicherheit bei – gleichzeitig leisten wir einen wirtschaftlichen Beitrag für die Kommune.

Marktentwicklung Groß-Batteriespeicher



Groß-Batteriespeicher Übersicht



Mehrfach-Anwendung & Optimierung durch moderne Algorithmen:
Handel Regelernergie, Intraday, Day-Ahead Märkten



Speicherkosten: 200 – 320 EUR/kWh, technologie- & größenabhängig



Speichergrößen: 1 – 25 MW / 2 – 100 MWh

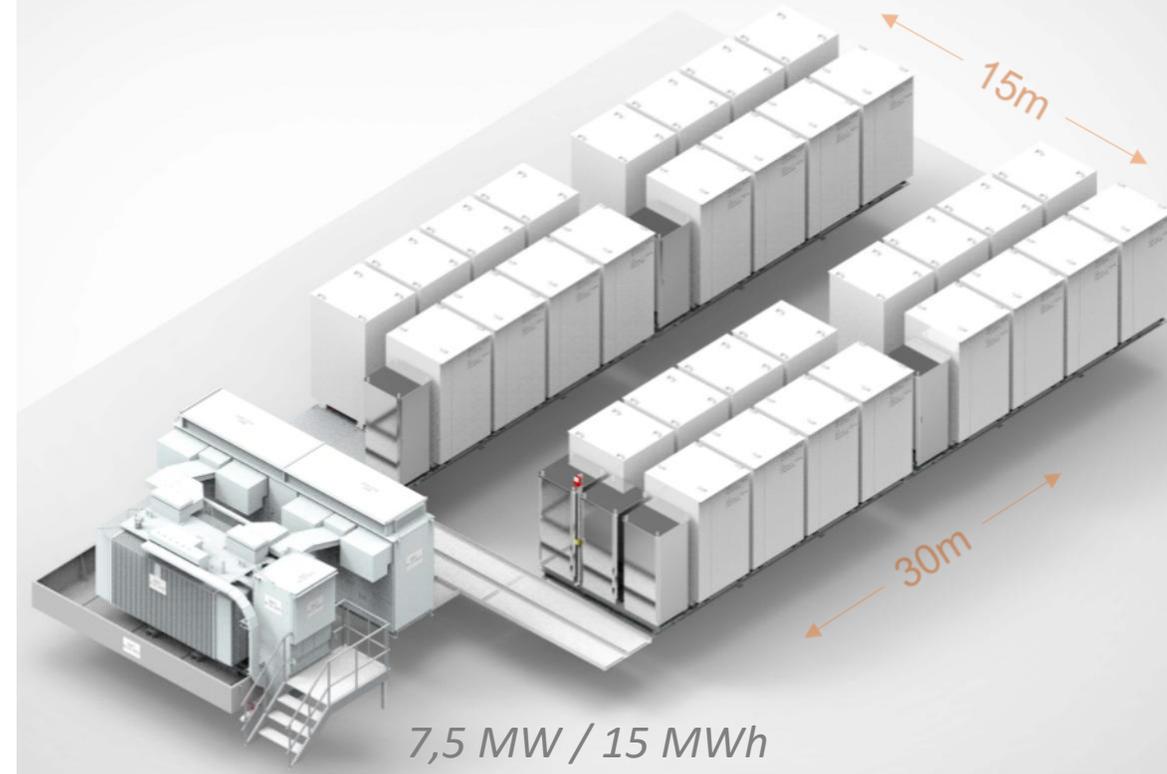
größere Speicher möglich, jedoch aktuell außerhalb des rhenag-Fokus



Erlöserwartungen

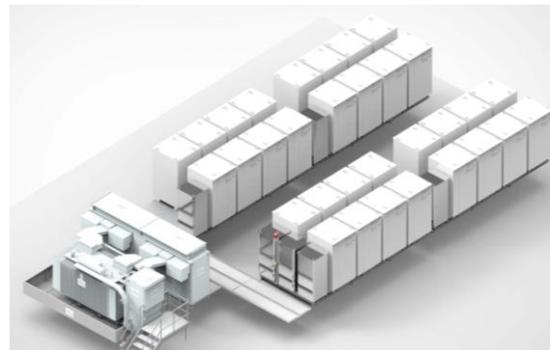
- Bankable Prognosen 2024 (2h): 110 – 180 TEUR/MW/a
- Bankable Prognosen 2024 (4h): 180 – 270 TEUR/MW/a
- Reale Erlöse 2024: 30 – 50 % über Prognosen
- Erlösmodellierung → [Details](#)
 - Beauftragte Studie auf Basis Enervis Fundamentaldaten
 - Simulationssoftware (Backtestings und Prognosen)
 - Fachveranstaltungen und Erfahrungsaustausch

Beispiel Lithium-Ionen Speicher zur Prinzip-Darstellung Projekt Siegburg basiert auf anderem Technologieansatz



Groß-Batteriespeicher Speichertechnologien

	Lithium Ionen (LiOn)	Zink-Bromid (ZiBr)
	> 90 % des Weltmarkts <i>Energiedichte Für E-Autos wichtig, bisheriger 1h-Marktfokus</i>	~7 % des Weltmarkts <i>Market-Utilization startet gerade durch 2-6h Märkte</i>
Vorteile	CAPEX geringer, da Massenware	Geringere Degradation und längere Lebensdauer (97% nach 20a) Brandsicher und Wartungsärmer (1x p.a.) Leiser, da keine Kühlung benötigt Nachhaltiger Materialkreislauf ohne Seltene Erden
Nachteile	Degradation und kürzere Lebensdauer (10, max. 15 Jahre) 4 Wartungen p.a. (Brandschutz und Technik)	Höherer CAPEX Energiedichte (mehr Fläche benötigt), dafür stapelbar Nur ein Tier-1 Lieferant bekannt (Produktionsreife und Volumen)
Geeignet für		Nähe zu Wohngebieten (Schall-Emissionen) Mehr Potenzial im Intraday-Handel (4-6h Speicher)
Einsatz	Projektspezifische Auswahl	
Vorqualifizierte Partner von rhenag	Intilion	NALA / EOS Energy



Wie groß ist der geplante Speicher?

Veranschaulichung in Bezug zu Haushalten der Kommune



Siegburg hat

- ca. 20.000 Haushalte für 42.000 Bürger:innen
- ca. 3.500 kWh/Jahr durchschnittlicher Verbrauch pro Haushalt

das entspricht

$$\frac{3.500 \text{ kWh/Jahr}}{365 \text{ Tage}} = 9,6 \text{ kWh pro Tag und Haushalt}$$

$$9,6 \text{ kWh pro Tag und Haushalt} * 20.000 \text{ Haushalte} = 191.780 \text{ kWh pro Tag}$$

Damit würde der Speicher Siegburg so lange versorgen können

$$\frac{100.000 \text{ kWh Speicher}}{191.780 \text{ kWh pro Tag}} = 12,5 \text{ Stunden}$$

Mit einer vollen Ladung könnte der Speicher rechnerisch Siegburg für einen halben Tag versorgen.

Die Rechnung dient nur der Veranschaulichung: Der Speicher ist keine lokale Notstromversorgung. Er ist nicht ins Niederspannungsnetz eingebunden und springt bei einem Blackout nicht automatisch ein.

CO₂-Einsparungen anhand Fraunhofer ISE Studie

Annahme des Szenarios

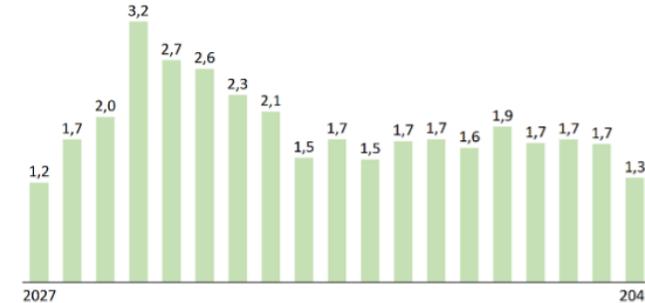
- Zwischen 11:00 – 15:00 Uhr werden im Jahresmittel 70% Erneuerbare eingespeichert; entspricht einem 4h-Zyklus des Speichers
- Bei der Ausspeicherung werden fossile Kraftwerke verdrängt
- Die Verdrängung entspricht 400g CO₂ / kWh die sonst entstanden wären

Bezogen auf den Speicher in Siegburg

- Ein 4h Zyklus entspricht 100 MWh = 100.000 kWh
- Das entspricht 400 g/kWh * 100.000 kWh = 40.000.000 g = 40 t CO₂
- Bei nur einem Zyklus pro Tag entspricht das 40 t CO₂/Tag * 365 Tage = **14.600 t CO₂/Jahr**
- Dabei kann der Batteriespeicher bis zu 3 Zyklen schaffen

Stationäre Batteriespeicher sparen bis zu 3,2 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr ein

Jährliche CO₂ Einsparung in dt. Stromproduktion bei 104-178 GWh stationärer Batteriespeicher, in Mio. Tonnen, lt. Fraunhofer ISE¹⁾:



Gesamt-Ersparnis
bis 2035: fast 20
Mio. Tonnen

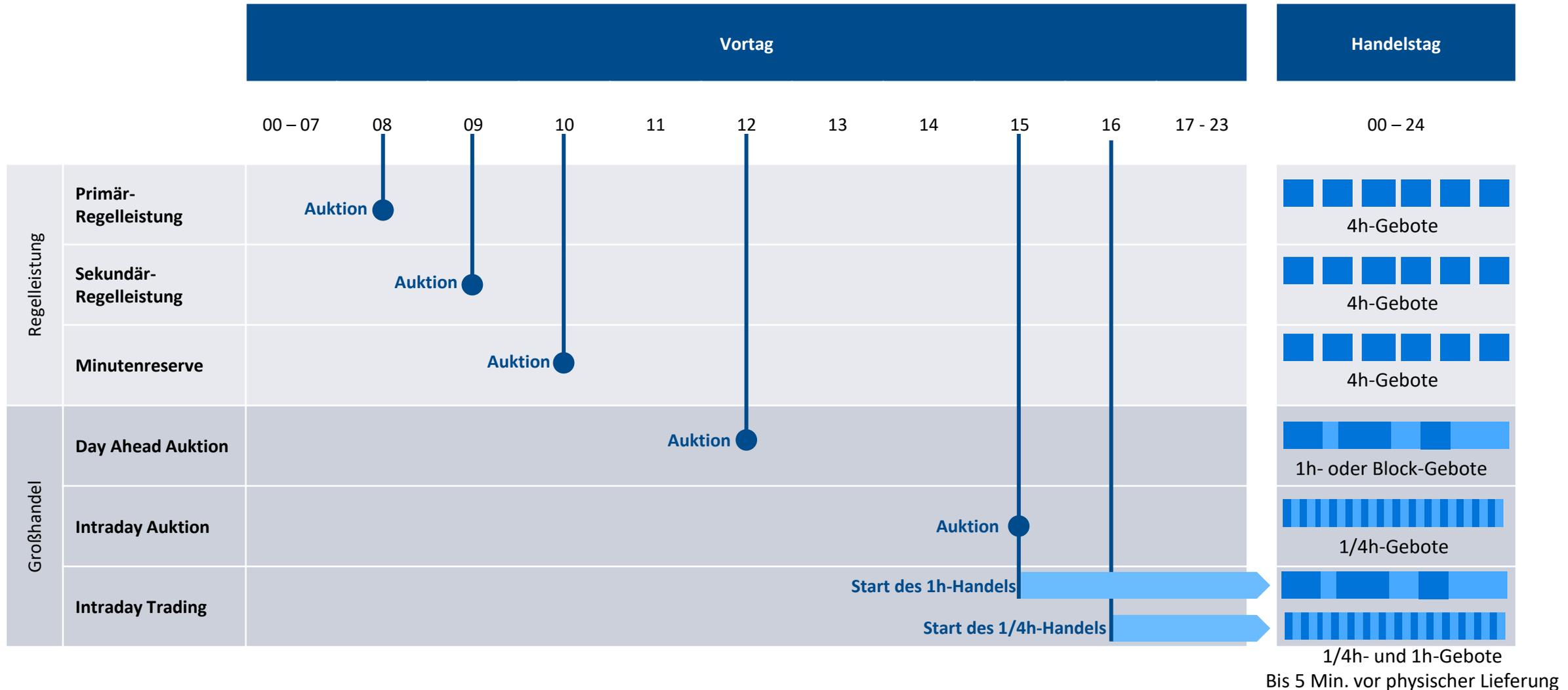
Quelle: [Wie klimafreundlich sind Speicherprojekte? - GESI Deutschland](#)

14.600 t CO₂/Jahr entsprechen ca.

- Emissionen von **3.174 Autos**
- **5.840 Fluggästen** von Frankfurt nach New York
- CO₂-Kompensation von **730.000 Bäumen**

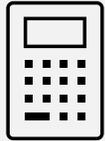
Handels- und Gebotszeiten

Auktionen zu Tagesbeginn abhängig von Erlösprognose durch Handel am Tagesende



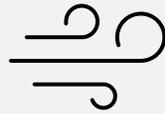
Mehrfach-Anwendung der Großspeicher

Handel an Regel-Leistung, Intraday und Day-Ahead Märkten



Algorithmen

autom. Handel
Hunderte Verträge pro Tag



Wind- und Wetter- und Erzeugungs-Forecasts

Bereits geringe Abweichungen ergeben kurzfristige Handels-Spielräume zwischen den Erzeugungs-Prognosen und -Preisen



Börse

Regelenergie
Intraday-Handel
Interday-Handel

Batterie-Fahrplan



Beispiel für einen Tag

MARKT	PRODUKT	LÄNGE
Regel-Leistung		
	Primärregelleistung (FCR)	4h
	Sekundärregelleistung (aFRR)	4h
Wholesale		
Day-Ahead	Strom für folgenden Tag	1h
Intraday	Kurzfristig, u.a. zur Bilanzkreisglättung	15min
Zukünftig		

Bilanzkreisausgleich nach Börsenschluss
Regel-Arbeit
Kapazitätsmarkt
Blindleistung
Schwarzstartfähigkeit

Optionen zur Reduktion des Handelsrisikos →

Handel am Day-Ahead- und Intraday-Markt

Ausnutzen von kurzfristigen Preisentwicklungen

Arbitrage-Handel

- Nutzen von Preisunterschieden zwischen Day-Ahead- und Intraday-Märkten.

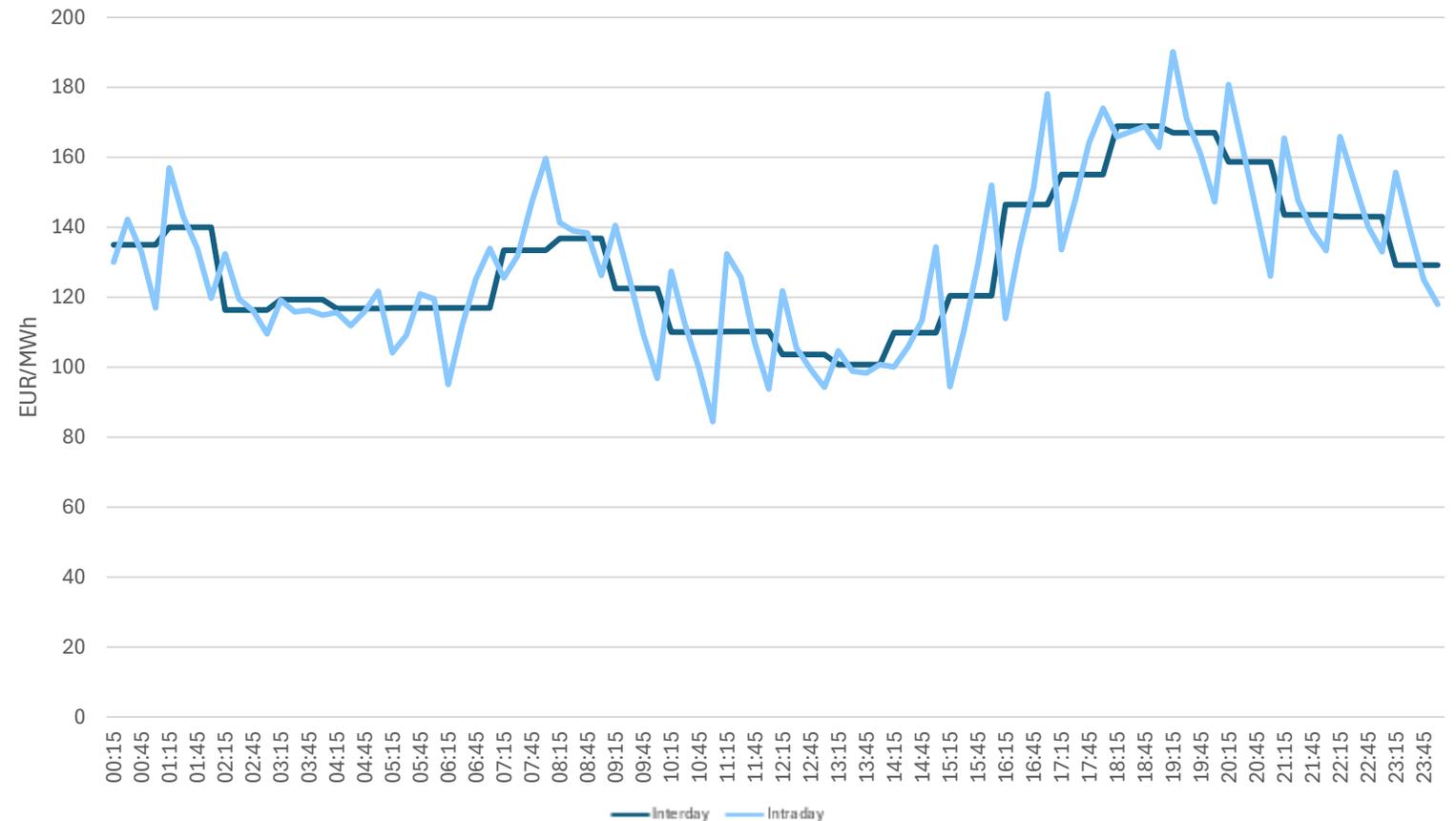
Intraday-Handel

- Strommengen können bis zu fünf Minuten vor der Lieferzeit ein- und verkauft werden.

Prognosen & Algorithmen

- Erzeugungsprognosen Wind & Solar .
- Wetterdaten, um minimale Verschiebungen der Erzeugungsprognosen zu identifizieren.
- Algorithmen bilden Preisprognosen ab, bilden Handelsentscheidungen ab
- Prognosen können mit „perfekter Vorausschau“ oder „imperfekt“ berechnet werden → [Foresight](#)
- So werden hunderte Handelsvorgänge am Tag ausgeführt und mehr Strom über den Speicher gehandelt als physisch bewegt wird
→ [Asset-Backed-Trading](#)

Spreads am 09.02.2025



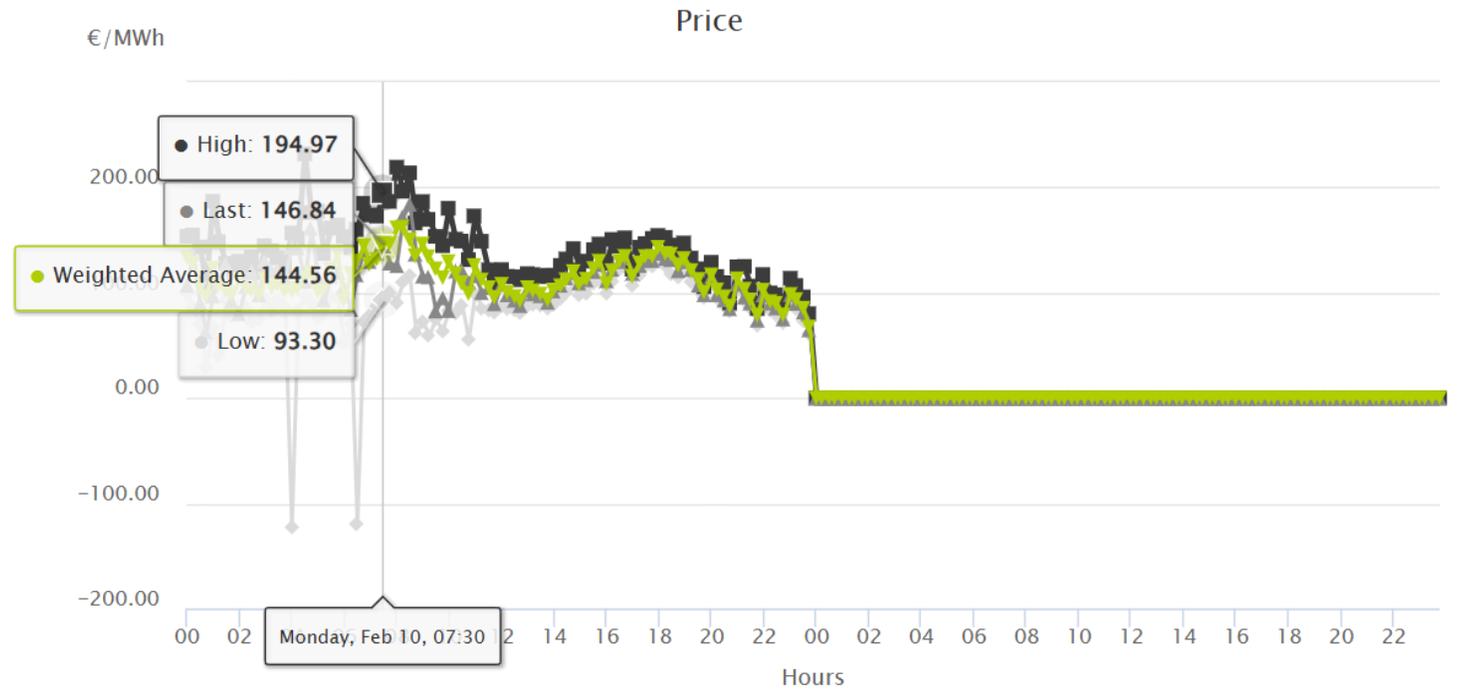
Arbitrage-Handel

Kontinuierlicher Intraday-Handel

Beispiel der Preisunterschiede vor der Lieferzeit

Montag, 10.02.2025, 07:30-07:45

- Niedrigster Preis 93,30 EUR/MWh
- Höchster Preis 194,97 EUR/MWh
- Letzter Preis 146,84 EUR/MWh
(5 Minuten vorher)

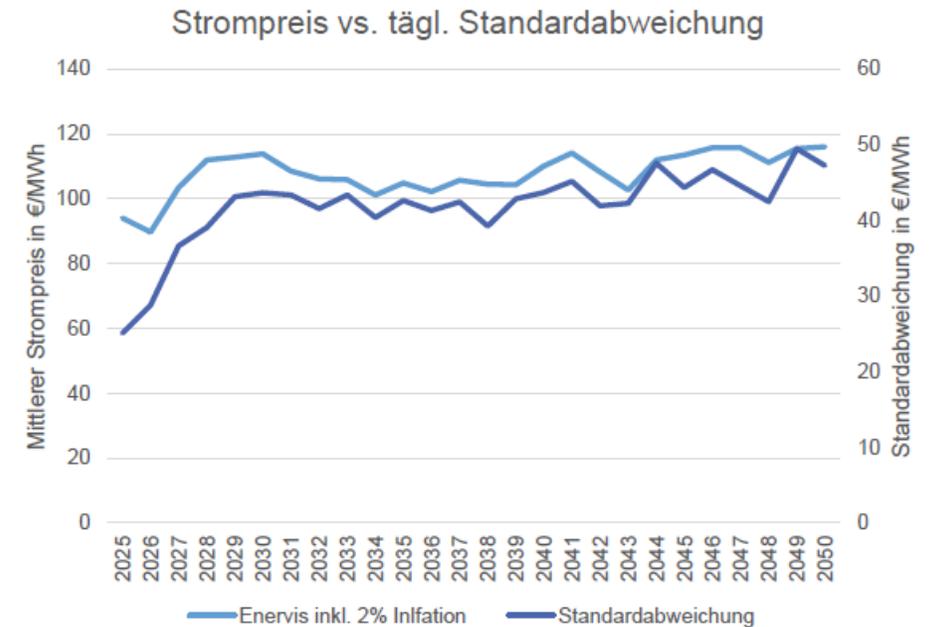


Quelle: EPEX Spot, 10.02.2025

Arbitrage-Handel

Abschätzung zukünftiger Erlöse

- Ein Fundamentaldatenmodell liefert Informationen über die statistische Verteilung der Preise für jede Viertelstunde bis 2050.
- Die zukünftigen Auktionspreise werden unter Annahme einer Normalverteilung abgeleitet.
- Die Handels-Erlöse des Speichers gehen auf die Standardabweichung ggü. der mittleren Strompreise zurück.
- Nach den Prognosen werden sich die Erlöse in den nächsten Jahren noch erhöhen ([siehe Erlösmodellierung](#))



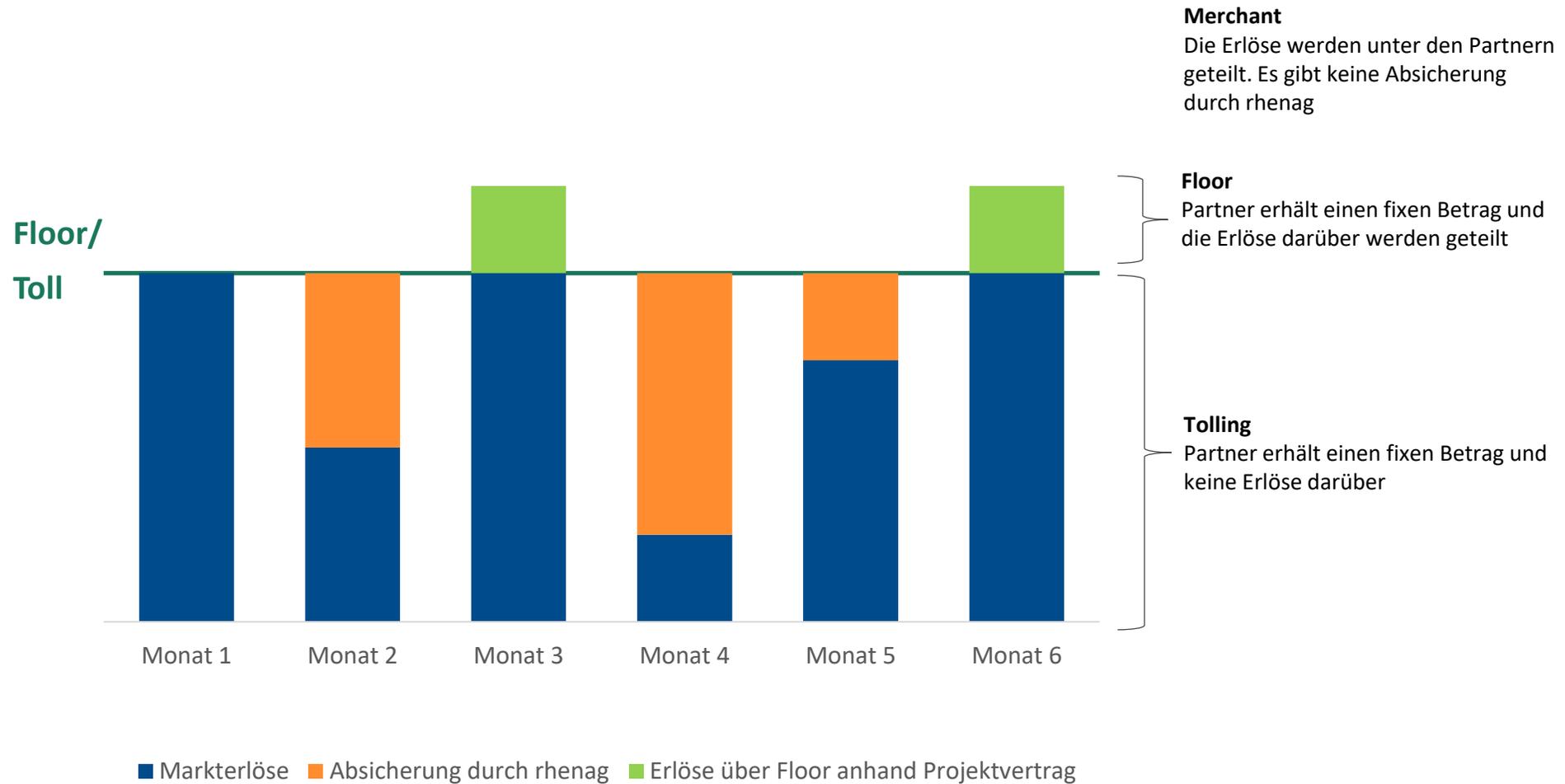
Arbitrage-Handel

Asset-Backed Trading

- Die Algorithmen optimieren den Speicher zuerst in der Day-Ahead Auktion.
- Anschließend optimiert der Speicher seinen Fahrplan in der Intraday-Viertelstunden-Auktion.
- Je nach Modell wird angenommen, dass der Speicher unter Berücksichtigung von Kapazität und Wirkungsgrad zu jeder bestmöglichen Zeit zu den bestmöglichen Preisen kauft und verkauft (**Perfect Foresight**) oder mit einer Standardabweichung nach unten korrigiert wird (**Imperfect Foresight**), um konservativere Prognosen zu erhalten.
- In der Praxis sind noch weitere Trades in einer einzelnen Viertelstunde im kontinuierlichen Handel möglich, durch das sog. Asset-Backed-Trading. Dadurch können Erlöse ohne den Einsatz physischer Ladezyklen zusätzlich gesteigert werden. Diese Zusatzerlöse werden in den Prognosen nicht berücksichtigt.
- Gespräche mit verschiedenen führenden Vermarktern zeigen, dass die getroffenen Prognosen so die real möglichen Ergebnisse in 2024 um 34-51% unterschätzt haben.
- Die Business Cases basieren auf den konservativen Prognosemodellen und erlauben eine zusätzliche Korrektur nach oben.

Groß-Batteriespeicher

Merchant, Floor & Tolling



1. Anfrage an Direktvermarkter → optimistische Darstellungen, da vertriebliche Argumentation
2. Backtesting anhand historischer Daten → betrachtet keine Marktverdrängungseffekte
3. Prognosen anhand Fundamentaldaten-Modellen, hierbei „Perfect Foresight“ oder „Imperfect Foresight“

Beauftragte Studie „Projekt Siegburg“

- Basiert auf Enervis Fundamentaldatenmodellen. Enervis gilt in der Branche als „bankable“
- Beauftragung eines unabhängigen Beraters zur Modellierung des geplanten Speichers.
- Nutzt „Perfect Foresight“, jedoch kein „Asset Backed Trading“

Projektbezogen zur zusätzlichen Absicherung

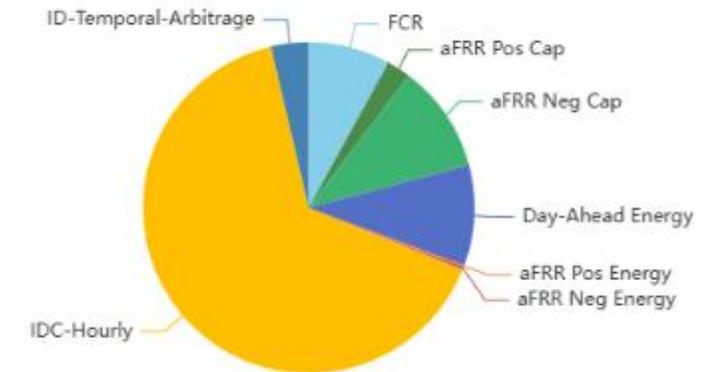
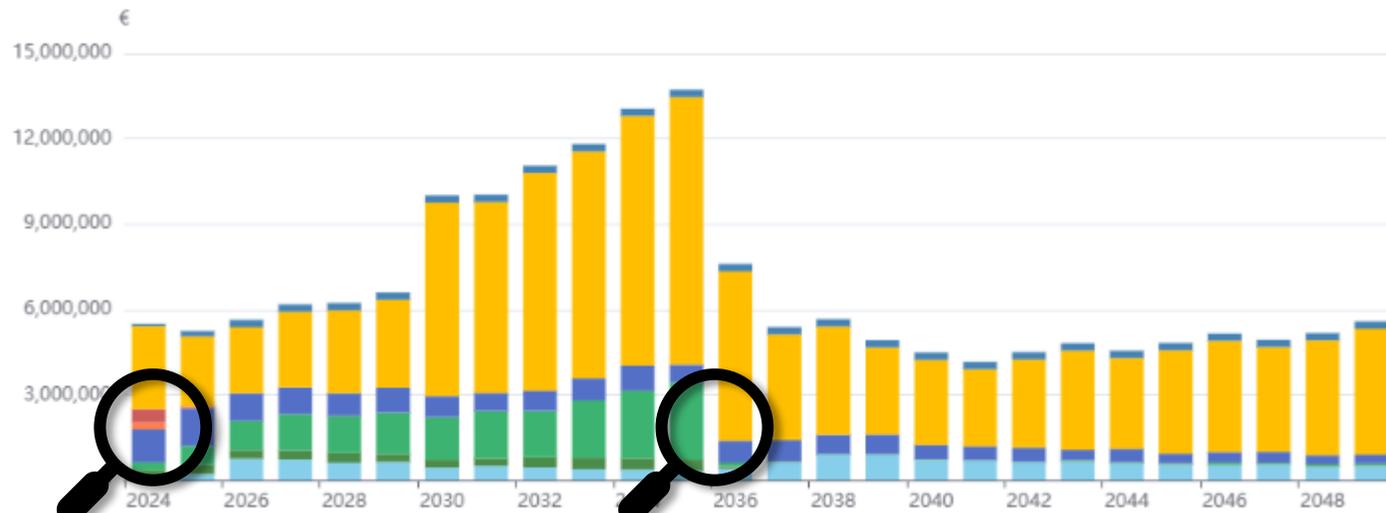
Simulations-Software Re-Twin

- Erstellung **digitaler Zwillinge** und Szenarien zur Erlösprognose und Betriebs-Optimierung
- Backtesting mit historischen Daten & Wahl zu
- Forecasting anhand MAON-Fundamentaldatenmodell, bankable

Einheitliche Bewertungs-Software über alle Projekte

Erlösmodellierung am digitalen Zwilling „Siegburg Lindenstr.“

Jahresrückschau + Langfristprognose



- aFRR Energy ist schwer zu prognostizieren und daher nicht im Forecast enthalten – nur im Backtest.
- Damit sind Upside Potenziale im Forecast gegeben über „Anteil des Anteils“.

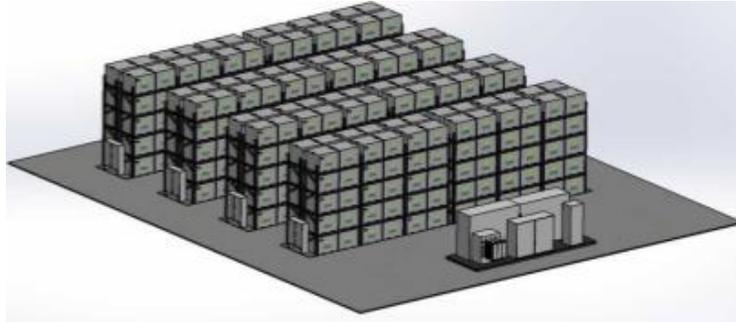
- aFRR Capacity hat im Forecast einen abrupten Stopp.
- Hintergrund ist das Fundamentaldatenmodell, dass sich am National Current Efforts Szenario orientiert und eine Abschaltung der Kohlekraftwerke einpreist.
- Kohlekraftwerke sind oft weniger flexibel und benötigen mehr Unterstützung durch Netzstabilitätsdienste
- Ein früherer Ausstieg wäre Erlösmindernd, ein späterer ein Upside-Potenzial.

aFRR ist die automatische Frequenz-Wiederherstellungs-Reserve

- **aFRR Capacity** die geplante und bereitgestellte Kapazität, die im Bedarfsfall zur Stabilisierung genutzt werden kann. Anbieter werden unabhängig davon bezahlt, ob sie tatsächlich aktiviert wird (Bereitsstellungsentgelt)
- **aFRR Energy** bezieht sich auf die tatsächlich genutzte Energie, wenn die Reservekapazität aktiviert wird (Leistungsentgelt)

Projektskizze

Effiziente Flächennutzung



Die nutzbare Fläche beträgt ca. 1080 m²

Die Zink-Bromid-Batteriezellen können deutlich enger aneinander aufgebaut werden als Lithium-Batterien und können auch übereinander aufgebaut werden.

Zwei Maßnahmen zur bestmöglichen Flächennutzung

1. Aufbau in die Höhe, gesichert in einer Leichtbauhalle (10m Höhe)
2. Aufbau in einem Schiebe-Hochregal. So kann immer ein Wartungsgang frei sein, während die weiteren Regal-Reihen dicht beieinander stehen.

Sub-Partner: HochTief

Sub-Partner: SSI Schäfer

EOS ENERGY / NALA

Herstellerprofil

~1985

Patent durch
Exxon Mobile

2008 - 2018

Gründung, Forschung &
Entwicklung, Pilotinstallationen
HQ: Pennsylvania, US
RD: New Jersey, US

2018 - 2022

Industrialisierung,
Start der zweiten Generation

2022 – 2025

Start der dritten Generation
Vollautomatisierte Fertigung mit 8 GWh p.a.
Suche weiterer Produktionsstandorte

Batterie-Markt in Deutschland entwickelt
sich zu Intraday-Handel

EOS tritt über deutsche Vertretung NALA in
den Markt ein

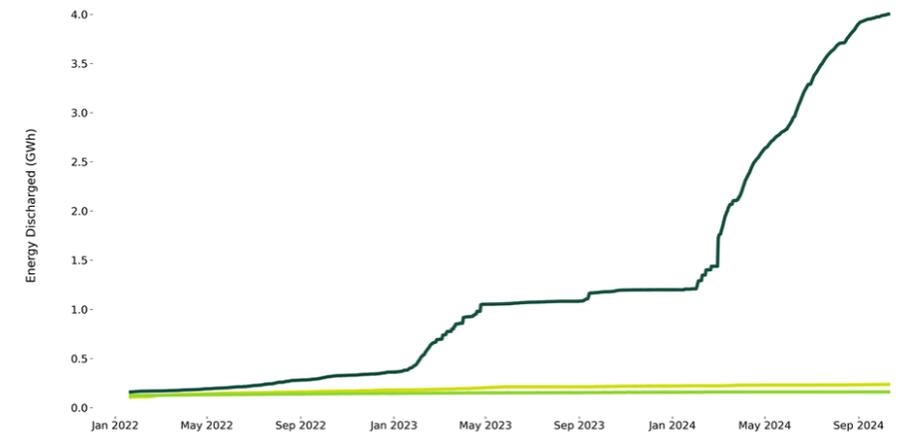
2025 +

Window of Opportunity
Siegburg Lindenstr.



- [5.000 MWh MoU Frontier Power, UK](#)
- [400 MWh Bestellung durch International Electric Power](#)
- [216 MWh Bestellung durch Energieversorger in Springfield](#)

Energy Counter as of Thu, October 10 2024

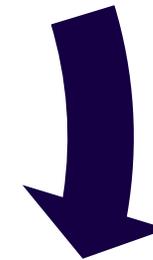


- Batteriezellen bestehen aus 5 weit verbreiteten Materialien: Zink, Bromid, Graphit-Filz, leitfähiger Kunststoff & Kunststoff
- Etablierte, breit verfügbare Recyclingkreisläufe
- Keine Seltenen Erden, keine Abhängigkeit geopolitischer Lieferketten

Rohmaterialien

Produktion

- Vollautomatisierte Produktion
- 71% geringer Wasser-Fußabdruck ggü. Li-Ion

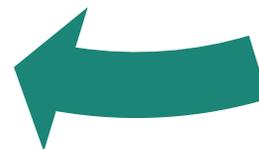


- 100% recyclebare Materialien
- Durch hohe Restkapazität nach 20 Jahren kann der Speicher noch weiter genutzt werden

End of Life

Betrieb

- Batteriezellen nicht brandfähig
- Keine Kühlung notwendig, leiser und effizienter
- „Keine Degradation“, d.h. 97% garantierter Kapazität nach 20 Jahren



Risikobetrachtung

Speicher Angebot ist ein Richtpreis-Angebot	Verhandlungen intensivieren, gemeinsame Wahl zwischen - Open Book Cost Plus - Fixpreismodell
Regelenergiemarkt hat begrenzte Kapazitäten	Regelenergie: Preis-Niveaus nähern sich in den nächsten 3-5 Jahren den Großhandels-Niveaus an; Relevanz bis 2030/35. Großhandel: Absolute Strompreisänderung weniger relevant, da die relativen Spreads ausschlaggebend sind; Wachstum prognostiziert
Strompreise sinken langfristig	Die Handels-Erlöse basieren auf untertägigen Strompreisdifferenzen und sind nicht vom Langfrist-Markt betroffen.
Speicherdefekt	Garantieverlängerungen und umfassende Serviceverträge (Uptime-Garantien); Instandhaltung und Teil-Austausch im BC eingepreist
Marktwert-Speicher sinkt unter BC-Prämisse	Absicherungen durch Floor und Tolling möglich, jedoch keine Upside-Potenziale und kein Lerneffekt
Netzanschlusszusagen	Netzanschlussanfrage ist vorbereitet, benötigt „OK der Grundstückseigentümer“
Schlechter Vermarkter	Shadow-Trading mit digitalem Zwilling

Upside Potentiale

- + Vermarkter erwirtschaften 30-50% mehr als Prognosen
- + Asset-Backed Trading
- + Die Speicher sind „ready“ für kommende Märkte (z.B. Blindleistung, Kapazitätsmarkt)
- + Provision an die Strom-Vermarkter sinkt bei Skalierung des gemeinsamen Geschäfts
- + aFRR Energy im Langfristforecast (~11 % im Backtest)

Projektskizze

Typische Zeiträume für BESS Projekte

	1 – 3			4 – 6			7 – 9			10 – 12			13 – 15			15 – 18		
Projektskizze	■																	
Business Case		■																
Stakeholder Freigabe			■															
Netzanschluss				■	■	■	■											
Genehmigungen				■	■	■	■											
Finanzierung				■	■	■	■											
Bestellung HW-Komponenten						■	■	■	■	■	■	■						
Tiefbau, Montage & Inbetriebnahme											■	■	■					
Puffer														■	■	■		

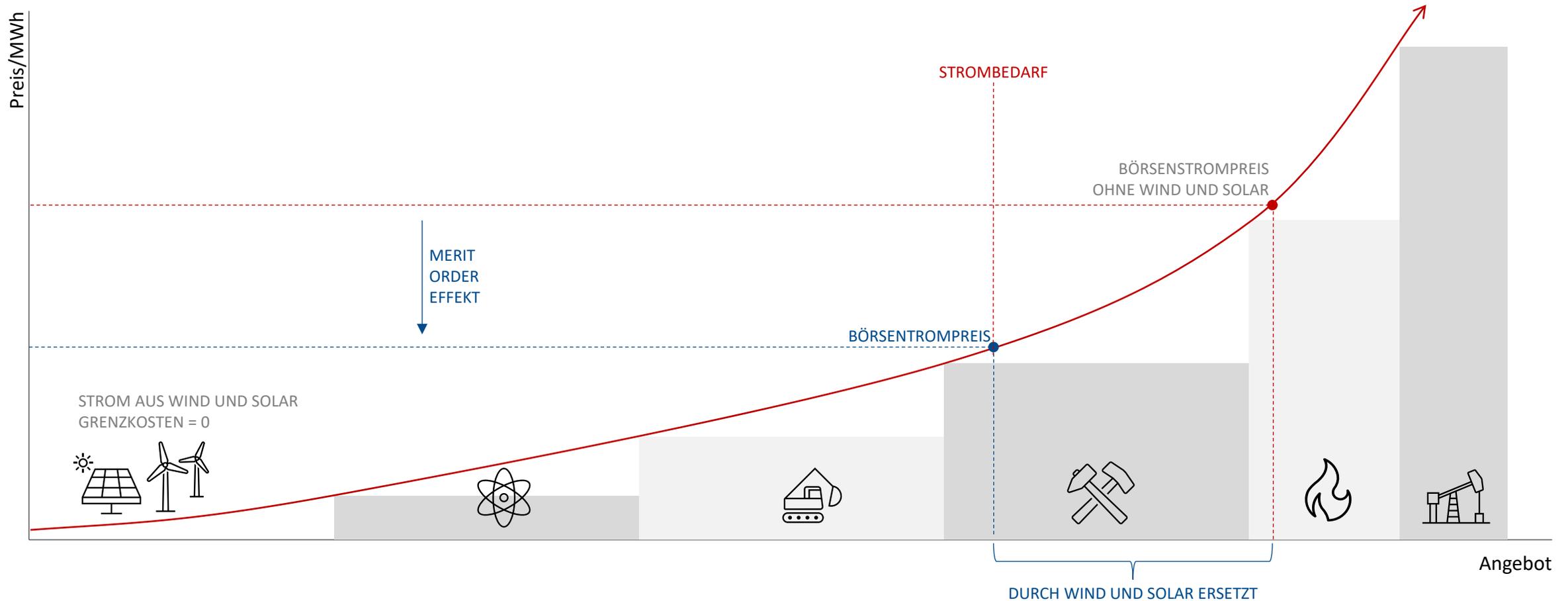
Betrieb 

Lebensdauer je nach Technologie und Fahrplan

- Lithium-Ionen 10-15 Jahre
- ZinkBromid 25+ Jahre
- End of Life Management



Beitrag zur Senkung der Strompreise am Beispiel des Merit Order Effekts



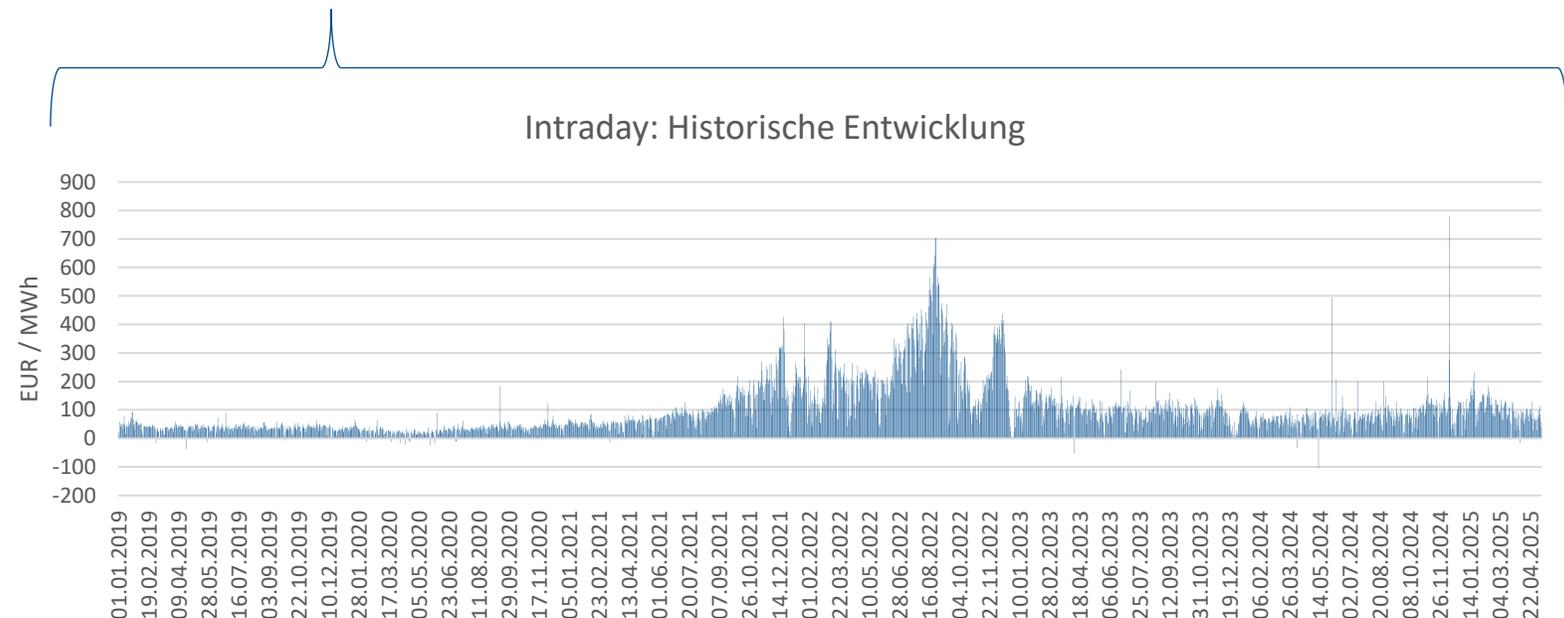
Grenzkosten sind die zusätzlichen Kosten, die für die Erzeugung einer zusätzlichen Megawattstunde Strom anfallen – insbesondere durch Brennstoffkosten, CO₂-Kosten und Betriebskosten.

Batteriespeicher können in Zeiten geringer Einspeisung der Erneuerbaren ins Netz einspeisen und teure Kraftwerke verdrängen. Noch reichen die installierten Kapazitäten nicht für eine preisdämpfende Wirkung aus – der Zubau schreitet aber rasant voran.

Arbitrage Handel

Entstehung Intraday Markt

- Relevanz des Intraday-Marktes für BESS ist 2021/2022 entstanden
- Steigende Volatilität sorgt für höhere Volumen, vermehrte und größere Spreads
- Begünstigt den Trend zu 2h und 4h Systemen



Fundamentaldaten

Strommarkt-Modellierung anhand der „Current Efforts“

		Current Efforts
Brennstoff- und CO ₂ Preise		2024 - 2026: durchschnittliche Terminmarktnotierungen vom 1.8 - 31.8.2024 2027 - 2029: Interpolation zwischen Terminmarktnotierungen und WEO-Szenario für Kohle-, Öl- und CO ₂ Preise und der enervis- Preisprognose für Erdgas 2030 - 2050: WEO 2023 <i>Announced Pledges Scenario</i> für Kohle-, Öl- und CO ₂ Preise und enervis' Preisprojektion für Erdgas 2051 - 2060: Extrapolation
Wasserstoff im Strommarkt	H ₂	Gaskraftwerke werden durch H ₂ ersetzt 2035-2045 / Kosten werden im Strommarkt subventioniert
Entwicklung von Kohlekapazitäten		Ausstieg bis 2034
Entwicklung von nuklearen Kapazitäten		Ausstieg im Jahr 2023 abgeschlossen
Einsatz von erneuerbaren Energien		Kurzfristig: aktuelle Projektpipeline und Ausschreibungsmengen Mittelfristig: basierend auf den Zielen des Koalitionsvertrags vom Dezember 2021 und dem EEG 2023
		Zusätzlicher marktgetriebener Zubau innerhalb des Szenarios bei gegebener Wirtschaftlichkeit basierend auf Vollkostenannahmen für Wind Onshore und PV-Kapazitäten (modellendogene Kapazitäten) 2050 EE-Anteil*: 102%
Entwicklung der Stromnachfrage		Elektrifizierung des Wärme- und Mobilitätssektors Gesamtnachfrage 2050: 897 TWh Anstieg 2050 im Vergleich zu 2024: +62% Gesamtnachfrage 2060: 977 TWh Anstieg 2060 im Vergleich zu 2024: +76%
Entwicklung von Batteriespeicher & Lastmanagement		Für Industrie- & Heimspeicher basierend auf Prognosen von ÜNB, ENTSO, NECP und eigenen Analysen
		Mittel- bis langfristig schrittweises Lastabwurfpotential gemäß Merit-Order Systematik unterstellt

Auszug von enervis