

Optimierte Intraday-Vermarktung von dezentralen Wärme- und Kälteerzeugern

Andreas Zeiselmaier, Andreas Möbius, Johannes Jungwirth und Timo Kern

Der Ausbau der erneuerbaren Energien und die Transformation des gesamten Energiesystems sind derzeit in vollem Gange. Mit der Verabschiedung des Gebäudeenergiegesetzes hat die Bundesregierung den Weg für die kommunale Wärmeplanung freigemacht. Damit wird der Umbau des Wärmesektors gefördert, der in den letzten zehn Jahren kaum dekarbonisiert wurde. Insbesondere durch die voranschreitende Sektorenkopplung gewinnt die Flexibilität der Wärmeerzeugungsanlagen zunehmend an Bedeutung und spielt eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung eines vernetzten Energiesystems der Zukunft. Das bietet den Betreibern die Möglichkeit, ihre Erlöse durch die Teilnahme am Spotmarkt signifikant zu steigern.

Flexibilität aus dezentralen Wärme- und Kälteversorgungsanlagen

Mit dem wachsenden Anteil volatiler erneuerbarer Stromerzeugung bietet der Anlagenpark in der Fernwärme, bestehend aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen), thermischen Speichern sowie zunehmend Power-to-Heat-Anlagen und Wärmepumpen bereits jetzt die Möglichkeit, überschüssige Energie zu speichern oder bei Bedarf flexibel ihre Wärmeversorgung anzupassen. Dabei gewähren, mit einer elektrischen Erzeugung von 117 TWh im Jahr 2021, KWK-Anlagen ein essenzielles Potential [1].

Neben den systemischen Vorteilen eröffnet die Flexibilisierung der Wärmeerzeugungsanlagen Betreibern die Möglichkeit, ihre Erlöse signifikant zu steigern. Durch die Teilnahme am Spotmarkt können sie überschüssige Energie zu Zeiten hoher Nachfrage verkaufen und von fluktuierenden Strompreisen profitieren. Dies trägt nicht nur zur Wirtschaftlichkeit der Anlagen bei, sondern fördert auch die Integration erneuerbarer Energien in das Gesamtsystem.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Erschließung der Flexibilitätspotentiale aus dezentralen Anlagen die benötigte Kapazität teurer stationärer Energiespeicher reduziert. Durch Bereitstellung von Energie in Spitzenzeiten und der (thermischen) Speicherung bei geringer Nachfrage können sie einen wesentlichen Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes, einer zuverlässigen Energieversorgung und gleichzeitigen Reduktion der CO₂-Intensität im Energiesystem leisten.

Optimierung von dezentralen Energiesystemen

Die aktive Flexibilitätsvermarktung ist bereits für eine Vielzahl flexibler Stromerzeugungsanlagen gängige Praxis. Der Day-Ahead-Handel stellt dabei mit einer am EPEX Spot-Markt gehandelten Energiemenge von rund 500 TWh den Standardfall dar [2].

Neben dem Day-Ahead-Markt stehen aber auch die Intraday- und Regelenergiemärkte als weitere potenzielle Erlösquellen aus Sicht der Anlagenbetreiber zur Verfügung. Gerade die kurzfristige Vermarktung an den Intraday-Märkten dient dabei dazu, unvorhersehbare Änderungen in Strompro-

duktion und -nachfrage durch Prognoseabweichungen, Anlagenstörungen oder Ähnliches über einen Marktmechanismus aufzufangen. So kann der Einsatz von Regelenergie vermieden werden. Durch die Zunahme an erneuerbarer Energieerzeugung mit kurzfristigeren Prognoseabweichungen nimmt die Relevanz des Intraday-Handels stetig zu. Die Handelsvolumina an der EPEX Spot haben sich so in den letzten fünf Jahren mehr als verdoppelt [2]. Insbesondere bieten KWK-Anlagen durch ihre dynamische Steuerbarkeit und ihr großes Flexibilitätspotential ideale Voraussetzungen für eine kurzfristige strommarktoptimierte Vermarktung, um damit das Potential am Intraday-Handel zu nutzen.

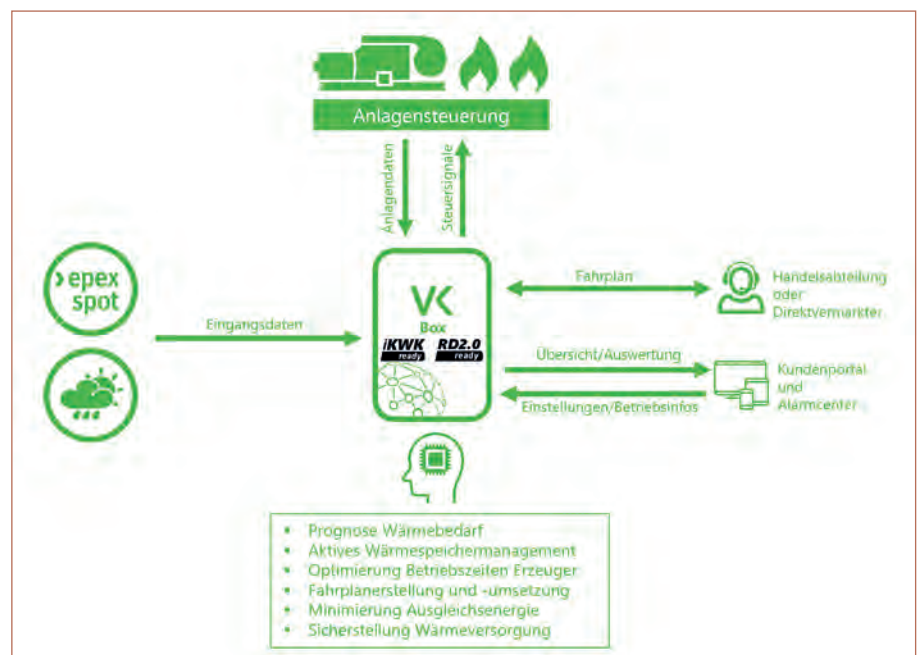


Abb. 1 Betriebsoptimierung mit der VK-Box

Die besondere Herausforderung der Flexibilitätsvermarktung bei Anlagen, die in erster Linie der Deckung des Wärmebedarfs dienen, liegt darin, eine vorausschauende Fahrweise unter genauer Kenntnis des aktuellen und zukünftigen Systemzustands zu ermöglichen. So sind neben dem Abbild aller technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der Anlage auch der aktuelle und zukünftige Wärmebedarf, Speicherfüllstand sowie marktliche Bedingungen zu berücksichtigen. Die Komplexität dieses Optimierungsproblems macht schließlich eine automatisierte maschinelle Verarbeitung durch spezialisierte Soft- und Hardware unabdingbar.

Im Rahmen des Forschungsprojektes VK-IDO [3] konnte die VK Energie GmbH gemeinsam mit der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (fFe) die Umsetzung der Intraday-Vermarktung weiter analysieren und in den Praxisbetrieb überführen.

VK Energie ist führend in der KWK- und Wärmespeicheroptimierung für Energieversorger und Industriekunden. Durch das bestehende Betriebsoptimierungs-System der VK Energie wird auf Basis eines digitalen Zwillinges der Anlagen die optimale Fahrweise unter Berücksichtigung aller genannter externer Faktoren bestimmt. Die selbst entwickelte VK-Box bietet die direkte Anbindung und Steuerung der Anlagen auf Basis des optimierten Fahrplans. Mit Hilfe des patentierten Verfahrens des „Aktiven Wärmespeicher-Managements“ und dem Einsatz künstlicher Intelligenz zur Wärmebedarfsprognose werden so die Effizienz der Anlagen gesteigert und finanzielle Mehrerlöse für die Kunden realisiert (siehe Abb. 1).

Um eine möglichst hohe Fahrplentreue zu gewährleisten, übernimmt das System der VK Betriebsoptimierung alle 15 Minuten eine Nachoptimierung zur Berücksichtigung von z.B. Prognoseabweichungen oder Störungen. Über eine Echtzeitregelung wird die

Einhaltung der Wärmeverpflichtung jederzeit sichergestellt.

Vermarktungsmöglichkeiten von dezentraler Flexibilität

Bezogen auf die Vermarktungsmöglichkeiten der so optimierten Anlagen ist eine genaue Analyse der Handlungsoptionen und der damit verbundenen Anforderung von Marktseite notwendig. Im Rahmen des Projekts wurde die für die verfügbaren Spotmarkt-Optionen (siehe Abb. 2) mit besonderem Fokus auf den kontinuierlichen Intraday-Handel durchgeführt.

Im Folgenden werden die Kombination der sinnvollsten Vermarktungsmöglichkeiten, deren zeitliche Kombination sowie ein Vergleich möglicher Intraday Continuous (IDC) Markt Umsetzungen vorgestellt.

Day-Ahead (DA)-Fahrplanoptimierung und Vermarktung

Die DA-Vermarktung verlangt einen Fahrplan in Stundenauflösung. Dieser wird unter Berücksichtigung aller technischen und wirtschaftlichen Nebenbedingungen anhand einer Strompreisprognose optimiert. So kann die Stromerzeugung der Anlage optimal in die Stunden mit den besten Strompreisen geschoben werden. Um genügend Vorlauf für die Platzierung des Angebots an der Auktion um 12 Uhr zu haben, wird die notwendige Optimierung und der zu vermarktende Fahrplan bereits in den Morgenstunden erstellt (s. Abb. 3, I). Die potenziellen Mehrerlöse gegenüber einem wärmegeführten Betrieb liegen dabei nach Erfahrungen der VK Energie aktuell bei ca. 60.000 €/a je MW_{el} installierter BHKW-Leistung bzw. 15 €/MWh_{el} bezogen auf die erzeugte Energiemenge. Dieser Wert wird allerdings maßgeblich von der Wärmespeichergröße, der Anzahl der Vollbenutzungsstunden, der Struktur der Wärmeabnahme sowie weiteren externen Faktoren beeinflusst.

Intraday Auction (IDA) Fahrplanoptimierung und Vermarktung

Die nächste Möglichkeit, kurzfristig Flexibilität zu vermarkten, bietet die IDA-Auktion um 15 Uhr. Hier werden auf Basis einer IDA-Strompreisprognose die Erlöspotenziale weiter optimiert. Im Gegensatz zur DA-Auktion kann der Fahrplan in einer 15 min Granularität eingereicht werden. Der durch die Anlage abzufahrende Fahrplan ergibt sich dementsprechend als Vereinigung der DA- und IDA-vermarkteten Energiemengen. In der Praxis zeigt sich so häufig eine Verschiebung der Erzeugungsblöcke aufgrund von Preisrampen, häufig induziert durch steigende/fallende PV-Erzeugung im Tagesverlauf (s. Abb. 3, II).

Vermarktung am Intraday Continuous (IDC)-Markt

Im Gegensatz zu den beiden zuvor genannten Auktionen mit einheitlichem Market Clearing-Preis, bietet der IDC-Markt den kontinuierlichen Handel mit individuellen Pay-As-Bid-Preisergebnissen. Der Handel ist zudem sehr kurzfristig bis fünf Minuten vor Erbringung möglich. Bei der Umsetzung sind die folgenden technischen Varianten mit unterschiedlichen Zielsetzungen zu unterscheiden:

Intraday Fahrplanoptimierung zur Vermeidung von Ausgleichsenergie

Wie zuvor beschrieben macht es gerade bei wärmeerzeugenden Anlagen Sinn, kurzfristig im Rahmen einer 15-minütigen Nachoptimierung mögliche technische Abweichungen zu berücksichtigen. Daraus resultierende Abweichungen vom DA-Fahrplan würden aber zwangsläufig zu einem nicht gewünschten Ausgleichsenergiebedarf führen. Hierfür kann der kontinuierliche Intraday-Handel genutzt werden, an dem unabhängig von den aktuellen Preisen die neuen Fahrpläne auf Viertelstunden-Basis weggehandelt werden können.

Prognosebasierter IDC-Handel

Denkt man den Prozess der Intraday-optimierten Fahrweise weiter, bietet die Berücksichtigung einer IDC-Preisprognose eine weitere Dimension, wie man zum einen auf die untertäglich veränderte Fahrweise reagieren und zum anderen vorteilhafte Preise am IDC-Markt nutzen kann. Eine Prognose des mittleren zu erwartenden Marktergebnisses wird dabei direkt in die untertägige, viertelstündliche Optimierung integriert. Somit ist es

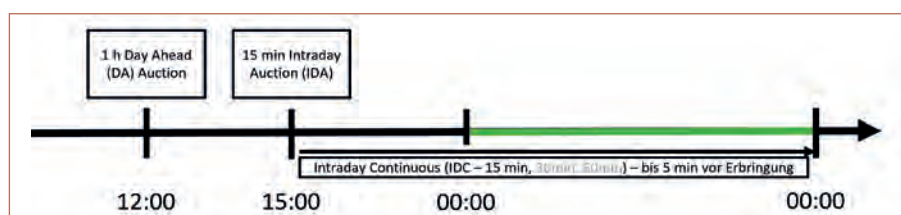


Abb. 2 Übersicht des zeitlichen Ablaufs der EPEX Spot-Märkte

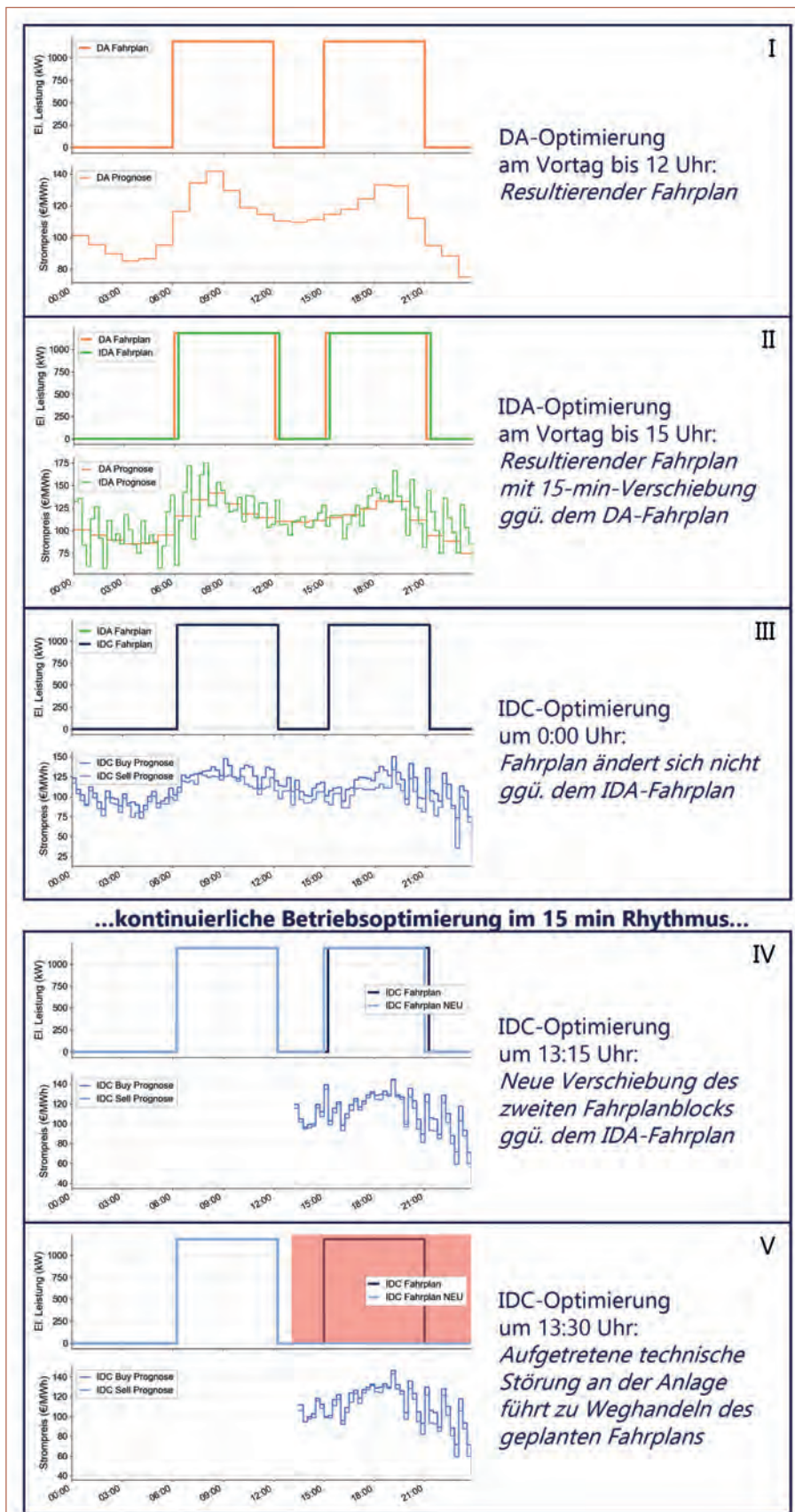


Abb. 3 Optimierte Fahrplanergebnisse nach DA-, IDA- und prognosebasierter IDC-Optimierung im Live-Betrieb

möglich, eine prognosebasierte, Intraday-optimierte Vermarktung der Anlagen unter Berücksichtigung aller (technischen und wirtschaftlichen) Rahmenbedingung zu ermöglichen (s. Abb. 3, III-V).

Im Rahmen des Projekts konnte die VK Energie diese Praxis weiter verfeinern und bereits auf einen relevanten Anteil ihres Portfolios ausweiten. Die durchschnittlichen zusätzlichen Mehrerlöse gegenüber der reinen DA-Vermarktung bewegen sich hier im Bereich von 40.000 €/a je MW_{el} installierter Leistung bzw. 10 €/MWh_{el}.

IDC Flexibilitäts-Produkt Handel

Die fluktuierenden Preise am IDC-Markt sind prinzipiell prädestiniert für den Einsatz von Arbitrage-Handelsgeschäften. Mittels sogenannter Algotrader können Flexibilitätsprodukte flexibel hin und her gehandelt werden und aus den Preisdifferenzen Erlöse generiert werden [4].

Durch eine „Asset-backed Trading“-Strategie kann aus Anlagen verfügbare Flexibilität beliebig oft verkauft und wieder zurückgekauft werden. Letztlich muss dann nur das Ergebnis nach dem letzten Handelsgeschäft physisch erbracht werden. Prinzipiell ist dieses Vorgehen auch mit den hier betrachteten dezentralen Wärme- und Kälteerzeugern möglich. Die Vielzahl der genannten Einschränkungen, welche aus der Deckung des Wärmebedarfs resultieren, führen zu einer deutlich erhöhten Komplexität in der Vermarktung und Handelsstrategie des Algotraders. Im Rahmen von Interviews der FfE mit verschiedenen Anbietern zeigte sich, dass dies für die Anforderungen von dezentralen Wärme- und Stromerzeugern bislang kaum genutzt und implementiert wird. Im Rahmen von VK-IDO wurden die möglichen Flexibilitätsprodukte von KWK-Anlagen analysiert, definiert und bereits prozessual ausgestaltet.

Operative Umsetzung und Erfahrungen aus dem Live-Betrieb

Als zentrales Ergebnis des Projekts konnte die VK Energie ihr System erfolgreich auf den stabilen Live-Betrieb der kombinierten Betriebsoptimierung mit Day-Ahead-, Intraday-, Auktions- und prognosebasierter kontinuierlicher Intraday-Vermarktung bei mehre-

ren Anlagen umstellen. Der typische Ablauf innerhalb eines Tageszyklus ist in Abb. 3 dargestellt und beschrieben.

Aus dem laufenden Betrieb konnte so eine Vielzahl an Erkenntnissen gezogen werden. So werden durch die 15-minütige Vermarktung in den Intraday-Märkten kurzfristige Verschiebungen außerhalb des Stundenrasters möglich und Preisabweichungen nutzbar. Durch die kontinuierliche untertägige Nachoptimierung und Vermarktung können neben den genannten Mehrerlösen zudem technisch-bedingte Fahrplanabweichungen vermieden und somit das Ausgleichsenergie-Risiko signifikant reduziert werden.

Fazit und Ausblick

Im Rahmen des Projekts VK-IDO konnte gezeigt werden, dass Intraday-Vermarktung auch bei dezentralen Wärme- und Kälteerzeugern sinnvoll und möglich ist. Eine Optimierung ist hier unbedingt notwendig, um kontinuierlich alle Randbedingungen zu berücksichtigen. Bei der Weiterentwicklung konnte die VK Energie auf ihre langjährige Vorerfahrung in der DA-basierten Betriebsoptimierung aufbauen. Dies ermöglichte die Umsetzung der Kombination aus DA-, IDA-, IDC-Optimierung, welche mittlerweile im Live-Betrieb angekommen ist. Aktuell wird das System bereits auf relevante Anlagen im Portfolio der VK Energie ausgerollt. Dabei zeigte sich, dass durch kombinierten DA-, IDA- und prognosebasierten IDC-Handel insgesamt Mehrerlöse in der Größenordnung von 25 €/MWh_{el} bei geeigneter Anlagenkonfiguration erzielt werden können.

Bei der Analyse der verschiedenen IDC-Handelsoptionen wurde klar, dass die Intraday-Fahrplanoptimierung zur Vermeidung des Ausgleichsenergieisikos in jedem Fall einen wertvollen Mehrwert liefern kann. Der prognosebasierte IDC-Handel ist ebenfalls bereits im Praxisbetrieb angekommen und ermöglicht es, relevante zusätzliche Mehrerlöse am ID-Markt zu erzielen. Der Handel von Flexibilitäts-Produkten zeigt hingegen einige Herausforderungen aufgrund der notwendigen komplexeren Handelsstrategie. Dementsprechend ist hier noch Entwicklungsarbeit auf Seiten der Algotrader notwendig.

Als nächsten Schritt arbeitet die VK Energie an der Integration der Regelenergie-Vermarktung. Durch eine globale Optimierung können somit direkt alle Erlöspotenziale am DA-, ID- und Regelenergie-Markt in die kontinuierliche Optimierung einbezogen werden.

Bereits heute ermöglicht die VK Energie als einer der ersten Anbieter ihren Kunden, aktiv an allen relevanten Spot-Energiemärkten teilzunehmen und so die maximalen Mehrerlöse durch die Betriebsoptimierung von dezentralen Wärme- und Kälteerzeugern zu erzielen. Durch langjährige Erfahrung, das große und stetig wachsende Portfolio sowie die Nutzung des aktuellen Stands der Technik bietet sie somit eine wertvolle Dienstleistung für Stadtwerke und Betreiber von Fernwärme- und Kälte-Netzen. Gerade im letzten Jahr lässt sich ein großes Interesse von Seiten der Energieversorger, Stadtwerke oder Fernwärmenetzbetreiber beobachten.

Nicht zuletzt aufgrund des gestiegenen Preisdrukks und der zunehmend fluktuierenden Marktpreise bietet dies die Möglichkeit, relevante Mehrerlöse rein auf Basis vorausschauender, intelligenter Betriebsoptimierung zu erzielen.

Anmerkungen

- [1] Umweltbundesamt, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Kraft-Wärme-Kopplung (KWK): Nettostromerzeugung, Stand 09/2022.
- [2] EPEX Spot SE: Trading at EPEX Spot, Broschüre, Stand 05/2022, https://www.epexspot.com/sites/default/files/2022-07/22-07-12_TradingBrochure.pdf
- [3] Das Projekt VK-IDO (Förderkennzeichen: 03ENM0007) wurde gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.
- [4] Kern, Timo et al: The value of intraday electricity trading - Evaluating situation-dependent opportunity costs of flexible assets, 16th International Conference on the European Energy Market (EEM) 2019.

A. Zeiselmaier, VK Energie GmbH, München; A. Möbius, Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, München; J. Jungwirth, VK Energie GmbH und Hochschule Ansbach; T. Kern, Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, München
www.vk-energie.de
www.ffe.de
www.hs-ansbach.de

www.energie.de

Das Portal der Energiewirtschaft

energie.de