

# Expertengespräche «Power-to-Gas»

## Power-to-Gas im kurzfristigen Stromhandel

**Umwelt Arena Spreitenbach, 13.04.2016**

**Prof. Dr. Karl Frauendorfer / Dr. Michael Schürle**

**Institut für Operations Research und Computational Finance  
Universität St. Gallen (ior/cf-HSG)**



CC Energy Management  
ior/cf-HSG

Universität St.Gallen

# Agenda

---

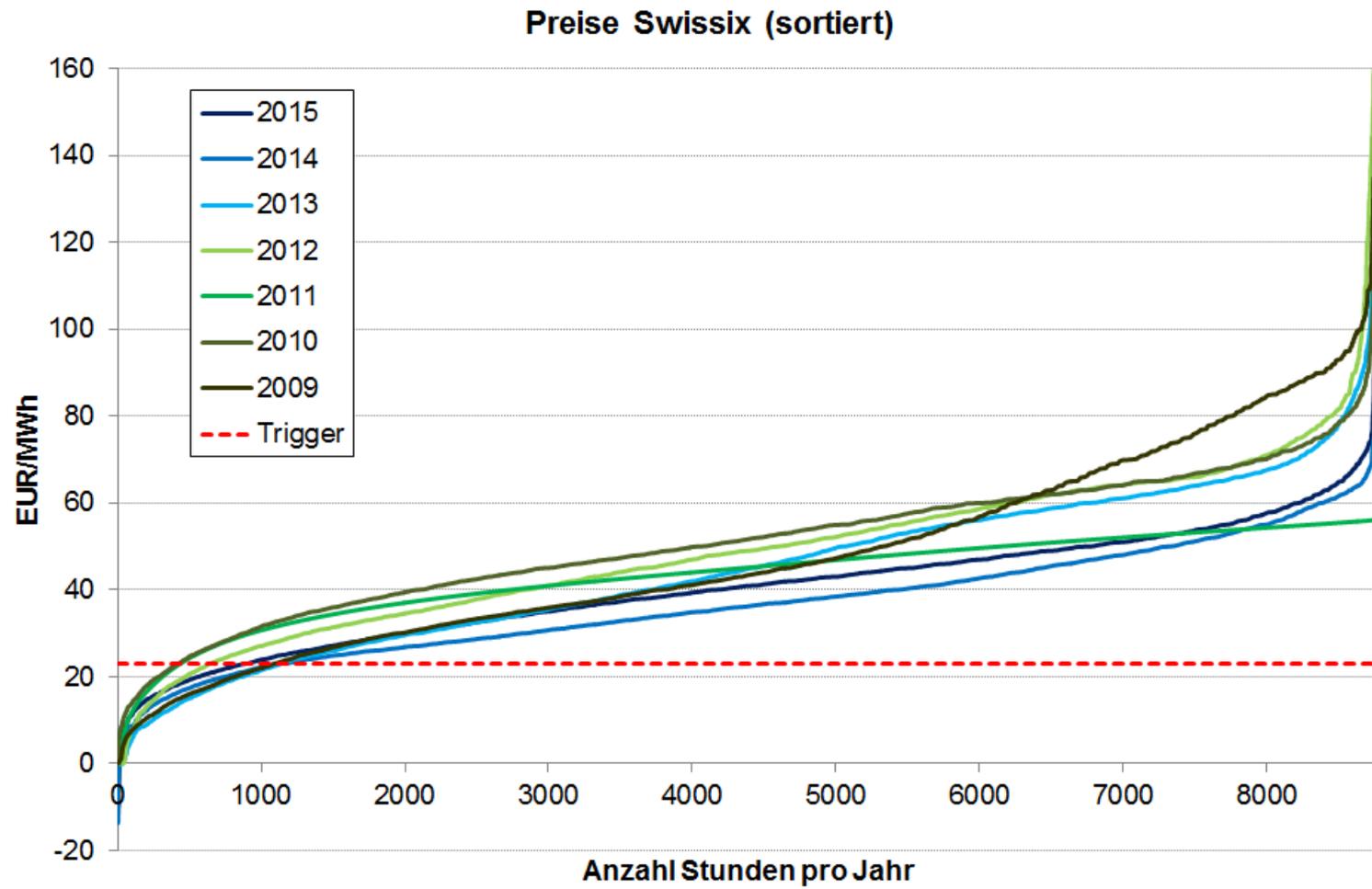
- Motivation
- Überblick über Strommärkte
- Betrachtung P2G-Anlage als Finanzoption
- Umsetzung einer Handelsstrategie
- Ökonomischer Wert des Intraday-Handels

# Motivation

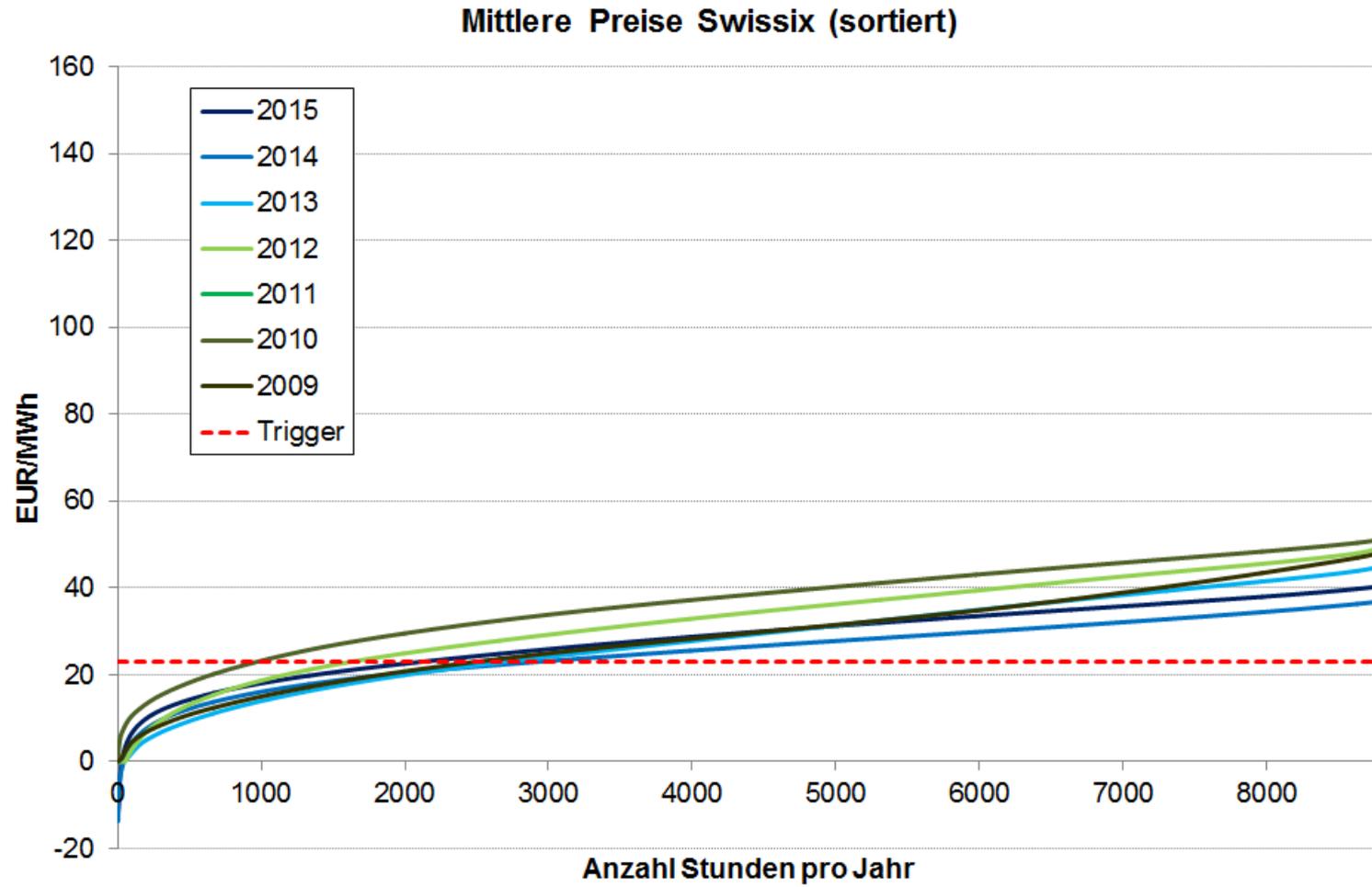
- Die Produktion von synthetischem Gas ist nur bei einem ausreichend tiefen Strompreis wirtschaftlich
- Wenn das Gas zum marktüblichen Zapfsäulen-Preis verkauft werden soll, wie hoch darf dann der Strompreis höchstens sein, um noch einen positiven Deckungsbeitrag zu erzielen?
- Annahmen:
  - Preis Zapfsäule (excl. MwSt): 1.45 CHF/kg  $\approx$  10 Rp/kWh
  - Betriebskosten ohne Strom, Leitungsgebühren, Margen etc.: 5 Rp/kWh
  - Abgaben: 0 Rp/kWh
  - 1 EUR = 1.10 CHF
  - Wirkungsgrad: 50%
- Kritischer Strompreis:

$$\begin{array}{ccccccc} 50 \frac{\text{CHF}}{\text{MWh}} & \times & 0.5 & \times & \frac{1 \text{ EUR}}{1.1 \text{ CHF}} & \approx & 23 \frac{\text{EUR}}{\text{MWh}} \\ \uparrow & & \uparrow & & \uparrow & & \\ \text{Gaspreis abzgl. Betriebskosten} & & \text{Wirkungsgrad} & & \text{Wechselkurs} & & \end{array}$$

# Strompreise Swissix (Day-Ahead)



# Mittelwerte Strompreise Swissix (Day-Ahead)



# Kritischer Strompreis

- Kauft man den Strom zu einem Durchschnittspreis von 23 EUR/MWh ein, dann könnte die Anlage (Elektrolyse) max. 3000 Stunden pro Jahr laufen
- Um diesen mittleren Einkaufspreis zu realisieren, würde man am Strommarkt Preise bis 30 EUR/MWh akzeptieren (Deckungsbeitrag wäre dann Null)
- Kapitalkosten, Abschreibungen etc. sind noch nicht berücksichtigt, ebenso beinhaltet der Zapfsäulenpreis keine weiteren Abgaben
- Generell ist der Preis am Day-Ahead-Markt für Strom (derzeit) zu hoch für eine wirtschaftliche Produktion von synthetischem Gas
- In der Regel können auch Pumpspeicher-Kraftwerke unter den derzeitigen Marktgegebenheiten nur profitabel betrieben werden durch
  - Teilnahme am Intraday-Markt (kurzfristiger Stromhandel)
  - Bereitstellung von Systemdienstleistungen
- Bringt die Teilnahme am kurzfristigen Stromhandel auch für eine P2G-Anlage einen Mehrwert?

# Day-Ahead- und Futures-Märkte

## ▪ Day-Ahead-Markt:

- Handel von Strom für Lieferung am Folgetag, gehandelt werden einzelne Stunden sowie Blockprodukte
- Handelsplattform für die Marktgebiete CH und D/A: EPEX SPOT in Paris
- Auktionshandel, Gebote für Lieferung am Folgetag müssen bis 11 Uhr (Gebiet CH) bzw. 12 Uhr (D/A) eingereicht werden
- Preisnotierung in EUR/MWh (auch für CH)

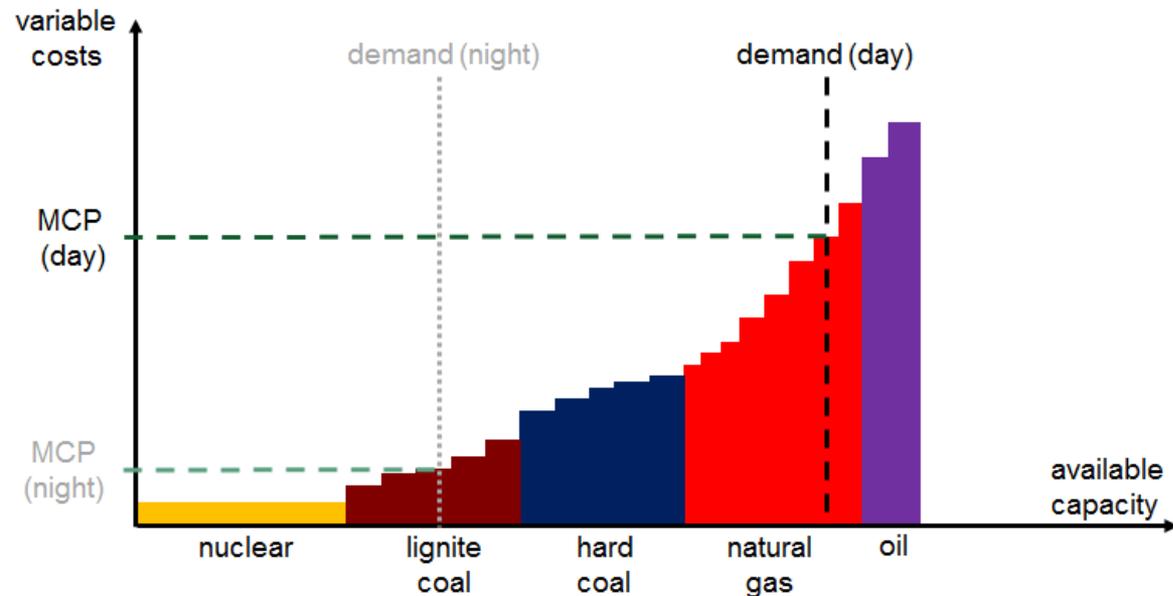
## ▪ Futures-Markt:

- Handel von konstanten Mengen über standardisierte Lieferperioden (Wochen, Monate, Quartale, Jahre)
- Lieferprofile sind «Base» (0-24 Uhr), «Peak» (Mo-Fr, 8-20 Uhr) und «Off-Peak»
- Handel an der EEX Leipzig
- Finanzkontrakte, dienen zur Absicherung gegen Preisänderungen



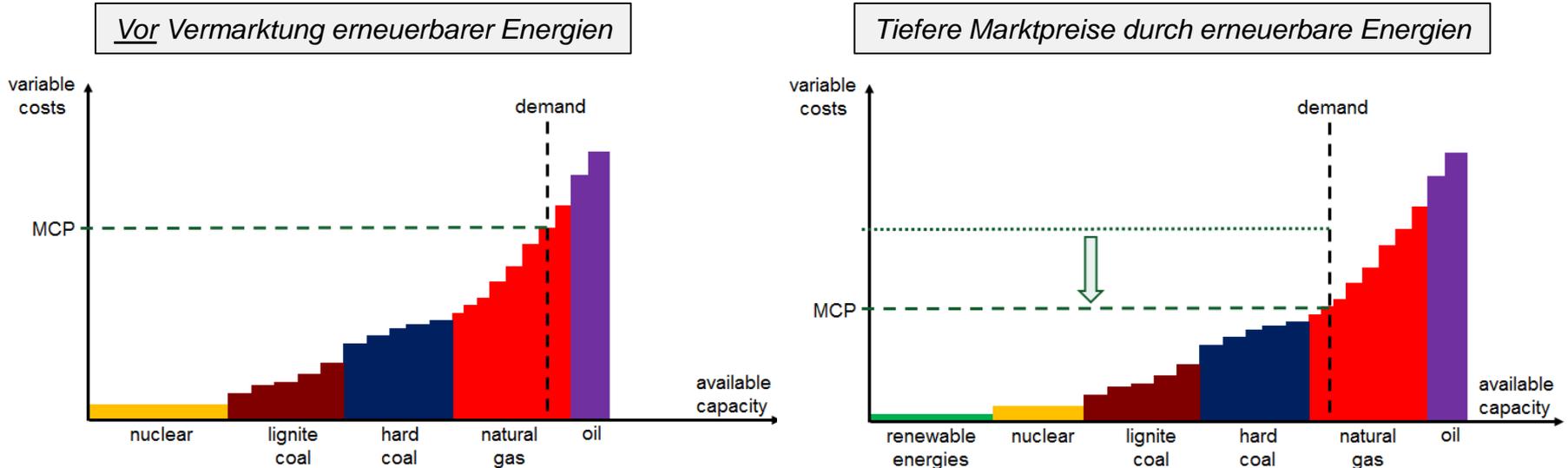
# Preisbildung am Day-Ahead-Markt

- Die Produzenten bieten ihre Kapazität zu Grenzkosten an, die verfügbaren Kraftwerke werden entsprechend nach steigenden Kosten sortiert
- Kraftwerke mit den geringsten Grenzkosten werden zuerst berücksichtigt, jene mit den höchsten Kosten zuletzt
- Das Kraftwerk mit den höchsten Grenzkosten, das zur Abdeckung der Nachfrage noch benötigt wird, setzt den Preis am Markt («market clearing price»)



# Erneuerbare Energien und Merit-Order-Effekt

- Erneuerbare Energien haben tiefere Grenzkosten als traditionelle Kraftwerke (Wind: 4 €/MWh, Kernkraft: 10 €/MWh, Kohle: 15 €/MWh, Gas: 40 €/MWh)
- Strom aus erneuerbaren Energien wird bevorzugt eingespeist, konventionelle Kraftwerke werden daher in der Erzeugung verdrängt
- Dies führt zu tieferen Preisen («Merit-Order-Effekt») am Day-Ahead-Markt
- Stärkere Preisschwankungen wegen unsicherer Erzeugung



# Intraday-Markt

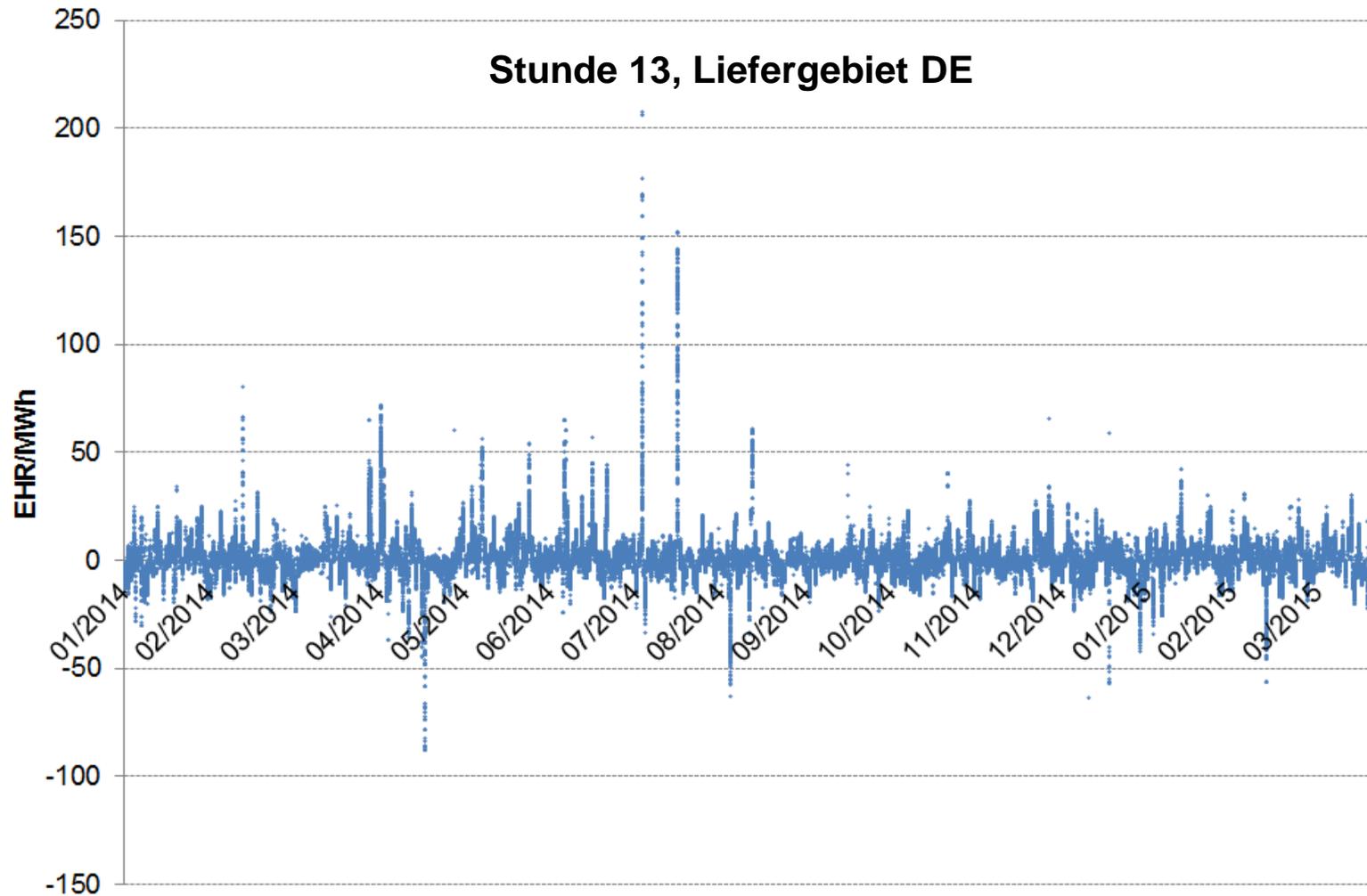
- In der Zeit zwischen Abgabe der Gebote am Day-Ahead-Markt und Lieferbeginn erhalten Produzenten und Konsumenten (Industrie, Retailers) neue Informationen hinsichtlich ihrer effektiven Erzeugung bzw. ihres Verbrauchs
- Insbesondere Aktualisierungen der Wettervorhersage führen zu veränderten Erwartungen hinsichtlich der Erzeugung aus Wind und Photovoltaik
- Kurz vor Beginn der Lieferperiode kann die erwartete Erzeugung daher deutlich von der am Vortag vermarkteten Menge abweichen
- Beginnend um 15 Uhr am Vortag kann Strom bis kurz vor Beginn der Lieferung gehandelt werden, um einen Überschuss oder eine Unterdeckung auszugleichen
- Gehandelt werden 24 Lieferstunden sowie 96 Viertelstundenkontrakte
- Zum Ausgleich von Abweichungen zwischen gehandelter Menge und effektiver Erzeugung bzw. Abnahme während der Lieferperiode wird Ausgleichsenergie benötigt (Kapazitäten hierfür werden vom Netzbetreiber eingekauft). Noch vorhandene Abweichungen sind i.d.R. sehr unvorteilhaft!



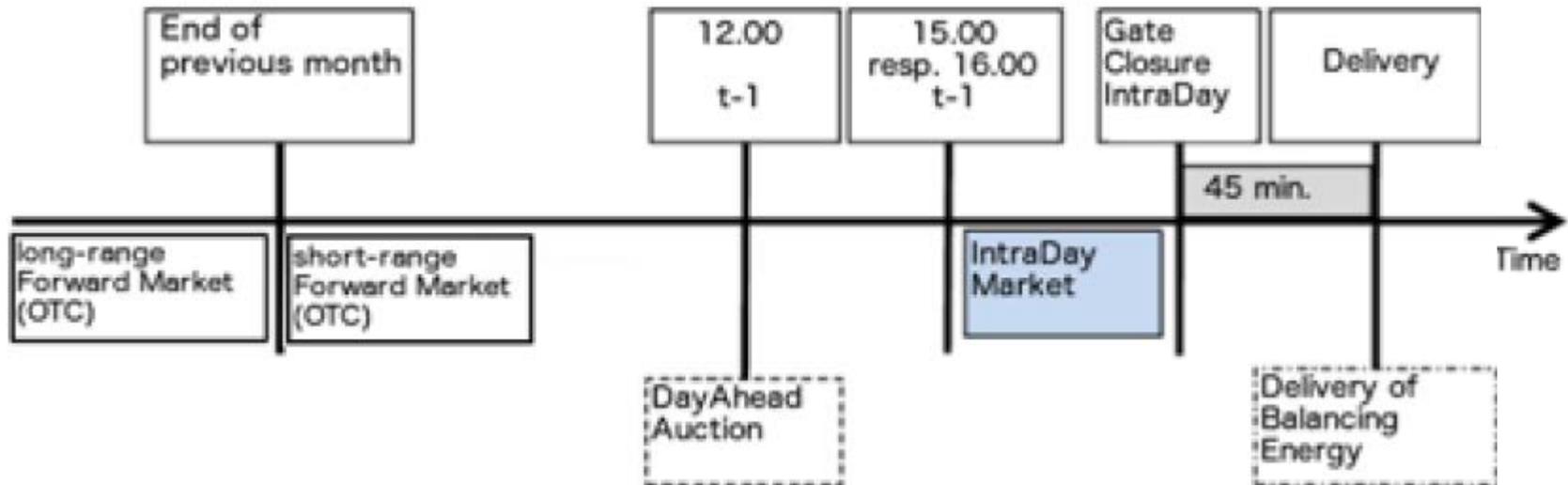
# Intraday-Markt: Preisvariation Stundenprodukte



# Differenzen zum Day-Ahead-Preis nach Liefertag



# Timeline Stromhandel



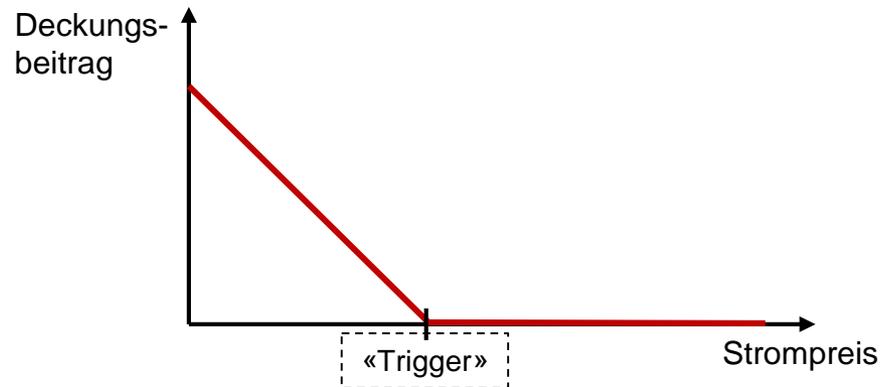
Anmerkungen:

- Der kontinuierliche Handel am Intraday-Markt beginnt 15 Uhr (Stundenprodukte) bzw. 16 Uhr (Viertelstunden-Produkte)
- Seit Juli 2015 Verkürzung der Zeit zwischen Gate Closure am Intraday-Markt und Lieferbeginn auf 30 Minuten (innerhalb D oder A) bzw. 60 Minuten (CH)
- Grenzüberschreitender ID-Handel zwischen D, A, CH und F möglich



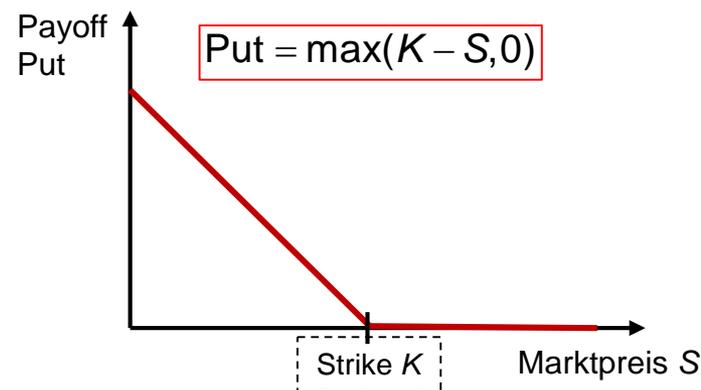
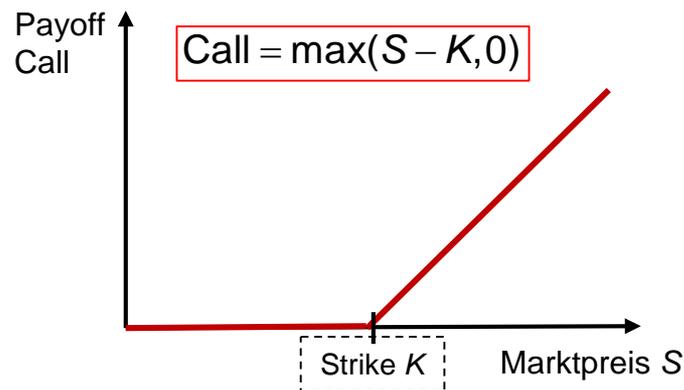
# Vermarktung einer P2G-Anlage am Intraday-Markt

- Am Intraday-Markt (ID) treten erhebliche Preisschwankungen auf, insofern können die Preise dort «vorteilhafter» sein als am Day-Ahead-Markt (DA)
- Prinzipielle Umsetzung mit P2G-Anlage:
  - Kauf am ID-Markt, falls vorher am DA-Markt keine Eindeckung
  - Verkauf am ID-Markt, falls Erlös dadurch höher als durch Gaserzeugung
- Ertragsprofil einer P2G-Anlage:



# Exkurs: Finanzoptionen

- In der Finanzwelt kennt man (unter anderem) folgende Optionen:
  - Call-Option: Recht, ein Wertpapier (Commodity, Energie, ...) zu kaufen
  - Put-Option: Recht, ein Wertpapier etc. zu verkaufen
- Der Preis  $K$  («Strike»), zum dem die Transaktion zu einem künftigen Zeitpunkt  $T$  abgewickelt werden kann, wird bereits bei Abschluss fixiert
- Europäische Optionen dürfen nur bei Fälligkeit in  $T$  ausgeübt werden
- Amerikanische Optionen können stets bis zur Fälligkeit  $T$  ausgeübt werden
- Payoff in  $T$  (bzw. bei Ausübung):



# Betrachtung P2G-Anlage als Finanzoption

- Das Ertragsprofil einer P2G-Anlage entspricht dem einer Put-Option, also könnte man die Anlage analog zu einem Finanzderivat bewerten
- Wie bestimmt man den fairen Wert (Zeitwert) einer europäischen Option?
- Unter bestimmten Annahmen ist dies möglich mit dem Black/Scholes-Modell (Alfred-Nobel-Gedächtnispreis für Wirtschaftswissenschaften 1997):

$$\begin{aligned}C(S_0) &= S_0 \cdot \Phi(d_1) - e^{-rT} \cdot K \cdot \Phi(d_2) \\P(S_0) &= e^{-rT} \cdot K \cdot \Phi(-d_2) - S_0 \cdot \Phi(-d_1) \\d_{1,2} &= \frac{\ln(S_0 / K) + (r \pm \sigma^2 / 2)T}{\sigma\sqrt{T}}\end{aligned}$$

- Der Optionswert hängt wesentlich von der Preisvolatilität  $\sigma$  ab: Je höher die Schwankungen, desto wertvoller sind beide Optionen
- Am ID-Markt beträgt die Volatilität 100% oder ein Vielfaches, je nach Lieferstunde (zum Vergleich: ca. 30% am Aktienmarkt)
- Eine amerikanische Option lässt sich mit dem BS-Modell nicht direkt bewerten, hierfür braucht man numerische Methoden (Binomialmodell)



# Beispiel: Wert P2G-Anlage als europäischer Put

- Der Betreiber der P2G-Anlage hat die «Option», bei einem ausreichend tiefem Preis Strom zu beziehen (nachdem die Anlage erstellt wurde)
- Mit dem Black/Scholes-Modell lässt sich der Wert dieser Option berechnen
- Beispiel für Stundenprodukt:
  - Kapazität der Anlage: 1 MW (elektrische Input-Leistung)
  - Strike = Trigger-Preis: 23 EUR/MWh
  - Volatilität 100% oder 200% (typischer Werte, je nach Lieferstunde)
  - Fälligkeit  $T = 1$ , Zinssatz 0% (spielt keine Rolle)
  - Aktueller Strompreis (Eindeckung am DA-Markt):  $S_0 = 40$  EUR/MWh
  - Optionswert nach BS-Modell für Vola 100%:  $P = 5.17$  EUR
  - Optionswert nach BS-Modell für Vola 200%:  $P = 13.57$  EUR
- Beachte: Obwohl der Strompreis über dem Trigger liegt (intrinsischer Wert 0), ergibt das BS-Modell für diese Stunde einen positiven Wert der P2G-Anlage
- Denkfehler?



# Wie lässt sich der Optionswert realisieren?

- Die eben berechneten Optionspreise (5.17 bzw. 13.57) entsprechen dem fairen Wert des Ertragsprofils der P2G-Anlage
- Die Option kann aber nicht verkauft werden, nur der Strom wird gehandelt
- Wie lässt sich dann ihr Wert realisieren?
- Idee: Es wird stets ein gewisser Anteil der Maschinenkapazität eingekauft, abhängig davon, wie weit der Marktpreis vom Trigger-Preis entfernt ist
- Dann wird zunehmend mehr Strom
  - gekauft, wenn der Preis fällt
  - verkauft, wenn der Preis steigt
- Dies entspricht einer «Buy low, Sell high» Strategie
- Bei Gate Closure (= Fälligkeit der Optionen) hat man
  - Strom für die gesamte Kapazität der P2G-Anlage gekauft, wenn  $S_T \leq K$
  - eine Netto-Position von Null, wenn  $S_T > K$  (dann wird kein Gas produziert)
- Wie muss der jeweilige Anteil gewählt werden?



# Delta-Hedging im Black/Scholes-Modell

Im Rahmen des BS-Modells lässt sich zeigen:

- Der Wert einer Option kann repliziert werden (durch Absicherung mit dem Basiswert und Geldanlage bzw. -aufnahme zum risikolosen Zins), wenn
- der Anteil des Basiswerts der Sensitivität des Optionspreises gegenüber Änderungen des Basiswertpreises  $S_t$  entspricht
- Dies nennt man «Delta-Hedging»
- Mit Hilfe von Schulmathematik erhält man die gesuchten Sensitivitäten durch Ableitung der BS-Formel für europäische Optionen nach  $S_t$ :

$$\Delta = \begin{cases} \frac{\partial C}{\partial S_t} = \Phi(d_1(t)), & \text{Call} \\ \frac{\partial P}{\partial S_t} = \Phi(d_1(t)) - 1, & \text{Put} \end{cases}$$

- Dabei gilt:  $0 \leq \Delta_{\text{Call}} \leq 1$  und  $-1 \leq \Delta_{\text{Put}} \leq 0$
- Bei amerikanischen Optionen benötigt man wiederum numerische Methoden

# Umsetzung einer Handelsstrategie: Fall 1

- Vergleich zweier möglicher Preisentwicklungen (mit Vola = 100%)
- Fall 1: Strompreis liegt bei Gate Closure unter dem Trigger-Preis

Verbleibende Zeit [h]	Strompreis	$\Delta$	Transaktion	Erlöse	Erlöse (kumuliert)
24	40.00	0.15	0.15	-5.84	-5.84
21	26.47	0.27	0.12	-3.24	-9.08
18	31.11	0.22	-0.05	1.59	-7.49
15	47.02	0.10	-0.12	5.66	-1.83
12	51.63	0.07	-0.03	1.53	-0.30
9	52.11	0.05	-0.02	0.88	0.58
6	48.29	0.04	-0.01	0.43	1.01
4	24.93	0.34	0.30	-7.54	-6.54
2	20.64	0.59	0.25	-5.10	-11.64
0	11.13	1.00	0.41	-4.55	-16.19

- Obwohl der Strompreis anfänglich über dem Trigger-Preis (23 EUR/MWh) liegt, werden 15% der Kapazität eingekauft
- An Ende wurde für 100% der Kapazität Strom für die Gasproduktion gekauft, daraus ergeben sich Erlöse in Höhe des Trigger-Preises (23 EUR)
- Abzüglich der Kosten des Stromhandels (16.19 EUR) verbleiben 6.81 EUR



# Umsetzung einer Handelsstrategie: Fall 2

- Vergleich zweier möglicher Preisentwicklungen (mit Vola = 100%)
- Fall 2: Strompreis liegt bei Gate Closure über dem Trigger-Preis

Verbleibende Zeit [h]	Strompreis	$\Delta$	Transaktion	Erlöse	Erlöse (kumuliert)
24	40.00	0.15	0.15	-5.84	-5.84
21	25.91	0.28	0.13	-3.36	-9.21
18	29.36	0.24	-0.04	1.13	-8.07
15	39.55	0.14	-0.10	3.85	-4.22
12	61.31	0.04	-0.10	6.07	1.85
9	59.92	0.03	-0.01	0.61	2.46
6	35.57	0.13	0.10	-3.56	-1.11
4	26.75	0.28	0.15	-4.07	-5.17
2	18.19	0.75	0.47	-8.46	-13.63
0	26.39	0.00	-0.75	19.74	6.11

- Der während der Handelszeit gekaufte Strom wurde am Ende verkauft
- Es wird kein Gas produziert, dafür ergaben sich Handelserlöse von 6.11 EUR
- Beachte: Zum vorletzten Zeitpunkt lag der Strompreis unter dem Trigger, trotzdem wurden nicht 100% der Kapazität eingedeckt (der Optionswert betrug noch 5.50 EUR und lag über dem Payoff  $23 - 18.19 = 4.81$ )



# Diskussion

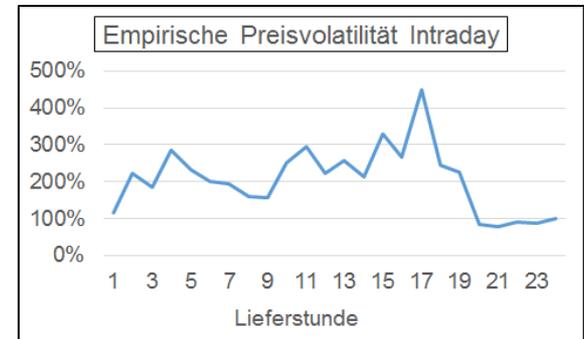
- Im Fall 1 konnte im ID-Markt günstiger Strom beschafft werden als zum DA-Preis und es wurde Gas produziert. Es ergab sich ein Erlös von 6.81 EUR
- Im Fall 2 wurde kein Gas produziert, durch den Stromhandel konnten aber 6.11 EUR erwirtschaftet werden
- Beides liegt nahe am Wert der entsprechenden Put-Option (5.17 EUR) gemäss Black/Scholes-Modell
- Dies ist kein Zufall! Gemäss dem BS-Modell kann durch Umsetzung von Delta-Hedging die Optionsprämie realisiert werden
- Der entsprechende Ertrag ist unabhängig von der Preisentwicklung, solange die aktuell gekauften Anteile dem Options-Delta entsprechen
- Grund für die Abweichung: Im BS-Modell wird von stetiger Anpassung des Deltas ausgegangen, in der Praxis erfolgt Handel in diskreten Zeitschritten
- In der Theorie wäre ein risikoloser Ertrag möglich, in der Praxis wird dieser um den exakten Wert der Optionsprämie schwanken
- Die Option ist eigentlich nicht europäisch, da jederzeit ausgeübt werden kann (ihr tatsächlicher Wert ist noch etwas höher)



# Anwendung auf Swissix-Preise 2014 & 2015

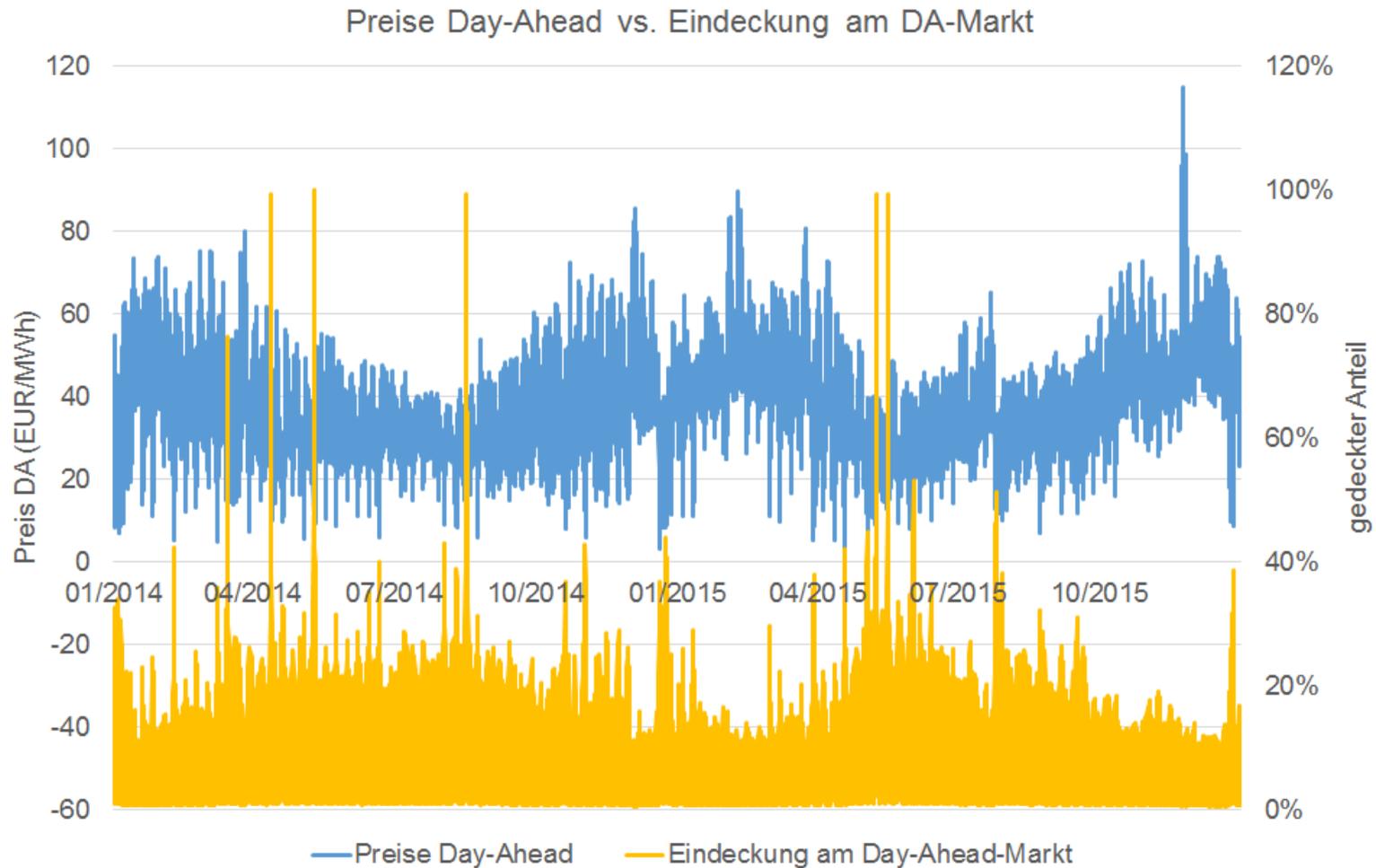
- Berechnung der stündlichen Optionswerte mit Schweizer Strompreisen
- Elektrische Inputleistung: 1 MW
- Trigger-Preis: 23 EUR/MWh
- Abschätzung des Einflusses der Volatilität: empirisch geschätzte Parameter vs. angenommener Wert (100%)

Vola	empirisch	100%
Summe Optionswerte über 2 Jahre (EUR):	232'014.10	104'885.64
mittlerer Optionswert (EUR):	13.24	5.99
Anteil Ausübung (Produktion):	88.4%	74.7%
Produktionsstunden p.a.:	7740	6547
Anteilige Eindeckung Day-Ahead:	10.8%	18.8%



- Bei tieferer Vola ist die Wahrscheinlichkeit geringer, dass am ID-Markt ein besserer Preis erzielt werden kann (daher niedrigere Optionswerte)
- Dann sinkt die Anzahl der Produktionsstunden und der Anteil der am DA-Markt gekauften Strommenge steigt

# Anwendung auf Swissix-Preise 2014 & 2015



# Zusammenfassung

- Die Vermarktung von flexiblen Verbrauchern wie einer P2G-Anlage im Intraday-Handel bietet zusätzliche Ertragsmöglichkeiten
- Durch Anwendung von Optionspreismodellen kann der Wert der Flexibilität einer P2G-Anlage monetisiert werden
- In der Theorie lassen sich die Erlöse unabhängig von der Preisentwicklung realisieren und unabhängig davon, ob am Ende tatsächlich Gas produziert wird
- Die Anzahl der Stunden, in denen ein positiver Deckungsbeitrag erzielt werden kann, steigt (verglichen mit der Beschränkung auf den DA-Markt)
- Genauere Analysen der Preisentwicklungen am ID-Markt sollten Ansatz noch verbessern (Black/Scholes-Modell kennt keine negativen Preise etc.)
- ID-Märkte spielen eine bedeutende Rolle zur Vermarktung erneuerbarer Energien, die gehandelten Volumen werden weiter zunehmen
- Teilnahme am ID-Handel auch sinnvoll, weil flexible Kraftwerke und Verbraucher zur Stabilisierung der Netze beitragen

