



# Windenergie und Speicher integriert bewirtschaften

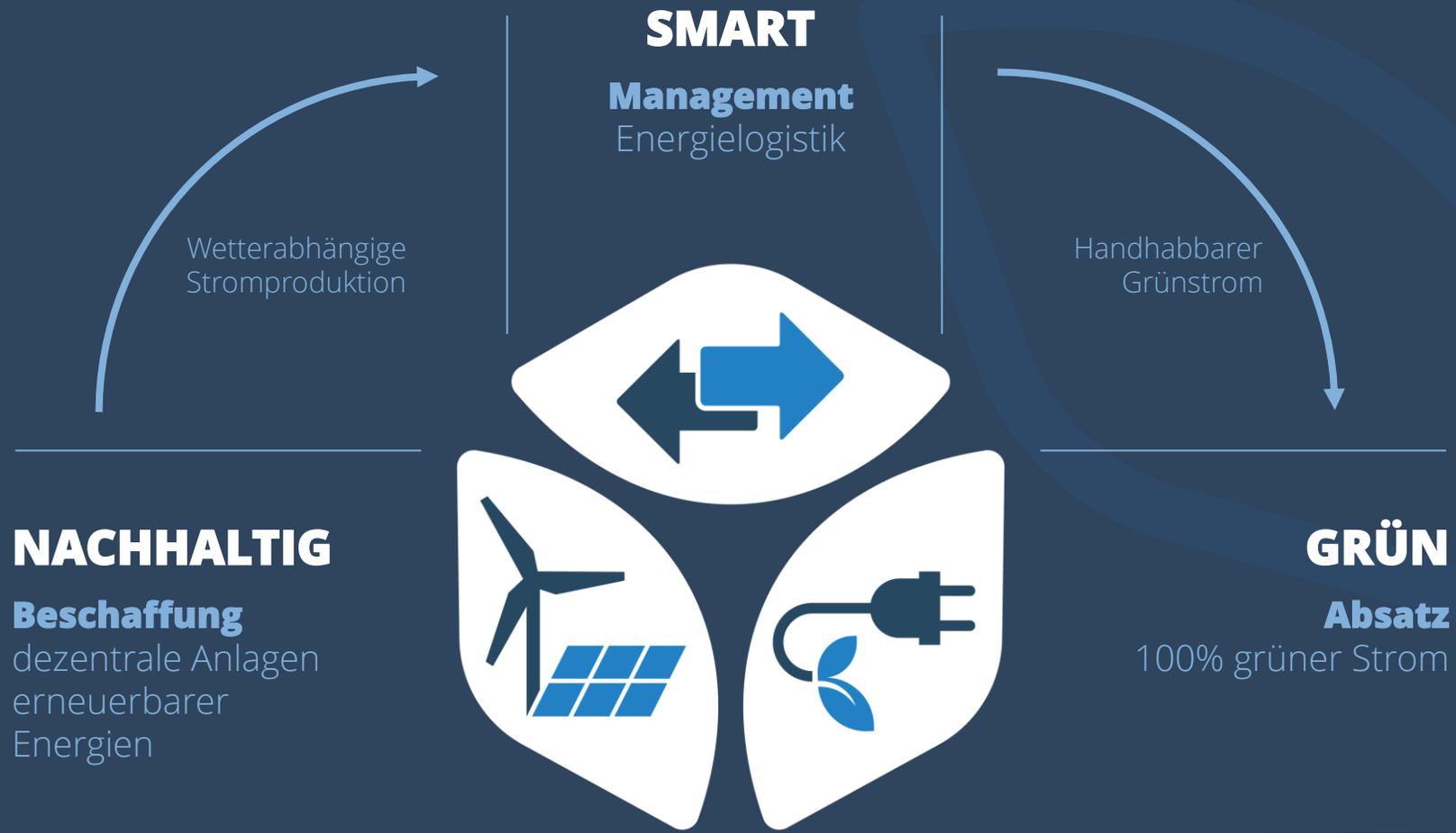
09.11.2023

---

Kenneth Laga

# Das moderne EVU

QUADRA energy: Wir lassen grüne Energie wirklich werden!



# Zahlen und Fakten

Das *QUADRA energy*-Portfolio 2023

## Leistung

**9.000**  
MW

Kapazität in  
EE-Anlagen

**6.900**  
MW

Onshore Wind  
(EEG)

**1.000**  
MW

Onshore Wind  
(Post-EEG)

**1.100**  
MW

Solaranlagen  
(EEG)

## EE-Anlagen

**> 3.000**  
WEA (EEG)

**> 1.000**  
WEA (Post-EEG)

**> 700**  
Solaranlagen

## Grünstrom

**15.000**  
GWh

Grüner Strom

**> 3.000**  
GWh

PPA-Volumen 2023-  
2025

## Vergleich

**< 3%**

an der deutschen  
Stromerzeugung

**~ 4 Mio.**

private Haushalte

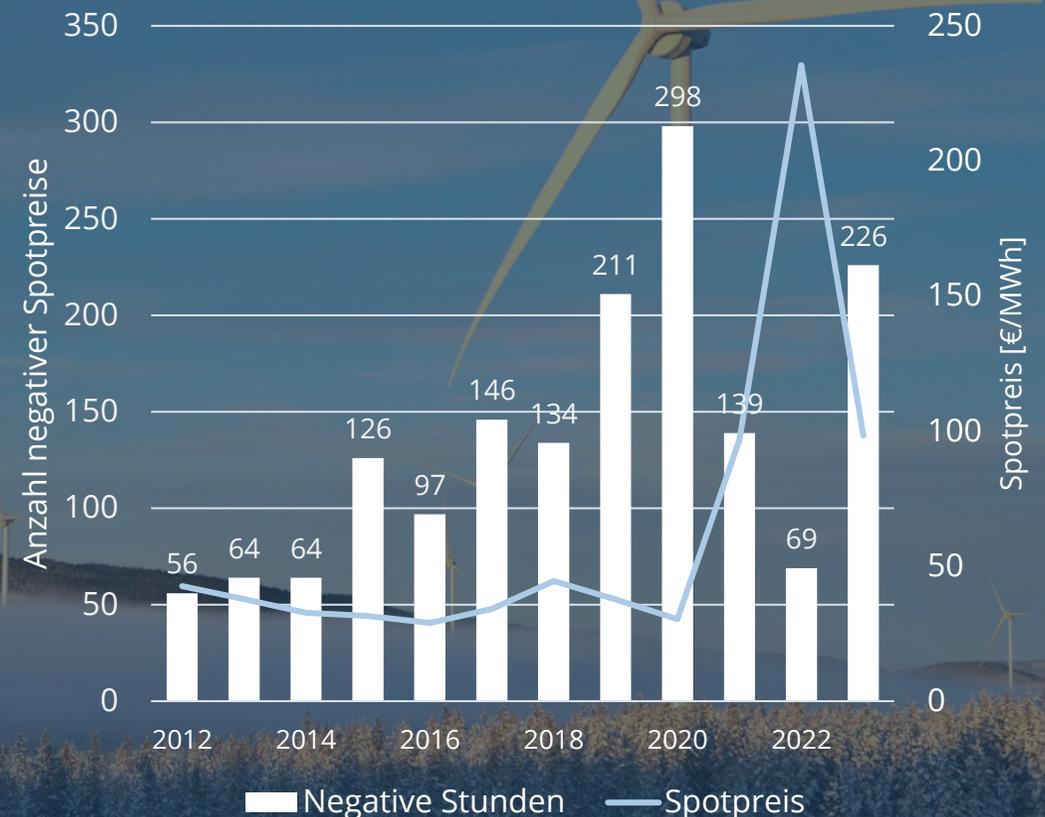
# Windenergie speichern statt wegwerfen?

Der starke Zubau der Erneuerbaren Energien erhöht zunehmend den Druck auf die Spotmärkte.

## Die EU-Richtlinie für Erneuerbare Energien (RED III)

-  45 % des europäischen Endenergieverbrauchs sollen bis 2030 aus Erneuerbaren Energien stammen
-  Für den Stromsektor entspricht dies einem Zubau von jährlich 100 GW an Erneuerbaren Erzeugungskapazitäten in der EU
-  Bereits diesen Sommer gab es aufgrund der hohen Einspeisung von Wind- und PV-Anlagen in mehreren mitteleuropäischen Märkten extrem negative Preise bis an die untere Marktpreisgrenze von -500 €/MWh
-  Bis Ende Oktober kam es in diesem Jahr bereits zu 226 Stunden mit negativen Spotpreisen in DE

Entwicklung des Spotmarktes in Deutschland



# Flexibilität durch Batteriespeicher

Batteriespeicher können auf unterschiedlichen Märkten unterschiedliche Arten von Flexibilitäten bereitstellen.



## **Netzdienstlicher Betrieb**

Bereitstellung von Regelleistung zum Ausgleich von Schwankungen der Stromnetzfrequenz.



## **Marktorientierter Betrieb**

Einbezug sowie Bereitstellung von kurzfristig lieferbarem Strom an den Spotmärkten.

# Flexibilität durch Batteriespeicher

Batteriespeicher können auf unterschiedlichen Märkten unterschiedliche Arten von Flexibilitäten bereitstellen.



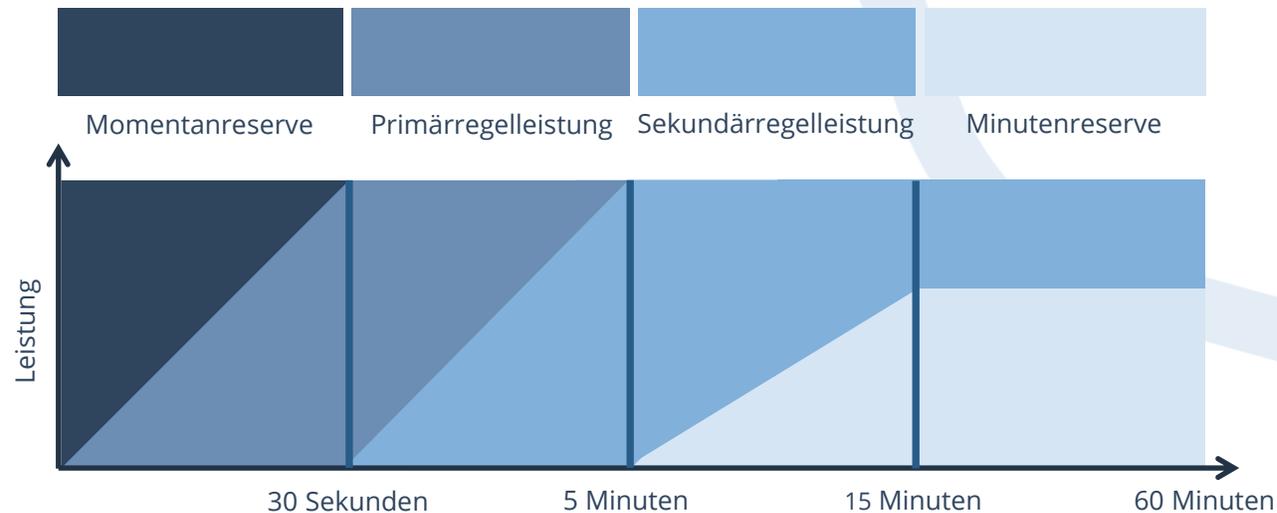
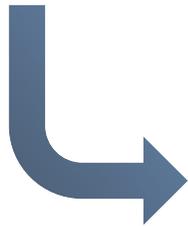
## Netzdienstlicher Betrieb

Bereitstellung von Regelleistung zum Ausgleich von Schwankungen der Stromnetzfrequenz.



## Marktorientierter Betrieb

Einbezug sowie Bereitstellung von kurzfristig lieferbarem Strom an den Spotmärkten.



# Vermarktungsstrategien

Die Vermarktungsstrategie spielt eine entscheidende Rolle, um das Erlöspotenzial von Batteriespeichern in der Regelleistung sowie am Spotmarkt zu bewerten.



## Netzdienstlicher Betrieb

Bereitstellung von Regelleistung zum Ausgleich von Schwankungen der Stromnetzfrequenz.



## Marktorientierter Betrieb

Einbezug sowie Bereitstellung von kurzfristig lieferbarem Strom an den Spotmärkten.



### Primärregelleistung

Kapazitätzahlung in €/MW/Stunde bei einer täglichen Auktion am Vortag. Die Vergütung erfolgt nach dem Pay-as-Clear Verfahren.



### Sekundärregelleistung und Minutenreserve

Kapazitätzahlung in €/MW/Stunde mit 1h-Granularität. Vergütung Pay-as-Clear in €/MWh mit 15min-Granularität.



### Day-Ahead-Markt

Day-Ahead- und Viertelstundenauktion am Vortag. Ertrag abhängig von der Preisvolatilität. Vergütung in €/MWh.



### Intraday-Markt

Vermarktung bis kurz vor Lieferung. Potenzial für steigende / fallende Preise gegeben. Vergütung in €/MWh.

# Potenziale am Primärregelleistungsmarkt

Am Primärregelleistungsmarkt wurden im ersten Halbjahr 2023 Erlöse in Höhe von 47.155 €/MW erzielt.



Die Erlöse am Primärregelleistungsmarkt sind hoch, sinken aber stetig

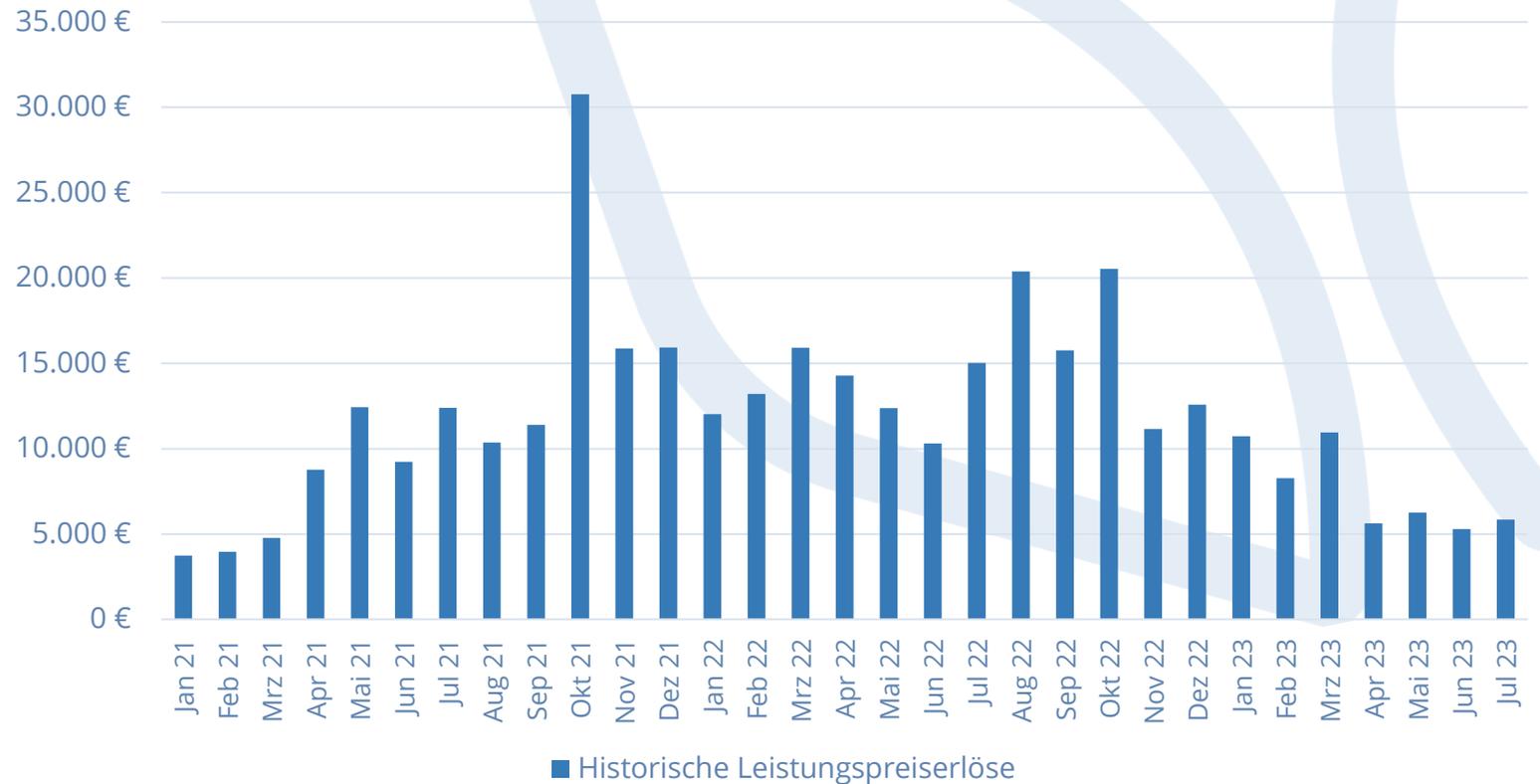


Die konventionellen Kraftwerke werden in der Bereitstellung von Primärregelleistung zunehmend von Batteriespeichern verdrängt



Durch die limitierte Marktgröße von gut 600 MW an vorgehaltener Leistung ist dieser Markt stark begrenzt

Erlöse am Primärregelleistungsmarkt pro vermarktetem MW



# Potenziale am Primärregelleistungsmarkt

In unserem Beispiel würde ein Markteintritt von 100 MW an zusätzlicher Leistung in der PRL die Erlöse im Durchschnitt um 65 % reduzieren.



Immer mehr Akteure betreten den Markt und verstärken den Kannibalisierungseffekt



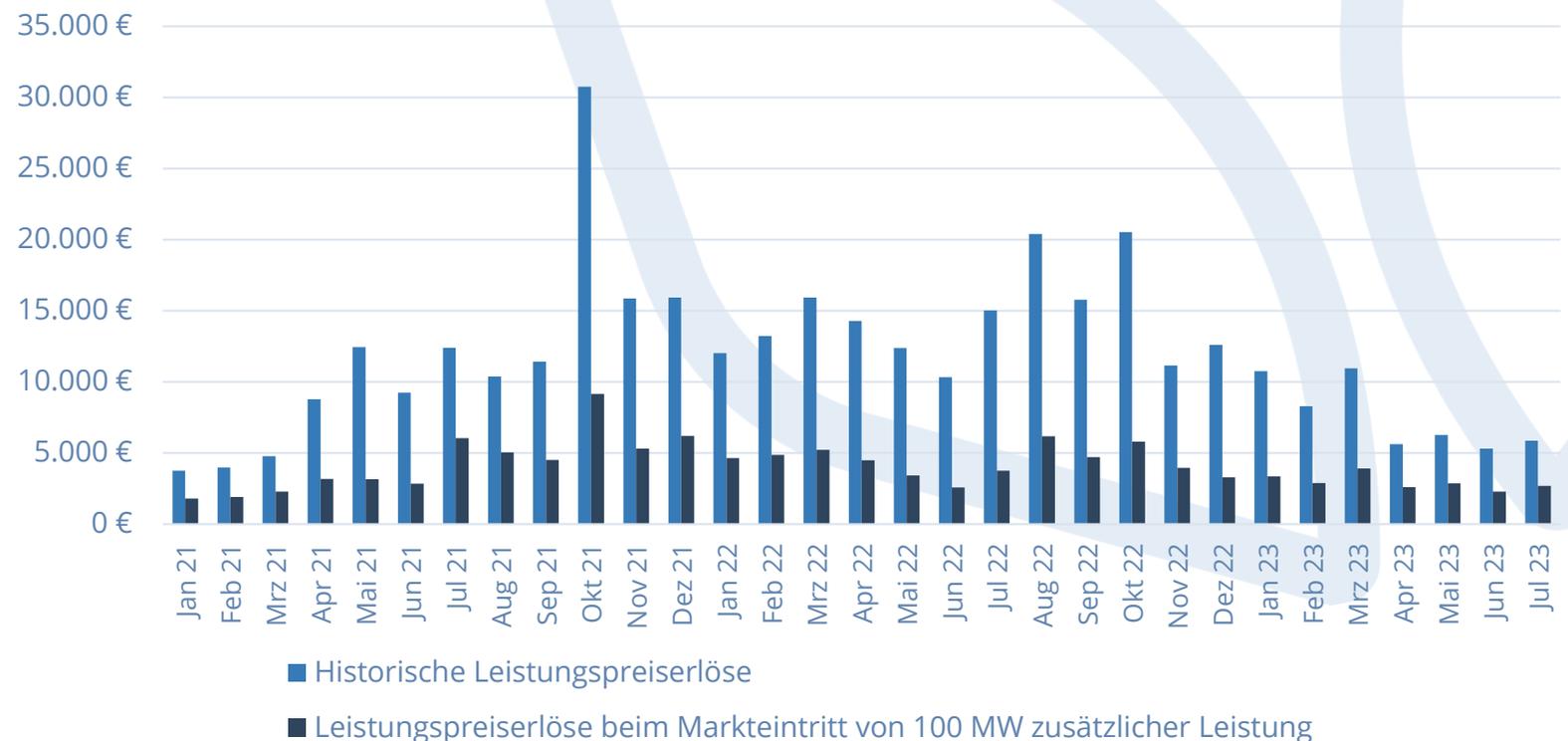
Annahme:

- Vermarktung von zusätzlichen 100 MW in der Primärregelleistung
- Betrachtung der historischen Angebotslisten (Merit-Order) und Verdrängung der teuersten Gebote



Zukünftig wird dieser Einnahmekanal unter Druck geraten

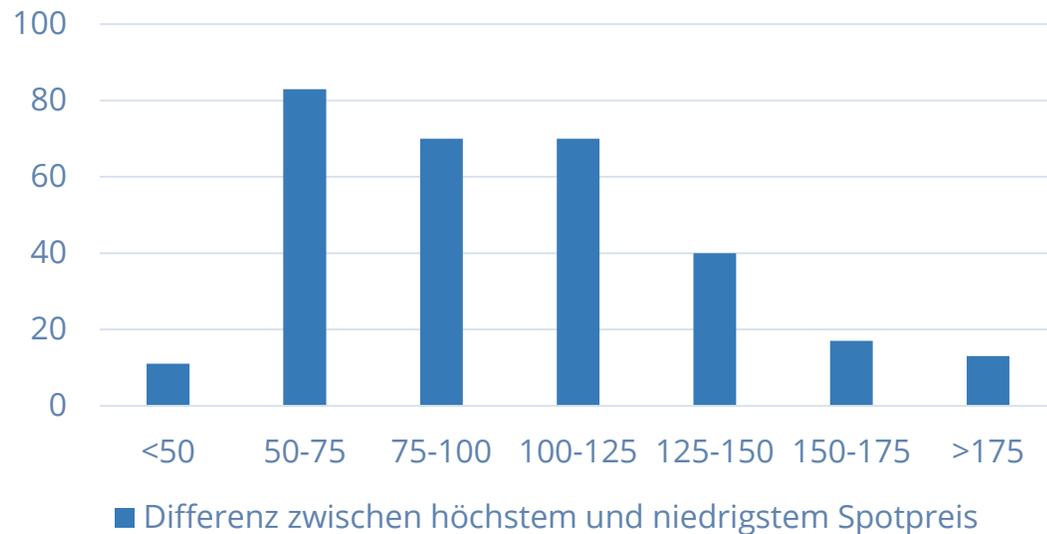
Erlöse am Primärregelleistungsmarkt pro vermarktetem MW



# Potenziale an den Strombörsen

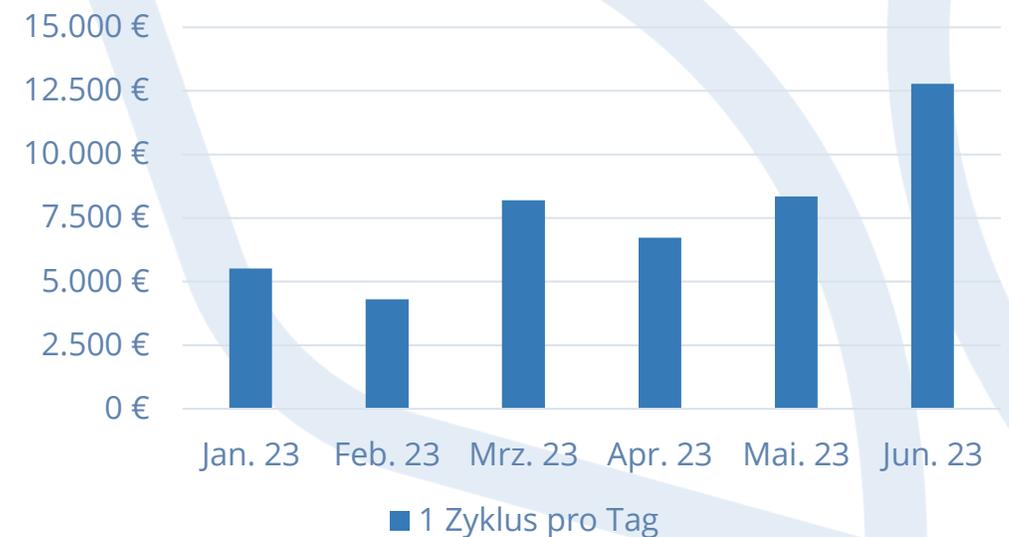
Neben dem Regelleistungsmarkt lässt sich die tägliche Spreizung der Strompreise am Großhandel nutzen.

## Häufigkeitsverteilung der maximalen untertägigen Spotpreisdifferenzen 2023



Eine untertägige Preisdifferenz von durchschnittlich 103 €/MWh bringt für eine Batterie (1 MW und 1 MWh) mit einem Zyklus pro Tag einen Ertrag von 37.595 € pro Jahr.

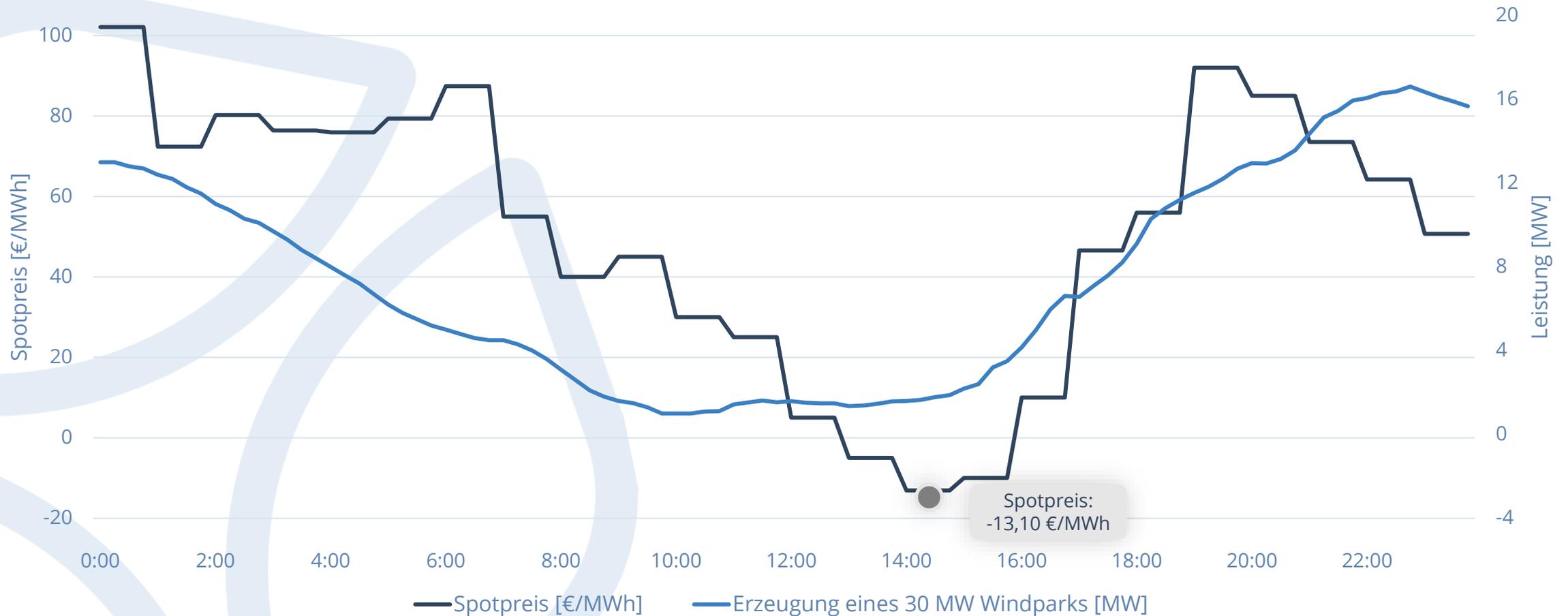
## Erlöse bei einer Optimierung im Intraday



Eine Optimierung auf Basis von viertelstündlichen Intradaypreisen würde für eine Batterie (1 MW und 1 MWh) pro Jahr voraussichtlich 90.000 € erwirtschaften.

# Direktes Laden aus einem Windpark

Neben freistehenden Speichern gibt es Lösungen für einen exklusiv integrierten Betrieb aus Windpark und Speicher. Der speicherbare Strom ist hierbei von der Winderzeugung abhängig.



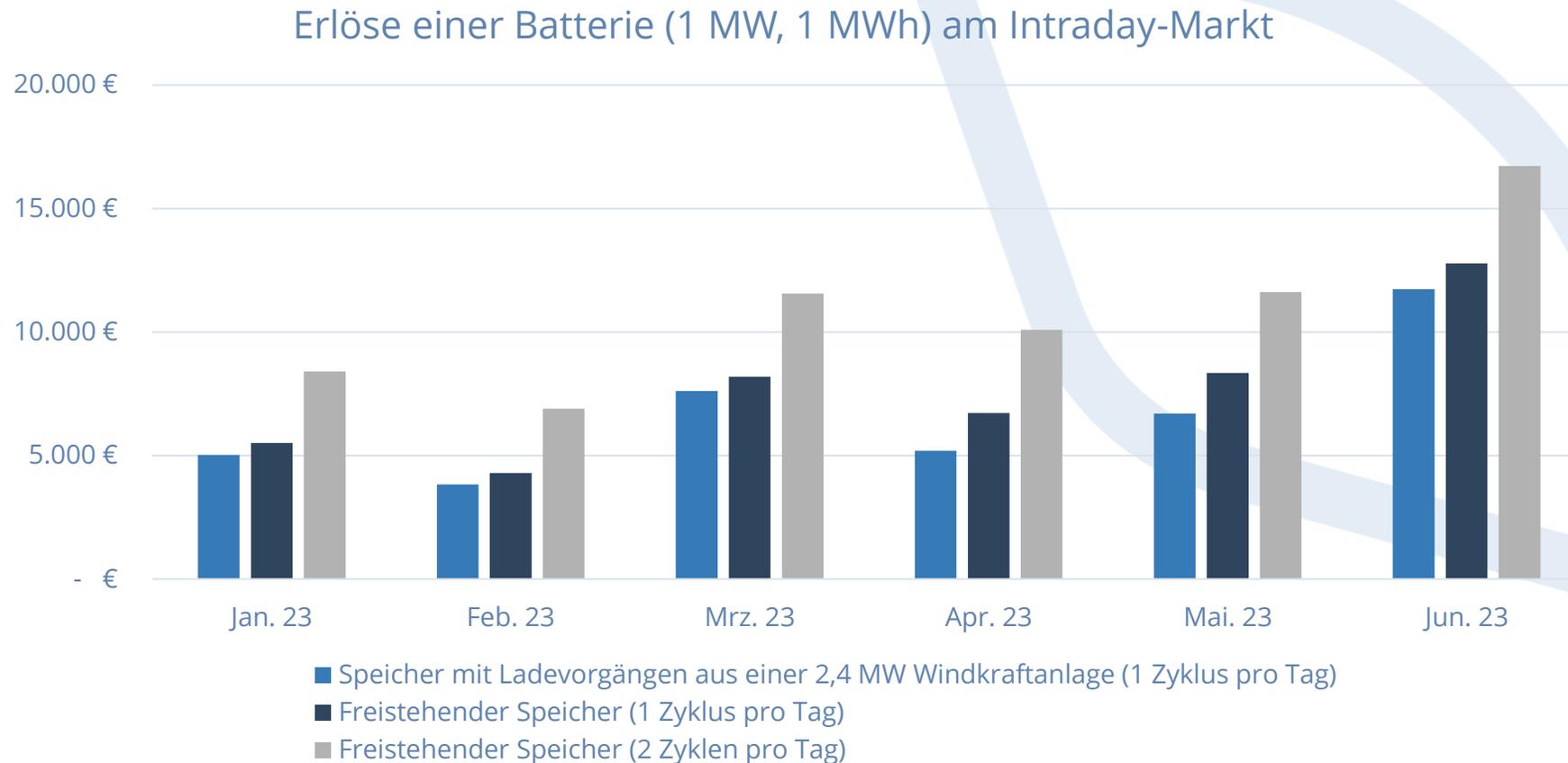
# Direktes Laden aus einem Windpark

Die maximale Ladeleistung der Batterie kann durch eine geringe Windeinspeisung limitiert sein, sodass das Potenzial einer großen Preisdifferenz nicht zu 100 % ausgeschöpft werden kann.



# Vergleich der Erlöspotenziale

Ein Kombibetrieb aus Windpark und Speicher erzielt in der Simulation etwas niedrigere Erlöse als eine Stand-alone-Lösung. In den windstarken Wintermonaten ist kaum ein Unterschied feststellbar.



# Kombibetrieb: Windpark und Speicher

Ein Kombibetrieb aus Windpark und Speicher hat Vor- und Nachteile. Bei einem Kombibetrieb ist die Dimensionierung des Speichers von entscheidender Bedeutung.

- ▼ Windflauten können das Ertragspotenzial reduzieren. Allerdings treten Preisspitzen oft in mehreren Stunden gebündelt auf, sodass der Opportunitätsverlust moderat ist
- ▼ Ein Betrieb in der Regelleistung ist nicht möglich, da kein Strom aus dem Netz bezogen werden darf
- ▲ Netzbetreiber erheben einen Baukostenzuschuss für den Netzanschluss von Netznutzern, die Leistung aus dem Netz entnehmen wollen. Der Baukostenzuschuss macht einen signifikanten Anteil der Investitionskosten aus und würde bei einem Kombibetrieb wegfallen
- ▲ Es besteht die Möglichkeit an Innovationsausschreibungen teilzunehmen

# Die optimale Wertschöpfungskette

Durch Erlösprognosen an den Regelenergiemärkten können preisabhängige Gebote abgegeben werden.

**Bis 08:00 Uhr, 09:00 Uhr und 10:00 Uhr am Vortag**

Regelenergiemärkte

**Optimierung des Regelenergieeinsatzes auf Basis von Preis- und Erzeugungsprognosen**

4-Stunden-Blockprodukte

Partizipation am:



Primärregelleistungsmarkt



Sekundärregelleistungsmarkt



(Minutenreservemarkt)

# Die optimale Wertschöpfungskette

Mithilfe von Spotpreis- und Erzeugungsprognosen lässt sich ein erster optimierter Fahrplan des Batteriespeichers bestimmen

**Bis 12:00 Uhr am Vortag**



Day-Ahead Auktion

**Day-Ahead Optimierung auf Basis von Preis- und Erzeugungsprognosen**

Stundenprodukte



Abgabe von preisabhängigen Geboten auf Basis von stündlichen Spotpreiserwartungen



Durch Ladevorgänge in den günstigen und Entladevorgänge in den teuren Stunden entsteht ein erster Batteriefahrplan

# Die optimale Wertschöpfungskette

Die Viertelstundenauktion bietet durch größere Preisdifferenzen enormes Optimierungspotenzial

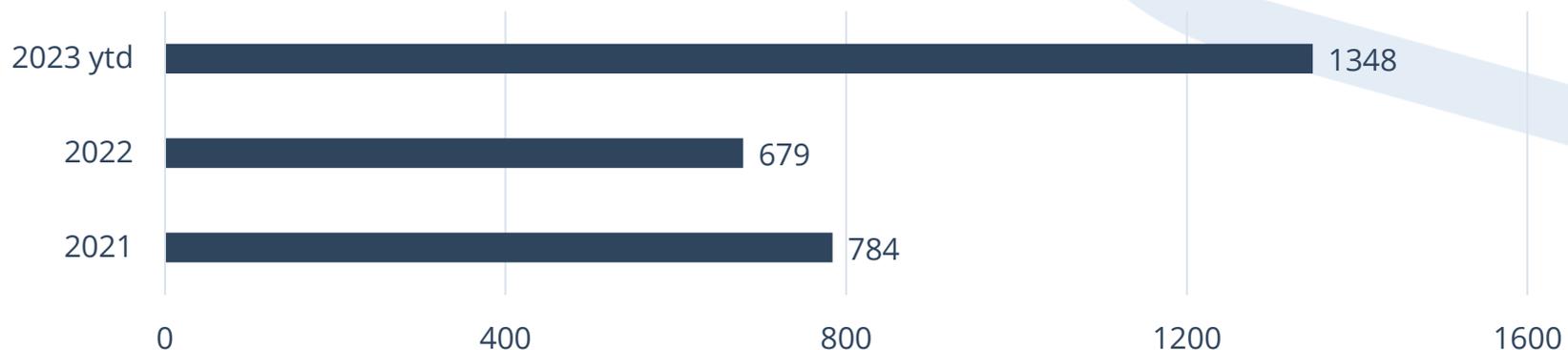
**Bis 15:00 Uhr am Vortag**

**Intraday Auktion (Viertelstundenauktion)**

**Viertelstündliche Optimierung auf Basis von viertelstündlichen Preis- und Erzeugungsprognosen sowie der bereits bekannten Spotpreise**

Viertelstundenprodukte

Anzahl negativer Viertelstundenpreise



# Die optimale Wertschöpfungskette

Ein vollautomatisierter Handel nutzt die Volatilität am Intraday Markt zu jeder Tageszeit aus und passt den Fahrplan eines Batteriespeichers somit ständig neu an.

**Ab 15:00 Uhr des Vortags**



**Kontinuierliche Optimierung im Intraday-Handel auf Basis von Live-Preisen**

Stundenprodukte // Viertelstundenprodukte

Viertelstündl. Spotpreise [€/MWh]



Viertelstündl. Intradaypreise [€/MWh]



# Beispielrechnung

Eine Investition in Batteriespeicher kann wirtschaftlich sinnvoll sein, sofern alle Flexibilitätspotenziale eines Speichers genutzt werden können.

- Grundsätzlich sind diverse Batteriekompositionen unter verschiedenen Grundannahmen wirtschaftlich
- In unserem Vergleich ist eine **2-Stunden-Batterie** unter der Annahme, dass die Volatilität am Intraday-Markt genutzt wird, zu bevorzugen
- Unsere 2-Stunden-Batterie amortisiert sich nach Berücksichtigung des kalkulatorischen Zinssatzes nach **7,6 Jahren**
- Die Einhaltung technischer Rahmen- und Garantiebedingungen hat einen großen Einfluss auf das Erlöspotenzial

	1-Stunden-Batterie	2-Stunden-Batterie	1-Stunden-Batterie mit 60 MW WP
<b>Stammdaten</b>			
Kapazität	25 MWh	50 MWh	25 MWh
Leistung	25 MW	25 MW	25 MW
1h-/2h-Batterie	1h-Batterie	2h-Batterie	1h-Batterie
<b>Vermarktungsstrategie</b>			
Volladezyklen pro Tag	1	2	1
Märkte	Primärregelleistung, Day-Ahead, Intraday	Primärregelleistung, Day-Ahead, Intraday	Day-Ahead, Intraday
<b>Annahmen</b>			
Betriebskosten	15.000 €/MWh/a	20.000 €/MWh/a	15.000 €/MWh/a
Investitionskosten	550.000 €/MW*	800.000 €/MW*	454.000 €/MW*
Degradation	2,08 %/a	4,01 %/a	2,12 %/a
Amortisation nach Zinsen	10,8 Jahre	7,6 Jahre	13,9 Jahre
Abzinsung	7 %	7 %	7 %
<b>Interner Zinsfuß</b>	<b>10,53 %</b>	<b>14,20 %</b>	<b>9,11 %</b>

\*ohne Berücksichtigung von Kosten für ein Umspannwerk

# Ausblick

Marktbeobachtungen und Branchenentwicklungen zeigen, dass Speichersysteme ein Flexibilitätspotenzial besitzen, das über das hinausgeht, was derzeit auf den Märkten genutzt wird.

- Der Zubau an Batteriespeichern hängt dem EE-Zubau weiterhin stark hinterher
- Ein **Mischbetrieb aus netzdienlichem und marktorientiertem Betrieb** zeigt sich wirtschaftlich
- Die derzeitigen Leistungspreiserlöse am **Sekundärregelleistungsmarkt** sind hoch, wovon primär Batterien mit einem großen Verhältnis aus Kapazität zu Leistung profitieren. Sehen wir zukünftig 3-Stunden-Batterien?

**Strompreis** ■

**Preisvolatilität** ▲

**Flexibilitätsbedarf** ▲

**Regulatorische Hürden** ▼

- Ein ausgewogenes Verhältnis aus Leistung und Kapazität schafft einen **stabilen Cashflow**, da je nach Marktentwicklung zwischen dem Regelernergie- und Spotmarkt gewechselt werden kann

# Zusammenfassung

Die ehrgeizigen Ausbauziele der EU für Erneuerbare Energien öffnen die Tür für den Markteintritt von Batteriespeichern auf diversen Märkten.

- ☒ Während Speicher in der Vergangenheit primär in der Primärregelleistung betrieben wurden, ergeben sich derzeit **neue attraktive**, aber auch **hochkomplexe Möglichkeiten**
- ☒ Insbesondere hat die **Optimierung auf den Großhandelsmärkten** zunehmend an Bedeutung gewonnen
- ☒ Eine **Diversifizierung** der Einnahmen sichert langfristig stabile Erlöse

*QUADRA energy* unterstützt in der Bewirtschaftung mit:

- ☒ KI-gestützten Prognosen und Optimierungen
- ☒ Einem Konzept entlang der gesamten Wertschöpfungskette
- ☒ Automatisierter Ausführung von Handelsgeschäften in Echtzeit
- ☒ Diversen Vertragskonstrukten von fixen Preisabsicherungen bis hin zur Gewinnbeteiligung in der Intraday-Optimierung

# Kontakt

Ich freue mich auf Ihre Fragen!

QUADRA Energy GmbH  
Klaus-Bungert-Straße 5b  
40468 Düsseldorf

**Kenneth Laga**  
Portfoliomanager  
T +49 211-960690-33  
E [kenneth.laga@quadra-energy.com](mailto:kenneth.laga@quadra-energy.com)

