





Ein vereinfachtes Systemmodell des Energieversorgungssystems Deutschlands

zur Bewertung von chemischen Speichern und Sektorkopplungstechnologien



<u>Dipl.-Ing. K. Boblenz</u>, V. Frank (MSc.), Dr. rer. nat. F. Baitalow, Prof. Dr.-Ing. B. Meyer Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC)
TU Bergakademie Freiberg (TUBAF)

15. Symposium Energieinnovation

Graz, 16. Februar 2018



Motivation – Herausforderungen der Energiewende





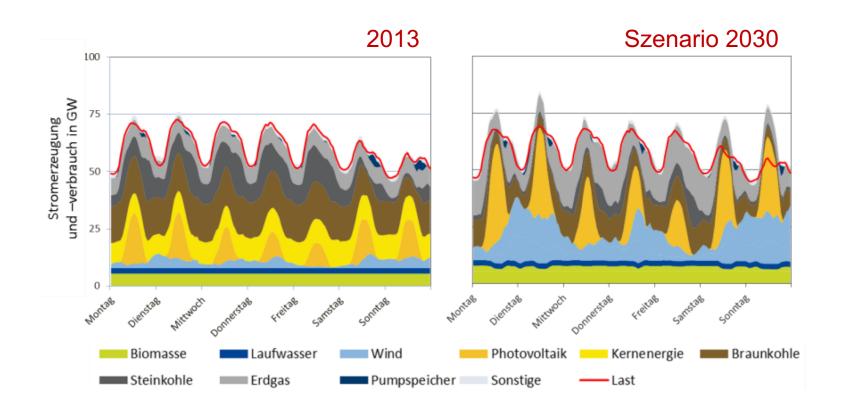


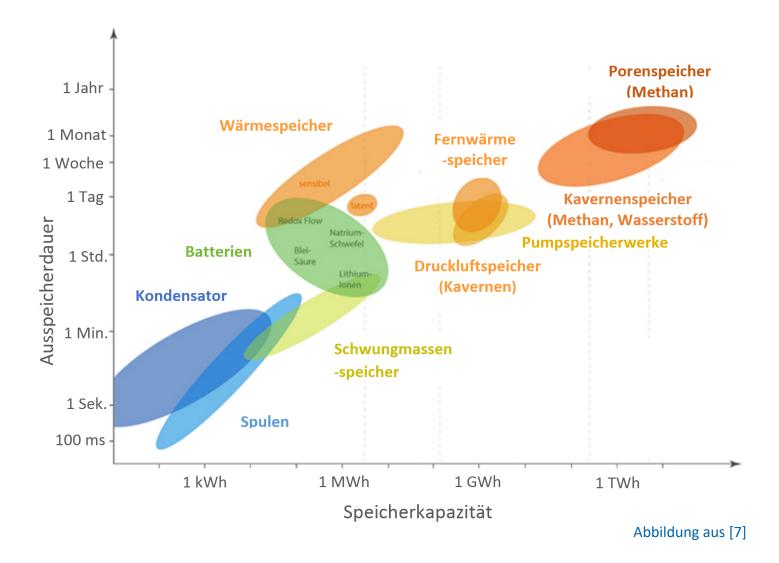
Abbildung nach [3], geändert



Motivation – Herausforderungen der Energiewende





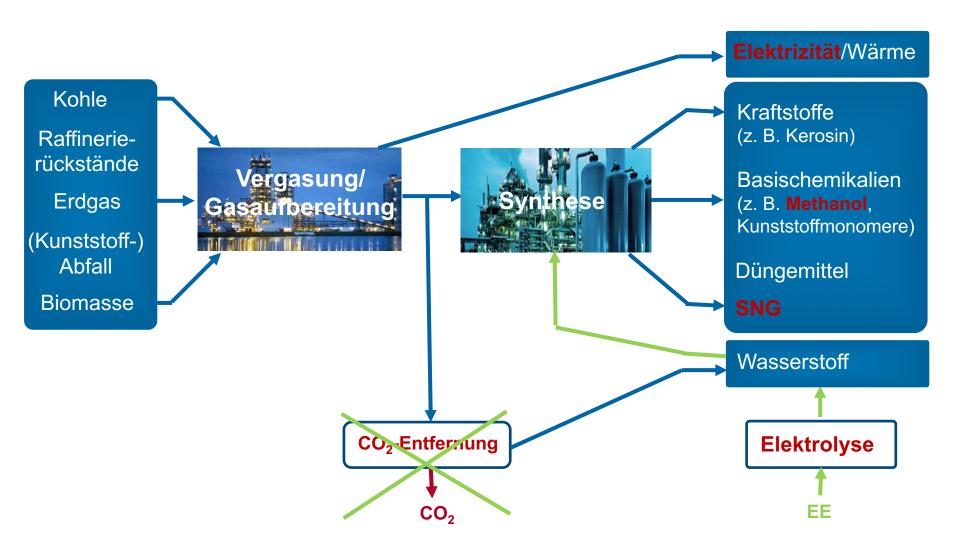




Polygeneration-Kraftwerke mit Stromspeicherung





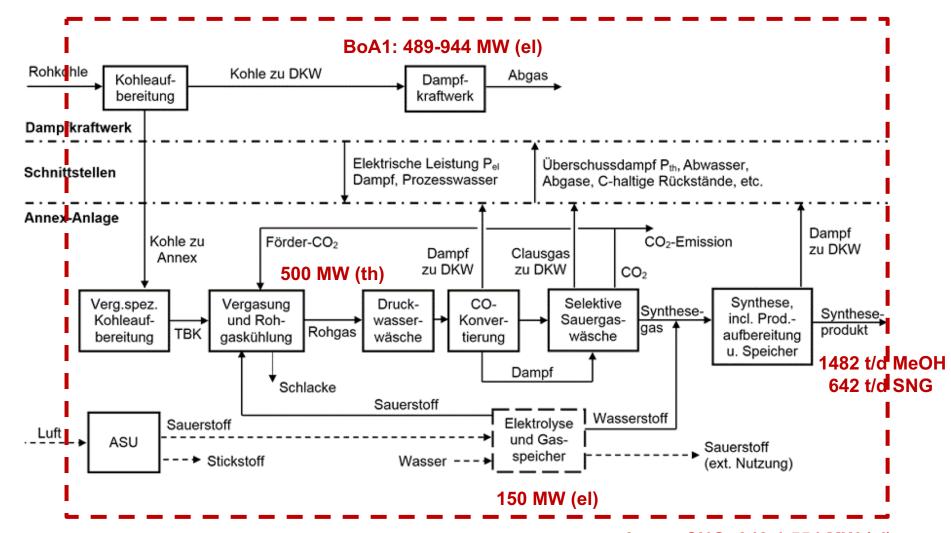




Polygeneration-Annex-Konzept





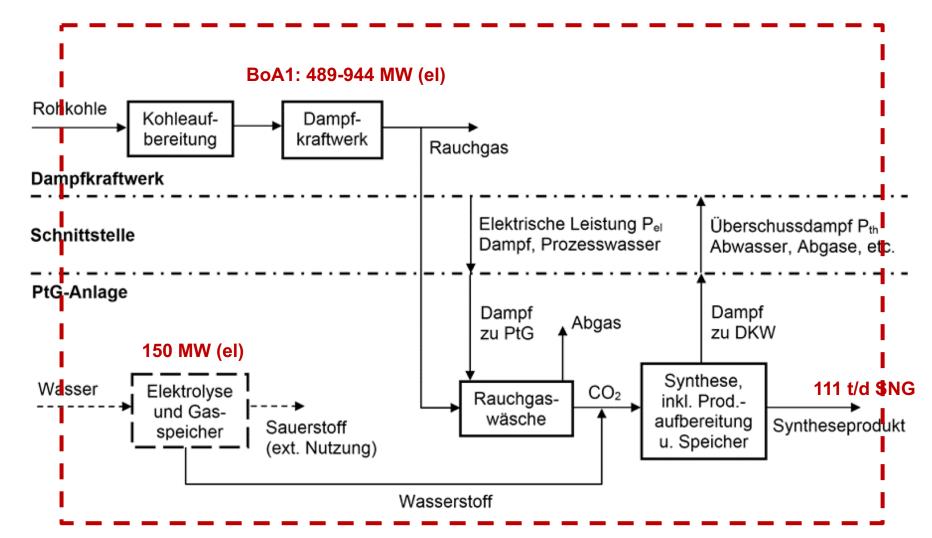


Annex-SNG: 342-1.554 MW (el)

Annex-MeOH: 324-1.545 MW (el)







PtG-SNG: 340-1.545 MW (el)

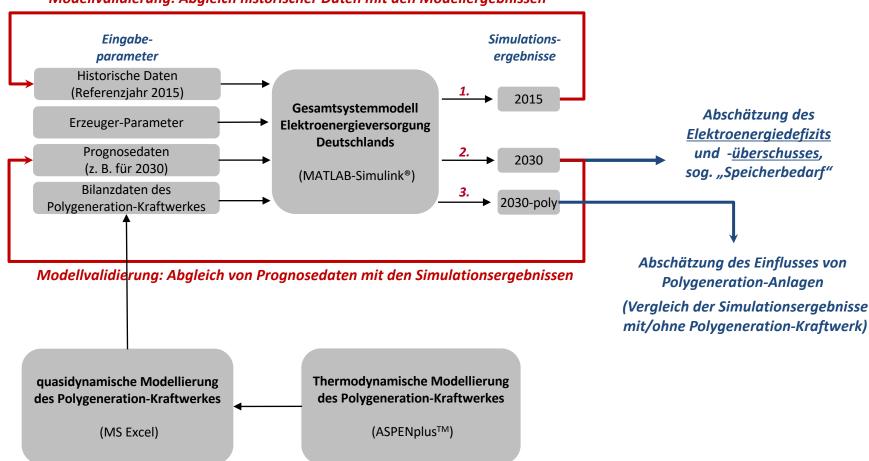


Erstellung und Anwendung des Systemmodells





Modellvalidierung: Abgleich historischer Daten mit den Modellergebnissen





Konzeption des Systemmodells





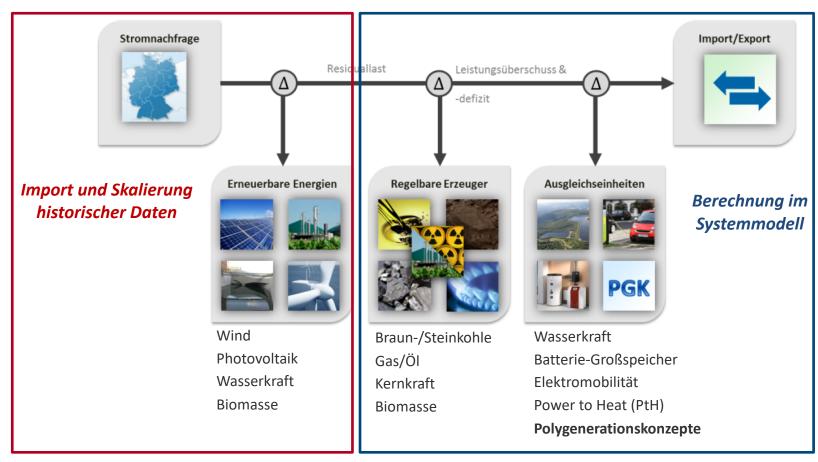


Abbildung nach [3], geändert



Betrachtete Szenarien und Datenbasis





| | Referenzjahr 2015 | Szenario 2030 | Szenario 2030-Poly | |
|-----------------------|-----------------------------------|--|--|--|
| Stromverbrauch | Daten von ENTSO-E | Skalierung der Daten von 2015 | | |
| Erneuerbare Energien | Daten von ENTSO-E | Skalierung der Daten von 2015 | | |
| Kernenergie, Sonstige | Daten von Agora | Skalierung der Daten von 2015 | | |
| Regelbare Erzeuger | Braunkohle, Steinkohle, Erdgas | Biomasse, Braunkohl | e, Steinkohle, Erdgas | |
| Ausgleichseinheiten | Pumpspeicher | | | |
| | | Batteriespeicher, Elektromobilität, Powert-to-Heat | | |
| | | | PolygenerationkonzepteKlass. PolygenerationPolygeneration-AnnexPower-to-Gas | |
| Chemischer Speicher | | | SNG (Gasnetz), Methanol | |
| | | Im- und Export | | |
| | | | | |

Abbildung nach [3], geändert







1. Grenzkostenabhängige Merit Order

- Brennstoffkosten, CO₂-Pönale
- Blockscharfe Betrachtung durch integrierte Kraftwerksliste
- Berücksichtigung von An- und Abfahrkosten

2. Charakterisierung der Stromerzeuger:

- hist. Erzeugungsdaten (Erneuerbare)
- Beanspruchbarkeiten
- installierte Nettoleistung
- Mindestleistung
- relativer Leistungsgradient

3. Charakterisierung der Ausgleichseinheiten:

- Pumpspeicher (Speicherkapazität, installierte Nettoleistung,)
- Power to Heat (installierte Nettoleistung gemäß Potenzialabschätzung)
- Elektromobilität (Fahrzeuganzahl, Verfügbarkeit, Ladeleistung pro Fahrzeug)
- Polygeneration-Konzepte (Korrelationen aus quasikontinuierlicher Bilanzierung)



Quasikontinuierliche Bilanzierung der Polygeneration-Konzepte





Bilanzierung einzelner Anlagenteile in Abhängigkeit vom Netzzustand

| Netzzustand: | "Leistungsüberschuss" | | "Leistungsdefizit" |
|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Betriebsmodus: | "Speicherbetrieb" | "Normalbetrieb" | "Rückverstromung" |
| P _{el, Dampfkraftwerk} | P _{min} -P _{max} | P_{max} | P _{max} |
| P _{ch, Speichermedium} | konst. | konst. | konst. |
| P _{el, Eigenbedarf} | konst. | konst. | konst. |
| P _{el, Spitzenlast} | 0 | 0 | P _{min} -P _{max} |
| P _{el, LZA (<0)} | (P _{max}) | $(P_{max}-P_{min})$ | (P _{min}) |
| Pol Floktrolyso (<0) | P _{max} -P _{min} | 0 | 0 |

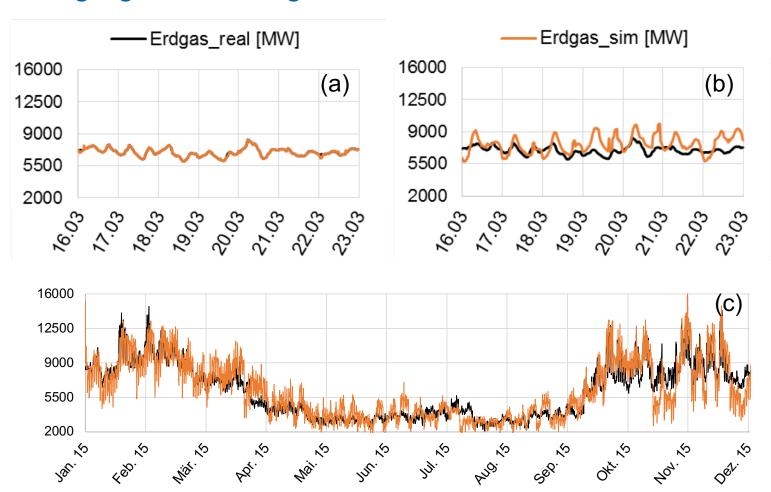


Ausgewählte Validierungsergebnisse für das Referenzjahr 2015





Erzeugungskurven - Erdgas



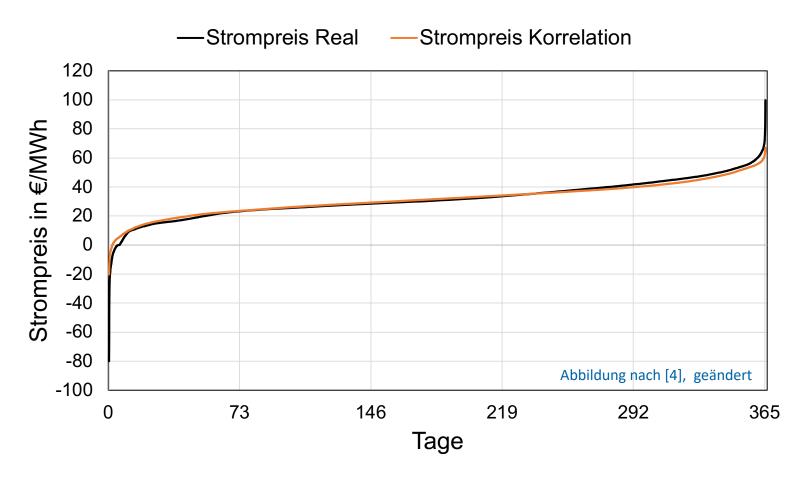


Ausgewählte Validierungsergebnisse für das Referenzjahr 2015





Strompreiskorrelation in Abhängigkeit von der Residuallast:



$$K_{Strom} = a \cdot (P_{res})^3 + b \cdot (P_{res})^2 + c \cdot P_{res} + d$$

a = 0,0004247967, b = -0,0517134638, c = 2,980702627, d = -30,48109242

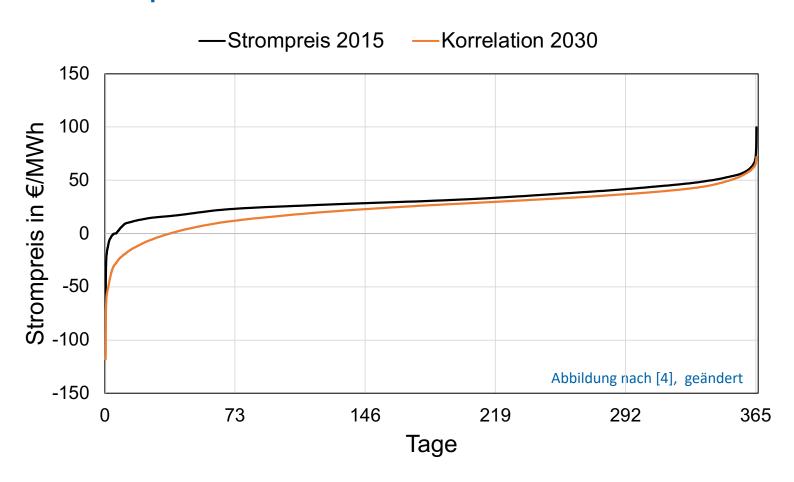


Simulationsergebnisse – Szenario 2030





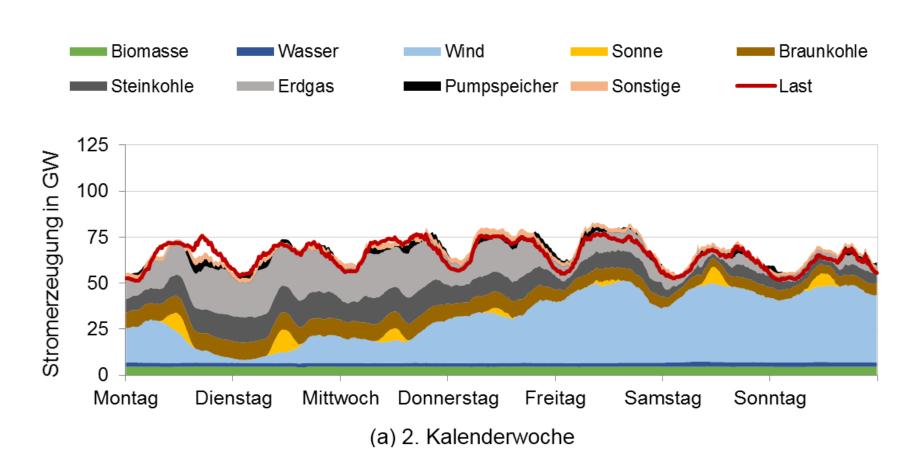
Börsenstrompreis







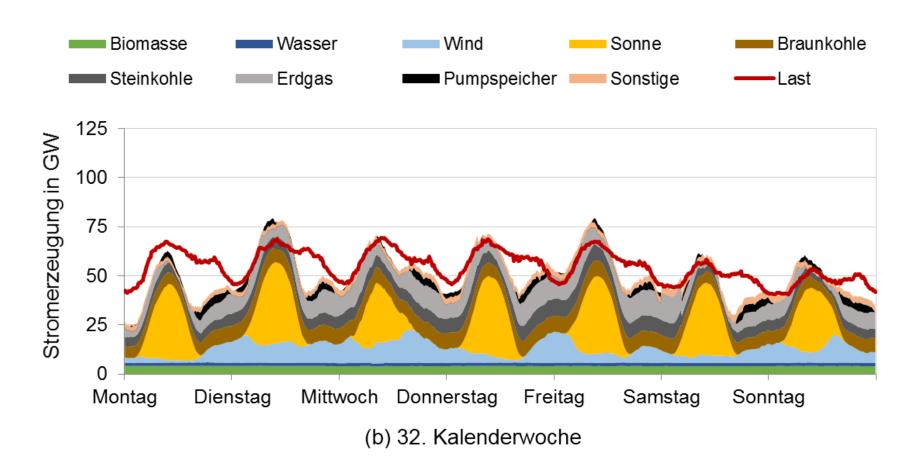
Stromerzeugung in einigen beispielhaften Wochen







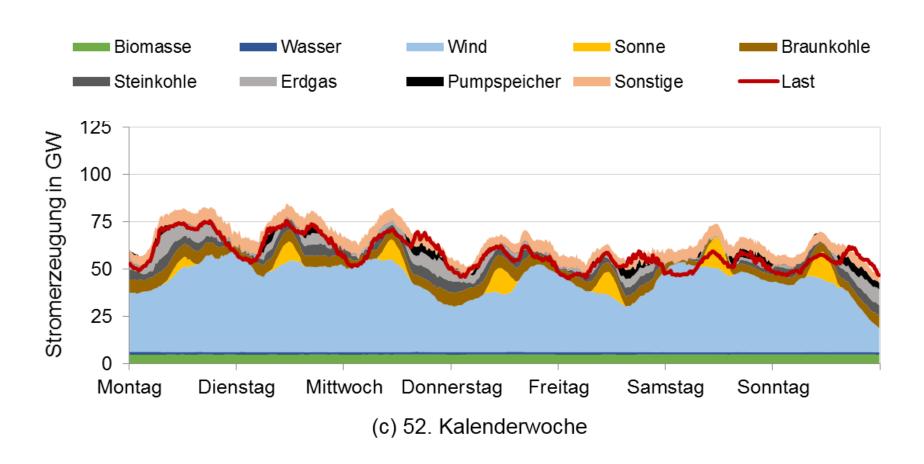
Stromerzeugung in einigen beispielhaften Wochen







Stromerzeugung in einigen beispielhaften Wochen

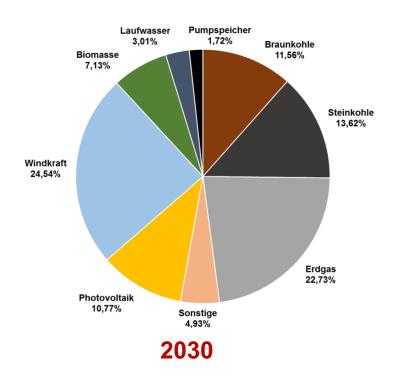


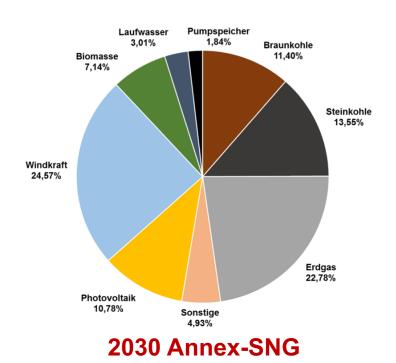


Simulationsergebnisse - Polygeneration-Konzept Annex-SNG









- Speicherung von 0,07 TWh erneuerbarer Energie über Wasserelektrolyse
- Erzeugung und Einspeicherung von 3,02 TWh SNG
- Gesamtstromerzeugung des Polygeneration-Konzept von 6,14 TWh
- verminderte Erzeugung aus Braun- und Steinkohle: 0,98 bzw. -0,5 TWh
- Stärkung der Pumpspeicher- und Erdgaskraftwerke: +0,68 bzw. +0,09 TWh
- verminderte Im- und Exporte (Netzbelastung): -0,08 bzw. -0,07 TWh







Systemmodell der Elektroenergieversorgung Deutschlands

- Modellerstellung und –validierung erfolgt
- Grenzkostenabhängige Merit Order
- Strompreiskorrelation
- Berechnung von Zukunftszenarien möglich

Polygeneration-Konzepte

- bereits kleine installierte Vergaser- (500 MW) und Elektrolyseleistungen (150 MW) zeigen sichtbaren Einfluss im Gesamtsystem
- Verringerung der Kohleverstromung
- Stärkung der Pumpspeicher- und Gaskraftwerke

Ausblick

- Bewertung weiterer Polygeneration-Konzepte zur Kraftstoff- und Chemierohstofferzeugung
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen unter systemdynamischen Bedingungen









Vielen Dank & Glück Auf!

Dipl.-Ing. Kristin Boblenz

Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) TU Bergakademie Freiberg

Email: kristin.boblenz@iec.tu-freiberg.de

Tel: 0049 3731 39 4481

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages Die vorliegenden Erkenntnisse wurden im Rahmen der BMWi-geförderten (Förderkennzeichen Verbundvorhaben ..HotVeGasII" 0327773G), "HotVeGasIII" (Förderkennzeichen 0327773J) und einem Landesinnovationspromotionsstipendium des Landes Sachsen ermittelt. Die Autoren danken dem BMWi und den beteiligten Unternehmen sowie dem Land Sachsen und dem ESF für die finanzielle Unterstützung.









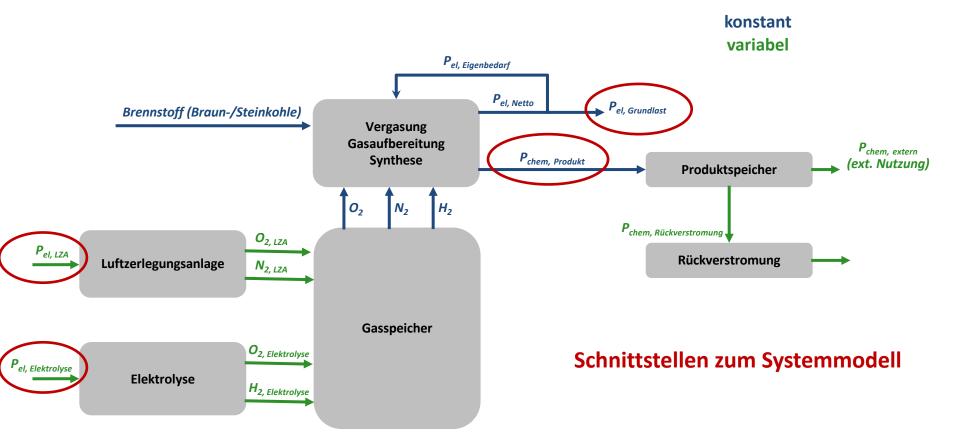
- [1] Boblenz K., Wolfersdorf C., Uebel K., Günther K., Reinmöller M., Guhl S. (2016). Abschlussbericht Verbundvorhaben HotVeGas II (Förderkennzeichen: 0327773G) Grundlegende Untersuchungen zur Entwicklung zukünftiger Hochtemperaturvergasungs- und -gasaufbereitungs-prozesse für dynamische Stromerzeugungs- und -speichertechnologien. TU Bergakademie Freiberg
- [2] BNetzA Bundesnetzagentur (2017). Netzentwicklungsplan Strom 2030, Version 2017, 1. Entwurf
- [3] Mädlow, A. (2015). Bewertung von Polygenerationskonzepten mit Stromspeicherung. Masterarbeit, TU Bergakademie Freiberg
- [4] Frank, V. (2015). Modellierung von Speicheroptionen zur Kopplung verschiedener Energieversorgungsnetze. Masterarbeit, TU Bergakademie Freiberg
- [5] Entso-E (2015). Production, Consumption, Exchange Package. Germany. https://www.entsoe.eu/db-query/country-packages/production-consumption-exchange-package (letzter Zugriff am 08.03.17).
- [6] Agora Energiewende. Agorameter. https://www.agora-energiewende.de/de/themen /-agothem-/Produkt/produkt/76/Agorameter/ (letzter Zugriff am 08.03.17).
- [7] Sterner M., S. I. (2014). Energiespeicher Bedarf, Technologien, Integration. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.



Definition Polygeneration-Kraftwerk





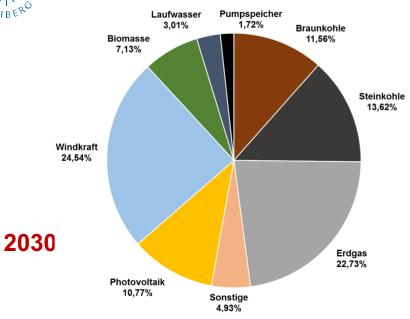


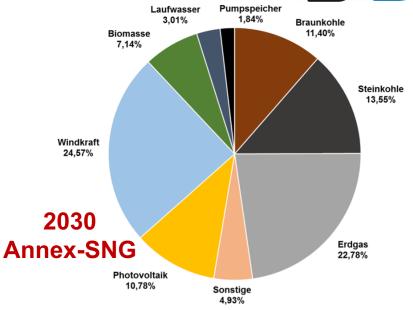


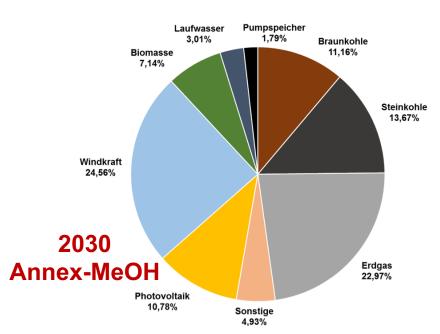
Simulationsergebnisse – Stromerzeugungsmix 2030

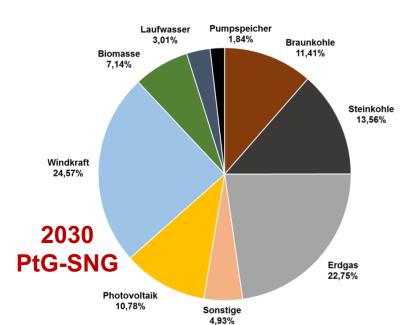














Simulationsergebnisse – 2030 mit Polygenerationkonzepten





| Szenario | 2030 | | 2030-Poly | |
|-------------------------|---------|-----------|------------|---------|
| Konzept | | Annex-SNG | Annex-MeOH | PtG-SNG |
| Stromnachfrage | -531,34 | -531,34 | -531,34 | -531,34 |
| Konventionelle Erzeuger | 289,01 | 281,48 | 283,63 | 281,51 |
| Kernenergie | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Braunkohle | 63,23 | 56,11 | 56,45 | 56,21 |
| Steinkohle | 74,50 | 74,00 | 74,73 | 74,07 |
| Erdgas | 124,34 | 124,43 | 125,51 | 124,29 |
| Sonstige | 26,94 | 26,94 | 26,94 | 26,94 |
| Erneuerbaren Energien | 248,56 | 248,56 | 248,56 | 248,56 |
| Photovoltaik | 58,90 | 58,90 | 58,90 | 58,90 |
| Windkraft | 134,20 | 134,20 | 134,20 | 134,20 |
| Biomasse | 39,00 | 39,00 | 39,00 | 39,00 |
| Wasser | 16,46 | 16,46 | 16,46 | 16,46 |
| Saldo | 6,23 | -1,30 | 0,85 | -1,27 |



Simulationsergebnisse – 2030 mit Polygenerationkonzepten





| Szenario | 2030 | | 2030-Poly | |
|-----------------------|---------|-----------|------------|---------|
| Konzept | | Annex-SNG | Annex-MeOH | PtG-SNG |
| Defizit | -101,24 | -107,97 | -106,06 | -107,91 |
| Pumpspeicher | -9,39 | -10,07 | -9,79 | -10,06 |
| Großspeicherbatterien | -0,07 | -0,06 | -0,06 | -0,06 |
| Polygeneration-Anlage | -0,00 | -6,14 | -4,54 | -6,13 |
| Import | -91,78 | -91,70 | -91,67 | -91,66 |
| Überschuss | 107,47 | 106,67 | 106,91 | 106,64 |
| Pumpspeicher | 10,69 | 11,39 | 11,11 | 11,36 |
| Elektromobilität | 8,21 | 6,73 | 7,24 | 6,73 |
| Großspeicherbatterien | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| Polygeneration-Anlage | | 0,07 | 0,06 | 0,07 |
| Power-to-Heat | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Export | 88,48 | 88,41 | 88,43 | 88,41 |
| Saldo | 6,23 | -1,30 | 0,85 | -1,27 |







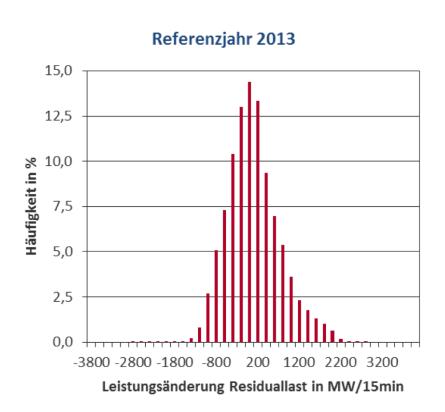
| | Stromerzeugung | SNG-/ MeOH-Produktion | | Erdgasbezug | |
|------------|----------------|-----------------------|-------------------|-------------|-------------------|
| | TWh | TWh | 10 ³ t | TWh | 10 ³ t |
| Annex-SNG | 6,14 | 3,02 | 234,29 | 3,00 | 232,34 |
| Annex-MeOH | 4,54 | 3,00 | 542,71 | | |
| PtG-SNG | 6,13 | 0,54 | 41,87 | 3,00 | 232,34 |

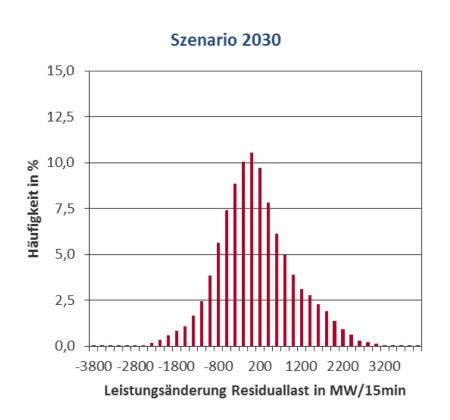
| | Häufigkeit in St | tunden pro Jahr | Maximal auftretender | |
|-----------|---------------------------|------------------------|--|--|
| | Einspeisung nicht möglich | Entnahme nicht möglich | Normvolumenstrom in 10 ³ m ³ /h | |
| Annex-SNG | 2 | 9 | 1108 | |
| PtG-SNG | 1/4 | 0 | 1093 | |





Veränderung der Residuallast







Laboratory & Large-Scale Test Facilities at IEC







COORVED



PYMEC I&II





TOM-AC



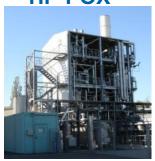
KIVAN



Syngas-to-Fuel



HP-POX®





TUBAF Patente, Veröffentlichungen, Workshops & Konferenzen im Bereich Kohlenstoffkreislaufwirtschaft





Patente

DE 10 2007 006 981 84 2009.01.29 "Verfahren, Vergasungsreaktor und Anlage zur Flugstromvergasung fester Brennstoffe unter Druck"

Deutsche Patentanmeldung Nr. 10 2016 210 350.4 "Vergasungsreaktor zur Erzeugung von Synthesegasen aus festen Vergasungsstoffen mit Hilfe sauerstoffhaltiger Vergasungsmittel"

Deutsche Patentanmeldung Nr. 10 2016 210 348.2 "Verfahren und Vorrichtung zur Nachoxidation von kohlenstoffhaltigen Vergasungsprodukten"

Veröffentlichungen











Towards a Closed Carbon Cycle (C³) & Achieving a Circular Economy for Carbonaceous Resources, Net zero emissions, resource efficiency and resource conservation through coupling of the energy, chemical and recycling sectors, Erdöl, Erdgas, Chemie, erscheint Mai 2017.

Schließung des Kohlenstoffkreislaufes durch Sektorkopplung, Chemie, Ingenieur, Technik, geplant für 2017.

Gasification Technologies for an Emissions Free Coal Utilization and Chemical Recycling, Coupling of the Energy, Chemical and Recycling Sectors towards a Closed Carbon Cycle, Fuel Processing Technology (Plenary Presentation at 2017 ICCS&T), geplant für 2017.

Workshops & Konferenzen



