Mathematiker in der Energiewirtschaft

- Anforderungen und Aufgaben im modernen Stromhandel

Magnus Wobben

Lehrstuhl für Volkswirtschaftstheorie

19th January 2008

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Gliederung

- Vorstellung
- Großhandelsmärkte für Elektrizität, systematische Grundlagen
- Strompreise
- Preismodellierung
- Bewertung von Stromoptionen
  - Exkurs: Black-Scholes
- DFG-Projekt

- **Lehrstuhl für Volkswirtschaftstheorie**

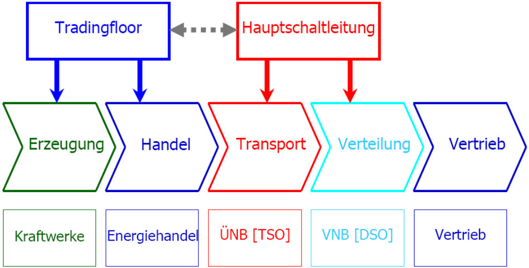
Magnus Wobben, Dipl.-Math., Tel.: +49 (0)251 83-21920

Email: `magnus.wobben@wiwi.uni-muenster.de`

  - Lehre: Mikroökonomik, Energiewirtschaft
  - Forschung:
    - DFG-Projekt: **How to Reduce the Investment Dilemma**? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
    - Strompreisbildung und Marktmachtmessung unter Berücksichtigung des CO_2-Zertifikatehandels
    - Bewertung und Hedging von strukturierten OTC-Produkten bei Strom und Gas
    - Regulierung von Strommärkten, Netzengpassmanagement
  - Zusammenarbeit mit den Lehrstühlen für Ökonometrie (Prof. Dr. Mark Trede) und für BWL, insb. Derivate und Financial Engineering (Prof. Dr. Nicole Branger) sowie dem Institut für Numerische und Angewandte Mathematik (Prof. Dr. Martin Burger)

Großhandelsmärkte für Elektrizität

1. Großhandelsmarkt: Handel von "großen" (Übertragung über das Hoch- und Höchstspannungsnetz) Mengen Elektrizität im Pool oder an der Börse/OTC.
2. Einzelhandelsmarkt oder Endkundenmarkt: Überwiegend Vertrieb von Strom (Übertragung über das Mittel- und Niedrigspannungsnetz)



Heutige Großhandelsmärkte für Elektrizität

- **Früher**: Regionale natürliche Monopole durch vertikal integrierte Player
$\Rightarrow$ Geringes Handelsvolumen am Großhandelsmarkt mit nahezu statischen Preisen und keine freie Anbieterwahl am Einzelhandelsmarkt.
- **Ziele der Liberalisierung**: Unbundling mit diskriminierungsfreien Netzzugang für Dritte
$\Rightarrow$ Fluktuation in den Preisen, neue, kleinere Marktteilnehmer, neue spezifische Markt- und Kreditrisiken, Hedging von Nöten!
- Entstehung von Spot- und Terminhandel an Strombörsen
- OTC-Handel von individuellen strukturierten Produkten

Heutige Großhandelsmärkte für Elektrizität

- **Früher**: Regionale natürliche Monopole durch vertikal integrierte Player
  $\Rightarrow$ Geringes Handelsvolumen am Großhandelsmarkt mit nahezu statischen Preisen und keine freie Anbieterwahl am Einzelhandelsmarkt.
- **Ziele der Liberalisierung**: Unbundling mit diskriminierungsfreien Netzzugang für Dritte
  $\Rightarrow$ Fluktuation in den Preisen, neue, kleinere Marktteilnehmer, neue spezifische Markt- und Kreditrisiken, Hedging von Nöten!
- Entstehung von Spot- und Terminhandel an Strombörsen
- OTC-Handel von individuellen strukturierten Produkten

Heutige Großhandelsmärkte für Elektrizität

- **Früher**: Regionale natürliche Monopole durch vertikal integrierte Player
  $\Rightarrow$ Geringes Handelsvolumen am Großhandelsmarkt mit nahezu statischen Preisen und keine freie Anbieterwahl am Einzelhandelsmarkt.
- **Ziele der Liberalisierung**: Unbundling mit diskriminierungsfreien Netzzugang für Dritte
  $\Rightarrow$ Fluktuation in den Preisen, neue, kleinere Marktteilnehmer, neue spezifische Markt- und Kreditrisiken, Hedging von Nöten!
- Entstehung von Spot- und Terminhandel an Strombörsen
- OTC-Handel von individuellen strukturierten Produkten

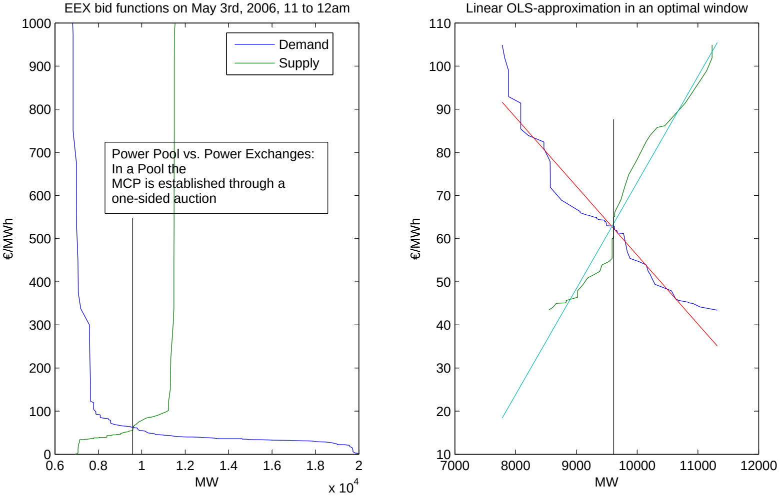
Power Pools vs. Power Exchanges

- **Power Pool**: Systemoptimierung (d.h. vor allem Gesamtkostenminimierung) unter Berücksichtigung auftretender Netzengpässe und der Erzeugungskosten. *Alle* Handelsaktivitäten müssen über den Poolmanager stattfinden, dieser bestimmt MCV (*market clearing volume*), Teilnehmer: Nur Erzeuger $\Rightarrow$ Einseitige Auktion, Rest: Ausgleichsenergie
- **Power Exchange**: Bestandteil in einem *freien Handelssystem* (neben dem OTC-Handel), Teilnehmer: Erzeuger, Weiterverteiler, Stromhändler (z.T. reine Spekulanten), große Konsumenten

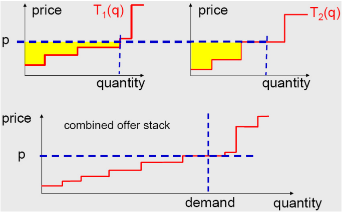
Power Pools vs. Power Exchanges

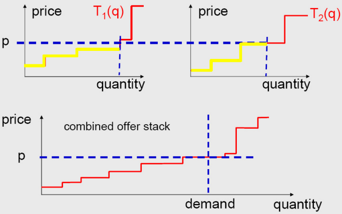
- **Power Pool**: Systemoptimierung (d.h. vor allem Gesamtkostenminimierung) unter Berücksichtigung auftretender Netzengpässe und der Erzeugungskosten. *Alle* Handelsaktivitäten müssen über den Poolmanager stattfinden, dieser bestimmt MCV (*market clearing volume*), Teilnehmer: Nur Erzeuger $\Rightarrow$ Einseitige Auktion, Rest: Ausgleichsenergie
- **Power Exchange**: Bestandteil in einem *freien Handelssystem* (neben dem OTC-Handel), Teilnehmer: Erzeuger, Weiterverteiler, Stromhändler (z.T. reine Spekulanten), große Konsumenten

Power Pools vs. Power Exchanges



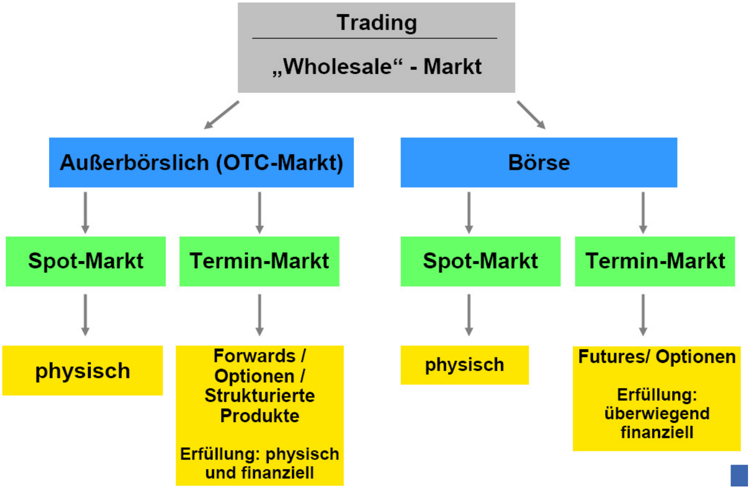
uniform-price auction vs. pay-as-bid





1. **uniform-price auction**: Nachfrager mit höheren bids zahlen für die gesamte nachgefragte Menge nur den MCP, Anbieter mit geringeren bids erhalten für die gesamte angebotene Menge den MCP.
2. **pay-as-bid**: Anbieter erhalten Preis entsprechend ihrer Gebote, d.h. sie können nicht GK bieten.

OTC- vs. Börsenhandel



OTC- vs. Börsenhandel

1. **OTC**:
   - private, bilaterale Vereinbarungen
   - flexible Kontraktgestaltung

   $\Rightarrow$ hohe Flexibilität, aber auch hohe Transaktionskosten (Bid-ask-spread, Broker fee, Kreditsicherheiten), hohes Ausfallrisiko
2. **Börse**:
   - Neutraler und anonymer Marktplatz
   - Standardisierte Produkten

   $\Rightarrow$ Inflexibilität aber hohe Liquidität, transparente Preise, geringe Transaktionskosten, kein Kreditrisiko (allerdings Hinterlegung von Sicherheitsmargen)

OTC- vs. Börsenhandel

1. **OTC**:
   - private, bilaterale Vereinbarungen
   - flexible Kontraktgestaltung

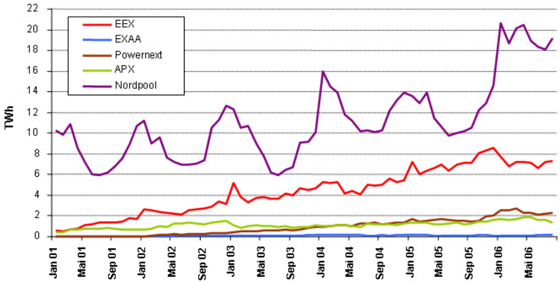
   $\Rightarrow$ hohe Flexibilität, aber auch hohe Transaktionskosten (Bid-ask-spread, Broker fee, Kreditsicherheiten), hohes Ausfallrisiko
2. **Börse**:
   - Neutraler und anonymer Marktplatz
   - Standardisierte Produkten

   $\Rightarrow$ Inflexibilität aber hohe Liquidität, transparente Preise, geringe Transaktionskosten, kein Kreditrisiko (allerdings Hinterlegung von Sicherheitsmargen)

Internationale Strombörsen

- Nord Pool, Oslo, 1993
- NYMEX (New York Mercantile Exchange), 1996
- OMEL (Operadora del Mercado Espanol de Electricidad), Madrid, 1998
- APX (Amsterdam Power Exchange), 1999
- UKPX (UK Power Exchange), London, 2000
- EEX (European Energy Exchange), Leipzig, 2000
- Powernext, Paris, 2001
- EXAA (Energy Exchange Austria), Graz, 2002
- SFE (Sydney Futures Exchange), 2002

Handelsvolumina



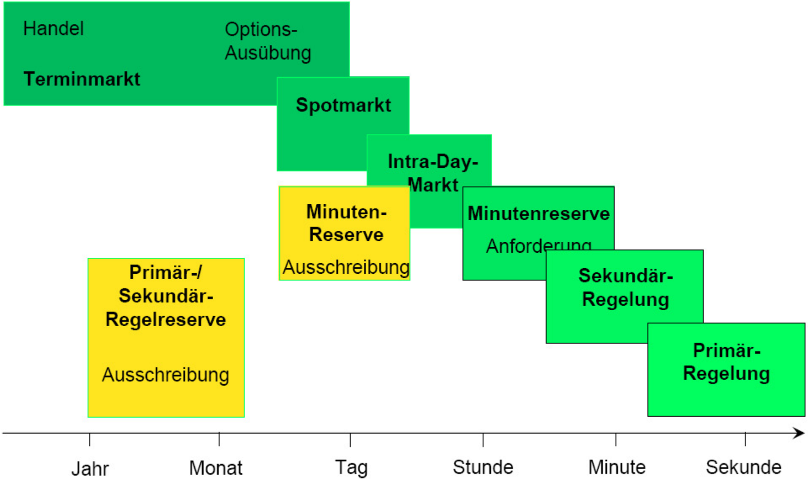
Handelsprodukte, Gegenüberstellung

- **Spotmarkt**
  - Börse:
    - Einzelstunden oder Base/Peak-Blockkontrakte, phys. Erfüllung
  - OTC:
    - Frei gestaltbare Preisbänder, phys. Erfüllung
- **Terminmarkt**
  - Börse:
    - Futures, finanzielle und phys. Erfüllung (unbedingtes Termingeschäft)
    - Futureoptionen, finanzielle Erfüllung (bed. TG)
  - OTC:
    - Forwards, Swaps und fixe Fahrpläne (unbed. TG)
    - Alles Erdenkliche an bed. strukturierten Produkten: Swing options (flexible Fahrpläne), Asiaten, Barrier options, Swaptions, Caps, Floors, Collars, ...

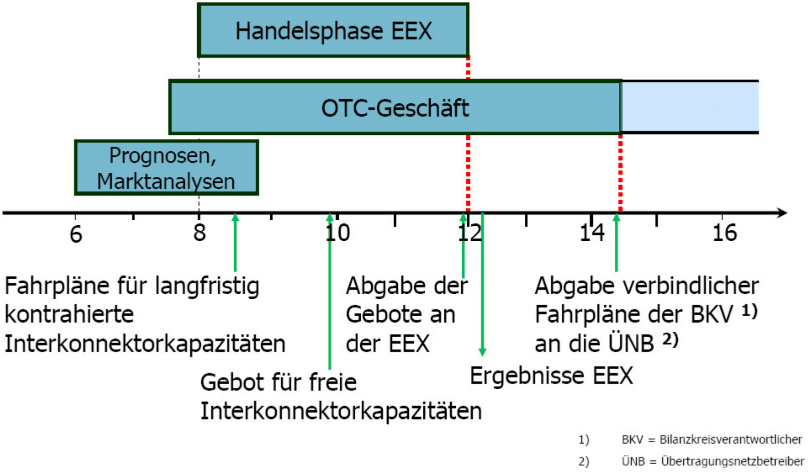
Handelsprodukte, Gegenüberstellung

- **Spotmarkt**
  - Börse:
    - Einzelstunden oder Base/Peak-Blockkontrakte, phys. Erfüllung
  - OTC:
    - Frei gestaltbare Preisbänder, phys. Erfüllung
- **Terminmarkt**
  - Börse:
    - Futures, finanzielle und phys. Erfüllung (unbedingtes Termingeschäft)
    - Futureoptionen, finanzielle Erfüllung (bed. TG)
  - OTC:
    - Forwards, Swaps und fixe Fahrpläne (unbed. TG)
    - Alles Erdenkliche an bed. strukturierten Produkten: Swing options (flexible Fahrpläne), Asiaten, Barrier options, Swaptions, Caps, Floors, Collars, ...

Organisation



Ablauf eines Handelstages



Es gibt eine Reihe von Strompreisen...

Beispiel: Deutschland

1. Börse: An der Börse haben wir Preise für
   - die Einzelstunden des Folgetages $\hookleftarrow$ Referenzpreis
   - die Blockkontrakte des Folgetages
   - die Stundenkontrakte im Innertageshandel
   - den Phelix Day, Month, Year (Base,Peak) sowie
   - den Terminmarktstrom (s.o.)
2. OTC: Durch Arbitrageüberlegungen lassen sich die Preise für außerbörsliche nicht standardisierte Kontrakte ableiten.

Eine erste Frage ist demnach:

Wie bildet sich der Preis für die Stundenkontrakte am Day-Ahead Markt und was beeinflusst ihn?

Es gibt eine Reihe von Strompreisen...

Beispiel: Deutschland

1. Börse: An der Börse haben wir Preise für
   - die Einzelstunden des Folgetages $\longleftrightarrow$ Referenzpreis
   - die Blockkontrakte des Folgetages
   - die Stundenkontrakte im Innertageshandel
   - den Phelix Day, Month, Year (Base,Peak) sowie
   - den Terminmarktstrom (s.o.)
2. OTC: Durch Arbitrageüberlegungen lassen sich die Preise für außerbörsliche nicht standardisierte Kontrakte ableiten.

Eine erste Frage ist demnach:

Wie bildet sich der Preis für die Stundenkontrakte am Day-Ahead Markt und was beeinflusst ihn?

Es gibt eine Reihe von Strompreisen...

Beispiel: Deutschland

1. Börse: An der Börse haben wir Preise für
   - die Einzelstunden des Folgetages $\longleftrightarrow$ Referenzpreis
   - die Blockkontrakte des Folgetages
   - die Stundenkontrakte im Innertageshandel
   - den Phelix Day, Month, Year (Base,Peak) sowie
   - den Terminmarktstrom (s.o.)
2. OTC: Durch Arbitrageüberlegungen lassen sich die Preise für außerbörsliche nicht standardisierte Kontrakte ableiten.

Eine erste Frage ist demnach:

Wie bildet sich der Preis für die Stundenkontrakte am Day-Ahead Markt und was beeinflusst ihn?

Es gibt eine Reihe von Strompreisen...

Beispiel: Deutschland

1. Börse: An der Börse haben wir Preise für
   - die Einzelstunden des Folgetages $\longleftrightarrow$ Referenzpreis
   - die Blockkontrakte des Folgetages
   - die Stundenkontrakte im Innertageshandel
   - den Phelix Day, Month, Year (Base,Peak) sowie
   - den Terminmarktstrom (s.o.)
2. OTC: Durch Arbitrageüberlegungen lassen sich die Preise für außerbörsliche nicht standardisierte Kontrakte ableiten.

Eine erste Frage ist demnach:

Wie bildet sich der Preis für die Stundenkontrakte am Day-Ahead Markt und was beeinflusst ihn?

Es gibt eine Reihe von Strompreisen...

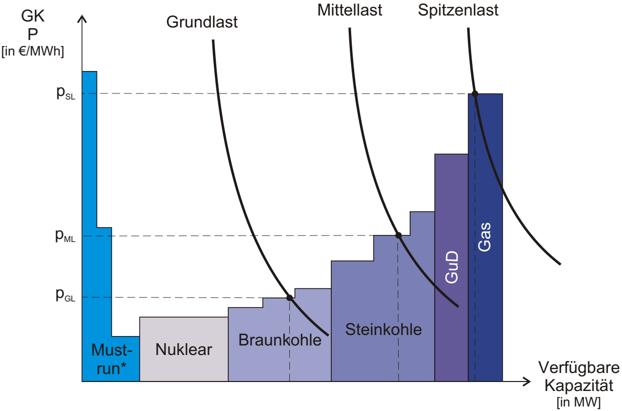
Beispiel: Deutschland

1. Börse: An der Börse haben wir Preise für
   - die Einzelstunden des Folgetages $\hookleftarrow$ Referenzpreis
   - die Blockkontrakte des Folgetages
   - die Stundenkontrakte im Innertageshandel
   - den Phelix Day, Month, Year (Base,Peak) sowie
   - den Terminmarktstrom (s.o.)
2. OTC: Durch Arbitrageüberlegungen lassen sich die Preise für außerbörsliche nicht standardisierte Kontrakte ableiten.

Eine erste Frage ist demnach:

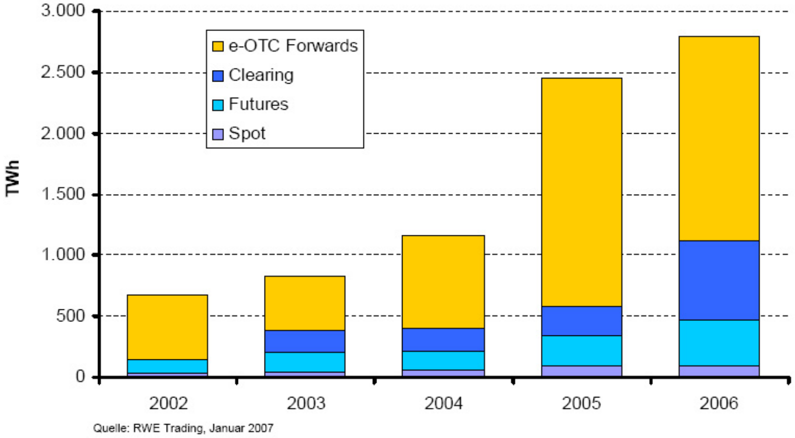
Wie bildet sich der Preis für die Stundenkontrakte am Day-Ahead Markt und was beeinflusst ihn?

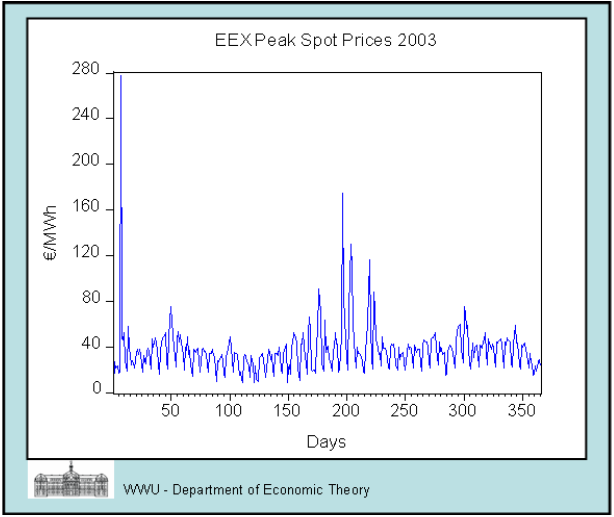
Strompreisbildung



*Must-run-Kapazitäten sind Stromerzeugungsanlagen auf Basis von regenerativen Brennstoffen wie Biomasse, Wind oder Solarenergie, welche gemäß dem Gesetz für Erneuerbare Energien (EEG) unabhängig von der Höhe der zum Teil erheblich variierenden Erzeugungskosten vorrangig eingespeist werden müssen, deren Verfügbarkeit allerdings je nach Wetterlage etc. stark schwankt.

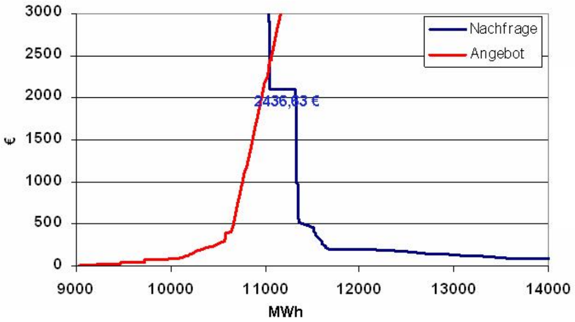
Der Spotmarkt - Ein Markt für Restkapazitäten




EEX Peak Spot Prices 2003
280
240
200
160
120
80
40
0
€/MWh
50
100
150
200
250
300
350
Days
WWU - Department of Economic Theory

Angebot und Nachfrage an der EEX 7. November 2006, 19:00 h

Zum Verständnis der Spotkurse für Elektrizität



Unelastische Nachfrage und Angebot führen zu extremen Preisen in den Stundenauktionen

Die Eigenschaften des Strompreises

- nicht konstante Volatilität, stochastische Vola?
- Saisonalität, stochastische Saisonalitäten?
  - Tages-
  - Wochen-
  - Jahres- und
  - Volazyklizitäten
- mean reversion
  - im Kurs und
  - in der Vola
- Spikes
  - Hochpreisphasen und
  - *single spikes*
- langfristiges Verhalten

Die Eigenschaften des Strompreises

- nicht konstante Volatilität, stochastische Vola?
- Saisonalität, stochastische Saisonalitäten?
  - Tages-
  - Wochen-
  - Jahres- und
  - Volazyklizitäten
- mean reversion
  - im Kurs und
  - in der Vola
- Spikes
  - Hochpreisphasen und
  - *single spikes*
- langfristiges Verhalten

Die Eigenschaften des Strompreises

- nicht konstante Volatilität, stochastische Vola?
- Saisonalität, stochastische Saisonalitäten?
  - Tages-
  - Wochen-
  - Jahres- und
  - Volazyklizitäten
- mean reversion
  - im Kurs und
  - in der Vola
- Spikes
  - Hochpreisphasen und
  - *single spikes*
- langfristiges Verhalten

Die Eigenschaften des Strompreises

- nicht konstante Volatilität, stochastische Vola?
- Saisonalität, stochastische Saisonalitäten?
  - Tages-
  - Wochen-
  - Jahres- und
  - Volazyklizitäten
- mean reversion
  - im Kurs und
  - in der Vola
- Spikes
  - Hochpreisphasen und
  - *single spikes*
- langfristiges Verhalten

Die Eigenschaften des Strompreises

- nicht konstante Volatilität, stochastische Vola?
- Saisonalität, stochastische Saisonalitäten?
  - Tages-
  - Wochen-
  - Jahres- und
  - Volazyklizitäten
- mean reversion
  - im Kurs und
  - in der Vola
- Spikes
  - Hochpreisphasen und
  - *single spikes*
- langfristiges Verhalten

Einige Einflussfaktoren auf den Strompreis

Die Einflussfaktoren auf den Strompreis können sowohl die Nachfrager als auch die Anbieter betreffen. Auf der Nachfrageseite sind dies:

- Wetter (Bewölkung, Temperatur)
- Verbraucherverhalten
- Industrieproduktion
- Netznutzungsentgelte (Weiterwälzung von Mehrkosten aus EEG/KWK)
- Stromsteuer
- Konzessionsabgaben

Einige Einflussfaktoren auf den Strompreis

Die Einflussfaktoren auf den Strompreis können sowohl die Nachfrager als auch die Anbieter betreffen. Auf der Nachfrageseite sind dies:

- Wetter (Bewölkung, Temperatur)
- Verbraucherverhalten
- Industrieproduktion
- Netznutzungsentgelte (Weiterwälzung von Mehrkosten aus EEG/KWK)
- Stromsteuer
- Konzessionsabgaben

Einige Einflussfaktoren auf den Strompreis

Die Angebotsseite:

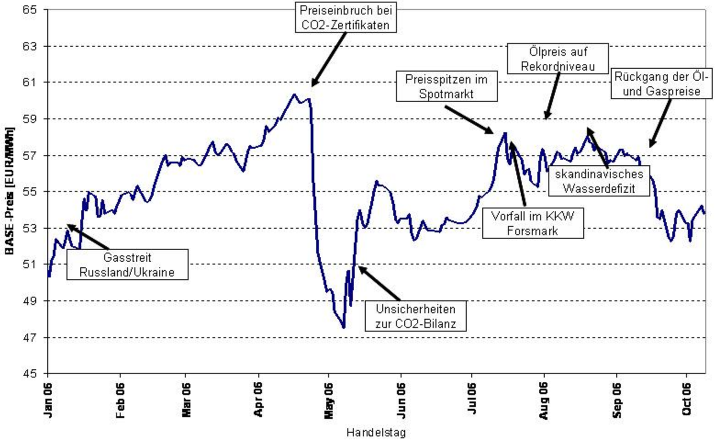
- Brennstoffpreise
- CO_2-Preise
- Kernenergieausstieg
- Wetter (externe Shocks, Kühlwasserverfügbarkeit)
- KW Ausfälle/Störungen
- Netzverfügbarkeit
- technischer Wandel (Wirkungsgrad!)
- KW-Revisionen
- Gesetzliche Vorrangregelungen und Vergütungsfestlegungen aus EEG/KWK

Einige Einflussfaktoren auf den Strompreis

Die Angebotsseite:

- Brennstoffpreise
- CO_2-Preise
- Kernenergieausstieg
- Wetter (externe Shocks, Kühlwasserverfügbarkeit)
- KW Ausfälle/Störungen
- Netzverfügbarkeit
- technischer Wandel (Wirkungsgrad!)
- KW-Revisionen
- Gesetzliche Vorrangregelungen und Vergütungsfestlegungen aus EEG/KWK

Einflüsse auf den Strompreis (07-Future)



Forwards und Futures auf Strom

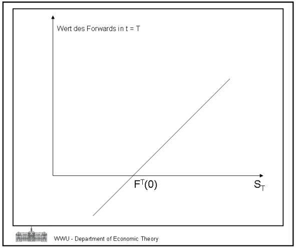
- unbedingter (d.h. unbedingte Ausführung) Terminkontrakt
- Kauf (in $t = 0$) und Erfüllung (für alle $t \in [T_1, T_2]$) fallen terminlich auseinander
- bekannt: heutiger Kassapreis S_0, unbekannt S_t für $t \in [T_1, T_2]$
- EEX-Futures:
  - hoch standardisiert (Base, Peak, Month, Quarter, Year), tägliche Bewertung, kein Kontrahentenrisiko
  - physische Erfüllung (German/French Power Futures) oder finanzieller Ausgleich (Phelix Futures - Underlying Phelix!)
  - Bsp.: Phelix Baseload Month Futures F1BM (Feb-08)
- OTC-Forwards:
  - nicht standardisiert, große Bandbreite von Lieferterminen
  - kein einheitliches Underlying
  - Kontrahentenausfallrisiko
  - meist physische Lieferung

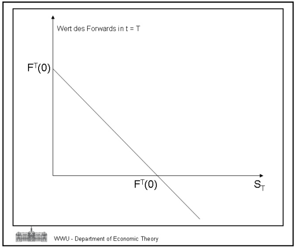
Forwards und Futures auf Strom

- unbedingter (d.h. unbedingte Ausführung) Terminkontrakt
- Kauf (in $t = 0$) und Erfüllung (für alle $t \in [T_1, T_2]$) fallen terminlich auseinander
- bekannt: heutiger Kassapreis S_0, unbekannt S_t für $t \in [T_1, T_2]$
- EEX-Futures:
  - hoch standardisiert (Base, Peak, Month, Quarter, Year), tägliche Bewertung, kein Kontrahentenrisiko
  - physische Erfüllung (German/French Power Futures) oder finanzieller Ausgleich (Phelix Futures - Underlying Phelix!)
  - Bsp.: Phelix Baseload Month Futures F1BM (Feb-08)
- OTC-Forwards:
  - nicht standardisiert, große Bandbreite von Lieferterminen
  - kein einheitliches Underlying
  - Kontrahentenausfallrisiko
  - meist physische Lieferung

Forwards und Futures auf Strom

- unbedingter (d.h. unbedingte Ausführung) Terminkontrakt
- Kauf (in $t = 0$) und Erfüllung (für alle $t \in [T_1, T_2]$) fallen terminlich auseinander
- bekannt: heutiger Kassapreis S_0, unbekannt S_t für $t \in [T_1, T_2]$
- EEX-Futures:
  - hoch standardisiert (Base, Peak, Month, Quarter, Year), tägliche Bewertung, kein Kontrahentenrisiko
  - physische Erfüllung (German/French Power Futures) oder finanzieller Ausgleich (Phelix Futures - Underlying Phelix!)
  - Bsp.: Phelix Baseload Month Futures F1BM (Feb-08)
- OTC-Forwards:
  - nicht standardisiert, große Bandbreite von Lieferterminen
  - kein einheitliches Underlying
  - Kontrahentenausfallrisiko
  - meist physische Lieferung

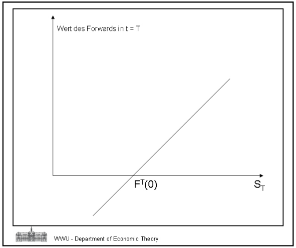


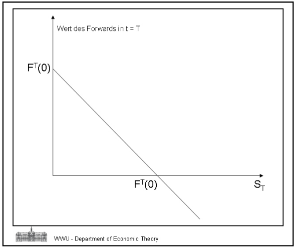


- Der faire Preis $F^T(0)$ in $t = 0$ muss in einer Arbitragefreien Welt gerade so hoch sein, dass sich ein Wert von 0 ergibt.
- Im Folgenden verstehen wir unter einem Arbitrageportfolio stets ein in $t = 0$ wertloses Portfolio

$$P = \alpha B + \sum_{i=0}^{n} p_i S_i, \text{ mit } V_T(P) \geq 0, \; p\{V_T(P) > 0\} > 0$$

- Forward mit Zinseffekt
  $F^T(0) = S_0 e^{rT}$
- Forward mit Zins- und Lagerkosteneffekt sowie convenience yield
  $F^T(0) = S_0 e^{(r+u-y)T}$
- Forward auf Strom
  $F^T(0) = S_0 e^{rT} + \pi(S_0, T)$

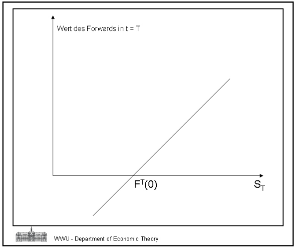


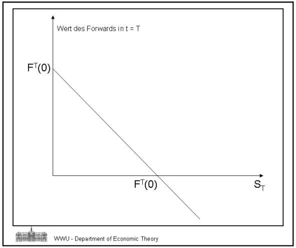


- Der faire Preis $F^T(0)$ in $t = 0$ muss in einer Arbitragefreien Welt gerade so hoch sein, dass sich ein Wert von 0 ergibt.
- Im Folgenden verstehen wir unter einem Arbitrageportfolio stets ein in $t = 0$ wertloses Portfolio

$$P = \alpha B + \sum_{i=0}^{n} p_i S_i\,, \text{ mit } V_T(P) \geq 0,\ p\{V_T(P) > 0\} > 0$$

- Forward mit Zinseffekt
  $F^T(0) = S_0 e^{rT}$
- Forward mit Zins- und Lagerkosteneffekt sowie convenience yield
  $F^T(0) = S_0 e^{(r+u-y)T}$
- Forward auf Strom
  $F^T(0) = S_0 e^{rT} + \pi(S_0, T)$

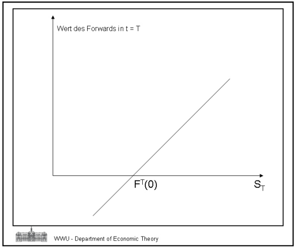


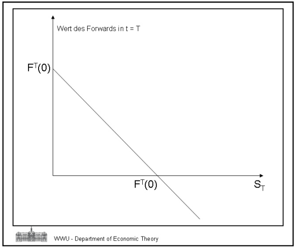


- Der faire Preis $F^T(0)$ in $t = 0$ muss in einer Arbitragefreien Welt gerade so hoch sein, dass sich ein Wert von 0 ergibt.
- Im Folgenden verstehen wir unter einem Arbitrageportfolio stets ein in $t = 0$ wertloses Portfolio

$$P = \alpha B + \sum_{i=0}^{n} p_i S_i \,,\ \text{mit } V_T(P) \geq 0,\ p\{V_T(P) > 0\} > 0$$

- Forward mit Zinseffekt
  $F^T(0) = S_0 e^{rT}$
- Forward mit Zins- und Lagerkosteneffekt sowie convenience yield
  $F^T(0) = S_0 e^{(r+u-y)T}$
- Forward auf Strom
  $F^T(0) = S_0 e^{rT} + \pi(S_0, T)$

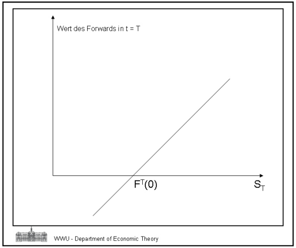


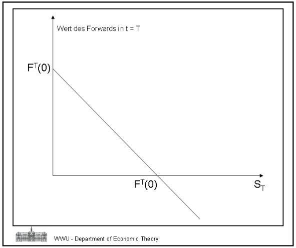


- Der faire Preis $F^T(0)$ in $t = 0$ muss in einer Arbitragefreien Welt gerade so hoch sein, dass sich ein Wert von 0 ergibt.
- Im Folgenden verstehen wir unter einem Arbitrageportfolio stets ein in $t = 0$ wertloses Portfolio

$$P = \alpha B + \sum_{i=0}^{n} p_i S_i\,,\ \text{mit } V_T(P) \geq 0,\ p\{V_T(P) > 0\} > 0$$

- Forward mit Zinseffekt
  $F^T(0) = S_0 e^{rT}$
- Forward mit Zins- und Lagerkosteneffekt sowie convenience yield
  $F^T(0) = S_0 e^{(r+u-y)T}$
- Forward auf Strom
  $F^T(0) = S_0 e^{rT} + \pi(S_0, T)$





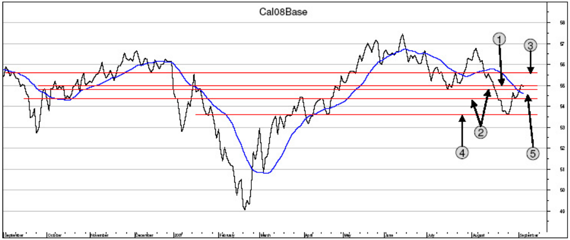
- Der faire Preis $F^T(0)$ in $t = 0$ muss in einer Arbitragefreien Welt gerade so hoch sein, dass sich ein Wert von 0 ergibt.
- Im Folgenden verstehen wir unter einem Arbitrageportfolio stets ein in $t = 0$ wertloses Portfolio

$$P = \alpha B + \sum_{i=0}^{n} p_i S_i\,, \text{ mit } V_T(P) \geq 0,\ p\{V_T(P) > 0\} > 0$$

- Forward mit Zinseffekt
  $F^T(0) = S_0 e^{rT}$
- Forward mit Zins- und Lagerkosteneffekt sowie convenience yield
  $F^T(0) = S_0 e^{(r+u-y)T}$
- Forward auf Strom
  $F^T(0) = S_0 e^{rT} + \pi(S_0, T)$

1. Der Aufwärtstrend, den der Preis zu Beginn der letzten Woche eingeleitet hatte, ist weiterhin aktiv. Aktuell testet der Preis den starken Widerstand bei 55,00€/MWh.
2. In seiner Aufwärtsbewegung hat der Preis die Widerstände bei 54,40€/MWh und bei 54,80€/MWh durchbrochen, die sich bei einer möglichen Trendumkehr als Unterstützungen erweisen können
3. Ein weiterer Widerstand ist bei 55,60€/MWh zu erkennen.
4. Eine starke Unterstützung ist bei 53,70€/MWh zu identifizieren.
5. Durch den 20-Tages-Durchschnitt ist der Preis in dieser Woche nach oben durchgebrochen und hat damit ein bullisches Signal gesetzt.

Erwartung für die laufende Woche:
Min: 53,70€/MWh
Max: 55,60€/MWh



1. Der Preis befindet sich in einem Aufwärtstrend, den er letzte Woche eingeleitet hat. In seiner Aufwärtsbewegung hat er den Widerstand bei 55,00€/MWh nach oben durchbrochen.
2. Der sich öffnende Abwärtstrendkanal begrenzt immer noch die Preisbewegung. Aktuell bremst der obere Widerstand die Aufwärtsbewegung.
3. Weitere Widerstände sind bei 55,50€/MWh und bei 55,80€/MWh zu identifizieren.
4. Unterstützung kann der Chart durch den Abwärtstrendkanal, bei 54,40€/MWh und bei 54,00€/MWh erhalten.
5. Durch den 20-Tages-Durchschnitt ist der Preis in dieser Woche nach oben durchgebrochen und hat damit ein bullisches Signal gesetzt.

Erwartung für die laufende Woche:
Min: 54,00€/MWh
Max: 55,80€/MWh

Optionen auf Stromfutures (Langfristoptionen)

- bedingter (d.h. bedingte Ausführung) Terminkontrakt, Underlying: Forward/Future
- Calls: Kaufrechte, Puts: Verkaufsrechte
- gängige Ausprägungen auf Strommärkten:
  - Europäer: Ausübung am Ende der Laufzeit
  - Amerikaner: Ausführung während der Laufzeit
  - swing options (str. Produkt): mehrere flexible Ausübungszeitpunkte, Fahrplan mit Optionalitäten
  - spread options: Das Underlying ist hier die Differenz von zwei Future/Forward-Kursen (z.B. SK/Strom oder Gas/Strom)

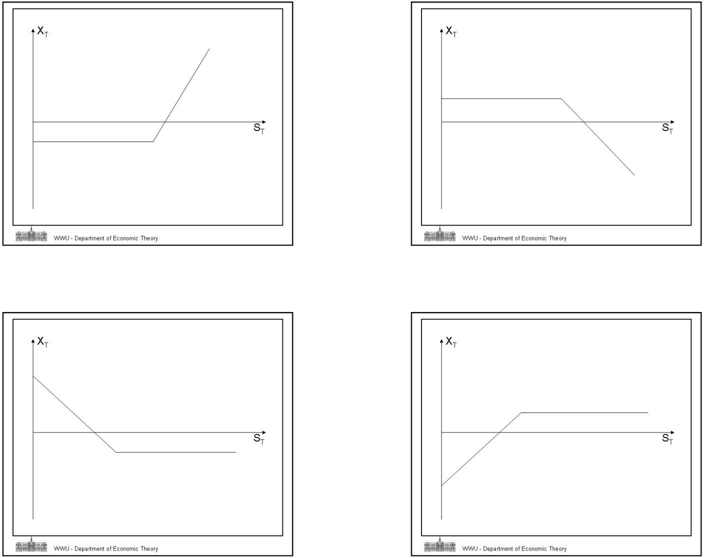
Optionen auf Stromfutures (Langfristoptionen)

- bedingter (d.h. bedingte Ausführung) Terminkontrakt, Underlying: Forward/Future
- Calls: Kaufrechte, Puts: Verkaufsrechte
- gängige Ausprägungen auf Strommärkten:
  - Europäer: Ausübung am Ende der Laufzeit
  - Amerikaner: Ausführung während der Laufzeit
  - swing options (str. Produkt): mehrere flexible Ausübungszeitpunkte, Fahrplan mit Optionalitäten
  - spread options: Das Underlying ist hier die Differenz von zwei Future/Forward-Kursen (z.B. SK/Strom oder Gas/Strom)

Optionen auf Stromfutures (Langfristoptionen)

- bedingter (d.h. bedingte Ausführung) Terminkontrakt, Underlying: Forward/Future
- Calls: Kaufrechte, Puts: Verkaufsrechte
- gängige Ausprägungen auf Strommärkten:
  - Europäer: Ausübung am Ende der Laufzeit
  - Amerikaner: Ausführung während der Laufzeit
  - swing options (str. Produkt): mehrere flexible Ausübungszeitpunkte, Fahrplan mit Optionalitäten
  - spread options: Das Underlying ist hier die Differenz von zwei Future/Forward-Kursen (z.B. SK/Strom oder Gas/Strom)

Optionen werden definiert über ihr Auszahlungsprofil in $t = T$.



Portfoliomanagement

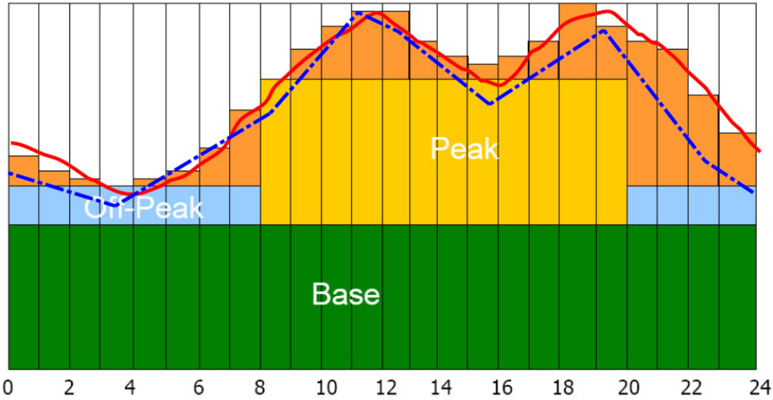
Vertriebs-, Beschaffungs- und Erzeugungsportfolio

Definition

*Unter **Erzeugungsportfoliomanagement** verstehen wir die Bewirtschaftung von Kraftwerkskapazitäten unter Berücksichtigung aller technischen, rechtlichen und ökonomischen Restriktionen mit dem Ziel, die Deckungsbeiträge zu maximieren.*

1. **Terminmarkt**: Absicherung von DB-Potenzialen zum heutigen Preisniveau (unbed. TG), ohne ein gewisses Chancenpotential aufzugeben (bed. TG)
2. **Spotmarkt**: Vermarktung von Restkapazitäten, Kurzfristoptimierung zur Ausnutzung zusätzlicher, kurzfristiger Chancen

Standardprodukte



Spotmarktmodelle

Modellansätze für kurzfristige Kontrakte

Ziel:

Modellierung aller Eigenschaften von Strom in eigenständigen oder gekoppelten deterministischen oder stochastischen Prozessen unter Berücksichtigung möglichst vieler Einflussfaktoren.

Wofür Spotmarktmodell?

- Grundlage für die Bewertung von OTC-Spotmarktderivaten zur kurzfristigen Portfolio-Optimierung.
- Preisprognosen, Forwardkurvensimulation
- Implizite Bestimmung von Einflussgrößen
- Achtung: GuD und konventionelle Gaskraftwerke finanzieren sich auch über die Spikes am Spotmarkt! (Realoptionsansätze)
- Für Unternehmen mit zeitnahen bilateralen Lieferverträgen sind die Spikes ein Dorn im Auge! (s.o.)
- Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist die Bekämpfung des Investitionsdilemmas interessant. Spotmarktderivate können hier auch zur Absicherung von Investitionsrisiken dienen (Versicherungsscheine!).

Wofür Spotmarktmodell?

- Grundlage für die Bewertung von OTC-Spotmarktderivaten zur kurzfristigen Portfolio-Optimierung.
- Preisprognosen, Forwardkurvensimulation
- Implizite Bestimmung von Einflussgrößen
- Achtung: GuD und konventionelle Gaskraftwerke finanzieren sich auch über die Spikes am Spotmarkt! (Realoptionsansätze)
- Für Unternehmen mit zeitnahen bilateralen Lieferverträgen sind die Spikes ein Dorn im Auge! (s.o.)
- Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist die Bekämpfung des Investitionsdilemmas interessant. Spotmarktderivate können hier auch zur Absicherung von Investitionsrisiken dienen (Versicherungsscheine!).

Wofür Spotmarktmodell?

- Grundlage für die Bewertung von OTC-Spotmarktderivaten zur kurzfristigen Portfolio-Optimierung.
- Preisprognosen, Forwardkurvensimulation
- Implizite Bestimmung von Einflussgrößen
- Achtung: GuD und konventionelle Gaskraftwerke finanzieren sich auch über die Spikes am Spotmarkt! (Realoptionsansätze)
- Für Unternehmen mit zeitnahen bilateralen Lieferverträgen sind die Spikes ein Dorn im Auge! (s.o.)
- Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist die Bekämpfung des Investitionsdilemmas interessant. Spotmarktderivate können hier auch zur Absicherung von Investitionsrisiken dienen (Versicherungsscheine!).

Wofür Spotmarktmodell?

- Grundlage für die Bewertung von OTC-Spotmarktderivaten zur kurzfristigen Portfolio-Optimierung.
- Preisprognosen, Forwardkurvensimulation
- Implizite Bestimmung von Einflussgrößen
- Achtung: GuD und konventionelle Gaskraftwerke finanzieren sich auch über die Spikes am Spotmarkt! (Realoptionsansätze)
- Für Unternehmen mit zeitnahen bilateralen Lieferverträgen sind die Spikes ein Dorn im Auge! (s.o.)
- Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist die Bekämpfung des Investitionsdilemmas interessant. Spotmarktderivate können hier auch zur Absicherung von Investitionsrisiken dienen (Versicherungsscheine!).

Wofür Spotmarktmodell?

- Grundlage für die Bewertung von OTC-Spotmarktderivaten zur kurzfristigen Portfolio-Optimierung.
- Preisprognosen, Forwardkurvensimulation
- Implizite Bestimmung von Einflussgrößen
- Achtung: GuD und konventionelle Gaskraftwerke finanzieren sich auch über die Spikes am Spotmarkt! (Realoptionsansätze)
- Für Unternehmen mit zeitnahen bilateralen Lieferverträgen sind die Spikes ein Dorn im Auge! (s.o.)
- Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist die Bekämpfung des Investitionsdilemmas interessant. Spotmarktderivate können hier auch zur Absicherung von Investitionsrisiken dienen (Versicherungsscheine!).

Wofür Spotmarktmodell?

- Grundlage für die Bewertung von OTC-Spotmarktderivaten zur kurzfristigen Portfolio-Optimierung.
- Preisprognosen, Forwardkurvensimulation
- Implizite Bestimmung von Einflussgrößen
- Achtung: GuD und konventionelle Gaskraftwerke finanzieren sich auch über die Spikes am Spotmarkt! (Realoptionsansätze)
- Für Unternehmen mit zeitnahen bilateralen Lieferverträgen sind die Spikes ein Dorn im Auge! (s.o.)
- Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist die Bekämpfung des Investitionsdilemmas interessant. Spotmarktderivate können hier auch zur Absicherung von Investitionsrisiken dienen (Versicherungsscheine!).

Spotpreismodellierung

1. **Fundamentale Marktmodelle** (merit order)
   ⇢ sehr intuitiv, z.B. ist anhand der Konvexität der Angebotsfunktion direkt ersichtlich, dass eine Nachfragevariation in der Nähe der Kapazitätsgrenze eine höhere Varianz generiert (unterschiedliche Vola zu Base- und Peakzeiten).
2. **Stochastische Prozesse** (SDE)
   ⇢ Grundlage der Derivatebewertung, Preis als dynamische Zustandsvariable unter Integration deterministischer Muster.
3. **Hybride Modelle** (Mischform) Angebot- und Nachfragefunktion jeweils als Systeme von stochastischen Prozessen, hoher numerischer Aufwand

Spotpreismodellierung

1. **Fundamentale Marktmodelle** (merit order)
   ⇢ sehr intuitiv, z.B. ist anhand der Konvexität der Angebotsfunktion direkt ersichtlich, dass eine Nachfragevariation in der Nähe der Kapazitätsgrenze eine höhere Varianz generiert (unterschiedliche Vola zu Base- und Peakzeiten).
2. **Stochastische Prozesse** (SDE)
   ⇢ Grundlage der Derivatebewertung, Preis als dynamische Zustandsvariable unter Integration deterministischer Muster.
3. **Hybride Modelle** (Mischform) Angebot- und Nachfragefunktion jeweils als Systeme von stochastischen Prozessen, hoher numerischer Aufwand

Spotpreismodellierung

1. **Fundamentale Marktmodelle** (merit order)
   ⇢ sehr intuitiv, z.B. ist anhand der Konvexität der Angebotsfunktion direkt ersichtlich, dass eine Nachfragevariation in der Nähe der Kapazitätsgrenze eine höhere Varianz generiert (unterschiedliche Vola zu Base- und Peakzeiten).
2. **Stochastische Prozesse** (SDE)
   ⇢ Grundlage der Derivatebewertung, Preis als dynamische Zustandsvariable unter Integration deterministischer Muster.
3. **Hybride Modelle** (Mischform) Angebot- und Nachfragefunktion jeweils als Systeme von stochastischen Prozessen, hoher numerischer Aufwand

Spotpreismodellierung

1. **Fundamentale Marktmodelle** (merit order)
   ⇢ sehr intuitiv, z.B. ist anhand der Konvexität der Angebotsfunktion direkt ersichtlich, dass eine Nachfragevariation in der Nähe der Kapazitätsgrenze eine höhere Varianz generiert (unterschiedliche Vola zu Base- und Peakzeiten).
2. **Stochastische Prozesse** (SDE)
   ⇢ Grundlage der Derivatebewertung, Preis als dynamische Zustandsvariable unter Integration deterministischer Muster.
3. **Hybride Modelle** (Mischform) Angebot- und Nachfragefunktion jeweils als Systeme von stochastischen Prozessen, hoher numerischer Aufwand

Spotpreismodellierung

1. **Fundamentale Marktmodelle** (merit order)
   ⇢ sehr intuitiv, z.B. ist anhand der Konvexität der Angebotsfunktion direkt ersichtlich, dass eine Nachfragevariation in der Nähe der Kapazitätsgrenze eine höhere Varianz generiert (unterschiedliche Vola zu Base- und Peakzeiten).
2. **Stochastische Prozesse** (SDE)
   ⇢ Grundlage der Derivatebewertung, Preis als dynamische Zustandsvariable unter Integration deterministischer Muster.
3. **Hybride Modelle** (Mischform) Angebot- und Nachfragefunktion jeweils als Systeme von stochastischen Prozessen, hoher numerischer Aufwand

SDE-Spotmarktmodelle i.d. Literatur

$$S_t = f_t + X_t^{(i)}, \quad \text{für die Regime } i = 1 \dots N$$

Dabei sind die $X_t^{(i)}$ jeweils eine Summe von (OU-)Lévy- oder Fellerprozessen. Am Besten: 1 Regime, 1 Summand!

1. Regime-Switching [Huismann et al., 2003]

$$\Pi = \begin{array}{cc} & \begin{array}{ccc} M(J_t = 0) & Jp\,U & Jp\,D \end{array} \\ \begin{array}{c} M(J_t = 0) \\ Jp\,U \\ Jp\,D \end{array} & \begin{pmatrix} 1-p & p & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

2. Modell mit Umschaltlevel, ein Regime [Geman, Roncoroni 2006]

$$dE(t) = f(t) + \theta\big(\mu(t) - E(t_-)\big)\,dt + \sigma\,dW_t + h(t_-)\,dJ(t)$$

$$h(E(t)) = \begin{cases} +1 & \text{für } E(t) < \tau(t) \\ -1 & \text{für } E(t) \geq \tau(t) \end{cases}$$

SDE-Spotmarktmodelle i.d. Literatur

$$S_t = f_t + X_t^{(i)}, \quad \text{für die Regime } i = 1 \ldots N$$

Dabei sind die $X_t^{(i)}$ jeweils eine Summe von (OU-)Lévy- oder Fellerprozessen. Am Besten: 1 Regime, 1 Summand!

1. Regime-Switching [Huismann et al., 2003]

$$\Pi = \begin{array}{c} \\ M(J_t = 0) \\ Jp\,U \\ Jp\,D \end{array} \begin{pmatrix} M(J_t = 0) & Jp\,U & Jp\,D \\ & & \\ 1-p & p & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

2. Modell mit Umschaltlevel, ein Regime [Geman, Roncoroni 2006]

$$dE(t) = f(t) + \theta\big(\mu(t) - E(t_-)\big)\,dt + \sigma\,dW_t + h(t_-)\,dJ(t)$$

$$h(E(t)) = \begin{cases} +1 & \text{für } E(t) < \tau(t) \\ -1 & \text{für } E(t) \geq \tau(t) \end{cases}$$

Bessere Ansätze

$$S_t = f_t + X_t,$$

Dabei ist X_t eine Summe von Lévy- oder Fellerprozessen. Am Besten: 1 Summand!

Definition

Ein Lévy-Prozess ist ein stochastischer Prozess auf einem W-Raum $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$, der folgende Eigenschaften erfüllt.

1. *Die Pfade sind f.s. rechtsstetig mit Linkslimes (Càdlàg Eigenschaft)*
2. $X_0 = 0$ *f.s.*
3. X *hat unabhängige und stationäre Inkremente*

Bei Feller-Prozessen kann die Stationarität aufgehoben werden (ortsbahängige Verteilungen).

Bessere Ansätze

$$S_t = f_t + X_t,$$

Dabei ist X_t eine Summe von Lévy- oder Fellerprozessen. Am Besten: 1 Summand!

Definition

Ein Lévy-Prozess ist ein stochastischer Prozess auf einem W-Raum $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$*, der folgende Eigenschaften erfüllt.*

1. *Die Pfade sind f.s. rechtsstetig mit Linkslimes (Càdlàg Eigenschaft)*
2. $X_0 = 0$ *f.s.*
3. X *hat unabhängige und stationäre Inkremente*

Bei Feller-Prozessen kann die Stationarität aufgehoben werden (ortsbahängige Verteilungen).

Bessere Ansätze

$$S_t = f_t + X_t,$$

Dabei ist X_t eine Summe von Lévy- oder Fellerprozessen. Am Besten: 1 Summand!

1. OU-Prozess (mean reversion) [in Anlehnung an Benth et al., 2005]

$$\begin{aligned} S_t &= \exp\left(L_t + X_t^{(1)} + X_t^{(2)}\right) \\ dX_t^{(1)} &= -\kappa^{(1)} X_t^{(1)}\, dt + \sigma^{(1)}(t)\, dW_t^{(1)} \\ dX_t^{(2)} &= -\kappa^{(2)} X_t^{(2)}\, dt + (J_t^{(2)} - 1) dq_t^{(2)} \end{aligned}$$

2. Fellerprozess vom NIG Typ

$$p(x,\xi) = \delta(x)\left(\left((\alpha(x)^2 - (\beta(x) + i\xi)^2\right)^{1/2} - \left(\alpha(x)^2 - \beta(x)^2\right)^{1/2}\right)$$

Bessere Ansätze

$$S_t = f_t + X_t,$$

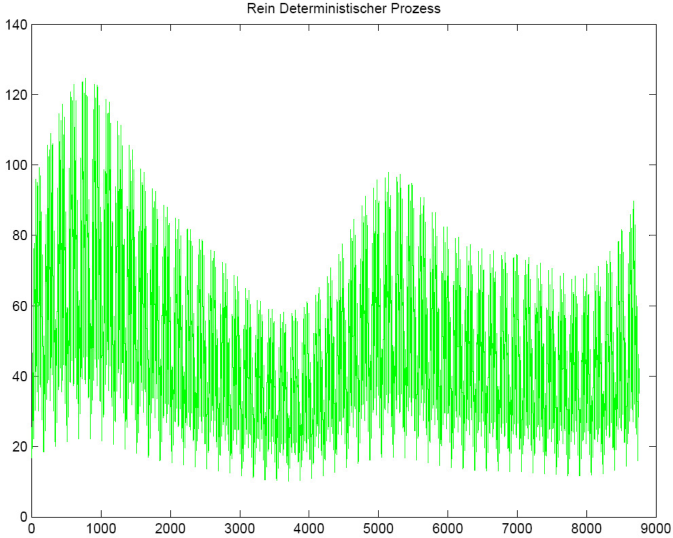
Dabei ist X_t eine Summe von Lévy- oder Fellerprozessen. Am Besten: 1 Summand!

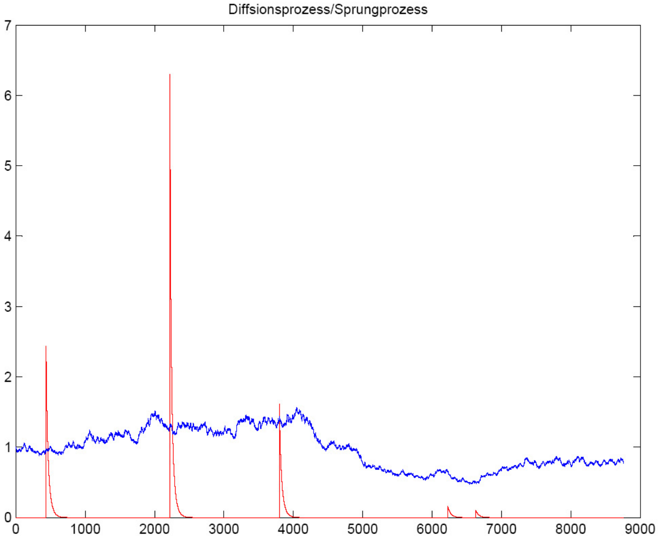
1. OU-Prozess (mean reversion) [in Anlehnung an Benth et al., 2005]

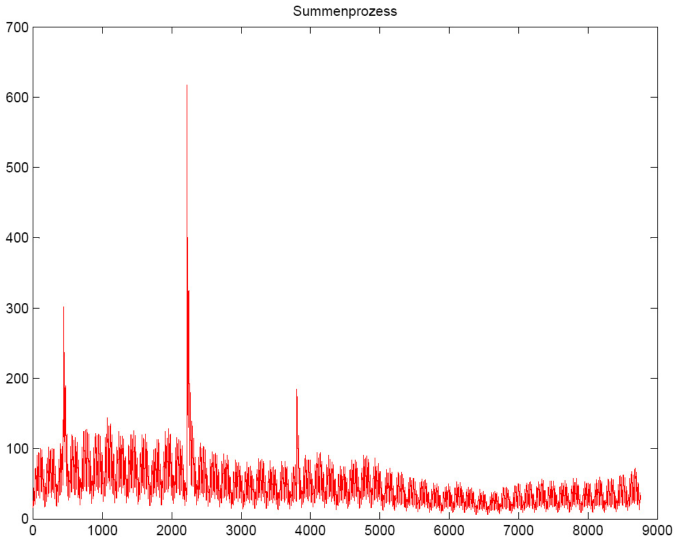
$$\begin{aligned} S_t &= \exp\left(L_t + X_t^{(1)} + X_t^{(2)}\right) \\ dX_t^{(1)} &= -\kappa^{(1)} X_t^{(1)}\, dt + \sigma^{(1)}(t)\, dW_t^{(1)} \\ dX_t^{(2)} &= -\kappa^{(2)} X_t^{(2)}\, dt + (J_t^{(2)} - 1) dq_t^{(2)} \end{aligned}$$

2. Fellerprozess vom NIG Typ

$$p(x,\xi) = \delta(x)\Big(\big(\alpha(x)^2 - (\beta(x) + i\xi)^2\big)^{1/2} - \big(\alpha(x)^2 - \beta(x)^2\big)^{1/2}\Big)$$


Rein Deterministischer Prozess
140
120
100
80
60
40
20
0
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000


Diffsionsprozess/Sprungprozess
0
1
2
3
4
5
6
7
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000


Summenprozess
700
600
500
400
300
200
100
0
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000

Einleitung: FP of NIG type

Lévy-Khintchine

Sei $X = \{X_t\}_{t\geq 0}$ ein Lévy-Prozess auf $\mathbb{R}$.
Für den charakteristischen Exponent in $\mathbb{E}[e^{i\xi X_t}] = \exp(-t\psi(\xi))$ gilt die *Lévy-Khintchine-Formel*

$$\psi(\xi) = \frac{\sigma^2}{2}\xi^2 - i\mu\xi + \int_{-\infty}^{\infty} \left(1 - e^{i\xi x} + i\xi x \mathbf{1}_{[-1,1]}(x)\right) \nu(x)\, dx,$$

wobei ν die Lévy-Dichte ist mit $\int x^2\, \nu(x)\, dx < \infty$ ist.
$\dashrightarrow$ $\pi = 0 \Rightarrow$ BB
$\dashrightarrow$ $\sigma^2 = 0 \Rightarrow$ PJP

Einleitung: FP of NIG type

Lévy-Khintchine

Sei $X = \{X_t\}_{t \geq 0}$ ein Lévy-Prozess auf $\mathbb{R}$.
Für den charakteristischen Exponent in $\mathbb{E}[e^{i\xi X_t}] = \exp(-t\psi(\xi))$ gilt die *Lévy-Khintchine-Formel*

$$\psi(\xi) = \frac{\sigma^2}{2}\xi^2 - i\mu\xi + \int_{-\infty}^{\infty} \left(1 - e^{i\xi x} + i\xi x \mathbf{1}_{[-1,1]}(x)\right) \nu(x)\, dx,$$

wobei ν die Lévy-Dichte ist mit $\int x^2\, \nu(x)\, dx < \infty$ ist.

$\dashrightarrow$ $\pi = 0 \Rightarrow$ BB

$\dashrightarrow$ $\sigma^2 = 0 \Rightarrow$ PJP

Einleitung: FP of NIG type

Lévy-Khintchine

Sei $X = \{X_t\}_{t \geq 0}$ ein Lévy-Prozess auf $\mathbb{R}$.
Für den charakteristischen Exponent in $\mathbb{E}[e^{i\xi X_t}] = \exp(-t\psi(\xi))$ gilt die *Lévy-Khintchine-Formel*

$$\psi(\xi) = \frac{\sigma^2}{2}\xi^2 - i\mu\xi + \int_{-\infty}^{\infty} \left(1 - e^{i\xi x} + i\xi x \mathbf{1}_{[-1,1]}(x)\right) \nu(x)\, dx,$$

wobei ν die Lévy-Dichte ist mit $\int x^2 \nu(x)\, dx < \infty$ ist.

$\dashrightarrow$ $\pi = 0 \Rightarrow$ BB

$\dashrightarrow$ $\sigma^2 = 0 \Rightarrow$ PJP

Einleitung: FP of NIG type

Lévy-Khintchine

Sei $X = \{X_t\}_{t\geq 0}$ ein Lévy-Prozess auf $\mathbb{R}$.
Für den charakteristischen Exponent in $\mathbb{E}[e^{i\xi X_t}] = \exp(-t\psi(\xi))$ gilt die *Lévy-Khintchine-Formel*

$$\psi(\xi) = \frac{\sigma^2}{2}\xi^2 - i\mu\xi + \int_{-\infty}^{\infty} \left(1 - e^{i\xi x} + i\xi x \mathbf{1}_{[-1,1]}(x)\right) \nu(x)\, dx,$$

wobei ν die Lévy-Dichte ist mit $\int x^2 \nu(x)\, dx < \infty$ ist.
$\dashrightarrow$ $\pi = 0 \Rightarrow$ BB
$\dashrightarrow$ $\sigma^2 = 0 \Rightarrow$ PJP

Motivation

Regular Lévy Process of Exponential type (RLPE)

- Tails bei Normalverteilung verschwinden nicht exponentiell (sogar schneller)
- Beobachtungen auf Energie- und Finanzmärkten:
  - Assymetrische Verteilung
  - Tails verschwinden exponentiell (fat oder semi-heavy tails)

$\Longrightarrow$ RLPE (NIG)

Motivation

Regular Lévy Process of Exponential type (RLPE)

- Tails bei Normalverteilung verschwinden nicht exponentiell (sogar schneller)
- Beobachtungen auf Energie- und Finanzmärkten:
  - Assymetrische Verteilung
  - Tails verschwinden exponentiell (fat oder semi-heavy tails)

$\Longrightarrow$ RLPE (NIG)

Motivation

Regular Lévy Process of Exponential type (RLPE)

- Tails bei Normalverteilung verschwinden nicht exponentiell (sogar schneller)
- Beobachtungen auf Energie- und Finanzmärkten:
  - Assymetrische Verteilung
  - Tails verschwinden exponentiell (fat oder semi-heavy tails)

$\Longrightarrow$ RLPE (NIG)

FP of NIG type

Motivation

$$\begin{aligned}
\text{NIG} \rightarrow \psi(\xi) &= \delta\big((\alpha^2 - (\beta + i\xi)^2)^{1/2} - (\alpha^2 - \beta^2)^{1/2}\big) \\
\nu_{NIG}(x;\alpha,\beta,\delta)\,dx &= \frac{\delta\alpha}{\pi}\,\frac{\exp(\beta x)K_1(\alpha|x|)}{|x|}\,dx \\
f_{NIG}(x;\alpha,\beta,\delta) &= \frac{\delta\alpha}{\pi}\,\exp(\delta\sqrt{\alpha^2-\beta^2}+\beta x)\,\frac{K_1(\alpha\sqrt{\delta^2+x^2})}{\sqrt{\delta^2+x^2}}
\end{aligned}$$

- α: steuert die Steilheit der Tails
- β: steuert die Asymmetrie, ($\beta = 0 \Rightarrow$ Symmetrie)
- δ: Standardabweichung
- $\alpha - \beta$: Rate of exponential decay des rechten Tails
- $\alpha + \beta$: Rate of exponential decay des linken Tails

FP of NIG type

Motivation

$$\begin{aligned}
\text{NIG} \to \psi(\xi) &= \delta\big((\alpha^2 - (\beta + i\xi)^2)^{1/2} - (\alpha^2 - \beta^2)^{1/2}\big) \\
\nu_{NIG}(x;\alpha,\beta,\delta)\,dx &= \frac{\delta\alpha}{\pi}\,\frac{\exp(\beta x)K_1(\alpha|x|)}{|x|}\,dx \\
f_{NIG}(x;\alpha,\beta,\delta) &= \frac{\delta\alpha}{\pi}\,\exp(\delta\sqrt{\alpha^2-\beta^2}+\beta x)\,\frac{K_1(\alpha\sqrt{\delta^2+x^2})}{\sqrt{\delta^2+x^2}}
\end{aligned}$$

- α: steuert die Steilheit der Tails
- β: steuert die Asymmetrie, ($\beta = 0 \Rightarrow$ Symmetrie)
- δ: Standardabweichung
- $\alpha - \beta$: Rate of exponential decay des rechten Tails
- $\alpha + \beta$: Rate of exponential decay des linken Tails

FP of NIG type

Motivation

$$\begin{aligned}
\text{NIG} \to \psi(\xi) &= \delta\big((\alpha^2 - (\beta + i\xi)^2)^{1/2} - (\alpha^2 - \beta^2)^{1/2}\big) \\
\nu_{NIG}(x; \alpha, \beta, \delta)\, dx &= \frac{\delta\alpha}{\pi} \frac{\exp(\beta x) K_1(\alpha|x|)}{|x|}\, dx \\
f_{NIG}(x; \alpha, \beta, \delta) &= \frac{\delta\alpha}{\pi} \exp(\delta\sqrt{\alpha^2 - \beta^2} + \beta x) \frac{K_1(\alpha\sqrt{\delta^2 + x^2})}{\sqrt{\delta^2 + x^2}}
\end{aligned}$$

- α: steuert die Steilheit der Tails
- β: steuert die Asymmetrie, ($\beta = 0 \Rightarrow$ Symmetrie)
- δ: Standardabweichung
- $\alpha - \beta$: Rate of exponential decay des rechten Tails
- $\alpha + \beta$: Rate of exponential decay des linken Tails

FP of NIG type

Motivation

$$
\begin{aligned}
\text{NIG} \rightarrow \psi(\xi) &= \delta\big((\alpha^2 - (\beta + i\xi)^2)^{1/2} - (\alpha^2 - \beta^2)^{1/2}\big) \\
\nu_{NIG}(x; \alpha, \beta, \delta)\, dx &= \frac{\delta\alpha}{\pi} \frac{\exp(\beta x) K_1(\alpha|x|)}{|x|}\, dx \\
f_{NIG}(x; \alpha, \beta, \delta) &= \frac{\delta\alpha}{\pi} \exp(\delta\sqrt{\alpha^2 - \beta^2} + \beta x) \frac{K_1(\alpha\sqrt{\delta^2 + x^2})}{\sqrt{\delta^2 + x^2}}
\end{aligned}
$$

- α: steuert die Steilheit der Tails
- β: steuert die Asymmetrie, ($\beta = 0 \Rightarrow$ Symmetrie)
- δ: Standardabweichung
- $\alpha - \beta$: Rate of exponential decay des rechten Tails
- $\alpha + \beta$: Rate of exponential decay des linken Tails

FP of NIG type

Motivation

$$\begin{aligned}
\text{NIG} \rightarrow \psi(\xi) &= \delta\left((\alpha^2-(\beta+i\xi)^2)^{1/2}-(\alpha^2-\beta^2)^{1/2}\right)\\
\nu_{NIG}(x;\alpha,\beta,\delta)\,dx &= \frac{\delta\alpha}{\pi}\,\frac{\exp(\beta x)K_1(\alpha|x|)}{|x|}\,dx\\
f_{NIG}(x;\alpha,\beta,\delta) &= \frac{\delta\alpha}{\pi}\,\exp(\delta\sqrt{\alpha^2-\beta^2}+\beta x)\,\frac{K_1(\alpha\sqrt{\delta^2+x^2})}{\sqrt{\delta^2+x^2}}
\end{aligned}$$

- α: steuert die Steilheit der Tails
- β: steuert die Asymmetrie, ($\beta = 0 \Rightarrow$ Symmetrie)
- δ: Standardabweichung
- $\alpha - \beta$: Rate of exponential decay des rechten Tails
- $\alpha + \beta$: Rate of exponential decay des linken Tails

FP of NIG type

Motivation

	$\mathrm{NIG}(\alpha, \beta, \delta)$	$\mathrm{NIG}(\alpha, 0, \delta)$
mean	$\delta\beta/\sqrt{\alpha^2 - \beta^2}$	0
variance	$\alpha^2\delta(\alpha^2 - \beta^2)^{-3/2}$	δ/α
skewness	$3\beta\alpha^{-1}\delta^{-1/2}(\alpha^2 - \beta^2)^{-1/4}$	0
kurtosis	$3(1 + \frac{\alpha^2+4\beta^2}{\delta\alpha^2\sqrt{\alpha^2-\beta^2}})$	$3(1 + \alpha^{-1}\delta^{-1})$

Einleitung

Infinitesimaler Erzeuger eines RLPE

Sei $f \in C_0^2(\mathbb{R})$. Dann exisitiert für alle x der Grenzwert

$$(Lf)(x) = \lim_{t \downarrow 0} \frac{\mathbb{E}[f(x + X_t)] - f(x)}{t} \tag{1}$$

und $Lf \in C_0(\mathbb{R})$.

$f \mapsto Lf$: Infinitesimaler Erzeuger des Prozesses X.

$$\Rightarrow Lf(x) = (2\pi)^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} e^{ix\xi} \left(-\psi(\xi)\right) \hat{f}(\xi)\, d\xi. \tag{2}$$

Einleitung

Infinitesimaler Erzeuger eines RLPE

Sei $f \in C_0^2(\mathbb{R})$. Dann exisitiert für alle x der Grenzwert

$$(Lf)(x) = \lim_{t \downarrow 0} \frac{\mathbb{E}[f(x + X_t)] - f(x)}{t} \tag{1}$$

und $Lf \in C_0(\mathbb{R})$.
$f \mapsto Lf$: Infinitesimaler Erzeuger des Prozesses X.

$$\Rightarrow Lf(x) = (2\pi)^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} e^{ix\xi} (-\psi(\xi))\, \hat{f}(\xi)\, d\xi. \tag{2}$$

Einleitung

Infinitesimaler Erzeuger eines RLPE

Sei $f \in C_0^2(\mathbb{R})$. Dann exisitiert für alle x der Grenzwert

$$(Lf)(x) = \lim_{t \downarrow 0} \frac{\mathbb{E}[f(x + X_t)] - f(x)}{t} \tag{1}$$

und $Lf \in C_0(\mathbb{R})$.
$f \mapsto Lf$: Infinitesimaler Erzeuger des Prozesses X.

$$\Rightarrow Lf(x) = (2\pi)^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} e^{ix\xi} \left(-\psi(\xi)\right) \hat{f}(\xi)\, d\xi. \tag{2}$$

FP of NIG type

Motivation

Wir hätten gerne so etwas wie mean reversion in den Jumps, d.h. im PDO für den NIG

$$p(x,\xi) = \delta(x)\big((\alpha(x)^2 - (\beta(x) + i\xi)^2)^{1/2} - (\alpha(x)^2 - \beta(x)^2)^{1/2}\big)$$

statt $\psi(\xi)$. Dann:

- $\delta(x)$: steuert den Zusammenhang zwischen der Vola und dem Niveau von x
- $\alpha(x) - \beta(x)$: steuert positve Jumps in Abhängigkeit von x
- $\alpha(x) + \beta(x)$: steuert negative Jumps in Abhängigkeit von x

$$\Longrightarrow \quad \frac{\alpha(x) + \beta(x)}{\alpha(x) - \beta(x)} \quad \text{muss verschwinden.}$$

FP of NIG type

Motivation

Wir hätten gerne so etwas wie mean reversion in den Jumps, d.h. im PDO für den NIG

$$p(x,\xi) = \delta(x)\big((\alpha(x)^2 - (\beta(x) + i\xi)^2)^{1/2} - (\alpha(x)^2 - \beta(x)^2)^{1/2}\big)$$

statt $\psi(\xi)$. Dann:

- $\delta(x)$: steuert den Zusammenhang zwischen der Vola und dem Niveau von x
- $\alpha(x) - \beta(x)$: steuert positve Jumps in Abhängigkeit von x
- $\alpha(x) + \beta(x)$: steuert negative Jumps in Abhängigkeit von x

$$\Longrightarrow \quad \frac{\alpha(x)+\beta(x)}{\alpha(x)-\beta(x)} \quad \text{muss verschwinden.}$$

FP of NIG type

Motivation

Wir hätten gerne so etwas wie mean reversion in den Jumps, d.h. im PDO für den NIG

$$p(x,\xi) = \delta(x)\big((\alpha(x)^2 - (\beta(x) + i\xi)^2)^{1/2} - (\alpha(x)^2 - \beta(x)^2)^{1/2}\big)$$

statt $\psi(\xi)$. Dann:

- $\delta(x)$: steuert den Zusammenhang zwischen der Vola und dem Niveau von x
- $\alpha(x) - \beta(x)$: steuert positve Jumps in Abhängigkeit von x
- $\alpha(x) + \beta(x)$: steuert negative Jumps in Abhängigkeit von x

$$\Longrightarrow \quad \frac{\alpha(x)+\beta(x)}{\alpha(x)-\beta(x)} \quad \text{muss verschwinden.}$$

FP of NIG type

Motivation

Wir hätten gerne so etwas wie mean reversion in den Jumps, d.h. im PDO für den NIG

$$p(x,\xi) = \delta(x)\big((\alpha(x)^2 - (\beta(x) + i\xi)^2)^{1/2} - (\alpha(x)^2 - \beta(x)^2)^{1/2}\big)$$

statt $\psi(\xi)$. Dann:

- $\delta(x)$: steuert den Zusammenhang zwischen der Vola und dem Niveau von x
- $\alpha(x) - \beta(x)$: steuert positve Jumps in Abhängigkeit von x
- $\alpha(x) + \beta(x)$: steuert negative Jumps in Abhängigkeit von x

$$\Longrightarrow \frac{\alpha(x)+\beta(x)}{\alpha(x)-\beta(x)} \quad \text{muss verschwinden.}$$

FP of NIG type

Motivation

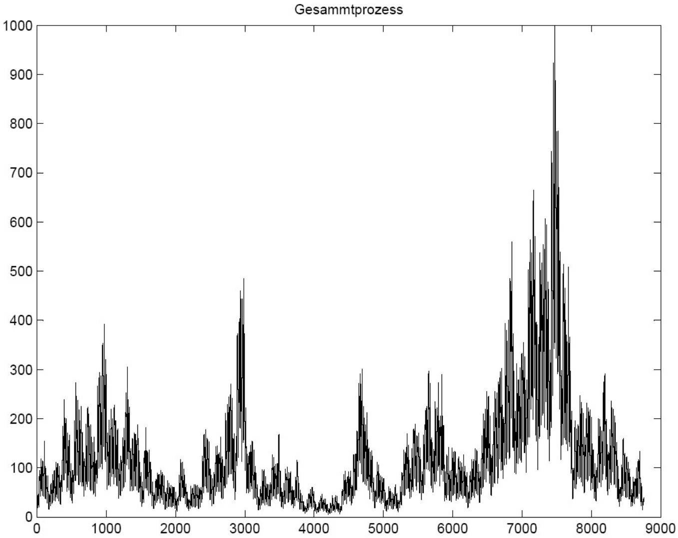
Wir hätten gerne so etwas wie mean reversion in den Jumps, d.h. im PDO für den NIG

$$p(x,\xi) = \delta(x)\big((\alpha(x)^2 - (\beta(x) + i\xi)^2)^{1/2} - (\alpha(x)^2 - \beta(x)^2)^{1/2}\big)$$

statt $\psi(\xi)$. Dann:

- $\delta(x)$: steuert den Zusammenhang zwischen der Vola und dem Niveau von x
- $\alpha(x) - \beta(x)$: steuert positve Jumps in Abhängigkeit von x
- $\alpha(x) + \beta(x)$: steuert negative Jumps in Abhängigkeit von x

$$\Longrightarrow \quad \frac{\alpha(x)+\beta(x)}{\alpha(x)-\beta(x)} \quad \text{muss verschwinden.}$$


Gesammtprozess
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000

Lemma (Ito)

Sei $V \in C^2(\mathbb{R}^2)$ mit $V = V(S,t)$, wobei S einem allgemeinen Ito-Prozess

$$dS = a(S,t)\,dt + b(S,t)\,dW_t$$

gehorcht. Dann gilt für die Änderungen von V der Zusammenhang

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial t} + a(S,t)\,\frac{\partial V}{\partial S} + \frac{1}{2}\,b^2(S,t)\,\frac{\partial^2 V}{\partial S^2}\right) dt + b(S,t)\,\frac{\partial V}{\partial S}\,dW_t.$$

- Vorstellung
- Großhandelsmärkte für Elektrizität, systematische Grundlagen
- Strompreise
- Preismodellierung
- Bewertung von Stromoptionen
  - Exkurs: Black-Scholes
- DFG-Projekt

Die vereinfachten Annahmen an den Finanzmarkt

- Der Kurs des Underlying folgt einer GBB

$$dS = \mu S\, dt + \sigma S\, dW_t \tag{3}$$

$$\Longleftrightarrow d(\ln S) = \left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right) dt + \sigma\, dW_t \tag{4}$$

mit konstantem Drift μ und konstanter Volatilität σ, d. h. der Kurs ist *lognormal* verteilt.

- Für Geldeinlagen und Kredite wird derselbe und fest vorgegebene konstante risikolose Zinssatz $r \geq 0$ verwendet.

Die vereinfachten Annahmen an den Finanzmarkt

- Der Kurs des Underlying folgt einer GBB

$$\begin{aligned} dS &= \mu S\,dt + \sigma S\,dW_t & (3)\\ \Longleftrightarrow d(\ln S) &= \left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right) dt + \sigma\,dW_t & (4)\end{aligned}$$

  mit konstantem Drift μ und konstanter Volatilität σ, d. h. der Kurs ist *lognormal* verteilt.
- Für Geldeinlagen und Kredite wird derselbe und fest vorgegebene konstante risikolose Zinssatz $r \geq 0$ verwendet.

- Es werden keine Dividendenzahlungen auf den Basiswert geleistet.
- Der Finanzmarkt sei arbitragefrei, hinreichend liquide und friktionslos (keine Transaktionskosten, keine Steuern).
- Der Basiswert kann kontinuierlich gehandelt werden und ist beliebig teilbar. Damit sind die Voraussetzungen für kontinuierliches Delta-Hedging gegeben.

- Es werden keine Dividendenzahlungen auf den Basiswert geleistet.
- Der Finanzmarkt sei arbitragefrei, hinreichend liquide und friktionslos (keine Transaktionskosten, keine Steuern).
- Der Basiswert kann kontinuierlich gehandelt werden und ist beliebig teilbar. Damit sind die Voraussetzungen für kontinuierliches Delta-Hedging gegeben.

- Es werden keine Dividendenzahlungen auf den Basiswert geleistet.
- Der Finanzmarkt sei arbitragefrei, hinreichend liquide und friktionslos (keine Transaktionskosten, keine Steuern).
- Der Basiswert kann kontinuierlich gehandelt werden und ist beliebig teilbar. Damit sind die Voraussetzungen für kontinuierliches Delta-Hedging gegeben.

Aufgabe

Der Einfachheit halber soll eine europäische Option betrachtet werden. Sei $V(S,t)$ der Preis der Option. Für den Ausführungszeitpunkt $t = T$ gilt

$$V(S,T) = \begin{cases} (S-B)^+ & \text{call} \\ (B-S)^+ & \text{put} \end{cases}$$

wobei B den Basispreis bezeichne.
Was ist aber der Wert der Option für die Zeitpunkte $0 \leq t < T$?

Δ-Hedging

Wir betrachten ein Portfolio, bestehend aus einer *long*-Position in einer europäischen Option und einer *short*-Position von gerade Δ Einheiten des Underlying. Für den Wert des Portfolios gilt demnach:

$$\Pi = V(S,t) - \Delta S.$$

Es stellt sich nun die Frage, wie sich der Wert des Portfolios ändert, wenn wir für Wert des Underlying eine GBB unterstellen.

$$d\Pi = dV(S,t) - \Delta\, dS = ???$$

Δ-Hedging

Mit dem Lemma von Ito für V

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + \mu S \frac{\partial V}{\partial S}\right) dt + \sigma S \frac{\partial V}{\partial S}\, dW_t$$

und der GBB

$$dS = \mu S\, dt + \sigma S\, dW_t$$

folgt

$$\begin{aligned} d\Pi &= \left(\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + \mu S \frac{\partial V}{\partial S} - \Delta \mu S\right) dt \\ &+ \left(\sigma S \frac{\partial V}{\partial S} - \Delta \sigma S\right) dW_t \end{aligned} \tag{5}$$

Risiko- und Arbitragefreiheit

Wegen der Risikofreiheit muss der stochastische Anteil der Portfoliowertänderung verschwinden.

$$\sigma S \frac{\partial V}{\partial S} - \Delta \sigma S \stackrel{!}{=} 0$$

$$\Longrightarrow \Delta = \frac{\partial V}{\partial S} \tag{6}$$

Wegen der Arbitragefreiheit muss zusätzlich

$$d\Pi = r\Pi\, dt \tag{7}$$

gelten.

Die Black-Scholes-Gleichung

In einem risikofreiem Portfolio gilt demnach

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2}\right) dt = r\Pi\, dt &= r(V - \Delta S)\, dt \\ \Longrightarrow \left(\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rS\frac{\partial V}{\partial S} - rV\right) &= 0. \qquad (8)\end{aligned}$$

Die Black-Scholes-Formeln

Europäische Call-Option

$$V(S,t) = S\phi(d_1) - B\, e^{-r(T-t)}\phi(d_2) \quad \text{für } S > 0,\ 0 \leq t < T.$$

Mit der put-call Parität

$$p_t = c_t + B\, e^{-r(T-t)} - S_t = Be^{-r(T-t)}(1 - \Phi(d_2)) - S(1 - \Phi(d_1))$$

erhalten wir die Formel für eine europäische Put-Option

$$V(S,t) = Be^{-r(T-t)}\Phi(-d_2) - S\Phi(-d_1).$$

Zur Optionsbewertung unter den Strommarktmodellen

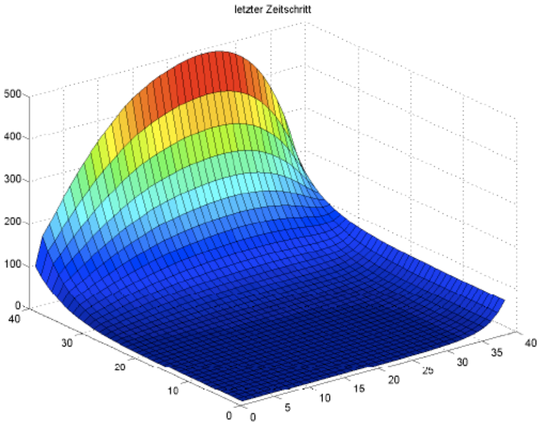
1. Bei dem Modell mit den beiden OU-Prozessen ergibt sich für den Wert eines europäische calls eine PIDE

$$\begin{aligned}\frac{\partial C}{\partial t} &+ \frac{\sigma^2}{2}\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \alpha(\mu(t) - x)\frac{\partial C}{\partial x} - \beta y \frac{\partial C}{\partial y} \\ &+ \lambda \int_R \big(C(x, y+z, t) - C(x, y, t)\big)\nu_J(z)\,dz = rC\end{aligned} \tag{9}$$

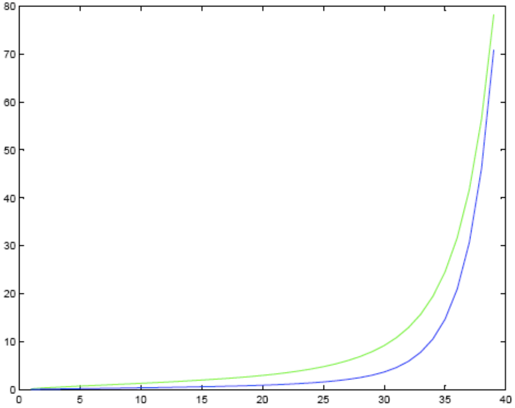
2. Bei dem Feller Prozess vom NIG Typ ergibt sich eine verallgemeinerte Black-Scholes Gleichung

$$\big(\partial_t - (r + a(x, D))\big)\, C(t, x) = 0 \tag{10}$$

Optionswertcluster in Abh. von X,Y



Bewertung nur möglich bei $Y = 0$



DFG-Projekt

- **DFG-Projekt**: How to Reduce the Investment Dilemma? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
  - Kann die Ausgestaltung des CO_2-Emissionshandelssystems ab 2013 Investitionsstabilisierend wirken?
    - Liquiditätsanalysen
    - Analysen der Marktteilnehmer
    - Bisherige Verteilung/Versteigerung der Zertifikate - Investitionstabilisierend?
    - Zuteilung und Versteigerung der Zertifikate ab 2013 - juristisch wasserdicht!
    - Potential des CO_2-Derivatehandels ab 2013
    - Optionsbewertung bei CO_2 unter Berücksichtigung der knappen und verzerrten Datenbasis

DFG-Projekt

- **DFG-Projekt**: How to Reduce the Investment Dilemma? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
  - Kann die Ausgestaltung des CO_2-Emissionshandelssystems ab 2013 Investitionsstabilisierend wirken?
    - Liquiditätsanalysen
    - Analysen der Marktteilnehmer
    - Bisherige Verteilung/Versteigerung der Zertifikate - Investitionstabilisierend?
    - Zuteilung und Versteigerung der Zertifikate ab 2013 - juristisch wasserdicht!
    - Potential des CO_2-Derivatehandels ab 2013
    - Optionsbewertung bei CO_2 unter Berücksichtigung der knappen und verzerten Datenbasis

DFG-Projekt

- **DFG-Projekt**: How to Reduce the Investment Dilemma? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
  - Kann die Ausgestaltung des CO_2-Emissionshandelssystems ab 2013 Investitionsstabilisierend wirken?
    - Liquiditätsanalysen
    - Analysen der Marktteilnehmer
    - Bisherige Verteilung/Versteigerung der Zertifikate - Investitionstabilisierend?
    - Zuteilung und Versteigerung der Zertifikate ab 2013 - juristisch wasserdicht!
    - Potential des CO_2-Derivatehandels ab 2013
    - Optionsbewertung bei CO_2 unter Berücksichtigung der knappen und verzerten Datenbasis

DFG-Projekt

- **DFG-Projekt**: How to Reduce the Investment Dilemma? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
  - Kann die Ausgestaltung des CO_2-Emissionshandelssystems ab 2013 Investitionsstabilisierend wirken?
    - Liquiditätsanalysen
    - Analysen der Marktteilnehmer
    - Bisherige Verteilung/Versteigerung der Zertifikate - Investitionstabilisierend?
    - Zuteilung und Versteigerung der Zertifikate ab 2013 - juristisch wasserdicht!
    - Potential des CO_2-Derivatehandels ab 2013
    - Optionsbewertung bei CO_2 unter Berücksichtigung der knappen und verzerten Datenbasis

DFG-Projekt

- **DFG-Projekt**: How to Reduce the Investment Dilemma? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
  - Kann die Ausgestaltung des CO_2-Emissionshandelssystems ab 2013 Investitionsstabilisierend wirken?
    - Liquiditätsanalysen
    - Analysen der Marktteilnehmer
    - Bisherige Verteilung/Versteigerung der Zertifikate - Investitionstabilisierend?
    - Zuteilung und Versteigerung der Zertifikate ab 2013 - juristisch wasserdicht!
    - Potential des CO_2-Derivatehandels ab 2013
    - Optionsbewertung bei CO_2 unter Berücksichtigung der knappen und verzerten Datenbasis

DFG-Projekt

- **DFG-Projekt**: How to Reduce the Investment Dilemma? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
  - Kann die Ausgestaltung des CO_2-Emissionshandels-systems ab 2013 Investitionsstabilisierend wirken?
    - Liquiditätsanalysen
    - Analysen der Marktteilnehmer
    - Bisherige Verteilung/Versteigerung der Zertifikate - Investitionstabilisierend?
    - Zuteilung und Versteigerung der Zertifikate ab 2013 - juristisch wasserdicht!
    - Potential des CO_2-Derivatehandels ab 2013
    - Optionsbewertung bei CO_2 unter Berücksichtigung der knappen und verzerten Datenbasis

DFG-Projekt

- **DFG-Projekt**: How to Reduce the Investment Dilemma? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
  - Kann die Ausgestaltung des CO_2-Emissionshandelssystems ab 2013 Investitionsstabilisierend wirken?
    - Liquiditätsanalysen
    - Analysen der Marktteilnehmer
    - Bisherige Verteilung/Versteigerung der Zertifikate - Investitionstabilisierend?
    - Zuteilung und Versteigerung der Zertifikate ab 2013 - juristisch wasserdicht!
    - Potential des CO_2-Derivatehandels ab 2013
    - Optionsbewertung bei CO_2 unter Berücksichtigung der knappen und verzerten Datenbasis

DFG-Projekt

- **DFG-Projekt**: How to Reduce the Investment Dilemma? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
  - Kann der Einsatz von geeigneten Stromderivate (capacity options) i.A. Investitionsstabilisierend wirken?
    - Entwicklung eines stabilen marktübergreifenden Spotmarktmodells (kein regime switching, kein threshold!)
    - Echtzeit-Kalibrierung an entsprechenden Zeitreihen
    - Derivatebewertung unter diesen Modellen (numerisch wasserdicht!)
    - Portfoliooptimierung mit diesen Derivaten mit dem Ziel DB-Maximierung
    - andere Realoptionsansätze für Kapazitäts- und Infrastrukturinvestitionen

DFG-Projekt

- **DFG-Projekt**: How to Reduce the Investment Dilemma? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
  - Kann der Einsatz von geeigneten Stromderivate (capacity options) i.A. Investitionsstabilisierend wirken?
    - Entwicklung eines stabilen marktübergreifenden Spotmarktmodells (kein regime switching, kein threshold!)
    - Echtzeit-Kalibrierung an entsprechenden Zeitreihen
    - Derivatebewertung unter diesen Modellen (numerisch wasserdicht!)
    - Portfoliooptimierung mit diesen Derivaten mit dem Ziel DB-Maximierung
    - andere Realoptionsansätze für Kapazitäts- und Infrastrukturinvestitionen

DFG-Projekt

- **DFG-Projekt**: How to Reduce the Investment Dilemma? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
  - Kann der Einsatz von geeigneten Stromderivate (capacity options) i.A. Investitionsstabilisierend wirken?
    - Entwicklung eines stabilen marktübergreifenden Spotmarktmodells (kein regime switching, kein threshold!)
    - Echtzeit-Kalibrierung an entsprechenden Zeitreihen
    - Derivatebewertung unter diesen Modellen (numerisch wasserdicht!)
    - Portfoliooptimierung mit diesen Derivaten mit dem Ziel DB-Maximierung
    - andere Realoptionsansätze für Kapazitäts- und Infrastrukturinvestitionen

DFG-Projekt

- **DFG-Projekt**: How to Reduce the Investment Dilemma? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
  - Kann der Einsatz von geeigneten Stromderivate (capacity options) i.A. Investitionsstabilisierend wirken?
    - Entwicklung eines stabilen marktübergreifenden Spotmarktmodells (kein regime switching, kein threshold!)
    - Echtzeit-Kalibrierung an entsprechenden Zeitreihen
    - Derivatebewertung unter diesen Modellen (numerisch wasserdicht!)
    - Portfoliooptimierung mit diesen Derivaten mit dem Ziel DB-Maximierung
    - andere Realoptionsansätze für Kapazitäts- und Infrastrukturinvestitionen

DFG-Projekt

- **DFG-Projekt**: How to Reduce the Investment Dilemma? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
  - Kann der Einsatz von geeigneten Stromderivate (capacity options) i.A. Investitionsstabilisierend wirken?
    - Entwicklung eines stabilen marktübergreifenden Spotmarktmodells (kein regime switching, kein threshold!)
    - Echtzeit-Kalibrierung an entsprechenden Zeitreihen
    - Derivatebewertung unter diesen Modellen (numerisch wasserdicht!)
    - Portfoliooptimierung mit diesen Derivaten mit dem Ziel DB-Maximierung
    - andere Realoptionsansätze für Kapazitäts- und Infrastrukturinvestitionen

DFG-Projekt

- **DFG-Projekt**: How to Reduce the Investment Dilemma? - A Theoretical and Empirical Analysis of International Electricity Market Designs
  - Kann der Einsatz von geeigneten Stromderivate (capacity options) i.A. Investitionsstabilisierend wirken?
    - Entwicklung eines stabilen marktübergreifenden Spotmarktmodells (kein regime switching, kein threshold!)
    - Echtzeit-Kalibrierung an entsprechenden Zeitreihen
    - Derivatebewertung unter diesen Modellen (numerisch wasserdicht!)
    - Portfoliooptimierung mit diesen Derivaten mit dem Ziel DB-Maximierung
    - andere Realoptionsansätze für Kapazitäts- und Infrastrukturinvestitionen