



CO₂-Vermeidungspotential beim Einsatz von Maßnahmen industrieller Nachfrageflexibilität

12. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien

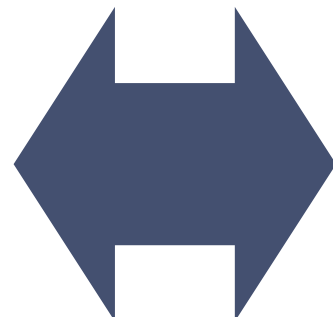
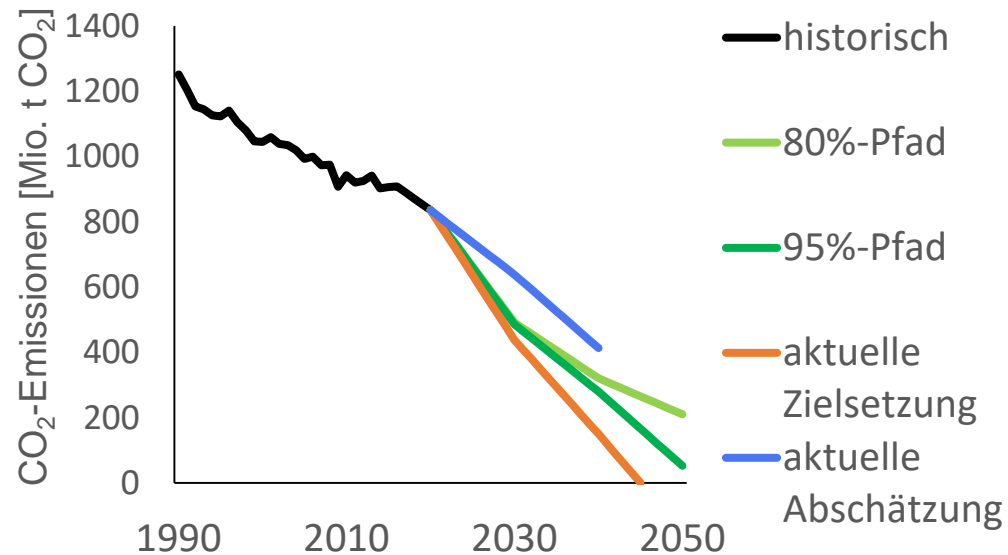
Bastian Zachmann, Prof. Dr. Stefan Seifermann

Hochschule Mannheim

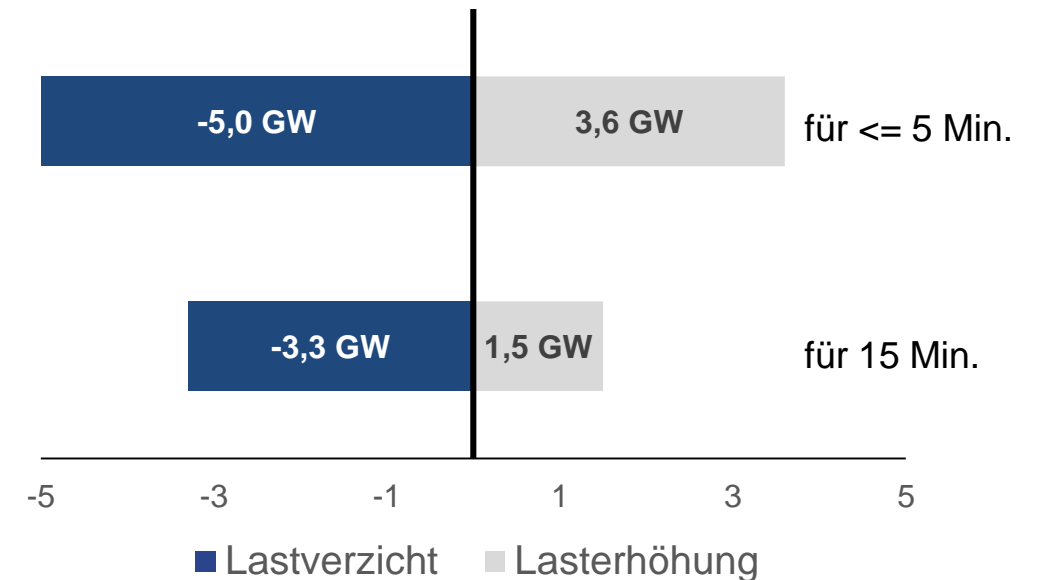
08. September 2021

Motivation und zentrale Fragestellung

CO₂-Emissionen in Deutschland [1,2,3]



Flexibilitätpotential deutsche Industrie [4]

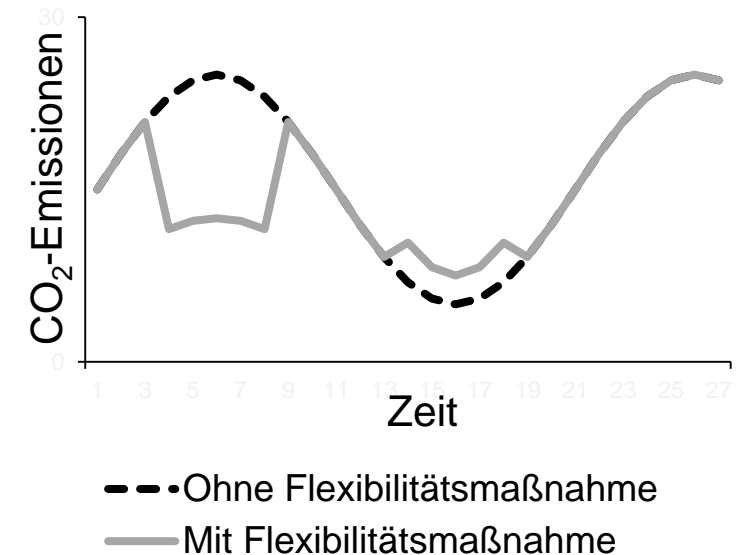


Ziel: Entwicklung und Anwendung einer geeigneten Methodik zur vergleichbaren Abschätzung des CO₂-Vermeidungspotentials industrieller Flexibilitätsmaßnahmen

Methodik (1) – Berechnungsmethode der möglichen CO₂-Vermeidung

- › **Indirekte CO₂-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 CO₂-Vermeidung** einer Flexibilitätsmaßnahme mit der Abrufdauer n zum Zeitpunkt i

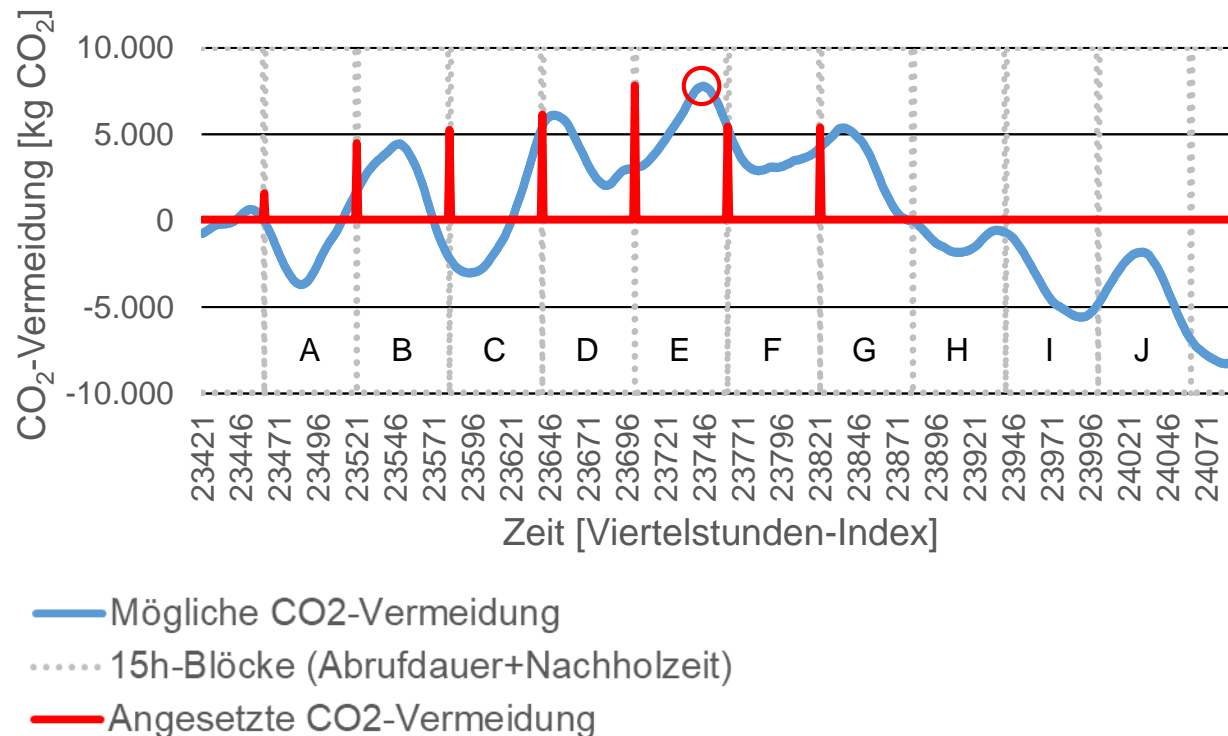
Beispielhafter Emissions-Verlauf



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

Methodik (2) – Aggregation zu jährlichem CO₂-Vermeidungspotential

Zeitreihe einer möglichen CO₂-Vermeidung (Auszug)¹



- › Aggregation anhand jährlicher **Abrufhäufigkeit k**
- › **Einführung von Blöcken** zur Berücksichtigung zeitlicher Restriktionen:
 - Länge: **Abrufzyklus** aus Abrufdauer und Nachholzeit
 - **Höchstmöglicher** CO₂-Vermeidungswert angesetzt
- › Jährliches **CO₂-Vermeidungspotential**:
 - **k größte Werte** der Blöcke
 - Zusätzlich **Kombination** aus Lastverzicht/ Lasterhöhung bei identischen Abrufzyklen

¹ 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 CO₂-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 ¹
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

¹ In Anlehnung an [6,7]

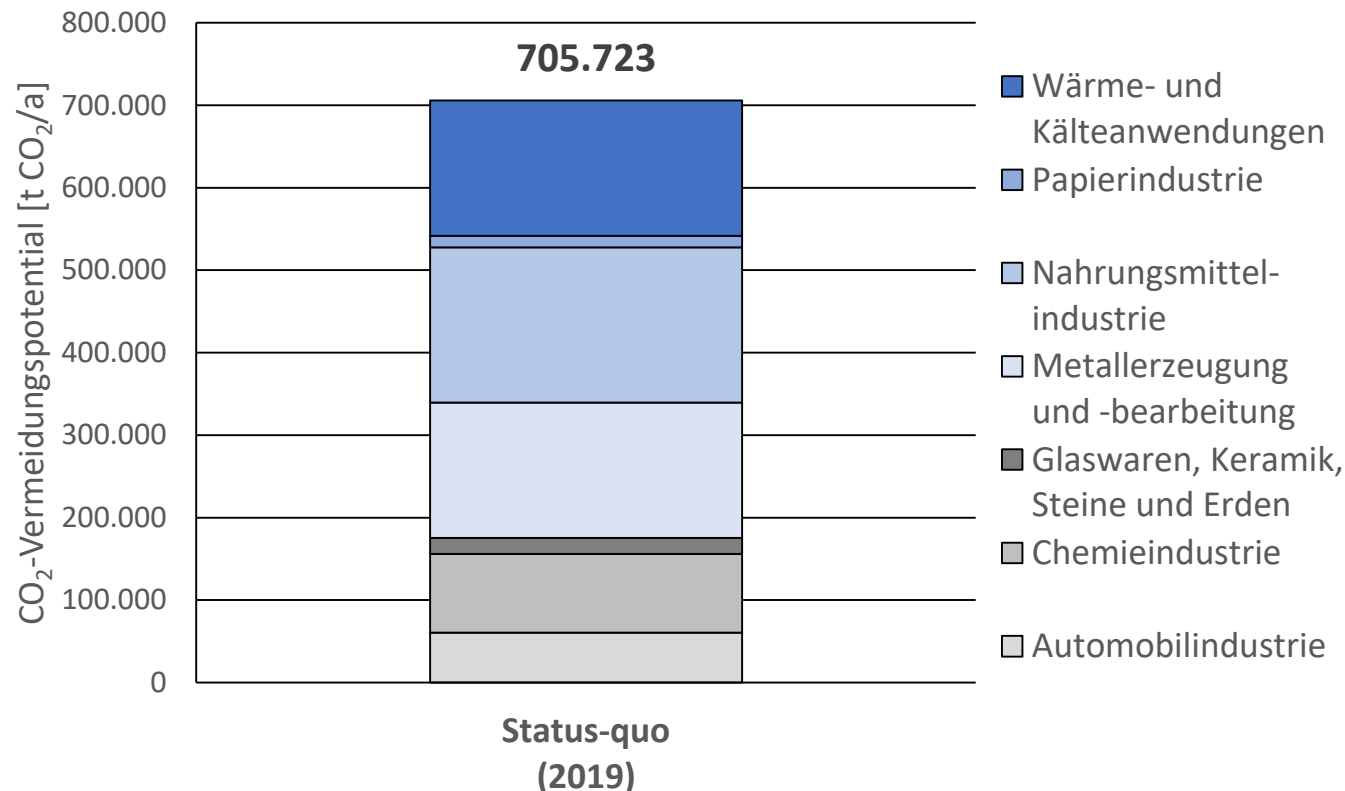
Datengrundlage (2) – Parameter industrieller Nachfrageflexibilität

- › Grundlage: **Potentialerhebung** im Rahmen des Kopernikus-Projekts **SynErgie**
 - 36 industrielle Flexibilitätsmaßnahmen aus 20 Branchen
 - Je Flexibilitätsmaßnahme bis zu **acht Anwendungsfälle**
- › **Berechnung** CO₂-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 (heute verfügbares) Potential	Maximale Abrufdauer (zukünftige) Perspektive

Ergebnis (1) – CO₂-Vermeidungspotential Status-quo

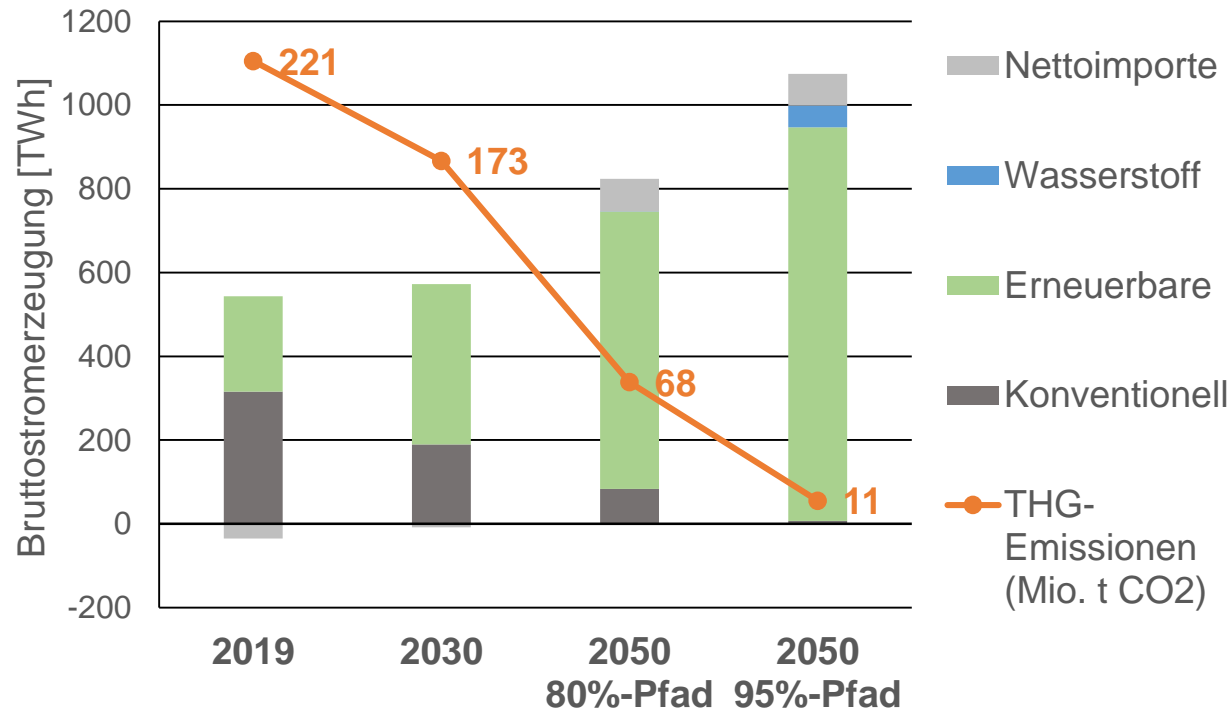
CO₂-Vermeidungspotential industrieller Nachfrageflexibilität



- › **CO₂-Vermeidungspotential** von ca. **700.000 t CO₂** 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]¹

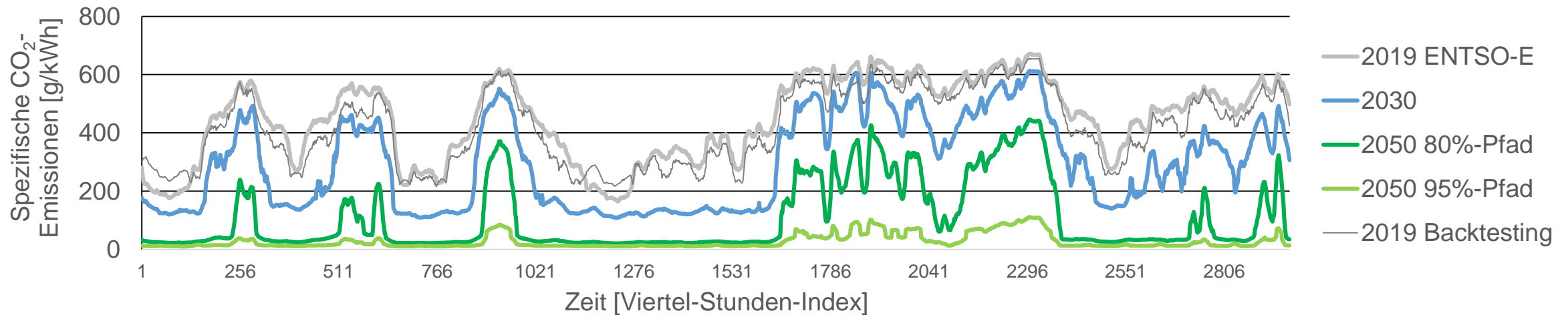


- › **2030:** Referenzpfad in Anlehnung an NEP [8]
 - THG-Minderung im Gesamtsystem 53%
 - 65% der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien (EE)
- › **2050:** Modellierung kosteneffizienter CO₂-Reduktionsstrategien [1]
 - **80%-Pfad:**
 - EE-Anteil der Stromerzeugung 90%
 - Restlast v.a. durch Erdgas-Kraftwerke
 - **95%-Pfad:**
 - Stromerzeugung vollständig defossilisiert
 - EE-Anteil der Stromerzeugung 94%
 - Restlast v.a. durch Wasserstoff

¹ 2019 ohne industrielle Eigenerzeugung

Unterjährliche Emissionen der Strommix-Szenarien

Unterjährliche spezifische CO₂-Emissionen der Strommix-Szenarien (Auszug Januar)



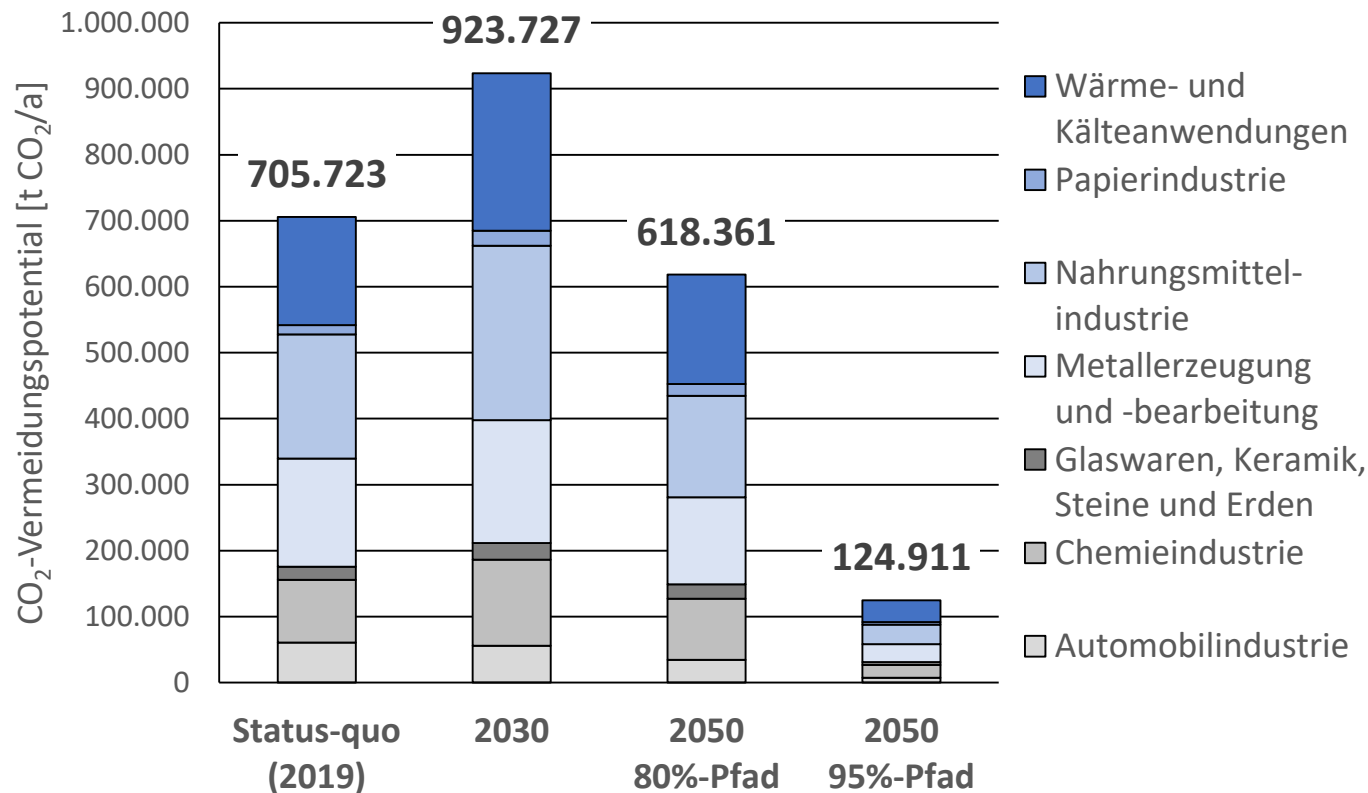
Unterjährliche **Strom-erzeugungsmo- dellierung** mit Hilfe des EWI Merit- Order Tools [9] und historischer Daten [5]

- › Bestimmung **modellierter Technologien**
- › Ermittlung **Restlast_i** aus Stromnachfrage
- › Modifizierung **Merit-Order** (inkl. *Must-Run*)
- › **Zuordnung Restlast** zu Erzeugungsleistung

Analoge Ermittlung spezifischer CO₂- Emissionen über **Emissionsfaktoren**

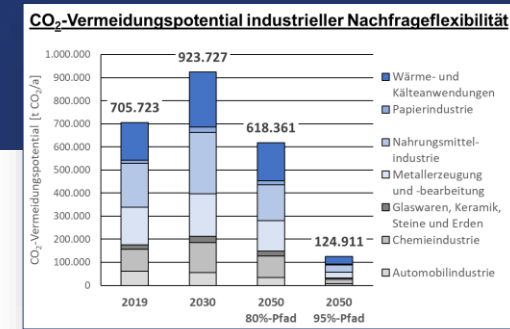
Ergebnis (2) – CO₂-Vermeidungspotential Strommix-Szenarien

CO₂-Vermeidungspotential industrieller Nachfrageflexibilität

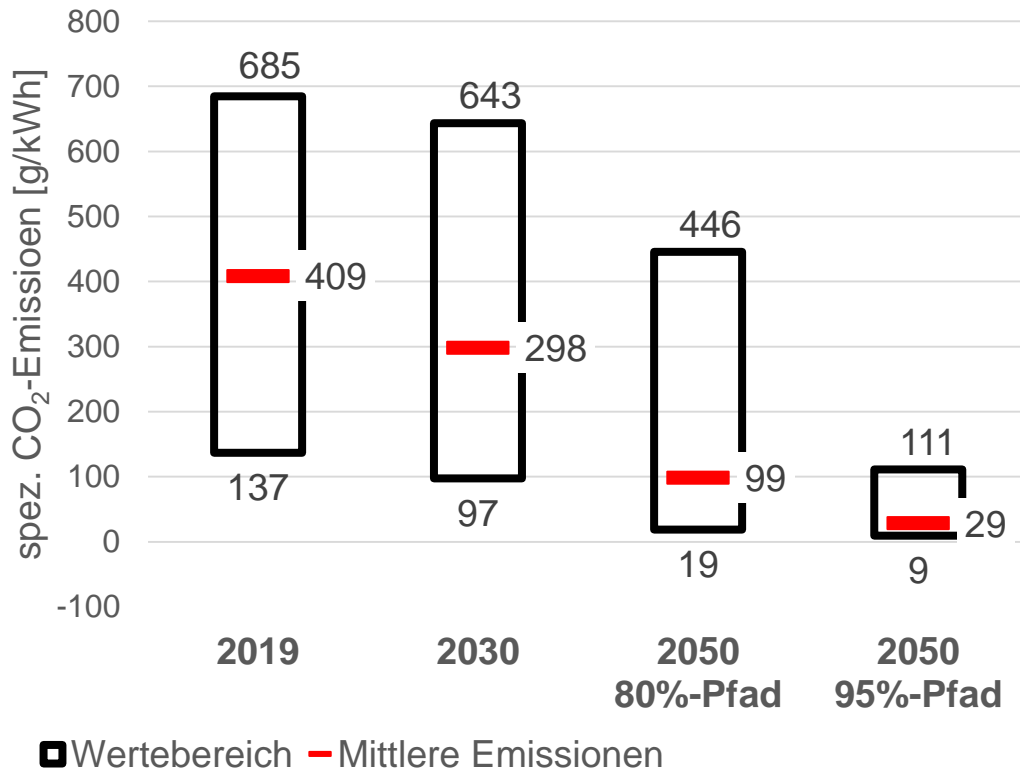


- › Bis **2030** Anstieg um ca. 31%
- › Bis **2050** Rückgang
 - **80%-Pfad:** moderat um ca. 12%
 - **95%-Pfad:** stark um ca. 82%
- › **Ergebnisse** unterscheiden sich **individuell** (z.B. Automobilindustrie)

Interpretation der Ergebnisse



Wertebereich der spezifischen Emissionen



- › **Sukzessive Reduzierung der Emissionen** wirkt sich **mindernd** auf CO₂-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 Braun-/Steinkohlekraftwerke
- › **2050 im 80%-Pfad** CO₂-Vermeidung verhältnismäßig stabil aufgrund verbleibender Erdgaskraftwerke
- › Bei **abgeschlossener Defossilisierung** (2050 95%-Pfad) starker Rückgang der CO₂-Vermeidung

Schlussfolgerungen und Fazit

Kernaussagen:

- 1** **CO₂-Vermeidungspotential** industrieller Nachfrageflexibilität von **ca. 700.000 t CO₂** **▶** **Wesentliche Kennzahl** für politische Entscheidungsprozesse und gesellschaftspolitische Diskussion
- 2** Methodik ermöglicht **unternehmensspezifische Ermittlung** des CO₂-Vermeidungspotentials **▶** Zusätzlicher (nicht-monetärer) **wirtschaftlicher Mehrwert** als Marketing-Maßnahme
- 3** **Zukünftiges CO₂-Vermeidungspotential** steigend bis verhältnismäßig stabil **▶** Industrielle Nachfrageflexibilität **auch zukünftig wichtiges Instrument** der CO₂-Vermeidung
- 4** **Steigende Bedeutung** von **Emissionsspitzen**, niedrige Emissionen werden zu Normalzustand **▶** **Lastverzicht** von **besonderer Bedeutung** für CO₂-Vermeidung, Lasterhöhung verliert an Bedeutung

▶ Industrielle Nachfrageflexibilität leistet nicht nur heute, sondern auch zukünftig einen **wichtigen Beitrag zur CO₂-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

Büro: Gebäude L, Zimmer 356

Prof. Dr.-Ing. Stefan Seifermann

Tel.: +49 621 | 292 6837

E-Mail: 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/bregde/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 CO2-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



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Wir bedanken uns herzlich beim

Bundesministerium für Bildung und Forschung

sowie beim

Projektträger Jülich (PtJ)

für die Unterstützung!

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

