

Neue
Betriebswirtschaftliche
Studienbücher

Band 47

Michael Naumann

Volatilitäten und Handels- strategien am deutschen kontinuierlichen Intraday- Markt für Strom



Berliner
Wissenschafts-Verlag

Volatilitäten und Handelsstrategien am deutschen kontinuierlichen Intraday-Markt für Strom

Neue Betriebswirtschaftliche Studienbücher

Begründet von Prof. Dr. Hans-Dieter Deppe †

Herausgegeben von

Prof. Dr. Rainer Baule, Prof. Dr. Wolfgang Benner,
Prof. Dr. Thomas Burkhardt, Prof. Dr. Oliver Entrop,
Prof. Dr. Jan Körnert, Prof. Dr. Karl Lohmann,
Prof. Dr. Hendrik Scholz, Prof. Dr. Ursula Walther,
Prof. Dr. Marco Wilkens

Band 47

Michael Naumann

Volatilitäten und Handelsstrategien am deutschen kontinuierlichen Intraday-Markt für Strom



Berliner
Wissenschafts-Verlag

Der Autor

Michael Naumann ist seit 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Bank- und Finanzwirtschaft an der FernUniversität in Hagen. Er ist in der universitären Lehre sowie in der Forschung tätig und befasst sich mit dem deutschen Strommarkt.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über dnb.d-nb.de abrufbar.

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtes ist unzulässig und strafbar.

© Berliner Wissenschafts-Verlag, 2024

Ein Imprint der Franz Steiner Verlag GmbH, Stuttgart

www.steiner-verlag.de

Druck: docupoint, Magdeburg

Gedruckt auf holzfreiem, chlor- und säurefreiem, alterungsbeständigem Papier.

Printed in Germany.

ISBN Print 978-3-8305-5579-7

ISBN E-Book 978-3-8305-5580-3

DOI <https://doi.org/10.35998/9783830555803>

Für Müzeyyen

Geleitwort

Der börsliche Stromhandel kann als ein Eckpfeiler der Energiewende angesehen werden. Die (zeitlich) effiziente Nutzung von Strom insbesondere aus erneuerbaren Energieträgern wird dabei durch die Signale und Lenkungswirkungen der Marktpreise bestärkt. Bereits mit Beginn des neuen Jahrtausends etablierte sich die European Energy Exchange als erste Börse für elektrischen Strom in Deutschland. Mittlerweile wird das Geschäft von der EPEX SPOT betrieben. Während zu Beginn die so genannte Day-Ahead-Auktion eine dominante Stellung einnahm, gewinnt in den letzten Jahren der kurzfristige kontinuierliche Intraday-Handel von Strom immer mehr an Bedeutung. Im Rahmen dieses Segments können Marktteilnehmer bis kurz vor Lieferung von elektrischer Energie in einem Stunden- oder Viertelstundenintervall entsprechende Kontrakte handeln. Im Jahr 2021 machte der Intraday-Handel bei steigender Tendenz etwa 20 % des Gesamtvolumens an der EPEX SPOT aus.

Die steigende Relevanz dieses Marktsegments erklärt sich zu einem großen Teil durch die Zunahme der Prognoseunsicherheit in Bezug auf die Stromerzeugung durch wetterabhängige Energieformen, namentlich Wind- und Solarenergie. Abweichungen zur Prognose machen kurzfristige Reaktionen notwendig, wie sie auf dem Intraday-Markt möglich sind. Die wachsende Bedeutung des Intraday-Handels steht dabei in einem Missverhältnis zur Verfügbarkeit wissenschaftlich fundierter Studien. Zwar nahm das wissenschaftliche Interesse am Strommarkt in den letzten beiden Jahrzehnten ebenso stark zu; der Großteil der Arbeiten fokussierte aber auf den Day-Ahead-Markt. Umso verdienstvoller ist es, dass sich Herr Naumann in seiner Dissertation diesem bisher eher vernachlässigten Marktsegment widmet.

Diese Aussage wird unterstrichen von dem Umstand, dass es bisher noch kein etabliertes Verfahren gibt, Volatilitäten in diesem Marktsegment zu messen. Von anderen Märkten bekannte Methoden sind aufgrund von Besonderheiten des Intraday-Handels nicht ohne Weiteres zu verwenden, und die wenigen vorhandenen Studien umgehen die Thematik, indem sie Preisschwankungen zwischen aufeinanderfolgenden Kontrakten anstelle von Intraday-Preisschwankungen eines Kontraktes messen. Herr Naumann leistet insofern zunächst Pionierarbeit, indem er verschiedene Volatilitätsmaße für den kontinuierlichen Intraday-Stromhandel diskutiert und auf ihre Eignung hin analysiert.

Mit dieser Vorarbeit kann er u. a. aufzeigen, dass der relative Anteil an Windenergie oder das Ausmaß des Handelsvolumens erhöhend auf die Marktvolatilität wirken.

Das zweite Hauptkapitel widmet sich einer anwendungsorientierten Fragestellung: Wie können Stromanbieter die variablen Preise des Day-Ahead-Markts an interessierte Kunden weitergeben? Im Gegensatz zu bereits existierenden Angeboten an Privatkunden (mit relativ hohen Aufschlägen auf den Börsenpreis) hat Herr Naumann dabei industrielle Stromabnehmer mit prognostizierbaren Liefermengen im Blick. Das Problem aus Sicht des Stromanbieters besteht darin, dass die Day-Ahead-Preise Ergebnisse einer abgeschlossenen Auktion sind, zu denen nach Auktionsende kein börslicher Handel möglich ist. Da das von den Kunden nachgefragte Volumen vor Ende der Auktion unbekannt ist, kann der Anbieter nicht einfach selbst an der Auktion teilnehmen und auf das nachgefragte Volumen bieten. Herr Naumann betrachtet daher den Handel des benötigten Volumens auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt. Hierzu schlägt er verschiedene heuristische Handelsstrategien vor und analysiert deren Erfolg aus Sicht des Anbieters sowie die resultierenden Preise aus Sicht eines potenziellen Kunden.

Diese Analysen sind von hoher praktischer Relevanz – flexible Stromtarife insbesondere auch im industriellen Bereich sind eine zwingende Voraussetzung für eine flexible Stromnachfrage, welche wiederum die beste Lösung des Problems volatiler Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern darstellt. Herr Naumann leistet einen grundlegenden Beitrag zu der Frage, wie dies gelingen kann. Sowohl aufgrund des wissenschaftlichen Gehalts als auch der Bedeutung für Anwender ist der Arbeit eine hohe Aufmerksamkeit und Verbreitung zu wünschen.

Hagen, im August 2023

Rainer Baule

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Bank- und Finanzwirtschaft der FernUniversität in Hagen entstanden. Im Frühling 2023 wurde sie an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaft der FernUniversität als Dissertationsschrift angenommen.

Zu Beginn meiner Promotionszeit hatte ich nicht erwartet, im welchem Maße Ausdauer und eine gewisse Frustrationstoleranz auf dem Weg zur Fertigstellung einer Dissertation notwendig sind. Häufig hatte man bei verschiedenen Teilprojekten der Dissertation das Gefühl, dass der Erfolg zum Greifen nah war, nur um kurze Zeit später wieder am Ausgangspunkt zu stehen. Diese Rückschläge bei der Erstellung hatten aber auch positive Seiten. Zum einen lernte man aus den Erfahrungen, auch wenn es manchmal nur die Erkenntnis war, wie etwas nicht funktioniert. Zum anderen war die Freude über die Abgabe der Dissertation dadurch natürlich größer, da der Weg bis dahin durchaus komplex war. Im Rückblick lässt sich auch leicht vergegenwärtigen, dass die erfolgreiche Promotion ohne die Unterstützung bzw. Ermöglichung anderer nicht erreichbar gewesen wäre. Diesen möchte ich meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Mein erster Dank gebührt aus einigen Gründen meinem Doktorvater, Rainer Baule. Zunächst bedanke ich mich für die gute Ausbildung. Insbesondere die Abschlussarbeiten und die von Ihnen angebotenen Seminare waren sehr lehrreich. Darüber hinaus möchte ich Ihnen auch explizit dafür danken, dass Sie mir überhaupt die Chance zur Promotion gegeben haben, indem Sie mich noch während meiner Zeit als Student der FernUniversität auf die freie Stelle an Ihrem Lehrstuhl hingewiesen haben. Abschließend verbleibt noch der vielleicht wichtigste Aspekt, für den ich mich herzlich bedanke – Ihre Betreuung über die letzten Jahre. Durch diese haben Sie einen erheblichen Anteil an diesem Werk und meiner erfolgreichen Promotion. Sie haben mir bei der Betreuung stets ein gutes Gefühl vermittelt und haben sich für Fragen jeglicher Art Zeit genommen. Dadurch konnte ich nicht nur viel lernen, sondern auch in einem sehr angenehmen Arbeitsumfeld promovieren.

Des Weiteren möchte ich mich herzlich bei Andreas Kleine für die Übernahme des Zweitgutachtens der Dissertationsschrift und bei Joscha Beckmann für die Tätigkeit als Drittprüfer bedanken. Darüber hinaus bedanke ich mich bei den Herausgebern der

Neuen Betriebswirtschaftlichen Studienbücher für die Aufnahme der Dissertation in die Schriftenreihe.

Auch bei meinen (ehemaligen) Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, Jasmin Mazurek, Milena Tieves, Karin Niehoff, David Shkel, Jan Vogelheim, Sebastian Wessels, Patrick Münchhaffen, Philip Rosenthal, Florian Borchard, Sebastian Schlie, Falk Jensen, Oliver Beckmann, Lennart Sperling und Niklas Wasielewski möchte ich mich herzlich für die Unterstützung bedanken. Jeder einzelne von euch hat meine Promotionszeit auf die eine oder andere Weise bereichert. Sei es durch den persönlichen Austausch, den gemeinsamen (meist spaßigen) Erlebnissen bei den Lehrstuhlausflügen oder durch euer wertvolles Feedback zu diesem Werk. Einige von euch sind zu guten Freunden geworden. Euch alle nochmals einzeln hervorzuheben, würde den Rahmen dieses Vorworts allerdings überschreiten. Nichtsdestotrotz möchte ich zumindest David Shkel nochmals explizit danken. Es ist gut möglich, dass mein Weg niemals nach Hagen geführt hätte, hättest Du damals nicht die Betreuung meiner Seminararbeit während meines Masterstudiums übernommen. Auch für das Korrekturlesen der kompletten Arbeit nochmals vielen Dank. Dafür danke ich ebenso ausdrücklich Oliver Dippel.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie für die Unterstützung außerhalb der Wissenschaft bedanken. Zunächst bei meinen Eltern und meinen Geschwistern. Ihr habt mich immer das tun lassen, was ich für richtig hielt, und mich dabei uneingeschränkt unterstützt. Vor allem habt ihr mich auch darin bestärkt, die Promotion ins Ziel zu fassen. Ebenso möchte ich mich bei meinen Schwiegereltern bedanken. Zum einen für eure großartige Tochter und zum anderen für eure Unterstützung, insbesondere in den letzten Monaten der Promotion. Daran anknüpfend bedanke ich mich auch bei meiner Tochter Mira. Obwohl Du erst seit der Endphase der Promotion unser Leben bereicherst, konntest Du schnell vermeintlich anstrengende und nicht allzu gute Tage mit einem Lächeln zum Besseren führen. Du hast mich motiviert, endlich fertig zu werden.

Abschließend gilt mein größter Dank meiner Frau, Müzeyyen. Du warst fast die komplette Promotionszeit an meiner Seite und hast mich seitdem stets unterstützt. Du hast mir jegliche Hilfe gegeben, die ich benötigte. Auch, wenn ich manchmal selbst nicht wusste, was ich eigentlich brauchte. Dies hat sich auch nie geändert, selbst wenn ich an manchen Tagen möglicherweise ein wenig anstrengend war. Ich freue mich schon auf die Zukunft mit dir. Unabhängig der Promotion bin ich wirklich froh, nach Hagen gekommen zu sein, um dich kennenzulernen.

Hagen, im September 2023

Michael Naumann

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xvii
Abkürzungsverzeichnis	xix
Verzeichnis wichtiger Symbole	xxi
1 Einführung	1
1.1 Thematische Einleitung und Zielsetzung	1
1.2 Struktur und Aufbau der Dissertation	6
2 Grundlagen des deutschen Strommarkts	11
2.1 Grundlegende Organisation	12
2.1.1 Elektrizität	12
2.1.2 Stromnetze	13
2.1.3 Stromhandel	16
2.1.4 Bilanzkreise und Fahrpläne	17
2.1.5 Ausgleich	19
2.2 Preisbildung	22
2.2.1 Grundlagen	22
2.2.2 Angebot	23
2.2.3 Nachfrage	28
2.2.4 Merit-Order	31

2.3	Spotmarkt	32
2.3.1	Überblick	32
2.3.2	Auktionen	34
2.3.3	Kontinuierlicher Intraday-Markt	35
2.3.4	Handelsvolumina und Preise	39
3	Literaturüberblick	47
3.1	Preise und Volatilitäten	48
3.2	Liquidität	52
3.3	Handelsstrategien	54
3.4	Prognosen	60
3.5	Marktdesign	64
3.6	Zusammenfassende Übersicht	67
4	Volatilität und Streuung von Preisen stündlicher Kontrakte	71
4.1	Einleitung	72
4.1.1	Motivation und wissenschaftlicher Beitrag	72
4.1.2	Verwandte Literatur	75
4.2	Daten und Methodik	76
4.2.1	Datensatz	76
4.2.2	Maße für Preisschwankungen	78
4.2.3	Deskriptive Statistik	82
4.3	Gesamte Preisschwankungen	86
4.3.1	Externe Treiber	86
4.3.2	Jahreszeitliche und tägliche Treiber	94
4.3.3	Stündliche Treiber	97
4.4	Letzte Handelsstunde und Volatilitätsprognosen	100
4.4.1	Externe Treiber in der letzten Handelsstunde	100
4.4.2	Prognoseindikatoren	102

4.5	Zwischenfazit	107
5	Konstruktion und Analyse eines flexiblen Stromzertifikats	111
5.1	Einleitung	112
5.1.1	Motivation und wissenschaftlicher Beitrag	112
5.1.2	Verwandte Literatur	115
5.2	Flexible Stromzertifikate	117
5.3	Daten und deskriptive Statistik	119
5.3.1	Datensatz	119
5.3.2	Deskriptive Statistik und Implikationen	120
5.4	Strategien	125
5.4.1	Definition	125
5.4.2	Implementation	128
5.5	Performance der Strategien	130
5.5.1	Durchschnittliche Prämien	130
5.5.2	Risiko	133
5.5.3	Analyse der stündlichen Kontrakte	136
5.6	Zeitreiheneigenschaften und externe Treiber	140
5.7	Grenzpreise	145
5.7.1	Methodik	145
5.7.2	Resultate	148
5.7.3	Bezug zu Strategieprämien	150
5.8	Zwischenfazit	152
6	Schlussbetrachtung	155
6.1	Studienübergreifendes Fazit	155
6.2	Ausblick und Limitationen	159
	Literaturverzeichnis	161

Abbildungsverzeichnis

2.1	Aufteilung der vier Regelzonen im deutschen Marktgebiet.	14
2.2	Beispielhafte Bilanzkreise für ein 15-Minuten-Zeitintervall.	18
2.3	Strommix nach Erzeugern in Deutschland im Jahr 2022.	24
2.4	Preise ausgewählter Brennstoffe sowie eines CO ₂ -Emissionsrechts in den Jahren 2021 und 2022.	25
2.5	Stromerzeugnisse aus Solar- und Windenergie.	27
2.6	Täglicher Stromverbrauch in Deutschland im Jahr 2022.	29
2.7	Stündlicher Stromverbrauch und stündliche Residuallast, jeweils in Deutschland im Jahr 2022.	30
2.8	Preisbildung im Merit-Order-Modell.	31
2.9	Typische Struktur eines Handelstages an der EPEX SPOT.	33
2.10	Handelsvolumina an der EPEX SPOT im deutschen Marktgebiet.	40
2.11	Tägliche Durchschnittspreise (PHELIX) der EPEX SPOT Day-Ahead-Auktion zwischen Januar 2016 und Dezember 2022.	42
4.1	Realisierte Preisentwicklung von zwei stündlichen Beispielkontrakten. . .	78
4.2	Verteilung des relativen Handelsvolumens der stündlichen Kontrakte in Abhängigkeit der Restlaufzeit.	79
4.3	Histogramme der realisierten Preise und der Preisschwankungsmaße. . . .	85
4.4	Adjustierte R^2 der einzelnen Regressionen für die 24 stündlichen Kontrakte.	97
4.5	Ergebnisse der einzelnen Regressionen für die 24 stündlichen Kontrakte. .	98
4.6	Autokorrelation für das Maß VSD^{final}	103

5.1	Täglicher Angebotsprozess des flexiblen Zertifikats aus Perspektive des Anbieters.	113
5.2	Deskriptive Statistiken zu den Preises des Day-Ahead-Markts.	121
5.3	Deskriptive Statistik des kontinuierlichen Intraday-Orderbuchs für einzelne stündliche Kontrakte.	123
5.4	Geld-Brief-Spannen auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt.	124
5.5	Mittelwerte der Strategieprämien.	131
5.6	Risiken der Strategien.	134
5.7	Boxplots der Strategieprämien.	137
5.8	Autokorrelationen der Strategieprämien.	140
5.9	Grenzpreise für verschiedene Akteure.	149
5.10	Notwendige Prämien P in Abhängigkeit vom gehandelten Volumen am Day-Ahead-Markt.	152

Tabellenverzeichnis

2.1	Jährliche Durchschnittspreise der Day-Ahead-Auktion und des kontinuierlichen Intraday-Markts.	43
3.1	Literaturübersicht zum deutschen kontinuierlichen Intraday-Markt.	70
4.1	Deskriptive Statistiken und Korrelation der Preisschwankungsmaße.	83
4.2	Deskriptive Statistiken der erklärenden Variablen für die Regressionen der Preisschwankungsmaße.	87
4.3	Regressionsergebnisse für die Preisschwankungen im gesamten Handelszeitraum.	89
4.4	Korrelationen zwischen den erklärenden Variablen untereinander und mit der volumengewichteten Standardabweichung VSD	92
4.5	Ergebnisse verschiedener Regressionsmodelle für das Maß VSD	93
4.6	Jahreszeitliche und tägliche Ergebnisse für die volumengewichtete Standardabweichung VSD	95
4.7	Regressionsergebnisse für die Preisschwankungen in der letzten Handelsstunde.	101
4.8	Ergebnisse der Prognoseregressionen.	105
5.1	Deskriptive Statistiken des kontinuierlichen Intraday-Orderbuchs.	122
5.2	Handelsregeln für die Kaufstrategien I–III.	128
5.3	Deskriptive Statistiken der Strategieprämien für ein Handelsvolumen von 100 MWh, basierend auf Strategie III.	136
5.4	Strategieprämien für unterschiedliche Teilmengen.	138

5.5	Deskriptive Statistiken der erklärenden Variablen für die Regressionen der Strategieprämien.	142
5.6	Regressionsergebnisse für die Strategieprämien.	143

Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz
adj.	adjustiert
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
B	beliebige (Kontrakte)
Beob.	Beobachtungen
C01	Kontrakt mit Stromlieferung zwischen 00:00 und 01:00 Uhr
C02	Kontrakt mit Stromlieferung zwischen 01:00 und 02:00 Uhr
C03	Kontrakt mit Stromlieferung zwischen 02:00 und 03:00 Uhr
C08	Kontrakt mit Stromlieferung zwischen 07:00 und 08:00 Uhr
C15	Kontrakt mit Stromlieferung zwischen 14:00 und 15:00 Uhr
C22	Kontrakt mit Stromlieferung zwischen 21:00 und 22:00 Uhr
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEX	European Energy Exchange
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
ES	Expected Shortfall
EPEX SPOT	European Power Exchange
EXAA	Energy Exchange Austria
F	konsekutive bzw. folgende (Kontrakte)
FE	Fixe Effekte
ggf.	gegebenenfalls
GWh	Gigawattstunde

ID₁	Volumengewichteter Durchschnittspreis aller Transaktionen, die zwischen einer Stunde und 30 Minuten vor Lieferung eines Kontrakts erfolgen.
ID₃	Volumengewichteter Durchschnittspreis aller Transaktionen, die zwischen drei Stunden und 30 Minuten vor Lieferung eines Kontrakts erfolgen.
kWh	Kilowattstunde
MAE	Mittlerer absoluter Fehler
Max	Maximum
Min	Minimum
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
Off-Peak	Täglicher Zeitraum zwischen 00:00 bis 08:00 Uhr und 20:00 bis 24:00 Uhr
OTC	Over-the-Counter
Peak	Täglicher Zeitraum zwischen 08:00 bis 20:00 Uhr
PHelix	Physical Electricity Index
Q	Quartal
RA	Risiko- und verlustaverser Käufer
REMIT	Verordnung über die Integrität und Transparenz des Energiegroßhandelsmarkts
RMSE	Wurzel der mittleren quadratischen Fehlers
RN	Risikoneutraler Käufer
Sd	Standardabweichung
SIDC	Single Intraday Coupling
StromNZW	Stromnetzzugangsverordnung
TWh	Terawattstunde
u. a.	unter anderem
Var	Varianz
Vgl.	Vergleiche
XBID	Cross-Border Intraday Market Project