

ThEGA Forum 24.10.2019

Energiesystem Thüringen 2040

Prof. Dr.-Ing. Viktor Wesselak
Institut für Regenerative Energietechnik (in.RET)

Werkstatt Energiesystem Thüringen

Seit 2016 Aufbau eines
Energiesystemmodells für Thüringen

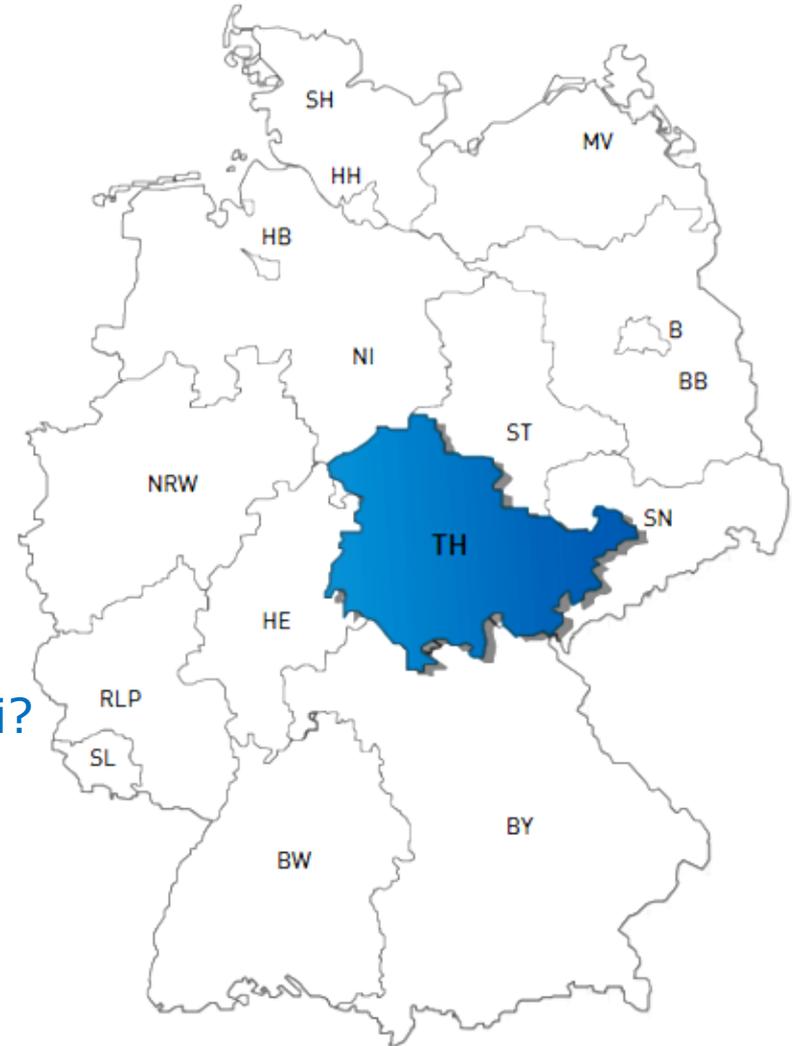
Untersuchung von Fragen wie:

- Wie kann das Energiesystem 2040 aussehen, das diese Forderung erfüllt?
- Welche Restriktionen bestehen dabei?
- Und was wird das ganze kosten?

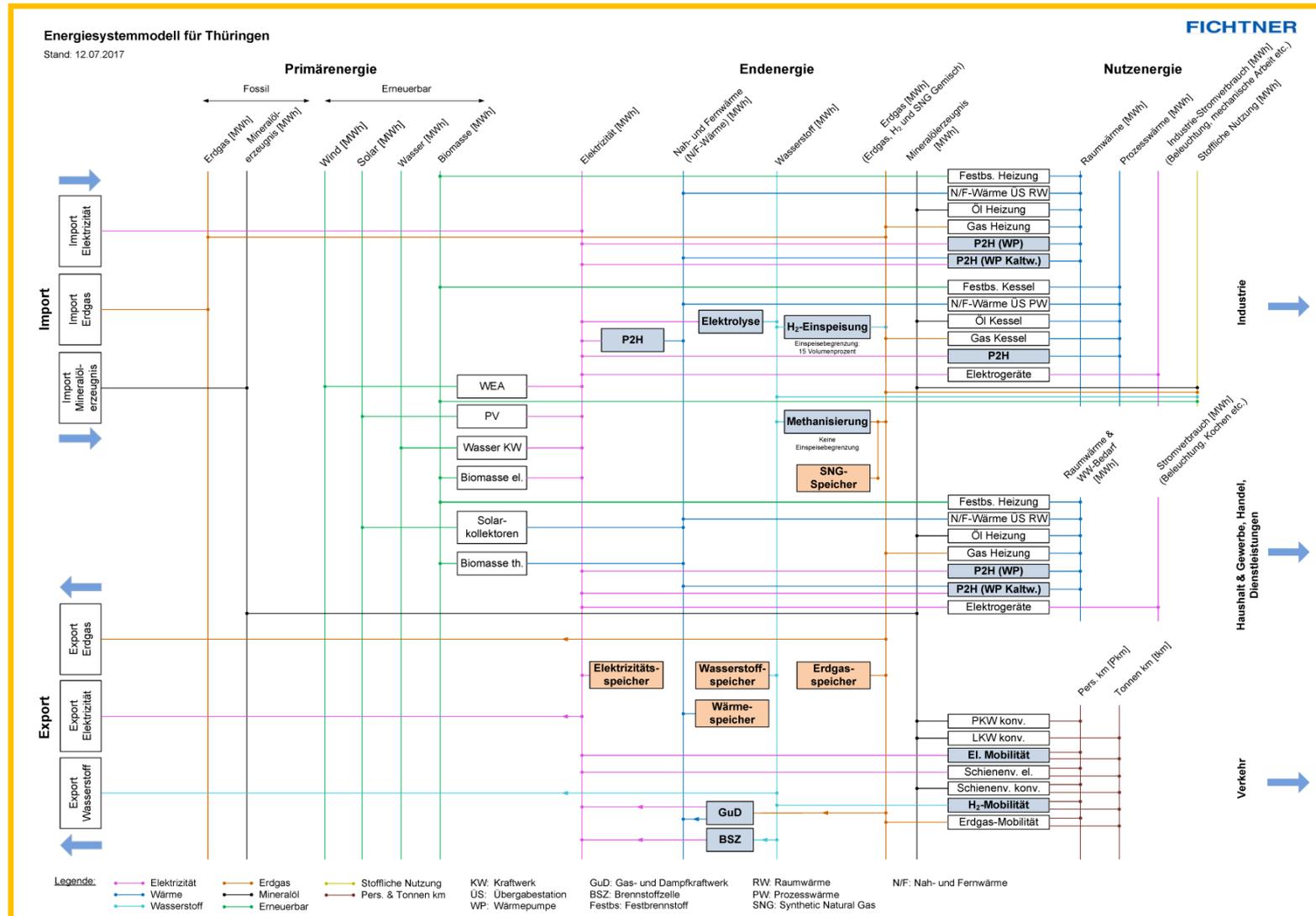
Partner:

FICHTNER

 Thüringer
Energie- und
GreenTech-
Agentur



Wie kann das Energiesystem 2040 aussehen?

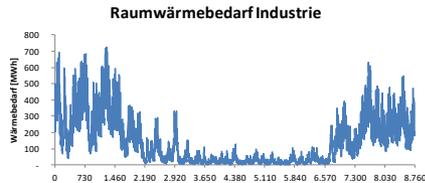


Wie kann das Energiesystem 2040 aussehen?

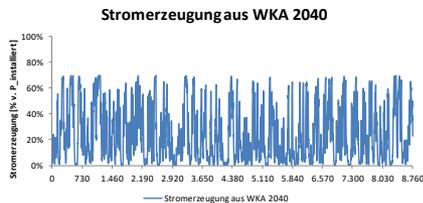
Energiesystemmodell und Optimierer

Restriktionen

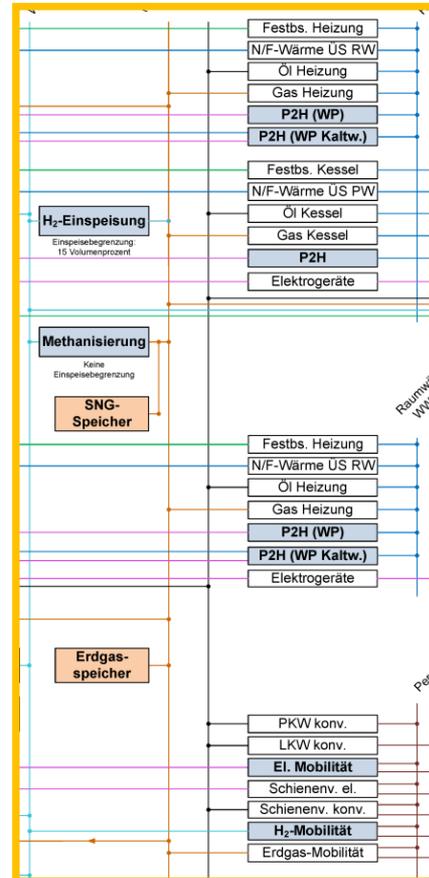
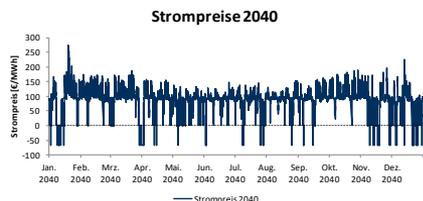
Lastprofile



Erzeugungprofile



Preise



Installierte EE-
Leistungen



Installierte PtX-
Leistungen



Größe der Speicher



Gesamtkosten

Wie kann das Energiesystem 2040 aussehen?

Restriktionen

Energiepotentiale der Erneuerbaren

➔ z.B. Wind auf 1% der Landesfläche

Endenergieverbrauch nach IE-Studie zum Klimagesetz

➔ 86% CO₂-Reduktion bis 2040 im Vergleich zu 1990

Endenergiebedarf in Thüringen bilanziell erneuerbar bis 2040

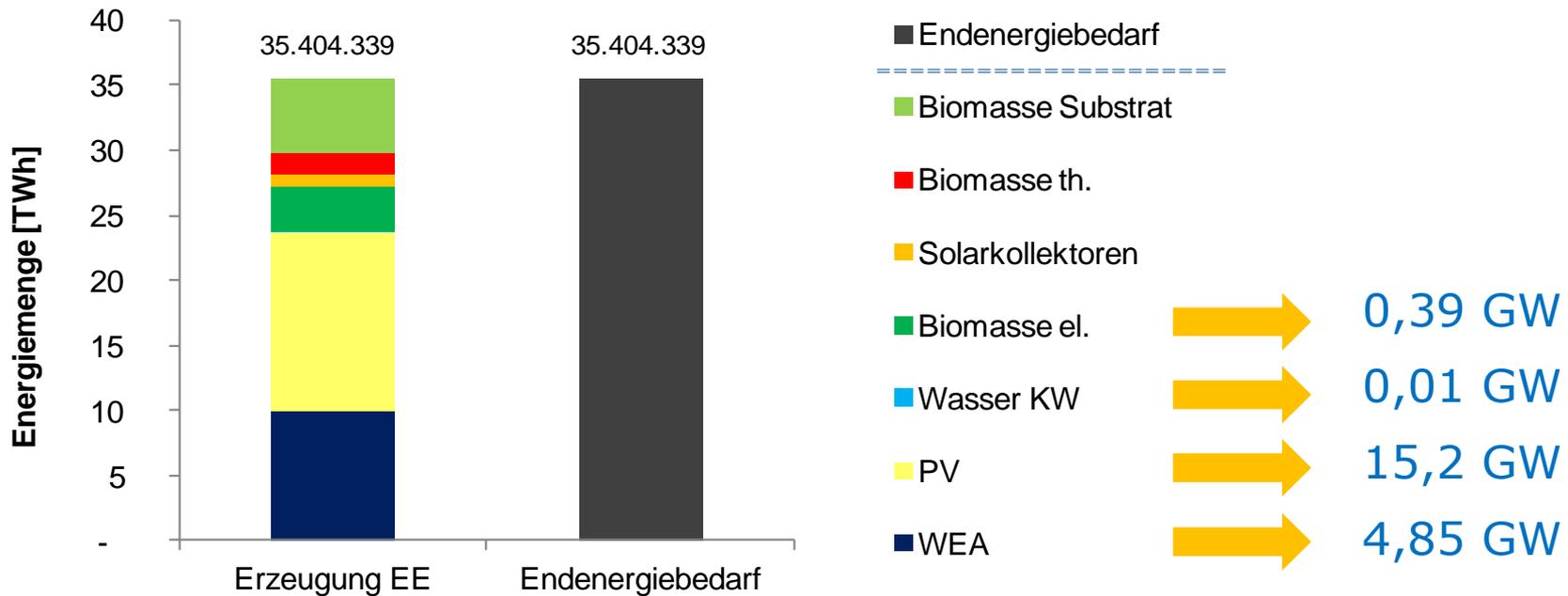
Preismodell: Börsenpreise + CO₂-Abgaben + Netznutzungsentgelte

Import- und Exportkapazitäten von Strom/Erdgas/Wasserstoff

....

Wie kann das Energiesystem 2040 aussehen?

Installierte EE-Leistung



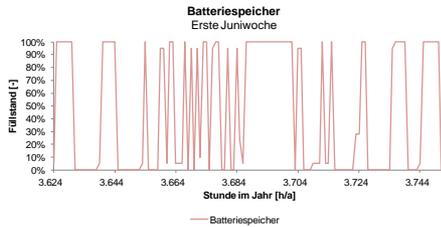
Wie kann das Energiesystem 2040 aussehen?

Größe der Speicher

Batteriespeicher



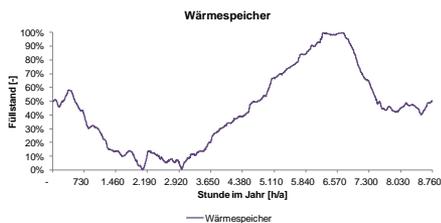
5.000 MWh



Wärmespeicher



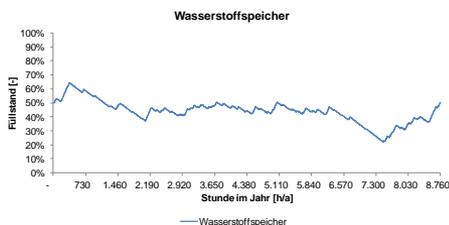
500.000 MWh



Wasserstoffspeicher



1.250.000 MWh

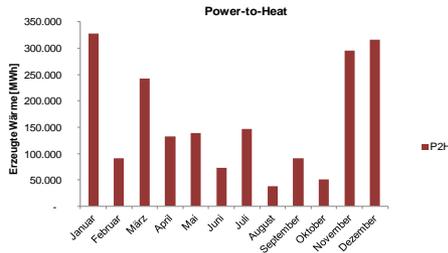


Wie kann das Energiesystem 2040 aussehen?

Installierte PtX-Leistung

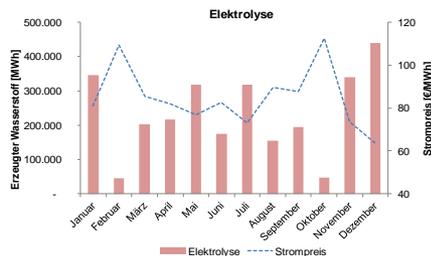
Power-to-Heat

➔ 1.200 MW



Elektrolyse

➔ 1.300 MW



Wasserstoffeinspeisung

➔ 0 MW

Methanisierung

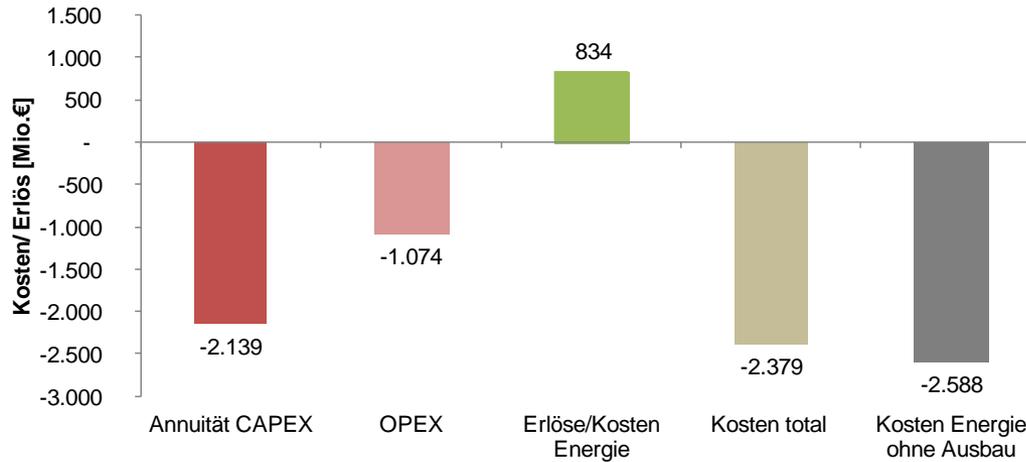
➔ 0 MW

stat. Brennstoffzelle

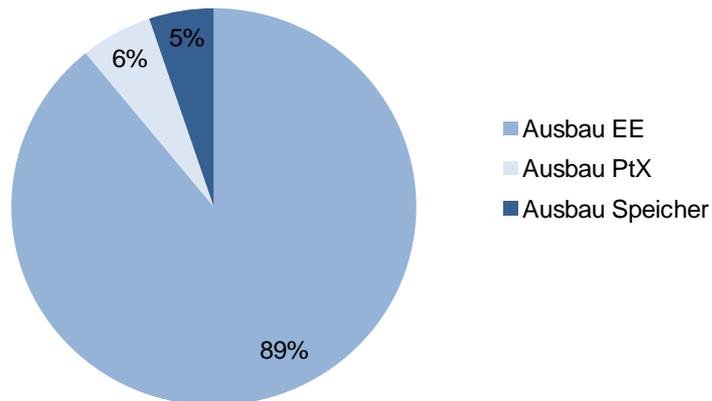
➔ 0 MW

Und was wird das kosten?

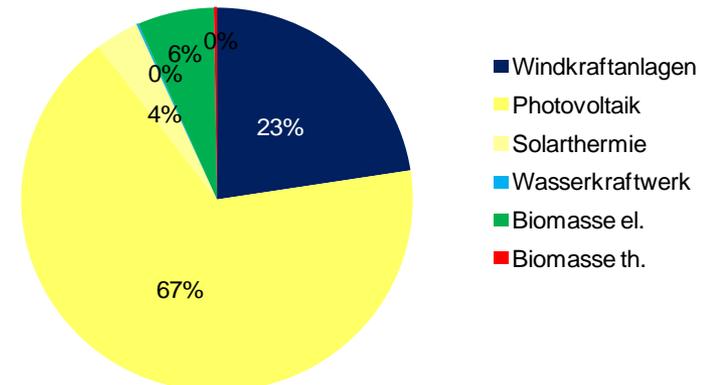
Jährliche Kosten



Aufteilung Investitionskosten



Aufteilung CAPEX für Ausbau EE

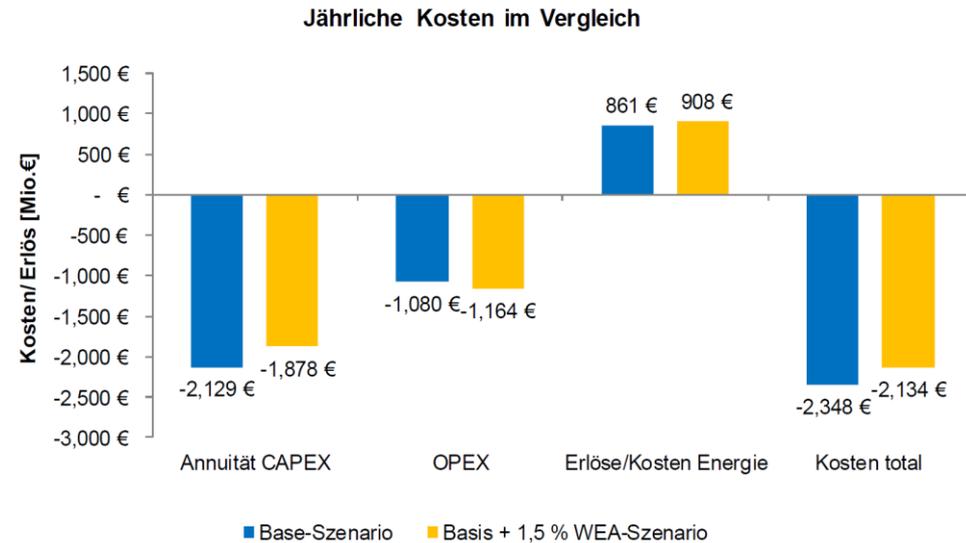
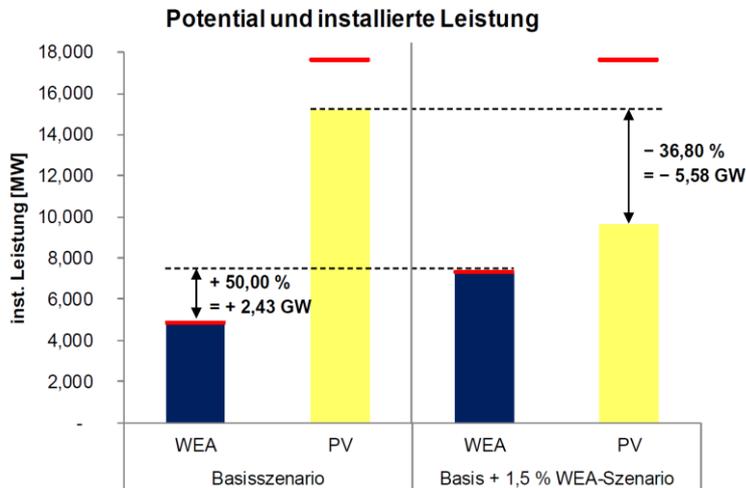


Neue Szenarien

Wie wirken sich veränderte Rahmenbedingungen aus?

1. Anhebung des Winddeckels auf 1,5% der Landesfläche
2. Vollständige Korrelation des Strompreises mit den Einstrahlungs- und Windverhältnissen in Thüringen
3. Reduktion der CO₂-Emissionen um 95%

1. Anhebung des Winddeckels auf 1,5% der Landesfläche

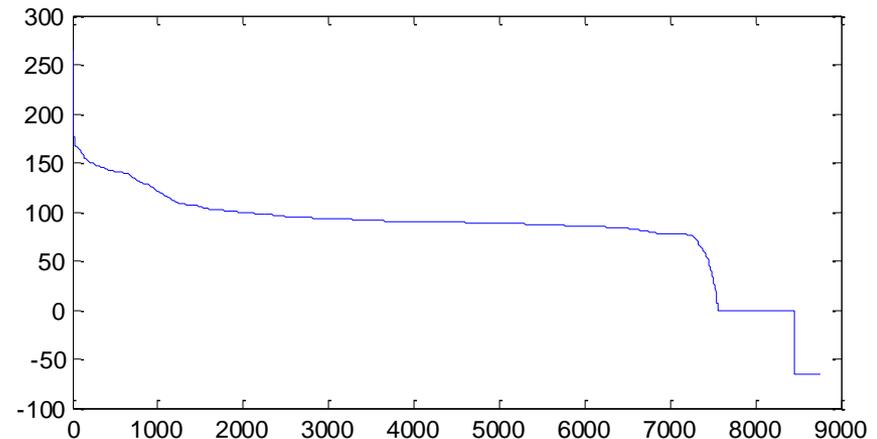
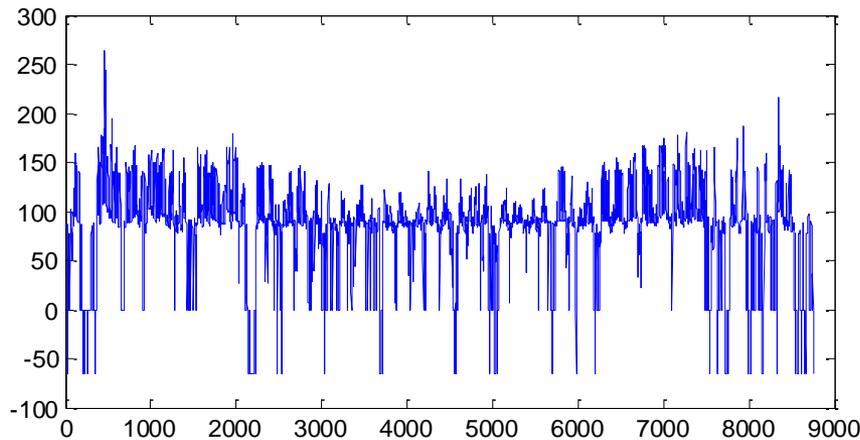


Optimierer nutzt das zusätzlich angebotene Windangebot vollständig
 Der dadurch reduzierte PV-Ausbau führt zu geringeren Investitionskosten
 Zusammen mit höheren Stromerlösen sinken die Gesamtkosten
 des Energiesystems um ca. 10 Prozent

2. Vollständige Korrelation des Strompreises

Ausgangspunkt Energy Brainreport 2017

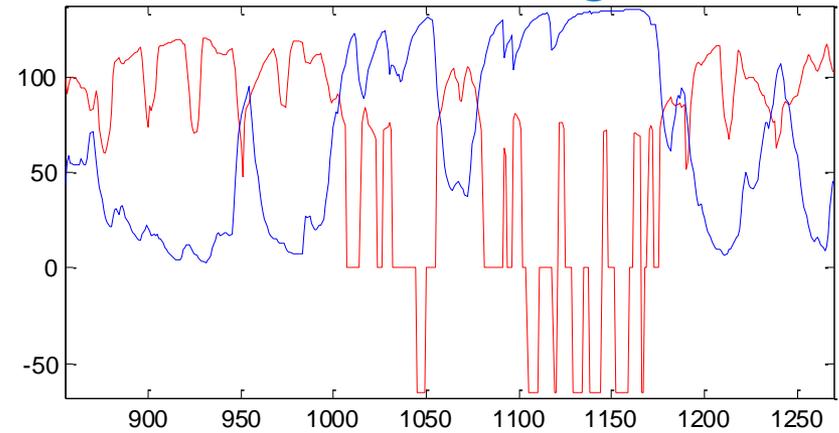
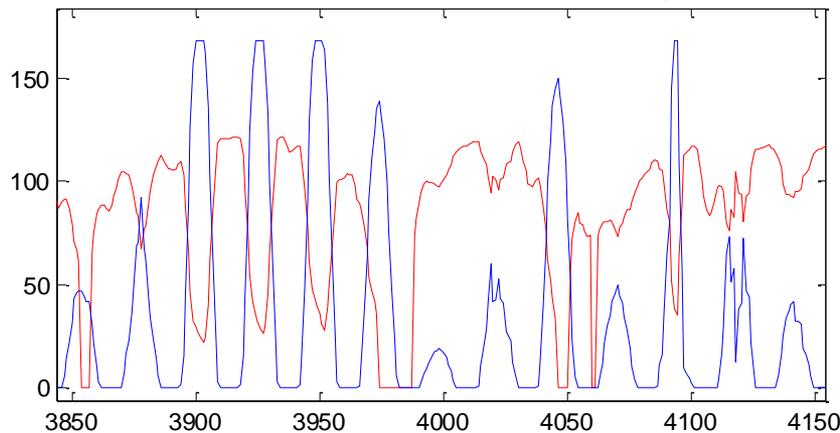
- Stundenaufgelöste Berechnung der Strompreise in Deutschland
- Modellierung des europäischen Strommarkts
- Berücksichtigung der jeweils Vorhandenen Kraftwerkskapazitäten
- Modellierung eines Merrit-Order-Modells für den Strompreis



2. Vollständige Korrelation des Strompreises

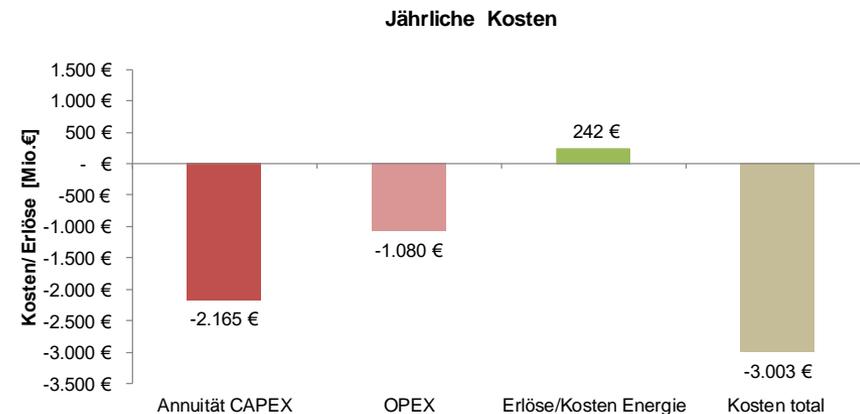
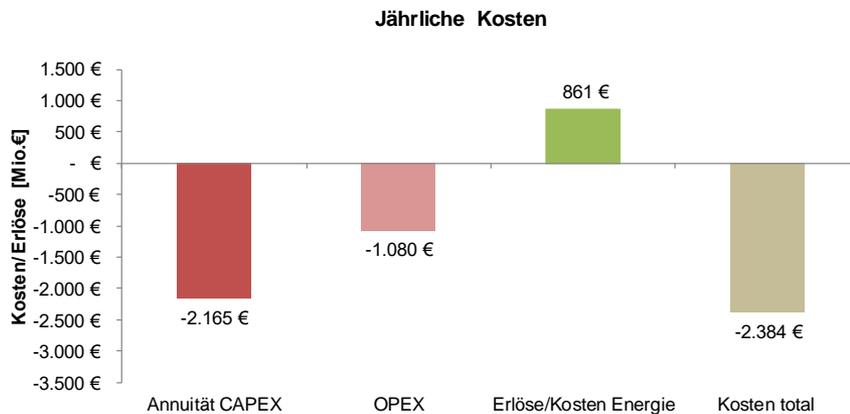
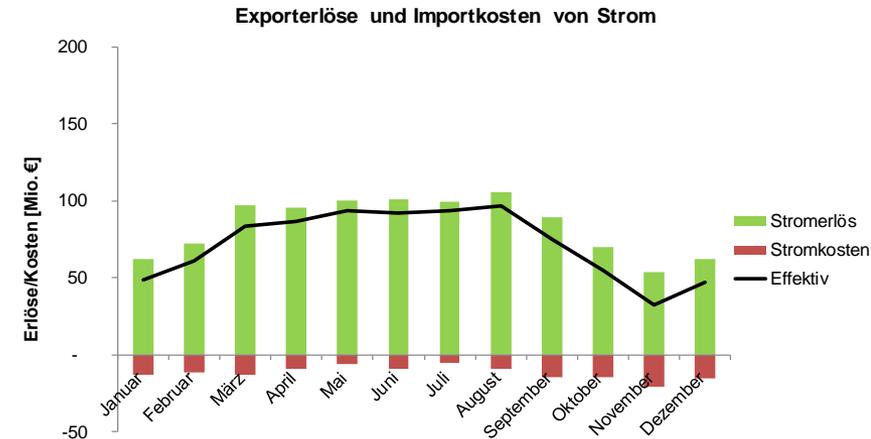
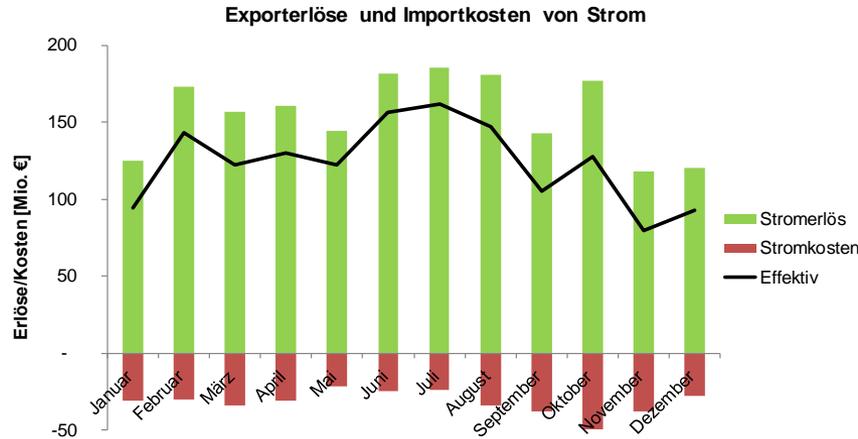
Problemstellung

- Modellierung basiert auf verallgemeinerten Lastprofilen und Einspeisecharakteristiken für Wind und PV
- Strompreismodell mit vergleichbaren Schwankungen, das mit den Thüringer Last- und Einspeiseprofilen synchronisiert ist
- Aber: kein Marktmodell, sondern statistische Auswertung



- Links: Hoher Strompreis (rot) bei niedrigem EE-Anteil (hier: PV blau)
- Rechts: Negativer Strompreis (rot) bei EE-Überangebot (hier: Wind blau)

2. Vollständige Korrelation des Strompreises



Basisszenario

Korrelierte Strompreise

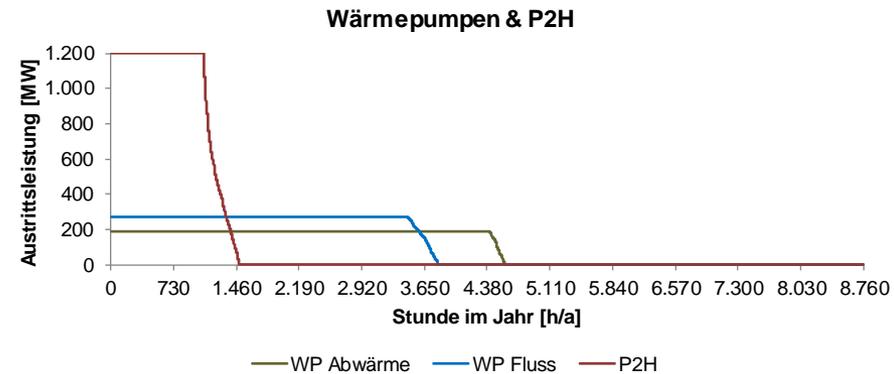
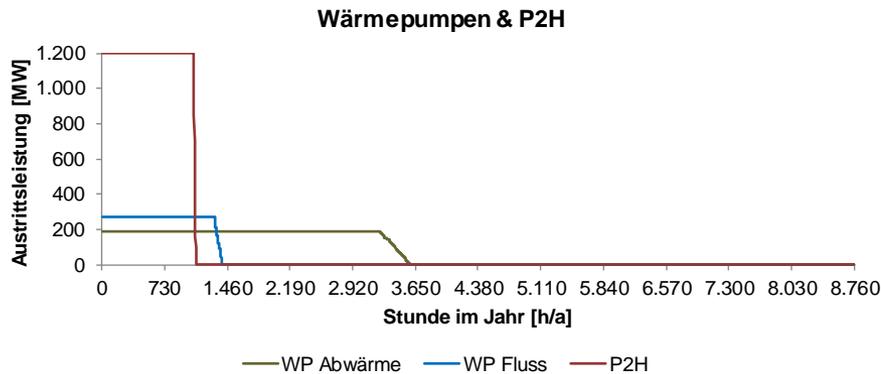
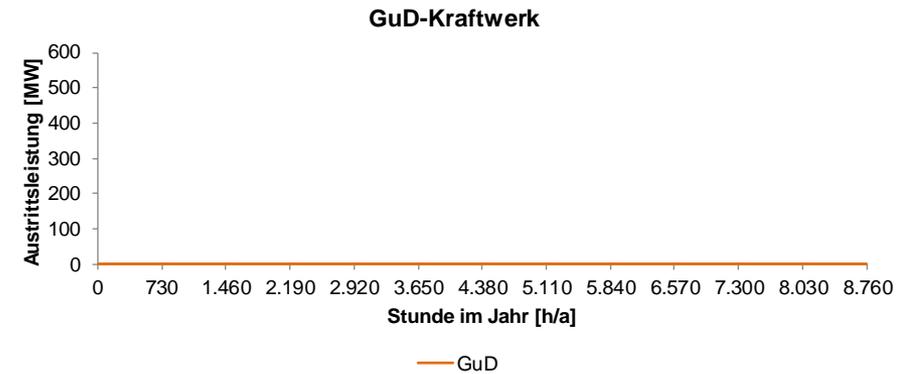
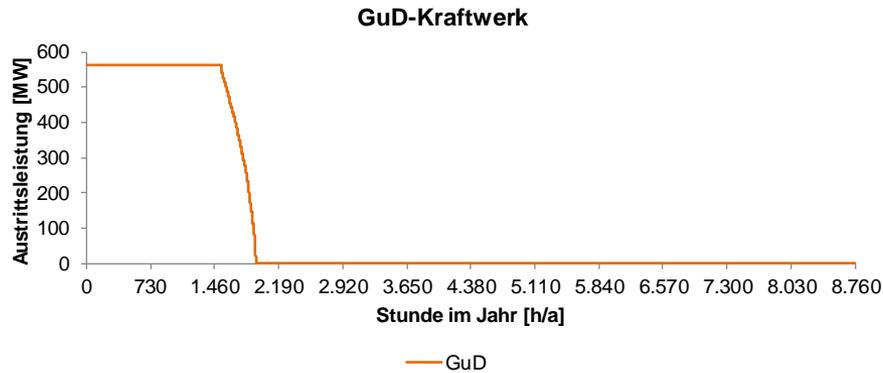
3. Reduktion der CO₂-Emissionen um 95%

Problemstellung

Bisher: Wasserstoffeinspeisung, Methanisierung und Power-to-Liquid werden als Optionen für 86% CO₂-Reduktion nicht benötigt.

Jetzt: Ein Reduktionsziel von 95% ist ohne diese Optionen nicht erreichbar.
Sie werden daher dem Optimierer zur Verfügung gestellt.

3. Reduktion der CO₂-Emissionen um 95%

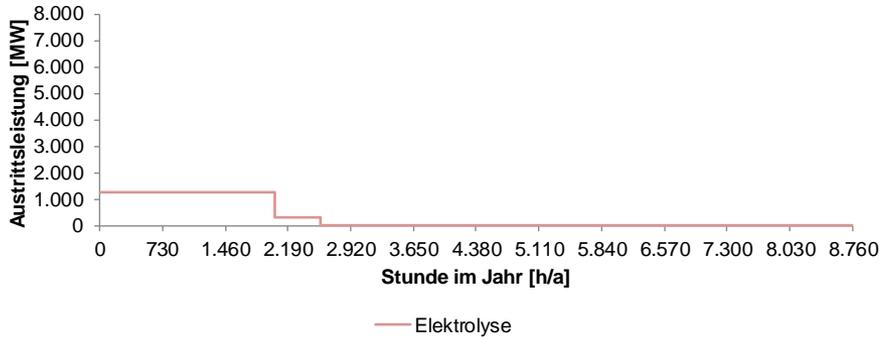


Basisszenario

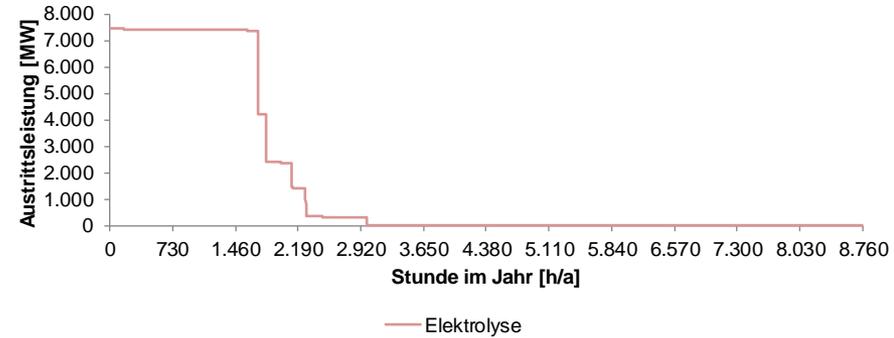
95% CO₂-Reduktion

3. Reduktion der CO₂-Emissionen um 95%

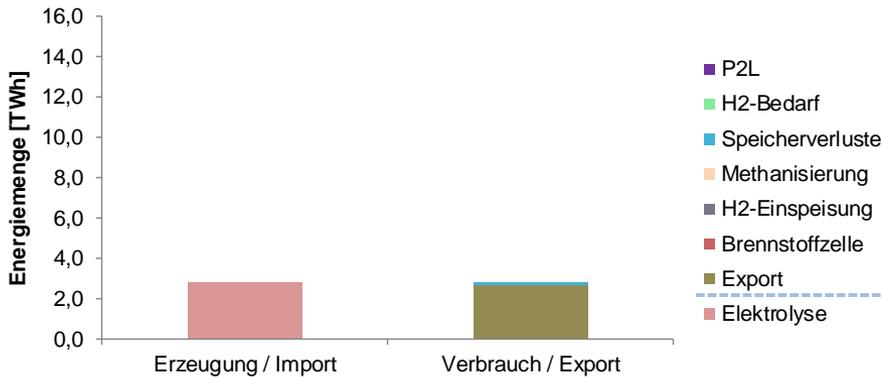
Elektrolyse



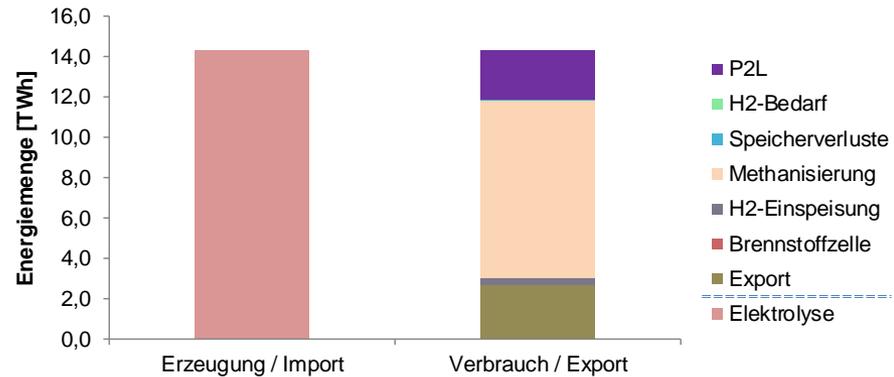
Elektrolyse



Erzeugung und Verbrauch - H₂



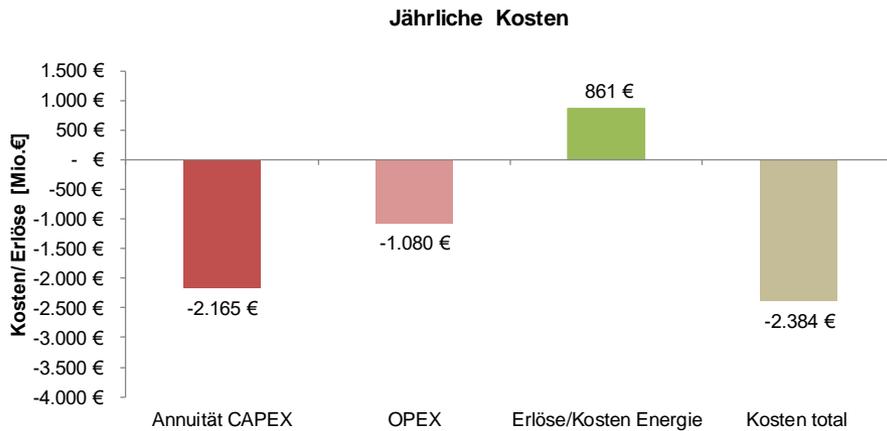
Erzeugung und Verbrauch - H₂



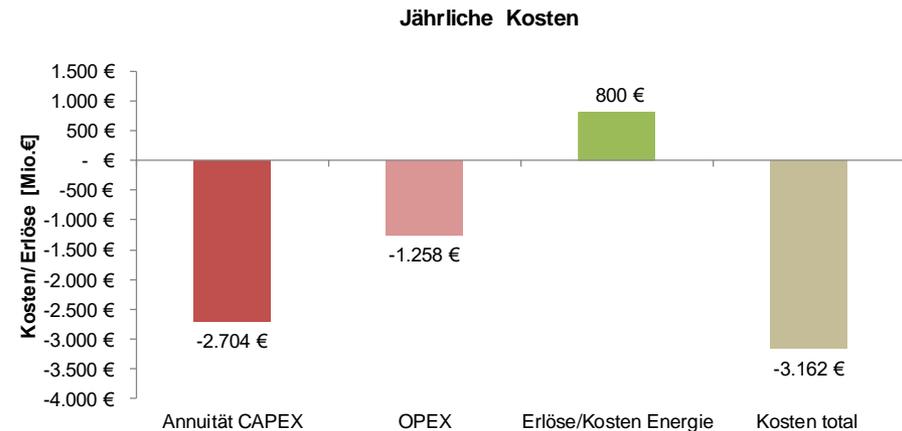
Basisszenario

95% CO₂-Reduktion

3. Reduktion der CO₂-Emissionen um 95%



Basisszenario



95% CO₂-Reduktion

Erhöhter Wasserstoffbedarf für Einspeisung, Methanisierung und PtL erfordert deutlich höhere Leistungen

➔ CAPEX und OPEX steigen stark an

Zusammenfassung

Komplexe Systeme haben einen komplexen Lösungsraum, d.h. moderate Veränderungen einzelner Parameter können zu einem stark unterschiedlichen Ergebnis führen.

➔ Beispiel 1: Windkraft 1 → 1,5% der Landesfläche

➔ Beispiel 2: Korrelation der Strompreise

➔ Beispiel 3: Reduktionsziel 95%

Für Power-to-X bedeutet dies:

- Je größer das Reduktionsziel, desto mehr PtX-Optionen sind im System vorzuhalten (z.B. PtL)
- Je mehr PtX zum Einsatz kommt, desto mehr Wasserstoff (und damit Elektrolyseleistung) wird benötigt.
- Je kürzer die Kohlenstoffketten sein dürfen, desto billiger wird das Gesamtsystem.

Wie geht es weiter?

Energiesystemmodellierung für Thüringen ist Bestandteil des TP5 des ZO.RRO-Projektes.



Fortsetzung des Werkstattprozesses



Umstieg von BoFit auf eine freie und offene Software



o e m o f ['ø:mɔf]

open energy **m**odeling **f**ramework

- | | |
|----------|---|
| 12/2019: | Validierung des BoFit-Modells in Nordhausen |
| 03/2020: | Inbetriebnahme des oemof-Modells und Start des Werkstattprozesses |
| 09/2021: | Veröffentlichung des oemof-Modells |