

Wie die aktuellen Marktdesignänderungen der EPEX SPOT die Erlöspotenziale von Batteriespeichern beeinflussen

Nora Amer Mahgoub¹, Kirstin Ganz, Louisa Wasmeier, Timo Kern

FfE, Am Blütenanger 71, 80995 München, +49 89 15812182, namer@ffe.de, www.ffe.de

Kurzfassung:

Preisvolatilitäten auf den Spotmärkten eröffnen vielversprechende Geschäftsmodelle für Batteriespeicher. Gleichzeitig erfahren die Spotmärkte mit der Einführung von zwei weiteren Intraday-Auktionen im Juni 2024 und der geplanten Umstellung des DA-Marktes von Stunden- auf Viertelstundenprodukte wesentliche Änderungen im Marktdesign. Inwieweit dies Einfluss auf die Erlöspotenziale von Batteriespeichern hat, ist Gegenstand dieser Arbeit und wird auf Basis einer Analyse relevanter Marktzusammenhänge, einer Untersuchung der identifizierten Marktparameter im Zusammenhang mit der Ausweitung der Intraday-Auktionen sowie einer Berechnung von Erlöspotenzialen inklusive modellierter DA-Viertelstundenpreise bewertet. Insgesamt implizieren die Marktdesignänderungen ökonomische Vorteile hinsichtlich DA-Erlösen, sowie zusätzliche Märkte für die Einzelvermarktung und Arbitrage. Gleichzeitig führt das Verschwinden des Sägezahnmodells durch den Wegfall von Granularitätsunterschieden zu geringerem Erlöspotenzial der Intraday-Auktionen. Die tatsächlichen Auswirkungen von Änderungen des Marktdesigns sind daher stark von der Vermarktungsstrategie abhängig und können teilweise durch die Möglichkeit der kombinierten Vermarktung kompensiert werden. Weiterer Forschungsbedarf besteht, welcher Anteil der Preisvolatilität der Intraday-Auktionen auf den Ausgleich von Granularitätsunterschieden zurückzuführen ist und mit welchem Volatilitätsanstieg im DA-Markt zu rechnen ist.

Keywords: Batteriespeicher, Spotmärkte, EPEX, Erlöspotenziale, Marktdesignänderungen, Day-Ahead-Handel, Intraday-Handel

1 Motivation

Das europäische Stromsystem wandelt sich durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und den fortlaufenden Harmonisierungsprozess grundlegend. Analysen von Daten der ENTSO-E zeigen, dass Preisvolatilitäten in den letzten Jahren aufgrund des steigenden Anteils erneuerbarer Energien, die wetterabhängig und weniger planbar sind, deutlich zugenommen haben. Steigende Preisvolatilitäten und der damit einhergehende steigende Flexibilitätsbedarf eröffnen vielversprechende Geschäftsmodelle für netzgekoppelte Batteriespeicher (BESS), deren Hochlauf in Deutschland von 1.5 GW (2024) auf 178 GW (2045) installierte Leistung prognostiziert wird [1, 2]. BESS profitieren von der wachsenden Preisvolatilität, da sie sowohl Strom speichern als auch flexibel ins Netz einspeisen können. Durch diese Fähigkeit können BESS in Niedrigpreiszeiten Strom günstig einkaufen und diesen in Hochpreiszeiten wieder teurer verkaufen oder zwischen den Märkten Arbitrage betreiben.

¹ Jungautor

1.1 Änderungen an den Spotmärkten

Die europäischen Strommärkte wandeln sich ebenfalls, entsprechend der erhöhten Bedarfe nach kurzfristigeren und höher aufgelösten Produkten. Bereits am 13. Juni 2024 wurde die Intraday-Auktion der EPEX SPOT zur Bepreisung der Innertageskapazität europaweit erweitert. Statt teils bestehenden landesspezifischen Intraday-Auktionen gibt es seit Juni 2024 als Teil des Single Intraday Couplings (SIDC) drei einheitliche europaweite Auktionen [3]. In Deutschland wird seitdem die ursprüngliche Intraday-Auktion (IDA1) um 15:00 Uhr des Vortages nun durch eine weitere Auktion (IDA2) um 22:00 Uhr des Vortages, sowie eine Mittagsauktion (IDA3) um 10:00 Uhr des Liefertages komplementiert (siehe Abbildung 1). Letztere bezieht sich dabei lediglich auf die zweite Tageshälfte des Liefertages [4].

Ziel der Einführung zusätzlicher Auktionszeitpunkte ist es laut EPEX SPOT, die Berechnung und Vergabe grenzüberschreitender Kapazitäten auf dem Intraday-Markt zu harmonisieren und die Preise für grenzüberschreitende Intraday-Kapazitäten so zu bestimmen, dass sie die aktuelle Knappheit widerspiegeln und somit ein präzises Preissignal an den Markt senden. Zudem sollen die neuen Auktionen die Gesamteffizienz des Intraday-Handels erhöhen. [3]



Abbildung 1: Zeitstrahl der Auktionen der EPEX SPOT in Deutschland [4]

Im Juni 2025 steht mit der Umstellung der Day-Ahead (DA) Auktion von Stunden- auf Viertelstundenprodukte eine weitere bedeutende Marktdesign-Veränderung an. Die Umstellung ist eine Reaktion auf Anforderungen der Electricity-Balancing Verordnung EU 2017/2195 und der EU-Elektrizitätsverordnung EU 2019/943, die einheitliche Bilanzkreisabrechnungszeitintervalle von 15 Minuten verlangen und sicherstellen, dass alle Grenzen von Marktzeiteinheiten mit diesen Intervallen übereinstimmen [5, 6].

Die gekoppelte DA-Auktion um 12:00 Uhr für die Lieferung am nächsten Tag wird daher in allen SADC-gekoppelten Gebotszonen und deren Grenzen von 60-Minuten-Produkten auf 15-Minuten-Produkte umgestellt. Eine Ausnahme bildet Irland, das eine Granularität von 30 Minuten und damit dieselbe Granularität wie Großbritannien beibehält. Von einer 15-minütigen Zeitauflösung wird erwartet, die Integration erneuerbarer Energien zu verbessern, da deren Erzeugung innerhalb einer Stunde teilweise stark schwanken kann. Dadurch soll laut EPEX SPOT das Netz flexibler auf kurzfristige Änderungen reagieren können und die Stabilität erhöht werden. Zudem ermöglicht die feinere Auflösung eine präzisere Prognose des Verbrauchsverhaltens, was zu einer effizienteren Steuerung von Angebot und Nachfrage beitragen soll. [7]

1.2 Bedeutung der Spotmärkte für Batteriespeichererlöse

In Abhängigkeit von der Vermarktungsstrategie können BESS auf einzelnen Strommärkten eingesetzt werden, deutlich häufiger werden sie allerdings kombiniert über verschiedene Märkte hinweg optimiert. Die marktübergreifende Erlösgenerierung wird häufig auch als Cross-Market-Optimierung oder Value-Stacking bezeichnet. Geeignete Märkte für BESS ergeben sich primär im Energiehandel und in der Bereitstellung von Systemdienstleistungen. Stand 2024 bezog sich zweiteres hauptsächlich auf die Vorhaltung und Bereitstellung von Regelleistung [8]. Während sich die Bereitstellung von Regelleistung hauptsächlich auf Primär- und Sekundärregelleistung beschränkte, wurden 2024 erstmals BESS auch für die Bereitstellung von Minutenreserve präqualifiziert [9].

Nach Angaben verschiedener Vermarkter spielen im Jahr 2024 bei marktübergreifender Optimierung die Spotmarktanteile an den Gesamterlöspotenzialen eine entscheidende Rolle. In der Zusammensetzung von Erlösen hängen Spotmarktanteile allerdings stark von der gewählten Vermarktungsstrategie ab. Auch die Attraktivität der Regelleistungsmärkte spielt hierbei eine Rolle. Laut Angaben verschiedener BESS-Vermarkter lag im Jahr 2024 der Spotmarktanteil bei der marktübergreifenden BESS-Vermarktung zwischen etwa 36 und 60 % [10, 11, 12, 13]. Zukünftig wird allerdings eine Sättigung der Regelleistungsmärkte und damit eine Zunahme der Relevanz von Spotmärkten in BESS-Erträgen erwartet [12,14].

Hinsichtlich der Spotmärkte eignen sich für die BESS-Vermarktung der DA-Markt, die Intraday-Auktionen (IDA1, seit Juni 2024 auch IDA2 und IDA3), sowie der kontinuierliche Intraday Handel. Während in der Einzelvermarktung in der Regel die IDA1-Auktion im Vergleich zur DA-Auktion mit höheren Erlöspotenzialen in Verbindung gebracht wird, ist bei einer marktübergreifenden BESS-Optimierung nach Angaben verschiedener Vermarkter keine klare Erlöshierarchie der Spotmarktanteile erkennbar [15,16]. Auch bezüglich der Erlösanteile auf den Spotmärkten untereinander ist die gewählte Vermarktungsstrategie daher entscheidend. Die Relevanz einzelner Spotmärkte in den Gesamterlösen von BESS kann dementsprechend stark variieren.

1.3 Aufbau der Arbeit

Mit den zum Teil bereits vollzogenen und zum Teil bevorstehenden Änderungen des Marktdesigns stellt sich die Frage, welche Auswirkungen diese Änderungen auf die Erlöspotenziale von BESS haben können. Wie sich die Erweiterung der Intraday-Auktionen auf die Preisentwicklung ausgewirkt hat und welche Auswirkungen die Veränderungen des DA-Marktes auf die Wirtschaftlichkeit von BESS erwarten lassen, wird in dieser Arbeit untersucht.

Die in dieser Arbeit relevante methodische Vorgehensweise zur Beantwortung der Forschungsfrage gliedert sich im Wesentlichen in drei Teilschritte. Abbildung 2 veranschaulicht diese Methodik und deren konsekutiven Ablauf.

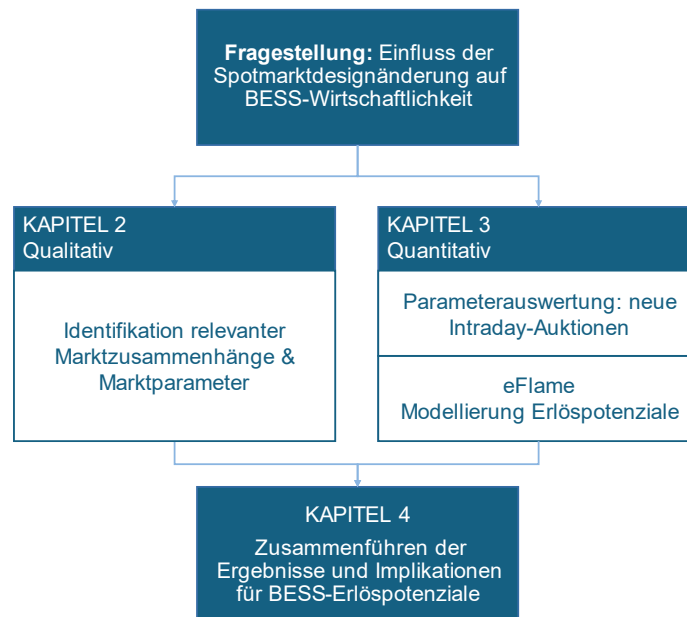


Abbildung 2: Methodik zur Bewertung des Einflusses von Marktdesignänderungen auf die Wirtschaftlichkeit von BESS

Als erster Schritt werden in einer qualitativen Analyse in Kapitel 2 relevante Faktoren und Marktzusammenhänge hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von BESS identifiziert. Dies betrifft Markteigenschaften, die BESS zur Erlösgenerierung an den Spotmärkten nutzen, sowie Ursachen und Zusammenhänge der zugrundeliegenden Marktcharakteristika. Basierend darauf werden für die Wirtschaftlichkeit von BESS relevante Marktparameter abgeleitet.

Zu quantitativen Untermauerung der Annahmen erfolgt in Kapitel 3 eine Analyse relevanter Marktparameter im Zusammenhang mit der bereits im Juni 2024 vollzogenen Erweiterung der Intraday-Auktionen für den Beobachtungszeitraum 14.06.2024 bis 31.01.2025. Als Marktparameter werden das Marktvolumen, das mittlere Preisniveau, die Preisvolatilität, sowie der Preisdifferenzen zwischen den Märkten evaluiert. Die Ergebnisse werden dargestellt in Kapitel 3.1.

Darüber hinaus wird in Kapitel 3 eine Analyse des Erlöspotenzials eines BESS mit Hilfe des Vermarktungsmodells eFlame auf der Basis von historischen Preisdaten durchgeführt. Hierbei wird zuerst die Einzelvermarktung auf den Auktionsmärkten DA, IDA1, IDA2 und IDA3 für das Referenzjahr 2024 betrachtet. Zur Bewertung möglicher Auswirkungen der geplanten Umstellung der DA-Produkte von Stunden auf Viertelstundenprodukte im Juni 2025 werden zusätzlich Viertelstundenpreise aus historischen Stundenpreisen vereinfacht modelliert und deren Erlöspotenziale berechnet. Außerdem werden Erlöspotenziale zwei kombinierter Vermarktungen modelliert, die sich durch eine zusätzliche Vermarktung in der IDA2 Auktion voneinander unterscheiden.

Die Arbeit schließt mit Kapitel 4, in dem die Ergebnisse der qualitativen Analyse relevanter Marktzusammenhänge in Kapitel 2 und der quantitativen Analyse in Kapitel 3 zusammengeführt werden und Implikationen für die Wirtschaftlichkeit von BESS abgeleitet werden.

2 Relevante Marktzusammenhänge in der Erlösgenerierung von BESS

In der Regel erfolgt die Vermarktung auf den Spotmärkten sequenziell und folgt der zeitlichen Reihenfolge des Handelsschluss und damit der Gate Closure Times (GCT) der gewählten Märkte. Entsprechend dieser zeitlichen Reihenfolge müssen Positionierungsentscheidungen zuerst auf dem DA-Markt und anschließend nacheinander auf den Intraday Auktionsmärkten getroffen werden. Bei der Teilnahme an zeitlich nachgelagerten Märkten müssen Positionierungsentscheidungen in den vorgelagerten Märkten berücksichtigt werden, da dadurch Lieferverpflichtungen bestehen und gleichzeitig Restriktionen durch Zyklenbeschränkungen berücksichtigt werden müssen.

Zur Erlösgenerierung nutzen BESS verschiedene Marktcharakteristika und -unterschiede aus. Diese sind im Wesentlichen:

- Innertägige Schwankungen der Strompreise zwischen verschiedenen Zeitintervallen
- Preisunterschiede desselben Zeitintervalls auf verschiedenen Märkten
- Preisschwankungen desselben Zeitintervalls auf dem kontinuierlichen Intraday-Handel

2.1 Innertägige Schwankungen der Strompreise

Zum einen profitieren BESS von den innertägigen zeitlichen Schwankungen der Strompreise. Das Preisniveau im Tagesverlauf hängt in der Regel von der zugrunde liegenden Merit-Order und der Residuallast ab. Die Residuallast entspricht der Stromnachfrage abzüglich der variablen Solar- und Winderzeugung [17]. Entscheidend ist bei der innertägigen Preisentwicklung der Anteil volatiler und steuerbarer Erzeugung im System, die Verfügbarkeit erneuerbarer Ressourcen wie Wind und Sonne, und die Veränderung des Verbrauchsverhaltens über den Tag. Auch die Verfügbarkeit von Flexibilitätsoptionen hat einen Einfluss. Ein typischer Tagesverlauf im Sommer ist somit beispielsweise ein sehr niedriger Preis um die Mittagszeit, wenn die PV-Produktion besonders hoch und die Nachfrage besonders gering ist, und die höchsten Preise des Tages in den Morgen- und Abendstunden, wenn die Nachfrage besonders hoch ist und die Solarerzeugung zurückgeht.

Extreme Preisausschläge, oder auch Preisspitzen, entstehen durch die geringe Preiselastizität von Angebot und Nachfrage in der Nähe der Kapazitätsgrenze. Nähert sich der Markt der Erzeugungskapazitätsgrenze an, muss die Nachfrage durch Preissteigerungen reduziert werden, um einen ungeplanten Lastabwurf zu vermeiden. Dadurch entsteht bis zu dem Zeitpunkt, an dem einzelne Verbraucher bereit sind, ihren Verbrauch zu reduzieren, ein Preis oberhalb der Grenzkosten des teuersten Kraftwerks, die sonst den Preis bestimmen. Die Preisspitzen sind somit Knappheitspreise und treten in Deutschland derzeit insbesondere in Stunden mit hoher Nachfrage und geringem Angebot aus erneuerbaren Energien auf. [18]

Grundlegende Preisschwankungen im Tagesverlauf sowie das Auftreten von Preisspitzen sind daher systemischer Natur und können von BESS zur Erlösgenerierung prinzipiell auf allen Spotmärkten genutzt werden. BESS können so bereits bei einer Einzelmarktoptimierung Erlöse erzielen, indem sie ihre Ladezeitpunkte auf günstige Zeiteinheiten legen und zu Zeiten mit höheren Strompreisen Strom verkaufen. Dementsprechend profitieren BESS von einer hohen innertägigen Preisvolatilität und hohen täglichen Preisspreads der Märkte.

2.2 Preisliche Differenzen zwischen Märkten

Zusätzlich zur innertägigen Optimierung von BESS können preisliche Differenzen der gleichen Zeiteinheiten zwischen verschiedenen Märkten zur Erlösgenerierung genutzt werden. Ob dies durch den Gegenhandel bereits gehandelter Zeitintervalle geschieht oder in Form von einer Optimierung mit marktübergreifender Preisbetrachtung und Kapazitätsvorhaltung umgesetzt wird, hängt von der jeweiligen Vermarktungsstrategie ab. In jedem Falle wird aber von einer hohen Differenz zwischen den Preisen gleicher Zeitintervalle verschiedener Märkte profitiert.

Abbildung 3 zeigt die Preiskurve der DA-Auktion und IDA1 Auktion an zwei Beispieltagen im Oktober 2024. Ursachen für die Unterschiede werden im Folgenden anhand allgemeiner Marktzusammenhänge und -abläufe erläutert.

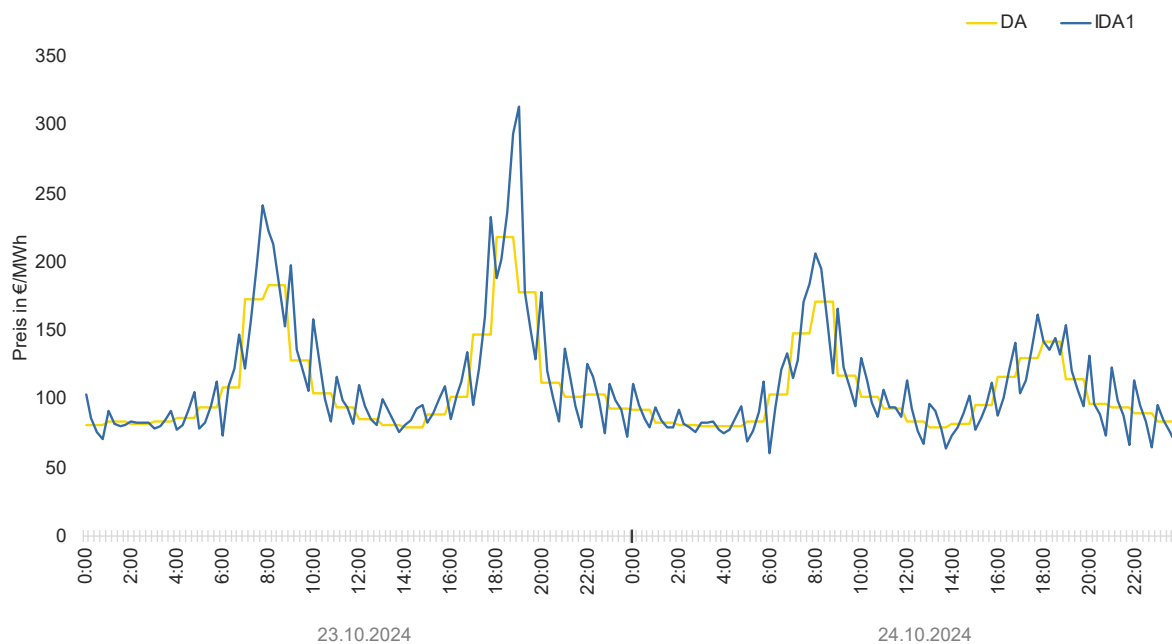


Abbildung 3: Day-Ahead (DA) und Intraday (IDA1)-Auktionspreise an den Beispieltagen 23.10.2024 und 24.10.2024 basierend auf Daten der EPEX SPOT [19]

Am Vortag der physischen Lieferung werden Stromnachfrage und Stromangebot, die noch nicht außerbörslich gehandelt wurden, über die DA-Auktion zusammengeführt. Der Handel auf den Spotmärkten wird durch zwei konträre Faktoren bestimmt. Während Geschäfte zur Risikominimierung und Preisabsicherung in der Regel so früh wie möglich abgeschlossen werden, verbessern sich die Informationen über das erwartete Angebot und die erwartete Nachfrage mit zunehmender Nähe zur physikalischen Lieferung. Auf den nachgelagerten Intraday-Märkten werden daher insbesondere Prognosefehler in der Erzeugung oder im Verbrauch gegenüber den zeitlich vorgelagerten Märkten ausgeglichen. Ebenso werden ungeplante Veränderungen kompensiert, was bei steigender Einspeisung erneuerbarer Energien zunehmend relevant wird. Aus diesem Mechanismus ergeben sich preisliche Unterschiede im Vergleich zum DA-Preis. [18]

Zwischen den DA-Preisen und der darauffolgenden IDA1-Auktion ergeben sich des Weiteren Preisdifferenzen aufgrund der abweichenden Produktgranularitäten der Märkte. Während auf dem DA-Markt aktuell noch Produkte mit einer minimalen zeitlichen Granularität von einer Stunde gehandelt werden, können auf den Intraday-Märkten Viertelstundenprodukte

gehandelt werden. Dementsprechend werden auf dem Intraday-Markt auch Abweichungen des erwarteten Preisniveaus für jede Viertelstunde im Vergleich zum Stundenwert ausgeglichen. Durch die Granularitätsdifferenz der Märkte entsteht bei den Intraday-Auktionen das typische Sägezahnmuster.

Die Entstehung des Sägezahnmoders wird in Abbildung 4 verdeutlicht, die jeweils zwei Stunden mit steigender Residuallast (links) und zwei Stunden mit sinkender Residuallast (rechts) darstellt. Im Falle der steigenden Residuallast entsteht im Beispiel aus dem stündlichen DA-Handel eine Lastüberschätzung in den ersten beiden Viertelstunden jeder Stunde und eine Lastunterschätzung in den letzten beiden Viertelstunden jeder Stunde. Dadurch steigt die Nachfrage während jeder Stunde an und es resultiert ein Preisanstieg in der Intraday Auktion. Zwischen den Stunden bzw. zwischen der letzten Viertelstunde der vorherigen Stunde und der ersten Viertelstunde der folgenden Stunde kommt es zu einem Preissprung, da ein plötzlicher Wechsel von Lastüberschätzung zu Lastunterschätzung stattfindet. [18]

Bei sinkender Residuallast (rechts) entsteht analog ein umgekehrtes Sägezahnmuster, dass sich durch ein Absinken der Nachfrage und damit einen Preisabfall innerhalb der Stunde auszeichnet.

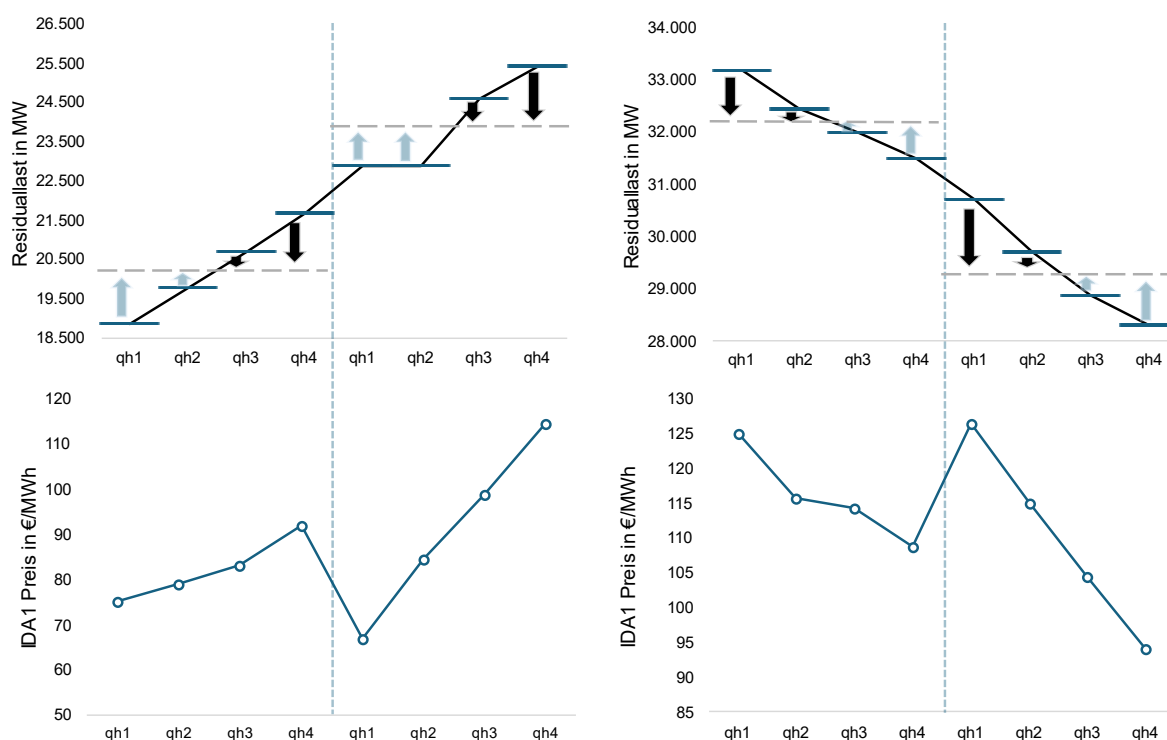


Abbildung 4: Sägezahnmuster der Intraday Auktion (IDA1) bei steigender (links) und sinkender Residuallast (rechts) nach [18], basierend auf Daten der ENTSO-E und der EPEX SPOT [19, 20]

Spezifische Preischarakteristika der Märkte ergeben sich des Weiteren aus deren Preissensitivität. Dabei spielt das Handelsvolumen des jeweiligen Marktes eine Rolle, da im Falle von geringeren Marktvolumen der Preis stärker auf Unterschiede in den Erzeugungskapazitäten oder der Nachfrage reagiert. Die DA-Auktion weist im Vergleich zu den übrigen Kurzfristmärkten die geringste Preissensitivität auf. Dies macht den DA-Markt für

BESS attraktiv für die Generierung zuverlässiger Erlöse. Im Vergleich dazu sind die Intraday-Auktionen deutlich volatiler und bieten daher einerseits größere Arbitragepotenziale an. Gleichzeitig sind Intraday-Preise jedoch auch deutlich weniger robust und anfälliger gegenüber neuen oder wegfallenden Kapazitäten. Dies erschwert die Prognose der jeweiligen Marktpreise und möglicher Preisspitzen. [17]

Diese systematischen Preisunterschiede sind auf die unterschiedliche Granularität der Produkte zurückzuführen und widersprechen daher nicht dem Grundsatz der Arbitragefreiheit zwischen den Märkten. Der Erwartungswert des Stundenmittels der Intraday-Auktionen entspricht dabei dem DA-Preis der jeweiligen Stunde. [21]

2.3 Preisliche Differenzen eines Zeitintervalls im kontinuierlichen Intraday-Handel

Im Rahmen der Vermarktung von BESS wird des Weiteren oft die Relevanz des kontinuierlichen Intraday-Marktes hervorgehoben. Dieser zeichnet sich durch einen kontinuierlichen Handel ab 15 Uhr des Vortages bis zu fünf Minuten vor Lieferzeit am Liefertag aus. Die Preise auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt können erheblich von denen der Auktionen abweichen, da Händler auf Ereignisse reagieren können, die in den Auktionen nicht vorhersehbar waren. Dies kann beispielsweise ungeplante Kraftwerksausfälle oder veränderte Witterungsbedingungen bei der Erzeugung von erneuerbaren Energien betreffen. [22]

Unterschiede zu den Auktionen bestehen in der Preisbildung. Der DA-Markt und die Intraday-Auktionen zeichnen sich durch feste GCTs aus und die Preisbildung erfolgt über einen einheitlichen Markträumungspreis, der sich aus der Schnittstelle zwischen Angebot und Nachfrage ergibt. Dabei definiert das letzte Angebot, das einen Zuschlag erhält und damit das Kraftwerk mit den teuersten Grenzkosten den für alle Marktteilnehmer einheitlichen Börsenpreis [18]. Im Gegensatz zu den Auktionen wird beim kontinuierlichen Intraday-Handel das „pay-as-bid“-Verfahren verwendet, bei dem statt Einheitspreisen für jeden Käufer und Verkäufer bei erfolgreichen Geboten jeweils die Gebotspreise gelten [22].

Das Gebotspreisverfahren führt im Vergleich zum markträumenden Preis zu einer zusätzlichen Preisvolatilität auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt durch das Zustandekommen multipler Preise je Zeitintervall. Bis zum Lieferzeitpunkt können Preise für ein Zeitfenster teilweise erheblich fluktuieren. Hierbei ist für Vermarkter besonders attraktiv, dass die gleichen Zeitintervalle vor deren Lieferzeit mehrfach zu verschiedenen Preisen gegengehandelt werden können [18]. Alle Aufträge werden anonymisiert in hochdynamischen Orderbüchern angezeigt und kürzlich sowie nicht ausgeführte Aufträge können eingesehen werden. Daraus lassen sich Handelsstrategien ableiten und das Marktverhalten anderer Teilnehmer abschätzen [22].

Preise des kontinuierlichen Intraday-Marktes sind zwar durch die Eröffnungsauktion IDA1 durch deren Preissignal beeinflusst und folgen daher im Durchschnitt dem Sägezahnmuster, die Entwicklung des Preises eines Zeitintervall bis zu dessen GCT hängt allerdings insbesondere von unvorhersehbaren Veränderungen in Erzeugungs- und Verbrauchsprognosen sowie Spekulation der Marktteilnehmer ab [18].

3 Auswirkungen der Marktdesignänderungen

3.1 Einführung der zusätzlichen Intraday-Auktionen IDA2 und IDA3

In Kapitel 2 wurden insbesondere

- die Preisvolatilität der Märkte
- die Preisdifferenz zwischen den Märkten und
- die Preissensitivität bzw. das Marktvolumen

als wichtige Marktparameter für die Wirtschaftlichkeit von BESS diskutiert. Mit der Implementierung der zusätzlichen Intraday-Auktionen ergeben sich seit Juni 2024 zwei weitere Auktionszeitpunkte, an denen BESS teilnehmen können. Im Folgenden werden sowohl die neuen Auktionen als auch die bestehenden Spotmärkte hinsichtlich dieser Marktparameter untersucht.

3.1.1 Marktvolumen

Zur Einschätzung der Preissensitivität wurden die täglichen durchschnittlichen Handelsvolumina im Zeitraum Januar 2023 bis Januar 2025 betrachtet. Handelsvolumina unterliegen auf allen Spotmärkten aufgrund saisonaler Faktoren, Schwankungen in Stromerzeugung und -verbrauch, sowie externer Effekte teils erheblichen Fluktuationen.

Insgesamt ist im Beobachtungszeitraum eine Volumenzunahme über alle Spotmärkte hinweg erkenntlich mit einer durchschnittlichen monatlichen Wachstumsrate des Gesamtspotmarktvolumens von ca. 2 %. Während im Januar 2023 das durchschnittliche tägliche Handelsvolumen aller Spotmärkte zusammen rund 724 GWh betrug, lag es im Januar 2025 mit rund 1.063 GWh um fast 47 % höher.

Mit der Implementierung der IDA2 und IDA3 Auktion im Juni 2024 zeigt sich auch eine Volumenzunahme der Intraday-Auktion. Abbildung 5 zeigt das täglich durchschnittliche Handelsvolumen der Intraday-Auktionen von Januar 2023 bis Januar 2025. Im Vergleich zum Vormonat Mai, in dem es noch nur eine Intraday-Auktion gegeben hatte, zeigt sich im Juni 2024 ein Volumenanstieg des täglichen durchschnittlichen Handelsvolumens der drei Intraday-Auktionen um ca. 18,7 %. Auch im Folgemonat Juli lässt sich ein weiterer Volumenanstieg von ca. 10,4 % erkennen. In den Folge Monaten schwankt das Handelsvolumen, sowie dies auch auf dem DA-Markt und im kontinuierlichen Intradayhandel auftritt.

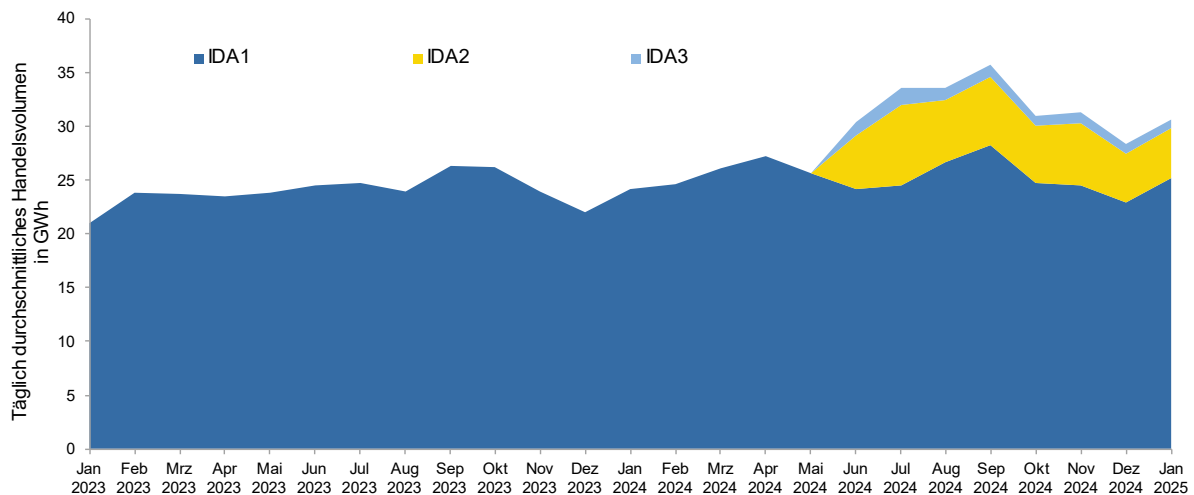


Abbildung 5: Täglich durchschnittliche Handelsvolumina der Intraday-Auktionen IDA1, IDA2 und IDA3 von Januar 2023 bis Januar 2025 basierend auf Daten der EPEX SPOT (monatlich gemittelt) [19]

Im Vergleich der Intraday-Auktionen untereinander weist IDA1 mit einem durchschnittlichen Volumen von ca. 25,1 GWh pro Tag das größte Marktvolumen auf. Währenddessen werden pro Tag ca. 5,6 GWh auf der IDA2 Auktion gehandelt. Die Intraday-Auktion IDA3 weist mit durchschnittlich 1,1 GWh pro Tag das geringste Marktvolumen auf, deren Zuteilungszeitraum beschränkt sich allerdings auch auf die zweite Tageshälfte des Liefertages.

In Abbildung 6 sind die durchschnittlichen täglichen Handelsvolumina der Intraday-Auktionen im Vergleich zum DA-Markt und zum kontinuierlichen Intraday-Handel dargestellt. Dabei wird der geringe Volumenanteil der Intraday-Auktionen am gesamten Spotmarktvolumen deutlich. So machen die Intraday-Auktionen zusammen nur ca. 3 % des Gesamtvolumens aus.

Vergleicht man die vier Auktionsmärkte, werden wie in Abschnitt 2.2 diskutiert, die bei Weitem höchsten Marktvolumina am DA-Markt gehandelt und das Handelsvolumen sinkt über die Intraday-Auktionen hinweg, je näher deren Handelsschluss am Lieferzeitpunkt liegt. Der kontinuierliche Intraday-Handel weist ebenfalls ein höheres Volumen als die Intraday-Auktion auf, dieser zeichnet sich allerdings auch durch einen durchgehenden Handel ab 15 Uhr des Vortages aus.

Wie in Abschnitt 2.2 erläutert, deutet ein geringes Marktvolumen auf eine verstärkte Preissensitivität hinsichtlich wegfallender oder zusätzlicher Kapazitäten hin. Dies impliziert eine noch höhere Preissensitivität der neuen IDA-Auktionen im Vergleich zur IDA1 Auktion, was einerseits hohe Erlösmöglichkeiten für BESS impliziert, sich andererseits aber negativ auf deren Preisprognostizierbarkeit auswirkt.

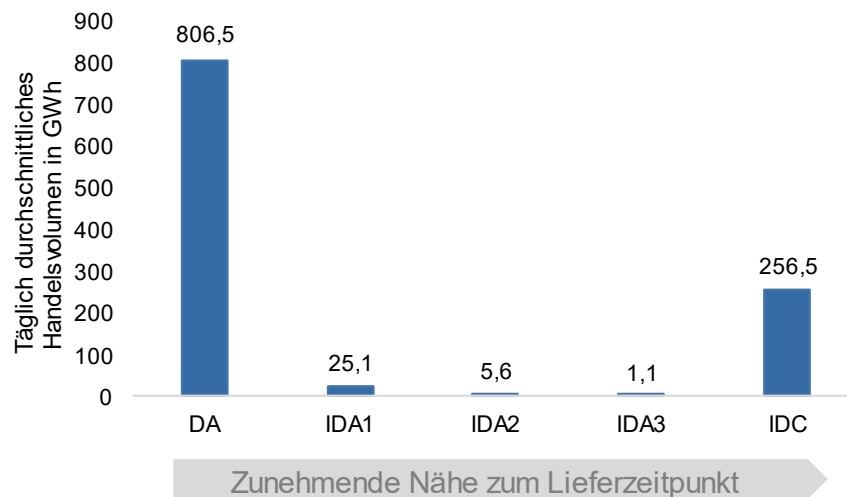


Abbildung 6: Täglich durchschnittliche Handelsvolumina der Spotmärkte vom 14.06.2024 bis zum 31.01.2025 [19]

3.1.2 Preisniveau und -volatilität

Abbildung 7 zeigt Intraday-Auktionspreise der Beispieltage 23.10.2024 und 24.10.2024. Die Abbildung veranschaulicht, dass der Preisverlauf der neuen Intraday-Auktionen IDA2 und IDA3 dem in Abschnitt 2.2 erläuterten Sägezahnmuster der IDA1-Auktion folgt.

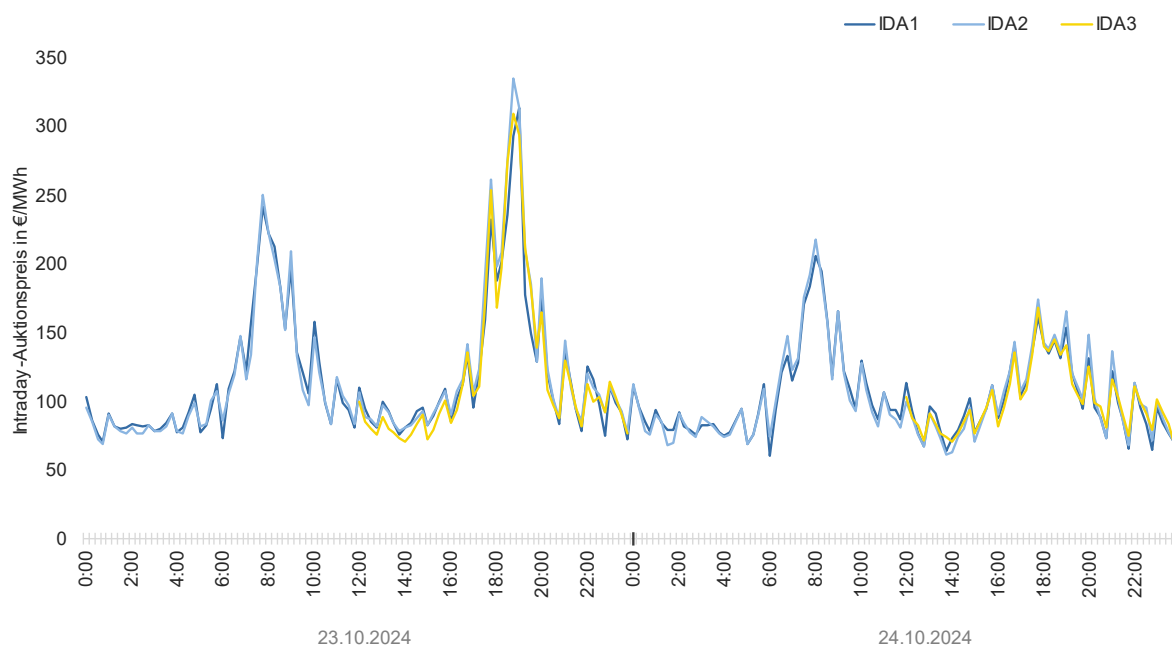


Abbildung 7: Intraday-Auktionspreise an den Beispieltagen 23.10.2024 und 24.10.2024 basierend auf Daten der EPEX SPOT [19]

Das höchste durchschnittliche Preisniveau der drei Intraday-Auktionen ist mit 99,1 €/MWh im Beobachtungszeitraum vom 14.06.2024 bis 31.01.2025 bei der IDA3-Auktion zu beobachten (Vgl. Abbildung 8). Die IDA3-Auktion bezieht sich im Vergleich zu den anderen Auktionen nur auf den Nachmittag des Liefertages. Dementsprechend ist deren Durchschnittspreis geprägt durch die Nachmittagscharakteristik und außerdem empfindlicher gegenüber Ausreisern. Das

Preisniveau von IDA2 liegt mit 93,1 €/MWh im Durchschnitt unter IDA1 und leicht unter dem DA-Niveau. Der Durchschnittspreis des kontinuierlichen Intraday-Handels bezieht sich auf den gewichteten Durchschnittspreis der Zeitintervalle. Die in Abbildung 8 dargestellten Preisunterschiede lassen aufgrund des kurzen Beobachtungszeitraum, insbesondere für die Nachmittagsauktion IDA3, aber auch aufgrund der kurzen Zeit seit Einführung der neuen Auktionen, nicht auf eine systematische Verschiebung zwischen den Märkten schließen.

Relevant für die Erlösgenerierung ist für BESS insbesondere die Preisvolatilität der Märkte. Abbildung 8 zeigt die täglich mittlere Standardabweichung der Spotmärkte im Beobachtungszeitraum. Mit einer Standardabweichung von 45,1 €/MWh weist IDA3 im Vergleich zu IDA1 und IDA2 die höchste Standardabweichung auf. Dabei spielt eine Rolle, dass die Preise einer typischen Tagescharakteristik folgen (vgl. Abschnitt 2.1), wobei die größte Preisfluktuation in der Regel in dem von IDA3 abgedeckten Zeitraum auftritt. Betrachtet man nur das Nachmittagsfenster der IDA1-Auktion, erhält man eine mittlere Standardabweichung von ca. 50,5 €/MWh und damit einen höheren Wert, als bei IDA3. Ein weiterer Grund könnte deren geringe Marktliquidität und Nähe zum Lieferzeitpunkt darstellen.

Trotz geringerer Marktliquidität und größerer Nähe zum Lieferzeitpunkt weist IDA2 eine geringere Preisvolatilität als IDA1 auf. Bei Betrachtung der Monatswerte fällt auf, dass insbesondere im Umstellungsmonat Juni eine hohe Volatilität des IDA1 Preises sichtbar wird, in dem der IDA1 Preis um den Umstellungszeitraum stark fluktuierte. Exkludiert man diese Daten bei der Berechnung, bleibt die Hierarchie zwar gleich, die Diskrepanz zwischen der Standardabweichung von IDA1 und IDA2 fällt mit 0,3 €/MWh aber deutlich geringer aus.

Hinsichtlich der Volatilität des kontinuierlichen Intraday-Marktes wurde zwecks Vollständigkeit ebenfalls der gewichtete Durchschnittspreis der Zeitintervalle herangezogen. Da aufgrund der Bildung von Gebotspreisen für ein Zeitintervall mehrere Preise zustande kommen (siehe Abschnitt 2.3), wird durch die Verwendung des gewichteten Durchschnittspreis die tatsächliche Standardabweichung des kontinuierlichen Handels allerdings systematisch unterschätzt.

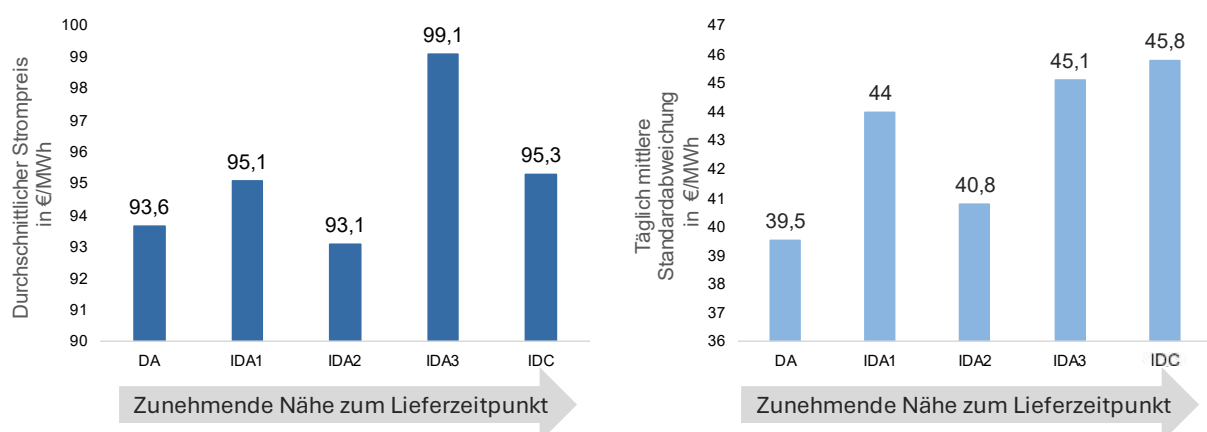


Abbildung 8: Durchschnittliche Preise und täglich mittlere Standardabweichung der Spotmärkte vom 14.06.2024 bis 31.01.2025² basierend auf Daten der EPEX SPOT [19]

²Fehlende Daten einzelner Märkte wurden zwecks Vergleichbarkeit bei allen Märkten herausgefiltert

3.1.3 Preisunterschiede

Wie bereits in Abschnitt 2.2 erläutert, können BESS bei einer marktübergreifenden Optimierung von den Preisunterschieden der Märkte für die gleichen Zeitintervalle profitieren. Die zusätzlichen Handelszeitpunkte durch die Einführung der IDA2- und IDA3-Auktion bieten dabei zusätzliche Möglichkeiten, Preisunterschiede zwischen den Märkten zu nutzen. Für den Beobachtungszeitraum wurde der durchschnittliche Betrag der Preisdifferenz pro Viertelstundenintervall betrachtet. Abbildung 9 zeigt die durchschnittlichen Beträge der Preisdifferenzen zwischen den Märkten und den zeitlichen Abstand der jeweiligen GCT. Dabei wurden sowohl die Preisdifferenzen der einzelnen Intraday-Auktionen zum DA-Markt als auch die Preisdifferenzen der Intraday-Auktionen untereinander betrachtet.

Im Vergleich der DA-Preise mit den Intraday-Auktionen zeigt sich eine zunehmende durchschnittliche absolute Preisdifferenz mit zunehmendem zeitlichem Abstand zur DA-Auktion und gleichzeitig zunehmender Nähe zum Lieferzeitpunkt. Ein ähnlicher Zusammenhang zwischen GCT-Differenz und durchschnittlicher Preisdifferenz lässt sich auch im Vergleich der Intraday-Auktionen untereinander erkennen. Es wird jedoch deutlich, dass die durchschnittlichen Preisdifferenzen zwischen dem DA-Markt und den Intraday-Auktionen die Preisdifferenzen der Intraday-Auktionen untereinander trotz teilweise geringerer GCT-Differenz deutlich übersteigen. Dabei könnte sowohl die Lage der GCTs im Tagesverlauf als auch die derzeit noch unterschiedliche Granularität des DA-Marktes und der Intraday-Auktionen eine Rolle spielen.

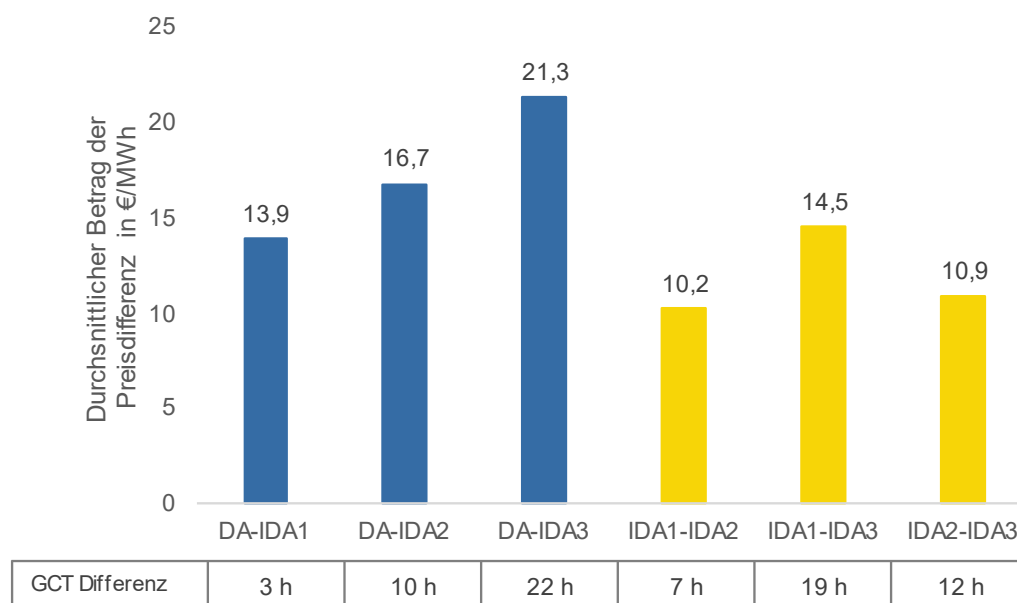


Abbildung 9: Durchschnittlich absolute Preisdifferenz zwischen den Spotmärkten vom 14.06.2024 bis zum 31.01.2025³ basierend auf Daten der EPEX SPOT [19]

³Fehlende Daten einzelner Märkte wurden zwecks Vergleichbarkeit bei allen Märkten herausgefiltert

3.2 Modellierung der Erlöspotenziale

Nachdem in Kapitel 3.1 relevante Marktparameter im Hinblick auf die neuen Intraday-Auktionen untersucht wurden, werden in Kapitel 3.2 Erlöspotenzialen der verschiedenen Märkte in Einzel- und kombinierter Vermarktung untersucht. Zu diesem Zweck werden zusätzlich zu den bestehenden Märkten DA-Viertelstundenpreise auf der Grundlage historischer DA-Stundenpreise modelliert.

3.2.1 Modellierung von DA-Viertelstundenpreisen aus historischen Stundenpreisen

Bei DA-Stundenprodukten ist im Vergleich zu Viertelstundenprodukten davon auszugehen, dass Extremwerte, die in Viertelstunden auftreten, durch eine Stundenmittelung abgemildert werden. Dies ist darin begründet, dass Veränderungen in der Erzeugung oder Last innerhalb einer Stunde, die bereits zum Handelsschluss des DA-Marktes bekannt sind, in den Stundenprodukten nur über einen einzelnen (mittleren) Preis abgebildet werden können (siehe Abschnitt 2.2). Auf dieser Annahme basiert die im Folgenden beschriebene Preismodellierung.

Die Modellierung von DA-Viertelstundenpreisen aus historischen Stundenpreisen erfolgt mit Hilfe einer linearen Interpolation. Dabei werden die historischen Stundenpreise als Mittelwert der in der Stunde auftretenden Viertelstundenpreise angenommen. Hierfür werden die historischen Stundenpreise jeweils als Preis angenommen, der zur Stundenmitte, also beispielsweise um 00:30 Uhr, auftritt. Zwischen den jeweiligen Stundenmitten wird linear interpoliert. Auf diese Weise kann für jede Viertelstunde ein Preis ermittelt werden.

Bei Anwendung der beschriebenen Interpolationsmethode werden Extremwerte allerdings systematisch unterschätzt. Aus diesem Grund wird das Grundniveau jeder Stunde mit einem Skalierungsfaktor angepasst, sodass der Mittelwert der modellierten Viertelstundenpreise dem historischen Stundenpreis entspricht.

$$k = P_S - \frac{P_{V1} + P_{V2} + P_{V3} + P_{V4}}{4} \quad (1)$$

mit

k	Skalierungsfaktor
P_S	Stundenpreis
$P_{V1/V2} \dots$	Viertelstundenpreis der 1. / 2./... Viertelstunde

Nach Ermittlung des Korrekturfaktors k für jede Stunde wird dieser auf die zuvor interpolierten Viertelstundenpreise addiert. Die Anwendung des Korrekturfaktors führt zu einer besseren Abbildung von Extremwerten. Außerdem wird durch die Anwendung des Korrekturfaktors der historische Stundenmittelwert bei einer Mittelung der interpolierten Viertelstundenwerte wieder erreicht.

Abbildung 10 zeigt historische Stundenpreise basierend auf Daten der EPEX SPOT sowie durch die Interpolationsmethode modellierte Viertelstundenpreise an den Beispieltagen 04.06.2024 und 05.06.2024.

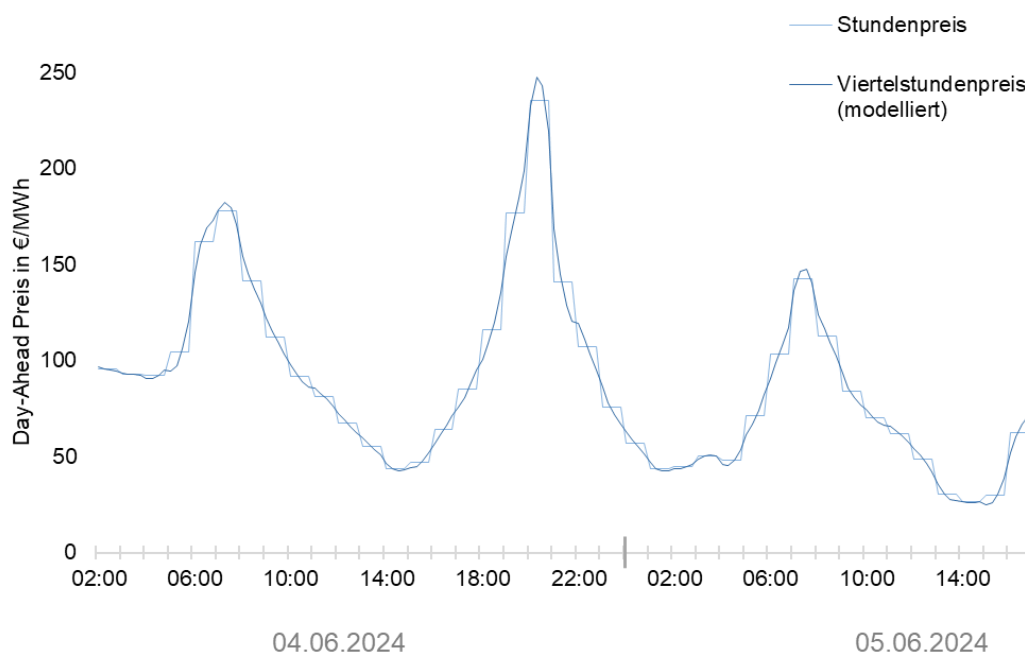


Abbildung 10: Historische Day-Ahead Stundenpreise und modellierte Viertelstundenpreise basierend auf Daten der EPEX SPOT an den Beispieltagen 04.06.2024 und 05.06.2024 [19]

3.2.2 Modellierungsansatz und Szenarienparameter

Für die wirtschaftliche Bewertung der Auswirkungen der Spotmarktumstellung wird das Vermarktungsmodell eFlame (electric Flexibility assessment modeling environment) verwendet. eFlame ist ein modulares Optimierungsmodell, das den Betrieb verschiedener Energiesystemkomponenten, wie z.B. Elektrofahrzeuge, Wärmepumpen, BESS und Industrieanlagen, an einem Netzanschlusspunkt optimiert. eFlame erlaubt die Betrachtung verschiedener Anwendungsfälle, wie Arbitragehandel, PV-Eigenverbrauchsoptimierung, FCR-Handel und Peak Shaving. Je nach Forschungsfrage werden die relevanten Technologien ausgewählt und auf Grundlage des gewählten Anwendungsfalls optimiert [23]. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Arbitragehandel von BESS untersucht. Hierfür werden die in Tabelle 1 dargestellten Szenarioparameter verwendet.

Zur Erlöspotentialmodellierung in eFlame werden zunächst alle Spotmärkte einzeln für das Referenzjahr 2024 betrachtet. Dies betrifft den DA-Markt und die drei Intraday-Auktionen. Für den DA-Markt werden in zwei verschiedenen Szenarien sowohl historische Stundenpreise als auch die in Abschnitt 3.2.1 modellierten Viertelstundenpreise verwendet. Hinsichtlich der IDA3-Auktion, die sich nur auf das Nachmittags-Lieferfenster bezieht, wurden aufgrund der Modellvoraussetzungen von eFlame IDA1-Preise für das Vormittags-Fenster verwendet. Ebenso wurde für den Zeitraum vor der Implementierung der neuen Auktionen im Juni 2024 IDA1 Preise verwendet.

Neben der Einzelvermarktung werden zwei kombinierte Vermarktungen modelliert. Die erste besteht aus einer DA-Positionierung mit anschließender IDA1-Optimierung. Die zweite kombinierte Vermarktung besteht aus einer DA-Positionierung mit anschließender IDA1- und IDA2-Optimierung. Für die kombinierte Vermarktung wurden jeweils die historischen DA-Stundenpreise verwendet. Die Optimierung erfolgt rollierend mit perfekter Voraussicht über alle Märkte. Der Optimierer hat dabei perfekte Voraussicht über die Preise des betrachteten

Marktes, beziehungsweise der betrachteten Märkte, für die nächsten 48 Stunden und ermittelt auf dieser Basis das erlösmaximierende Ladeverhalten. Diese Optimierung wird für alle 24h Zeitschritte durchgeführt, die Optimierungszeiträume überlappen sich entsprechend. [24]

Tabelle 1: Szenarioparameter eFlame

Betrachtungsjahr	2024						
Betrachtete Märkte	DA	DA (modelliert)	IDA1	IDA2	IDA3	DA+IDA1	DA+IDA1+ IDA2
Steuern, Abgaben	Keine Berücksichtigung						
Land	Deutschland						
Ladeeffizienz	0.95						
Standby-Verluste	0014						
Entladeeffizienz	0.95						
Kapazität	2000 kWh						
Leistung	1000 kW						
Zyklenrestriktion	Max 2 Zyklen pro Tag, bei einer rollierenden Optimierung von 48 h Vorschau und 24h Optimierung.						

3.2.3 Erlöspotenziale der Märkte

Aus der in Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Modellierung des Vermarktungsmodells eFlame ergeben sich die in Abbildung 11 dargestellten Erlöspotenziale. Bei einer Einzelvermarktung werden die höchsten Erlöspotenziale bei der IDA1-Auktion mit über 124.000 €/a erzielt, gefolgt von IDA3 und IDA2. Obwohl IDA3, wie zuvor beschrieben, eine höhere Standardabweichung aufweist als IDA1, hängt diese Reihenfolge mit dem kürzeren Bezugszeitraum von IDA3 sowie mit typischen Tagecharakteristika der Preisvolatilität zusammen. Betrachtet man nur das Nachmittagsfenster von IDA1, zeigt IDA1 eine höhere Preisvolatilität als IDA3, was zu den höheren Erlöspotenzialen führt (Vgl. Abschnitt 3.1.2).

In der Einzelvermarktung liegen die geringsten Erlöspotenziale bei der DA-Auktion und sind damit fast 30 % geringer im Vergleich zu IDA1. Die modellierten DA- Viertelstundenpreise führen im Vergleich zu den historischen DA-Stundenpreisen zu 2,4 % höheren Erlöspotenzialen und liegen damit unter den Erlöspotenzialen der aktuellen Intraday-Auktionen.

Die kombinierte Vermarktung führt im Vergleich zur Einzelvermarktung zu höheren Erlöspotenzialen. Insbesondere im Vergleich zu einer IDA1-Einzelvermarktung sind Erlöspotenziale allerdings nur geringfügig höher. Eine Vermarktung über die drei Märkte DA, IDA1 und IDA2 generiert im Optimierungsmodell nur unwesentlich höhere Erlöspotenziale als eine Vermarktung über zwei Märkte (DA, IDA1).

Eine mögliche Änderung der Charakteristik der Intraday-Preise, welche in Kapitel 2.2. beschrieben wurde, könnte diese Reihenfolge jedoch zukünftig beeinflussen. Dies wird diskutiert in Kapitel 4.2.

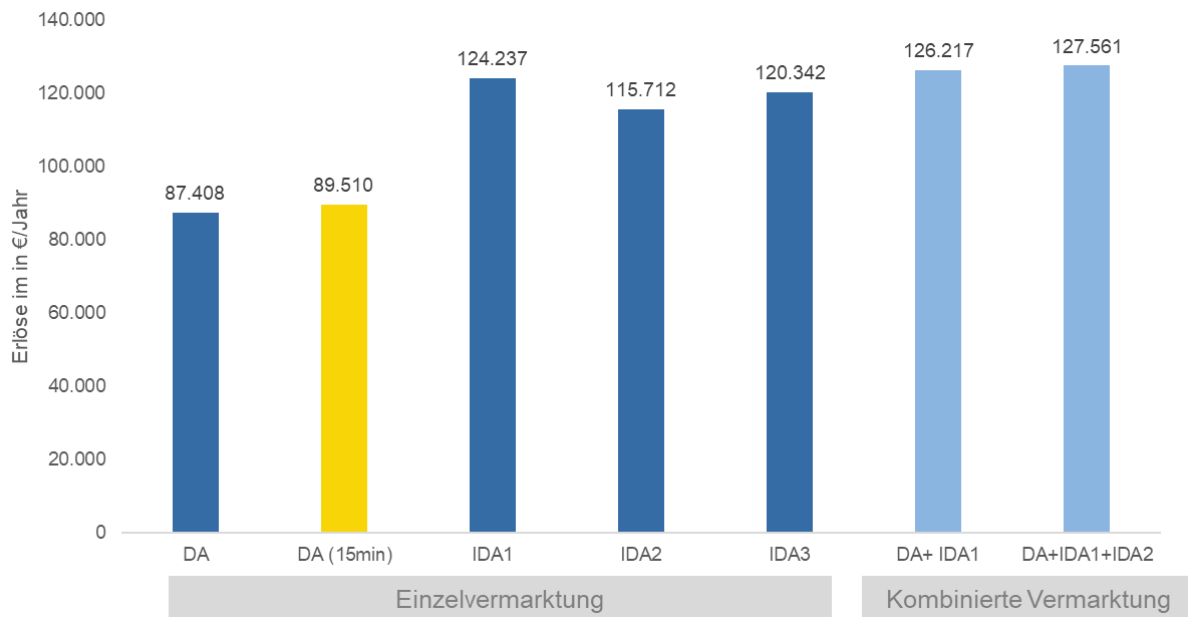


Abbildung 11: Erlöspotenziale der Spotmärkte für das Referenzjahr 2024 in Einzelvermarktung und kombinierter Vermarktung basierend auf Preisdaten der EPEX SPOT [19]

4 Implikationen für die Wirtschaftlichkeit von BESS

In der vorliegenden Arbeit wurden relevante Marktzusammenhänge hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von BESS qualitativ untersucht.

Dabei wurden im Wesentlichen drei Marktcharakteristika identifiziert, die für die Erlösgenerierung von BESS relevant sind. Dies sind zum einen die innertägigen Schwankungen der Strompreise zwischen verschiedenen Zeitintervallen, die prinzipiell auf allen Märkten auftreten. Des Weiteren können Preisunterschiede desselben Zeitintervalls zwischen verschiedenen Märkten zur Erlösgenerierung genutzt werden. Als dritter Erlösfaktor ergeben sich im kontinuierlichen Intraday-Handel Preisschwankungen desselben Zeitintervalls im Handlungsverlauf, wobei ein Zeitintervall mehrfach gegengehandelt werden kann.

4.1 Anstieg der Day-Ahead -Volatilität

Die Analyse hat gezeigt, dass innertägige Schwankungen der Strompreise systemischer Natur sind und primär von der zugrunde liegenden Merit-Order und der Residuallast abhängen. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass diese im Zuge von Marktdesignänderungen, wie der Implementierung zusätzlicher Intraday-Auktionen im Juni 2024 sowie der geplanten Umstellung des DA-Marktes auf Viertelstundenprodukte, weiterhin bestehen bleiben und von BESS zur Erlösgenerierung genutzt werden können.

Höhere Produktgranularitäten sollen Veränderungen in der Erzeugung und im Verbrauch genauer abbilden. Bei DA-Stundenprodukten ist im Vergleich zu Viertelstundenprodukten davon auszugehen, dass Extremwerte, die in Viertelstunden auftreten, durch eine Stundenmittelung abgemildert werden (siehe Abschnitt 3.2.1). Dies impliziert eine erhöhte Preisvolatilität eines viertelstündlichen DA-Marktes im Vergleich zum ursprünglichen Stundenproduktdesign und damit höhere DA-Markt Erlöse für BESS. Entsprechend zeigten sich in Abschnitt 3.2.3 leicht höhere Erlöspotenziale der modellierten DA-Viertelstundenpreise

im Vergleich zu Stundenpreisen. Wie viel höher die Preisvolatilität in jeder Stunde tatsächlich ist, hängt von den Abweichungen des erwarteten Preisniveaus für jede Viertelstunde im Vergleich zum Stundenwert ab und wird in der Modellierung der Viertelstundenpreise auf Basis von Stundenmittelwerten zwar konzeptionell verdeutlicht, aber nur begrenzt reflektiert.

4.2 Wegfall des Sägezahnmodells auf den Intraday-Märkten

Durchaus relevant sind die Marktdesignänderungen ebenso hinsichtlich der Erlösgenerierung durch Preisunterschiede eines Zeitintervalls zwischen verschiedenen Märkten. Diese entstehen durch Prognosefehler, die auf späteren Märkten ausgeglichen werden, durch verschiedene Preissensitivitäten der Märkte, sowie durch Granularitätsdifferenzen der Produkte. Wie in Abschnitt 2.2 erläutert, führt insbesondere der Unterschied zwischen den Stundenprodukten des DA-Marktes und den Viertelstundenprodukten der IDA1-Auktion zum typischen Sägezahnmodell im IDA1-Preisverlauf. Diese zusätzliche Volatilität überträgt sich auch auf den Preisverlauf von IDA2 und IDA3.

Mit der Umstellung des DA-Markts auf eine Viertelstundengranularität besteht keine Notwendigkeit mehr, auf dem IDA1-Markt Granularitätsdifferenzen zum vorgelagerten DA-Markt auszugleichen. Marktdifferenzen bestehen dann primär hinsichtlich der Nähe zum Lieferzeitpunkt und des Marktvolumens. Dementsprechend ist zu erwarten, dass das typische Sägezahnmodell des IDA1-Marktes in seiner derzeitigen Form nicht bestehen bleibt. Vielmehr kann erwartet werden, dass der IDA1-Preisverlauf stärker dem DA-Preisverlauf folgt, ähnlich wie aktuell die Preisverläufe der IDA2 und IDA3-Auktion dem IDA1-Preisverlauf folgen. Dies impliziert eine Abnahme der Preisvolatilität der Intraday-Auktionen sowie eine Preisangleichung zwischen den Märkten.

Für die Vermarktung von BESS ist dementsprechend mit geringeren Erlöspotenzialen in der Einzelvermarktung in den Intraday-Auktionen sowie hinsichtlich der Ausnutzung von Preisdifferenzen zwischen dem DA-Markt und den Intraday-Auktionen bei einer kombinierten Vermarktung zu rechnen. Volatilitäten und Preisdifferenzen durch Prognoseabweichungen sowie verschiedene Preissensitivitäten der Märkte sind aber weiterhin zu erwarten.

Auch im kontinuierlichen Intraday-Handel ist mit einem Wegfall des durch die Granularitätsdifferenz verursachten Sägezahnmodells in der Preischarakteristik zu rechnen. Allerdings wurde festgestellt, dass insbesondere Preisschwankungen desselben Zeitintervalls bedeutend sind für die Erlösgenerierung im kontinuierlichen Handel. Diese hängen besonders von unvorhersehbaren Veränderungen in Erzeugungs- und Verbrauchsprognosen nach den Auktionszeitpunkten sowie Spekulation der Marktteilnehmer ab. Dementsprechend ist auch nach der Einführung von Viertelstundenprodukten mit bedeutenden BESS-Erlöspotenzialen zu rechnen.

4.3 Zusätzliche Märkte zur Einzelvermarktung und für Arbitrage

In der Analyse relevanter Marktzusammenhänge wurden des Weiteren die Preisvolatilität, das Marktvolumen im Hinblick auf die Preissensitivität, sowie die Preisdifferenz zwischen Märkten als relevante Marktparameter identifiziert. Diese Marktparameter wurden in Kapitel 3 hinsichtlich der Implementierung der neuen Intraday-Auktionen für den Beobachtungszeitraum 14.06.2024 bis 31.01.2025 analysiert.

Grundsätzlich ergeben sich mit den neuen Auktionen zwei weitere Märkte, die für die Einzelvermarktung genutzt werden können und zwischen denen Arbitrage betrieben werden kann. Diese zeichnen sich allerdings durch geringe Marktvolumina und damit eine erhöhte Preissensitivität hinsichtlich wegfallender oder zusätzlicher Kapazitäten aus. In der Modellierung von Erlöspotenzialen in der Einzelvermarktung zeigten die neuen Intraday-Auktionen höhere Erlöspotenziale als der DA-Markt.

Die Analyse ergab ferner, dass der durchschnittliche absolute Preisunterschied zwischen den Märkten mit zunehmendem zeitlichem Abstand und zunehmender Nähe zum Lieferzeitpunkt steigt. Dies impliziert zusätzliche Arbitragemöglichkeiten durch die neuen Auktionen, die in einem größeren zeitlichen Abstand zum DA-Markt stattfinden. Die Preisdifferenzen zwischen dem DA-Markt und den Intraday-Auktionen übersteigen die Preisdifferenzen der Intraday-Auktionen untereinander trotz teilweise geringerer GCT-Differenz deutlich. Die Lage der GCT im Tagesverlauf sowie die derzeit unterschiedliche Granularität von DA-Markt und Intraday-Auktionen könnten diesbezüglich eine Rolle spielen.

Die Modellierung der Erlöspotenziale in kombinierter Vermarktung ergab nur unwesentlich höhere Erlöspotenziale im Vergleich zur Einzelvermarktung in den Intraday-Auktionen (insb. im Vergleich zu IDA1). Auch durch die zusätzliche Vermarktung auf der IDA2 Auktion im Vergleich zur Vermarktung am DA-Markt und der IDA1-Auktion konnten in der Modellierung nur geringfügig höhere Erlöspotenziale erreicht werden. Lieferverpflichtungen durch die Teilnahme an vorgelagerten Märkten in Kombination mit Zyklenbeschränkungen des BESS spielen hierbei eine Rolle. Zudem ist der Unterschied zwischen Erlöspotenzialen und tatsächlichen Erlösen bedeutend. Insbesondere bei Märkten mit geringerem Marktvolumen ist die Realisierung von Erlöspotenzialen herausfordernder, weshalb eine kombinierte Vermarktung unter Einbezug des DA-Marktes mit zusätzlichen Handelszeitpunkten dennoch vorteilhaft sein kann.

Insgesamt ergeben sich also durch die Marktdesignänderungen gegenläufige Implikationen für BESS-Erlöspotenziale. Auswirkungen dieser fallen in Abhängigkeit von der Vermarktungsstrategie unterschiedlich stark ins Gewicht. Durch die Möglichkeit zur Teilnahme an verschiedenen Märkten kann das Risiko struktureller Änderungen durch die Anpassung der Markteinsatzstrategie bis zu einem gewissen Grad kompensiert werden.

5 Fazit und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung des Einflusses aktueller Änderungen des Marktdesigns an der EPEX SPOT auf die Wirtschaftlichkeit von BESS. Basierend auf einer Analyse der relevanten Marktzusammenhänge wurden Implikationen für die Erlöspotenziale durch die Änderungen sowie die in diesem Zusammenhang bedeutsamen Marktparameter abgeleitet. Weitere Erkenntnisse lieferte eine anschließende Untersuchung der identifizierten Marktparameter im Zusammenhang mit der bereits erfolgten Erweiterung der Intraday-Auktionen im Juni 2024 auf Basis historischer Daten. Eine anschließende Modellierung von Erlöspotenzialen der Märkte ermöglichte einen konkreten Vergleich der Erlöspotenziale für das Jahr 2024, jedoch unter der Limitation, dass DA-Preise vereinfacht modelliert wurden und IDA2 und IDA3 Preise nur für die zweite Jahreshälfte verfügbar waren.

Insgesamt implizieren die Marktdesignänderungen wirtschaftliche Vorteile durch eine Volatilitätszunahme auf dem DA-Markt, sowie zusätzliche Märkte zur Einzelvermarktung bzw. Arbitragemöglichkeiten zwischen den Märkten durch die zusätzlichen Intraday-Auktionszeitpunkte. Auf wirtschaftliche Nachteile lassen eine Volatilitätsabnahme der Intraday-Auktionen durch das Verschwinden des Sägezahnmodells sowie eine Preisangleichung zwischen dem DA-Markt und den Intraday-Märkten schließen. Der kontinuierliche Intraday-Handel ist diesbezüglich allerdings voraussichtlich weniger stark betroffen, da BESS auf diesem mehr von der kontinuierlichen Preisentwicklung durch kurzfristige Änderungen in Angebot und Nachfrage sowie Spekulation profitieren als von der Volatilität durch das Sägezahnmodell. Weniger ausschlaggebend sind die Marktdesignänderungen ebenso hinsichtlich Erlöspotentialen aus inerttägigen Preisschwankungen, die aus der zugrunde liegenden Merit-Order und der Residuallast resultieren. Damit ergeben sich gegenläufige Tendenzen für die Erlöspotenziale von BESS, so dass die tatsächlichen Auswirkungen der Marktdesignänderungen von der Vermarktungsstrategie abhängen und durch die Möglichkeit der marktübergreifenden Vermarktung teilweise kompensiert werden können.

Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Frage, welcher Anteil der Preisvolatilität der viertelstündlichen Intraday-Auktionen auf den Ausgleich von Granularitätsunterschieden zum stündlichen DA-Markt zurückzuführen ist und inwieweit der Wegfall ebendieser BESS-Erlöspotenziale reduziert. Ebenso bleibt offen, welche Volatilitätszunahme des DA-Marktes durch die bessere Abbildbarkeit von Erzeugung und Verbrauch tatsächlich zu erwarten ist. Die Quantifizierung dieser Aspekte ist aufgrund zahlreicher weiterer Einflussfaktoren vor der Einführung ohne eine konkrete Datenbasis nur begrenzt möglich. Eine Bewertung und kontinuierliche Beobachtung der Märkte nach Umstellung der Preisgranularität wird hier weitere Erkenntnisse ermöglichen.

Literatur

- [1] Fraunhofer ISE, *Batteriespeicher an ehemaligen Kraftwerksstandorten*, Fraunhofer ISE Studien, 2024.
- [2] Battery Charts, *Batterieleistung in Deutschland (Alle Batterietechnologien, MaStR)*, Online-Tool Battery Charts, Zugriff am 12. November 2024. Verfügbar unter: <https://scarica.isea.rwth-aachen.de/mastr/d/JFKs3f97z/speicherstatus?orgId=1&viewPanel=15>.
- [3] EPEX SPOT, *Intraday Auctions (IDAs) were implemented across Europe on 13 June 2024*, EPEX SPOT News, 2024. Zugriff am 12. November 2024. Verfügbar unter: <https://www.epexspot.com/en/news/intraday-auctions-idas-were-implemented-across-europe-13-june-2024>.
- [4] EPEX SPOT, *Trading Brochure, Feb. 2025*, 2025. Verfügbar unter: <https://www.epexspot.com/sites/default/files/2025-02/EPEX%20SPOT%20Trading%20Brochure%202025%20February.pdf>
- [5] Europäische Union, *Verordnung (EU) 2017/2195 der Kommission vom 23. November 2017 zur Festlegung einer Leitlinie für den Strombilanzausgleich*, Amtsblatt der Europäischen Union, L 312/6, 2017. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32017R2195>.
- [6] Europäische Union, *Verordnung (EU) 2019/943 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über den Elektrizitätsbinnenmarkt*, Amtsblatt der Europäischen Union, L 158/54, 2019. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0943>.
- [7] EPEX SPOT, *New 15-minute products in Market Coupling*, 2024. Zugriff am 13. Februar 2025. Verfügbar unter: <https://www.epexspot.com/en/new-15-minute-products-market-coupling>
- [8] Frontier Economics, *Wert von BESS im deutschen Stromsystem – Final Report*, 2024. Verfügbar unter: https://www.frontier-economics.com/media/jmxlrpul/frontier-economics_wert-von-bess-im-deutschen-stromsystem_final-report.pdf
- [9] Regelleistung.net, *Präqualifizierte Leistung in Deutschland nach Primärenergieträger*, 2024. Verfügbar unter: <https://www.regelleistung.net/xspproxy/api/staticfiles/regelleistung/startseite/pq-leistung-in%20deutschland.pdf>
- [10] Energy Economic Research Associates, *Erlöse von stand-alone BESS 2024 - Battery Beats Jahresrückblick*, 2024. Zugriff am 13. Februar 2025. Verfügbar unter: <https://www.eera-consulting.de/battery-beats/erloese-stand-alone-2024>
- [11] LAGA, *Optimierung von Batteriespeichern*, 2024. Verfügbar unter: https://windenergietage.de/2024/wp-content/uploads/sites/9/2024/12/5_Laga-Optimierung.pdf
- [12] Aurora Energy Research, *Battery Profitability in Germany, The Netherlands, and Belgium*, 2024. Verfügbar unter: <https://www.auroraer.com/insight/battery-profitability-in-germany-the-netherlands-and-belgium/>.
- [13] Battery Charts, *Battery Revenue Index (Beta-Version)*, 2024. Verfügbar unter: <https://battery-charts.rwth-aachen.de/battery-revenue-index-beta-version/>
- [14] J. Figgner, P. Stenzel, K.-P. Kairies, J. Linßen, D. Haberschusz, O. Wessels, M. Robinius, D. Stolten und D. U. Sauer, *The Development of Stationary Battery Storage Systems in Germany – Status 2020*, 2021. Journal of Energy Storage, Bd. 33, 2021, Art.-Nr. 101982. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101982>.
- [15] Energy BrainBlog, *Erlöspotenziale für Batteriespeicher am Strommarkt – aktuelle Entwicklungen*, 2024. Zugriff am 13. Februar 2025. Verfügbar unter:

<https://blog.energybrainpool.com/erloespotenziale-fuer-batteriespeicher-am-strommarkt-aktuelle-entwicklungen/>.

- [16] Flex Index, *Aktueller Wert von Flexibilität am Strommarkt*, 2024. Zugriff am 13. Februar 2025. Verfügbar unter: <https://flex-power.energy/de/services/flex-trading/flex-index/>
- [17] S. M. Braun und C. Brunner, *Price Sensitivity of Hourly Day-ahead and Quarter-hourly Intraday Auctions in Germany*, 2018. Zeitschrift für Energiewirtschaft, vol. 42, pp. 257–270, 2018. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s12398-018-0228-0>.
- [18] T. Wawer, *Spotmärkte für Elektrizität*. In: *Elektrizitätswirtschaft*, Springer Gabler, Wiesbaden, 2022, S. 157 ff. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-658-38418-0_6.
- [19] EPEX SPOT, *Market Data*, 2025. Verfügbar unter: <https://www.epexspot.com/en/market-data>.
- [20] ENTSO-E, *Transparency Platform, Total Load – Day Ahead /Actual*, 2025. Verfügbar unter: <https://transparency.entsoe.eu/load-domain/r2/totalLoadR2/show>
- [21] A.Bader, *Entwicklung eines Verfahrens zur Strompreisvorhersage im kurzfristigen Intraday-Handelszeitraum*, 2017. Dissertation, RWTH Aachen. Verfügbar unter: <https://publications.rwth-aachen.de/record/696387/files/696387.pdf>
- [22] J. Rominger, M. Losch, S. Steuer, K. Köper und H. Schmeck, *Analysis of the German Continuous Intraday Market and the Revenue Potential for Flexibility Options*. 16th International Conference on the European Energy Market (EEM), Ljubljana, Slovenia, 2019, S. 1–6. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1109/EEM.2019.8916566>.
- [23] P. Vollmuth, D. Wohlschlager, L. Wasmeier, und T. Kern. *Prospects of Electric Vehicle V2g Multi-Use: Profitability and GHG Emissions for Use Case Combinations of Smart and Bidirectional Charging Today and 2030*, 2023. Verfügbar unter: SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4656734> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4656734>
- [24] F.Biedenbach, J. Wurzel, P.Vollmuth und K.Strunz. *Multi-market Power Trading of Bidirectional Electric Vehicles Combined with Providing Frequency Containment Reserve*, (unveröffentlicht), Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) e.V., Chair of Sustainable Electric Networks and Sources of Energy (SENSE), School of Electrical Engineering and Computer Science, Technische Universität Berlin