

# Expertinnen- und Expertengespräche Power-to-Gas

## Ökonomische Aspekte SNG für Strassenverkehr

**HSR Rapperswil, 13.06.2018**

**Dr. Michael Schürle**

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

# Ausgangslage

- Ambitionierte Zielvorgaben zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Strassenverkehr in EU und Schweiz
- Herstellerspezifische Grenzwerte für die Flottenemissionen:
  - aktueller Zielwert: 130 g/km (EU-Durchschnitt)
  - ab 2020: 95 g/km
- Strafzahlungen bei Überschreitung: 95 EUR je Gramm
- Umgerechnet auf eine Fahrleistung von 150'000 km entspricht dies einem Preis von über 600 EUR/t (Vergleich mit Preis EUA-Zertifikat: ca. 16 EUR/t)
- Auf die Automobilindustrie dürften Sanktionen in Milliardenhöhe zukommen
- Premiumhersteller sind besonders betroffen

# Neues CO2-Gesetz Schweiz (Art. 16)

- Hersteller und Importeure können auf die Berechnung der CO2-Emissionen ihrer Neuwagenflotte Verminderungen anrechnen, die durch Verwendung synthetischer Treibstoffe erzielt werden,
  - welche mittels Elektrizität aus erneuerbaren Energien hergestellt werden,
  - für die keine weitere CO2-mindernde Massnahme geltend gemacht wird und
  - die Umweltaanforderungen an erneuerbare Treibstoffe genügen
- Die Nachfrage nach Elektrizität aus erneuerbaren Energien soll nicht erhöht werden
- Der Umfang der CO2-Emissionen wird aufgrund der durchschnittlichen Lebensdauer bzw. Fahrleistung berechnet
- Sanktion bei Überschreitung: 95 – 152 CHF je Gramm (Art. 17)

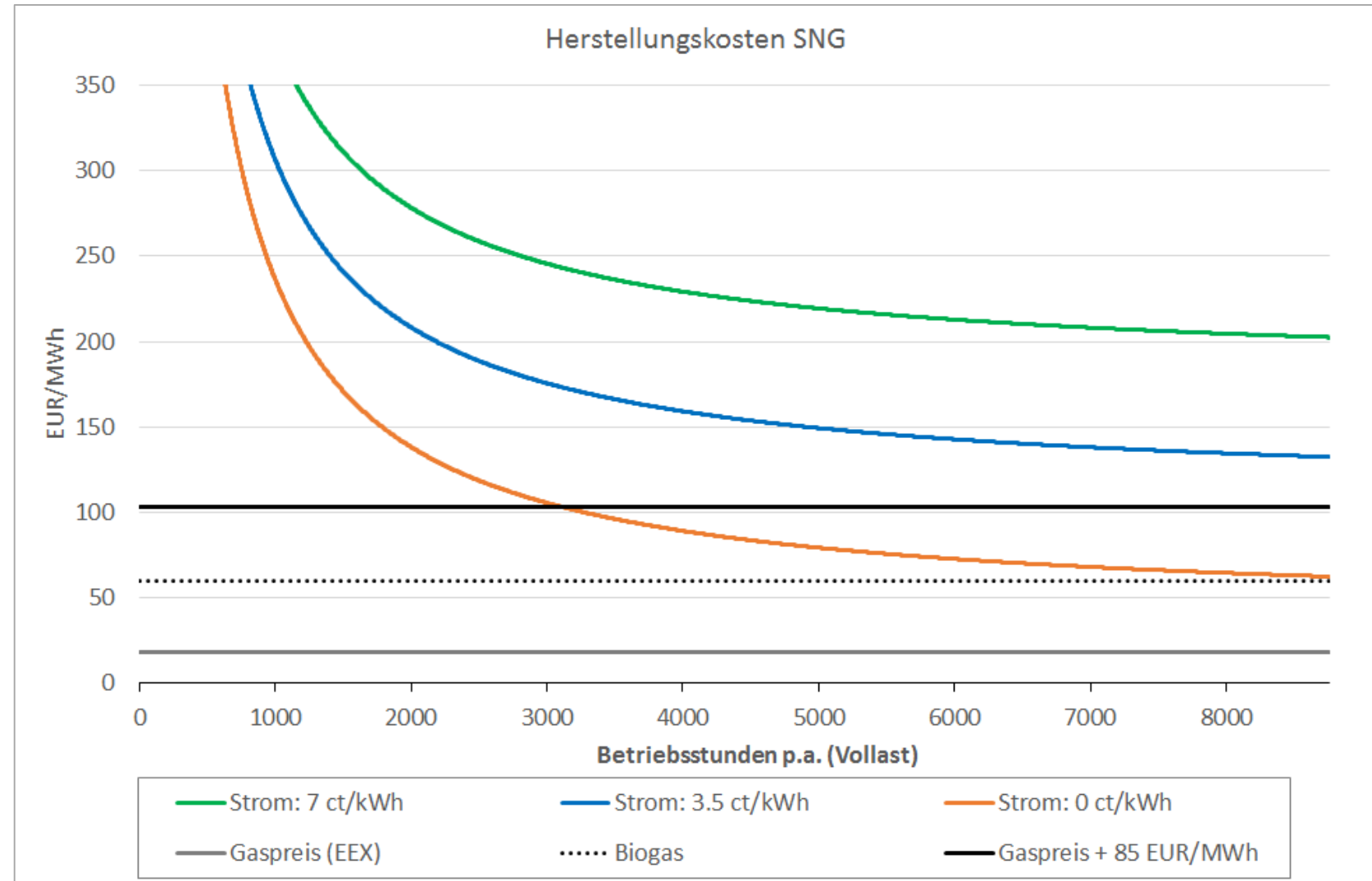
# Wieviel darf synthetisches Methan kosten?

- Annahme: Ein Hersteller verkauft Fahrzeuge mit Gasantrieb; dies trägt bereits zu einer gewissen Reduktion der Flottenemissionen bei, trotzdem liegt der Hersteller noch über dem Flottengrenzwert
- Sollen die Sanktionen durch synthetisches Methan weiter reduziert werden, wieviel darf dieses kosten?
- Beispiel VW Golf TGI:
  - CO<sub>2</sub>-Normemission ca. 93 g/km
  - Normverbrauch 5.2 m<sup>3</sup>/100 km (entspricht 3.722 kg/100 km)
- Durch Betrieb mit erneuerbarem SNG sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 70% bzw. um 65 g/km
- Bedarf SNG bei jährlichen Fahrleistung von 15'000 km beträgt 558.3 kg
- Dies entspricht ca. 7300 kWh<sub>SNG</sub> p.a.
- Reduktion der Sanktionen durch Betrieb eines neu in Verkehr gebrachten Gasfahrzeugs mit erneuerbarem SNG: 65 \* 95 EUR = 6175 EUR (pro Fahrzeug)
- Umgerechnet eine kWh SNG (angenommene Fahrzeug-Lebensdauer 10 Jahre):

$$\frac{6175 \text{ EUR}}{10 \cdot 7300 \text{ kWh}_{\text{SNG}}} \approx 8.5 \text{ ct/kWh}_{\text{SNG}} = 85 \text{ EUR/MWh}_{\text{SNG}}$$

# Vergleich mit Herstellungskosten SNG

- Investition (Brunner et. al, 2015):
  - Elektrolyseur: 1000 EUR/kW<sub>el</sub>
  - Methanisierung: 700 EUR/kW<sub>el</sub>
- Lebensdauer: 30 Jahre
- Zinssatz für Annuität: 4%
- Effizienz: 50%
- Stromkosten:
  - 0 ct/kWh
  - 3.5 ct/kWh
  - 7 ct/kWh
- Betriebskosten excl. Strom: 2 ct/kWh<sub>el</sub>
- Vergleich mit
  - Gaspreis EEX ≈ 18 EUR/MWh
  - Biogas ≈ 60 EUR/MWh
  - Marktpreis Gas + 85 EUR/MWh

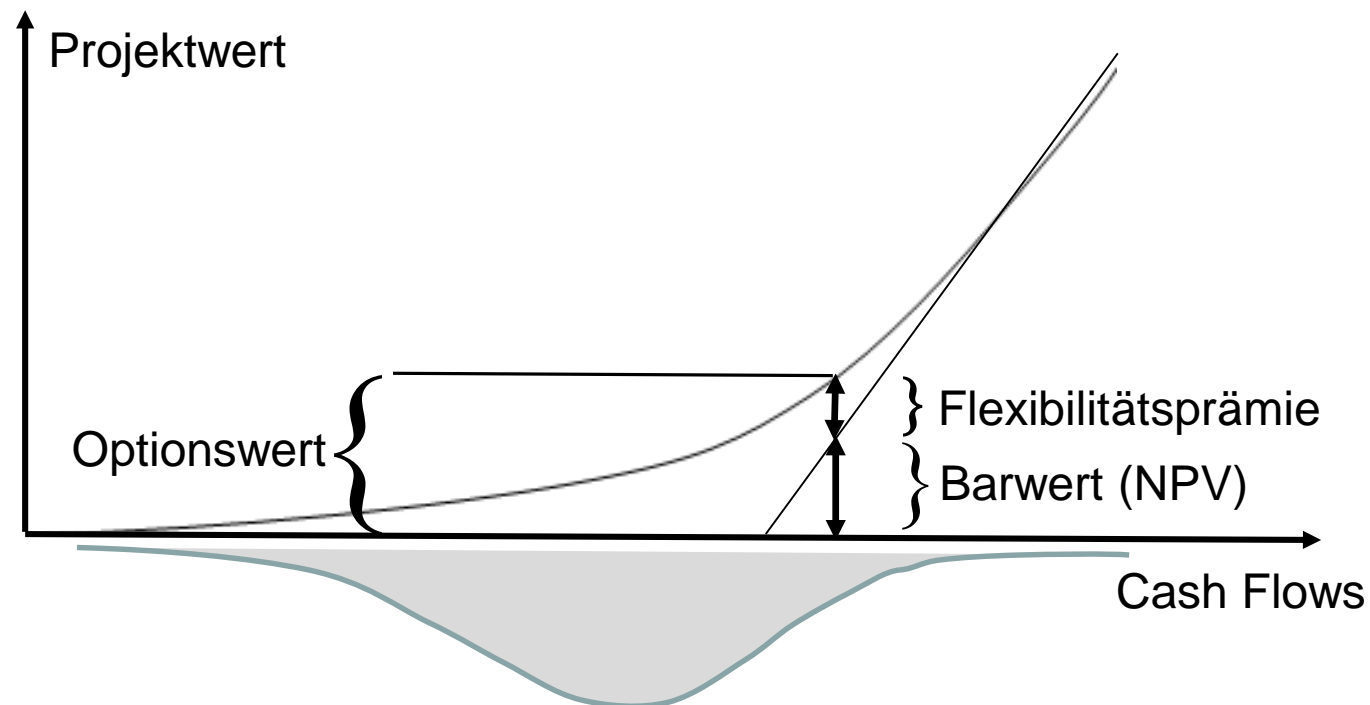


# Erste Erkenntnisse

- Herstellungskosten von SNG hängen wesentlich ab von
  - Betriebsdauer p.a.
  - Strompreis
- Anlage sollte möglichst lange laufen, Strom sollte möglichst nichts kosten
- Nutzung von fluktuierenden erneuerbaren Energien oder "Überschussstrom" wirtschaftlich sinnvoll?
- Geschäftsmodelle für Strom aus erneuerbaren Energien, dessen variable Kosten ggf. über Marktpreisen liegen (Wasserkraft, KVA, ...)?
  
- Zahlreiche Parameter unsicher (Energiepreise, Wechselkurse, ...)
- Investitionskosten sinken mit zunehmender Verbreitung P2G-Anlagen
- Erweiterung des Geschäftsmodells, z.B.
  - Anbieten Regelenergie
  - Teilnahme Stromhandel

# Realoptionsanalyse

- Ansatz zur Bewertung von Investitionsprojekten unter Unsicherheit
- Insbesondere verbreitet zur Bewertung von Investitionen in erneuerbare Energien
- Berücksichtigt die Option, das Projekt später zu beginnen (abzubrechen etc.)
- Führt zu grösseren Projektwerten als klassische Barwertanalyse



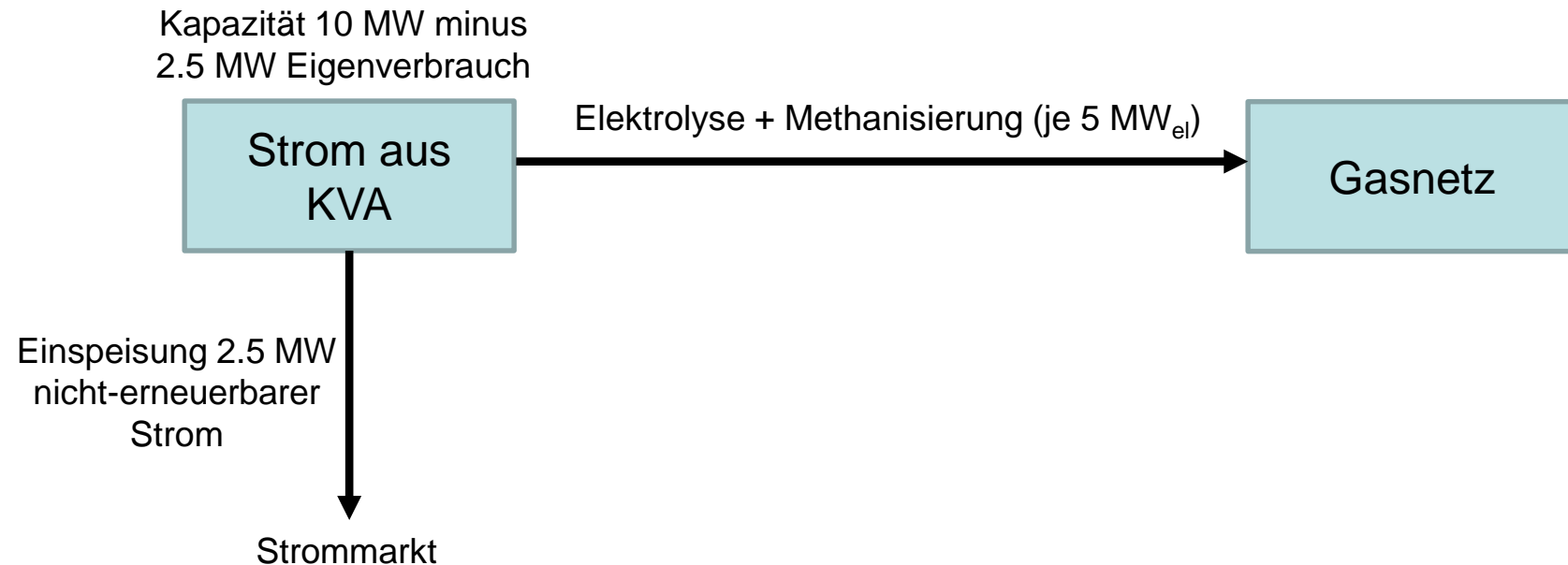
# Relevante Daten

- Laufzeit Option: 10 Jahre = Zeitraum, in dem Projekt begonnen werden kann (erste Ausübung in 1 Jahr)
- Lebenszeit Anlage: 30 Jahre
- Verkauf des erneuerbaren SNG an Fahrzeughersteller zum Marktpreis für fossiles Gas plus Prämie
- Heutige Preise:
  - Strom (Swissix): 37.15 EUR/MWh
  - Gas: 18 EUR/MWh
  - Wechselkurs EUR/CHF: 1.17
- Eigenproduktion Strom mit KVA zu Gestehungskosten 3.5 Rp/kWh bzw. 7 Rp/kWh
- Operative Kosten excl. Strom: 2 Rp/kWh
- Heutige Investitionskosten wie vorher ("konservativ") sowie Hälfte davon ("optimistisch")
- Kosten für Elektrolyseur sinkt in 10 Jahren auf 70% des ursprünglichen Werts (vgl. Schoots et al., 2008, für angenommene Verdreifachung der installierten Kapazität)
- Ergebnisse nur dargestellt für Diskontierungssatz 4%



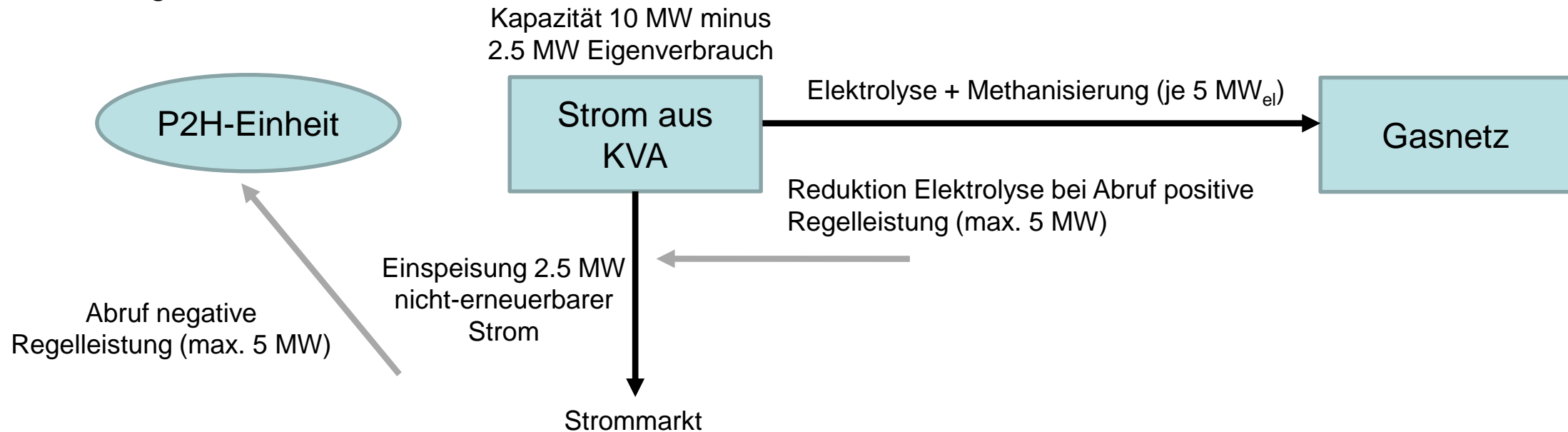
# Fall 1: Erneuerbarer Strom aus KVA, SNG-Produktion

- Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) als stetiger Stromlieferant, 50% der Produktion gilt als erneuerbar
- Annahme: Leistung 10 MW, davon 2.5 MW Eigenverbrauch
- SNG-Produktion aus 5 MW erneuerbarer Anteil, Verkauf restlichen Stroms als Bandenergie am Markt
- Stromgestehungskosten: 7 Rp/kWh (VSE-Studie) vs. 3.5 Rp/kWh (optimistisch)
- Konfiguration:



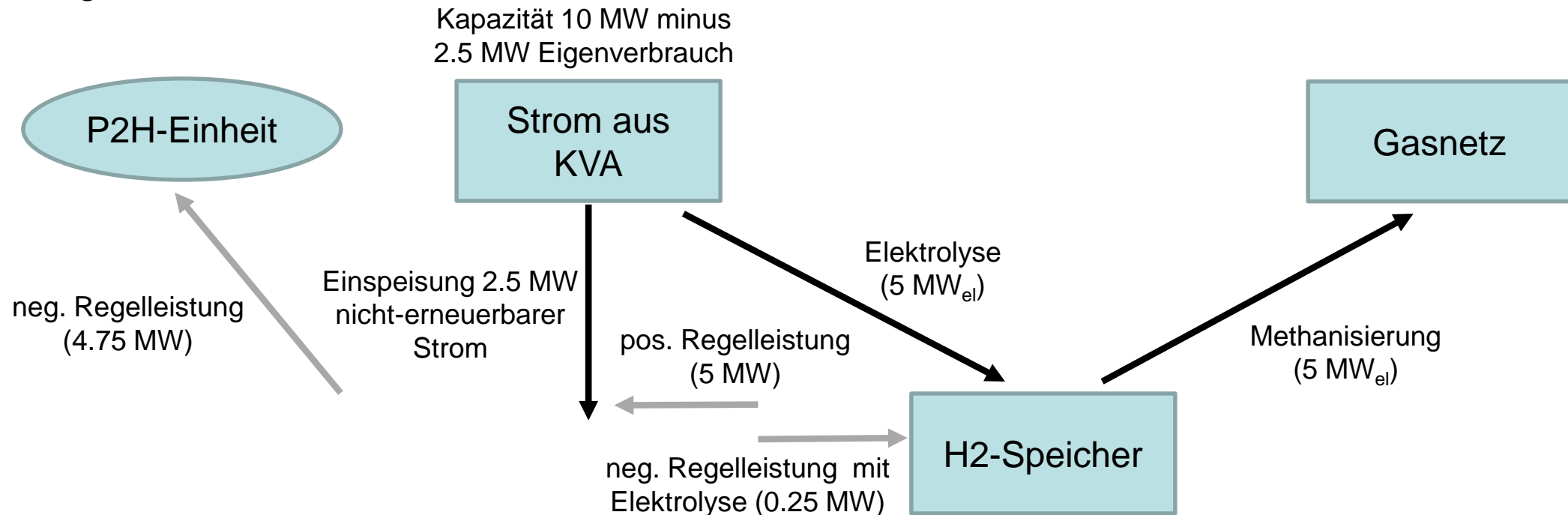
## Fall 2: SNG-Produktion plus Sekundärregelleistung

- KVA als stetiger Stromlieferant mit Leistung 10 MW, davon 2.5 MW Eigenverbrauch
- SNG-Produktion aus 5 MW erneuerbarer Anteil, Verkauf restlichen Stroms als Bandenergie am Markt
- Anbieten von SRL (symmetrisch): bei Abruf positiver Regelenergie Reduktion Elektrolyse, negative Regelenergie durch Verbrauch mit P2H-Einheit (5 MW)
- Konfiguration:



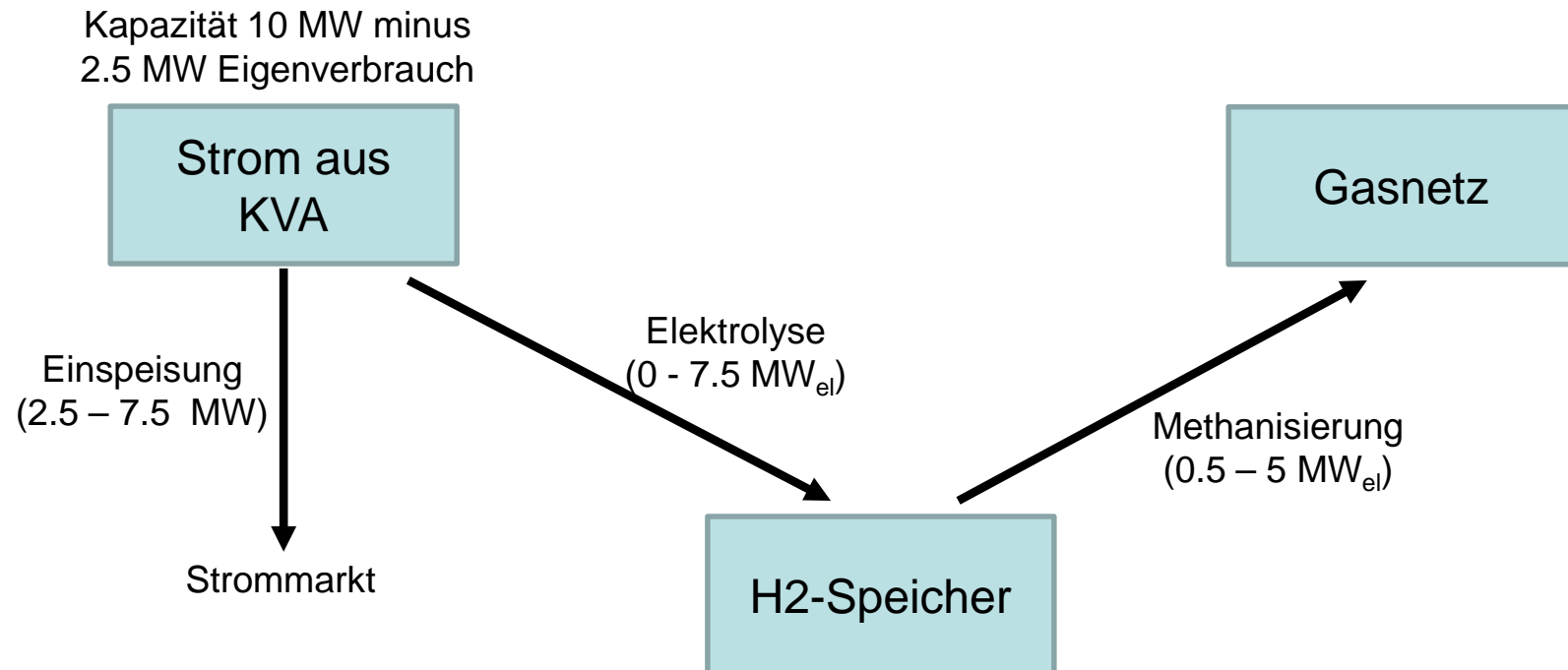
# Fall 3: SNG-Produktion plus Sekundärregelleistung mit H2-Speicher

- KVA als stetiger Stromlieferant mit Leistung 10 MW, davon 2.5 MW Eigenverbrauch
- SNG-Produktion aus 5 MW erneuerbarer Anteil, Verkauf restlichen Stroms als Bandenergie am Markt
- Anbieten von SRL (symmetrisch): bei Abruf positiver Regelenergie Reduktion Elektrolyse, negative Regelenergie durch Verbrauch Elektrolyseur (insges. 5.25 MW) u. P2H-Einheit (4.75 MW)
- Konfiguration:

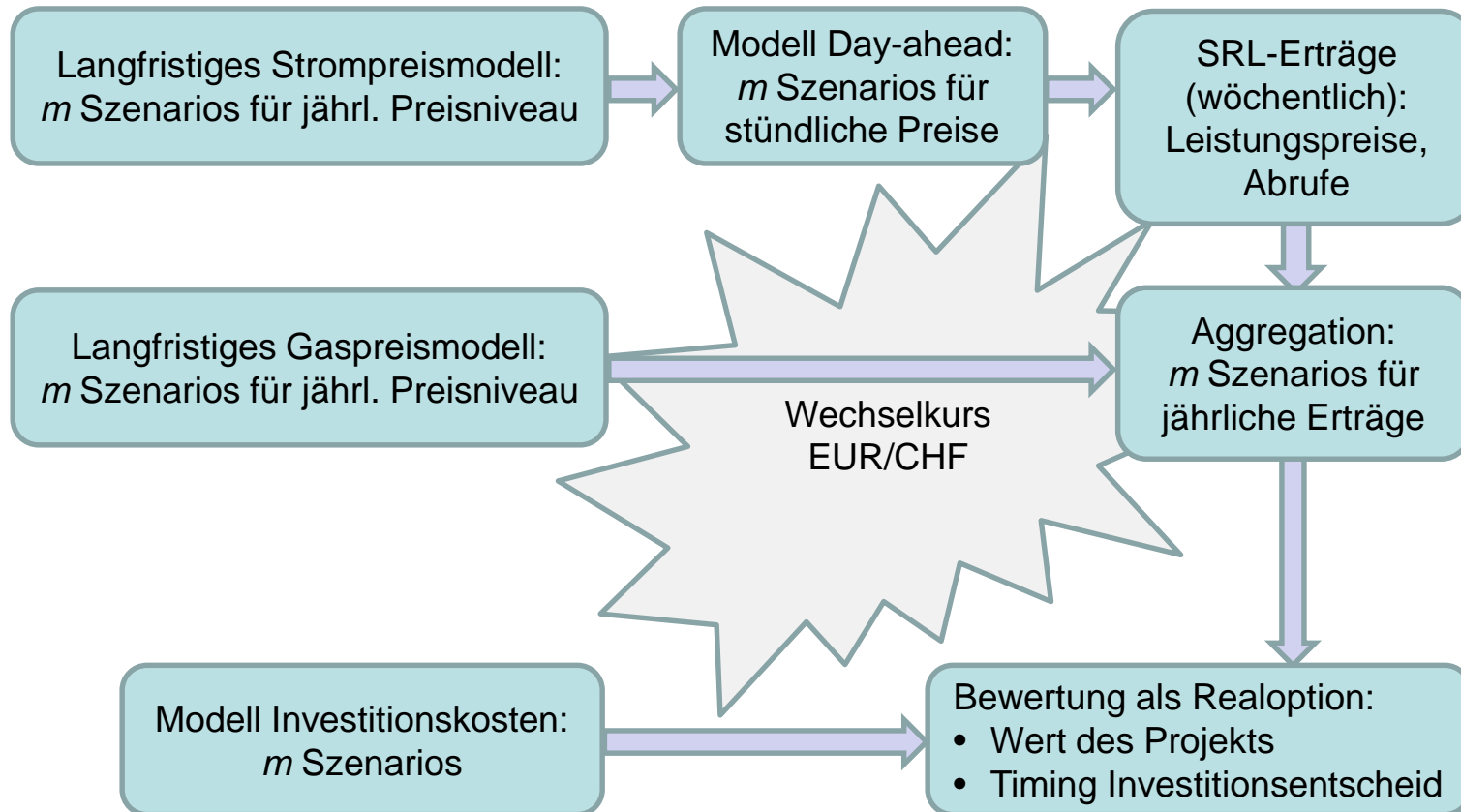


# Fall 4: SNG-Produktion, Stromverkauf bei hohen Marktpreisen

- KVA als stetiger Stromlieferant mit Leistung 10 MW, davon 2.5 MW Eigenverbrauch
- SNG-Produktion aus 5 MW erneuerbarer Anteil, sofern Preise am Strommarkt ausreichend tief
- Bei hohen Marktpreisen wird Strom am Markt verkauft (zu Swissix-Preisen)
- H2-Speicher stellt sicher, dass Methanisierung mit mind. 10% der Kapazität laufen kann
- Konfiguration:

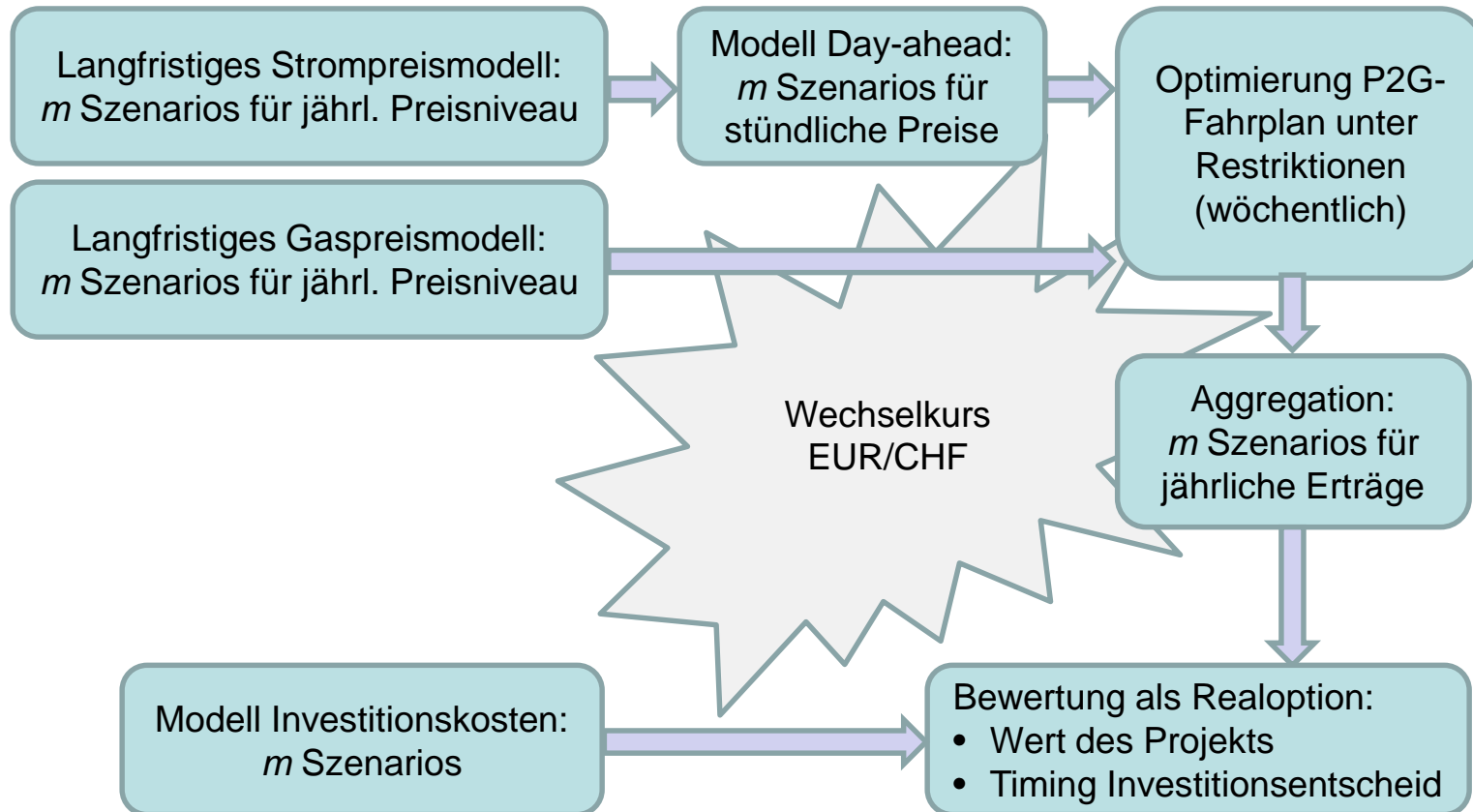


# Modellkomponenten (mit SRL)



- Langfristige Strom u. Gaspreise folgen GBM, Parameter geschätzt aus Preisen synthetischer Jahres-Futures (Korrelation  $\approx 0.6$ )
- dto. für EUR/CHF-Kurs (unkorreliert mit Energiepreisen)
- Regime-switching Modell für stündliche Spotpreise für Preis-Spikes
- SRL-Arbeitspreise abhängig von Spotpreisen
- Annahme für Leistungspreis: Betreiber bietet/erhält mittleren Preis der Ausschreibung und wird immer gezogen
- (Log-) Preis erklärt durch saisonale Schwankung (Speicherstände) und wöchentliche Quartile Swissix-Preise
- Abgerufene Kapazität beta-verteilt

# Modellkomponenten (mit Stromhandel)



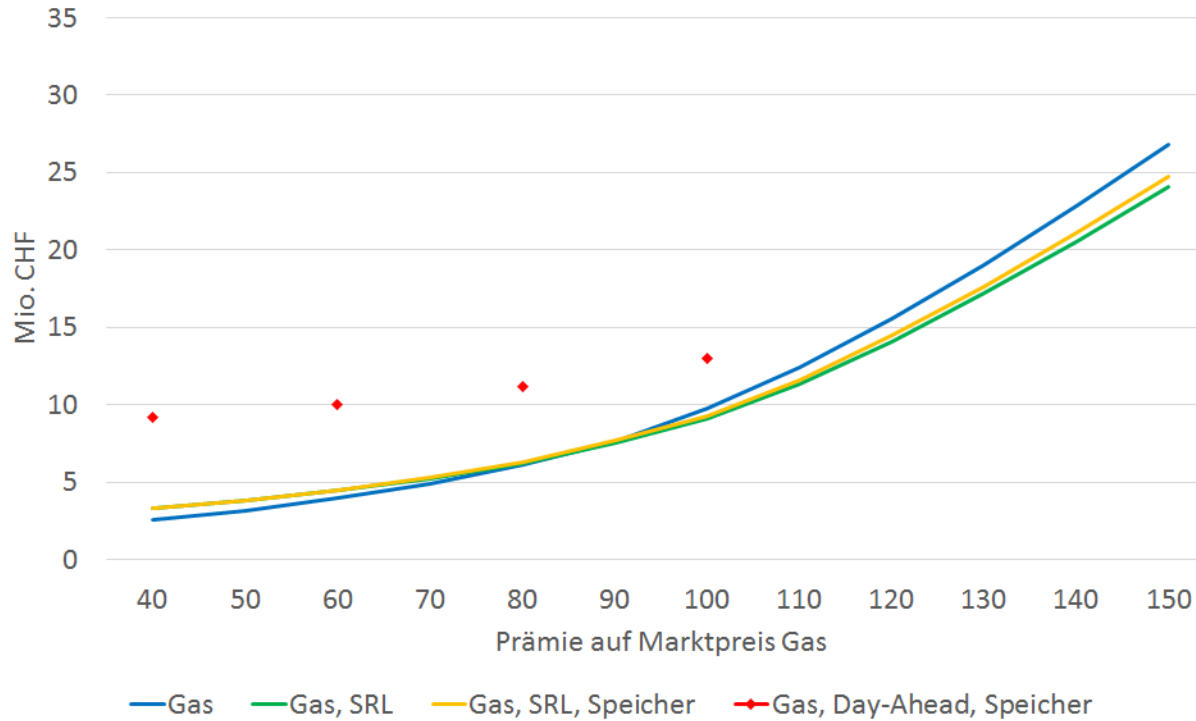
- Bestimmung des P2G-Fahrplans mit stochastischer dynamischer Optimierung ("Inventory-Problem")
- Berücksichtigung von Restriktionen (Kapazität H2-Speicher, Methanisierung läuft mit mind. 10%)
- Lösung mit Regress-later Monte Carlo

Für alle Varianten:

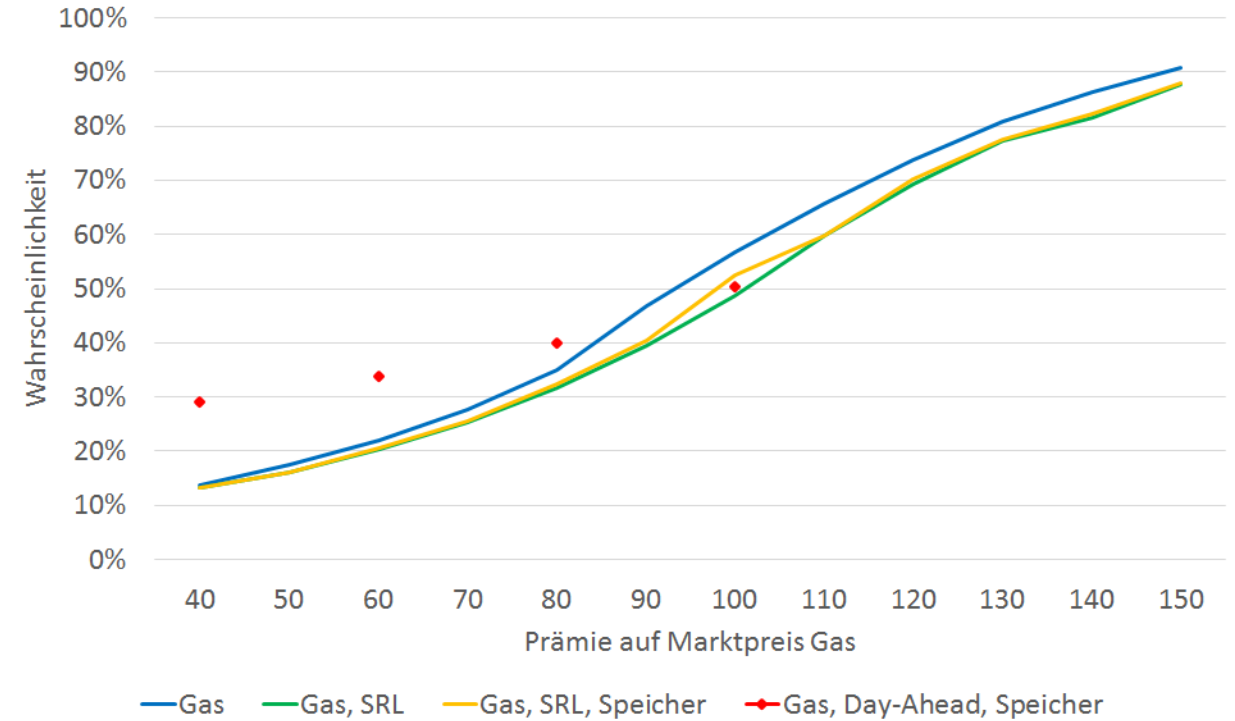
- Aggregation zu jährlichen Erträgen
- Jährlich Entscheidung, ob Investition realisiert wird
- Numerische Lösung Optionsproblem (vgl. Bakke et al., 2016)

# Fall "konservativ", Gestehungskosten Strom 35 EUR/MWh

Realloptionswert

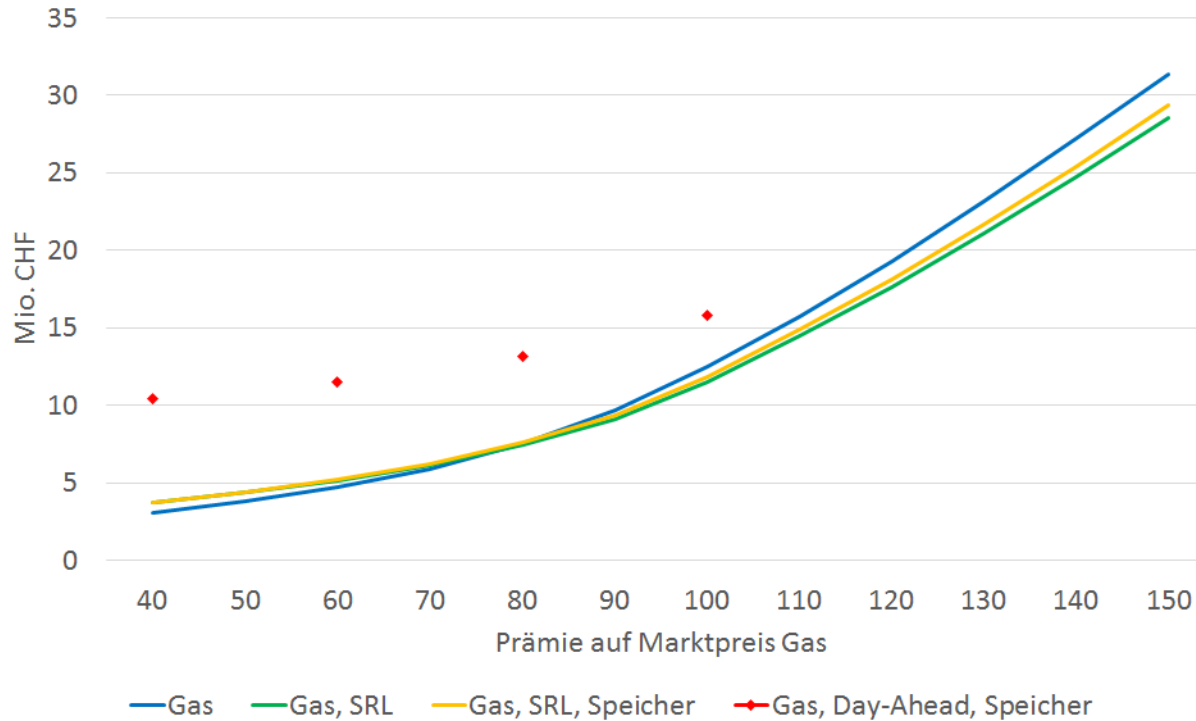


Wahrscheinlichkeit der Ausübung

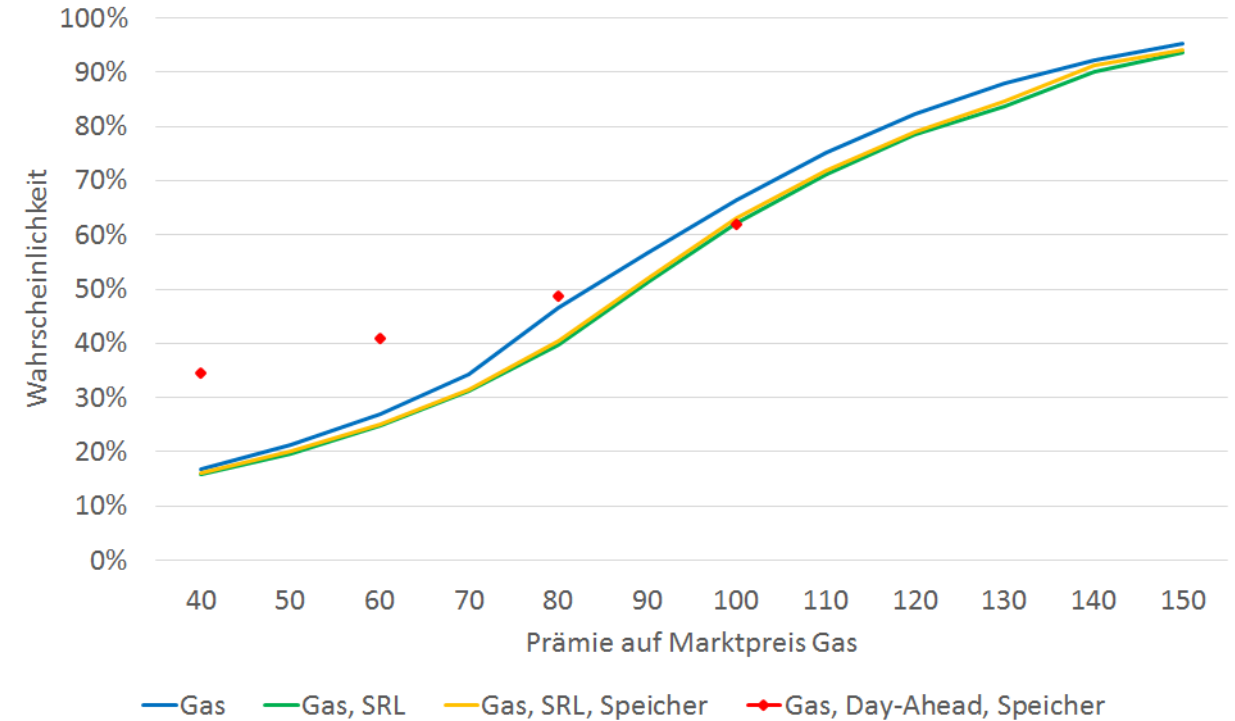


# Fall "optimistisch", Gestehungskosten Strom 35 EUR/MWh

Realloptionswert



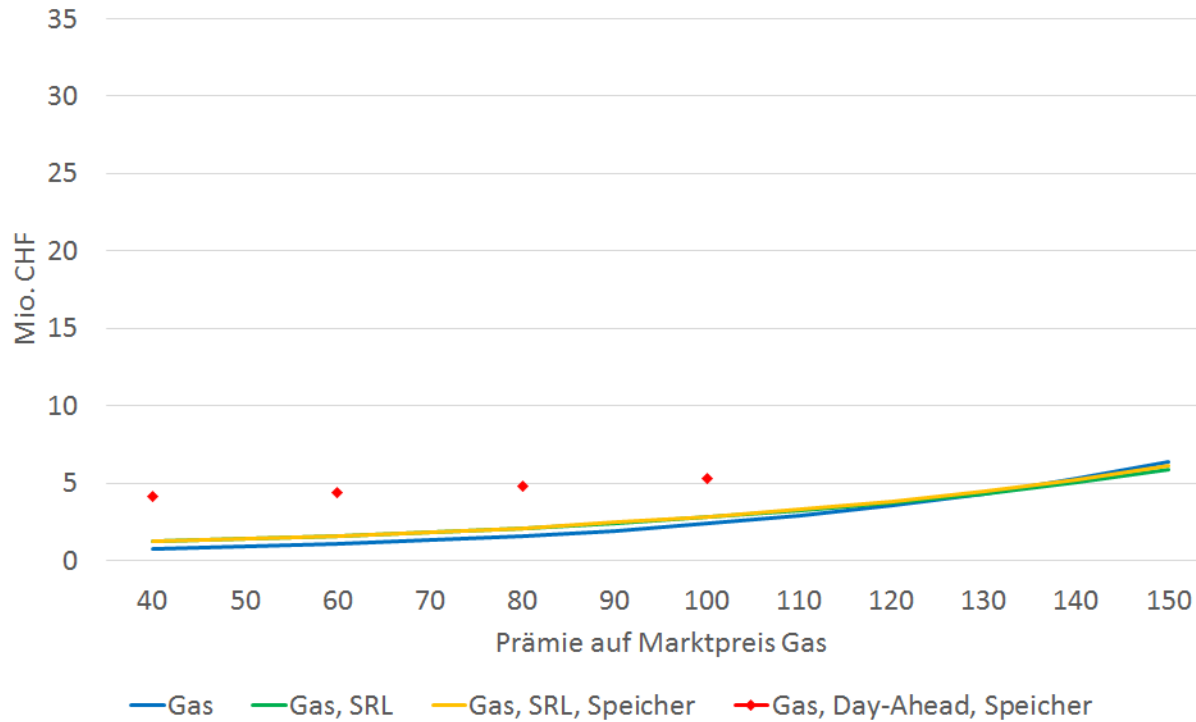
Wahrscheinlichkeit der Ausübung



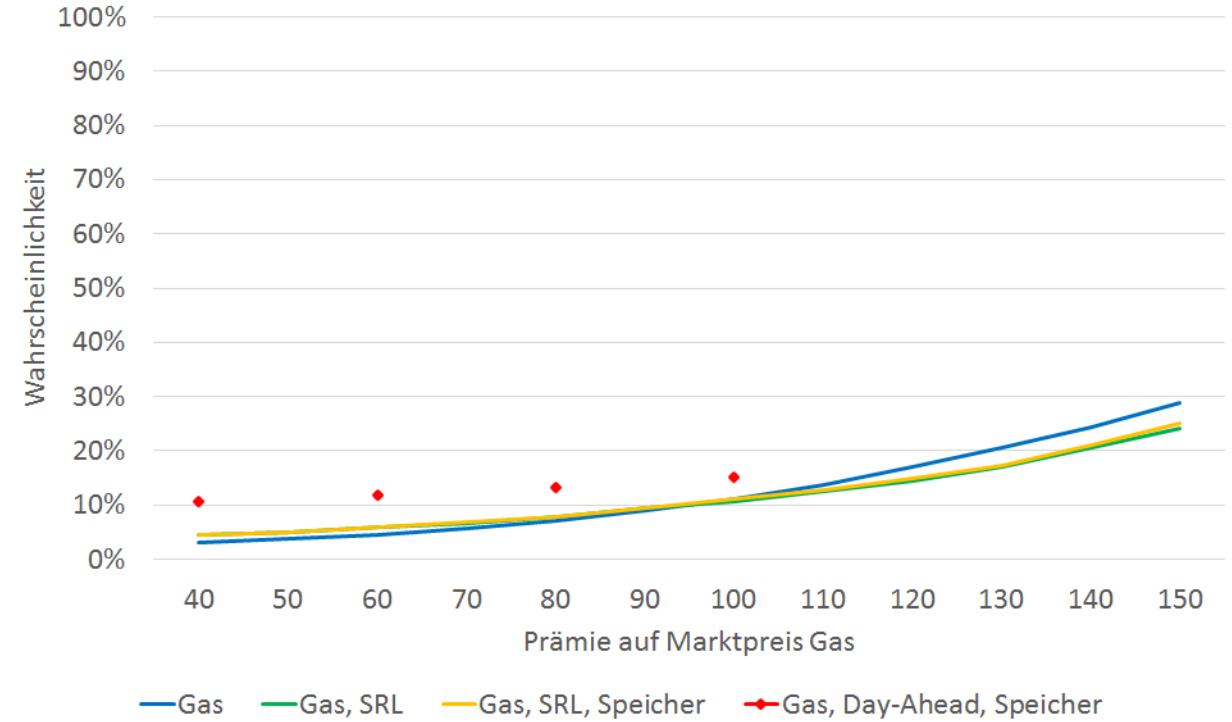


# Fall "konservativ", Gestehungskosten Strom 70 EUR/MWh

Realloptionswert

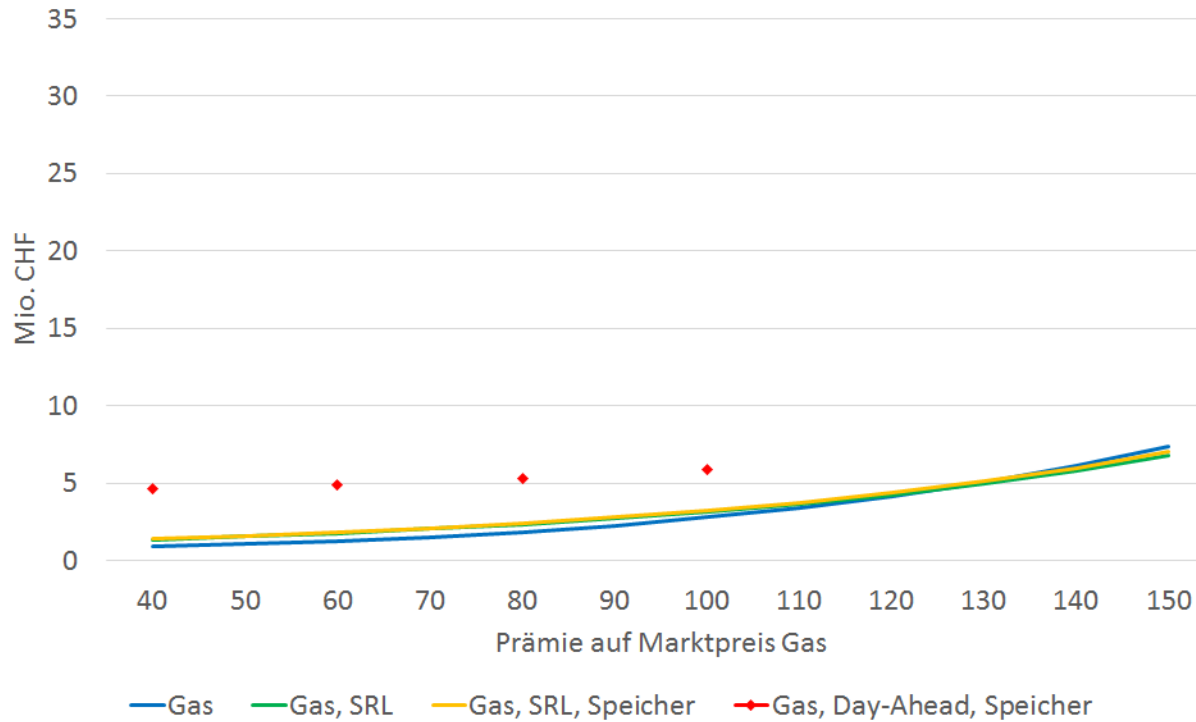


Wahrscheinlichkeit der Ausübung

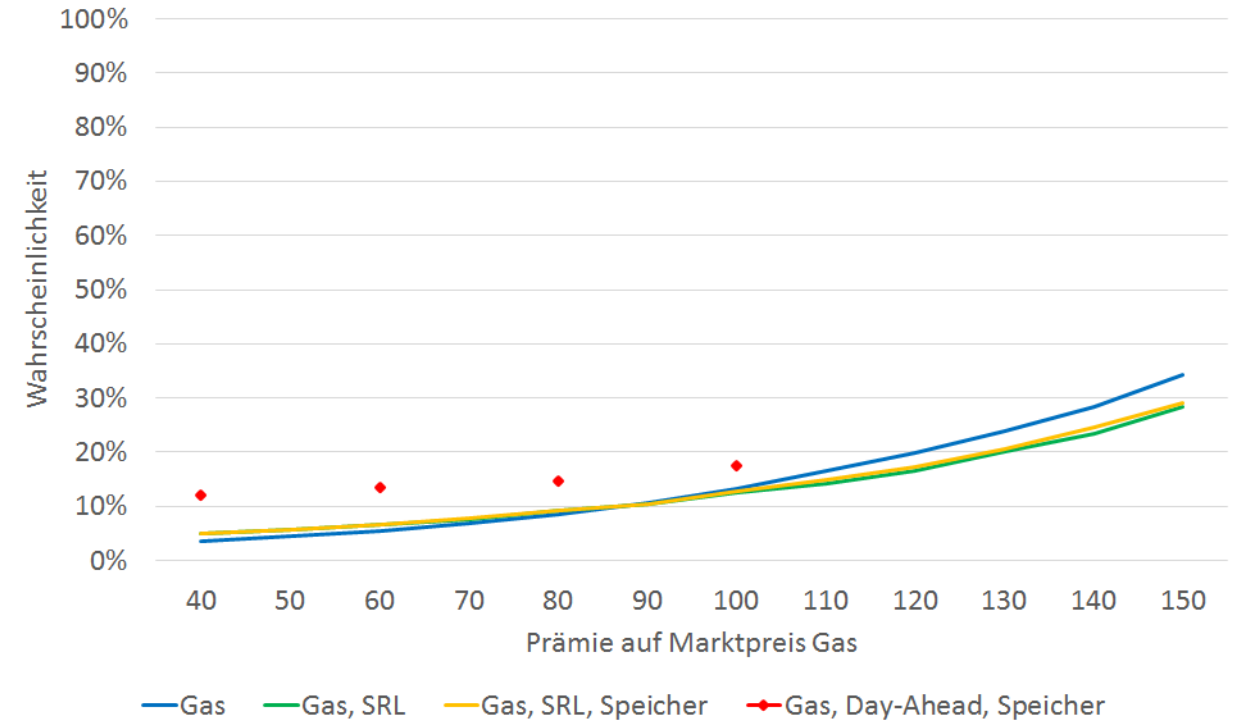


# Fall "optimistisch", Gestehungskosten Strom 70 EUR/MWh

Realloptionswert



Wahrscheinlichkeit der Ausübung



# Zusammenfassung

- Neue CO2-Gesetzgebung mit Anrechenbarkeit von erneuerbarem Kraftstoffen auf Sanktionen setzt Anreize zur Produktion von SNG
- Sanktionseinsparungen liessen "gute" Preise für erneuerbares SNG erwarten
- Wirtschaftlichkeit von Investitionen in P2G auf Sicht von 10 Jahren nur bei (noch) höheren SNG-Erlösen wahrscheinlich
- Kritisch sind Anzahl Betriebsstunden, Gestehungskosten Strom u. tatsächlich absetzbare Menge SNG
- Erweiterungen des Geschäftsmodells (Anbieten von Regelenergie, v.a. Stromhandel) verbessern die Profitabilität insbesondere bei niedrigen SNG-Erlösen
- Teilnahme am Intraday-Handel könnte weiteres Ertragspotential bieten (hohe Preisschwankungen)

Offene Fragen: "Institutionelle Unsicherheiten" während Lebenszeit der Anlage

- Entwicklung CO2-Gesetzgebung, Fahrzeugmarkt (schärfere Sanktionen vs. Technologiewandel)
- Entwicklung Strommärkte, Investitionskosten etc.
- ...