

MODELLGESTÜTZTE ANALYSE DES TREIBHAUSGASREDUKTIONSPOTENZIALS DER DEUTSCHEN PAPIERINDUSTRIE

15.02.2018 | PETER LOPION, DANIEL KLÜH, PETER MARKEWITZ,
MARTIN ROBINIUS, DETLEF STOLTEN

p.lopion@fz-juelich.de

AGENDA

- Motivation und Zielsetzung
- Modellierungsansatz
- Alternative Prozesstechnologien
- Lastmanagement in der Holzstofferzeugung
- Zusammenfassung und Ausblick

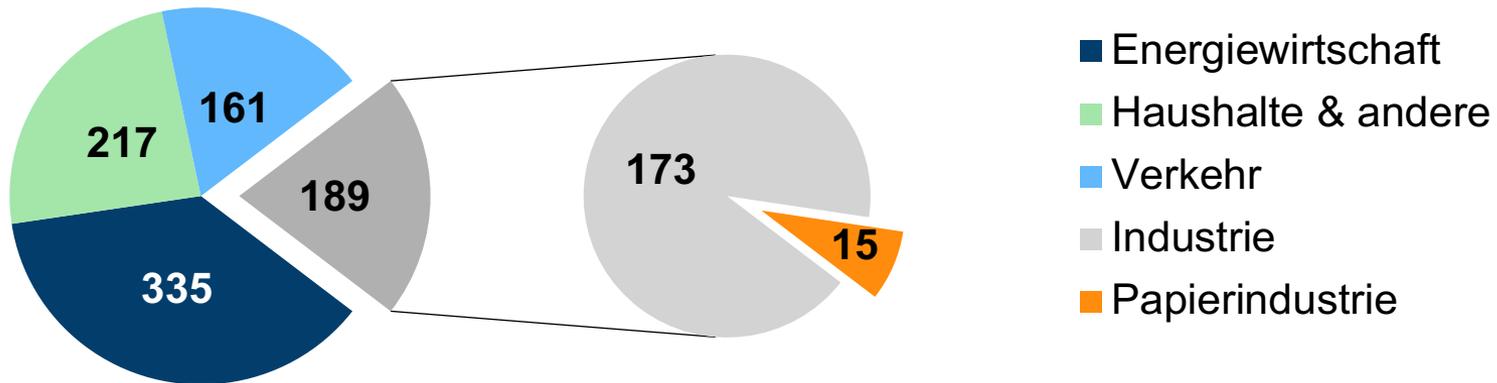
AGENDA

- **Motivation und Zielsetzung**
- Modellierungsansatz
- Alternative Prozesstechnologien
- Lastmanagement in der Holzstofferzeugung
- Zusammenfassung und Ausblick

MOTIVATION UND ZIELSETZUNG

Motivation

Treibhausgasemissionen in Deutschland 2015 in $\text{Mt}_{\text{CO}_2\text{-}\ddot{\text{a}}\text{q}}$
[1, 2]



Ziel der deutschen Bundesregierung

→ Reduktion der Treibhausgasemissionen im Industriesektor um 49-51% bis 2030 (im Vergleich zu 1990) [3]

[1] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen>

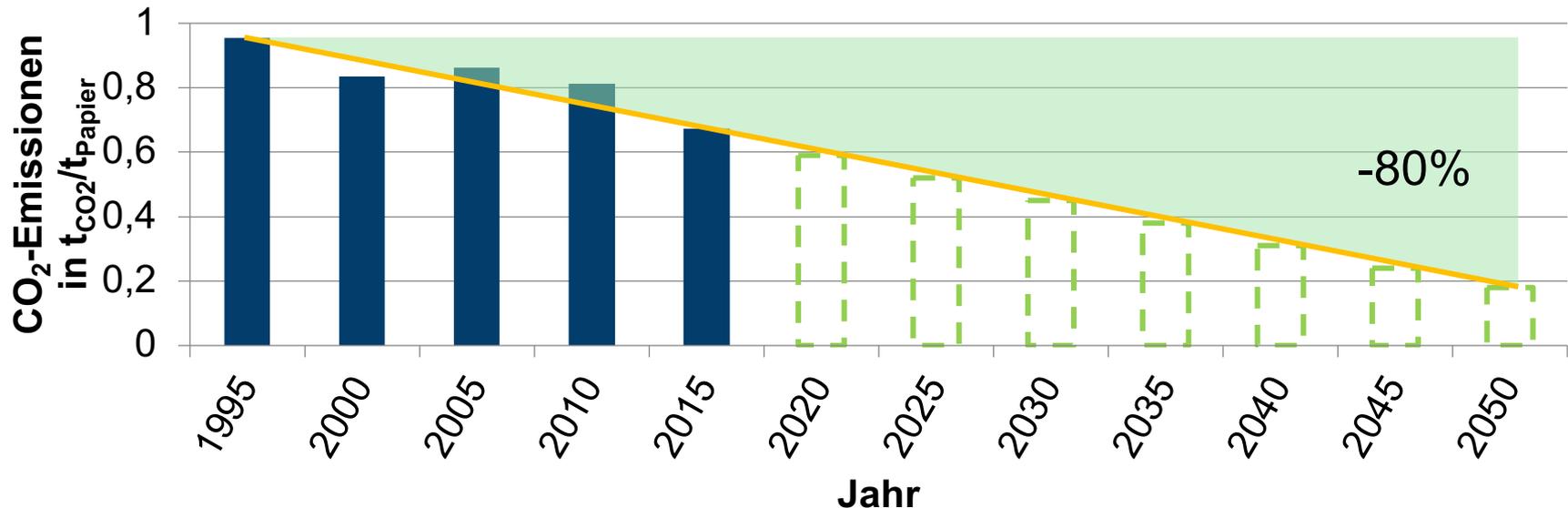
[2] Ein Leistungsbericht. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken; 2017.

[3] BMUB: Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin. 2016

MOTIVATION UND ZIELSETZUNG

Zielsetzung

CO₂-Emissionen pro Tonne Papier



Reduktion der CO₂-Emissionen

- Identifikation von alternativen, effizienten Prozesstechnologien
- Einbindung regenerativer Energien in der Strom- und Wärmebereitstellung
- Flexibilisierung der Energienachfrage zur Reaktion auf die Einspeisung Erneuerbarer Energien

[1] Ein Leistungsbericht. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken; 2017.

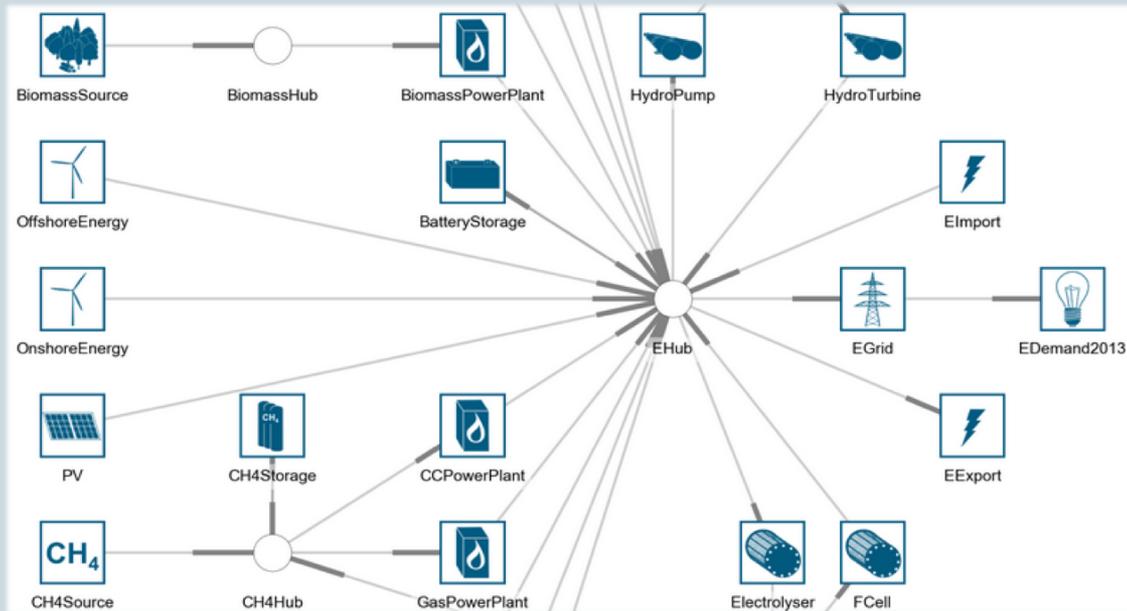
AGENDA

- Motivation und Zielsetzung
- **Modellierungsansatz**
- Alternative Prozesstechnologien
- Lastmanagement in der Holzstofferzeugung
- Zusammenfassung und Ausblick

MODELLIERUNGSANSATZ

Modellumgebung

Netzwerk aus definierten **Knoten**
(Quellen, Senken, Transformatoren, Speicher,
Sammelknoten) und **Kanten**
(Energie- und Massenströme)



Kostenoptimierung

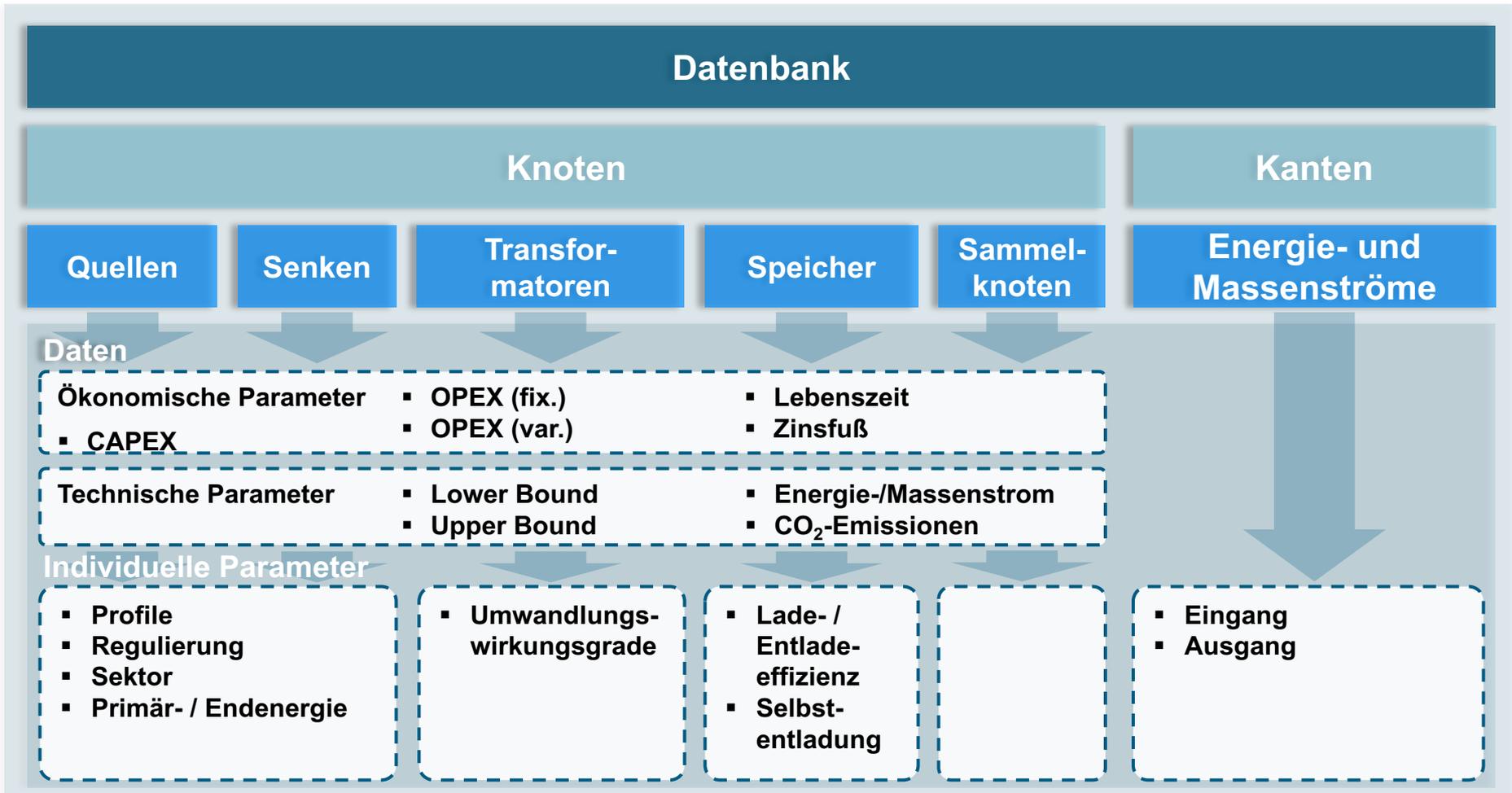
Lineares Gleichungs- system (LP)

- Datenaufbereitung
- Zielfunktion
- Nebenbedingungen
- Visualisierung

→ **Kostenminimales
Gesamtsystem**

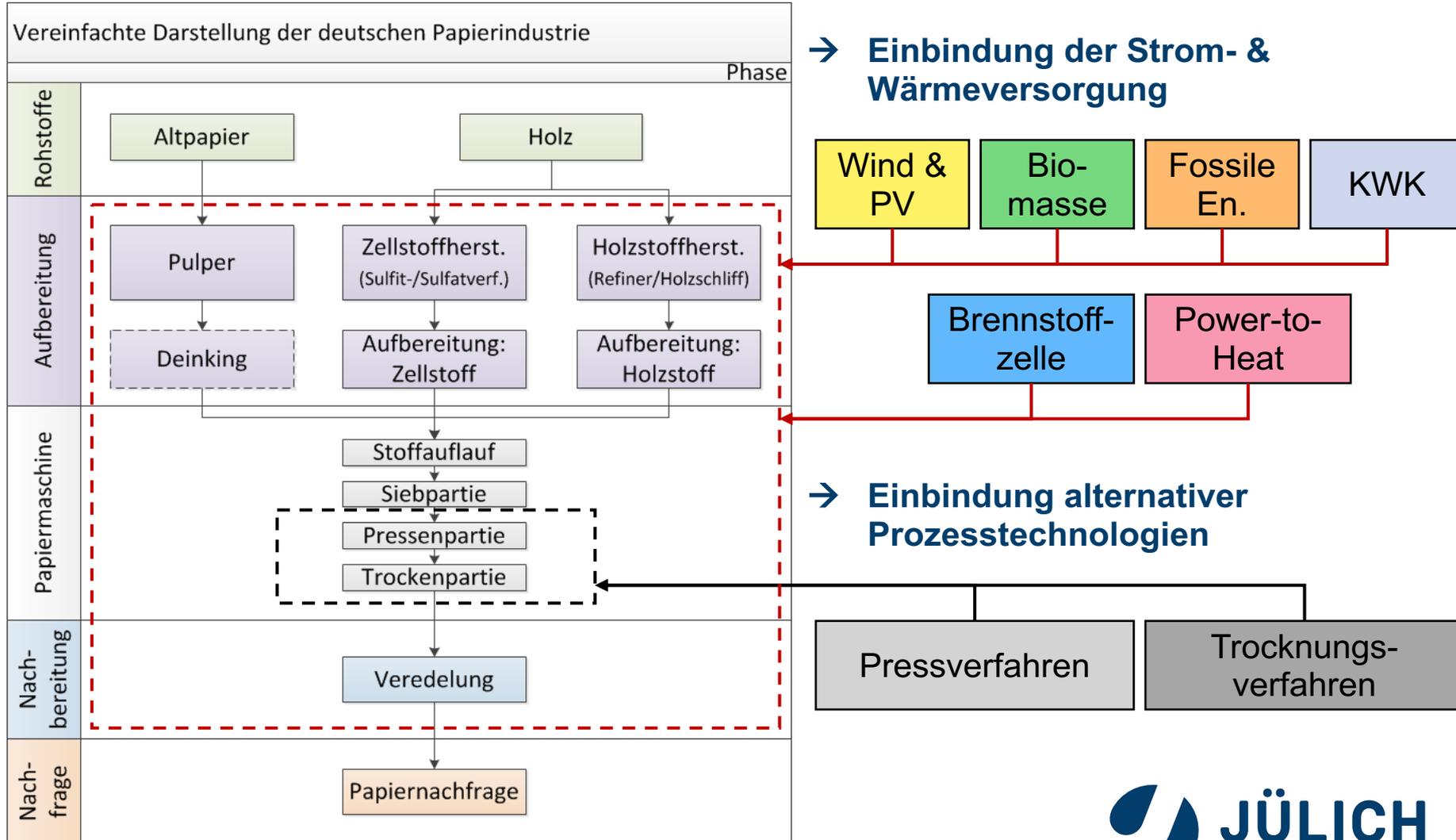
MODELLIERUNGSANSATZ

Modellumgebung



MODELLIERUNGSANSATZ

Abbildung der Papierindustrie



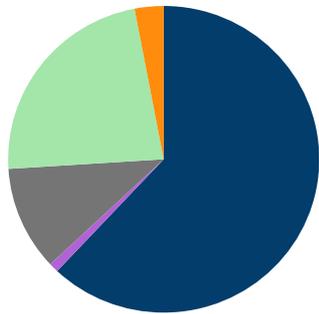
AGENDA

- Motivation und Zielsetzung
- Modellierungsansatz
- **Alternative Prozesstechnologien**
- Lastmanagement in der Holzstofferzeugung
- Zusammenfassung und Ausblick

ALTERNATIVE PROZESSTECHNOLOGIEN

Übersicht

Brennstoffmix [1]



- Gas
- Heizöl
- Kohle
- Biomasse
- Sonstige

Verteilung des Strom- und Wärmeeinsatzes [1]

>80% des Energie-
bedarfs in Pressen- und
Trockenpartie der
Papiermaschine

Alternative, effizientere Press- und Trocknungsverfahren

- Gasbefeuerte Trocknung
- Condebelt Trocknung
- Dampfpralltrocknung
- Impulstrocknung
- Displacement Pressing

Zielsetzungen

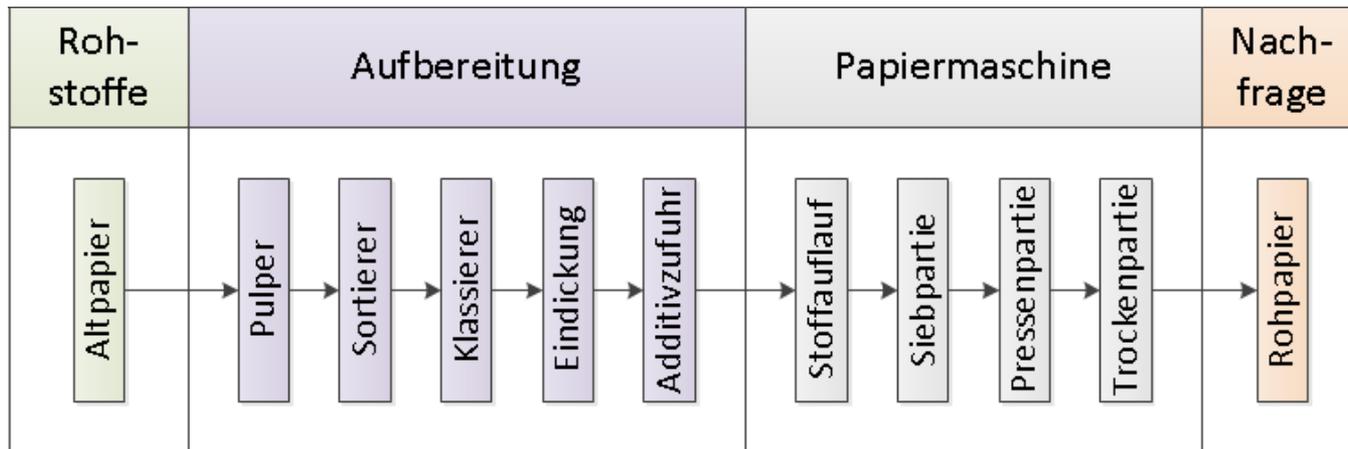
- Ersetzen konventioneller Technologien in der Pressen- und Trockenpartie
- Vergleich unterschiedlicher Technologieoptionen
- Reduktion des Strom- und Wärmebedarfs
- Reduktion der Treibhausgasemissionen

[1] Bleichschmidt, Jürgen (Hg.). *Taschenbuch der Papiertechnik*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2013.

ALTERNATIVE PROZESSTECHNOLOGIEN

Anlegbare Kosten

Bestimmung anlegbarer Kosten über **Referenzanlage**



- Brennstoff: **Erdgas**
Produktionsmenge: **250.000 t/a**
Spezifischer Energieverbrauch:
▪ Strom: **525 kWh/t**
▪ Wärme: **1.678 kWh/t**

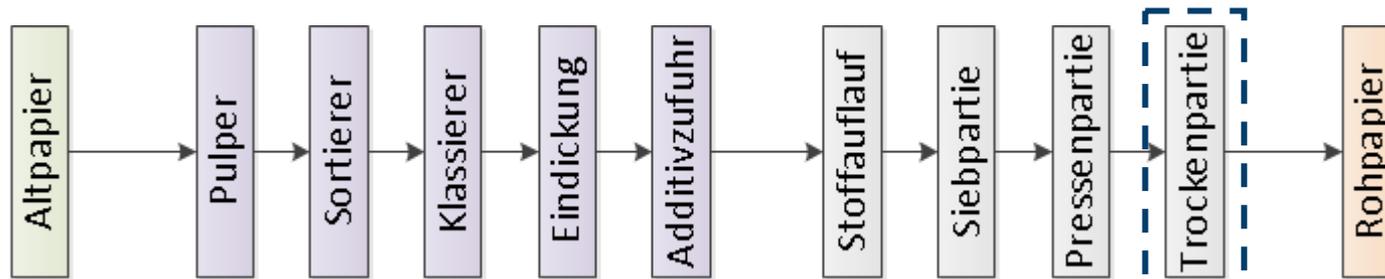
→ Wirtschaftlich rationale Investition, wenn:

| | | |
|---------------------------|-------------|-------------------------------------|
| Technologiekosten* | < | Energiebereitstellungskosten |
|---------------------------|-------------|-------------------------------------|

* Zur Übertragbarkeit auf andere Anlagen:
Angabe in Euro pro jährlich produzierter Tonne Papier

ALTERNATIVE PROZESSTECHNOLOGIEN

Press- und Trocknungstechnologien (1/2)



Gasbefeuerte Trocknung

Energieeinsparpotenzial:
10-20% (Wärme)

Anlegbare Kosten:
323 €/t_{Papier}

Condebelt Trocknung

Energieeinsparpotenzial:
10-25% (Strom & Wärme)

Anlegbare Kosten:
572 €/t_{Papier}

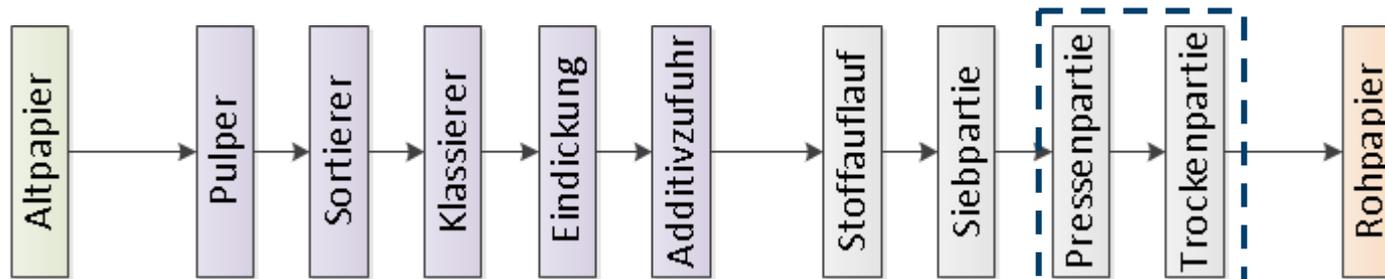
Dampfpralltrocknung

Energieeinsparpotenzial:
15-25% (Strom & Wärme)

Anlegbare Kosten:
577 €/t_{Papier}

ALTERNATIVE PROZESSTECHNOLOGIEN

Press- und Trocknungstechnologien (2/2)



Impulstrocknung

Energieeinsparpotenzial:
<35% (Wärme); Strombedarf: +5-10%

Anlegbare Kosten:
788 €/t_{Papier}

Displacement Pressing

Energieeinsparpotenzial:
<30% (Wärme)

Anlegbare Kosten:
1.054 €/t_{Papier}

ALTERNATIVE PROZESSTECHNOLOGIEN

Zwischenfazit

Energie- und CO₂-Einsparpotenzial der deutschen Papierindustrie
(gemessen am aktuellen Brennstoffmix)

Δ CO₂-Emissionen (Mt/a)

-1,7

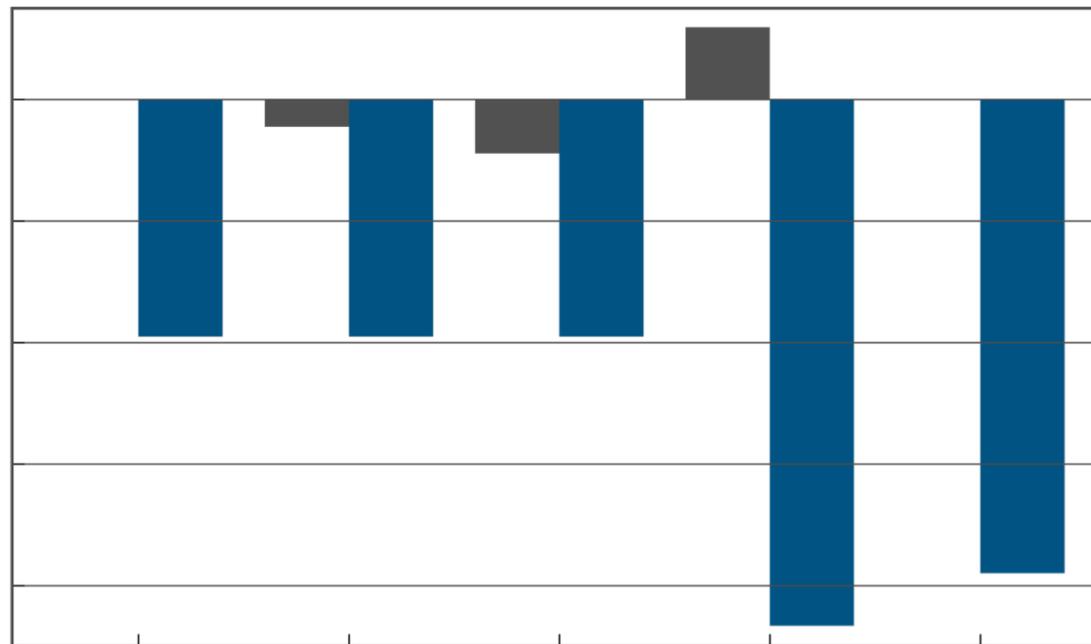
-2,0

-2,3

-3,2

-3,5

Einfluss auf Endenergiebedarf (TWh/a)



■ Wärme
■ Strom

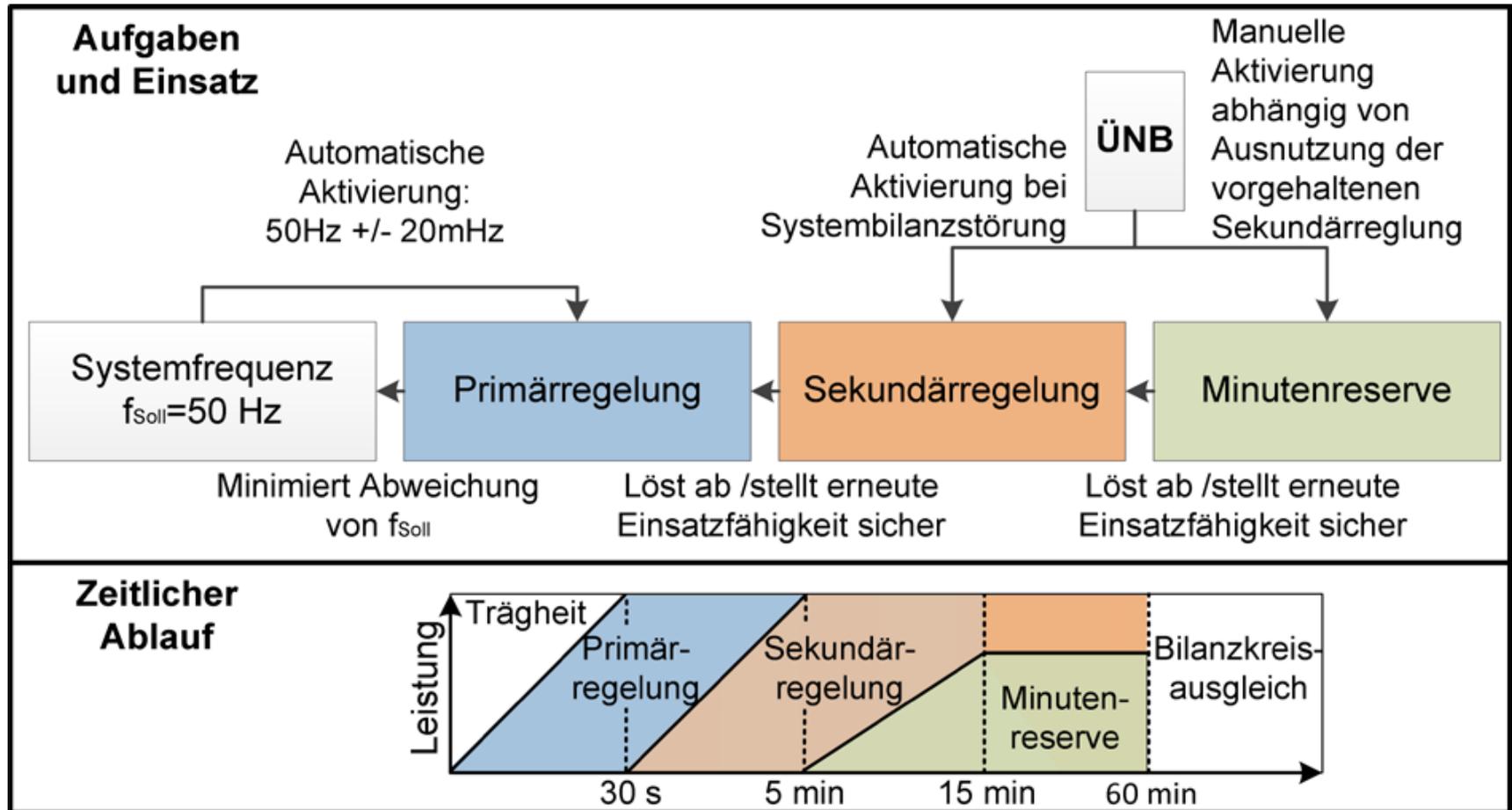
Gasbefeuerte Trocknung Condebelt Trocknung Dampfprall-trocknung Impulse Trocknung Displacement Pressing

AGENDA

- Motivation und Zielsetzung
- Modellierungsansatz
- Alternative Prozesstechnologien
- **Lastmanagement in der Holzstofferzeugung**
- Zusammenfassung und Ausblick

LASTMANAGEMENT IN DER HOLZSTOFFERZEUGUNG

Grundlage

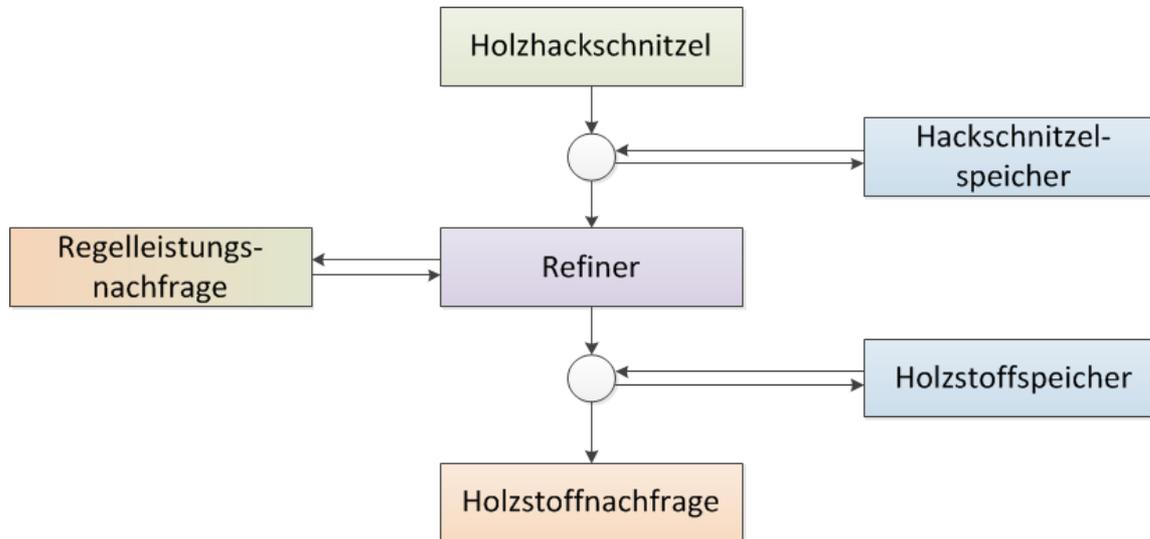


[1] Robinius M. Strom- und Gasmarktdesign zur Versorgung des deutschen Straßenverkehrs mit Wasserstoff. Jülich: Forschungszentrum, Zentralbibliothek; 2015.

LASTMANAGEMENT IN DER HOLZSTOFFERZEUGUNG

Modellansatz

Lastmanagementuntersuchung über **Referenzanlage**



Holzstoffnachfrage: **17,5 t/h**

Potenzieller Produktionsprozess zum

Einsatz von Lastmanagement: **Refiner**
Installierte Anlagenleistung: **50,00 MW**
Leistung im Normalbetrieb: **43,75 MW**
Spezifischer Stromverbrauch: **2,5 MWh/t_{Papier}**

Angebote Produkte:

**Positive und negative
Minutenregelleistung (MRL)**

Gebotsabgabe für 2017*:

Pos. Leistungspreis: **30 €/MW**

Neg. Leistungspreis: **10 €/MW**

Arbeitspreis: **0 €/MWh****

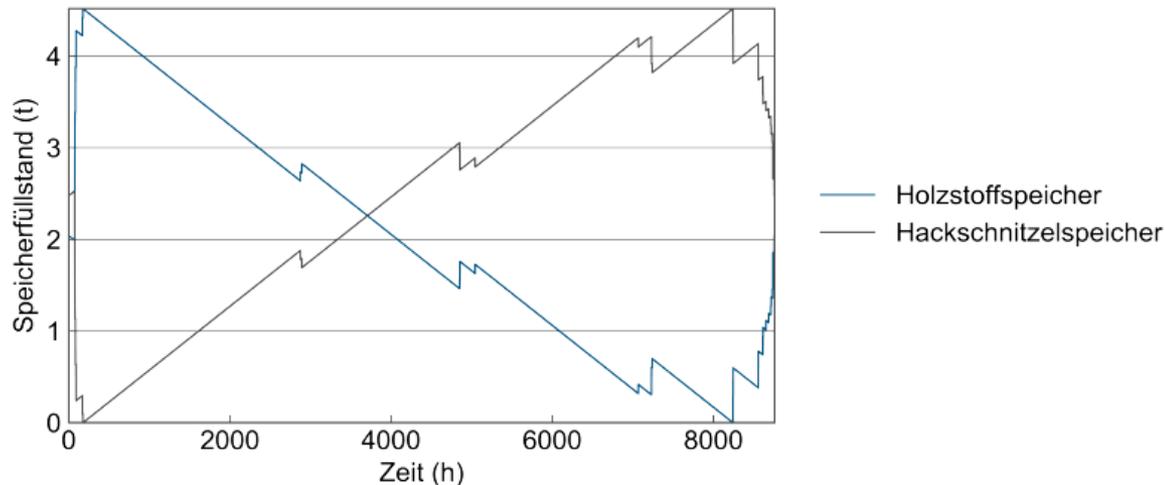
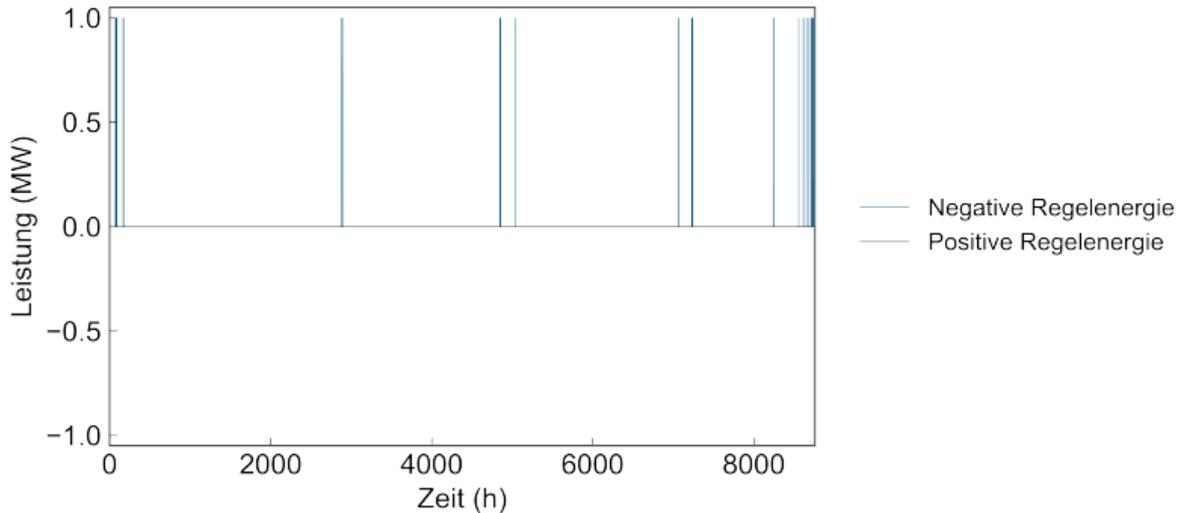
Regelzone: **Amprion**

* Empirisch bestimmtes Optimum für 2017; konstant über das Jahr

** Keine Abrufung bei Arbeitspreisen > 0 €/MWh

LASTMANAGEMENT IN DER HOLZSTOFFERZEUGUNG

Ergebnisse der Minutenregelleistung 2017



Modellierung mit einer zeitlichen
Auflösung von:
15 Minuten bzw.
35.040 Intervallen
(im Jahr 2017)

Vergütung 2017: **2.960 €/MW***

Speicherbedarf: **4,5 t/MW***
(Hackschnitzel & Holzstoff)

* pro angebotener Leistung
von 1 MW

LASTMANAGEMENT IN DER HOLZSTOFFERZEUGUNG

Zwischenfazit

- Vergütung für Minutenregelung
2017: 2.960 €/MW
- Aufgrund einer sinkenden Nachfrage nach Minutenregelung in Deutschland ist die Teilnahme am Regelenergiemarkt nur bedingt zu empfehlen
- Die technischen Eigenschaften von Refinern in der Papierindustrie erlauben jedoch auch die Teilnahme an weiteren Regelenergiemärkten
- Durch die Teilnahme am Sekundärregelenergiemarkt oder im Rahmen der Verordnung zu abschaltbaren Lasten (AbLaV) in Deutschland kann die Vergütung deutlich gesteigert werden

Vergütung und Speicherbedarf pro angebotener Leitung von 1MW (Regelzone: Amprion (2017)*

| Vergütungsoption | Vergütung | Speichergröße |
|------------------|-----------|---------------|
| | €/a | t |
| MRL 2013 | 55.088 | 33,6 |
| MRL 2017 | 2.960 | 4,5 |
| AbLa 2015 | 30.800 | 2,78 |

* MRL – Minutenregelung; AbLa – Schnell Abschaltbare Lasten.

AGENDA

- Motivation und Zielsetzung
- Modellierungsansatz
- Alternative Prozesstechnologien
- Lastmanagement in der Holzstofferzeugung
- **Zusammenfassung und Ausblick**

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zusammenfassung

- Entwicklung eines **Energiesystemmodells für die Papierindustrie**
- Modell ist in der Lage bei Investitionsentscheidungen in neue Technologien zu unterstützen
- Mit alternativen, effizienteren Press- und Trocknungstechnologien können bis zu **7,8 TWh** an thermischer Energie pro Jahr in Deutschland eingespart werden
- Dies entspricht einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um **3,5 Mt CO₂** pro Jahr (**2% der deutschen Industrieemissionen**)
- Refiner in der Holzstofferzeugung bieten das **Potenzial zum Demand Side Management** im Rahmen der Minutenregelleistung
- Die Teilnahme am Regelenergiemarkt kann auf abschaltbare Lasten oder Sekundärregelleistung ausgeweitet werden

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Ausblick

- Mit Hilfe von **Kostendaten** zu den untersuchten alternativen Technologien können diese als Bestandteil der Optimierung in das Modell integriert werden
- Dies ermöglicht eine **Abwägung zwischen** Investitionen in **neue Prozesstechnologien** und einem **Brennstoffwechsel** in der Energieversorgung
- Durch die Kombination von alternativen Prozesstechnologien und dem Ausbau der Energieversorgung durch Erneuerbare Energien lässt sich das Treibhausgasreduktionspotenzial weiter steigern
- Die **Erhöhung der zeitlichen Auflösung** des Modells ermöglicht die Analyse und Bewertung der Angebotsabgabe für **Sekundärregelleistung**

**VIELEN DANK FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT**

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Institute of Electrochemical Process Engineering IEK-3

