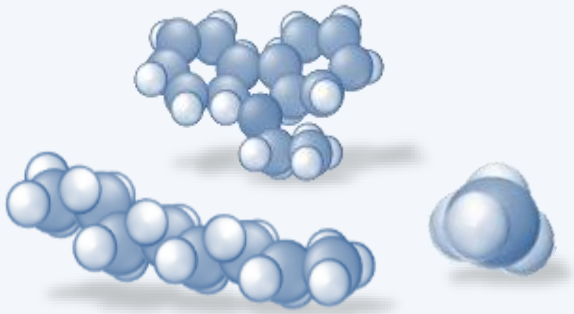
FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Scenarios for the Integration of Renewable Gases into the German Gas Market

A simulation-based Optimisation Approach

Sebastian Kolb, Thomas Plankenbühler, Marius Dillig, Jürgen Karl
Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

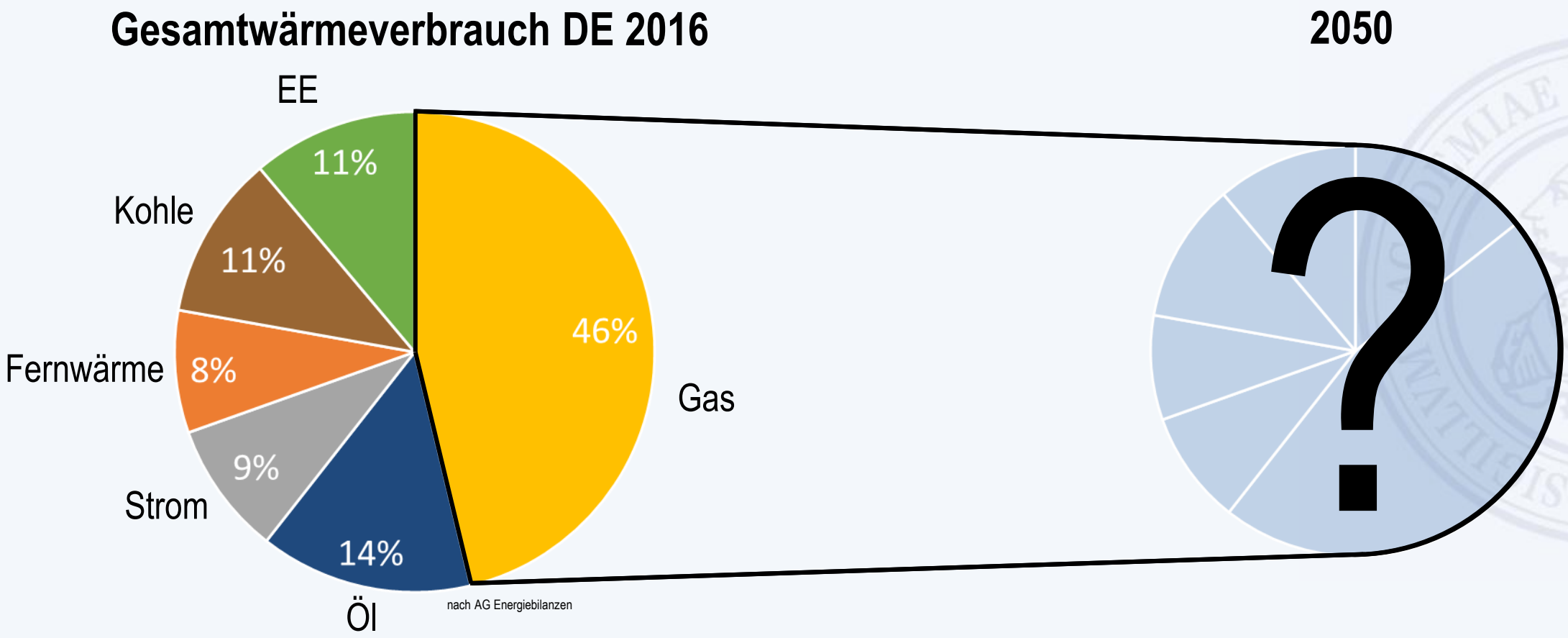
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

i) Motivation

- starke Abhängigkeit des deutschen Energiesystems von fossilem Erdgas
- zum Erreichen der Klimaziele sind insbesondere auch hier Veränderungen erforderlich
- Beispiel: Wärmemarkt



FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

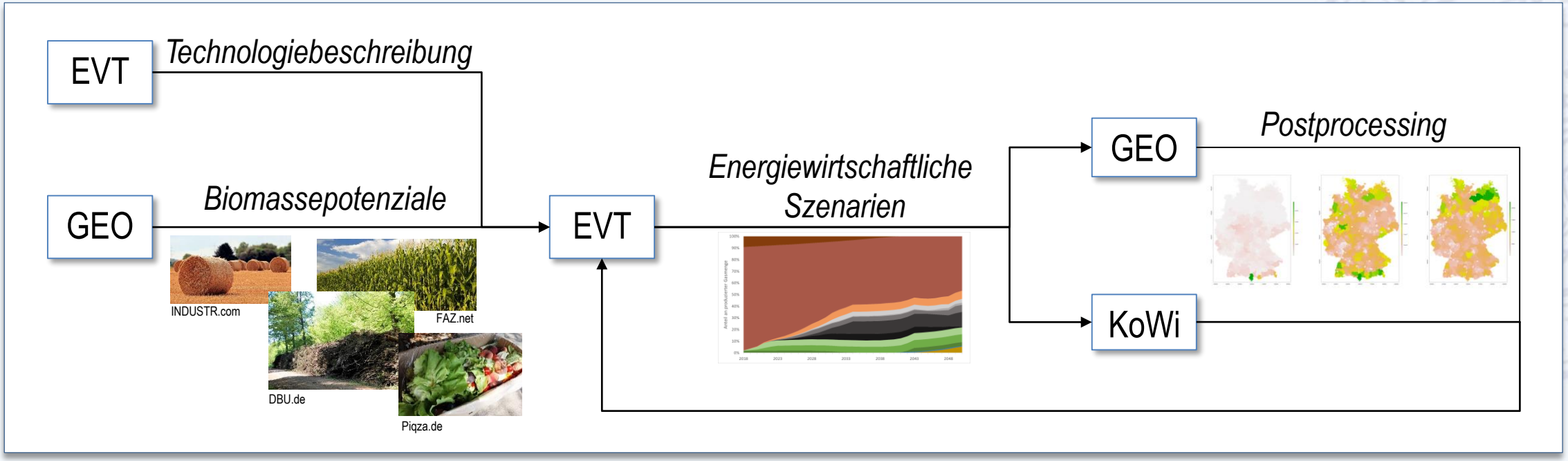
i) Projekt „SustainableGas“

- Ziel: interdisziplinäre Bewertung von Szenarien zur Integration erneuerbarer Gase in den Gasmarkt bis 2050
- Kernfrage: Welche Auswirkungen können unterschiedliche Förderstrategien und -höhen auf die Entwicklung des Gasmarktes haben?
- Laufzeit: 06/2016 bis 05/2019
- Förderung: durch das BMWi (6. Energieforschungsprogramm)
- Projektpartner:
  - FAU Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik (EVT)
  - FAU Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Kommunikationswissenschaft (KoWi)
  - LMU München, Department für Geographie (GEO)

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

i) Projekt „SustainableGas“

- Ziel: interdisziplinäre Bewertung von Szenarien zur Integration erneuerbarer Gase in den Gasmarkt bis 2050
- Kernfrage: Welche Auswirkungen können unterschiedliche Förderstrategien und -höhen auf die Entwicklung des Gasmarktes haben?
- Laufzeit: 06/2016 bis 05/2019
- Förderung: durch das BMWi (6. Energieforschungsprogramm)
- Projektpartner:



FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

ii) Modellaufbau – Überblick

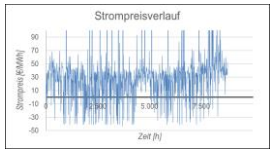
Inputs

- Bestandsanlagen
- Neubauparameter
- Rahmenbedingungen (z.B. Nachfrage-, Preisprognosen)

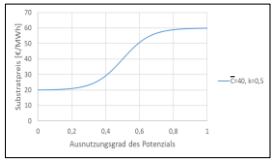
Simulation

Anlagenpark

Strommarkt



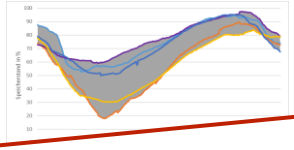
Biomassemarkt



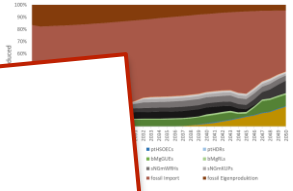
Simulation der Anlagen als Inputs für die Optimierung und zur detaillierten Auswertung der Szenarien

Optimierung

Einsatzplanung



Ausbauplanung



Optimierung zur Abbildung des Marktverhaltens

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

ii) Modellaufbau – Anlagenpark

- Ziel: Simulation technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Parameter im dynamischen Marktumfeld, z.B. durch
  - Strom-, Gas- und Biomassemarkt
  - zeit- & erfahrungsabhängige Neubauparameter
- Ansatz: systemdynamische Modellierung der erneuerbaren Gastechnologien

Merkur.de

Biomethananlagen
- Mais
- Reststoffe
- Gülle

Holzenergie-symposium.ch

SNG- & SynGas-Anlagen
- Importpellets
- Waldrestholz
- KUP
- Stroh

Taz.de

Power-to-Gas
- katalytisch
- biologisch

Storage-insider.de

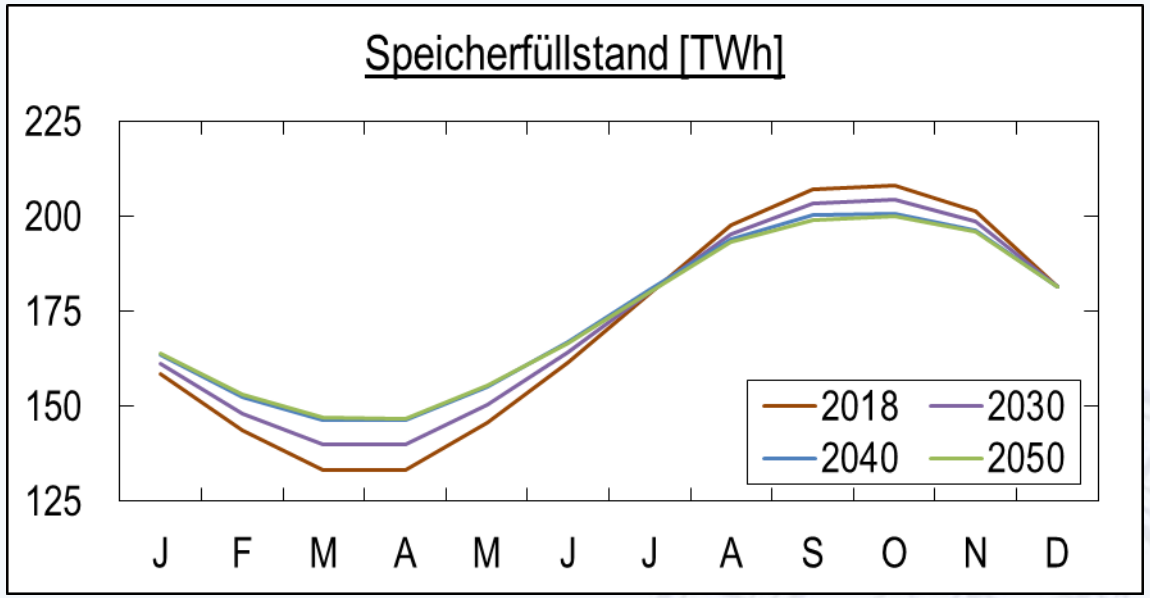
Power-to-Hydrogen
- PEM
- SOEC
- partielle Reformierung

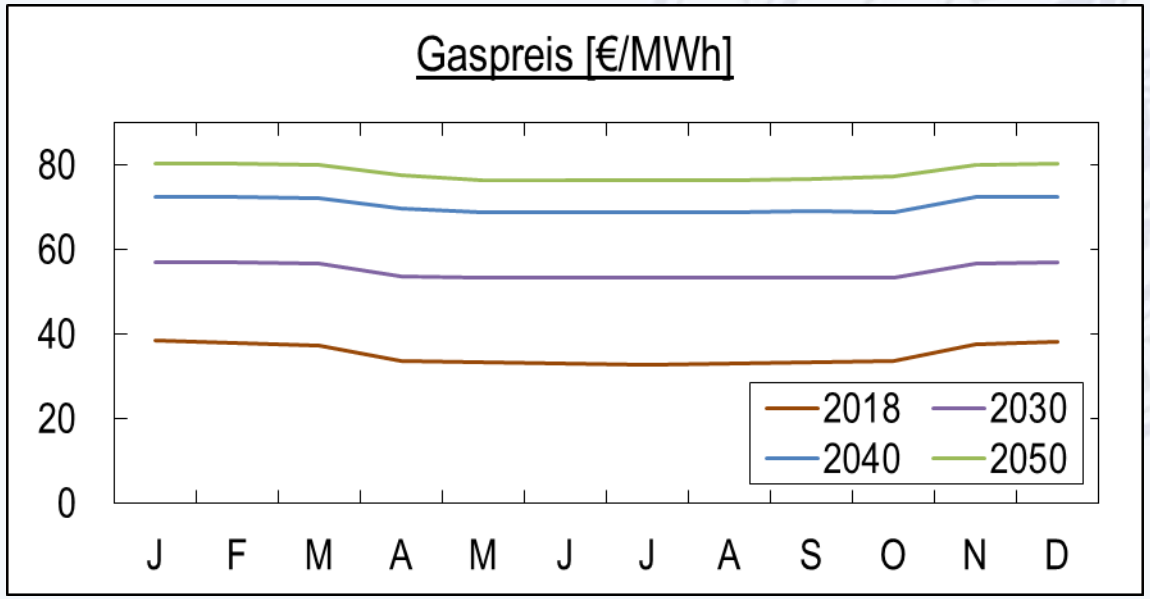
FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

ii) Modellaufbau – Einsatzplanung

- Ziel: Marktverhalten (Preis) abhängig von der jeweiligen (Simulations-)Situation abbilden, z.B.
  - Stand Anlagenausbau
  - Entwicklung äußerer Einflüsse (Gaspreise fossil, Biomassepreise, Nachfrage,…)
  - unter Berücksichtigung des typischen Gasspeicherverhaltens
- Ansatz: nichtlineare Optimierung
- Zielfunktion: Maximierung der Konsumentenrente KR über das kommende Jahr unter Variation des monatlichen Gaspreises $P_{Gas,m}$ und Speichereinsatzes Sp_m

$$\max_{P_{Gas,m}, Sp_m} \left(KR\left(P_{Gas,m}, Sp_m\right) \right)$$



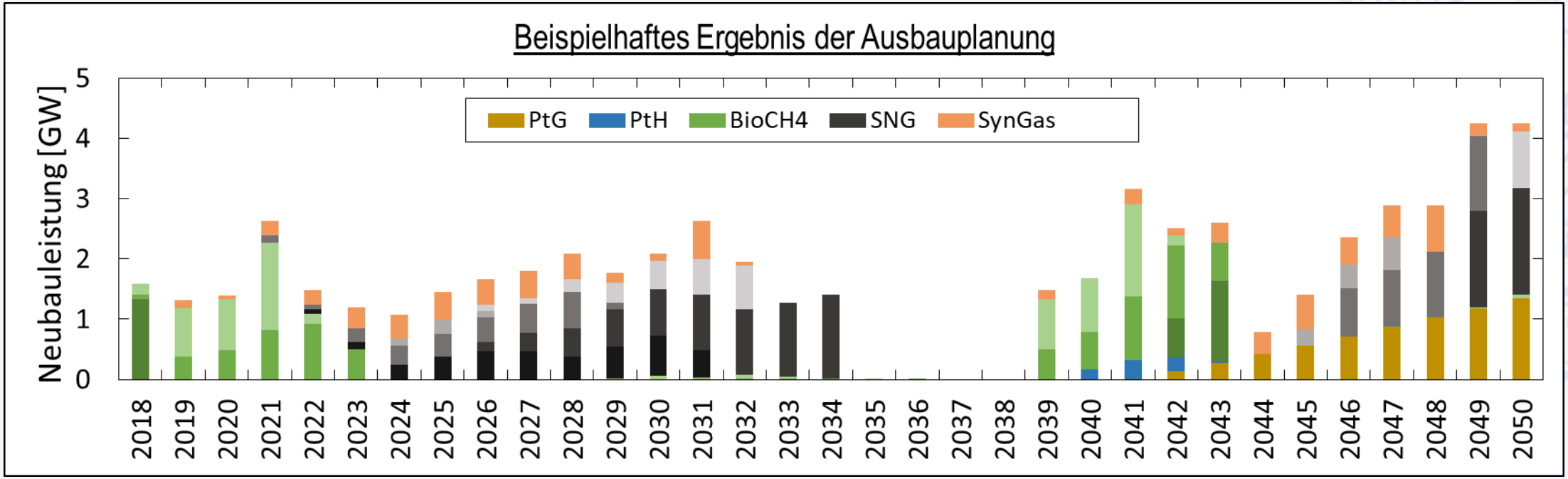


FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

ii) Modellaufbau – Ausbauplanung

- Ziel: Zubauentscheidungen abhängig von der jeweiligen (Simulations-)Situation abbilden, z.B.
  - simulierte (historische & prognostizierte) Performance der Anlagen
  - Entwicklung äußerer Einflüsse (Gaspreise fossil, Biomassepreise, Nachfrage,…)
- Ansatz: gemischt ganzzahlig lineare Optimierung
- Zielfunktion: Minimierung der Gesamtkosten über den gesamten Betrachtungszeitraum

$$\min(C_{ges}) = \min(C_{var} + C_{invest} + C_{oper} + C_{fossil} + C_{CO_2})$$



FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

iii) Ergebnisse – Szenarienwahl

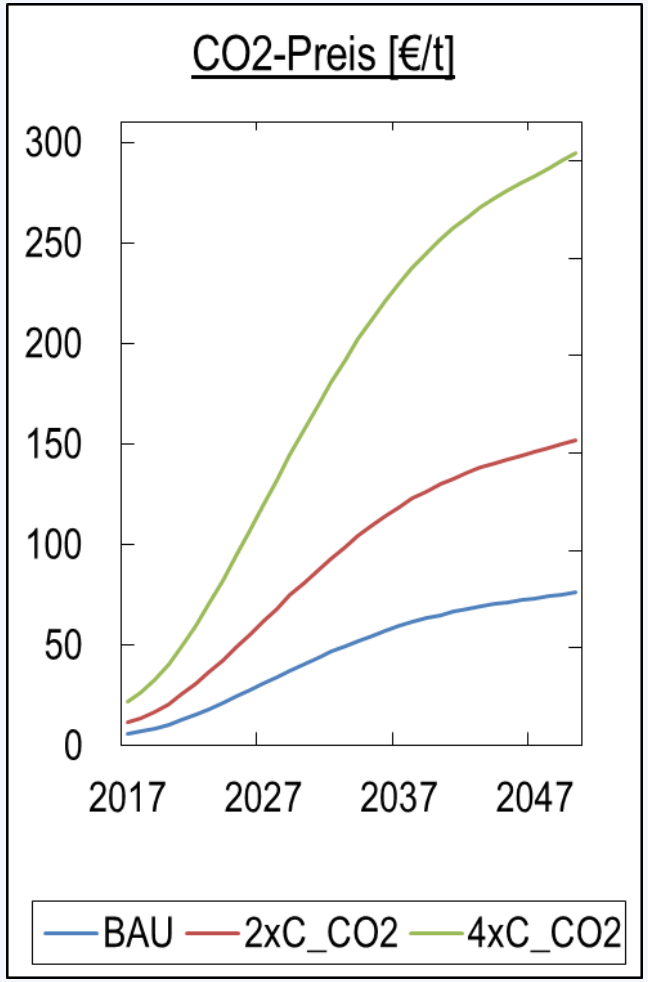
- Reminder: Kernfrage: Welche Auswirkungen können unterschiedliche Förderstrategien und -höhen auf die Entwicklung des Gasmarktes haben?

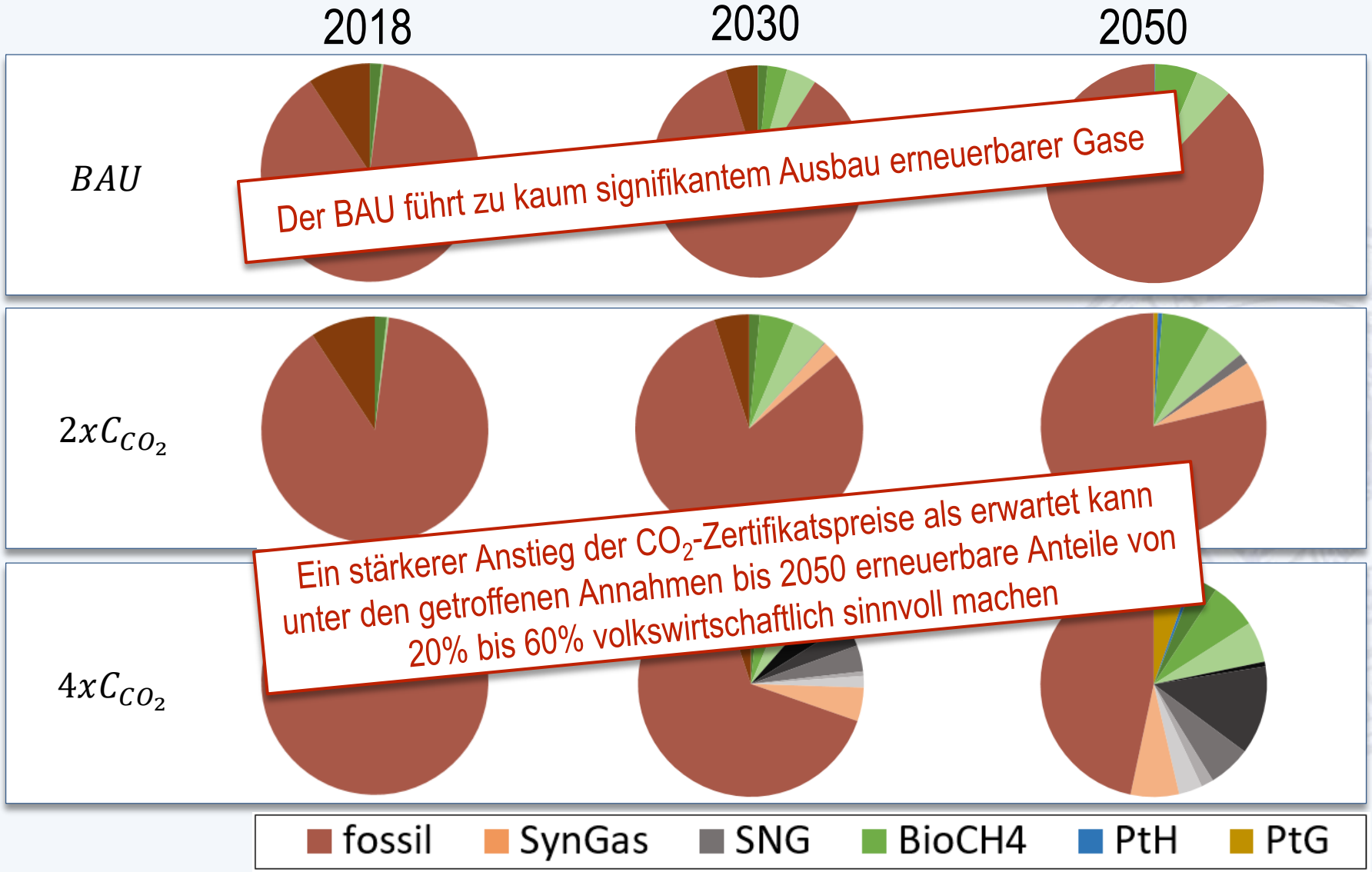
		Förderstrategien (EVT)				
		Business as Usual (BAU)	CO_2-Zertifikate	Penalisierung fossiles Gas	Investitions-förderung	landwirtschaftl. Förderung
Biomassepotenziale (GEO)	Sustainable			10% 25%		5% 7,5%
	Myopic		x2 x3 x4	50% 100% 200%	15% 25% 50%	15% 25%

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

iii) Ergebnisse – Fördermethode CO_2-Zertifikate

- Gasproduktion:





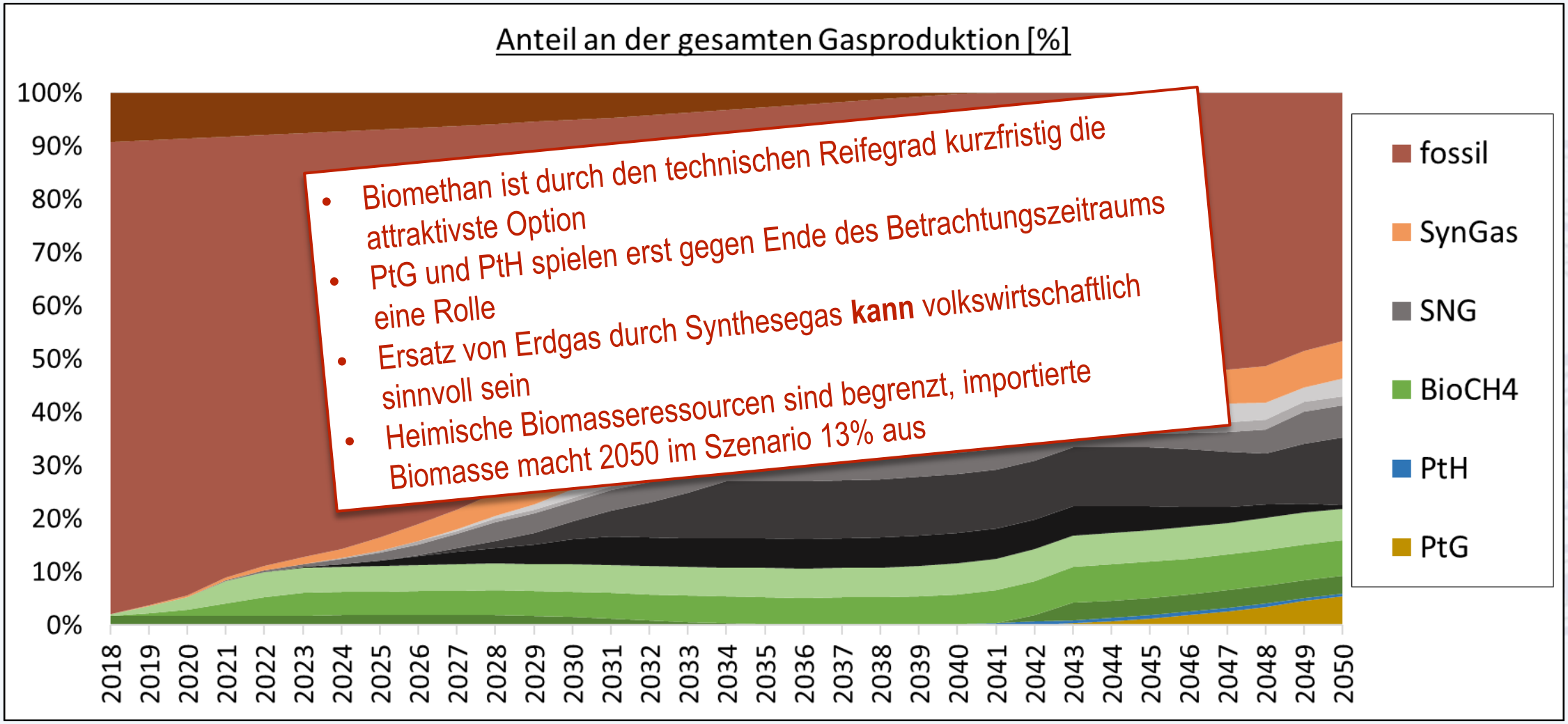
Der BAU führt zu kaum signifikantem Ausbau erneuerbarer Gase

Ein stärkerer Anstieg der CO_2-Zertifikatspreise als erwartet kann unter den getroffenen Annahmen bis 2050 erneuerbare Anteile von 20% bis 60% volkswirtschaftlich sinnvoll machen

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

iii) Ergebnisse – Fördermethode CO_2-Zertifikate

- Entwicklung der Gasproduktion am Beispiel "$4xC_{CO_2}$"

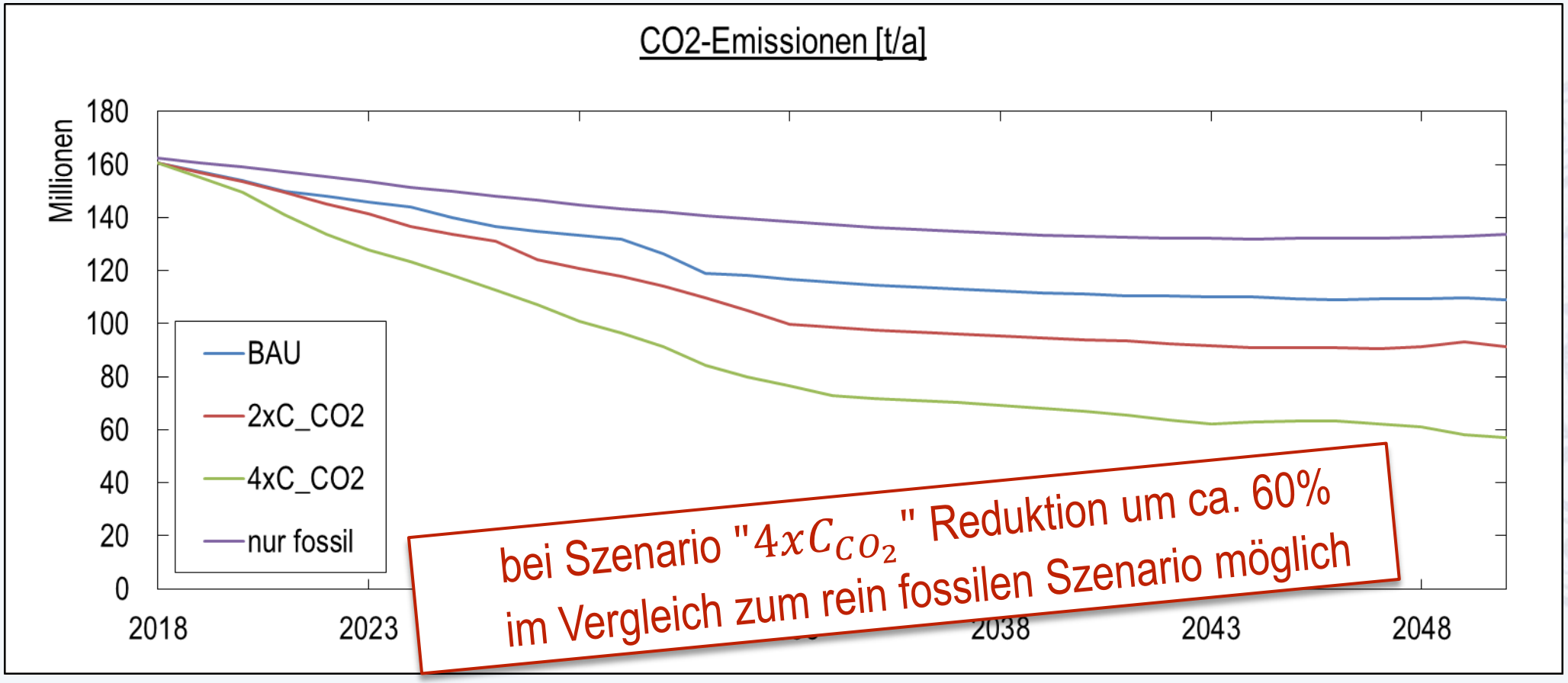


- Biomethan ist durch den technischen Reifegrad kurzfristig die attraktivste Option
- PtG und PtH spielen erst gegen Ende des Betrachtungszeitraums eine Rolle
- Ersatz von Erdgas durch Synthesegas **kann** volkswirtschaftlich sinnvoll sein
- Heimische Biomasseressourcen sind begrenzt, importierte Biomasse macht 2050 im Szenario 13% aus

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

iii) Ergebnisse – Fördermethode CO_2-Zertifikate

- Entwicklung der CO_2-Emissionen: Vergleich der Szenarien und der Deckung des Bedarfs durch ausschließlich fossiles Erdgas

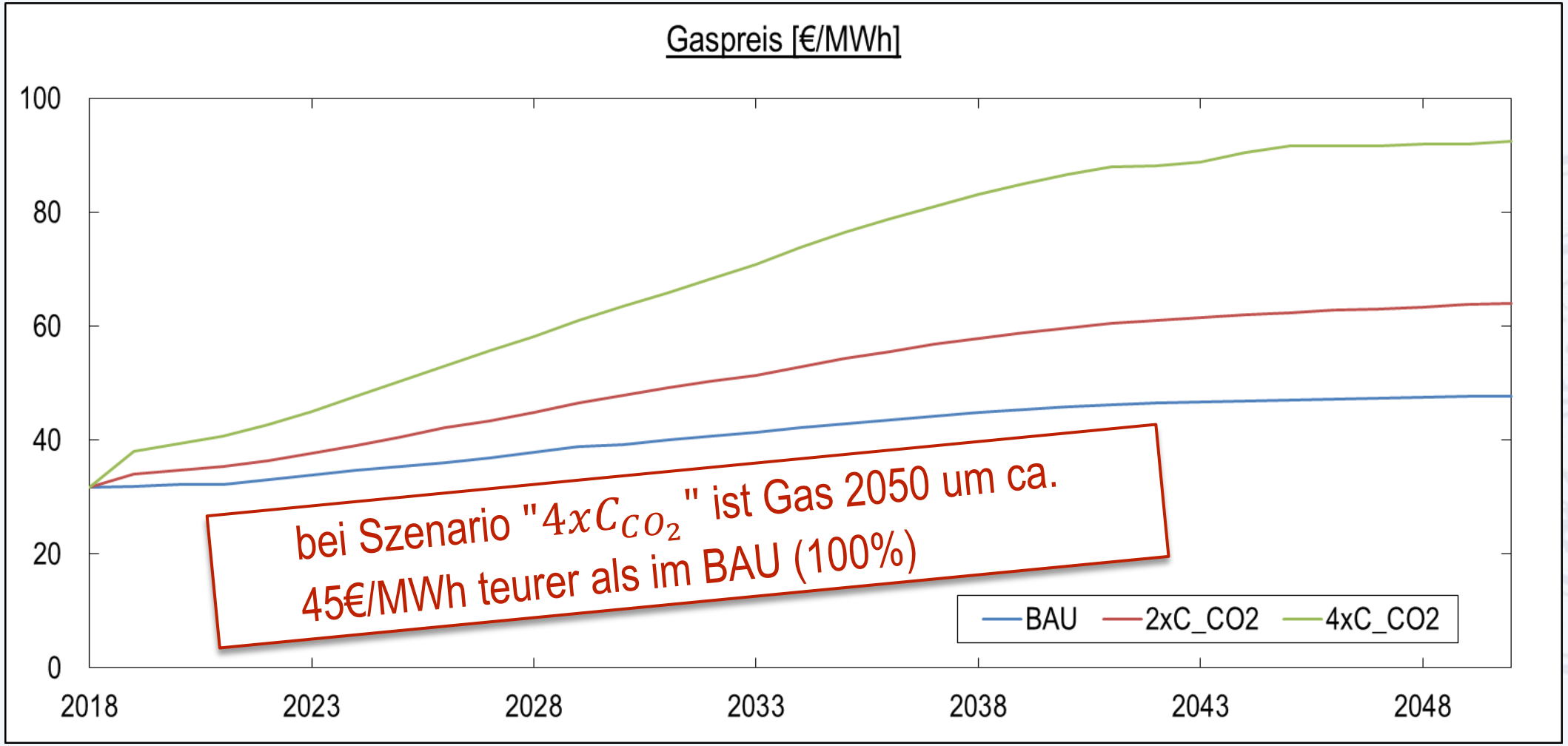


bei Szenario "$4xC_{CO_2}$" Reduktion um ca. 60% im Vergleich zum rein fossilen Szenario möglich

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

iii) Ergebnisse – Fördermethode CO_2-Zertifikate

- Entwicklung des resultierenden Gaspreises:

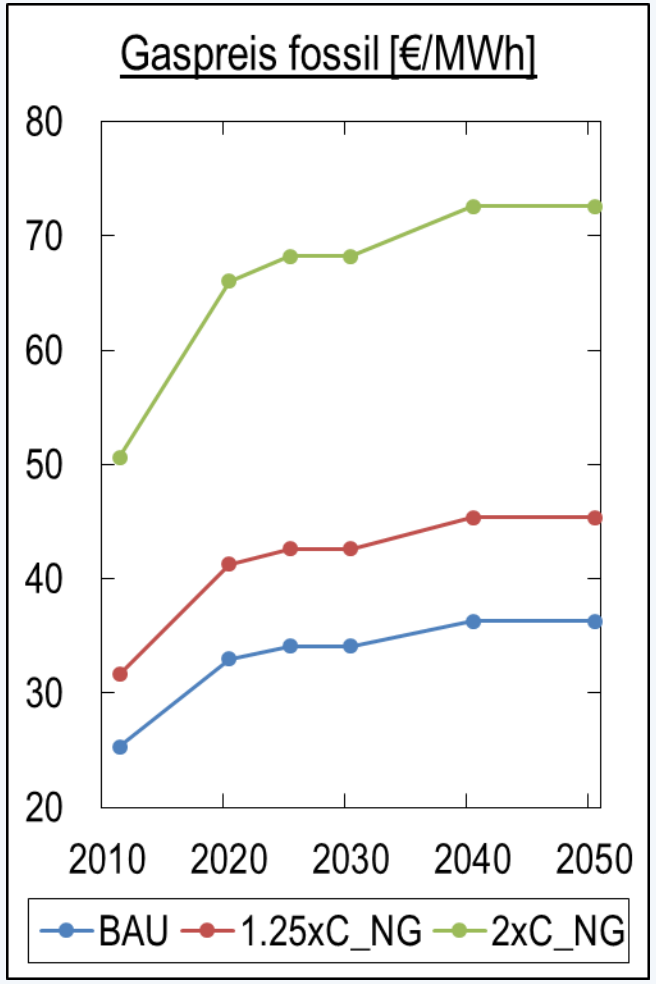


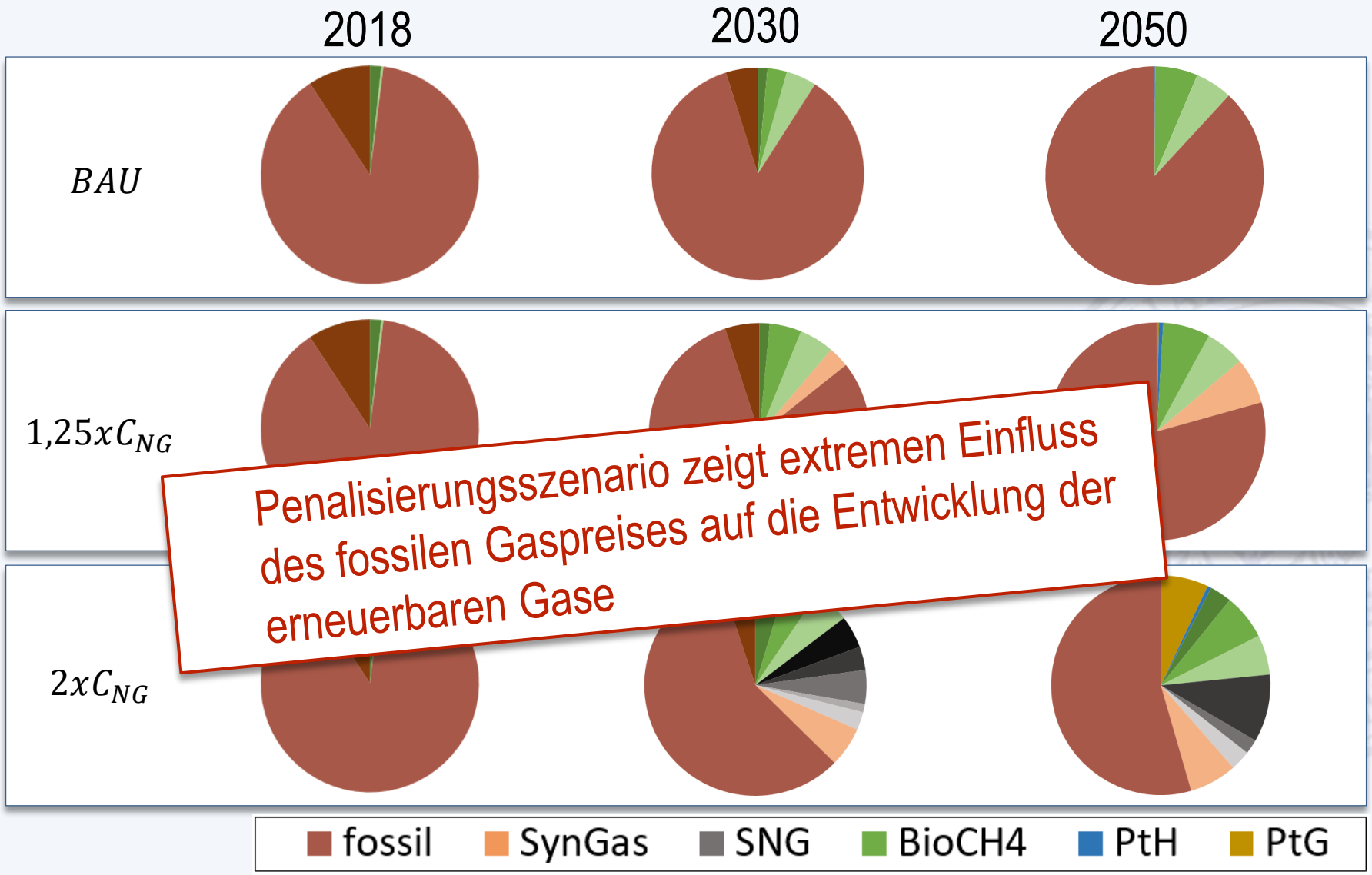
bei Szenario "$4xC_{CO_2}$" ist Gas 2050 um ca. 45€/MWh teurer als im BAU (100%)

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

iii) Ergebnisse – Fördermethode Penalisierung fossiles Gas

- Gasproduktion:





Penalisierungsszenario zeigt extremen Einfluss des fossilen Gaspreises auf die Entwicklung der erneuerbaren Gase

iv) Fazit – Kernaussagen

- Angesichts der Bedeutung von Erdgas sind Klimaziele ohne erneuerbare Gase schwer zu erreichen
- Mit den aktuellen Rahmenbedingungen ist kaum signifikanter Zubau erneuerbarer Gase zu erwarten (fossiles Erdgas ist zu günstig)
- Biomethan als kurzfristige Technologie, PtG und PtH als langfristiger Beitrag zu erneuerbaren Gasen
- Ersatz von Erdgas durch Synthesegas in Teilen der Industriebetrieben ist volkswirtschaftlich sinnvoll
- Die Erreichung der Klimaziele auf dem Gassektor ist als rein deutsche Lösung schwer zu erreichen (erforderliches Potenzial)
- Alleinige Investitions-/Brennstoffförderung zeigte sich als kaum wirksam

FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

… für weitere Ergebnisse und interdisziplinäre Betrachtung

Einladung zum Projektabschlussworkshop

„Grünes Gas? Eine interdisziplinäre Wertung erneuerbarer Gase für die Energiewende“

Datum: 16. bis 17. Mai 2019

Ort: Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik in Nürnberg

Anmeldung unter www.sustainablegas.de/workshop