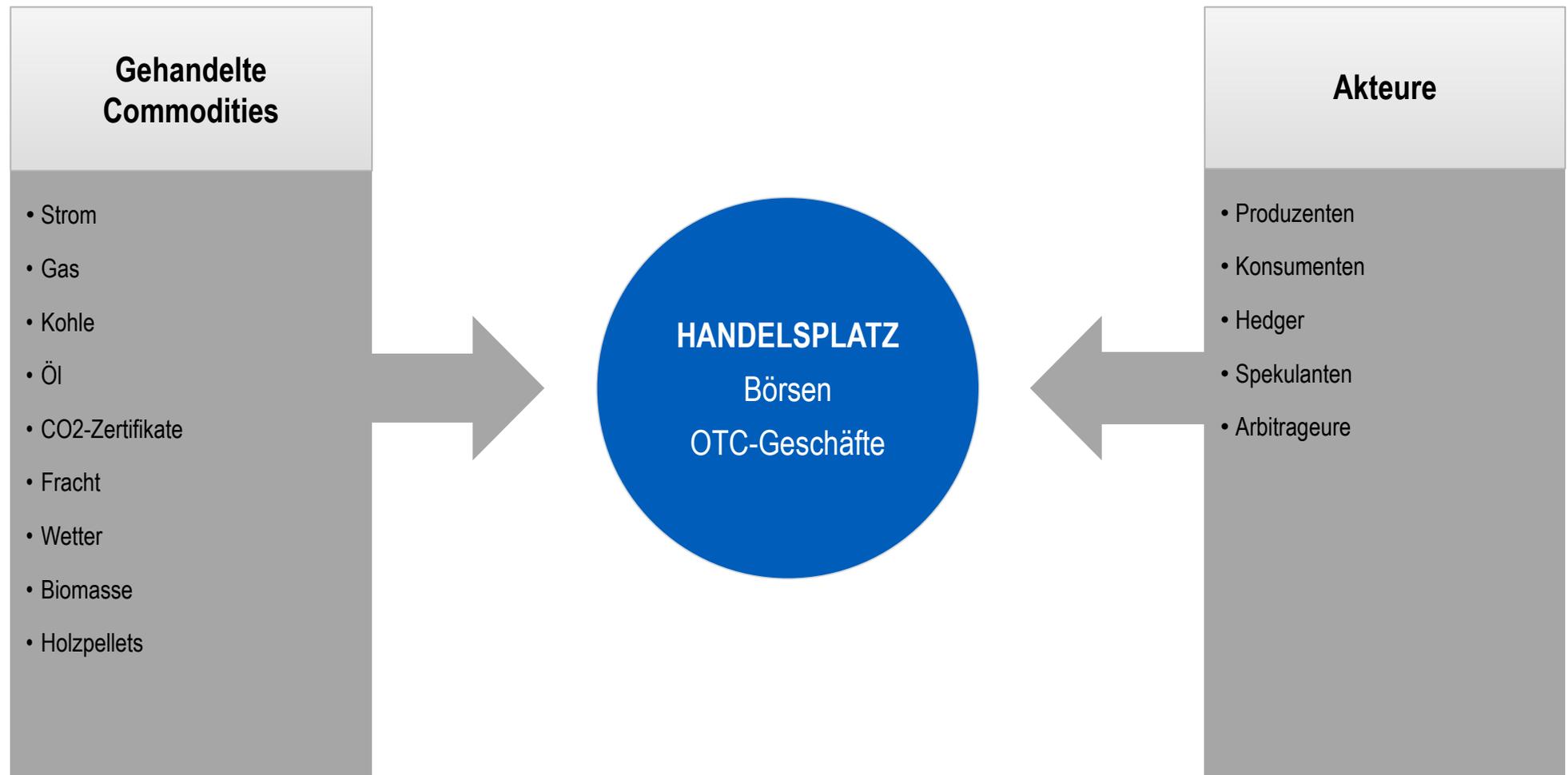


Finanzderivate in Energiemärkten

Überblick, Bewertung und Implementierung

16. Januar 2015, München
Martin Hiller, Rupert Hughes

Organisation von Energiehandel in liberalisierten Märkten



Von Handelsplätzen unabhängige Strom- und Gasnetzbetreiber regulieren die physische Lieferung von Strom und Gas

Spot- und Terminmarkt

Spotmarkt

- Erfüllungsfrist von maximal 2 Börsentagen üblich
- OTC- und Börsengeschäft
- Kurzfristige Kraftwerksoptimierung
- Meist physische Lieferung

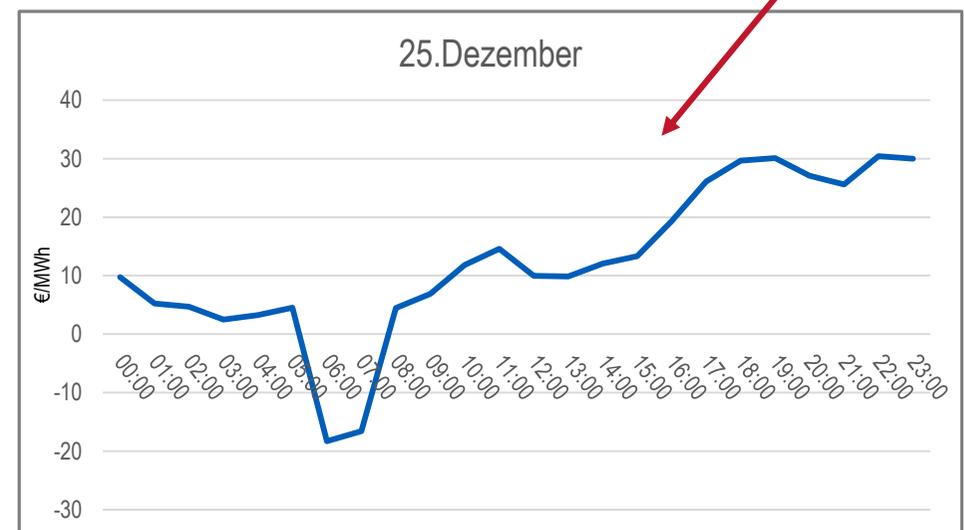
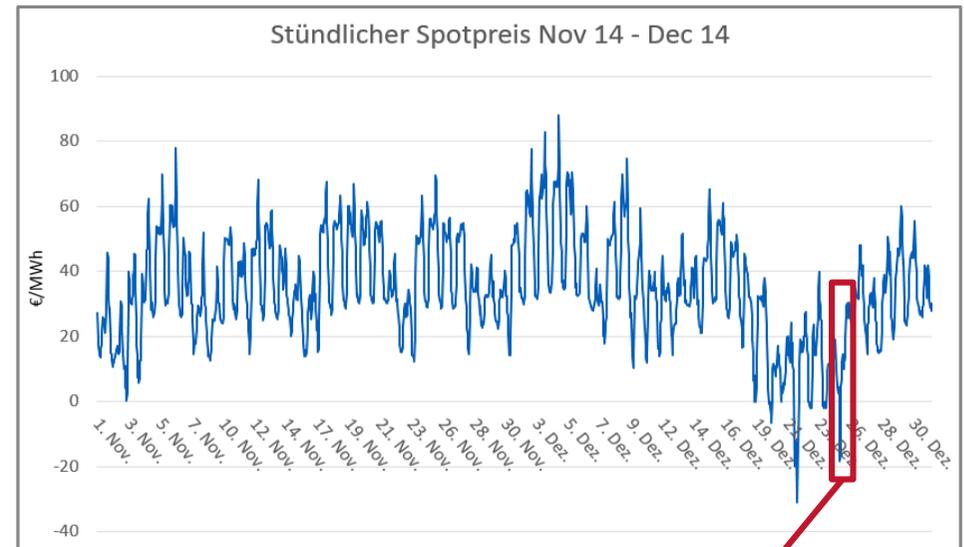
Day-ahead Markt

Erwarteter durchschnittlicher Strompreis für folgenden Tag

Intra-day Markt

Stündliche Auktionen bringen Angebot und Nachfrage zusammen

Strom-Spotmarkt



Quelle: EEX

Spot- und Terminmarkt

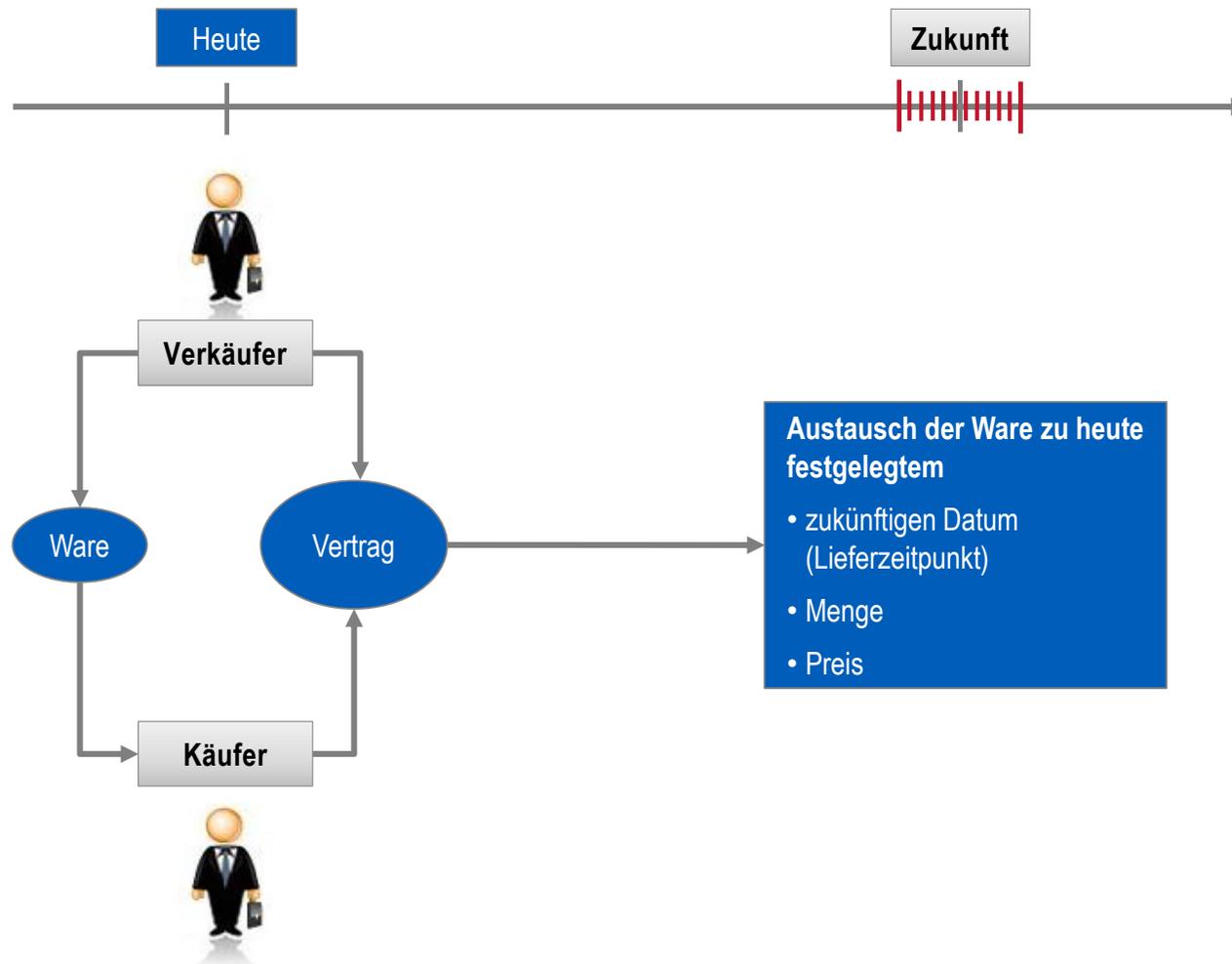
Terminmarkt

- Erfüllung ab 3 Tage
- OTC- und Börsengeschäft
- Risikomanagement durch Hedging
- Spekulationsgeschäft
- Arbitragegeschäft
- Oft cash-settled
- Derivathandel

Gehandelte Derivate

- Forwards
- Futures
- Swaps
- Europäische Optionen
- Asiatische Optionen
- Spread Optionen

Forwards – Erklärung und Beispiel



Ausnahme Strom

- Lieferperiode statt Lieferzeitpunkt

Verwendung

- Hedging für Konsumenten und Produzenten
- Profitabsicherung aus Verkaufsgeschäft
- Spekulation

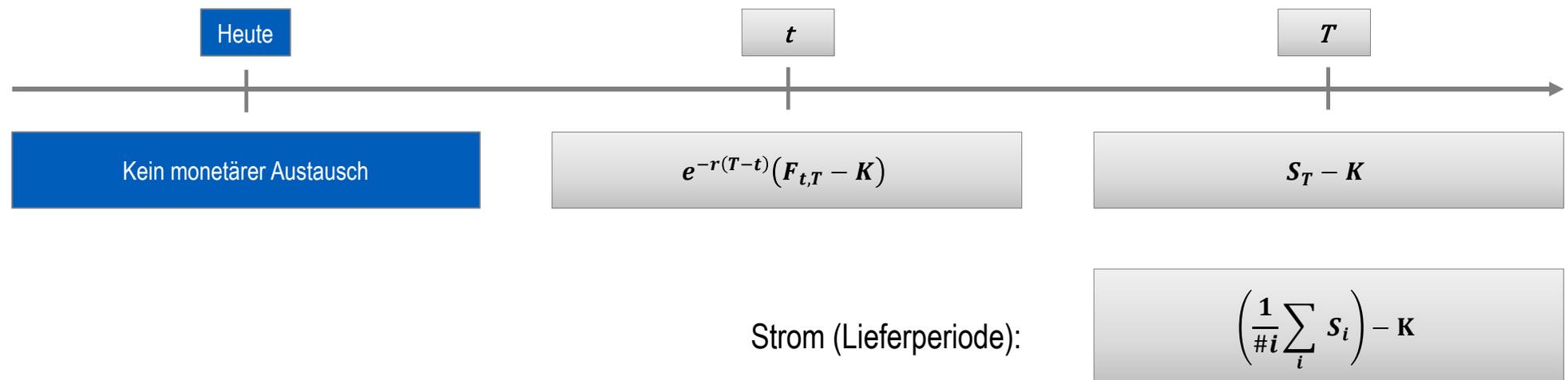
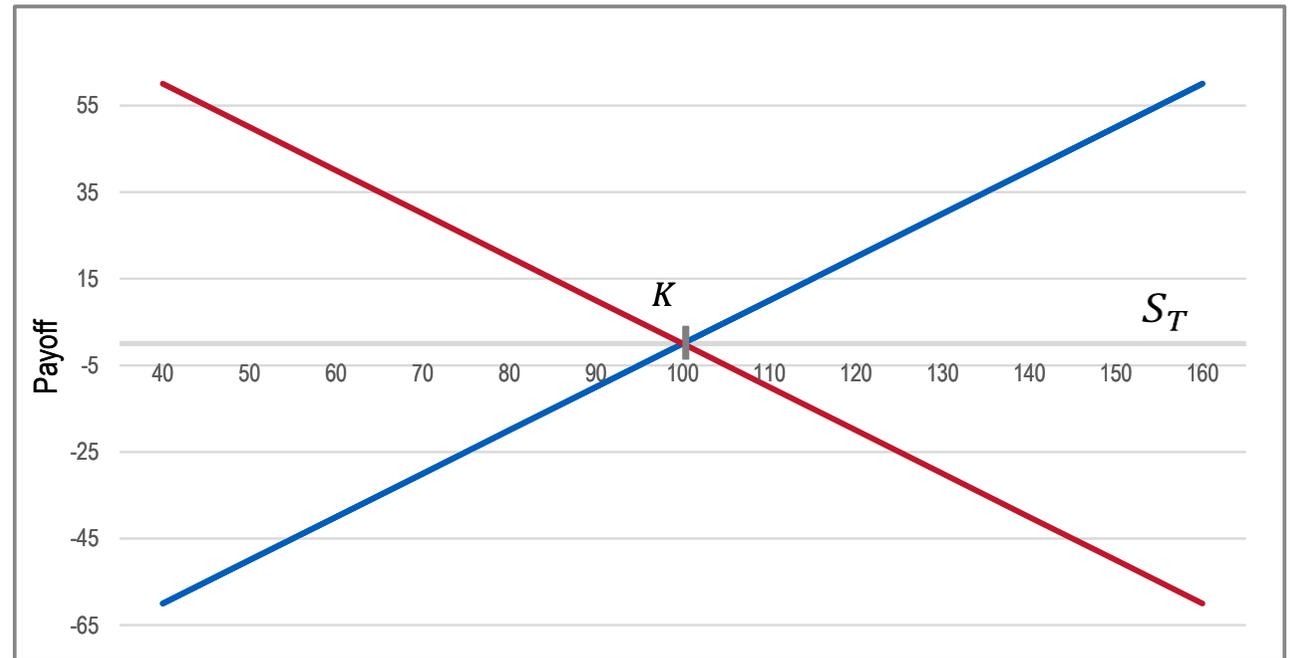
! Ausfallrisiko !

Bewertung eines Forwards

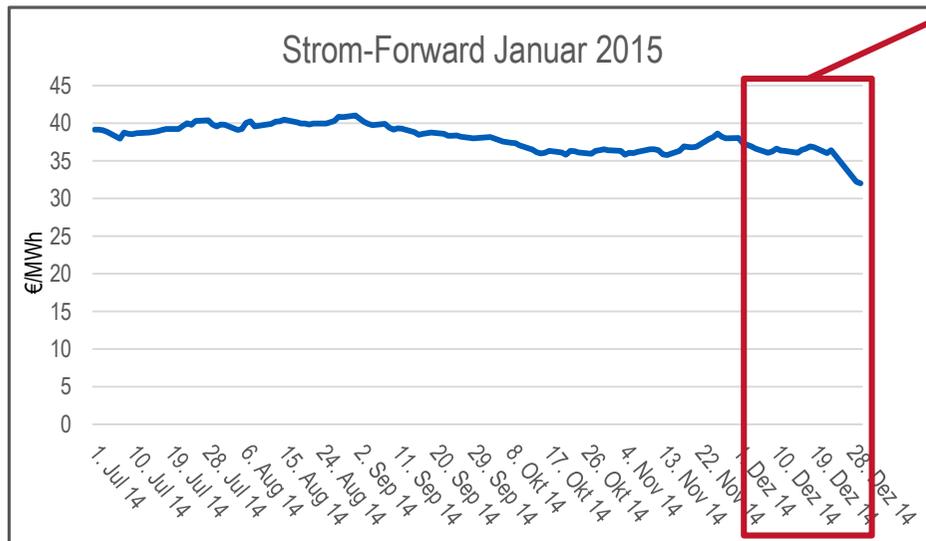
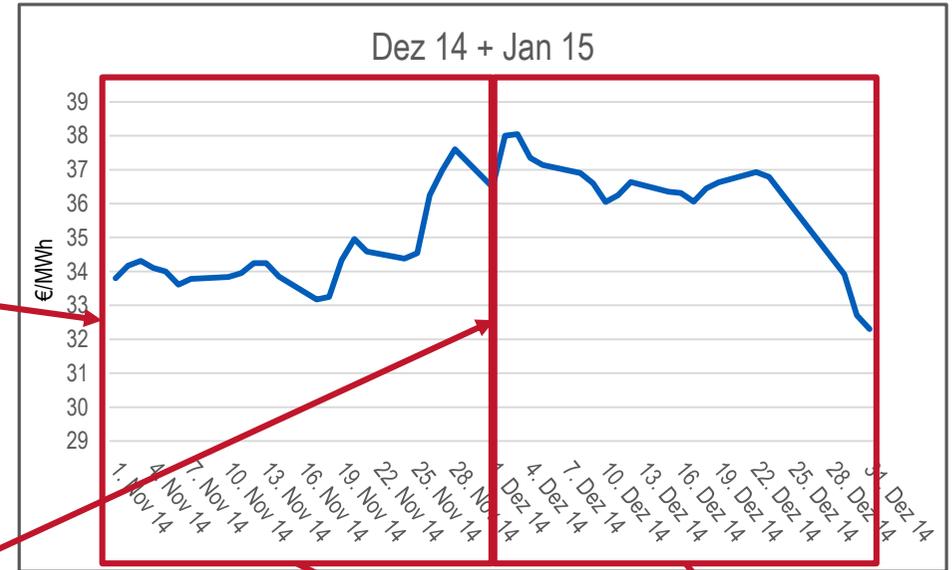
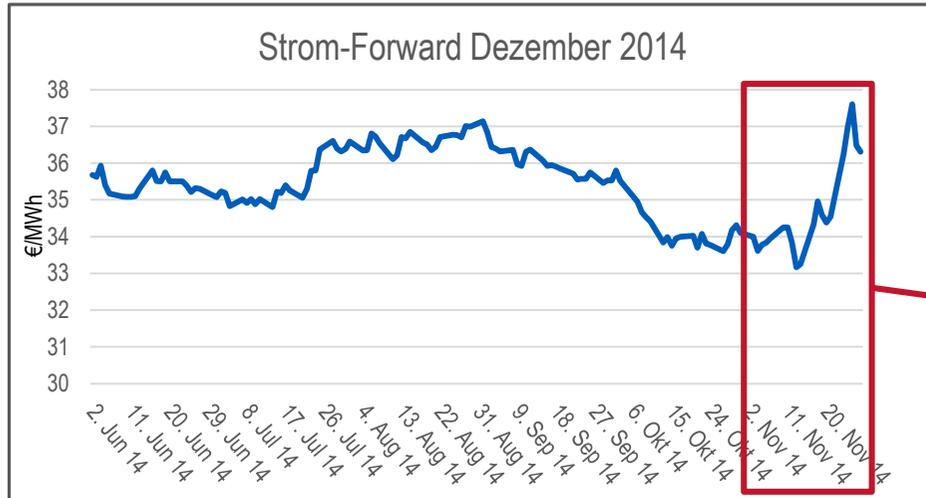
Payoff zum Zeitpunkt T

$$P_T = S_T - K$$

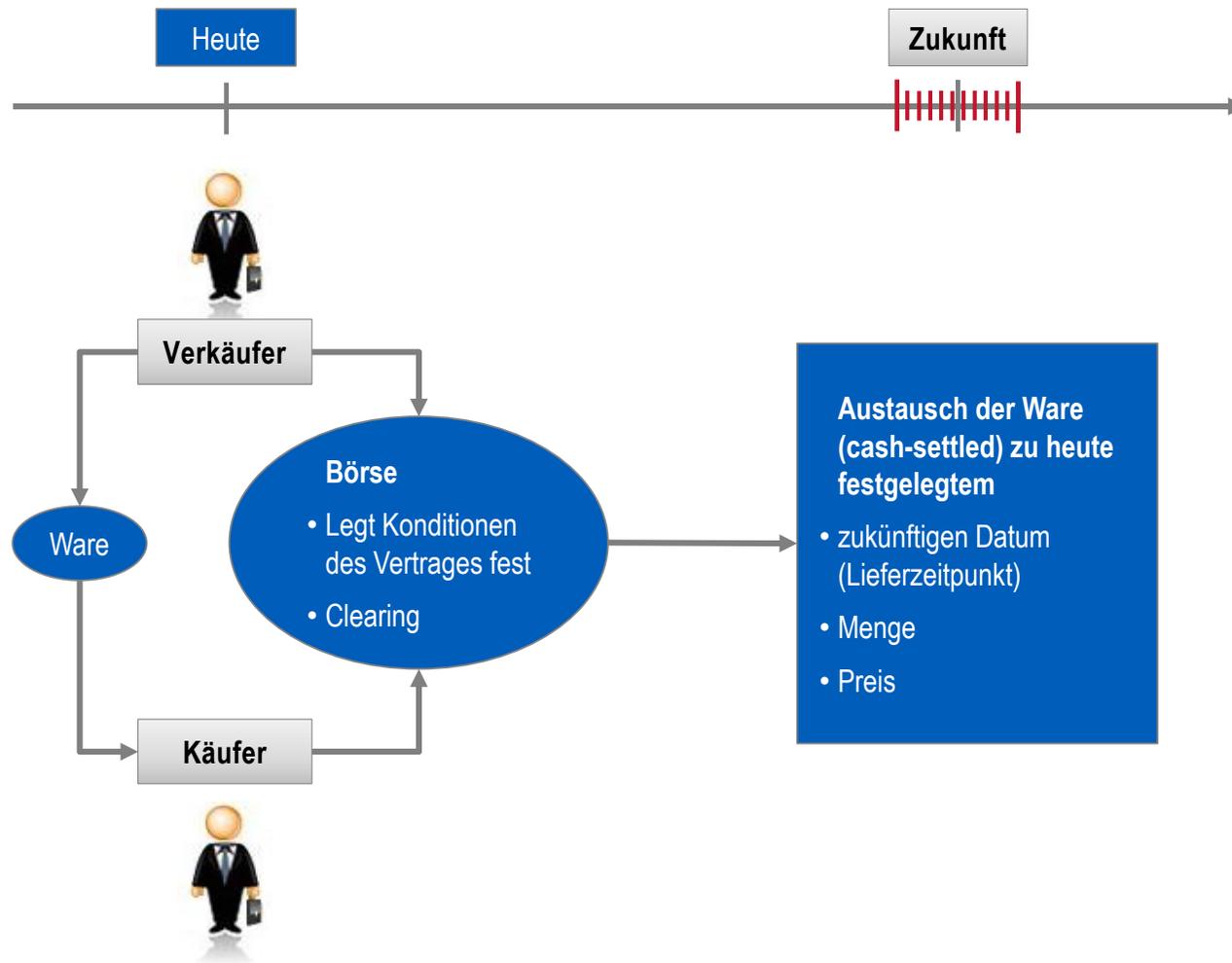
$$P_T = K - S_T$$



Forwards – Erklärung und Beispiele (II)



Futures – Erklärung und Beispiel



Ausnahme Strom

- Lieferperiode statt Lieferzeitpunkt

Verwendung

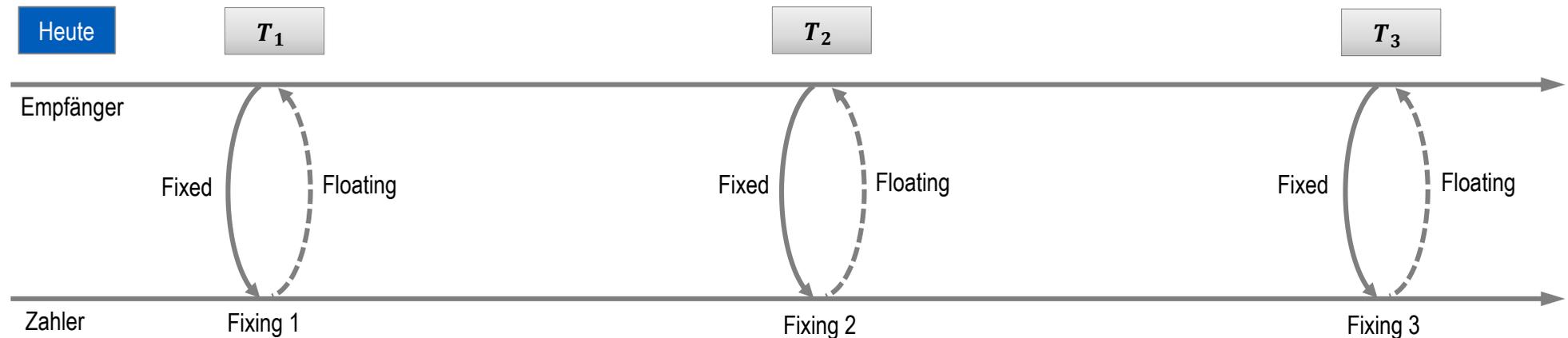
- Hedging für Konsumenten und Produzenten
- Profitabsicherung aus Verkaufsgeschäft
- Spekulation

Kein Ausfallrisiko

Bewertung eines Futures

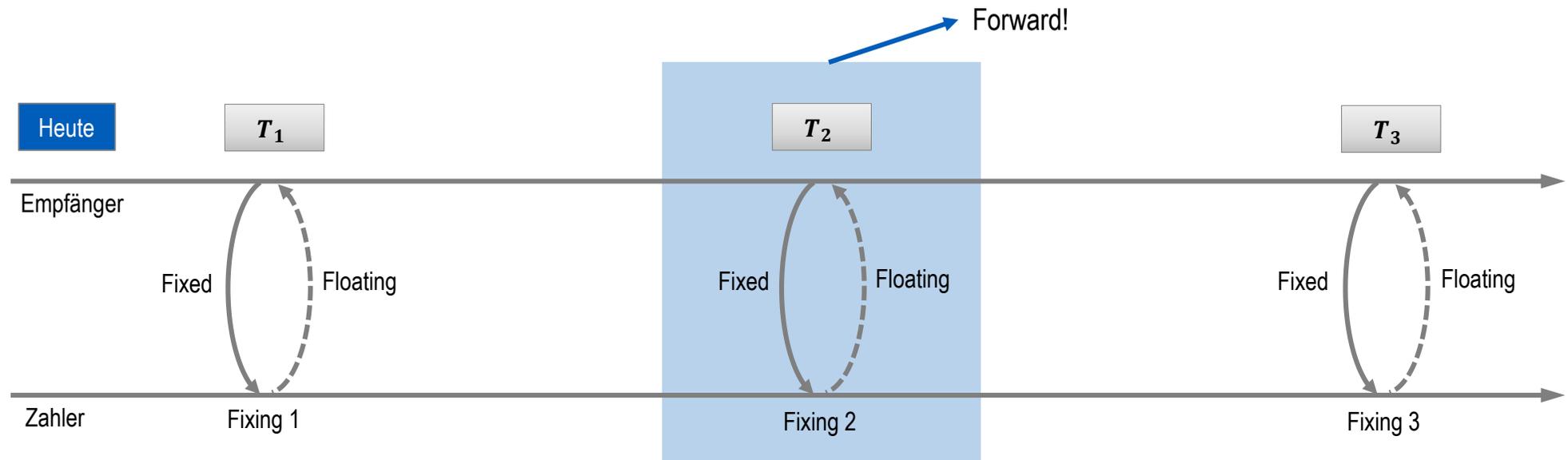
- Siehe Forwards

Swaps – Erklärung und Beispiel



- OTC / Börse
- Wird hauptsächlich gehandelt für Öl, Gas, Kohle, Biomasse
- Nicht üblich für Strom
- Verwendung:
 - Mittel- und langfristiges Hedging (z.B. für Erdölraffinerien)
 - Spekulation
- Beispiel: jährliche Öl-Swaps erhältlich für die kommenden 7 Jahre

Bewertung von Swaps



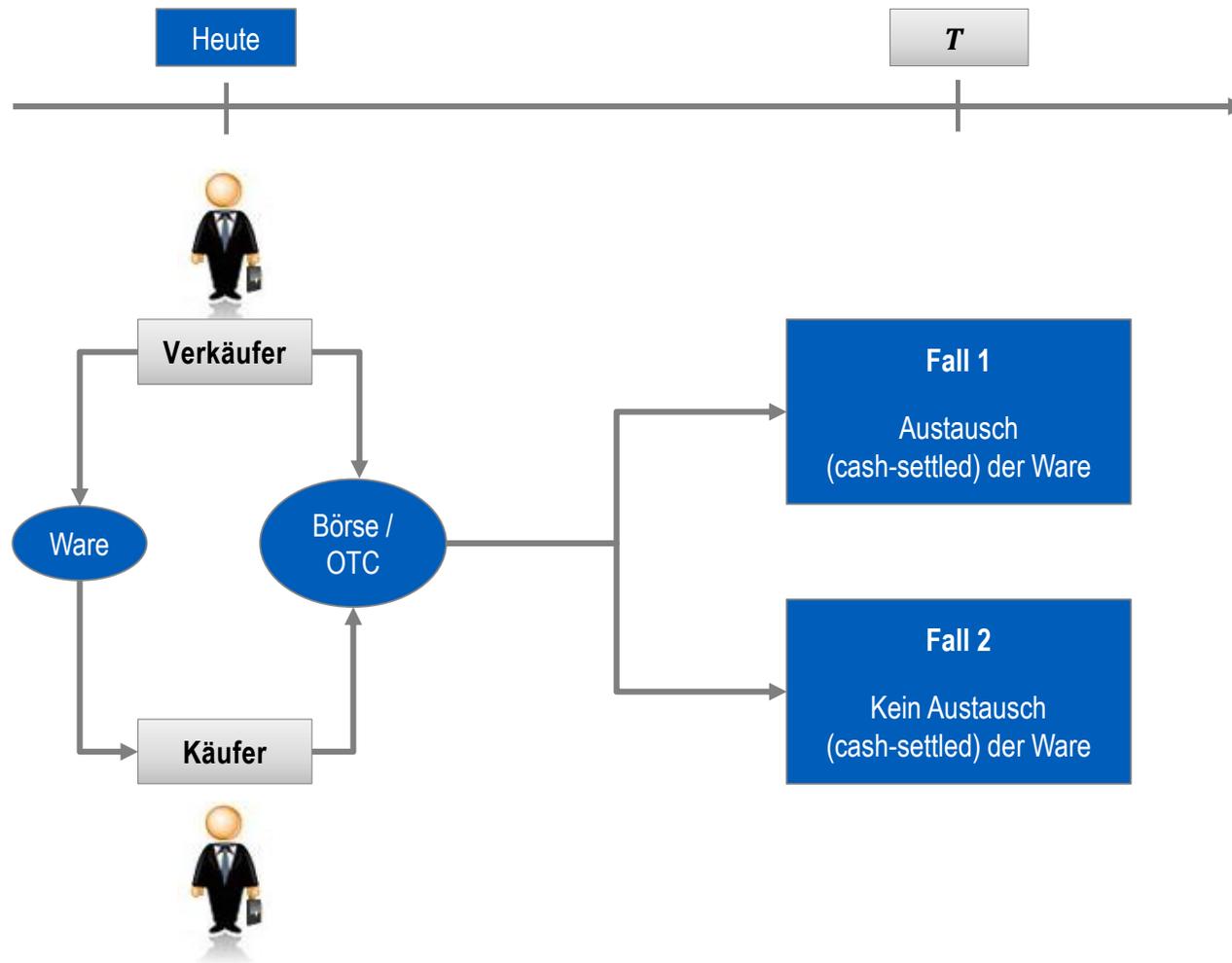
- Falls der Swap selbst gehandelt wird, entspricht der Wert des Swaps mit fixed leg K

$$e^{-r(T_i-t)}(S_{t,T_1,\dots,T_n} - K)$$

- Falls alle Forwards F_{t,T_i} gehandelt werden, entspricht der Wert des Swaps der Summe der Werte der Forwards

$$\sum_i e^{-r(T_i-t)}(F_{t,T_i} - K)$$

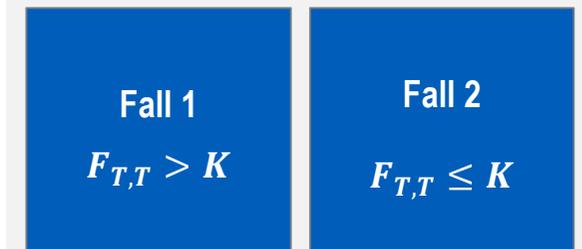
Europäische Optionen – Erklärung und Beispiel (I)



Call Option

Payoff zum Zeitpunkt T :

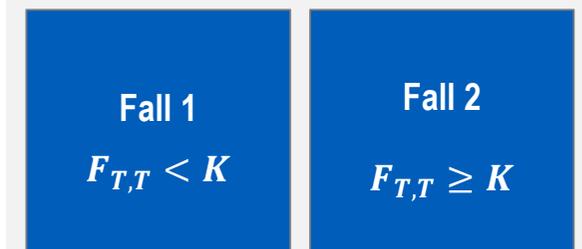
$$P_T = \max(F_{T,T} - K, 0)$$



Put Option

Payoff zum Zeitpunkt T :

$$P_T = \max(K - F_{T,T}, 0)$$



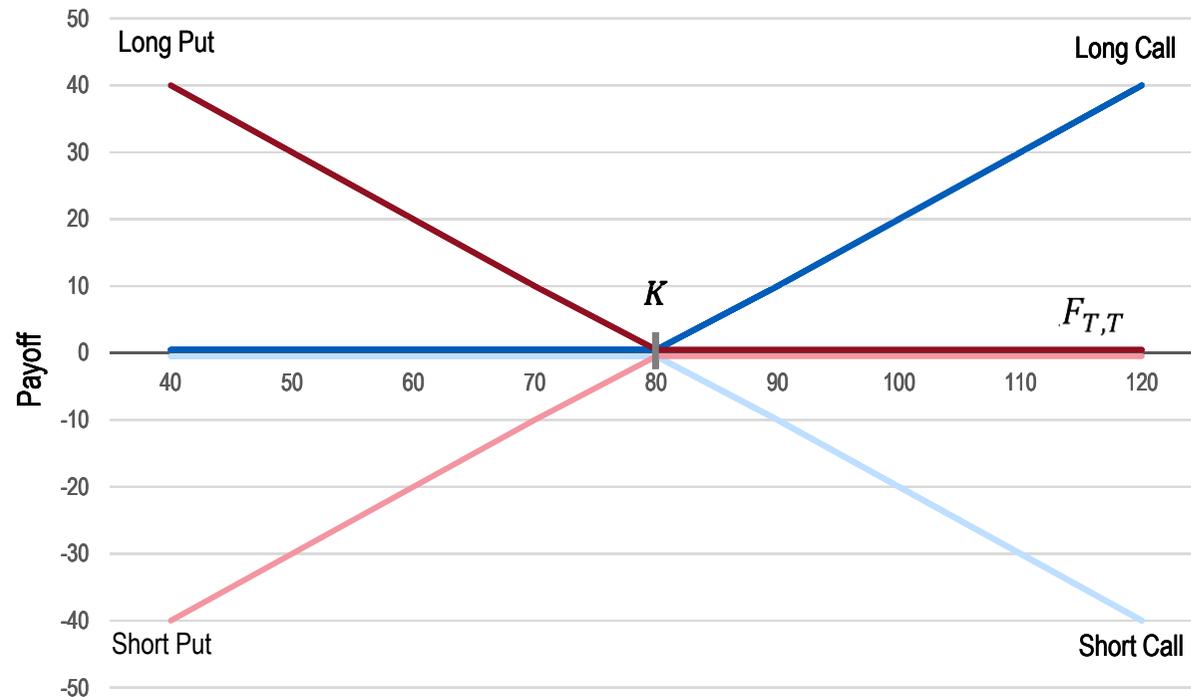
Europäische Optionen – Erklärung und Beispiel (II)

- Payoff **Call Option**

$$P_T^C = \max(F_{T,T} - K, 0)$$

- Payoff **Put Option:**

$$P_T^P = \max(K - F_{T,T}, 0)$$



- Meist geschrieben auf Futures / Forwards als Underlying
- Verwendung
 - Hedging für Konsumenten und Produzenten
 - Spekulation

Bewertung von Europäischen Optionen – Black Modell

- Dynamik der Preise von Forwards / Futures im Black Modell

$$dF_{t,T} = F_{t,T} \sigma dW_t,$$

- σ : Volatilität der Forward / Futures – Preise
- $W_t \sim \mathcal{N}(0, t)$: Brownsche Bewegung

- Anwendung von etwas Finanzmathematik ergibt

$$F_{t,T} = F_{0,T} e^{-1/2\sigma^2 t + \sigma W_t} \sim \text{LogN}(0, \sigma)$$

- Fairer Preis einer Europäischen Call Option zum Zeitpunkt (analytische Lösung)

$$e^{-r(T-t)} \mathbb{E}_t [\max(F_{t,T} - K, 0)] =$$

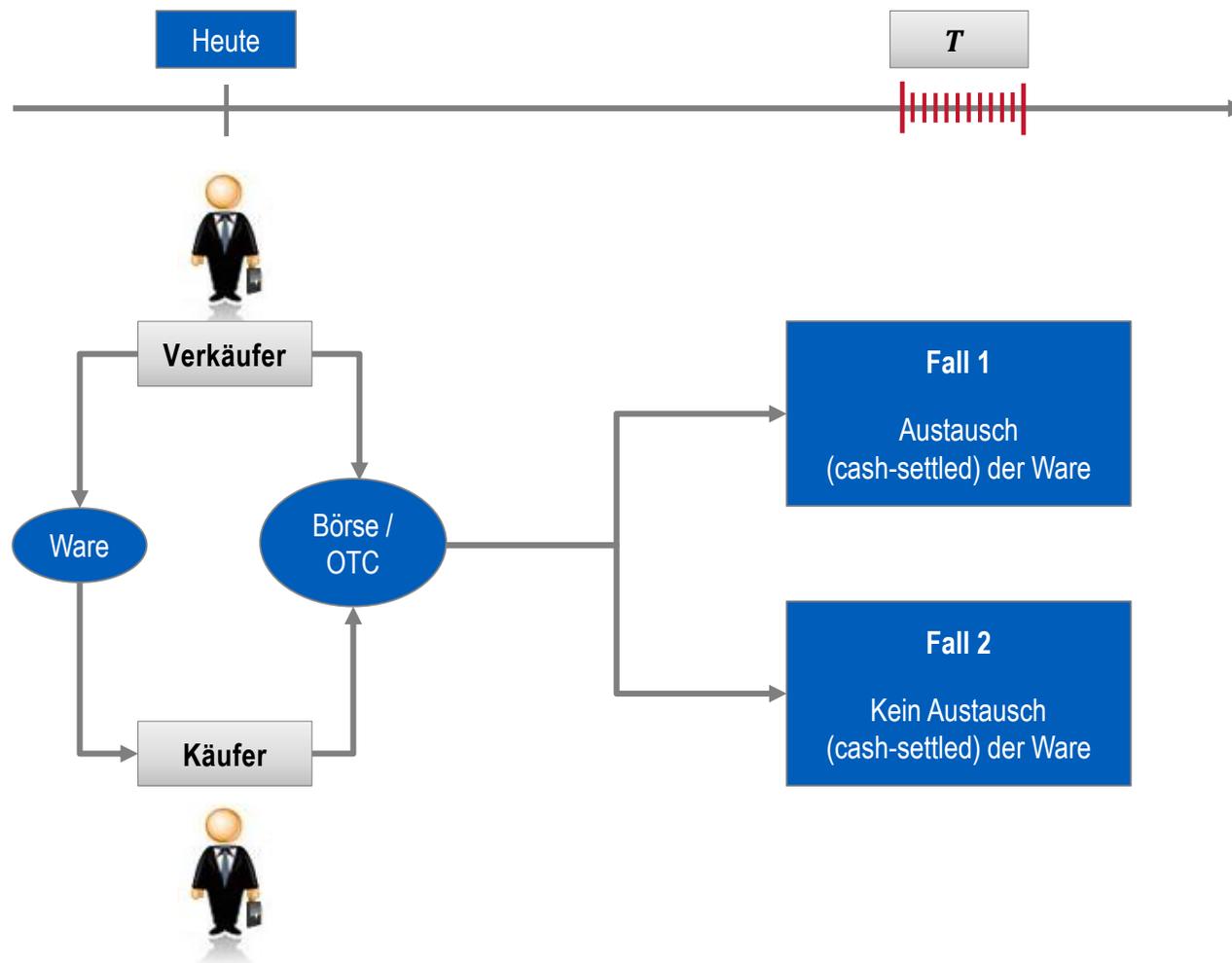
$$e^{-r(T-t)} \mathbb{E}_t [\max(F_{t,T} e^{-1/2\sigma^2 t + \sigma W_t} - K, 0)]$$

$$= \dots = e^{-r(T-t)} (F_{t,T} N(d_1) - KN(d_2)),$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{F_{t,T}}{K}\right) + \sigma^2(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}, \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T-t}$$

Asiatische Optionen – Erklärung und Beispiel (I)

- Bisher: Optionen geschrieben auf Futures / Forwards
- Kann man Optionen direkt auf den Durchschnitt des Spot-Strompreises $D_{T_n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{T_i}$ schreiben?



Call Option

Payoff zum Zeitpunkt T :

$$P_T = \max(D_{T_n} - K, 0)$$

Fall 1 $D_{T_n} > K$	Fall 2 $D_{T_n} \leq K$
--------------------------------	-----------------------------------

Put Option

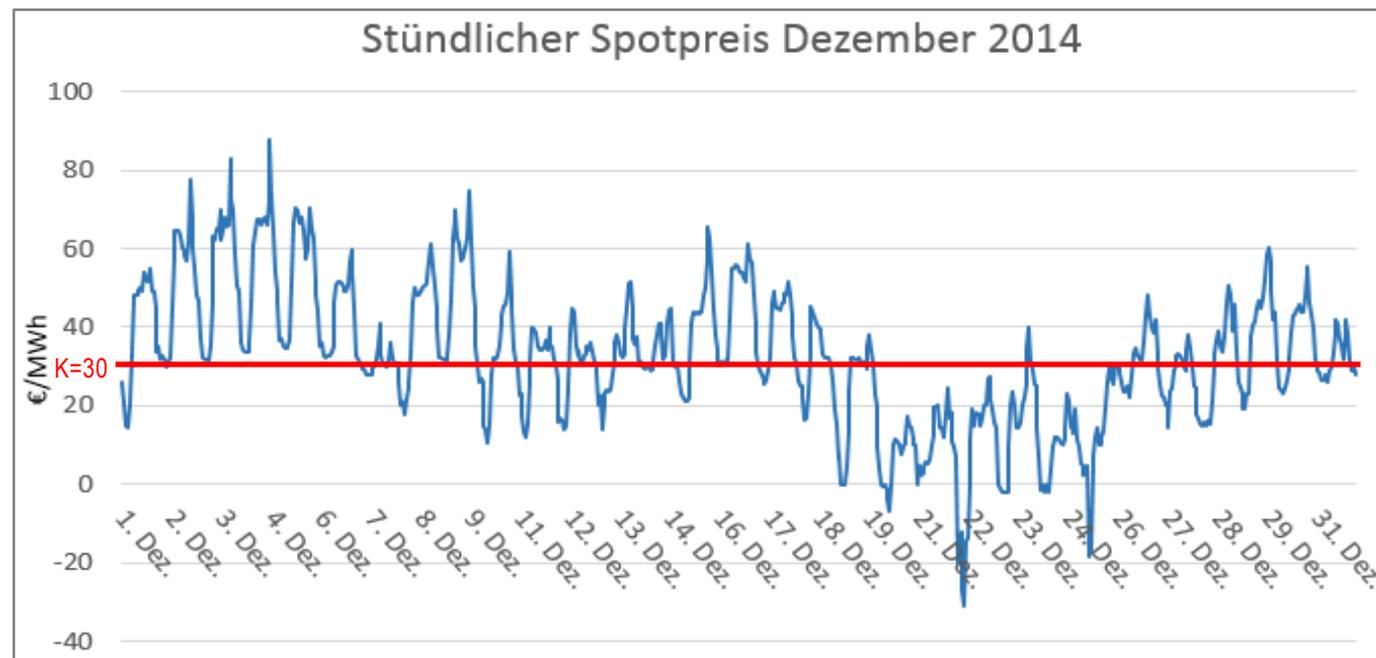
Payoff zum Zeitpunkt T :

$$P_T = \max(K - D_{T_n}, 0)$$

Fall 1 $D_{T_n} < K$	Fall 2 $D_{T_n} \geq K$
--------------------------------	-----------------------------------

Asiatische Optionen – Erklärung und Beispiel (II)

- Arithmetischer Durchschnitt des Spot-Strompreises: $D_{T_n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{T_i}$
- Payoff zum Zeitpunkt T (Call Option): $P_{T_n} = \max(D_{T_n} - K, 0)$



- Verwendung
 - Hedging von Kraftwerken, welche Strom am Spotmarkt verkaufen
 - Überwiegend Spekulation

Bewertung von Asiatischen Optionen – Levy's Approximtion

- **Annahme:** Approximiere wahre Verteilung von arithmetischem Durchschnitt D_{T_n} mit einer Log-Normalverteilung, deren erste beide Momente übereinstimmen

- Da die Approximation \tilde{D}_{T_n} den Erwartungswert (1.Moment)

$$D_A := \mathbb{E}[\tilde{D}_{T_n}] = \mathbb{E}[D_{T_n}] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{t,T_i}$$

- haben muss, muss \tilde{D}_{T_n} folgende Form haben

$$\tilde{D}_{T_n} = D_A e^{-1/2\beta^2 + \beta N} \quad \text{mit } N \sim \mathcal{N}(0,1) \Rightarrow \tilde{D}_{T_n} \sim \text{LogN}(D_A, e^{\beta^2-1})$$

- Folglich hat das 2. Moment von \tilde{D}_{T_n} die Form

$$\mathbb{E}[\tilde{D}_{T_n}^2] = D_A^2 \mathbb{E}[e^{-\beta^2 + 2\beta N}] = D_A^2 e^{\beta^2}$$

- Verwendung des Verschiebungssatzes $\text{Var}[D_{T_n}] = \mathbb{E}[D_{T_n}^2] - \mathbb{E}[D_{T_n}]^2$ liefert die Bedingung

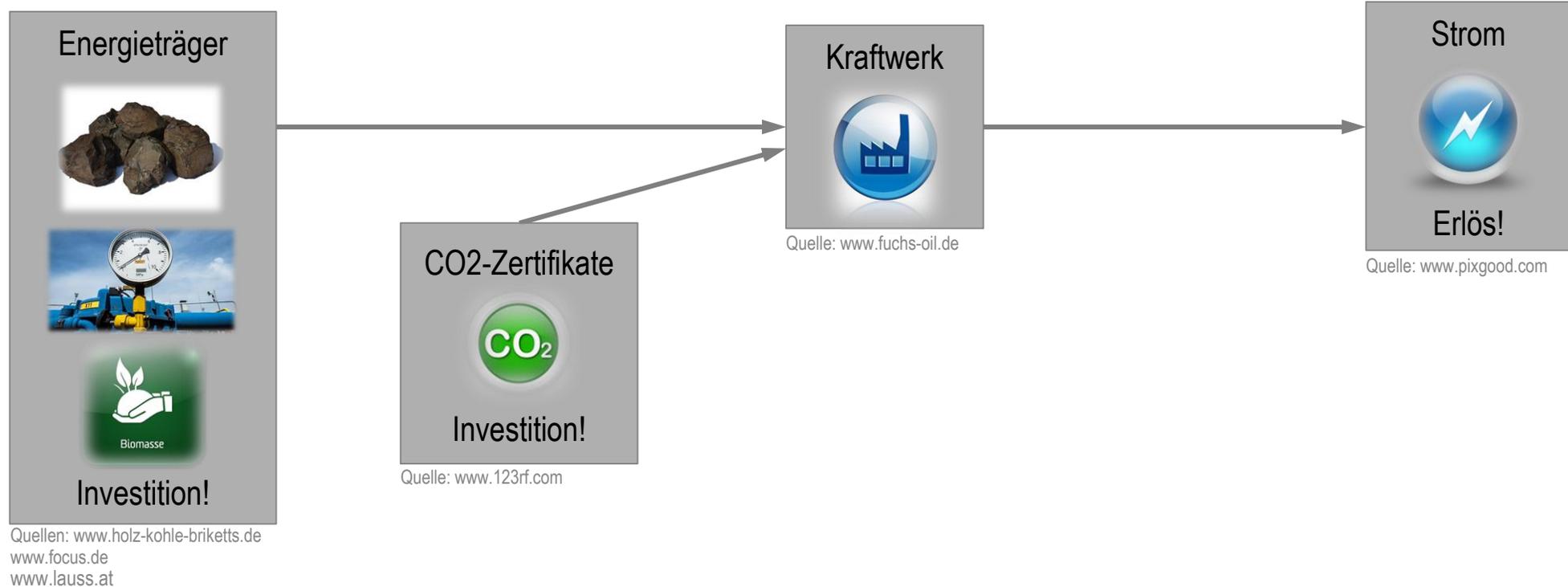
$$\mathbb{E}[D_{T_n}^2] = \text{Var}[D_{T_n}] + D_A^2 = \mathbb{E}[\tilde{D}_{T_n}^2] = D_A^2 e^{\beta^2}$$

- Löst man nach β auf, erhält man

$$\beta^2 = \ln\left(\frac{\mathbb{E}[D_{T_n}^2]}{D_A^2}\right) = \ln\left(1 + \frac{\text{Var}[D_{T_n}]}{D_A^2}\right)$$

- Nun kann der faire Preis $e^{-r(T-t)} \mathbb{E}_t[\max(D_{T_n} - K, 0)]$ ähnlich wie beim Black Modell gelöst werden

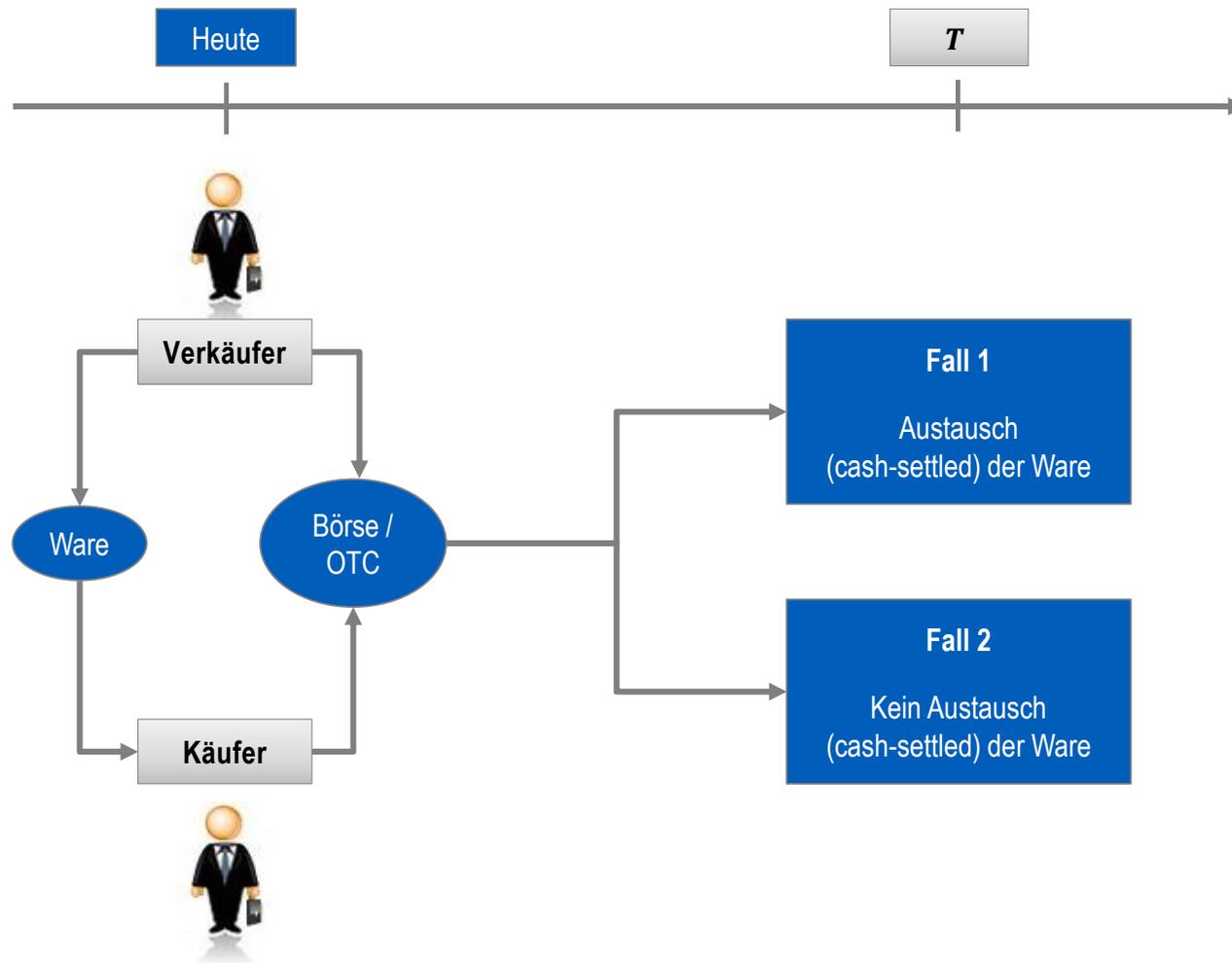
Kraftwerke als Realoptionen



- Vereinfachende Annahmen
 - Flexibles, gas-betriebenes Stromkraftwerk (CO₂-Zertifikate nicht notwendig)
 - Gas- und Strom-Futures mit eintägiger Lieferung am Markt vollständig handelbar für kommendes Jahr
- Ertrag heute (Tag t) an einem zukünftigem Tag T

$$\max(S_{t,T} - H * G_{t,T} - K, 0)$$

Kraftwerke als Realoptionen – Spread Optionen



Call Spread Option

Payoff zum Zeitpunkt T :

$$P_T = \max(F_{T,T}^1 - F_{T,T}^2 - K, 0)$$

Fall 1 $F_{T,T}^1 - F_{T,T}^2 > K$	Fall 2 $F_{T,T}^2 - F_{T,T}^1 \leq K$
---------------------------------------	--

Put Spread Option

Payoff zum Zeitpunkt T :

$$P_T = \max(K + F_{T,T}^2 - F_{T,T}^1, 0)$$

Fall 1 $K + F_{T,T}^2 > F_{T,T}^1$	Fall 2 $K + F_{T,T}^2 \leq F_{T,T}^1$
---------------------------------------	--

Kraftwerke als Realloptionen – Bewertung von Spread Optionen

- Payoff einer Call Spread Option

$$P_T = \max(F_{T,T}^1 - F_{T,T}^2 - K, 0)$$

- Annahmen:

$$- dF_{t,T}^i = F_{t,T}^i \sigma_i dW_t^i, \quad i = 1, 2$$

$$- \text{cor}(W_t^1, W_t^2) = \rho$$

$$\Rightarrow F_{t,T}^i \sim \text{Log}(0, \sigma_i), \quad i = 1, 2$$

$$\Rightarrow F_{t,T}^2 + Ke^{-r(T-t)} \sim \text{LogN} \text{ (approximativ für } K \ll F_{t,T}^2 \text{)}$$

$$\Rightarrow Z_t := \frac{F_{t,T}^1}{F_{t,T}^2 + Ke^{-r(T-t)}} \sim \text{LogN}$$

- Fairer Preis einer Call Spread Option

$$\begin{aligned} e^{-r(T-t)} \mathbb{E}_t [\max(F_{t,T}^1 - F_{t,T}^2 - K, 0)] &= \\ e^{-r(T-t)} \mathbb{E}_t [(F_{t,T}^2 + Ke^{-r(T-t)}) * \max(Z_t - 1, 0)] &= \\ = \dots = e^{-r(T-t)} (F_{t,T}^1 N(d_1) - (F_{t,T}^2 + K) N(d_2)) & \end{aligned}$$

Ausblick - Speicherkraftwerke

- Speicherkraftwerke



Quelle: www.fotocommunity.com

- Pumpspeicherkraftwerke

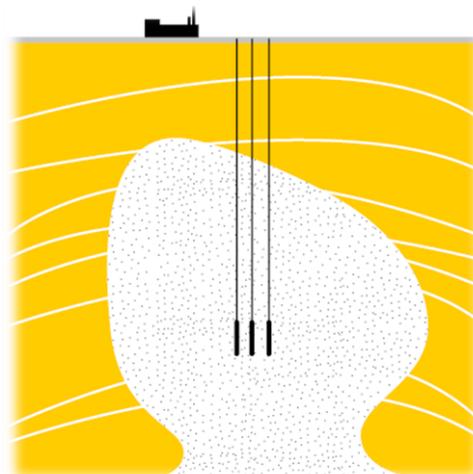


Quelle: www.dena.de

- Gasspeicheranlagen



Quelle: www.vng-gasspeicher.de

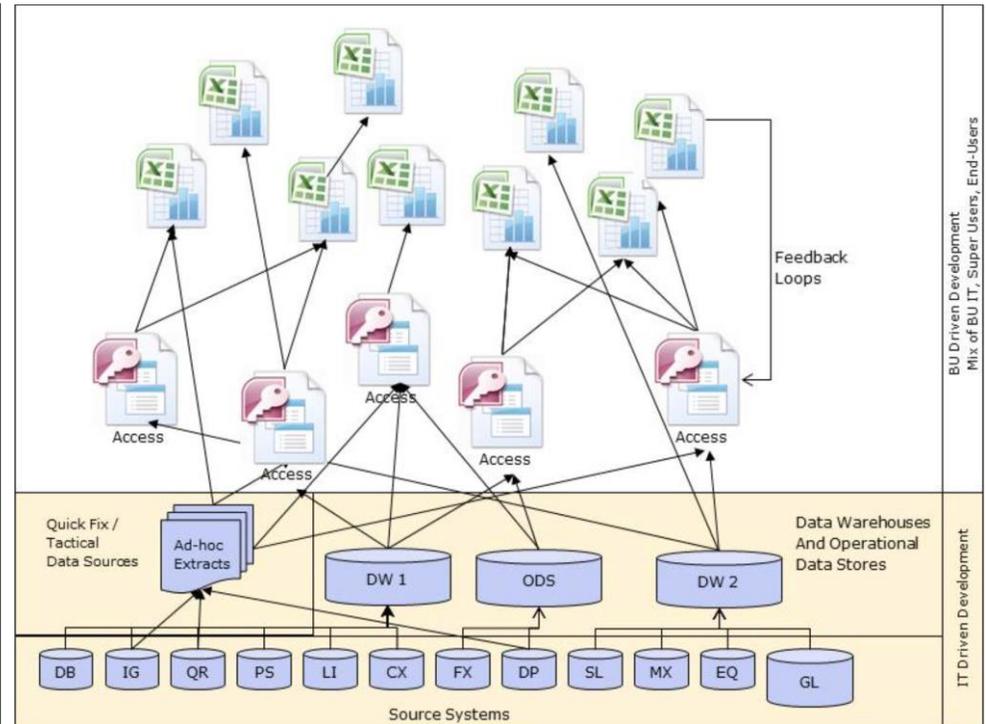
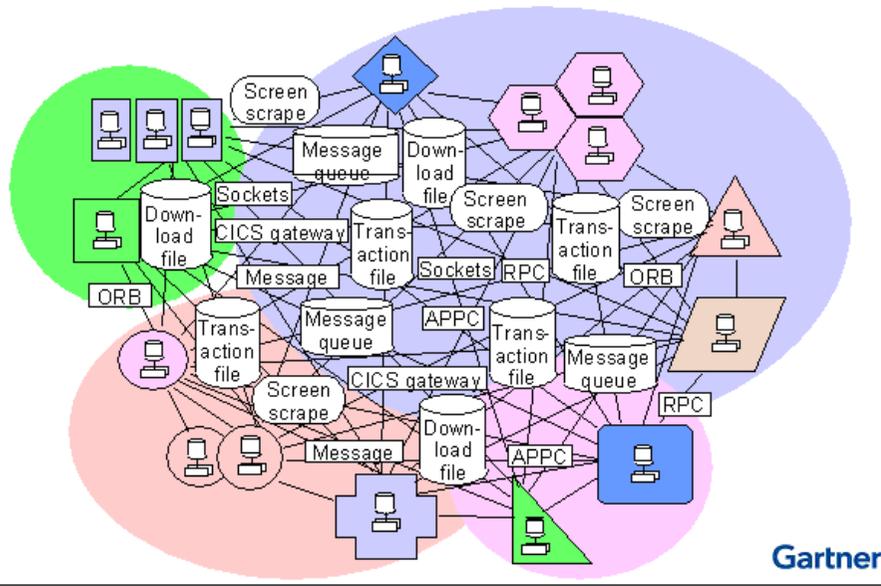


Modell Implementierung

- Wie werden solche Modelle in der Praxis implementiert?
- Welche Software wird verwendet?
- In welcher IT-Umgebung wird gearbeitet und welche IT-Architektur liegt zugrunde?
- Coding: Wer implementiert und wer ist verantwortlich für den Code? – Fachbereich oder IT?

Modell Implementierung - Beispiele

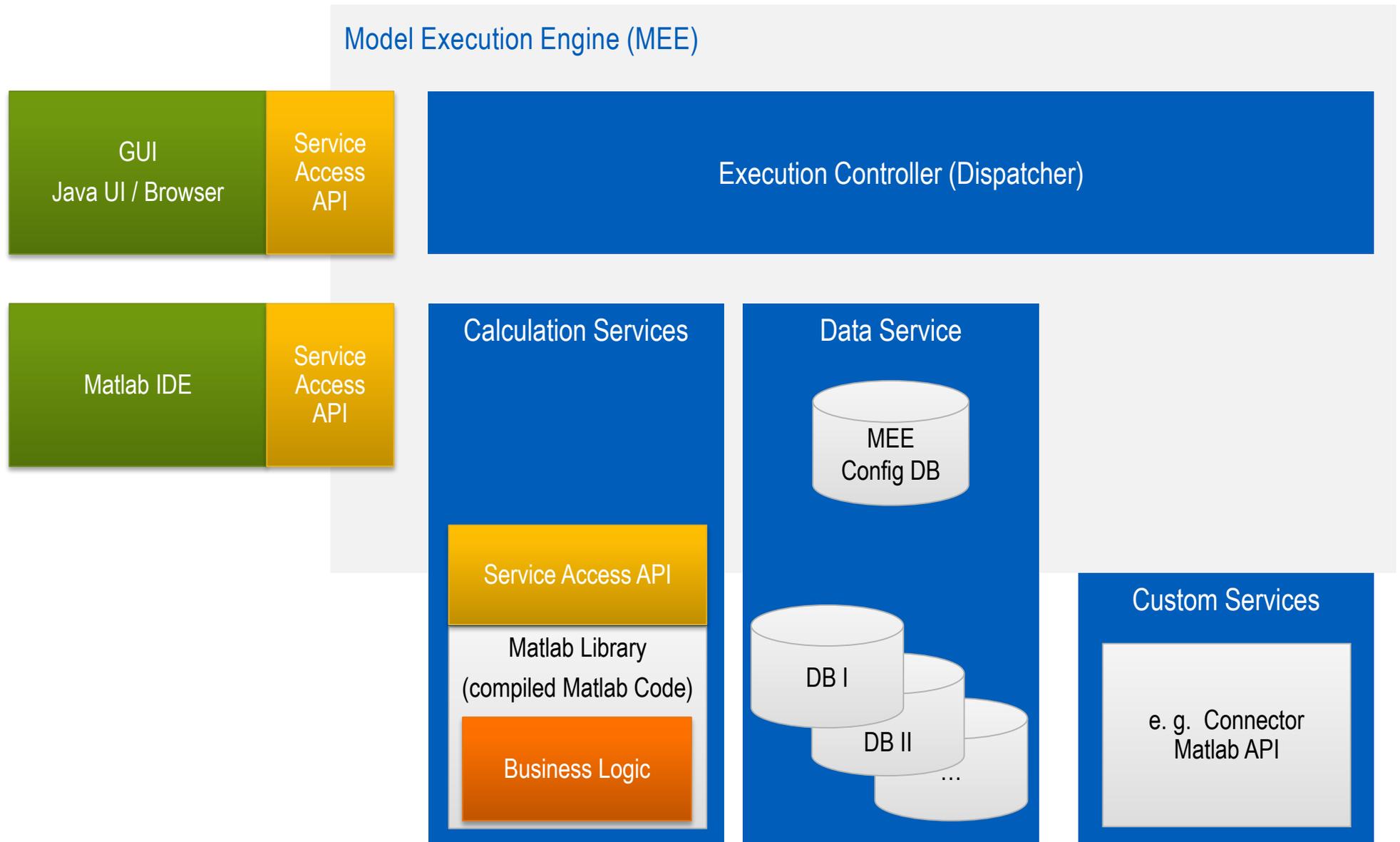
Application Integration Spaghetti



Modell Implementierung – Spaghetti Processing Nachteile

- Nicht konform mit neuen Vorschriften und Regularien, z.B. Dodd-Frank
 - Audit Findings
 - Risk Management und interne Audits greifen nicht
(Spreadsheet Fat-fingering, siehe z.B. :
<http://www.finextra.com/video/video.aspx?videoid=790>
<http://www.finextra.com/video/video.aspx?videoid=789>)
- Excel Workbooks sind fehleranfällig
- Prototypen sollten nicht in produktiven Systemen eingesetzt werden
- Komplexe und unstrukturierte Excel Prozessabläufe sind ab einer bestimmten Größe sehr unflexibel, aufwendig zu pflegen und es ist schwierig diese abzuschaffen
- ..

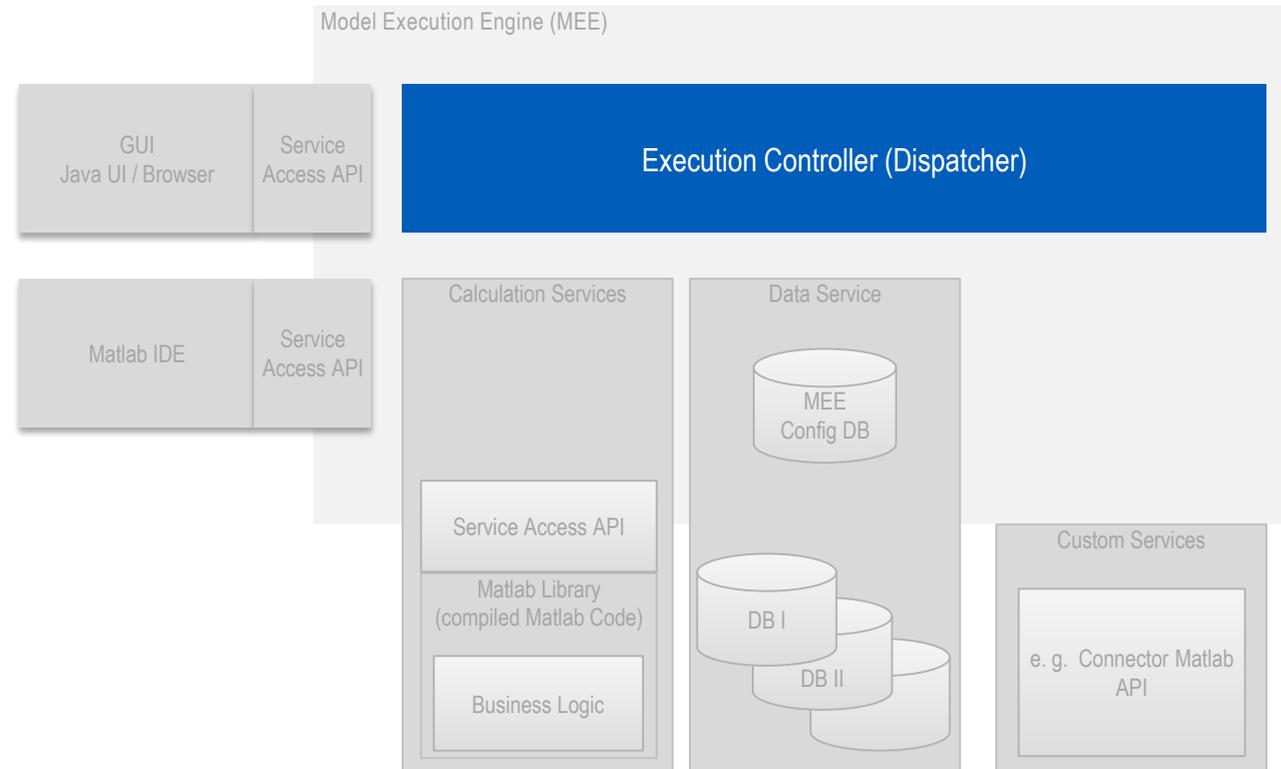
Modell Implementierung – Best Practice



Modell Implementierung – Best Practice

Execution Controller (Dispatcher)

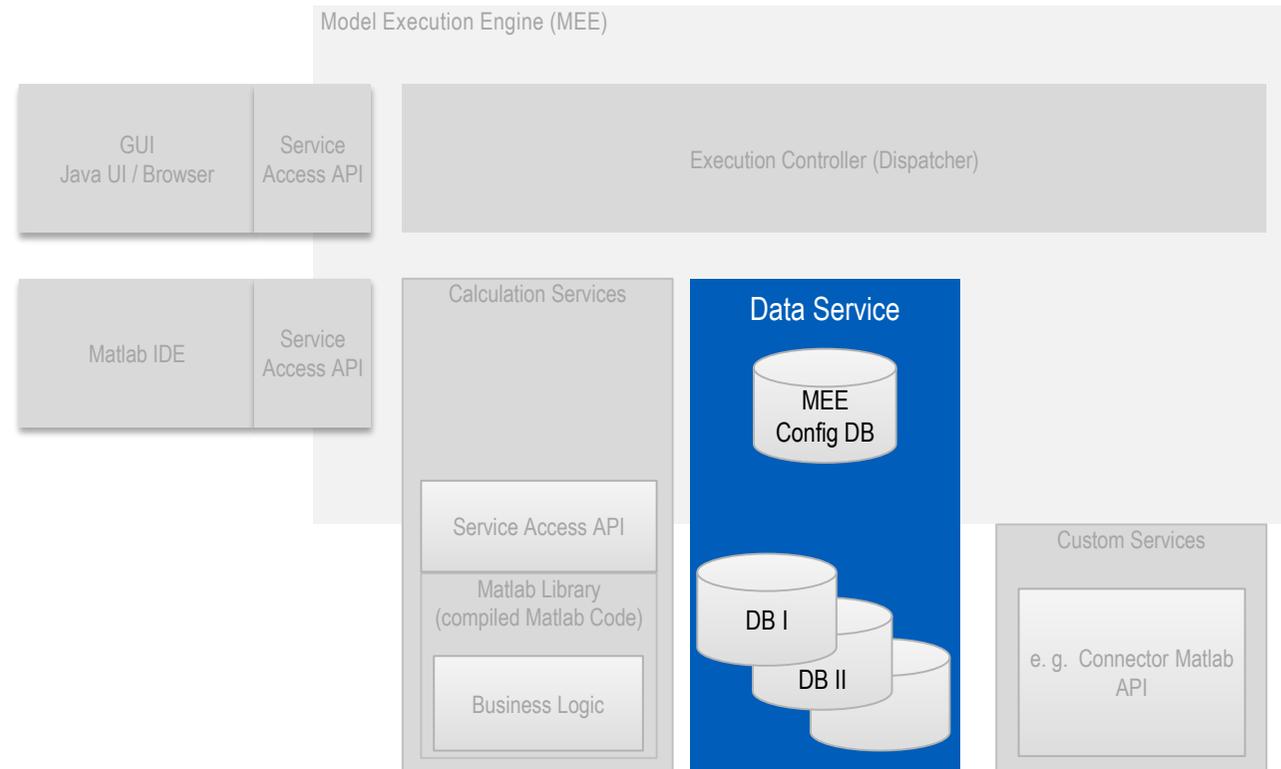
- Core functions
 - Logging
 - Monitoring
 - Configuration
 - Security
 - ...
- Function discovery
 - Even across multiple hosts
- Handling of synchronous / asynchronous calls



Modell Implementierung – Best Practice

Data Service

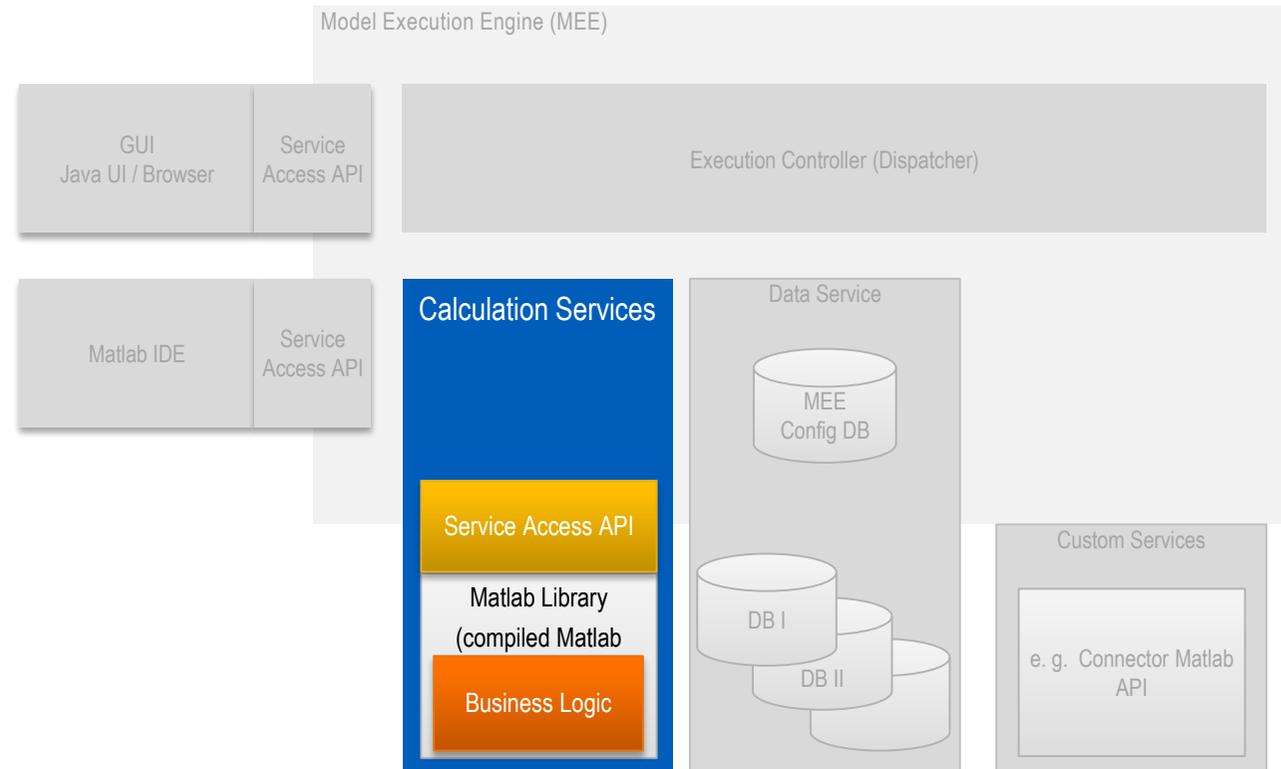
- Unified data access
 - Data access interface is stable between environments
 - Data access to heterogeneous data sources
 - No direct database access – schema changes are just config changes
- Predefined statements / sequences of statements for reduced operational risk
- Security constraints on query level
- Connection pooling



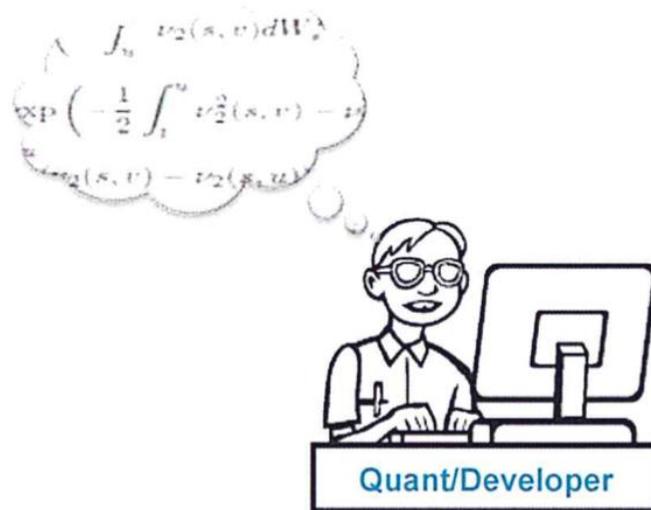
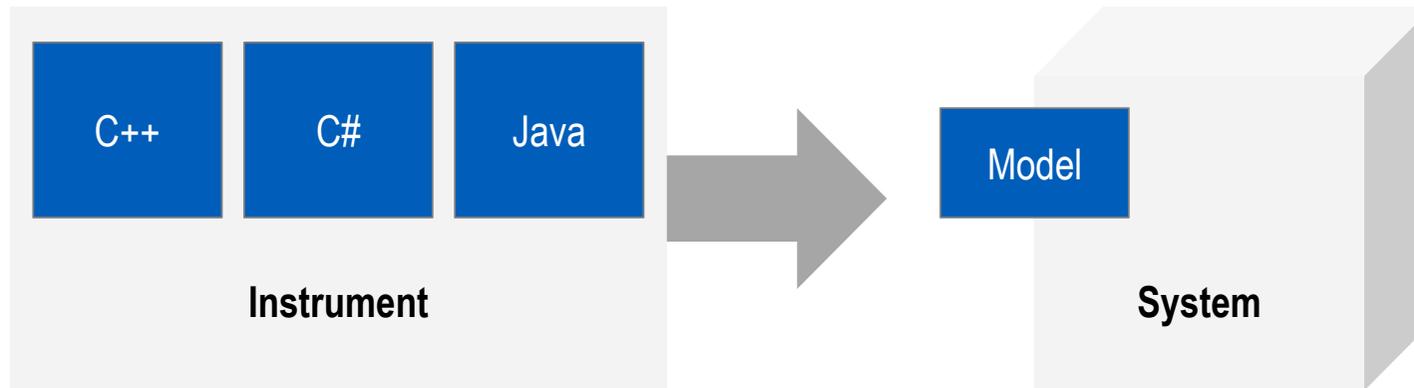
Modell Implementierung – Best Practice

Execution Controller (Dispatcher)

- Core functions
 - Logging
 - Monitoring
 - Configuration
 - Security
 - ...
- Function discovery
 - Even across multiple hosts
- Handling of synchronous / asynchronous calls



Model Implementation – Who Codes?



Quant who is a good programmer
-OR-
Programmer who is a good quant
(very rare and expensive)

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!