

# CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotential beim Einsatz von Maßnahmen industrieller Nachfrageflexibilität

12. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien

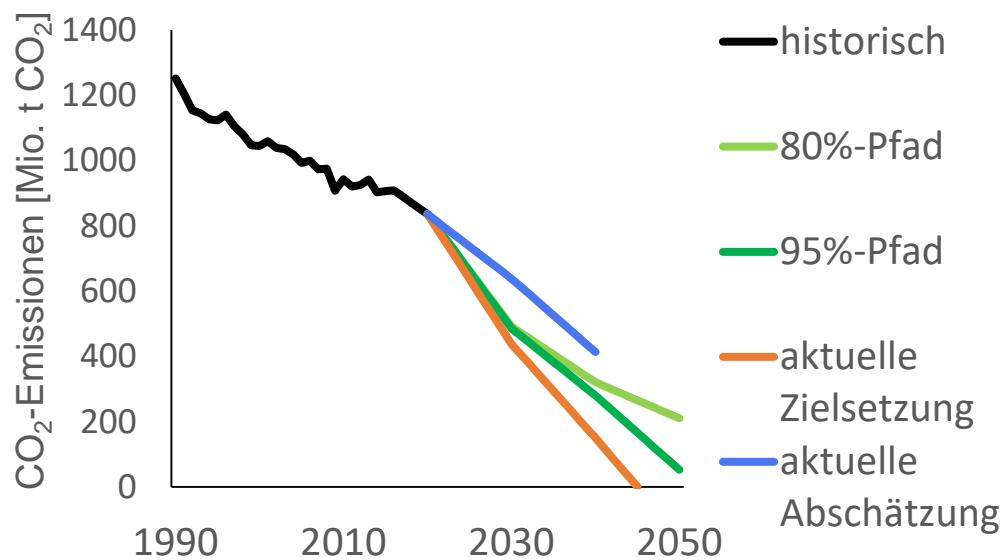
Bastian Zachmann, Prof. Dr. Stefan Seifermann

Hochschule Mannheim

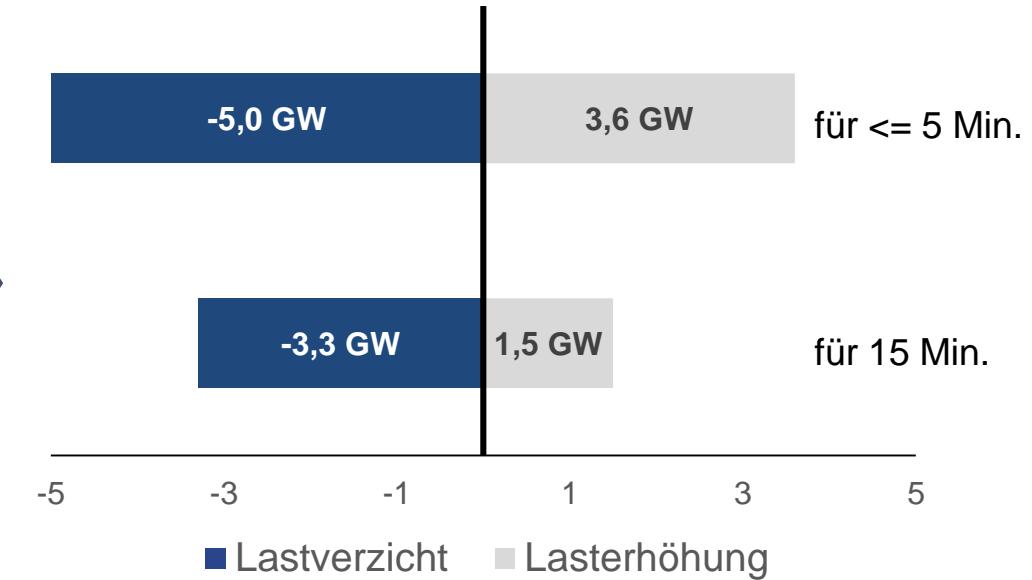
08. September 2021

# Motivation und zentrale Fragestellung

## CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland [1,2,3]



## Flexibilitätspotential deutsche Industrie [4]

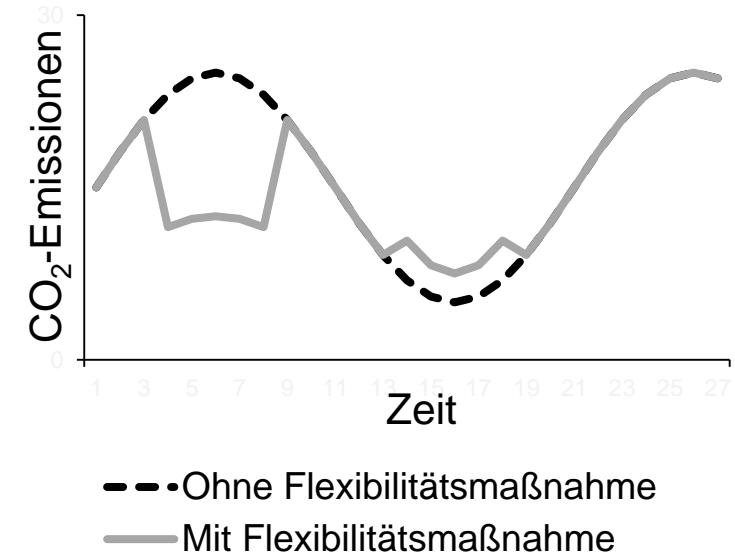


► **Ziel:** Entwicklung und Anwendung einer geeigneten Methodik zur vergleichbaren Abschätzung des CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotentials industrieller Flexibilitätsmaßnahmen

# Methodik (1) – Berechnungsmethode der möglichen CO<sub>2</sub>-Vermeidung

- › **Indirekte CO<sub>2</sub>-Reduzierung** durch verbesserte Ausnutzung vorhandener Erzeugungskapazitäten:
  - **Verschiebung von Arbeit** aus Zeiträumen hoher spezifischer Emissionen in Zeiträume niedriger spezifischer Emissionen
  - **Ausgleich der Arbeit** zu mittleren spezifischen Emissionen
- › **Berechnung der mögliche CO<sub>2</sub>-Vermeidung** einer Flexibilitätsmaßnahme mit der Abrufdauer  $n$  zum Zeitpunkt  $i$

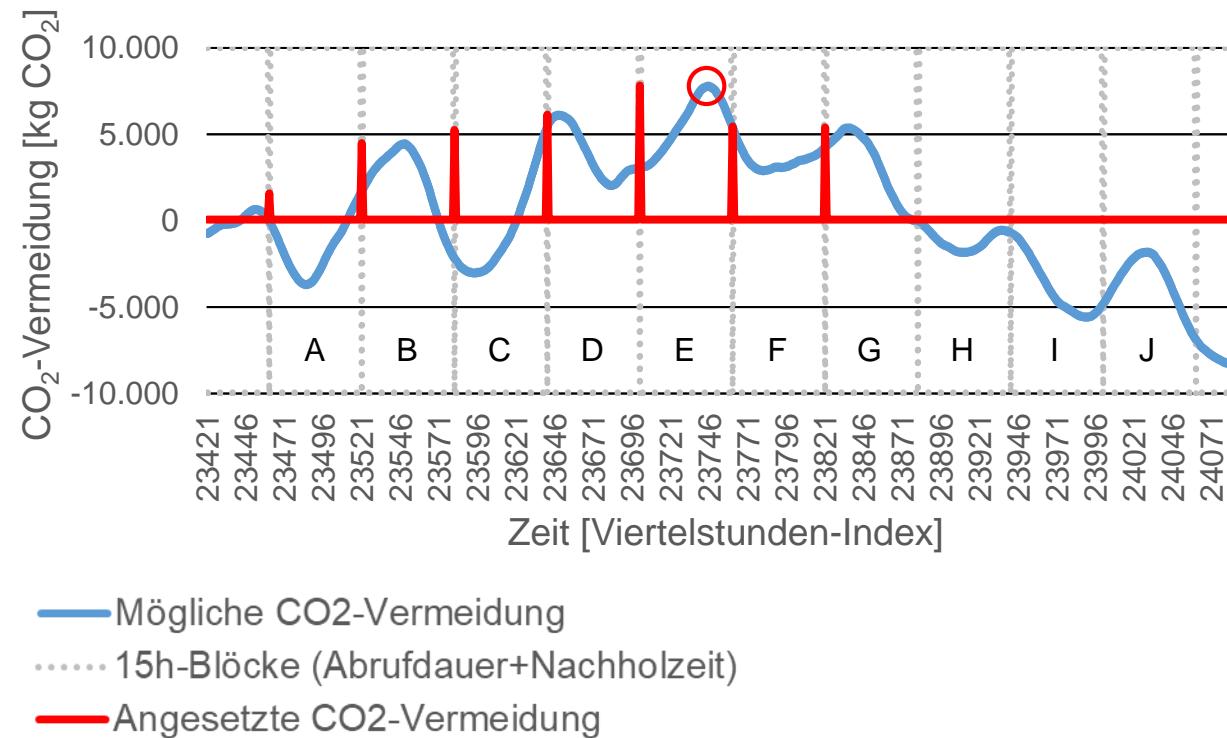
## Beispielhafter Emissions-Verlauf



$$CO_2 \text{ Vermeidung}_i = \sum_i^{i+n} Laständerung_i * (-\text{spez. Emissionen}_i + \text{mittlere spez. Emissionen})$$

## Methodik (2) – Aggregation zu jährlichem CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotential

### Zeitreihe einer möglichen CO<sub>2</sub>-Vermeidung (Auszug)<sup>1</sup>



- › Aggregation anhand jährlicher Abrufhäufigkeit k
- › **Einführung von Blöcken** zur Berücksichtigung zeitlicher Restriktionen:
  - Länge: **Abrufzyklus** aus Abrufdauer und Nachholzeit
  - **Höchstmöglicher CO<sub>2</sub>-Vermeidungswert** angesetzt
- › Jährliches **CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotential**:
  - **k größte Werte** der Blöcke
  - Zusätzlich **Kombination** aus Lastverzicht/ Lasterhöhung bei identischen Abrufzyklen

<sup>1</sup> Auszug der Lasterhöhung eines Beispielprozesses in Kalenderwoche 36/ 2019

# Datengrundlage (1) – Spezifische Emissionen Status-quo (2019)

- › Ausgangsbasis: historische **Nettostromerzeugung 2019** [5]
  - Keine Berücksichtigung industrieller Eigenerzeugung
  - Vernachlässigung Außenhandelssaldo
  - Berücksichtigung des Kraftwerkseigenverbrauchs über Eigenverbrauchsfaktoren
- › Ermittlung CO<sub>2</sub>-Emissionen mit Hilfe von **Emissionsfaktoren**, Berücksichtigung vorgelagerter Emissionen
- › **Berechnung der spezifischen Emissionen** für jede Viertelstunde *i*

$$\text{Spezifische Emissionen}_i = \frac{\text{Emissionen der Stromerzeugung}_i}{\text{Stromerzeugung}_i}$$

Energieträger	Emissionsfaktor <sup>1</sup>
Biomasse	71 g/kWh
Braunkohle	1.100 g/kWh
Erdgas	550 g/kWh
Steinkohle	1.000 g/kWh
Erdöl	790 g/kWh
Geothermie	45 g/kWh
Pumpspeicher	34 g/kWh
Laufwasser	4 g/kWh
Stauseewasser	9 g/kWh
Kernenergie	11 g/kWh
Andere	247 g/kWh
Andere Erneuerbare	27 g/kWh
PV	43 g/kWh
Abfall	690 g/kWh
Wind Offshore	9 g/kWh
Wind Onshore	8 g/kWh
Wasserstoff	63 – 224 g/kWh

<sup>1</sup> In Anlehnung an [6,7]

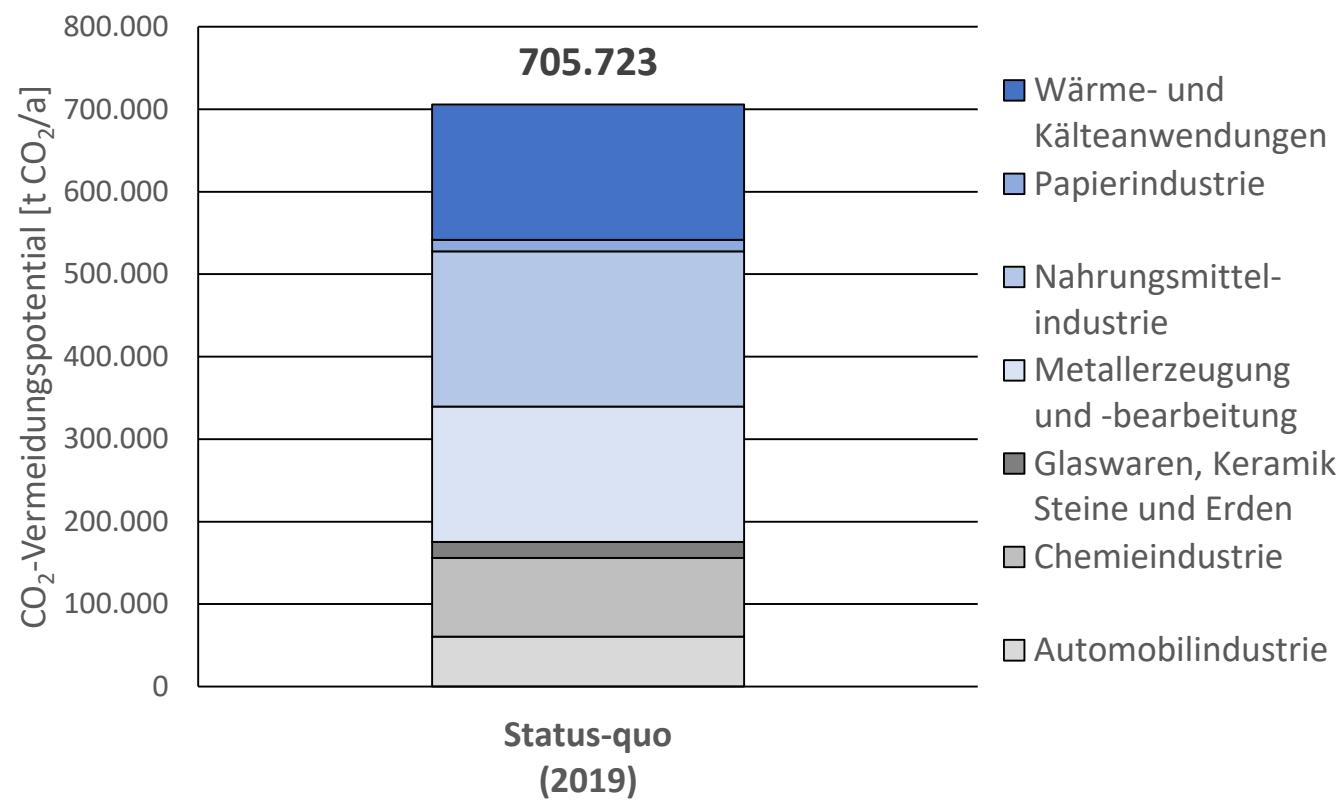
## Datengrundlage (2) – Parameter industrieller Nachfrageflexibilität

- › Grundlage: **Potentialerhebung** im Rahmen des Kopernikus-Projekts **SynErgie**
  - 36 industrielle Flexibilitätsmaßnahmen aus 20 Branchen
  - Je Flexibilitätsmaßnahme bis zu **acht Anwendungsfälle**
- › **Berechnung** CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotential für jeden Anwendungsfall und **Aggregation** auf Gesamtergebnis:
  - Maximum aus *Lastverzicht* / *Lasterhöhung* bzw. *Kombination*
  - Maximum aus *max. Laständerung* / *max. Abrufdauer*
  - Aggregation *Potential* / *Perspektive* individuell festgelegt
- › Industrielle Flexibilitätsmaßnahmen werden zu **sieben Industriezweigen** zusammengefasst

Ausprägungen betrachteter Anwendungsfälle	
Lasterhöhung	Lastverzicht
Maximale Laständerung	Maximale Abrufdauer
(heute verfügbares) Potential	(zukünftige) Perspektive

# Ergebnis (1) – CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotential Status-quo

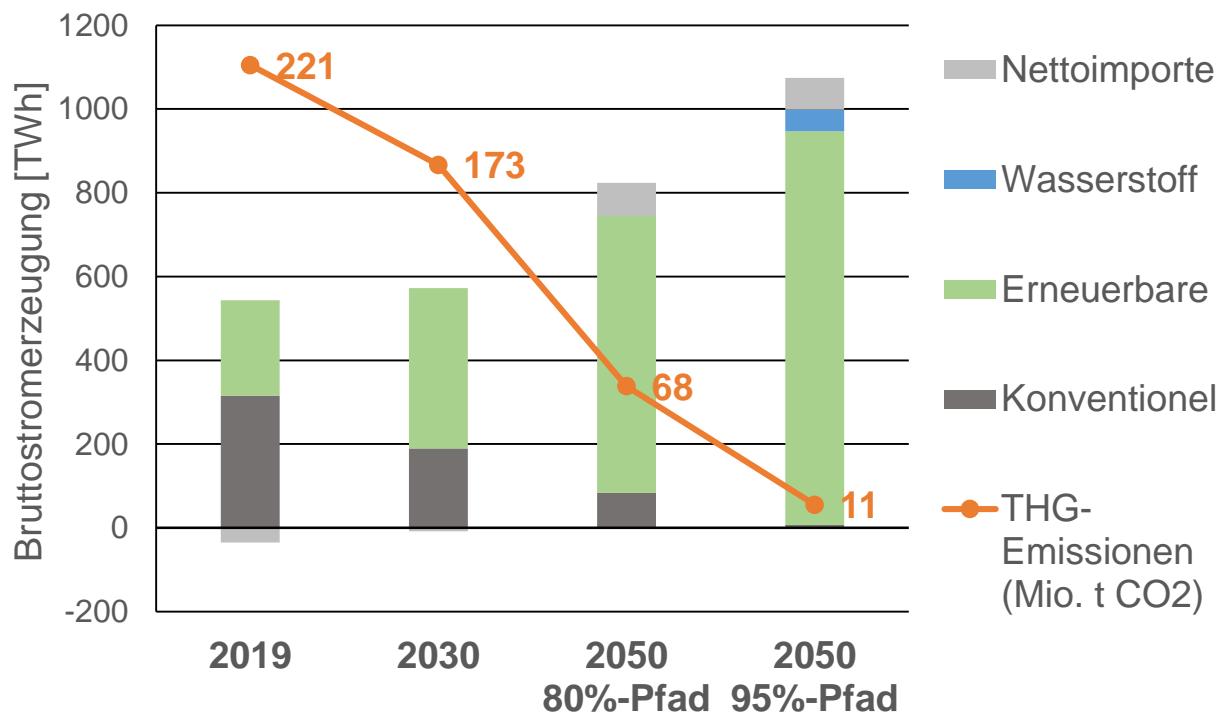
## CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotential industrieller Nachfrageflexibilität



- › **CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotential** von ca. **700.000 t CO<sub>2</sub>** unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Strommix
- › **Über 70% aus Nahrungsmittelindustrie, Wärme-/ Kälteanwendungen und Metallerzeugung/-bearbeitung**
- › **Wesentliche Kennzahl** für politische Entscheidungsprozesse und gesellschaftspolitische Diskussion

# Identifikation zukünftiger Strommix-Szenarien

## Strommix über die betrachteten Szenarien [5,8,2]<sup>1</sup>

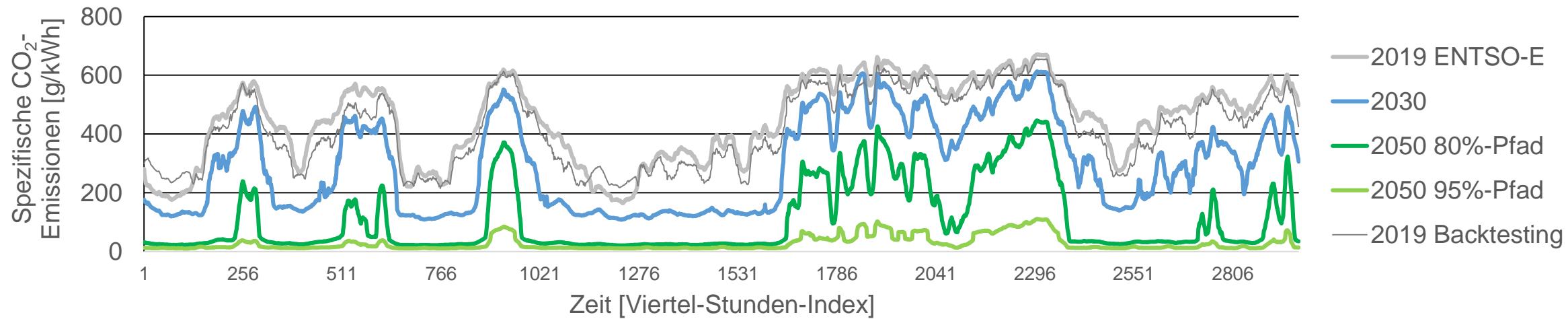


<sup>1</sup> 2019 ohne industrielle Eigenerzeugung

- › **2030:** Referenzpfad in Anlehnung an NEP [8]
  - THG-Minderung im Gesamtsystem 53%
  - 65% der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien (EE)
- › **2050:** Modellierung kosteneffizienter CO<sub>2</sub>-Reduktionsstrategien [1]
  - **80%-Pfad:**
    - EE-Anteil der Stromerzeugung 90%
    - Restlast v.a. durch Erdgas-Kraftwerke
  - **95%-Pfad:**
    - Stromerzeugung vollständig defossilisiert
    - EE-Anteil der Stromerzeugung 94%
    - Restlast v.a. durch Wasserstoff

# Unterjährige Emissionen der Strommix-Szenarien

## Unterjährige spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen der Strommix-Szenarien (Auszug Januar)



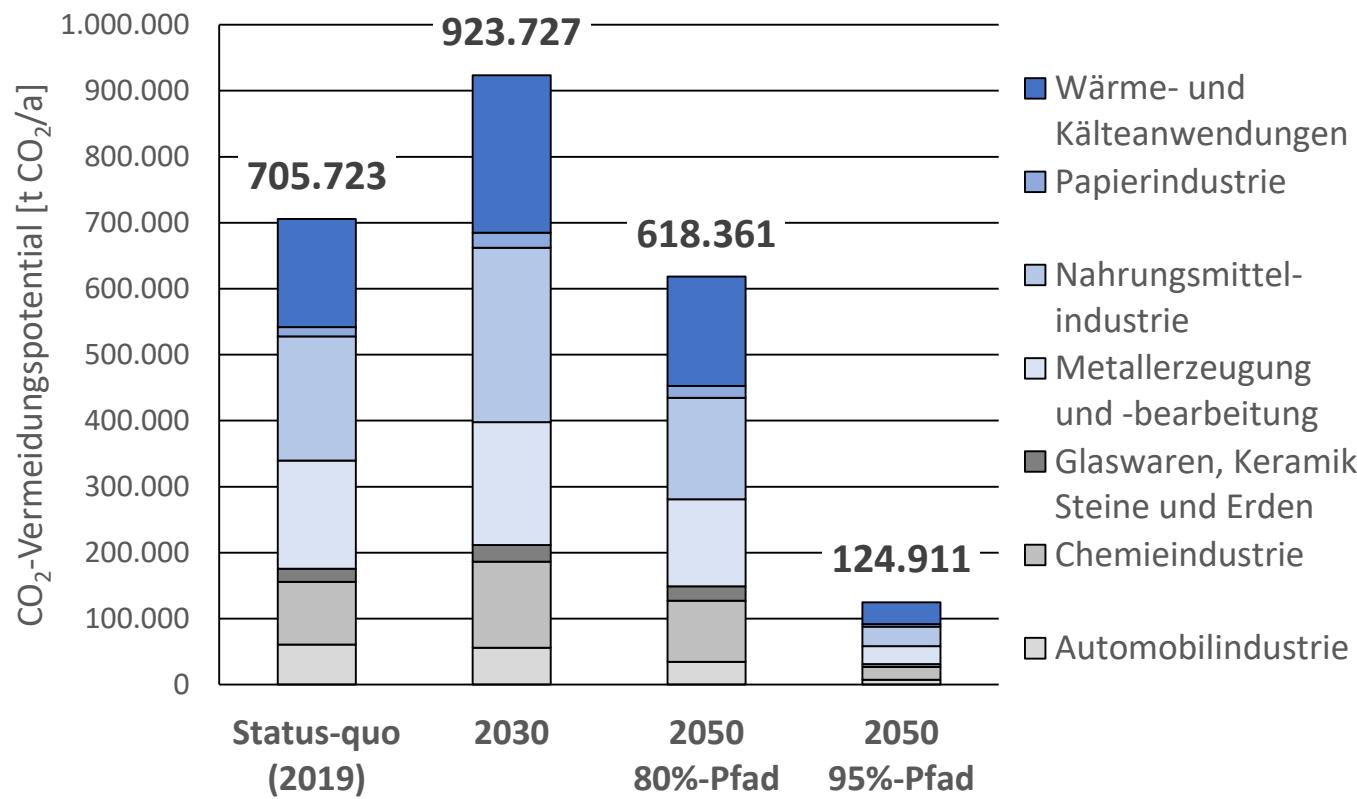
Unterjährige Stromerzeugungsmodellierung mit Hilfe des EWI Merit-Order Tools [9] und historischer Daten [5]

- › Bestimmung **modellierter Technologien**
- › Ermittlung **Restlast<sub>i</sub>** aus Stromnachfrage
- › Modifizierung **Merit-Order** (inkl. *Must-Run*)
- › **Zuordnung Restlast zu Erzeugungsleistung**

Analoge Ermittlung spezifischer CO<sub>2</sub>-Emissionen über **Emissionsfaktoren**

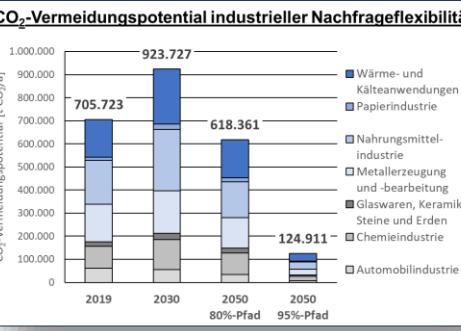
## Ergebnis (2) – CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotential Strommix-Szenarien

### CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotential industrieller Nachfrageflexibilität

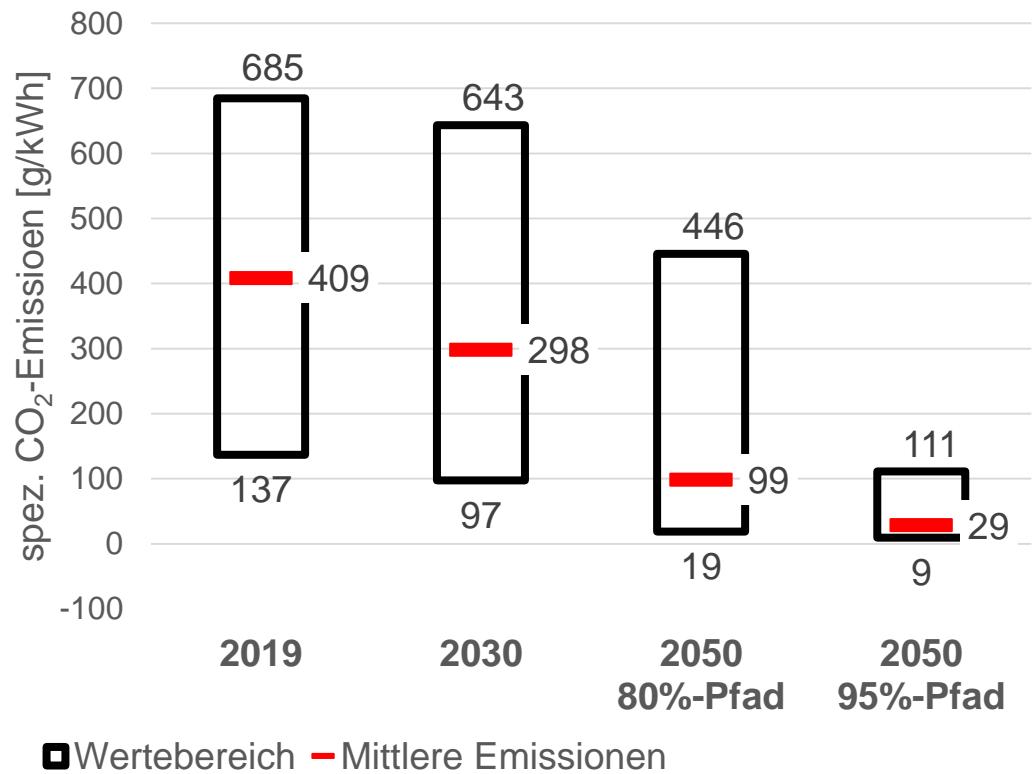


- › Bis **2030** Anstieg um ca. 31%
- › Bis **2050** Rückgang
  - **80%-Pfad:** moderat um ca. 12%
  - **95%-Pfad:** stark um ca. 82%
- › **Ergebnisse unterscheiden sich individuell** (z.B. Automobilindustrie)

# Interpretation der Ergebnisse



## Wertebereich der spezifischen Emissionen



- › **Sukzessive Reduzierung der Emissionen** wirkt sich **mindernd** auf CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotential aus
- › **Gegenläufiger Effekt: Verschiebung der mittleren Emissionen** hin zum unteren Rand des Wertebereichs (Vermeidung von Emissionsspitzen)
- › **2030 überproportionale Verschiebung** der mittleren Emissionen aufgrund verbleibender Braunk-/Steinkohlekraftwerke
- › **2050 im 80%-Pfad** CO<sub>2</sub>-Vermeidung verhältnismäßig stabil aufgrund verbleibender Erdgaskraftwerke
- › Bei **abgeschlossener Defossilisierung** (2050 95%-Pfad) starker Rückgang der CO<sub>2</sub>-Vermeidung

# Schlussfolgerungen und Fazit

## Kernaussagen:

- 1 **CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotential** industrieller Nachfrageflexibilität von ca. **700.000 t CO<sub>2</sub>** ➔ **Wesentliche Kennzahl** für politische Entscheidungsprozesse und gesellschaftspolitische Diskussion
  - 2 Methodik ermöglicht **unternehmensspezifische Ermittlung** des CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotentials ➔ Zusätzlicher (nicht-monetärer) **wirtschaftlicher Mehrwert** als Marketing-Maßnahme
  - 3 **Zukünftiges CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotential** steigend bis verhältnismäßig stabil ➔ Industrielle Nachfrageflexibilität **auch zukünftig wichtiges Instrument** der CO<sub>2</sub>-Vermeidung
  - 4 **Steigende Bedeutung** von **Emissionsspitzen**, niedrige Emissionen werden zu Normalzustand ➔ **Lastverzicht** von **besonderer Bedeutung** für CO<sub>2</sub>-Vermeidung, Lasterhöhung verliert an Bedeutung
- **Industrielle Nachfrageflexibilität leistet** nicht nur heute, sondern auch zukünftig einen **wichtigen Beitrag** zur **CO<sub>2</sub>-Reduzierung**; weiterer **Forschungsbedarf** vorhanden

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Bei Fragen stehen wir gerne zur Verfügung**

## **Hochschule Mannheim**

Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen  
Paul-Wittsack-Straße 10  
68163 Mannheim

### **Bastian Zachmann**

Tel.: +49 621 | 292 6911  
E-Mail: [b.zachmann@hs-mannheim.de](mailto:b.zachmann@hs-mannheim.de)  
Büro: Gebäude L, Zimmer 356

### **Prof. Dr.-Ing. Stefan Seifermann**

Tel.: +49 621 | 292 6837  
E-Mail: [s.seifermann@hs-mannheim.de](mailto:s.seifermann@hs-mannheim.de)  
Büro: Gebäude L, Zimmer 254

# Literatur

---

- [1] ROBINIUS, Martin ; MARKEWITZ Peter; LOPION Peter ; KULLMANN Felix ; STOLTEN Detlef: Wege für die Energiewende – Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050, 2020
- [2] BUNDESREGIERUNG: Klimaschutzgesetz 2021 : Generationenvertrag für das Klima. URL <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>. – Aktualisierungsdatum: 2021-08-25 – Überprüfungsdatum 2021-07-12
- [3] TAGESSCHAU.DE: Bericht: Klimaziele 2030 dürften verfehlt werden. URL <https://www.tagesschau.de/inland/klimaziele-2030-verfehlt-101.html>. – Aktualisierungsdatum: 2021-08-19 – Überprüfungsdatum 2021-08-25
- [4] SYNERGIE: So stark könnte die Industrie das deutsche Stromnetz entlasten. URL <https://synergie-projekt.de/news/so-stark-koennte-die-industrie-das-deutsche-stromnetz-entlasten>. – Aktualisierungsdatum: 2021-07-06 – Überprüfungsdatum 2021-09-06
- [5] ENTSO-E: ENTSO-E Transparency Platform. URL <https://transparency.entsoe.eu/> – Überprüfungsdatum 2021-08-25
- [6] FIORINI, Laura ; AIELLO, Marco: Household CO<sub>2</sub>-efficient energy management. In: Energy Informatics (2018), S. 21–34
- [7] WEISSER, Daniel: A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. In: Energy 32 (2007), Nr. 9, S. 1543–1559
- [8] POGANIETZ, Witold-Roger ; TIMPE, Christof ; BECKER, Liv ; HÖFER, Tim ; KOCH, Matthias ; SEEBACH, Dominik ; WEISS, Annika ; WILDGRUBE, Theresa: Entwicklungspfade aus dem ENSURE-Projekt : Transformation des Energiesystems bis zum Jahr 2030, 2019
- [9] ARNOLD, Fabian ; SCHLUND, David ; SCHULTE, Simon: EWI Merit-Order Tool 2021. URL <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/publikationen/ewi-merit-order-tool-2021/>. – Aktualisierungsdatum: Januar 2021 – Überprüfungsdatum 2021-08-25

# Danksagung

---

GEFÖRDERT VOM

Wir bedanken uns herzlich beim

**Bundesministerium für Bildung und Forschung**

sowie beim

**Projekträger Jülich (PtJ)**

für die Unterstützung!