

1 Einführung

1.1 Thematische Einleitung und Zielsetzung

Die Energiewende und der Klimawandel sind in politischen Diskussionen allgegenwärtig und stellen eine erhebliche Herausforderung an die (globale) Gesellschaft in den kommenden Jahren dar. Dabei sind insbesondere die deutschen Ziele ambitioniert und im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) festgehalten. So soll eine Transformation zu einer nachhaltigen und treibhausgasneutralen Stromversorgung¹ im Interesse des Klima- und Umweltschutzes erfolgen, die vollständig auf erneuerbaren Energien beruht.² Konkret soll der Anteil des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms am Bruttostromverbrauch in Deutschland auf mindestens 80 % im Jahr 2030 gesteigert werden. Darüber hinaus sind der Ausstieg aus der Erzeugung von Strom durch Atomenergie und Kohle bereits beschlossen.³ Um einen Einblick in die angestrebte Transformation zu erhalten, ist festzuhalten, dass die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in den letzten Jahren stark angestiegen ist, im Jahr 2022 allerdings noch deutlich unter den 80 % bei etwa 46 % der Gesamterzeugung lag und ein ähnlich großer Anteil der Stromerzeugungen aus Atomenergie und Kohle erfolgte.⁴ Die Erreichung dieses Ziels soll im Wesentlichen durch einen umfassenden Ausbau der Windenergie- und Solaranlagen erfolgen.⁵

Nun ist die Energiewende nicht nur damit abgeschlossen mehr Strom aus erneuerbaren Energien zu erzeugen, da diese Transformation auch eine erhebliche bereits laufende Herausforderung für die Organisation der Stromversorgung darstellt. Dafür muss sich zunächst vergegenwärtigt werden, dass Strom im Vergleich zu anderen konsumierbaren Energieformen einige Besonderheiten aufweist. Die Lieferung bzw. Verteilung von

¹ Im Rahmen dieser Arbeit wird eine energiewirtschaftliche Perspektive eingenommen und Begriffe wie beispielsweise Elektrizität und Strom als Synonyme verwendet. Vgl. hierzu auch Abschnitt 2.1.1.

² Vgl. hier und im Folgenden § 1 Abs. 1, Abs. 2 EEG 2023.

³ Vgl. Schiffer (2019), S. 523, und Linnemann (2021), S. 23.

⁴ Vgl. Bundesregierung (2023) und Wawer (2022), S. 46.

⁵ Vgl. § 4 EEG 2023.

Elektrizität ist nur mittels Stromnetzen möglich.⁶ Zu einer sicheren Versorgung ist dabei die Netzstabilität zu wahren, die nur gegeben ist, wenn die Summe des eingespeisten Stroms mit der Summe des verbrauchten Stroms übereinstimmt. Darüber hinaus ist Elektrizität nur in sehr reduzierter Form lagerbar bzw. speicherbar.⁷ Die Schaffung des Ausgleichs zwischen Einspeisung und Verbrauch ist zu großen Teilen Aufgabe der Stromerzeuger, da der Konsum von Strom als notwendiges und nur schwer zu substituierendes Gut aus Perspektive der Nachfrage lediglich bedingt angepasst werden kann.⁸ Die Herausforderung durch die Energiewende an die Organisation der Stromversorgung liegt nun hauptsächlich in der Veränderung der Angebotsstruktur, das heißt in der Art und Weise wie Strom erzeugt wird. Letztendlich erfolgt seit Jahren ein fortlaufender Prozess, der den Austausch zwischen teuren, zentralen sowie planbaren Stromerzeugern mittels Atomenergie oder Kohle einerseits und günstigen, grünen, dezentralen sowie fluktuierenden Stromerzeugern insbesondere mittels Wind- und Solarenergie andererseits vornimmt.⁹ Eine wesentliche Aufgabe kommt in diesem Kontext auch den verschiedenen Handelsmärkten zu, um mittels Preissignalen ein flexibles Angebot bzw. eine flexible Nachfrage zu motivieren, soweit dies möglich ist.¹⁰

In dieser Arbeit wird das Augenmerk auf die Spotmärkte der European Power Exchange (EPEX SPOT), auf denen der Großteil des börslichen Handels der deutschen Handelszone erfolgt, und insbesondere auf den kontinuierlichen Intraday-Markt gerichtet, da diese Märkte ein wesentlicher Bestandteil für eine erfolgreiche Transformation zu nachhaltigeren fluktuierenden Stromerzeugern sind. Der Handel auf den Terminmärkten ist hingegen nicht Bestandteil dieser Arbeit, da der Ausgleich im Stromnetz mittels kurzfristigeren Instrumenten zu erfolgen hat. An der EPEX SPOT gibt es drei Handelsmöglichkeiten, die verschiedene Bedürfnisse erfüllen:¹¹

- Die täglich um 12:00 Uhr stattfindende Day-Ahead-Auktion für Kontrakte mit stündlichen Lieferzeiträumen am Folgetag.
- Die täglich um 15:00 Uhr stattfindende Intraday-Auktion für Kontrakte mit 15-minütigen Lieferzeiträumen am Folgetag.
- Den kontinuierlichen Intraday-Markt, der als fortlaufender Handel täglich ab 15:00 Uhr für Kontrakte mit verschiedenen Laufzeiten am Folgetag startet und bis kurz vor Lieferung der einzelnen Kontrakte möglich ist.

⁶ Vgl. hier und im Folgenden Zylka (2010), S. 38 f.

⁷ Vgl. Frank (2011) S. 8.

⁸ Vgl. Graeber (2014), S. 7, und Wawer (2022), S. 140 f.

⁹ Vgl. Wawer (2022), S. 42–49.

¹⁰ Vgl. Wawer (2022), S. 132.

¹¹ Vgl. hier und im Folgenden EPEX SPOT (2022c), S. 2. Eine ausführliche Darstellung der Handelsmöglichkeiten erfolgt in den Abschnitten 2.3.2 und 2.3.3.

Das größte Handelsvolumen wurde bisher stets bei der Day-Ahead-Auktion erzielt.¹² Auf diesem Markt werden die Stromportfolios aus den Termingeschäften angepasst und es erfolgt eine erste Planung der Stromflüsse auf stündlicher Zeitebene.¹³ Um den steigenden Einspeisungen aus fluktuierenden erneuerbaren Energien allerdings gerecht zu werden, ist insbesondere der kontinuierliche Intraday-Markt in den letzten Jahren unerlässlich geworden.¹⁴ Auf die Notwendigkeit von Intraday-Märkten mit hohen Handelsvolumina (liquider Handel) zur Integration der Stromerzeugnisse aus erneuerbaren Energien (insbesondere aus Windenergie) wies bereits früh Weber (2010) hin.¹⁵ Diesbezüglich hat sich auf dem deutschen Markt das jährliche Handelsvolumen in den letzten zehn Jahren etwa vervierfacht, wobei der größte Anteil des Handelsvolumens auf die stündlichen Kontrakte entfällt.¹⁶ Unter Beachtung der ambitionierten Ziele im Rahmen der Energiewende und des bereits erkennbaren Trends ist davon auszugehen, dass sich die Handelsaktivitäten noch stärker vom Day-Ahead-Markt zum kontinuierlichen Intraday-Markt verschieben werden und die Wichtigkeit des Intraday-Markts weiter steigen wird.¹⁷

Der Handel und die Preise einzelner Transaktionen bzw. einzelner Orders stündlicher Kontrakte des kontinuierlichen Intraday-Markts bilden den zentralen Kern dieser Arbeit. Die wesentliche Zielsetzung der Arbeit lässt sich dabei in zwei Teile untergliedern. Im Mittelpunkt des ersten Teils steht eine empirische Analyse der Preisschwankungen bzw. der Volatilitäten stündlicher Kontrakte des kontinuierlichen Intraday-Markts anhand von realisierten Transaktionen. Die Höhe dieser Preisschwankungen auf Ebene der einzelnen Kontrakte sind sowohl aus Perspektive des Angebots als auch aus der Perspektive der Nachfrage von besonderer Bedeutung, da auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt der Ausgleich von kurzfristigen Abweichungen eines erwarteten Stromportfolios, insbesondere verursacht durch Fluktuationen in der Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie, erfolgen kann. Die realisierten Preisschwankungen sind somit ein Maß für das mit dem Handel einhergehende Preisrisiko. In diesem Kontext stellt sich zunächst die Frage, wie Preisschwankungen zu messen sind. Die bisherige Literatur zu kurzfristigen Strommärkten fokussierte im Wesentlichen auf die Preisschwankungen zwischen Kontrakten anhand von Durchschnittspreisen bzw. anhand von Preisen des Day-Ahead-Markts, wie beispielsweise Paschen (2016), Ciarreta, Muniain und Zarraga (2017) oder Rintamäki, Siddiqui und Salo (2017). Darüber hinaus ist das klassische Volatilitätsmaß für Finanzzeitreihen, die (annualisierte) Standardabweichung der logarithmischen Renditen über in der Regel gleich lange Zeiträume, aufgrund der Besonderheiten des kontinuierlichen Intraday-Markts nicht direkt übertragbar.¹⁸

¹² Vgl. beispielsweise EPEX SPOT (2023b), S. 4.

¹³ Vgl. Kiesel und Paraschiv (2017), S. 77, und Wawer (2022), S. 159.

¹⁴ Vgl. Wawer (2022), S. 159.

¹⁵ Vgl. Weber (2010), S. 3162 f.

¹⁶ Vgl. EPEX SPOT (2013), S. 3, EPEX SPOT (2019), S. 5, und EPEX SPOT (2023b), S. 4.

¹⁷ Vgl. auch Wawer (2022), S. 159.

¹⁸ Vgl. hierzu ausführlich Kapitel 4.

Neben der tatsächlichen Höhe der realisierten Volatilität sind für die Händler auf dem Intraday-Markt auch die Treiber sowie mögliche Prognosen der Preisschwankungen von Interesse. Durch Kenntnisse dieser Größen können die Händler bereits einen Eindruck davon gewinnen, welchem Preisrisiko sie beim Handel auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt ausgesetzt sind. Die wissenschaftliche Literatur fokussierte im Hinblick auf diese beiden Aspekte hauptsächlich auf die Preise und nicht auf Schwankungen derer, wie zum Beispiel Kiesel und Paraschiv (2017), Janke und Steinke (2019) oder Kremer, Kiesel und Paraschiv (2020). Während sich erklärende Variablen aus einer Ex-post-Perspektive bestimmen lassen, muss für eine Prognose eine Ex-ante-Perspektive eingenommen werden.

Soll nun eine Prognose für die Preisschwankungen über die komplette (kurze) Laufzeit eines Kontrakts gemacht werden, gibt es nur wenige Anhaltspunkte, die zur Vorhersage genutzt werden können. Hinsichtlich Fundamentaldaten, wie beispielsweise der erzeugte Strom aus Wind- bzw. Solarenergie, stehen allenfalls (frühe) Prognosen für die einzelnen Lieferstunden bzw. Kontrakte zur Verfügung und Informationen bzgl. Preisschwankungen von zeitlich benachbarten Kontrakten können aufgrund der zeitlichen Überschneidung der Handelszeiten der Kontrakte nicht verwendet werden, wenn die Prognose für die komplette Laufzeit eines Kontrakts erfolgen soll. Zusätzlich ist zu beachten, dass zu Beginn der Handelszeit einzelner Kontrakte nur vereinzelte Transaktionen zu beobachten sind und dass ein Großteil des Handels in der letzten Stunde vor Handelsschluss erfolgt. Für den Großteil der sehr kurzfristig agierenden Händler wäre somit ein Fokus auf die letzte Handelsstunde im Hinblick auf Prognosen von höherer Relevanz.

Der zweite Teil der Zielsetzung richtet das Augenmerk nun nicht mehr auf die Preisschwankungen einzelner stündlicher Kontrakte, sondern auf die Ermöglichung einer flexibleren Nachfrage nach stündlichen Kontrakten für den Folgetag. Hintergrund dieser Ermöglichung ist, dass durch die Elektrizitätspreise, die im Laufe eines Jahres, einer Woche oder eines Tages schwanken, verschiedene Kostenoptimierungen für flexible Nachfrager möglich sind. In der bisherigen Literatur, die derartige Optimierungüberlegungen durchführte, wie beispielsweise Busse und Rieck (2022) oder Dellnitz et al. (2020), werden dafür häufig die Preise des Day-Ahead-Markts verwendet. Aus preislicher Perspektive geht dies mit dem Problem einher, dass die Preise des Day-Ahead-Markts für Kontrakte des Folgetags zunächst ex-ante nicht bekannt sind und erst durch die Auktion zustande kommen. Darüber hinaus ist es nicht garantiert, dass im Anschluss tatsächlich zu den bekannten Preisen Strom bezogen werden kann, da dies die Preise einer abgeschlossenen Auktion sind und diese Preise für einen möglichen Handel Over-the-Counter (OTC) oder auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt nicht bindend sind. Somit müsste ein flexibler Nachfrager selbst Gebote am Day-Ahead-Markt anhand von (ungenauen) Prognosen für die günstigsten Kontrakte einstellen, damit die ex-ante unbekanntenen Preise des Day-Ahead-Markts tatsächlich garantiert sind. Dadurch wäre der Nachfrager selbst einem Prognoserisiko ausgesetzt, indem möglicherweise Gebote für Kontrakte eingestellt werden, die ex-post nicht zu den

günstigsten gehören. Durch ein Produkt, welches die stündlichen Kontrakte zu den Preisen des Day-Ahead-Markts nach Abschluss der Auktion handelbar macht, könnte eine flexiblere Nachfrage ermöglicht werden, die dem potenziellen Käufer des Produkts das Prognoserisiko abnimmt. Für die Übernahme des Risikos würde der Anbieter solch eines Produkts eine zusätzliche Prämie auf die Day-Ahead-Preise verlangen.

Aus Perspektive eines flexiblen Nachfragers wäre der Kauf eines derartigen Produkts nur interessant, wenn die zusätzliche Prämie nicht die Opportunitätskosten, die durch fehlerhafte Prognosen entstehen können, übersteigt (bei Vernachlässigung weiterer (Fix-)Kosten). Angebotsseitig wird angenommen, dass der Emittent des Produkts versuchen wird, die benötigten Volumina der einzelnen Kontrakte zur Deckung des verkauften Produktvolumens auf dem Day-Ahead-Markt zu erwerben und fehlende bzw. überschüssige Volumina auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt mittels heuristischen Handelsstrategien zu erwerben bzw. zu verkaufen. Die zusätzliche (notwendige) Prämie ergibt sich somit durch den möglichen Aufpreis (Abschlag) auf dem Intraday-Markt im Vergleich zum Day-Ahead-Markt und der Zusammensetzung des Gesamtvolumens durch Handel auf beiden Märkten. Nachfrageseitig sind hinsichtlich der Opportunitätskosten die Güte der Preisprognosen für den Day-Ahead-Markt und die Risikoeinstellung eines flexiblen Nachfragers von Bedeutung.

Zusammenfassend ergeben sich folgende Kernfragen:

Teil I:

- Wie und in welcher Höhe lassen sich Preisschwankungen stündlicher Kontrakte auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt messen?
- Wie lassen sich Preisschwankungen stündlicher Kontrakte auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt ex-post erklären?
- Inwieweit lassen sich Preisschwankungen stündlicher Kontrakte auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt in der letzten Handelsstunde prognostizieren?

Teil II:

- Wie gut funktionieren heuristische Handelsstrategien auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt im Vergleich zu den Preisen des Day-Ahead-Markts?
- Zu welchen fixen Preisen lassen sich stündliche Kontrakte im Anschluss an die Day-Ahead-Auktion anbieten?
- In welchem Bereich bewegen sich theoretisch maximale Zahlungsbereitschaften potenzieller Nachfrager für stündliche Kontrakte, die im Anschluss an die Day-Ahead-Auktion zu fixen Preisen angeboten werden?

1.2 Struktur und Aufbau der Dissertation

Die vorliegende Arbeit besteht inklusive dieser Einführung aus sechs Kapiteln. In Kapitel 2 werden zunächst grundlegende Aspekte und Zusammenhänge des Strommarkts dargelegt, die für das Verständnis der Kapitel 3, 4 und 5 notwendig sind. Kapitel 3 gibt einen umfassenden Überblick über die Erkenntnisse wissenschaftlicher Literatur zum deutschen kontinuierlichen Intraday-Markt. Die Kapitel 4 und 5 beziehen sich anschließend explizit auf die Beantwortung der Kernfragen dieser Arbeit. Die Arbeit schließt mit einer Schlussbetrachtung in Kapitel 6.

Grundlagen des deutschen Strommarkts

Im zweiten Kapitel erfolgt eine dreiteilige Darstellung der relevanten Grundlagen des deutschen Strommarkts. Im ersten Teil des Kapitels geht es um die grundlegende Organisation, die für die Erzeugung, den Konsum und den Handel von Elektrizität notwendig ist. Die Netzgebundenheit von Strom führt dazu, dass Einspeisung und Verbrauch stets übereinstimmen müssen und dadurch Ausgleichsmechanismen erforderlich sind. Die Kosten für den Ausgleich stehen im direkten Zusammenhang mit den Preisen, die am kontinuierlichen Intraday-Markt erzielt werden. Im zweiten Teil des Kapitels geht es um die kurzfristige Preisbildung von Strom und insbesondere um die angebots- und nachfrageseitigen Preisfaktoren. Angebotsseitig ist zu beachten, dass sich die Kosten von verschiedenen Stromerzeugern (teilweise erheblich) unterscheiden. Nachfrageseitig ist zu beachten, dass sich Strom nur bedingt durch andere Güter substituieren lässt und dementsprechend die Nachfrage weitestgehend unflexibel ist. Als Zusammenführung von Angebot und Nachfrage wird im Rahmen des zweiten Teils abschließend das Merit-Order-Modell beschrieben. Im dritten Teil erfolgt eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen kurzfristigen Handelsmöglichkeiten an der EPEX SPOT. Dies umfasst die Day-Ahead-Auktion, die Intraday-Auktion und den kontinuierlichen Intraday-Markt. Dabei wird auf die Handelsmechanismen und den Nutzen der Handelsmöglichkeiten eingegangen. Abschließend werden die Handelsvolumina und Preise der Handelsmöglichkeiten ins Verhältnis gesetzt und es werden allgemeine Preiseigenschaften von kurzfristigen Stromkontrakten dargelegt.

Literaturüberblick

Im dritten Kapitel wird ein Literaturüberblick über den deutschen kontinuierlichen Intraday-Markt gegeben. Dabei haben sich die wissenschaftlichen Beiträge zum Markt gerade in den letzten Jahren mit verschiedenen Schwerpunkten gehäuft. Im Rahmen des Kapitels werden die einzelnen Beiträge klassifiziert und kurz dargestellt. Die zentralen Erkenntnisse zu den einzelnen Teilbereichen werden jeweils in den entsprechenden Abschnitten zusammengefasst.

Hinsichtlich der Klassifikationen werden Preise und Volatilitäten, Liquidität, Handelsstrategien, Prognosen sowie Marktdesign unterschieden. Auch innerhalb einer Klassifikation werden teilweise verschiedene Differenzierungen vorgenommen. So

lässt sich beispielsweise bei der Literatur zu Preisen sowie Volatilitäten unterscheiden, ob der Analyseschwerpunkt sich auf Durchschnittspreise, einzelne Transaktionen oder Orders bezog. Hinsichtlich Literatur zu Prognosen kann zum Beispiel zwischen den Zielgrößen der Vorhersagen differenziert werden. In der abschließenden zusammenfassenden Übersicht wird nochmals themenübergreifend auf die wissenschaftlichen Beiträge eingegangen und auf Entwicklungen in der Forschung hingewiesen.

Volatilität und Streuung von Preisen stündlicher Kontrakte

Im vierten Kapitel werden die Preisschwankungen der stündlichen Kontrakte auf dem deutschen kontinuierlichen Intraday-Markt analysiert. Diese Schwankungen sind aufgrund der zunehmenden Bedeutung des Marktes, weitestgehend ausgelöst durch die Energiewende, für eine Vielzahl von Stromhändlern relevant. Die Darstellung entspricht im Wesentlichen der bereits veröffentlichten Studie „Volatility and Dispersion of Hourly Electricity Contracts on the German Continuous Intraday Market“ von Baule und Naumann (2021). Im Kern des Kapitels steht die Beantwortung der im Rahmen der Zielsetzung genannten ersten drei Fragen:

- Wie und in welcher Höhe lassen sich Preisschwankungen stündlicher Kontrakte auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt messen?
- Wie lassen sich Preisschwankungen stündlicher Kontrakte auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt ex-post erklären?
- Inwieweit lassen sich Preisschwankungen stündlicher Kontrakte auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt in der letzten Handelsstunde prognostizieren?

Zunächst erfolgt eine Darlegung der Motivation inklusive wissenschaftlicher Beiträge für dieses Kapitel und die Beschreibung verwandter wissenschaftlicher Literatur. Nach anschließender Präsentation der verwendeten Daten wird sich mit der Messung der Preisschwankungen bzw. Volatilität auf Transaktionsebene beschäftigt. Aufgrund der kurzen Laufzeiten, der asymmetrischen Verteilung des Handelsvolumens und der negativen Preise lässt sich das klassische Volatilitätsmaß, die (annualisierte) Standardabweichung der logarithmischen Renditen, nicht direkt übertragen. Nach der Auswahl verschiedener Maße zur Messung der Preisschwankungen geht es um die Identifikation von Variablen, die sich zur Erklärung der Preisschwankungen eignen. Bei den überprüften Variablen handelt es sich um Fundamentaldaten und um marktbezogene Größen. Beispiele für diese Variablen sind der Anteil der Stromerzeugung aus Windenergie bzw. Solarenergie am Gesamtverbrauch innerhalb einer Lieferstunde, das gehandelte Volumen oder der relative Anteil des transnationalen Handels am Handelsvolumen eines entsprechenden Kontrakts.

Abschließend geht es um die Prognose von Preisschwankungen. Diesbezüglich wird sich aus zwei Gründen ausschließlich auf die realisierten Preisschwankungen innerhalb der letzten Handelsstunde fokussiert. Zum einen wird ein signifikanter Anteil

des Handelsvolumens in dieser Stunde realisiert. Zum anderen können aufgrund der Fokussierung auf die letzte Handelsstunde Informationen aus der vergangenen Zeitreihe des Kontrakts sowie von zeitlich benachbarten Kontrakten verwendet werden, die für den Gesamtzeitraum zur Prognose nicht vorliegen. Im Ergebnis lässt sich bei der Vorhersage zwischen handels- bzw. marktbezogenen Variablen und fundamentalen Variablen differenzieren.

Konstruktion und Analyse eines flexiblen Stromzertifikats

Im fünften Kapitel geht es um die Ermöglichung einer flexibleren Nachfrage nach stündlichen Stromkontrakten, indem die täglichen Preise des Day-Ahead-Markts zusätzlich einer Prämie handelbar gemacht werden. Der Nutzen dieser Möglichkeit besteht darin, dass die stündlichen Kontrakte nach Abschluss der Auktion zu bekannten Preisen handelbar sind, während der Handel am Day-Ahead-Markt anhand von Prognosen und entsprechenden Preisrisiken zu erfolgen hat. Die Möglichkeit wird durch flexible Stromzertifikate abgebildet, die in diesem Kapitel konstruiert und empirisch analysiert werden. Derartige Zertifikate wären auch im Sinne der Energiewende, da durch diese eine flexiblere Nachfrage nach günstigerem und häufig grünem Strom ermöglicht wird. Die Darstellung entspricht im Wesentlichen der bereits veröffentlichten Studie „Flexible Short-Term Electricity Certificates – An Analysis of Trading Strategies on the Continuous Intraday Market“ von Baule und Naumann (2022). Die Beantwortung der im Rahmen der Zielsetzung genannten letzten drei Fragen steht im Kern dieses Kapitels:

- Wie gut funktionieren heuristische Handelsstrategien auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt im Vergleich zu den Preisen des Day-Ahead-Markts?
- Zu welchen fixen Preisen lassen sich stündliche Kontrakte im Anschluss an die Day-Ahead-Auktion anbieten?
- In welchem Bereich bewegen sich theoretisch maximale Zahlungsbereitschaften potenzieller Nachfrager für stündliche Kontrakte, die im Anschluss an die Day-Ahead-Auktion zu fixen Preisen angeboten werden?

Analog zum vorherigen Kapitel erfolgt zunächst eine Darlegung der Motivation inklusive wissenschaftlicher Beiträge für dieses Kapitel und die Beschreibung verwandter wissenschaftlicher Literatur. Anschließend wird das flexible Zertifikat ausführlicher dargelegt und unter anderem angenommen, dass sich die Preise der Zertifikate aus den entsprechenden Preisen am Day-Ahead-Markt und einer notwendigen Prämie zusammensetzen. Die notwendige Prämie hängt von der Höhe der fehlenden bzw. überschüssigen Stromvolumina und dem Handelserfolg am kontinuierlichen Intraday-Markt ab.

Nach Darlegung der verwendeten Daten wird das Zertifikat aus Perspektive des Angebots und der Nachfrage analysiert. Aus Angebotsperspektive ist die notwendige Prämie

von Relevanz. Diese Prämie wird anhand von verschiedenen heuristischen Handelsstrategien auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt analysiert, diskutiert und eingeordnet. Aus Perspektive der Nachfrage ist ein Angebot des Zertifikats nur vielversprechend, wenn der Preis unter der maximalen Zahlungsbereitschaft einzelner Nachfrager liegt. Die Analyse maximaler Zahlungsbereitschaften für ein flexibles Zertifikat erfolgt unter Annahme verschiedener Risikoeinstellungen potenzieller Nachfrager. Abschließend werden Angebot und Nachfrage gemeinsam diskutiert, indem die maximalen Zahlungsbereitschaften in den Kontext der notwendigen Prämien gesetzt werden.

Schlussbetrachtung

Im sechsten Kapitel wird zunächst ein studienübergreifendes Fazit gezogen. Dabei werden die vorab aufgeführten Kernfragen dieser Arbeit aufgegriffen und zusammenfassend beantwortet. Im zweiten Teil der Schlussbetrachtung wird ein kurzer Ausblick zum kontinuierlichen Intraday-Markt und möglichen Anknüpfungspunkten für Forschungsarbeiten gegeben. Des Weiteren wird knapp auf Limitationen der vorliegenden Arbeit eingegangen.

2 Grundlagen des deutschen Strommarkts

Im Rahmen dieses Kapitels werden Grundlagen des deutschen Strommarkts dargestellt. Dabei fokussieren die Darstellungen auf die relevanten (ökonomischen) Aspekte, um die Preisbildung sowie den Handel von kurzfristigen Stromkontrakten, die für die deutsche Handelszone hauptsächlich an der EPEX SPOT gehandelt werden, nachvollziehbar zu gestalten. Insbesondere wird dabei auch die Notwendigkeit für den Handel auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt verdeutlicht.

Die Preise auf dem deutschen Strommarkt kommen durch Angebot und Nachfrage zustande. Durch die nur bedingt vorhandene Möglichkeit der Speicherung von Strom sowie die Netzgebundenheit ergeben sich allerdings ökonomische Besonderheiten, die für andere Energieformen wie Öl oder Erdgas nicht gelten. So müssen jederzeit die eingespeiste und konsumierte Menge an Elektrizität übereinstimmen, damit das Netz stabil bleibt. Darüber hinaus lässt sich Strom aus verschiedenen Quellen, was mit unterschiedlichen Produktionskosten einhergeht, erzeugen. Dabei ist die Erzeugung aus erneuerbaren Energien günstig und emissionsfrei, jedoch sehr volatil und bezüglich der erzeugten Menge von meteorologischen Gegebenheiten abhängig. Diese Schwankungen erfordern einen stetigen Ausgleich, den der Strommarkt und seine Marktteilnehmer leisten müssen.

Das Kapitel ist wie folgt gegliedert. Abschnitt 2.1 stellt die Eigenschaften von Strom sowie die grundlegenden Rahmenbedingungen des deutschen Strommarkts dar. Der anschließende Abschnitt 2.2 beschäftigt sich mit der Preisbildung für Strom durch Angebot und Nachfrage. Des Weiteren wird das Merit-Order-Modell vorgestellt. Im abschließenden Abschnitt 2.3 wird ausführlich auf die verschiedenen Handelsmöglichkeiten des Spotmarkts der EPEX SPOT eingegangen.

2.1 Grundlegende Organisation

2.1.1 Elektrizität

Bei der Energieversorgung nimmt Elektrizität aufgrund seiner Eigenschaften im Vergleich zu anderen Waren, wie beispielsweise Öl oder Erdgas, eine Sonderstellung ein. So unterscheidet sich Strom von den genannten zunächst hinsichtlich der Rangordnung der Energien.¹ Während beispielsweise Öl und Erdgas Primärenergien und damit natürliche Ressourcen sind, ist Strom, wie auch zum Beispiel Benzin oder Diesel, eine Sekundärenergie. Strom entsteht somit erst durch die Umwandlung von Primärenergien. Unabhängig von der verwendeten Primärenergie entsteht bei der Stromproduktion ein homogenes Gut.²

Die relevante Sonderstellung ergibt sich durch die Eigenschaften von Strom. Allgemein lässt sich unter Strom eine flussartige Bewegung von Elektronen (geladenen Teilchen) verstehen.³ Durch diese flussartige Bewegung ist ein Transport von Strom nur leitungsgebunden möglich, wodurch die Notwendigkeit von Stromnetzen entsteht.⁴ Der erzeugte Strom wird in das Stromnetz eingespeist und von Verbrauchern entnommen. Zu beachten ist dabei, dass die Menge der Einspeisungen und der Entnahmen zu jedem Zeitpunkt im Gleichgewicht sein müssen, damit die Netzspannung und -frequenz aufrechterhalten werden. Ansonsten könnte es zu einem Zusammenbruch des Stromnetzes kommen.⁵ Die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts wird insbesondere dadurch komplex, dass produzierter Strom nur bedingt gespeichert und anschließend zu einem späteren Zeitpunkt entnommen werden kann. Möglichkeiten der Speicherung ergeben sich beispielsweise durch Batterien oder das Betreiben von Pumpspeicherkraftwerken, wobei dies allerdings nur in einem sehr begrenzten Umfang möglich ist.⁶ Insgesamt sind die Erzeugung und der Verbrauch von Strom durch die Netzgebundenheit und die kaum vorhandene Möglichkeit der Speicherung mit umfangreichen technischen Restriktionen verbunden und führen dazu, dass der Marktausgleich, also das Aufrechterhalten der Netzspannung und -frequenz, extrem kurzfristig zu erfolgen hat.⁷

Wie in Abschnitt 1.1 bereits kurz beschrieben, wird im Rahmen der Arbeit eine energiewirtschaftliche Perspektive eingenommen und Begriffe wie Strom, Elektrizität und (elektrische) Energie werden als Synonyme verwendet. Physikalisch ist dies nicht kor-

¹ Vgl. hier und im Folgenden Schiffer (2019), S. 2 f.

² Vgl. auch Graeber (2014), S. 4.

³ Vgl. Konstantin (2017), S. 101.

⁴ Vgl. hier und im Folgenden Zylka (2010) S. 38 f.

⁵ Vgl. dazu auch Löschel et al. (2020), S. 344.

⁶ Vgl. Frank (2011) S. 8.

⁷ Vgl. Zylka (2010), S. 39. Vgl. zum Marktausgleich Abschnitt 2.1.5.

rekt.⁸ Zu unterscheiden sind die elektrische Stromstärke mit der Einheit Ampere und die elektrische Spannung mit der Einheit Volt. Die Stromstärke gibt die Intensität des elektrischen Stroms an und unter der Spannung lässt sich die Energie verstehen, die aufgewendet werden muss, um eine elektrische Ladung zu bewegen. Durch Multiplikation der Stromstärke und der Spannung ergibt sich die Leistung, die in Watt gemessen wird. Die Leistung gibt an, welche Menge Energie je Zeiteinheit umgewandelt wird.⁹ Elektrische Energie kann somit durch ein Kraftwerk mit einer Leistung über einen Zeitraum erzeugt werden.¹⁰ Die in Nutzenergie umgewandelte elektrische Energie heißt elektrische Arbeit.¹¹ Dabei wird so viel elektrische Energie umgewandelt wie elektrische Arbeit verrichtet wird. Die Energie bzw. Arbeit ergibt sich durch Multiplikation von Leistung mit einem betrachteten Zeitintervall, angegeben beispielsweise in der Einheit Wattstunde. Während für die meisten privaten Haushalte die Kilowattstunde (kWh) die relevante Kenngröße darstellt, erfolgen die Angaben in der Energiewirtschaft häufig in Vielfachen, also Megawattstunde (MWh), Gigawattstunde (GWh) oder Terawattstunde (TWh).¹²

2.1.2 Stromnetze

Wie dargelegt handelt es sich bei Elektrizität um ein leitungsgebundenes Gut, weshalb eine umfangreiche Infrastruktur für den Transport bzw. die Verteilung notwendig ist.¹³ Für die Bereitstellung der Marktinfrastruktur sind die Stromnetzbetreiber zuständig.¹⁴

Hinsichtlich der Organisation der Zuständigkeiten lassen sich in europäischen und deutschen Stromnetzen zunächst verschiedene Spannungsebenen unterscheiden.¹⁵ Dabei beträgt die höchste Spannung einer Ebene 380 Kilovolt und die niedrigste Spannung einer Ebene 230 Volt. Die Notwendigkeit der unterschiedlichen Spannungsebenen ergibt sich aus mehreren Gründen. So sind die hohen Spannungen bei der Übertragung von Strom über große Entfernungen notwendig, da aufgrund des ohmschen Widerstands ansonsten zu große Netzverluste auftreten. Gleichzeitig können die hohen Spannungen durch Verbraucher nicht genutzt werden, weshalb eine Transformation auf niedrigere Spannungen erfolgen muss. Neben dem Transport von Elektrizität über große Wege im Inland besteht das Höchstspannungsnetz auch um den Stromaustausch zwischen benachbarten Ländern (Import und Export) zu ermöglichen.

⁸ Vgl. hier und im Folgenden Wawer (2022), S. 32 f.

⁹ Vgl. Konstantin (2017), S. 392.

¹⁰ Vgl. Wawer (2022), S. 34. Aus physikalischer Sicht gibt es auch keine Energieerzeugung bzw. -verbrauch, sondern nur Energieumwandlungen; vgl. Löscher et al. (2020), S. 6.

¹¹ Vgl. hier und im Folgenden Wawer (2022), S. 32–34.

¹² Auf diese Größen beziehen sich auch im Folgenden verwendete (ökonomische) Begriffe wie die Stromerzeugung, -menge, -verbrauch oder das (Handels-)Volumen im Kontext des Stromhandels.

¹³ Vgl. Wawer (2022), S. 72.

¹⁴ Vgl. Graeber (2014), S. 4.

¹⁵ Vgl. hier und im Folgenden Wawer (2022), S. 72 f.

Unabhängig der Spannungsebene ist für ein stabiles Stromnetz eine konstante Netzfrequenz notwendig.¹⁶ Im europäischen bzw. deutschen Stromnetz ist die Netzfrequenz auf 50 Hertz festgelegt. Wird mehr Strom eingespeist als verbraucht, steigt die Netzfrequenz und vice versa.¹⁷ Dabei ist eine positive bzw. negative Abweichung der Frequenz von zehn Millihertz unbedenklich, weshalb es einen kleinen Toleranzbereich gibt. Größere Abweichungen erfordern aktive Ausgleichsmechanismen (Einsatz von Regelenergie), die durch die Stromnetzbetreiber zu gewährleisten sind.¹⁸

Aus Perspektive der Stromnetzbetreiber lässt sich zwischen Übertragungsnetzbetreibern und Verteilnetzbetreibern unterscheiden, wobei die Aufteilung der Verteilung auf diese Betreiber anhand der Spannungsebenen erfolgt.¹⁹ Die Höchstspannungsebene fällt dabei stets in den Verantwortungsbereich der Übertragungsnetzbetreiber.²⁰ Für den Betrieb des Netzes sind grundsätzlich die Systembetreiber verantwortlich. In Deutschland existieren vier Regelzonen und in jeder Regelzone ist ein Übertragungsnetzbetreiber für den Betrieb des Netzes verantwortlich. Die vier Übertragungsnetzbetreiber sind die 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH und TransnetBW GmbH. Die Verantwortung über den Betrieb umfasst die Systemsicherheit und die Abwicklung des Stromtransports. Eine Regelzone ist dabei ein geographisch festgelegter Verbund von Hoch- und Höchstspannungsnetzen.²¹ Abbildung 2.1 veranschaulicht die geographische Aufteilung der vier Regelzonen und den verantwortlichen Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland.

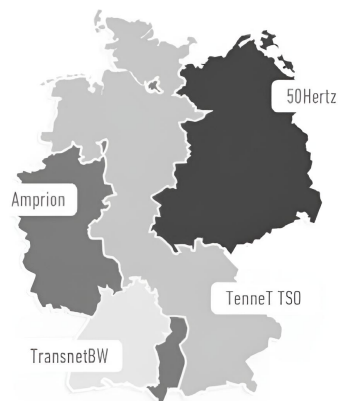


Abbildung 2.1. Aufteilung der vier Regelzonen sowie deren Übertragungsnetzbetreiber im deutschen Marktgebiet. (Quelle: Graeber (2014), S. 5.)

¹⁶ Vgl. hier und im Folgenden Linnemann (2021), S. 154.

¹⁷ Vgl. hier und im Folgenden Wawer (2022), S. 98.

¹⁸ Vgl. zu den Ausgleichsmechanismen Abschnitt 2.1.5.

¹⁹ Vgl. Wawer (2022), S. 74.

²⁰ Vgl. hier und im Folgenden Wawer (2022), S. 75.

²¹ Vgl. Wawer (2022), S. 72–74.