



House of
Energy Markets
& Finance

Stochastic battery valuation considering multiple value streams

Energiemärkte II

13-Feb-19 | IEWT 2019 | Wien

Benjamin Böcker, Rüdiger Kiesel and Christoph Weber

IEWT 2019

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Open-Minded

Motivation und Übersicht über die Methodik

1 2 3 4 5

- Zukünftiges Energiesystem:
 - hoher Anteil an erneuerbaren Energien
 - Herausforderung Angebot und Nachfrage im Gleichgewicht zu halten (zu jeder Zeit und an jedem Ort)
 - Bedarf an Flexibilität steigt von kurzfristiger Planung bis Systemausgleich in Echtzeit (hohe technische Anforderungen, insbesondere an das Rampen- und Reaktionszeitverhalten)
- Batterietechnologien
 - Fähigkeit zur Teilnahme an kurzfristigen Strommärkten
 - Fähigkeit die hohen Anforderungen an die Erbringung von Systemdienstleistungen zu erfüllen
- Steigerung des Wertes eines Batteriesystems durch Erzielung von Umsätzen auf verschiedenen Märkten
- Nicht jede Systemdienstleistung wird am Markt gehandelt → Fokus auf existierende Märkte

- Preissimulation als simultane Spot- und Reservepreissimulation
 - Stochastischer fundamentaler Ansatz:
 - fundamentale Spotpreise und Reservepreise (positiver Sekundärmarkt, aFRR+)
 - Hybrid-Modell-Ansatz, zweite Stochastik basiert auf fundamentalen Preisen: Spotpreis
- Source:**
Beran, P., Böcker, B. & Weber, C.: Spot market price effects of reserve provision – Analysis based on a parsimonious fundamental model, mimeo, 2019.
Beran, P., Pape, C. & Weber, C.: Modelling German Electricity Wholesale Spot Prices with a Parsimonious Fundamental Model–Validation & Application, 2018.
Baldursson, F. M., Bellenbaum, J., Lazarczyk, E., Niesen, L., & Weber, C.: Welfare optimal reliability and reserve provision in electricity markets with increasing shares of renewable energy sources, 2017.
- Erweiterte Least-Square Monte Carlo Methode
 - Bestimmen des Wertes der Batterie unter Unsicherheiten,
 - Berücksichtigung von Mehrwertströmen (Marktteilnahmen)
 - Verwendung eines Alterungsmodells (Reduktion des zur Verfügung stehenden Speichervolumens), das sowohl kalendarische- als auch zyklische Alterungseffekte berücksichtigt.

Stochastic battery valuation considering multiple value streams

1 2 3 4 5

Motivation und Übersicht über die Methodik

1

Least-Square Monte-Carlo Ansatz mit mehreren Mehrwertströmen

2

Anwendung

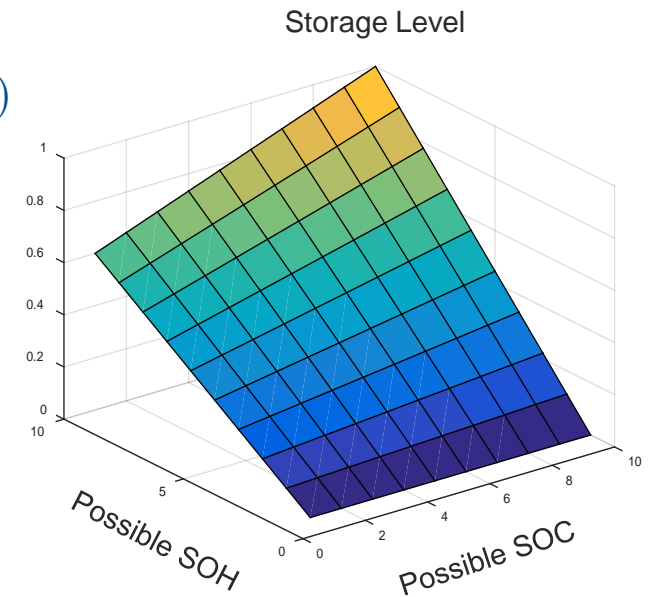
3

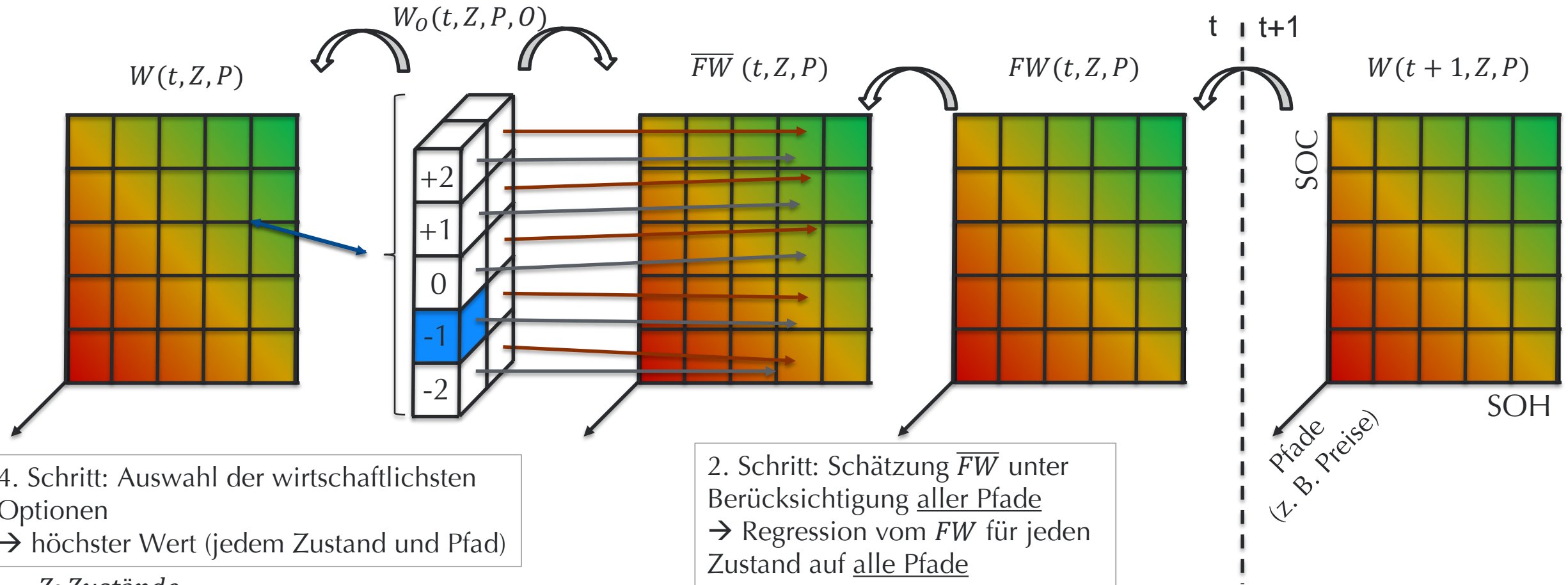
Zusammenfassung

4

- Ursprünglich zur Bewertung amerikanischer Optionen [Longstaff, Schwartz, 2001]
 - optimale Ausübung (Einzeloption – Verkauf)
 - einmalig
 - N Preispfade
- Angepasster Algorithmus für die Speicherbewertung [Felix, Weber, 2008], [Boogert, De Jong, 2005, 2006], [Ludkovski, Maheshwari 2018]
 - optimal Betrieb (mehrere Optionen - Laden/Halten/Entladen) - begrenzt durch die Speicherlevel (Volumen) (eindimensionales Raster der Speicherzustände)
 - Mehrfach
- Berücksichtigung von Speicheralterung / state of health (SOH) – [Böcker, Kiesel, Weber, 2018]
 - optimaler Betrieb (mehrere Optionen – (teilweise) Laden/Halten/ (teilweise) Entladen) - begrenzt durch die Speicherlevel (Volumen) und SOH (zweidimensionales Raster der Speicherzustände)
- Berücksichtigung mehrerer Wertströme – [Böcker, Kiesel, Weber, 2018]

- Festes Raster aus
 - Zustände: State of Charge (SOC) und State of Health (SOH)
 - Pfade: Spotpreise und zugehörige Reservepreise (Stochastische Simulation)
 - Optionen: alle möglichen Speicheroperationen (delta SOC) für Handel am Spotmarkt sowie Entscheidung über Reservevorhaltung
- Prinzip der dynamische Programmierung
 - Rückwärtssimulation (Start bei $T >$ geschätzte Lebensdauer)
- Ziel:
 - Berechnen Sie den Wert des Speichers (bei allen Zuständen) über die Zeit
 - Ableitung der optimalen Speicherfahrweise (Entscheidung)





4. Schritt: Auswahl der wirtschaftlichsten Optionen
→ höchster Wert (jedem Zustand und Pfad)

2. Schritt: Schätzung \overline{FW} unter Berücksichtigung aller Pfade
→ Regression vom FW für jeden Zustand auf alle Pfade

3. Schritt: Ermittlung des Wertes inklusive aller Optionen
→ Cashflow (variiert je nach Option) plus zugehörigem \overline{FW}

1. Schritt: Bestimmung Fortführungswert
→ Abzinsung jedes Wertes $W(t+1, \dots)$

Z: Zustände

P: Pfade

O: Optionen

- Regression des Fortführungswertes für jeden Zustand auf alle Pfade: Spot- und Reservepreise, Polynom dritte Ordnung
- Optionen:
 - n_s Betriebsoptionen auf dem Spotmarkt und binäre Entscheidung zur Bereitstellung auf dem Reservemarkt
 - Berücksichtigung der durchschnittlichen Aktivierung in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Abrufwahrscheinlichkeit (unter der Annahme, dass der Arbeitspreis den erwarteten Volumenverlustkosten entspricht)
- Vorab berechnete Menge möglicher Optionen, Berücksichtigung der Einschränkungen der Speicherzustände und den Änderungen der Speicherzustände SOC und SOH
 - Effizienter durch Vermeidung von ungültigen Optionen (Lade- und Entladeraten)
- Matrix-Operationen so weit wie möglich nutzen
- Implementierung in MATLAB

Stochastic battery valuation considering multiple value streams

1

2

3

4

5

Motivation und Übersicht über die Methodik

1

Least-Square Monte-Carlo Ansatz mit mehreren Mehrwertströmen

2

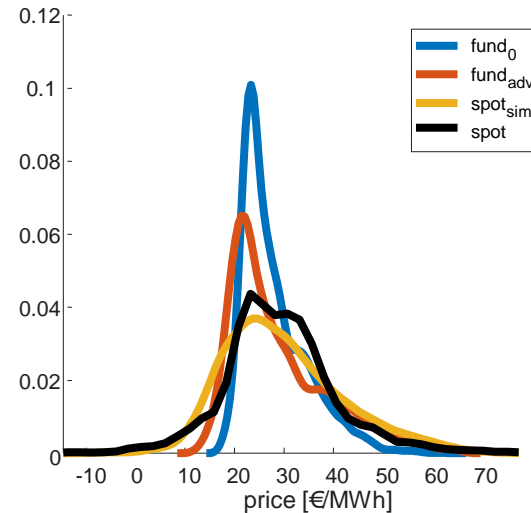
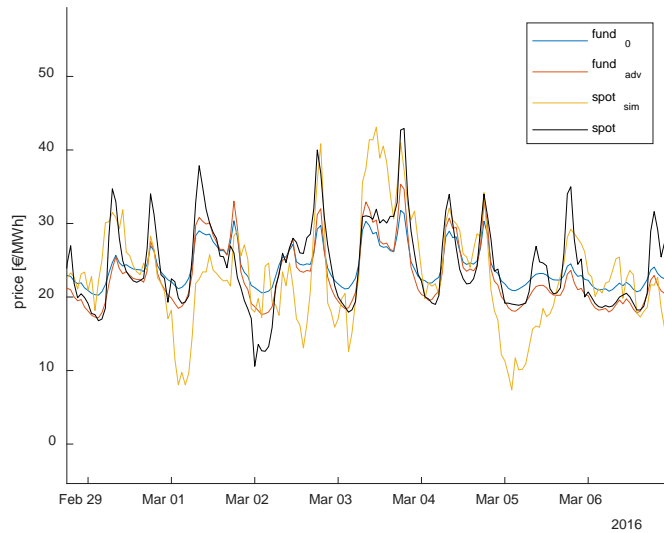
Anwendung

3

Zusammenfassung

4

Spotpreise

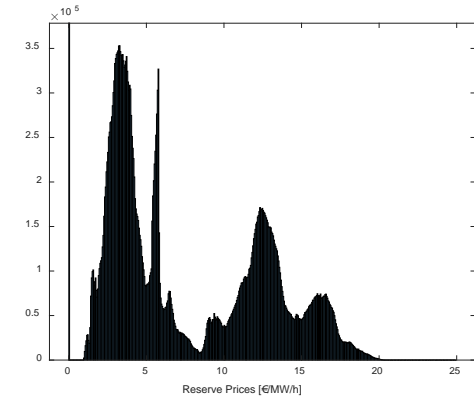
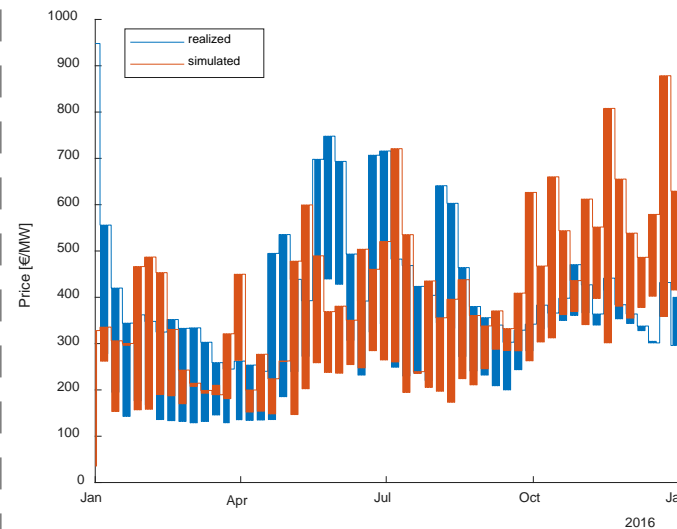


	[€/MWh]	Spot	Fund 0	Fund erw.	Spot Sim.
Mittelwert		28.98	27.94 (-3.6%)	29.06 (0.3%)	29.87 (3.1%)
Standardabweichung		12.48	6.64 (-46.8%)	10.19 (-18.4%)	11.56 (-7.4%)
Ø Abw. vom TM*1		5.85	2.41 (-58.7%)	3.72 (-36.3%)	5.28 (-9.6%)
Mittelw. täg. max. Abw.*2		23.50	9.65 (-58.9%)	14.51 (-38.2%)	23.36 (-0.6%)

*1 Durchschnittliche Abweichung der Stundenpreise vom Tagesmittelwert

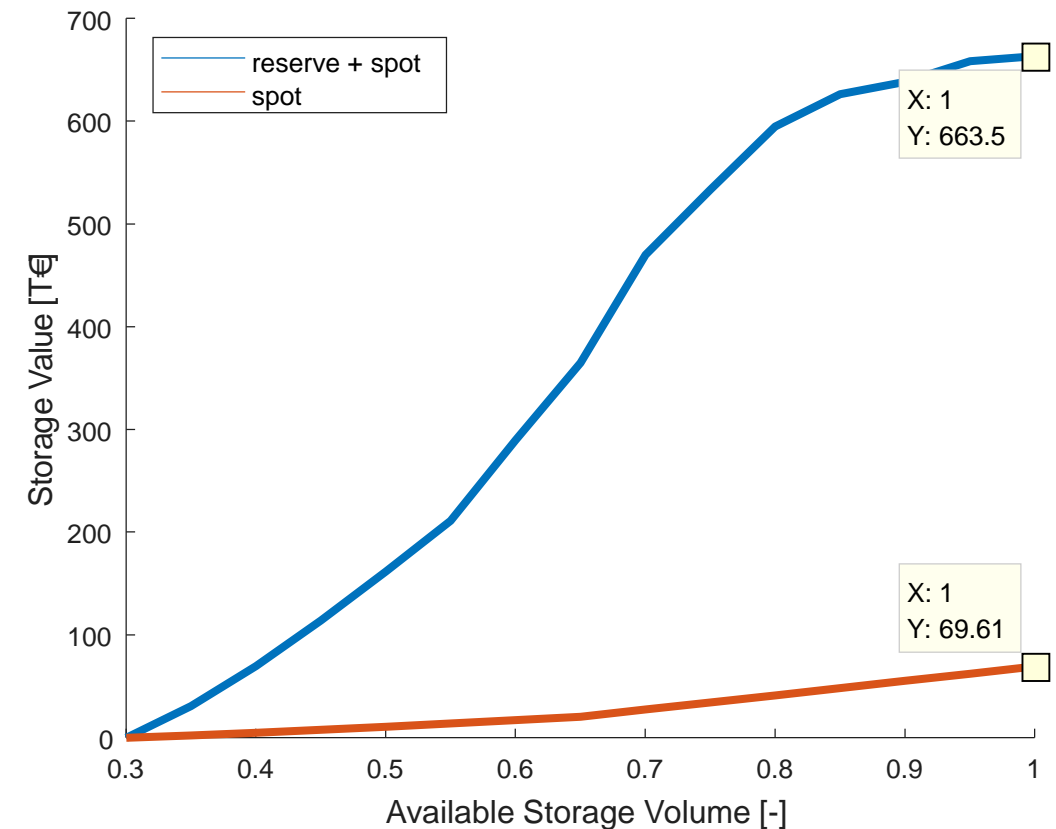
*2 Mittelwert der täglichen maximalen Abweichung der Stundenpreise

Regelleistungspreise (pos)



	[€/MW]	mean	std
realized		367 (0.0%)	149 (0.0%)
simulated		371 (1.2%)	159 (6.6%)

- Lithium-Ion Batterie
 - 2MWh / 1MW
 - 70% End-of-(First)Life
 - 30% End-of-Life – doppelter Alterungseffekt
- Batteriewert (neu)
 - Nur Spotmarkt:
 - 70T€ → <35€/kWh Zielkosten (volumenspezifisch)
 - Spot und Regelleistungsmarkt (stündl. Entscheidung)
 - 660T€ → <330€/kWh Zielkosten (volumenspezifisch)



Ergebnisse: Optimaler Speicherbetrieb – Zwei exempl. Pfade

Anwendung

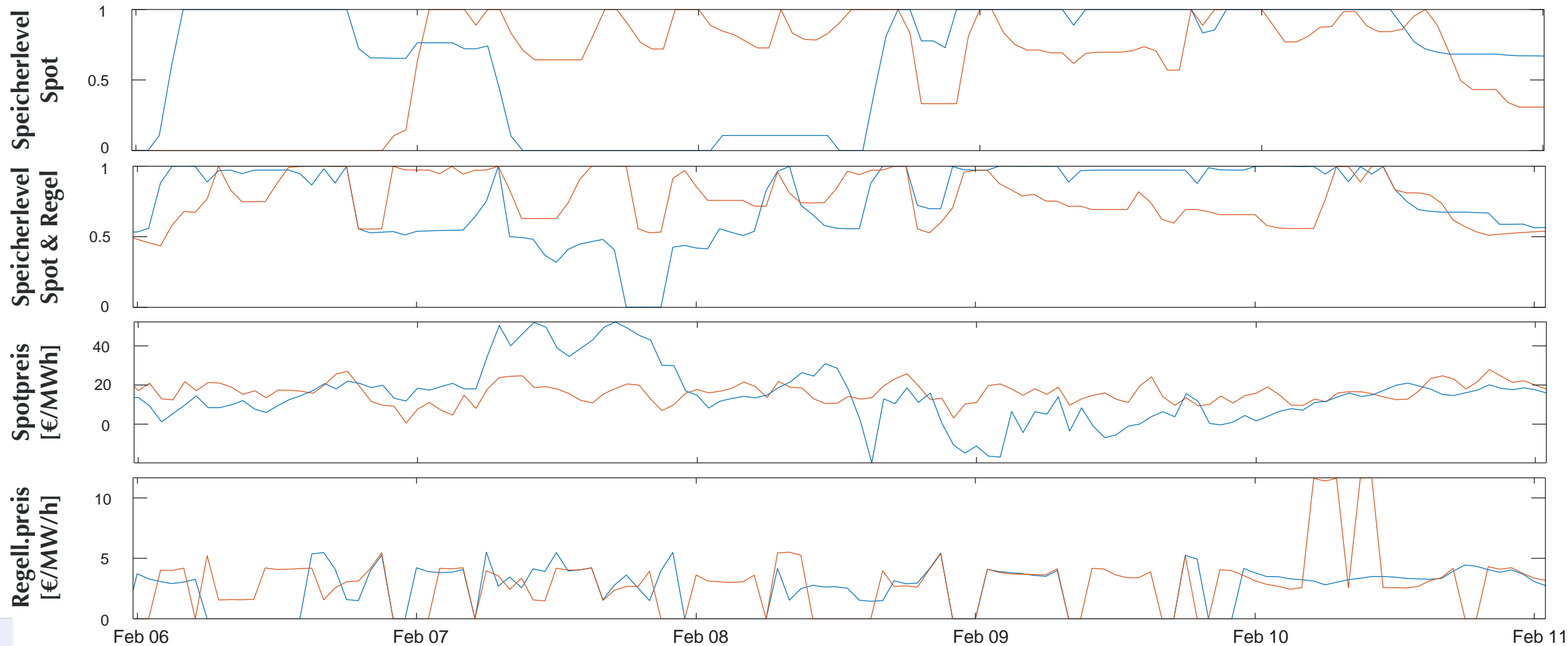
1

2

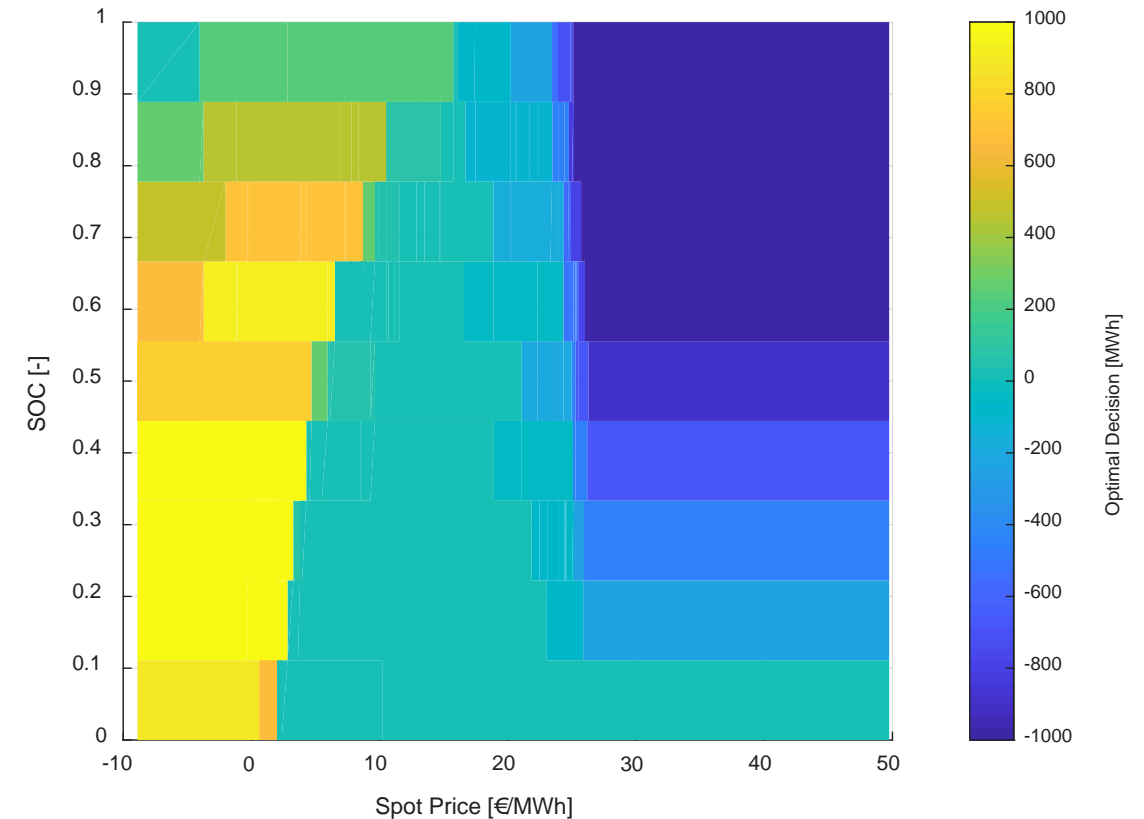
3

4

5



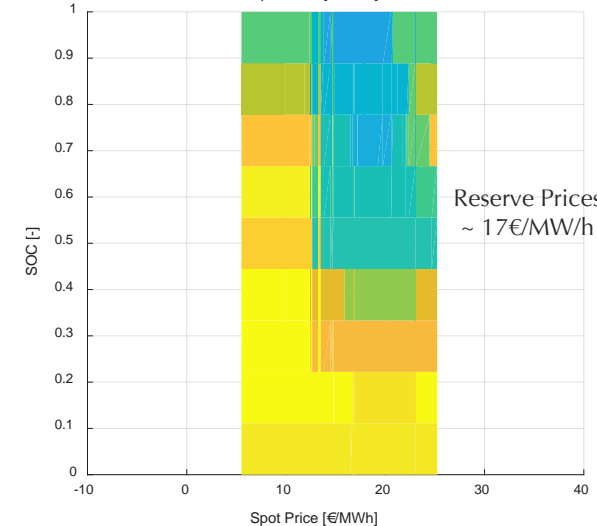
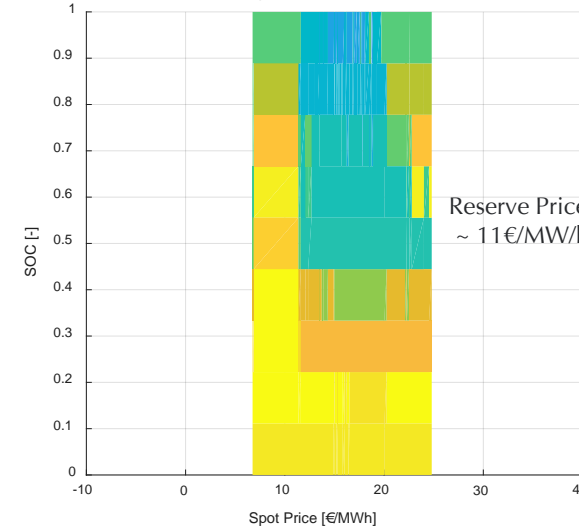
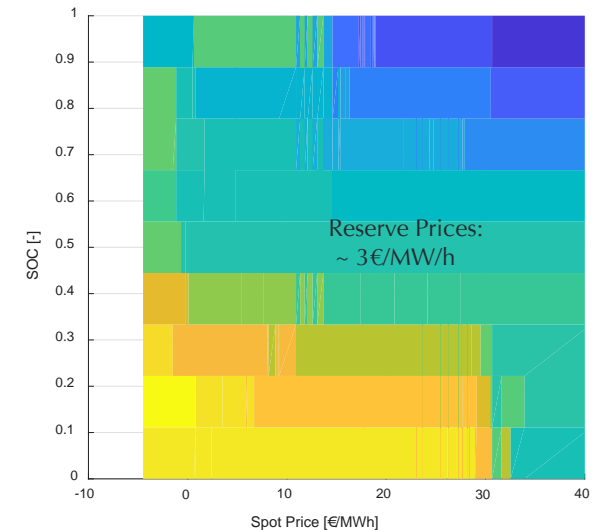
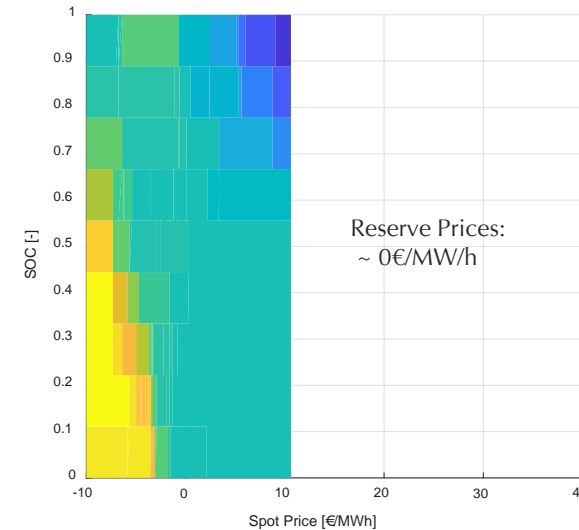
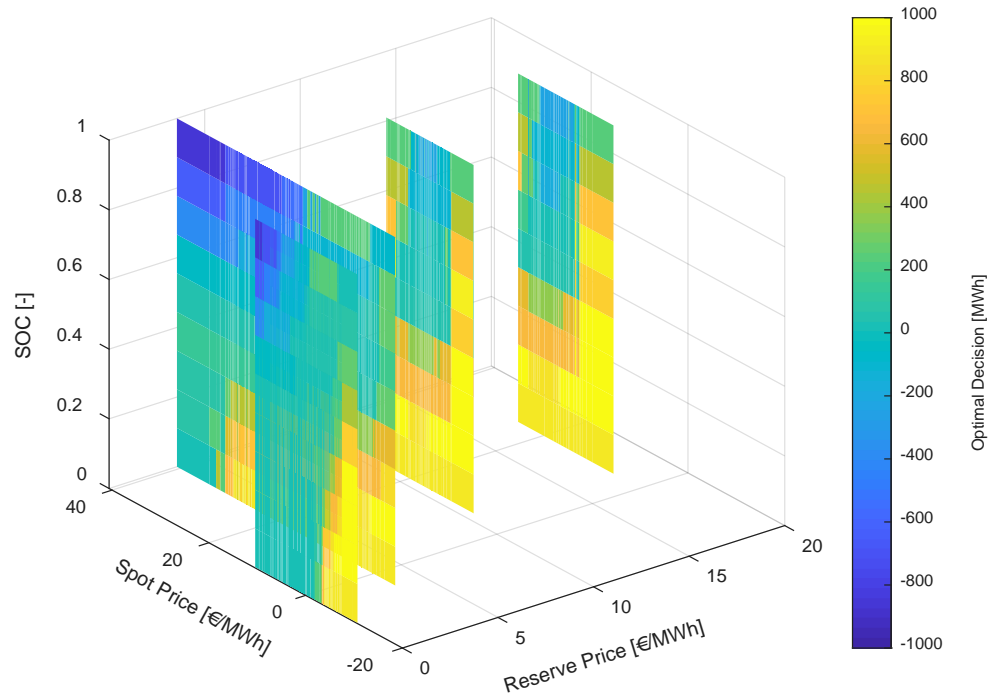
- Abbildung für einen Zeitpunkt
- Überlappende Effekte
 - Betriebsgrenzen der Batterie
 - Dominierende zyklische Batteriealterung
 - hohe Entladetiefe (DOD)
 - starke Alterung



Anwendung

1 2 3 4 5

- Optimale Entscheidung am Spotmarkt hängt vom Reservepreis ab
- Hoher Reservepreis → Hohe Reservevorhaltung → Hoher Speicherfüllstand (pos. Regelleistung)



Stochastic battery valuation considering multiple value streams

1 2 3 4 5

Motivation und Übersicht über die Methodik

1

Least-Square Monte-Carlo Ansatz mit mehreren Mehrwertströmen

2

Anwendung

3

Zusammenfassung

4

- Ergebnisse unterstreichen: Arbitrage am stündlichen Spotmarkt für Investoren nicht attraktiv ist.
- Zusätzliche Teilnahme am Reservemarkt (hier für positive Sekundärregelleistung untersucht) erhöht den Wert der Batterie um fast den Faktor 10 - unter der Annahme einer stündlichen Entscheidung.
- Nächste Schritte:
 - Detaillierte Analyse von Entscheidungen
 - Berücksichtigung viertelstündlichen Märkte – i. d. R. höhere Preisspannen
 - Untersuchung der Abhängigkeit der Reservevorsorge von der erwarteten Lebensdauer (höhere Lebensdauer → höhere Unsicherheit über zukünftige Preise)
 - Bestimmung der Abhängigkeit zwischen Arbeitspreis (als Alterungskosten) und Anrufwahrscheinlichkeit (bisher als konstant angenommen ~5%)



House of
Energy Markets
& Finance

Vielen Dank

IEWT 2019

Workingpaper: Böcker, B.; Weber, C.; Kiesel, R.: Stochastic battery valuation considering multiple value streams; mimeo; 2019.

Kontakt: Dr. Benjamin Böcker
Lehrstuhl für Energiewirtschaft, Universität Duisburg-Essen

Email: benjamin.boecker@uni-due.de

Telefon: +49 201/18-37306

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Open-Minded