

# Methode zur erzeugungsseitigen Optimierung einer energieflexiblen Fabrikinfrastruktur mit thermischen Verbrauchern

## 11. Internationale Energiewirtschaftstagung IEWT

13. - 15.02.2019 | Wien

Stefan Roth | Fraunhofer IGCV

Stefan Roth, Fabian Krischke, Stefan Braunreuther, Gunther Reinhart (Fraunhofer IGCV)  
Stephan Carda, Christian Rieser (UPM Schongau)

GEFÖRDERT VOM

# Agenda

- 1 Einführung**
- 2 Motivation**
- 3 Stand der Wissenschaft**
- 4 Methodisches Vorgehen**
- 5 Anwendung**
- 6 Fazit und Ausblick**

# Fraunhofer IGCV

## Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV

- › **Gründung:** 1. Juli 2016
- › **Standorte:** Augsburg und Garching
- › **Leitung:** Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart  
Prof. Dr.-Ing. Klaus Drechsler  
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk

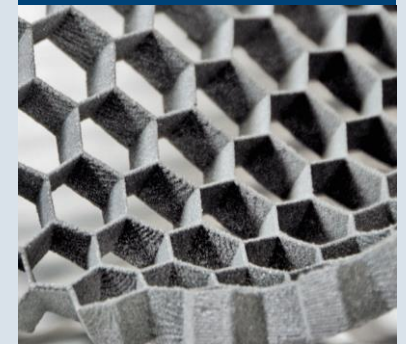
### Gießerei- technik



### Composite- technik



### Verarbeitungs- technik



# Die Energiewende



© Ismagilov – stock.adobe.com

GEFÖRDERT VOM

**KOPERNIKUS**  
SynErgie >>> PROJEKTE  
Die Zukunft unserer Energie

 Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## Pariser Übereinkommen 2015



Begrenzung der globalen Erwärmung auf deutlich unter 2°C, möglichst 1,5°C im Vergleich zum vorindustriellen Level

## Energiepolitische Ziele

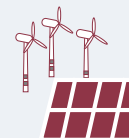


Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 bis 95 % gegenüber 1990

## Maßnahmen



Senkung des Primärenergieverbrauchs bis 2050 um 50 % ggü. 2008

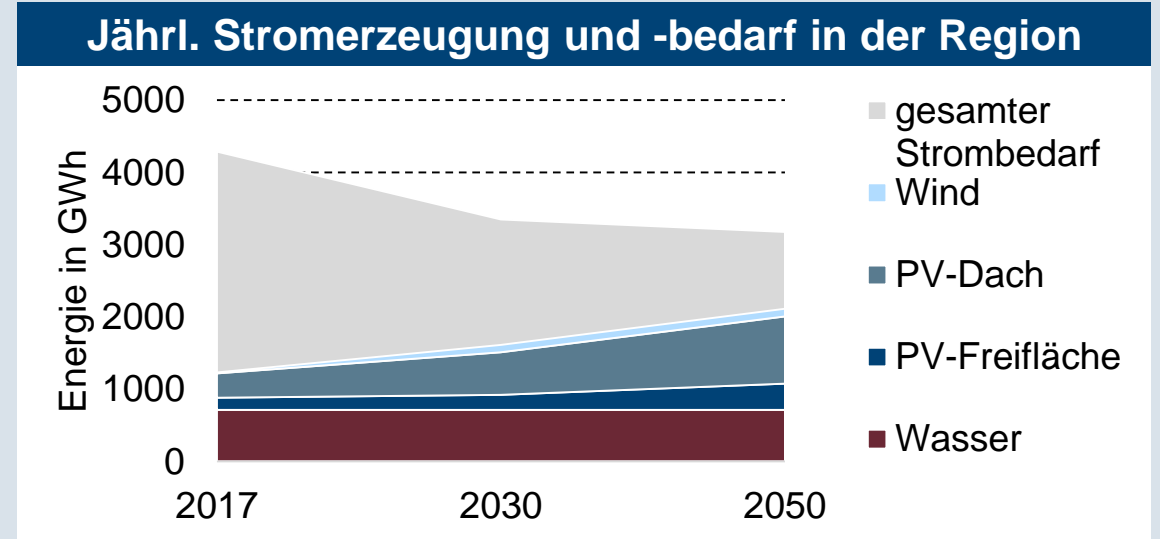
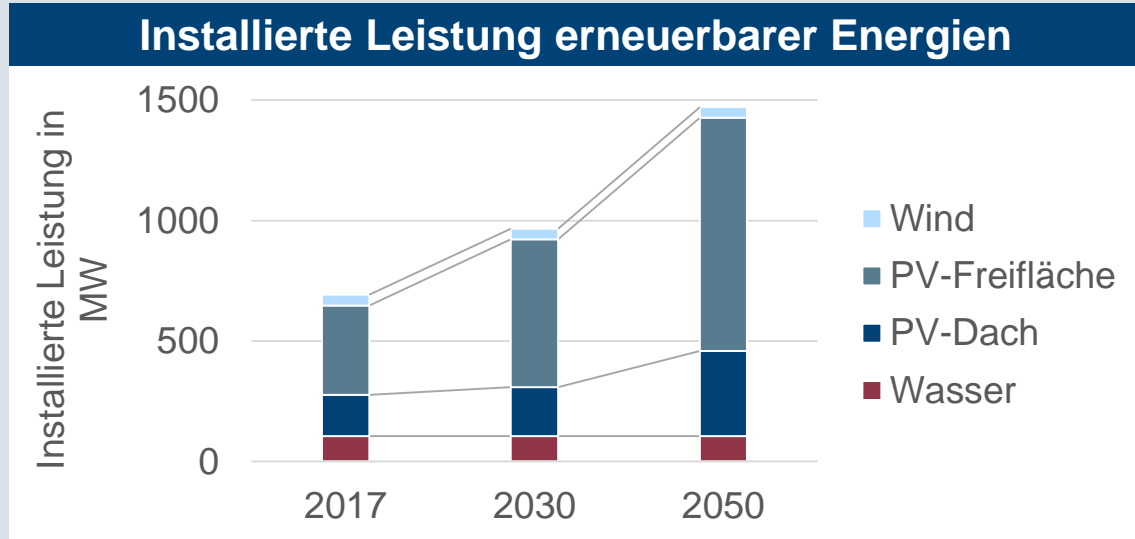


Anteil der Erneuerbaren Energien am Stromverbrauch bei 80 % bis 2050

# Agenda

- 1 Einführung
- 2 Motivation
- 3 Stand der Wissenschaft
- 4 Methodisches Vorgehen
- 5 Anwendung
- 6 Fazit und Ausblick

# Energieflexible Modellregion Augsburg im Kopernikus-Projekt SynErgie



Basierend auf demografischen Hochrechnungen  
 Datenquellen: Energieatlas Bayern,  
 Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH



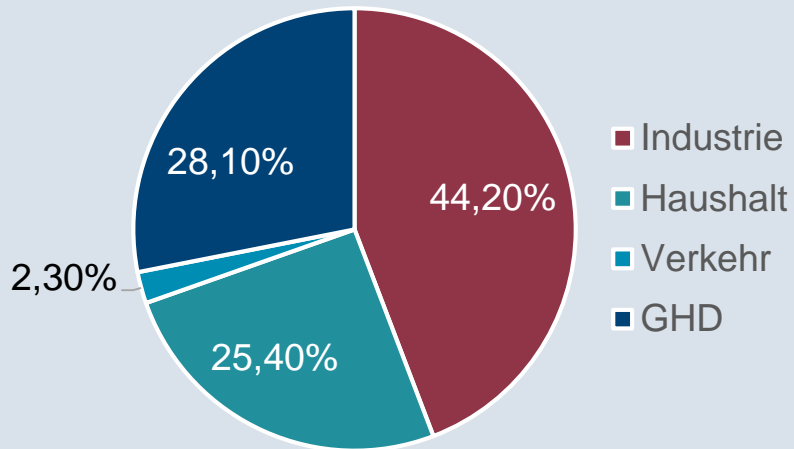
› Ausgleich der volatilen Erzeugung durch energieflexible Fabriken



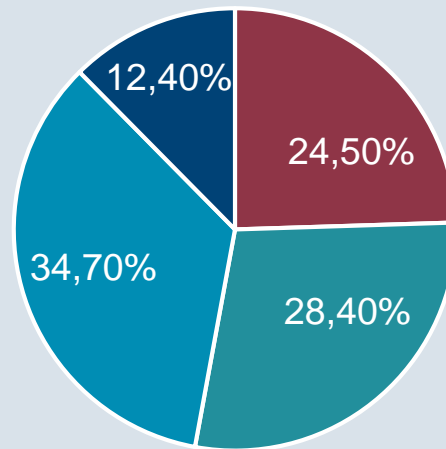
# Industrie hat den bedeutendsten Anteil an der Stromnachfrage in Deutschland

Anteil der Sektoren am Energiebedarf in Deutschland

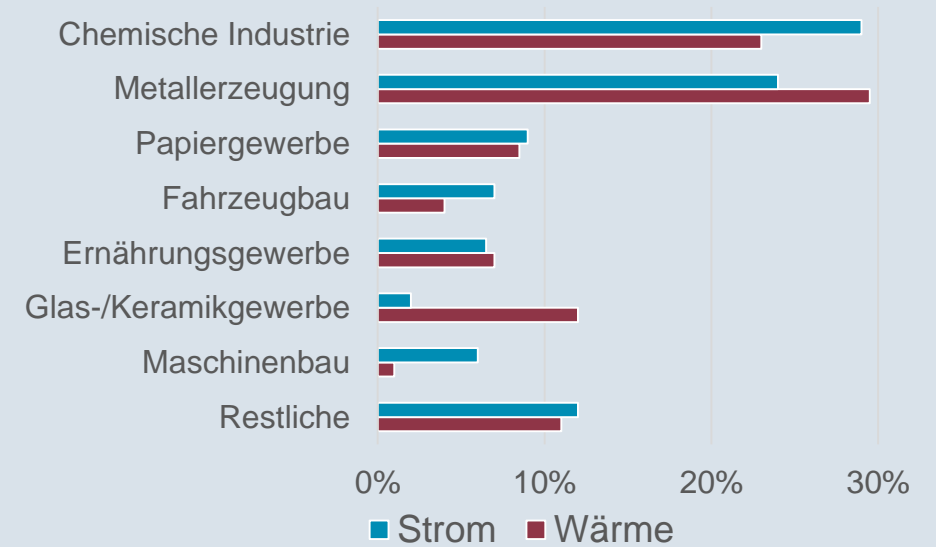
Strom (515 TWh p.a.)



Fossil, EE- & Fernwärme (2061 TWh)



Anteil des Energiebedarfs unterschiedlicher Branchen im Sektor Industrie



Quelle: Umweltbundesamt 2015

Quelle: Rohde/AGEB, 2013

# Ausgangssituation und Fragestellung

- › Bereitstellung von thermischer Energie für Produktionsprozesse erfolgt aufgrund begrenzter Transportmöglichkeiten zumeist direkt am Produktionsstandort
- › Bei Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen kann elektrische Energieflexibilität bereitgestellt werden
- › Hierbei müssen die Restriktionen des thermischen Energiebedarfs und Gegebenheiten volatiler Energiemärkte berücksichtigt werden
- › **Wie kann die energieflexible Einsatzplanung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen im industriellen Umfeld unterstützt werden?**



# Agenda

- 1 Einführung
- 2 Motivation
- 3 **Stand der Wissenschaft**
- 4 Methodisches Vorgehen
- 5 Anwendung
- 6 Fazit und Ausblick

# Erzeugungsseitige Energieflexibilität

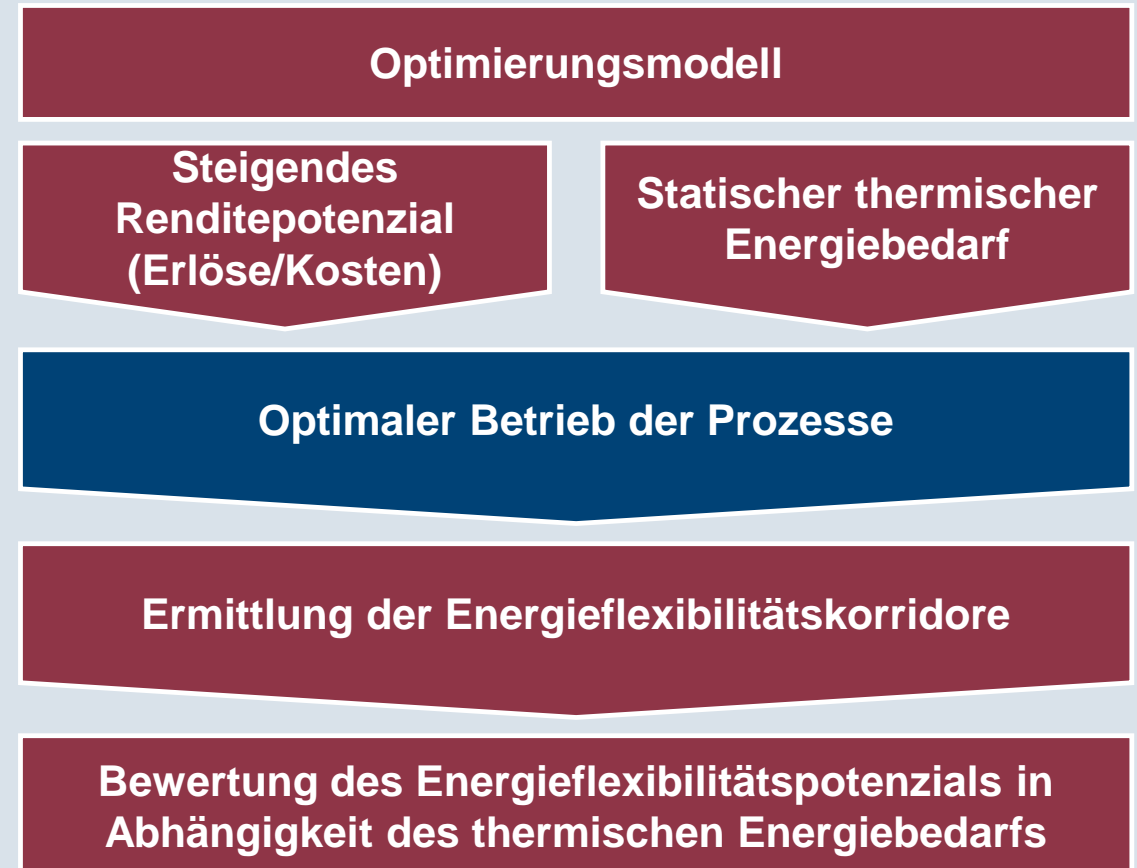
- › Helin et al. untersuchen das Potenzial des Industrial Demand Side Managements für den regulatorischen Markt (Intraday). Dabei wird ein fixer Produktionsplan eines Papierwerks mit einem optimierten Produktionsplan verglichen. (*Helin et al. 2017*)
- › In der Arbeit von Kwag et al. wird die Energieflexibilität von Erzeugungsanlagen mit Modellierung des Verhaltens der Verbraucher dargestellt. (*Kwag und Kim 2012*)
- › Marshman et al. entwickeln einen Algorithmus für die Optimierung des Energiemanagements für verschiedene Heizkraftwerke. (*Marshman et al. 2010*)
- › Kumbartzky et al. beschreiben eine mathematische Optimierung für ein Gas- und Dampfkraftwerk mit einem thermischen Energiespeicher und Modellierung der Teilnahme am deutschen Day-Ahead- und Regelleistungsmarkt. (*Kumbartzky et al. 2017*)
- › **Alleinstellungsmerkmal der Arbeit: Bestimmung und Quantifizierung der Energieflexibilität zur Bereitstellung der thermischen Energie unter Betrachtung eines Renditepotentials**

# Agenda

- 1 Einführung
- 2 Motivation
- 3 Stand der Wissenschaft
- 4 **Methodisches Vorgehen**
- 5 Anwendung
- 6 Fazit und Ausblick

# Übersicht über die Methode

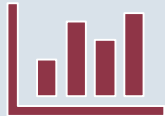
- › Optimierungsstudien mit steigendem Renditepotenzial und statischem thermischen Energiebedarf
- › Sukzessive Erhöhung des thermischen Energiebedarfs
- › Ermittlung der kostenoptimalen Lastgänge der Komponenten
- › Ermittlung der Flexibilitätskorridore und Bewertung für verschiedene thermische Bedarfe
- › **Anwendbar sofern Prognosen für Strom- und Gaspreise sowie benötigte thermische Energie verfügbar sind**



# Anforderungen an das Optimierungsverfahren



› Modellierung von komplexen Kraftwerksprozessen und unterschiedlichen Anlagenkombinationen



› Kosten und Erlösmöglichkeiten mit volatilen Energiepreisen müssen aufgenommen werden



› Ergebnis soll die kostenoptimale Betriebsweise der Kraftwerke darstellen



› Kurze Rechenzeiten zur Reaktion auf Änderungen der Energiemärkte und im Produktionsumfeld notwendig

# Auswahl des Optimierungsverfahrens

	Lineare Optimierung	Nicht lineare Optimierung	Ganzzahlige lineare Optimierung	Ganzzahlige nicht lineare Optimierung
Übertragbarkeit	○	○	●	●
Schnelligkeit	●	◐	●	○
Lösbarkeit	●	◐	●	◐

●: erfüllt ◐: teilweise erfüllt ○: nicht erfüllt

- › Übertragbarkeit: Modellierung verschiedener Prozesse/ Prozesskomponenten möglich
- › Lösbarkeit: Lösungsfindung ist in einer vertretbaren Rechenzeit möglich
- › Schnelligkeit: Rechenzeit bis zur Lösungsfindung

# Optimierungsmodell

› Optimierungsaufgabe:

$Min(x)$   
u. d. N.

$$f(x) := c^T x$$
$$b_L \leq Ax \leq b_U$$
$$x_L \leq x \leq x_U$$

$f(x)$ : Zielfunktion

$x$ : Entscheidungsvariable

$c$ : Kosten

$T$ : Zeitschritt

$x_{L,U}$ : Untere und obere Schranke der Entscheidungsvariable

$b_{L,U}$ : Unterer und oberer Funktionswert der Nebenfunktion

$A_x$ : Aussage

› Nebenfunktionen:

› Einhaltung der Energiebilanz, Massenbilanz

› Obere und untere Grenzen des Systems (z.B. maximale Turbinenleistung, maximale und minimale Temperaturen, Drücke, Volumenströme, ...)

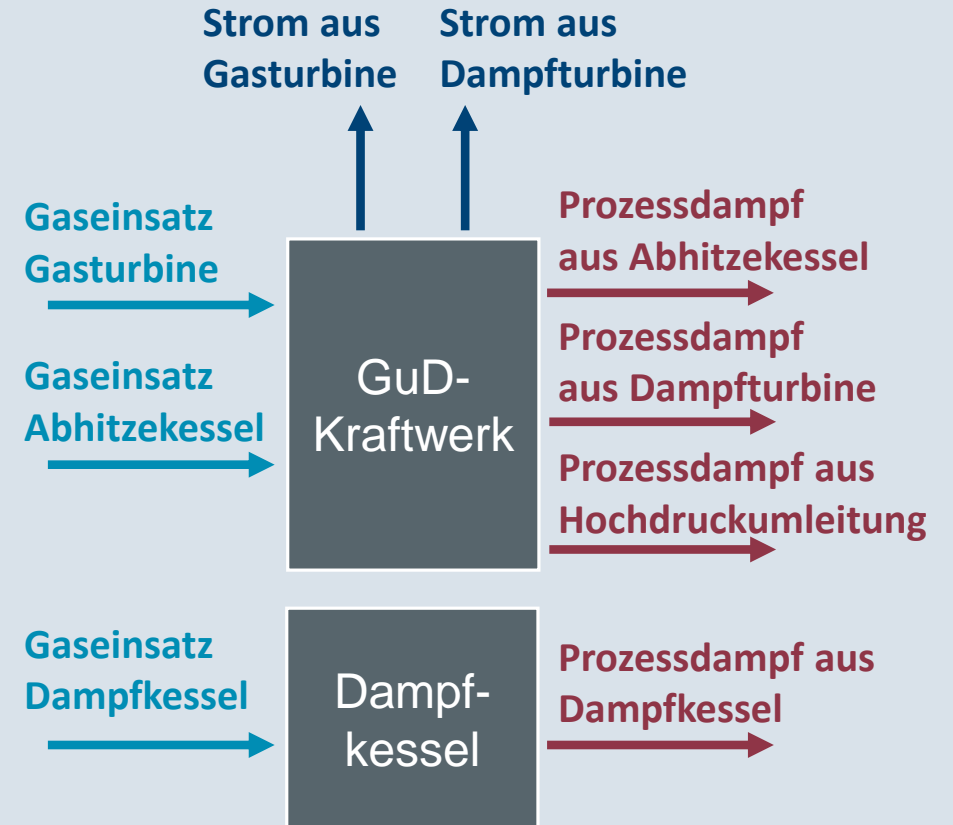
# Agenda

- 1** Einführung
- 2** Motivation
- 3** Stand der Wissenschaft
- 4** Methodisches Vorgehen
- 5** Anwendung
- 6** Fazit und Ausblick



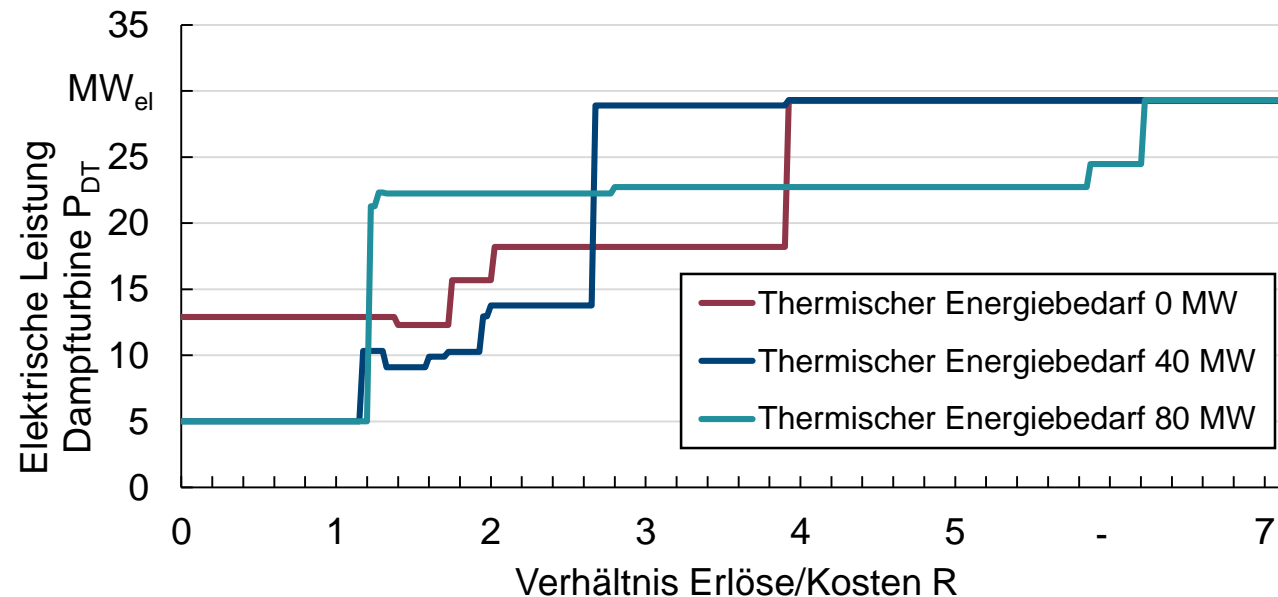
# Papierhersteller mit energieintensiven Prozessen

- › UPM GmbH in Schongau produziert holzhaltige Papiere und stellt deren Faserstoffe her
- › Energieintensive Prozesse
- › Prozesswärme wird in Form von Niederdruckdampf bei 2,5 bar<sub>abs</sub> und ca. 130 °C bereitgestellt
- › Mehrere Erzeugungsanlagen stehen zur Verfügung
- › Als Anwendungsbeispiel wird eine Kombination aus einem Gas- und Dampfkraftwerk sowie Dampfkesseln verwendet



# Energieflexible Betriebsweise der Dampfturbine

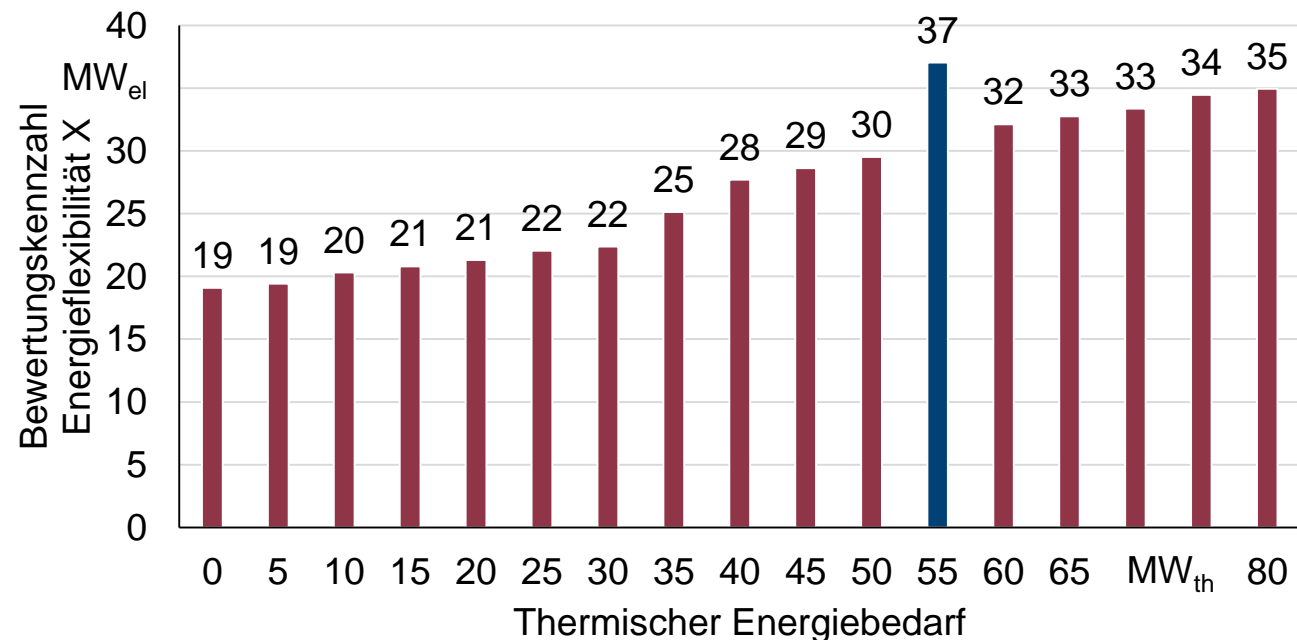
## Flexibilitätskorridore der Dampfturbine



- › Dampfturbine ist stark abhängig von Gasturbinenfahrweise
- › Bei Renditepotenzial zwischen 1,3 bis 1,8 rückläufige Dampfturbinenleistung, da Leistung der Gasturbine zunimmt
- › Bei niedrigem thermischen Energiebedarf höhere minimale Leistung
- › Bei hohem thermischen Energiebedarf kann GuD nur unter Vollast betrieben werden, wenn die Dampfkessel zusätzlich Prozessdampf bereitstellen

# Bewertung der Flexibilitätskorridore in Abhängigkeit des thermischen Energiebedarfs

## Bewertung der Flexibilitätskorridore der Dampfturbine

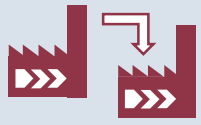


- › Energieflexibilitätspotenzial kann mit steigendem thermischen Energiebedarf höher bewertet werden, da vorgehaltene Korridore wirtschaftlich genutzt werden
- › Beste Ausnutzung des Flexibilitätspotenzials bei 55 MW<sub>th</sub>
- › Steigt thermischer Energiebedarf weiter an, kann weniger Dampf in der Dampfturbine verstromt werden

# Agenda

- 1** Einführung
- 2** Motivation
- 3** Stand der Wissenschaft
- 4** Methodisches Vorgehen
- 5** Anwendung
- 6** Fazit und Ausblick

# Methode für Entscheidungsunterstützung mit Erweiterungspotenzial



› Methode übertragbar auf produzierende Unternehmen mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und thermischen Verbrauchern



› Ergänzung weiterer technischer Restriktionen zur Weiterentwicklung für teilautomatisierten Betrieb



› Erweiterung um Handel am Intraday-Markt und Vermarktung von Regelleistung



› Untersuchung der Wechselwirkungen von flexibler Erzeugung und flexiblen Verbrauchern

*Bei Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.*

**VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!**



Stefan Roth  
**Fraunhofer IGCV**  
Provinostraße 52 | Gebäude B1  
86153 Augsburg

Tel.: +49 821 90678-168  
Fax: +49 821 90678-199  
E-Mail: [stefan.roth@igcv.fraunhofer.de](mailto:stefan.roth@igcv.fraunhofer.de)  
Internet: [www.igcv.fraunhofer.de](http://www.igcv.fraunhofer.de)