Gebotsstrategien im Energiemarkt

Kai Krämer, Georg Frey
(Lehrstuhl für Automatisierungs- und Energiesysteme (AES), Universität des Saarlandes)

Der wachsende Anteil erneuerbarer Energien erhöht die Bedeutung des kurzfristigen Stromhandels. Am kontinuierlichen Intraday-Markt können Händler ihre Positionen bis kurz vor der Lieferung an neue Prognosen zu Erzeugung und Verbrauch anpassen. In einem vereinfachten Orderbuchmodell wird Counterfactual Regret Minimization (CFR) als Solververfahren zur Berechnung von Gebotsstrategien eingesetzt. Die Arbeit ist ein Proof of Concept für den Einsatz von CFR im Intraday-Handel.

Motivation

Strom wird zunächst **für den nächsten Tag** gehandelt. In der Day-Ahead-Auktion führt EUPHEMIA Kauf- und Verkaufsgebote zusammen und bestimmt Preis und Handelsmenge für jede Lieferzeit und Gebotszone. Netzkapazitäten verbinden die Gebotszonen; Blockgebote verknüpfen mehrere Lieferzeiten.

Ändern sich danach die Prognosen, können Händler ihre Position im Intraday-Markt bis kurz vor der Lieferung anpassen. Im kontinuierlichen Handel werden passende Kauf- und Verkaufsorders sofort ausgeführt. Händler stehen dabei vor der Frage: **Jetzt handeln oder auf bessere Konditionen warten?**

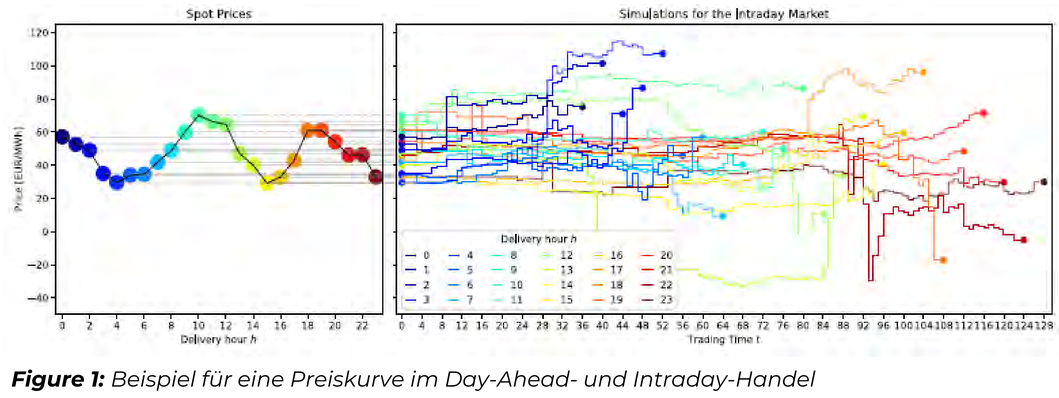


Figure 1: *Beispiel für eine Preiskurve im Day-Ahead- und Intraday-Handel*

Ziel ist es, Gebotsstrategien zu lernen, bei denen Händler durch einseitiges Abweichen möglichst wenig zusätzlichen Nutzen erzielen können

Methodik

Das Modell bildet den **kontinuierlichen Intraday-Handel** als sequenzielles Orderbuchspiel ab. Bis kurz vor der Lieferung entscheiden die Händler, ob sie eine Limit Order einstellen, sofort handeln oder warten. Da jeder Händler nur sein eigenes Energieziel kennt, ist die Information im Spiel unvollständig.

CFR ist ein **Lernverfahren** für sequenzielle Spiele mit **unvollständiger Information**. Im **Selbstspiel** nehmen alle simulierten Händler als lernende Spieler teil und passen ihre Strategien während des Trainings an. Der Solver bewertet an jedem Entscheidungspunkt den möglichen Nutzen der legalen Aktionen. Wenn eine Aktion besser abgeschnitten hätte als die aktuelle Strategie (**Regret**), erhält sie mehr Gewicht in künftigen Entscheidungen. Das Ergebnis ist eine gemittelte Strategie, die für jede Situation **Wahrscheinlichkeiten** für die **verfügbaren Aktionen** ausgibt.

Wir testen zwei Varianten: **MCCFR** nutzt Stichproben aus möglichen Spielverläufen. **Deep CFR** verwendet neuronale Netze, um die Strategie über viele Situationen abzubilden.

Ergebnisse

Action-Historie:

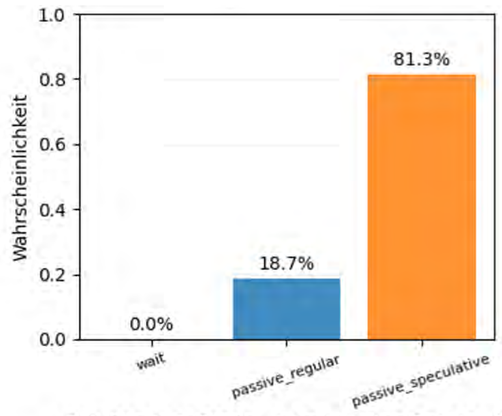
Schritt	R/T	Spieler	Action	p
1	0/0	1	wait	100.0%
2	0/1	0	passive_speculative	83.3%
3	1/0	0	wait	89.5%
4	1/1	1	wait	100.0%
5	2/0	0	passive_speculative	67.5%
6	2/1	1	wait	100.0%
7	3/0	0	passive_speculative	50.0%
8	3/1	1	direct_ioc	100.0%

```
Runde 4 · Turn 0
Letzter Preis: 50.200

Bids (Preis, Menge):
–

Asks (Preis, Menge):
–

Trades (Preis, Menge):
50.200, 1.000
```



Private InfoState · handelnder Spieler 0

Eigener Zielwert [MWh]	3.000
Eigene Nettoverkäufe [MWh]	1.000
Eigener Cashflow	50.200
Eigene Restenergie [MWh]	2.000

Figure 2: *Eine Entscheidung im Intraday-Replay*

Das Orderbuch zeigt die sichtbaren Kauf- und Verkaufsorders. Die Restenergie zeigt den noch offenen Bedarf des gerade handelnden Händlers. Die Balken zeigen, mit welcher Wahrscheinlichkeit die gelernte Strategie jede legale Aktion wählt. Die markierte Aktion ist der Zug in diesem Replay. Die Wahrscheinlichkeiten beschreiben die Strategie, nicht die Chance, dass eine Order ausgeführt wird.

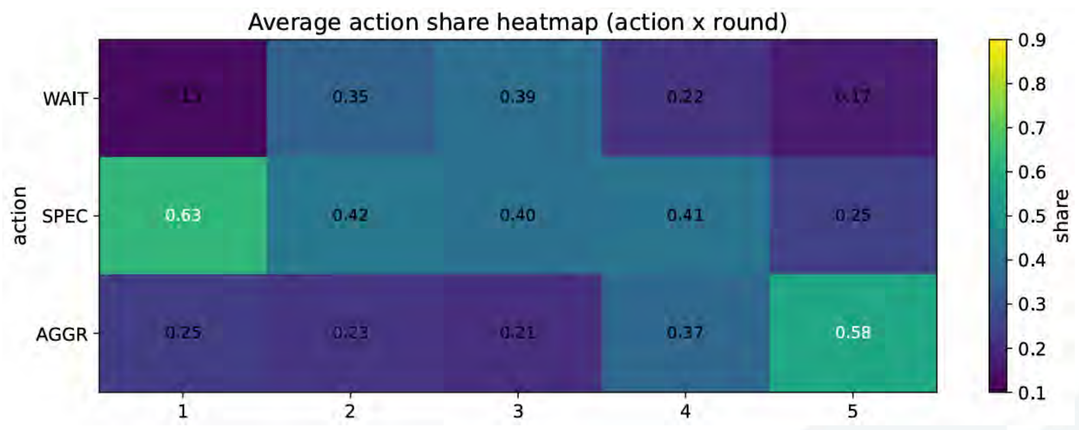


Figure 3: *Durchschnittlicher Anteil der Aktionen pro Runde; aggressive und spekulative Käufe bzw. Verkäufe sind jeweils zusammengefasst. Strategie passt sich der Liefernähe an, in einem 6 Teilnehmerbeispiel.*

Ausblick

Untersucht werden größere Marktszenarien und die Übertragbarkeit von Strategien aus kleinen auf größere Märkte. Die CFR-Strategien werden mit regelbasierten Strategien und Reinforcement-Learning-Ansätzen verglichen. Langfristig sollen Day-Ahead- und Intraday-Handel gemeinsam modelliert werden.

Gefördert aus dem Transformationsprogramm Forschung und Wissenstransfer Saar durch: