

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

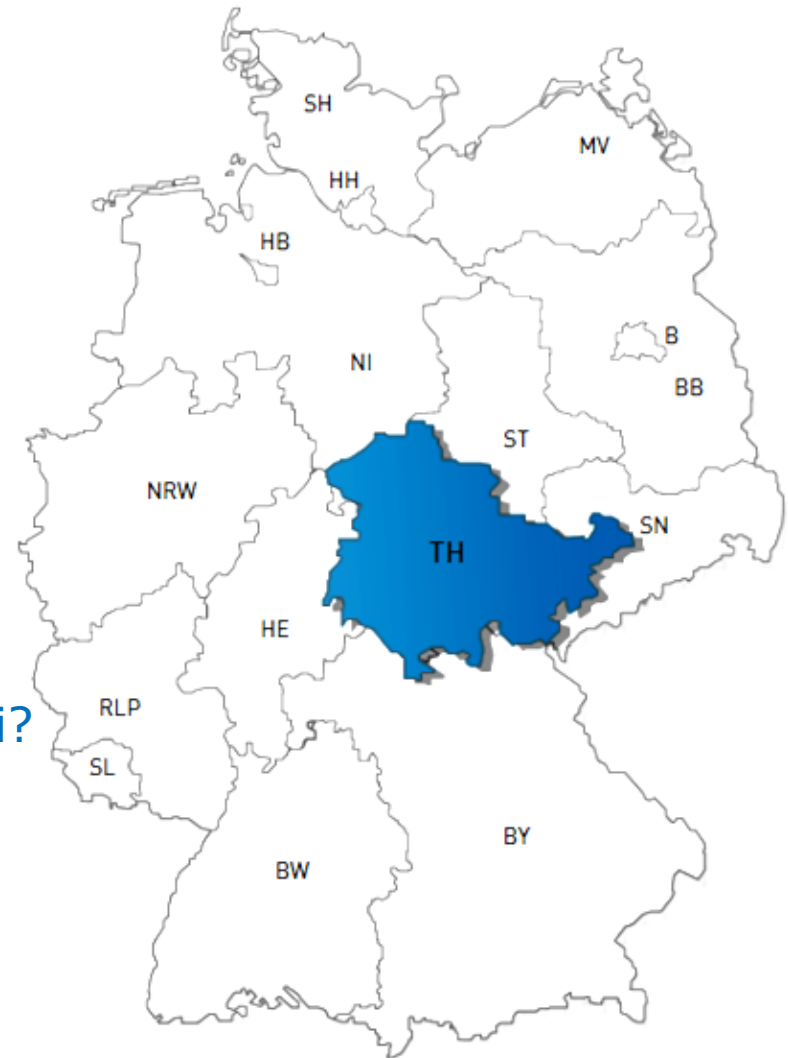
Untersuchung von Fragen wie:

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

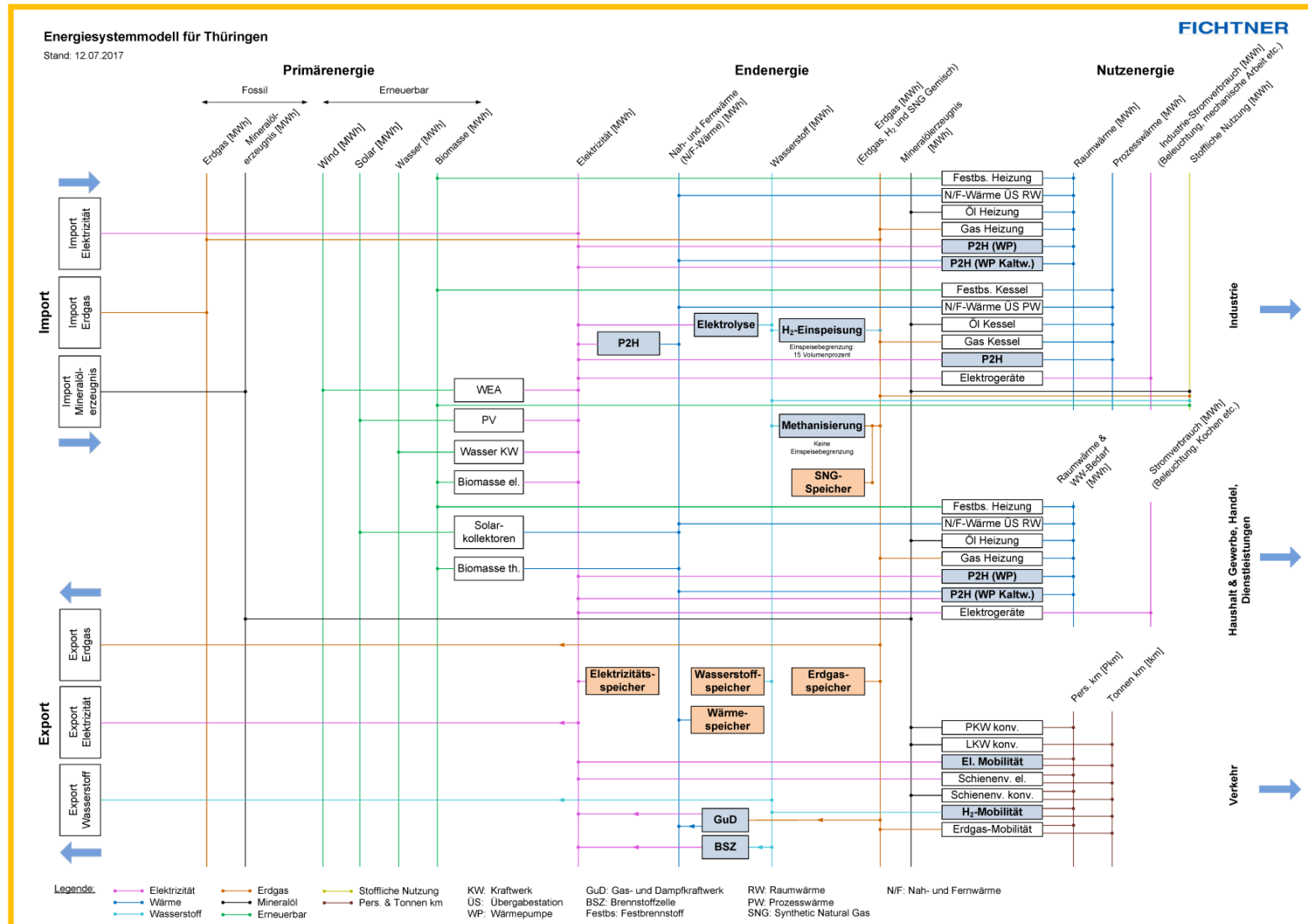
Partner:

FICHTNER

 Thüringer
Energie- und
GreenTech-
Agentur



Wie kann das Energiesystem 2040 aussehen?



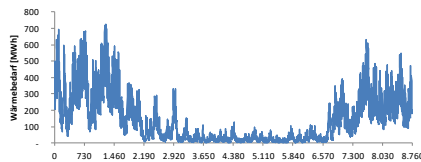
Wie kann das Energiesystem 2040 aussehen?

Energiesystemmodell und Optimierer

Restriktionen

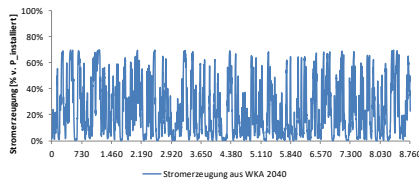
Lastprofile

Raumwärmebedarf Industrie



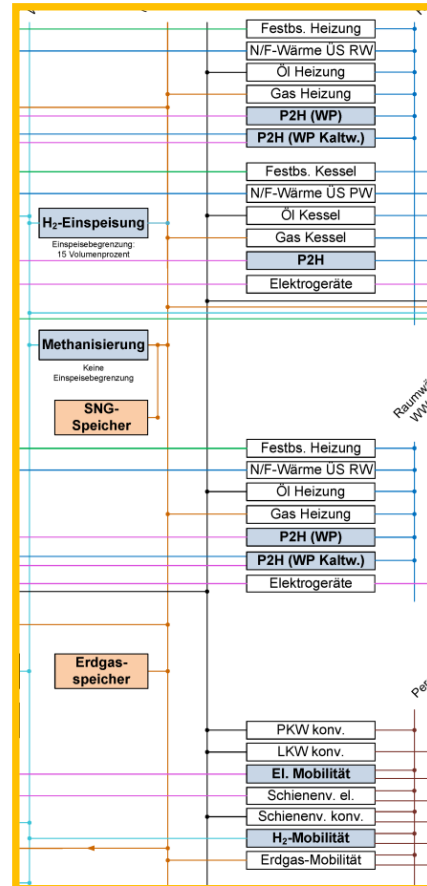
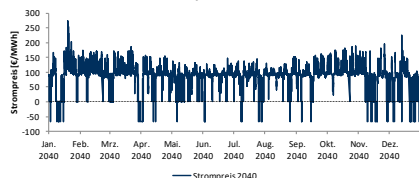
Erzeugungprofile

Stromerzeugung aus WKA 2040



Preise

Strompreise 2040



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

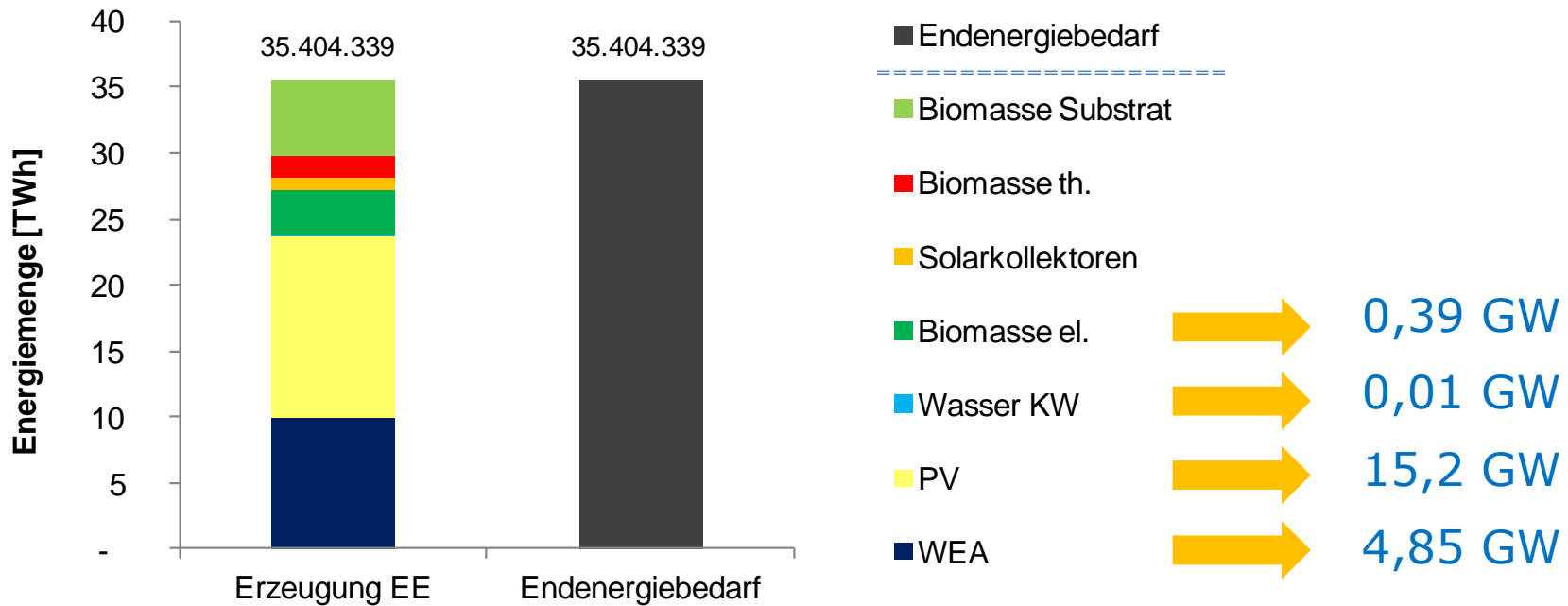
Preismodell: Börsenpreise + CO₂-Abgaben + Netznutzungsentgelte

Import- und Exportkapazitäten von Strom/Erdgas/Wasserstoff

....

Wie kann das Energiesystem 2040 aussehen?

Installierte EE-Leistung



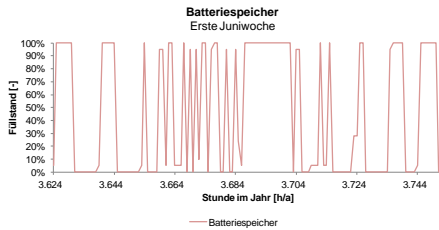
Wie kann das Energiesystem 2040 aussehen?

Größe der Speicher

Batteriespeicher



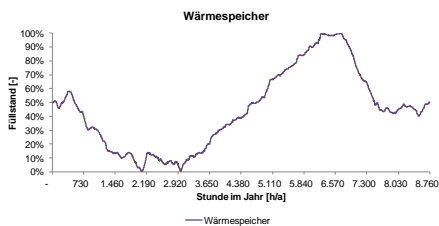
5.000 MWh



Wärmespeicher



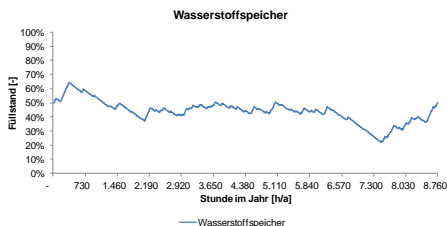
500.000 MWh



Wasserstoffspeicher



1.250.000 MWh

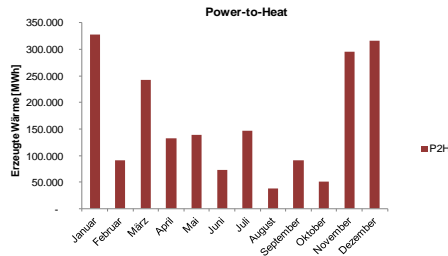


Wie kann das Energiesystem 2040 aussehen?

Installierte PtX-Leistung

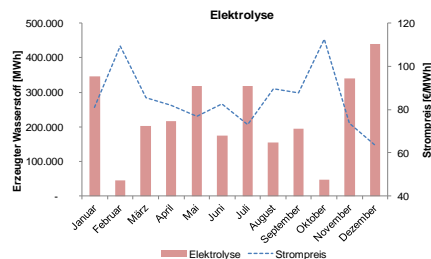
Power-to-Heat

➔ 1.200 MW



Elektrolyse

➔ 1.300 MW



Wasserstoffeinspeisung

➔ 0 MW

Methanisierung

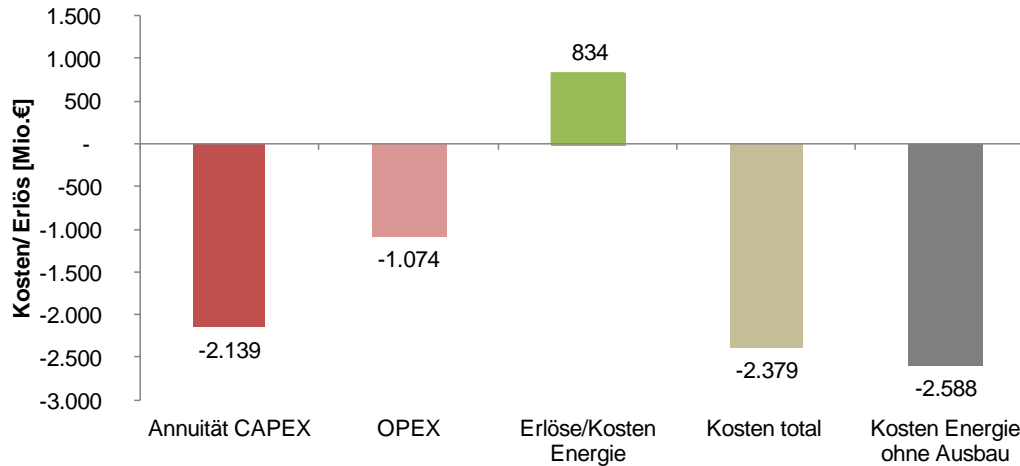
➔ 0 MW

stat. Brennstoffzelle

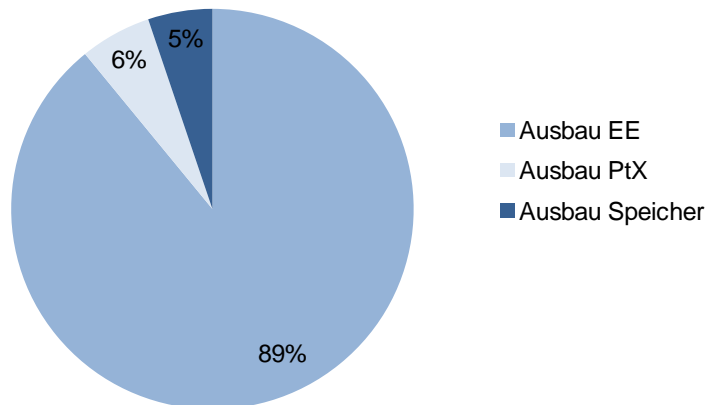
➔ 0 MW

Und was wird das kosten?

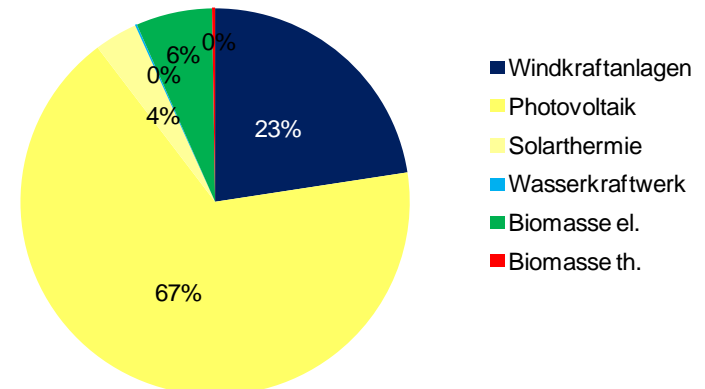
Jährliche Kosten



Aufteilung Investitionskosten



Aufteilung CAPEX für Ausbau EE

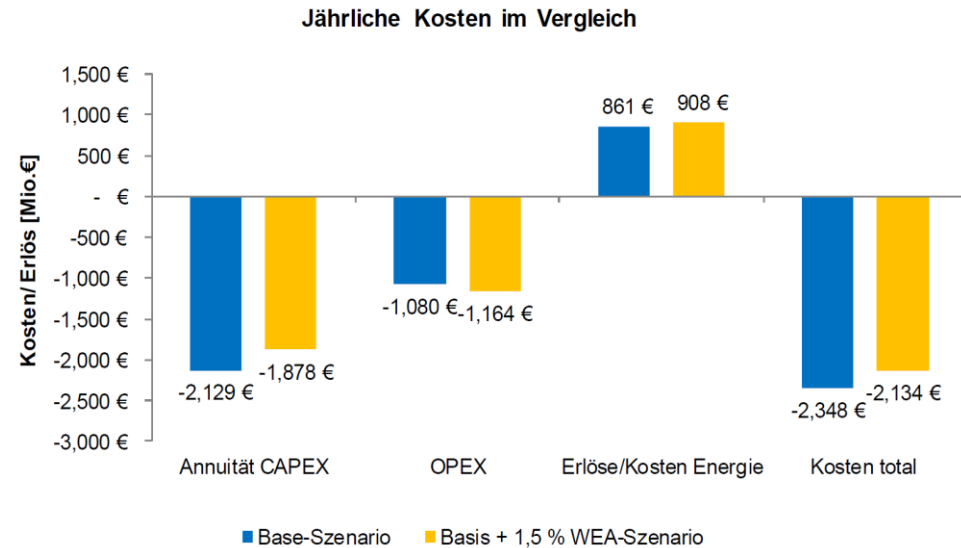
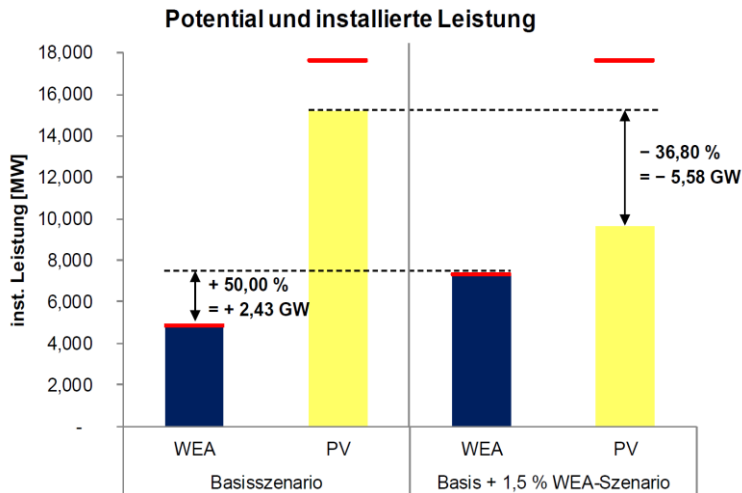


Neue Szenarien

Wie wirken sich veränderte Rahmenbedingungen aus?

1. Anhebung des Windeckels 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

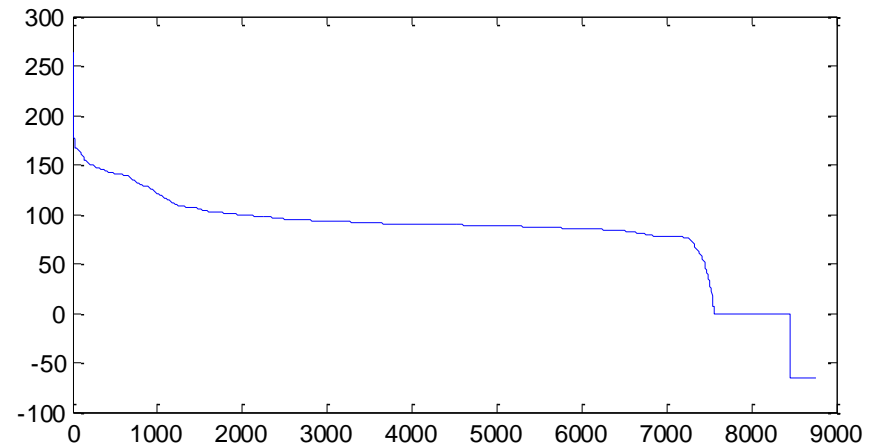
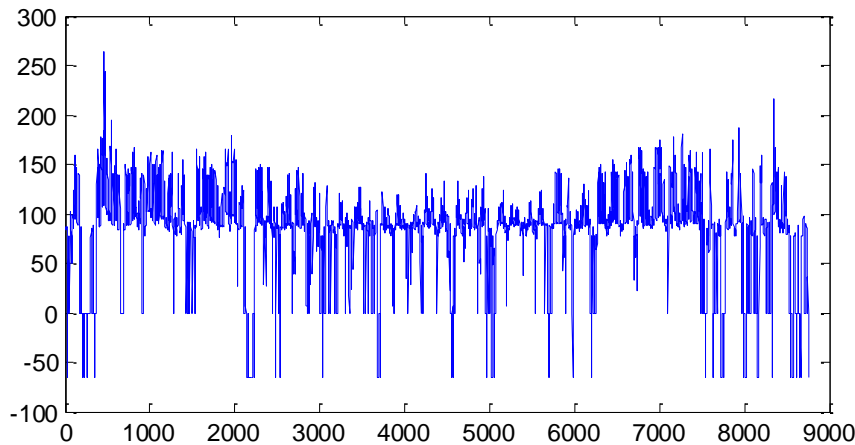


Optimierer nutzt das zusätzlich angebotene Windangebot vollständig
 Der dadurch reduzierte PV-Ausbau führt zu geringeren Investitionskosten
 Zusammen mit höheren Stromerlösen sinken die Gesamtkosten
 des Energiesystems um ca. 10 Prozent

2. Vollständige Korrelation des Strompreises

Ausgangspunkt Energy Brainreport 2017

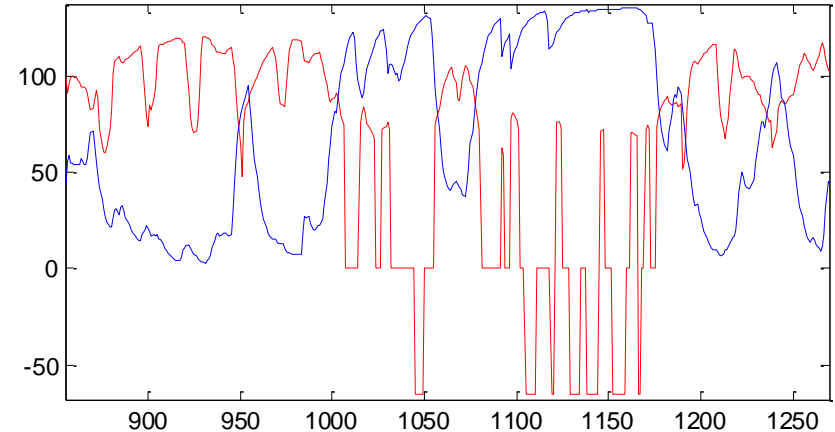
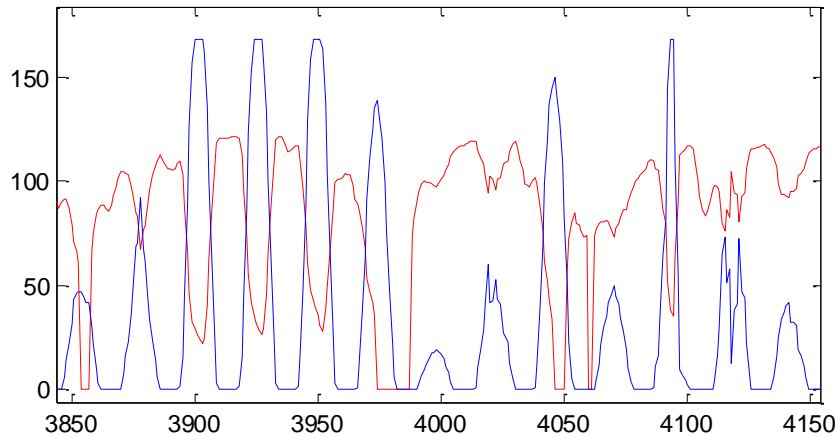
- Stundenaufgelöste Berechnung der Strompreise in Deutschland
- Modellierung des europäischen Strommarkts
- Berücksichtigung der jeweils Vorhandenen Kraftwerkskapazitäten
- Modellierung eines Merrit-Order-Modells für den Strompreis



2. Vollständige Korrelation des Strompreises

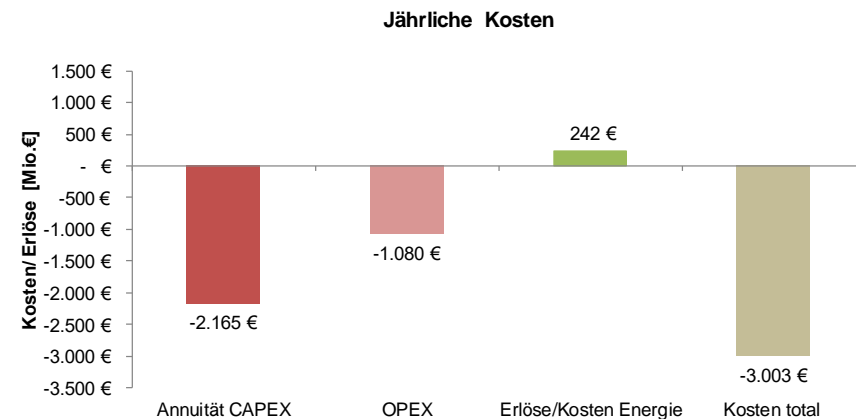
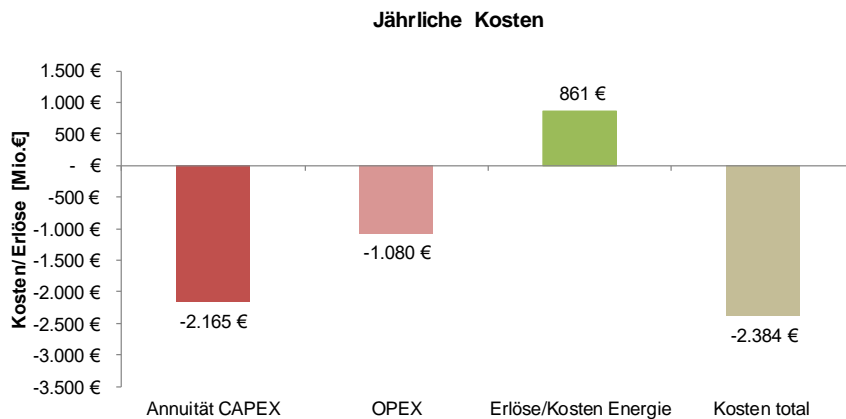
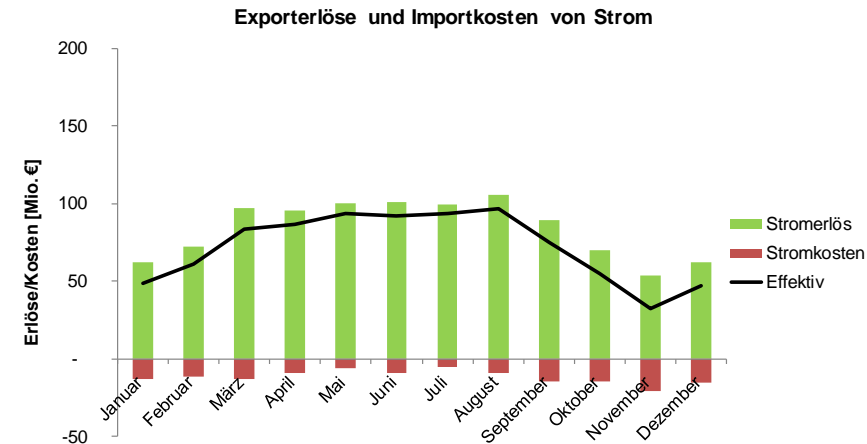
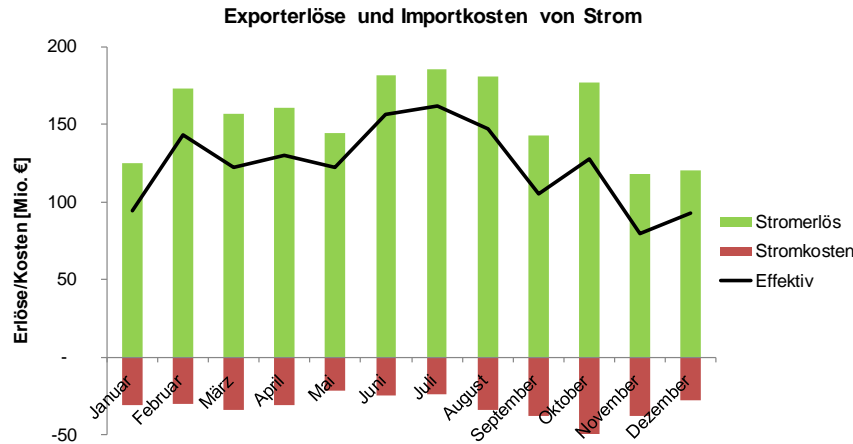
Problemstellung

- 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

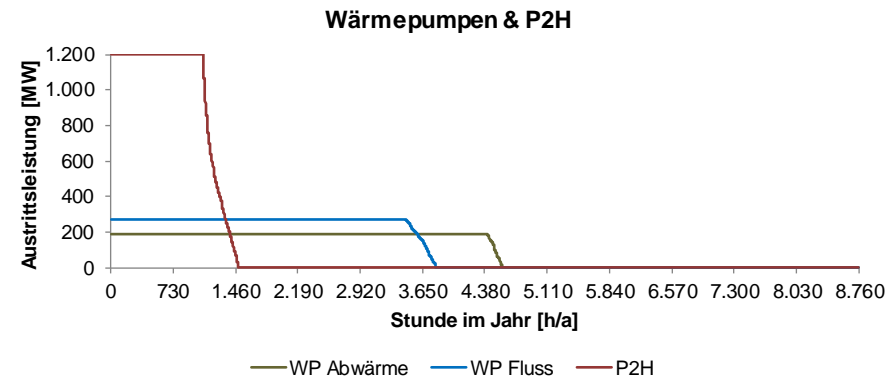
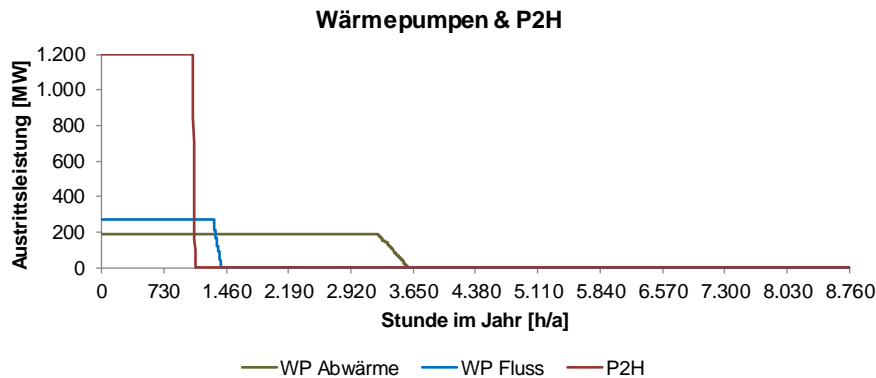
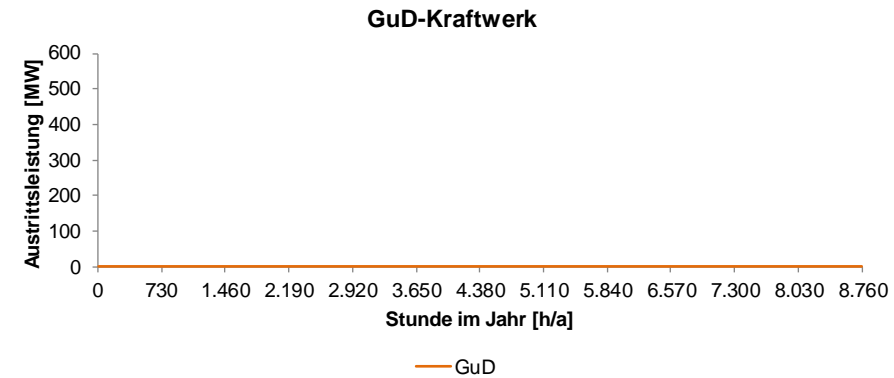
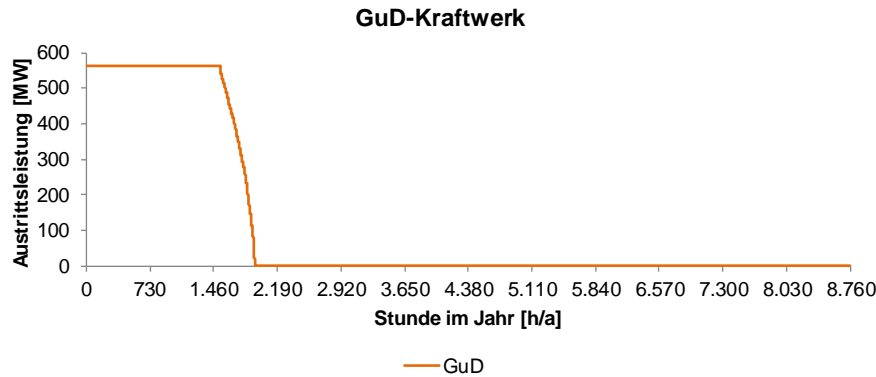
3. Reduktion der CO₂-Emissionen um 95%

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%

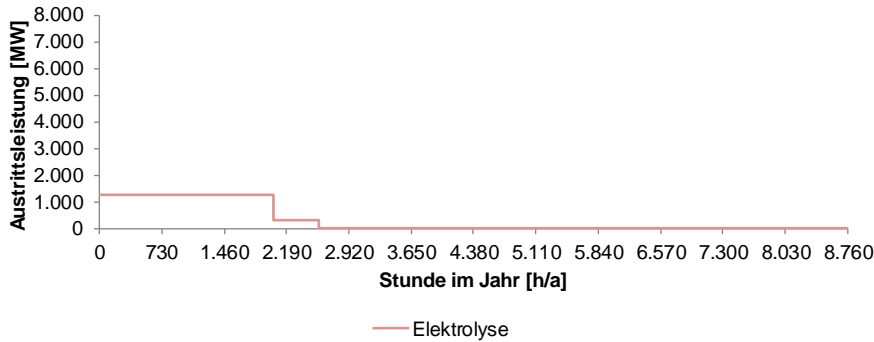


Basisszenario

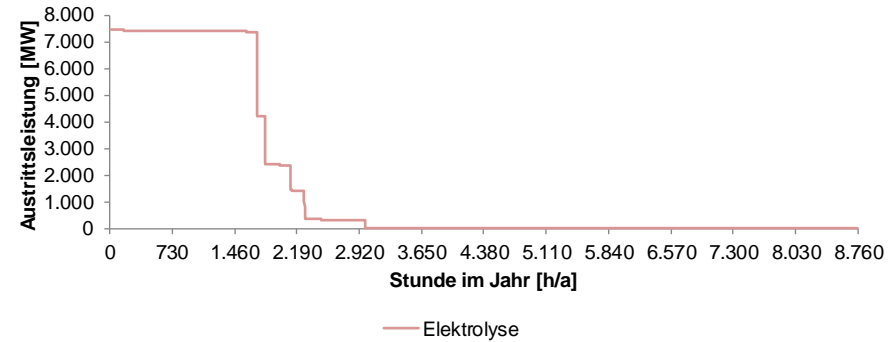
95% CO₂-Reduktion

3. Reduktion der CO₂-Emissionen um 95%

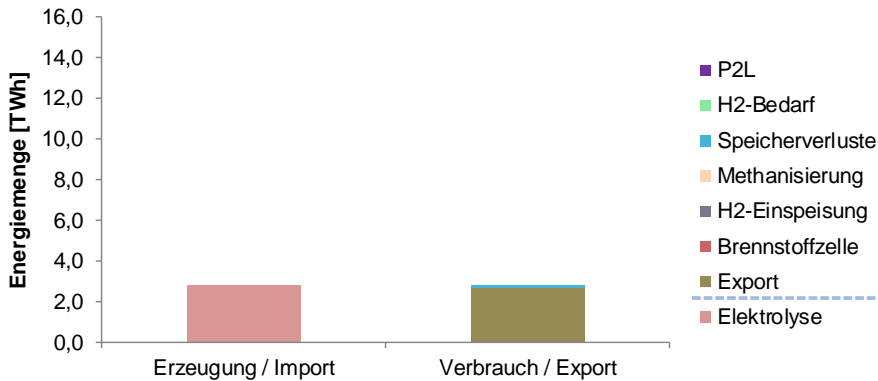
Elektrolyse



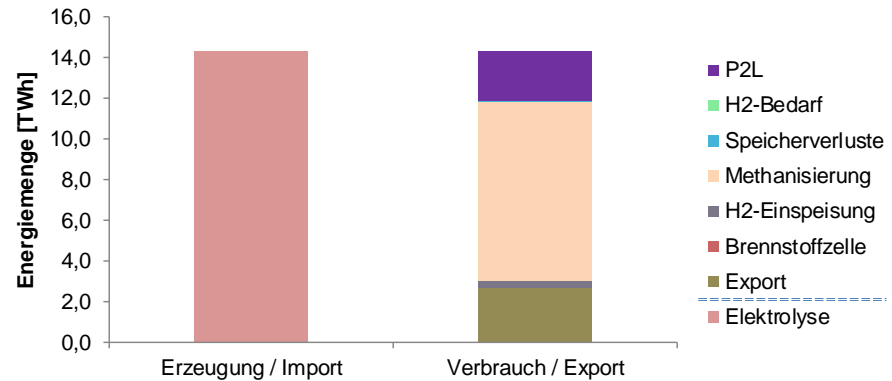
Elektrolyse



Erzeugung und Verbrauch - H₂



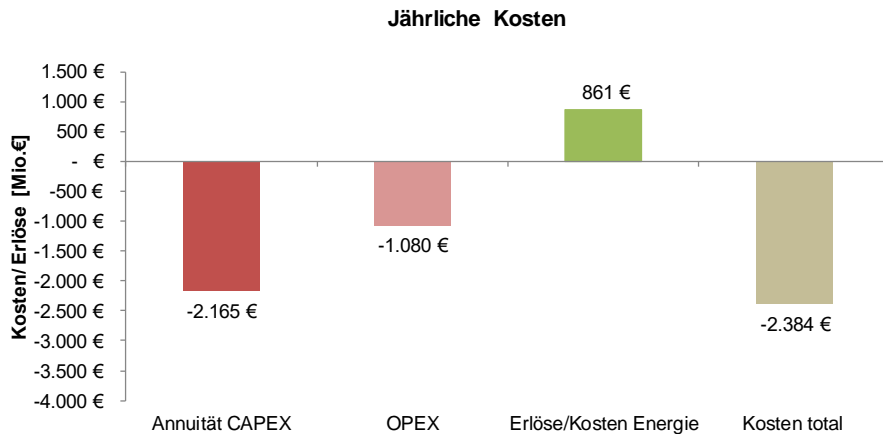
Erzeugung und Verbrauch - H₂



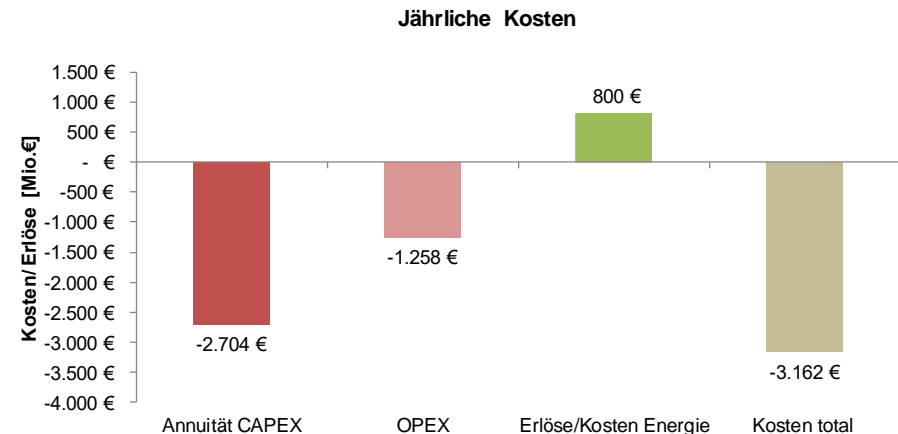
Basisszenario

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



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