



CO₂-neutrale Prozesswärmeerzeugung in der Umformtechnik - Ergebnisse aus einer Studie für das Umweltbundesamt *und wie die nächsten Schritte zur Umsetzung in die Praxis aussehen könnten.*

Dr.-Ing. Christian Schwotzer

„Dekarbonisierung von Brenn- und Umformungsprozessen“ eine gemeinsame Veranstaltung der Energieagenturen der Länder Niedersachsen (KEAN), Hessen (LEA) und Thüringen (ThEGA)

online, 18. Juni 2024

Agenda – Potential und der Weg in die Umsetzung

Zwei Themen

- Teil 1: Ergebnisse aus der UBA-Studie

- Teil 2: Beispiele für Transformationspfade
basierend auf einem Projekt an der NTNU

im Auftrag des

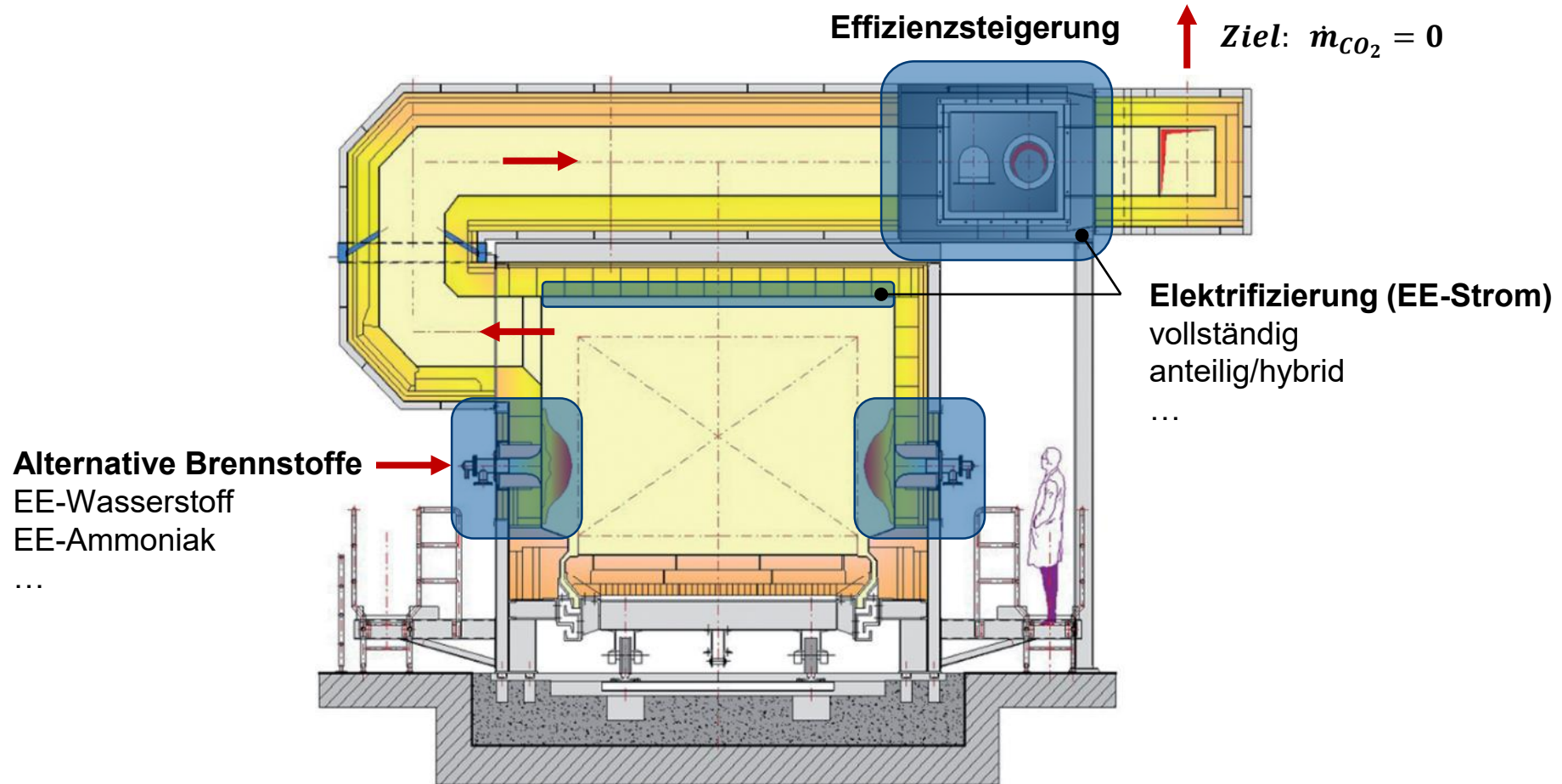


gefördert vom



Deutscher Akademischer Austauschdienst
German Academic Exchange Service

Motivation und Herausforderung: Komplexe Anlagentechnik soll CO₂-neutral werden



Quellen: Abbildung nach Erwin Tschapowetz in Pfeifer, Nacke, Beneke (Hrsg.) - Praxishandbuch Thermoprozesstechnik Band II

Die UBA-Studie zeigt Möglichkeiten für die CO₂-neutrale Prozesswärmeerzeugung

Zielsetzung:

Umstellung auf eine CO₂-neutrale Prozesswärmeerzeugung in der Industrie bis 2050 anhand ausgewählter Branchen/Techniken, mit den Schwerpunkten:

- Stand der Technik und F&E Bedarf
- Wirtschaftlichkeit
- Ganzheitlicher Vergleich (Technisch, wirtschaftlich, ökologisch)
- Gesamtbild Status-Quo und Strategie zur Transformation der Prozesswärmeerzeugung

Projektstart: April 2019, Veröffentlichung Dezember 2023

Auftraggeber:



Projektpartner:



Fraunhofer
ISI








RWTHAACHEN
UNIVERSITY

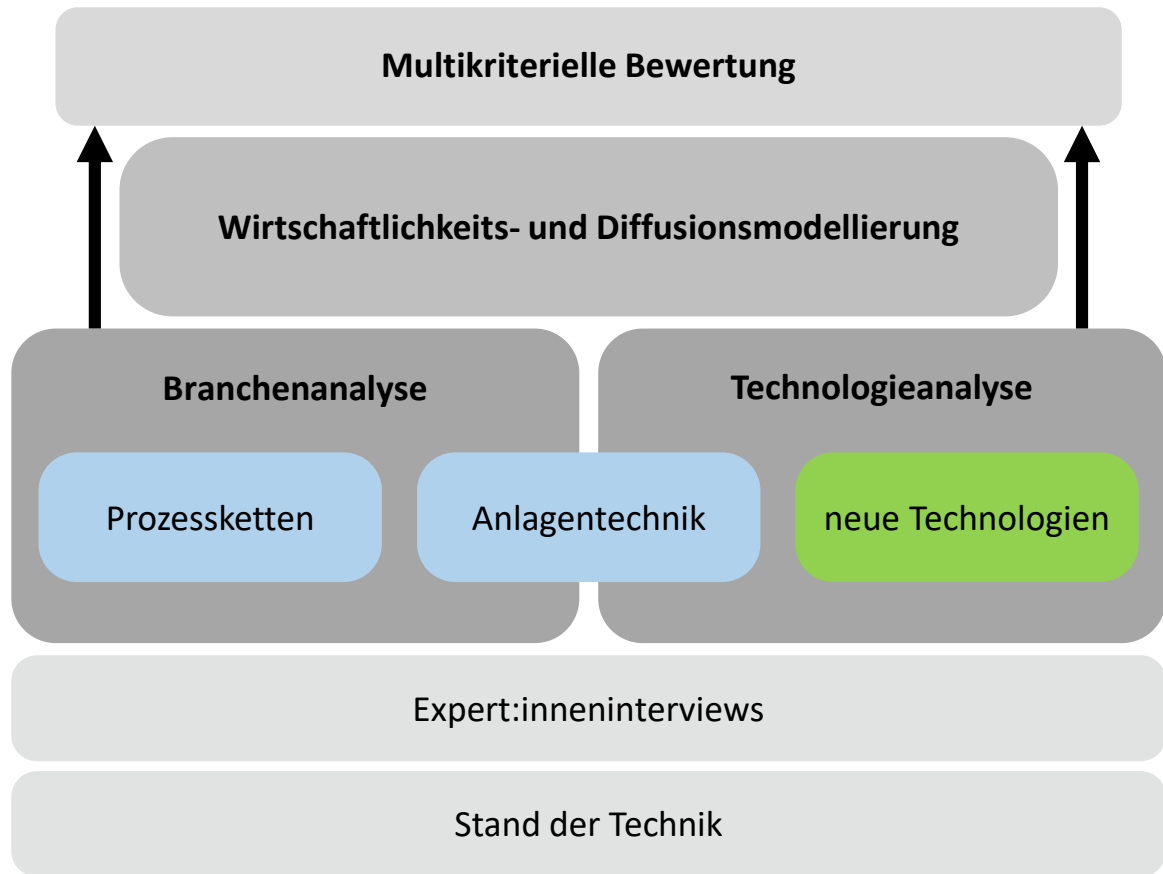
Link zur Studie: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/co2-neutrale-prozesswaermeerzeugung>

Die Betrachtungen im Rahmen der Studie erfolgen für eine Vielzahl von Branchen

Branchen und Verantwortlichkeiten

Metallindustrie	Gießereiindustrie	 Institut für Industriefenbau und Wärmetechnik 
	NE-Metallindustrie (Al, Cu, ...)	
	Wärme- und Glühöfen Stahl-Walzwerke	
	Schmiedeindustrie	
	Härtereitechnik	
Mineralindustrie	Glasindustrie	 Institut für Industriefenbau und Wärmetechnik 
	Zementindustrie	
	Kalk	
	Keramik inkl. Ziegel	
Dampferzeuger	Papierindustrie	
	Nahrungsmittelindustrie	
	Chemische Industrie	

Die Arbeiten bauen aufeinander auf und münden in 11 Thesen



These 1: Der Anlagenpark der Industrieöfen ist heterogen.

These 2: Die Umstellung auf eine THG-neutrale Prozesswärmeerzeugung ist bis 2045 technisch realisierbar.

These 3: Bei Elektrifizierung und Wasserstoffeinsatz sind Forschung, Entwicklung und Demonstration notwendig.

These 4: Eine Elektrifizierung verlangt einen umfassenderen Umbau des Anlagenparks als der Einsatz von Wasserstoff oder synthetischem Methan.

These 5: Die Elektrifizierung geht mit leichten Effizienzgewinnen bei den meisten Anwendungstechniken einher.

These 6: Elektrifizierung ist bei vielen Anwendungen mit niedrigeren Temperaturen vorteilhaft - Wasserstoff bei sehr hohen Energiedichten.

These 7: Der zusätzliche Investitionsbedarf für den Neubau der Anlagen ist aus Systemsicht eher gering.

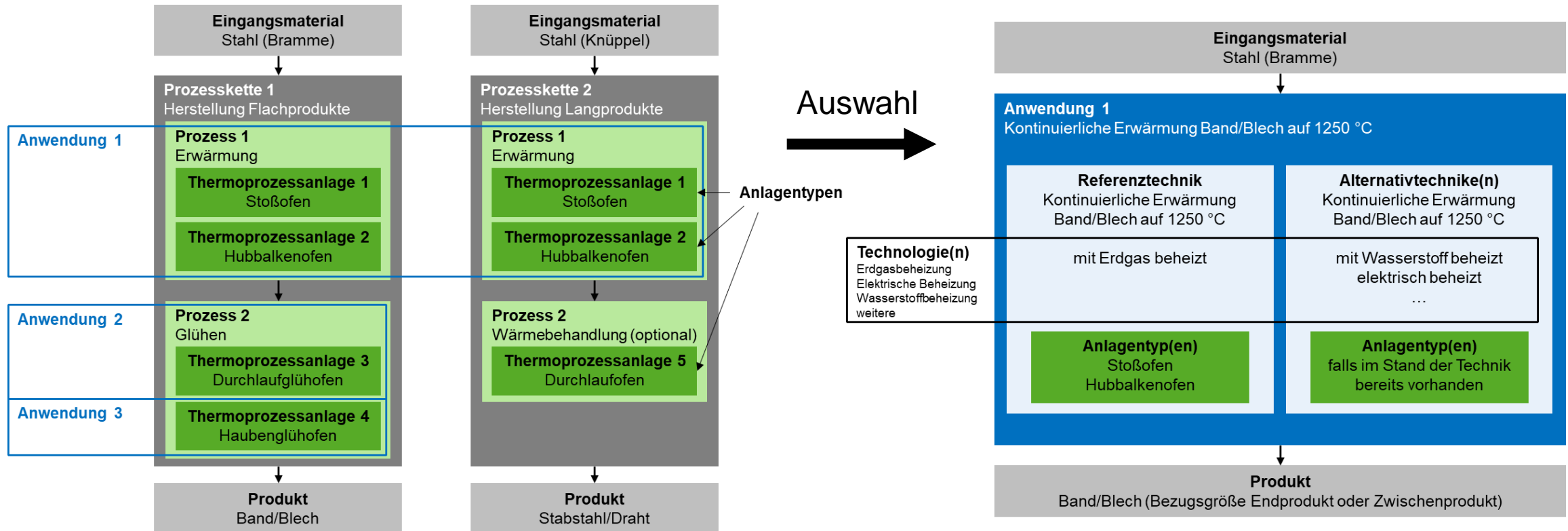
These 8: Die Umstellung auf CO₂-neutrale Techniken ist mit deutlich höheren Energiekosten verbunden.

These 9: Aufgrund langer Modernisierungszyklen ist die Gefahr von stranded investments hoch.

These 10: Hybride Anlagenkonzepte können den Einstieg in die CO₂-neutrale Prozesswärme ermöglichen.

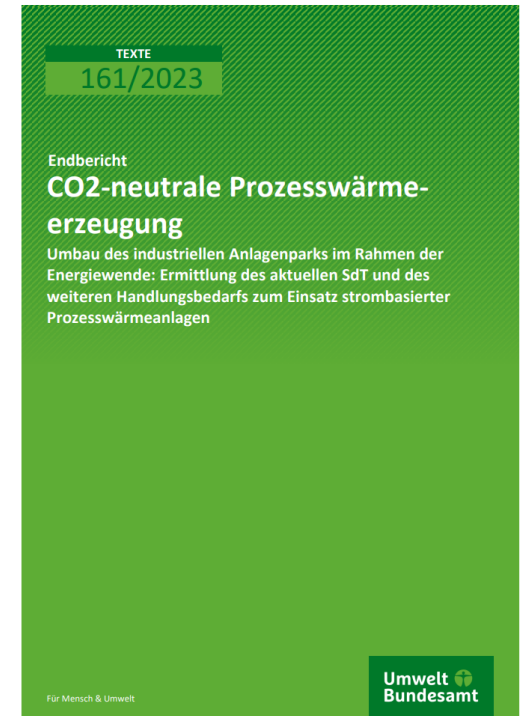
These 11: CO₂-neutrale Techniken mindern direkte Umweltwirkungen sowie Umweltkosten.

Definition von Prozesskette, Prozess, Anwendung, Technologie, Technik, Anlage



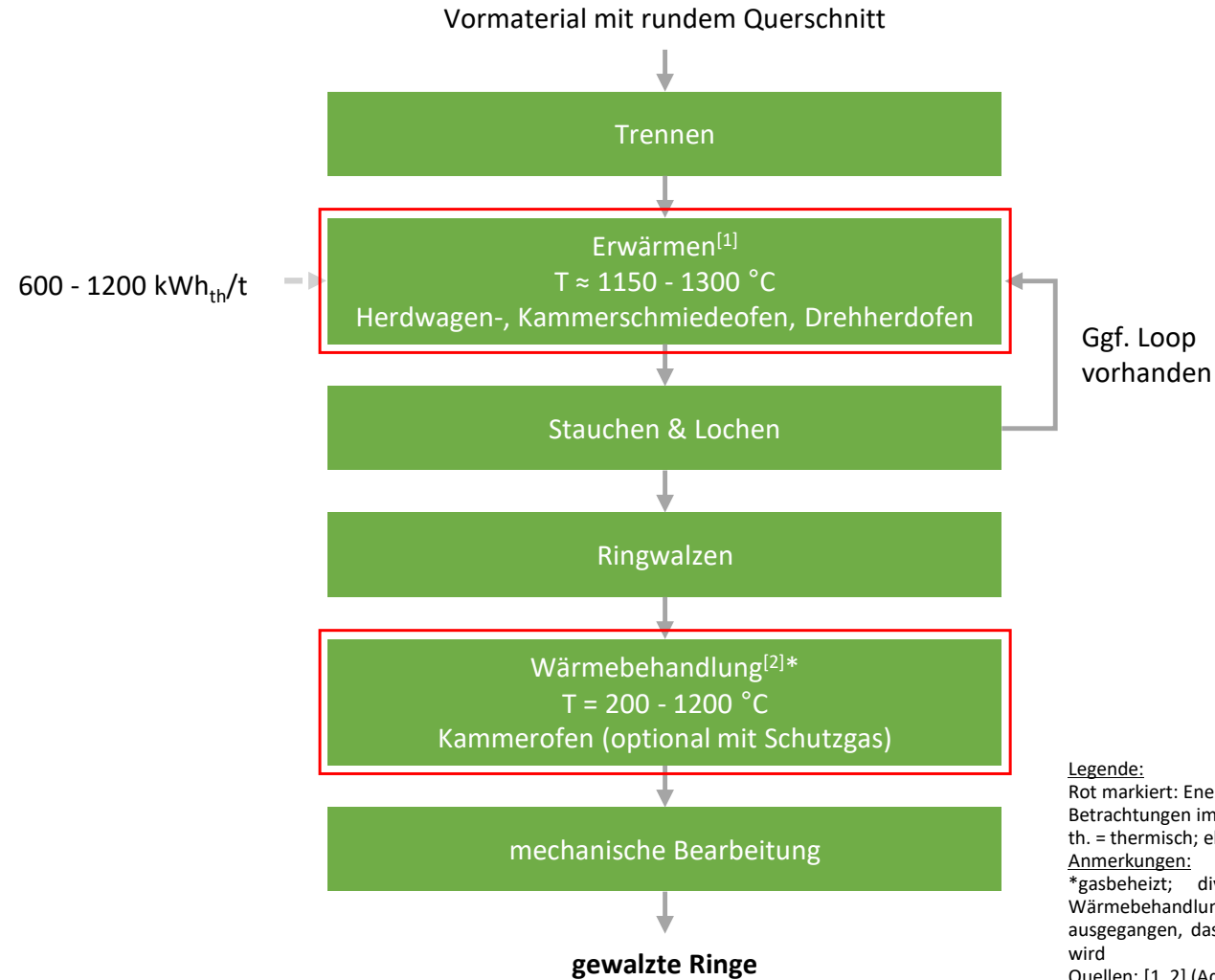
„Factsheet“

- Umfang der Erhebung des Stands der Technik
 - 13 Industrien, 26 Prozessketten, 30 Produkte betrachtet
 - ca. 120 Expert:inneninterviews geführt
 - 63 energieintensive Prozessschritte identifiziert
 - aus 75 Anlagentypen insgesamt 51 Anlagentypen für weitere Betrachtungen identifiziert
- Definition der Referenztechniken
 - 35 Anwendungen inkl. Referenztechniken definiert
- Definition der Alternativtechniken
 - 1 – 4 Alternativtechniken je Anwendung (insgesamt 96 Alternativtechniken)
 - Elektrifizierung und Wasserstoff im Fokus
 - Für einzelne Anwendungen werden Erdgas/EE-Methan, Biomasse und hybride Beheizungstechnologien betrachtet

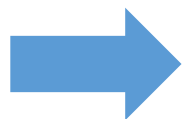
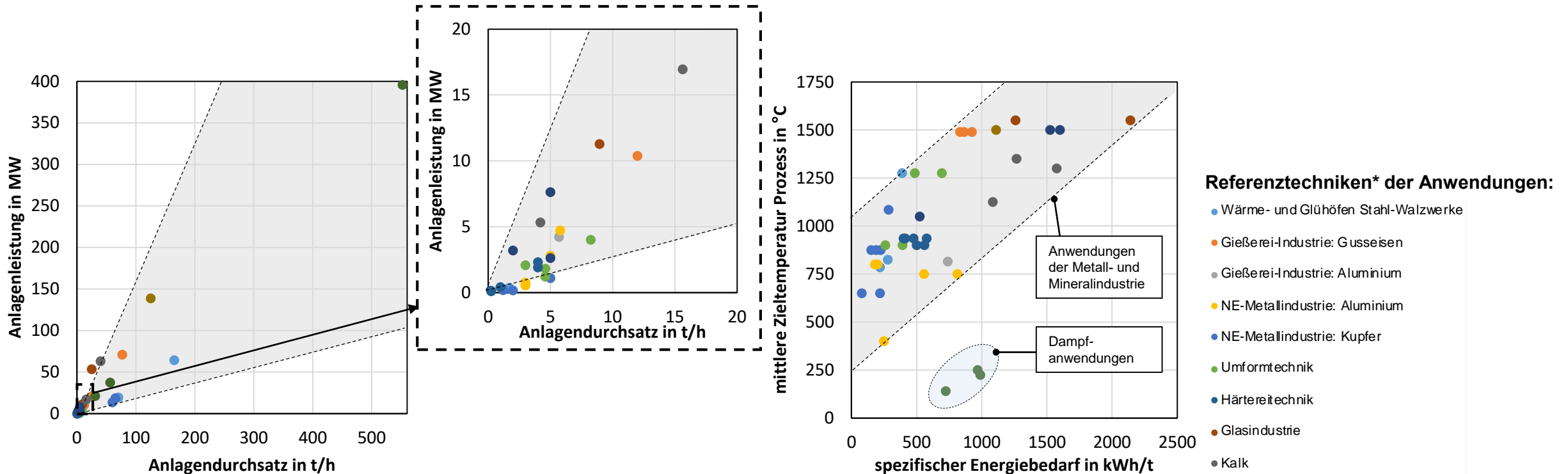


Gesamtbericht 739 Seiten (inkl. Anhang)

Prozesskette Ringwalzen (exemplarisch)



These 1: Der Anlagenpark der Industrieöfen ist heterogen



Sehr heterogener Anlagenpark, viele „kleine“ Anlagen
 Großteil der Anlagen mit < 20 MW Leistung und < 20 t/h Durchsatz
 Prozesstemperaturen zwischen ca. 250 – 1750 ° C

Detaillierte Annahmen, Legende und Quellen siehe Bericht

These 2: Die Umstellung auf eine THG-neutrale Prozesswärmeerzeugung ist bis 2045 technisch realisierbar

- **Elektrische Beheizungstechnologien** sind für einige Anwendungen der **Metallindustrie** bereits Stand der Technik (TRL = 9), sie werden im Anlagenpark in Deutschland jedoch vielfach nicht eingesetzt.
- **Elektrische Beheizungstechnologien** sind in für die Anwendungen der **Mineralindustrie** nicht Stand der Technik vorhanden (TRL < 3). Insbesondere die hohen Prozesstemperaturen für das Brennen und Schmelzen > 1200 ° C lässt sich gegenwärtig mit elektrischen Beheizungstechnologien nicht erreichen.
- **Hybride Beheizungstechnologien (anteilige Elektrifizierung)** sind für Anwendungen mit hohen Prozesstemperaturen von Bedeutung. Für spezielle Anwendungen (bspw. Glas (als elektrische Zusatzheizung), oder in der Umformtechnik) sind sie Stand der Technik. Insbesondere für Anwendungen mit großen Kapazitäten (Glas, Zement, Stahl-Walzwerke) werden diese Konzepte jedoch (noch) nicht eingesetzt (TRL < 3 – 7).
- Einsatz von **Wasserstoff** besitzt für nahezu alle betrachteten Anwendungen aus technischer Sicht großer Potential. Mangels Verfügbarkeit von Wasserstoff konnte die Einsatzfähigkeit in Pilot- oder Demonstrationsanlagen bisher vielfach (noch) nicht ausreichend erprobt werden (TRL < 2 – 5). Einzelne Komponenten (bspw. Brenner) haben vielfach jedoch bereits ein deutlich höheres TRL.
- Beim Einsatz von **Biomasse** ist vor allem die Qualität des Brennstoffes ausschlaggebend. Der Einsatz wurde im großtechnischen Maßstab für die betrachteten Anwendungen bisher nicht erprobt (TRL < 4 – 8).
- Der Einsatz von **EE-Methan** ist aus technischer Sicht dem von Erdgas gleichzusetzen (TRL = 9).

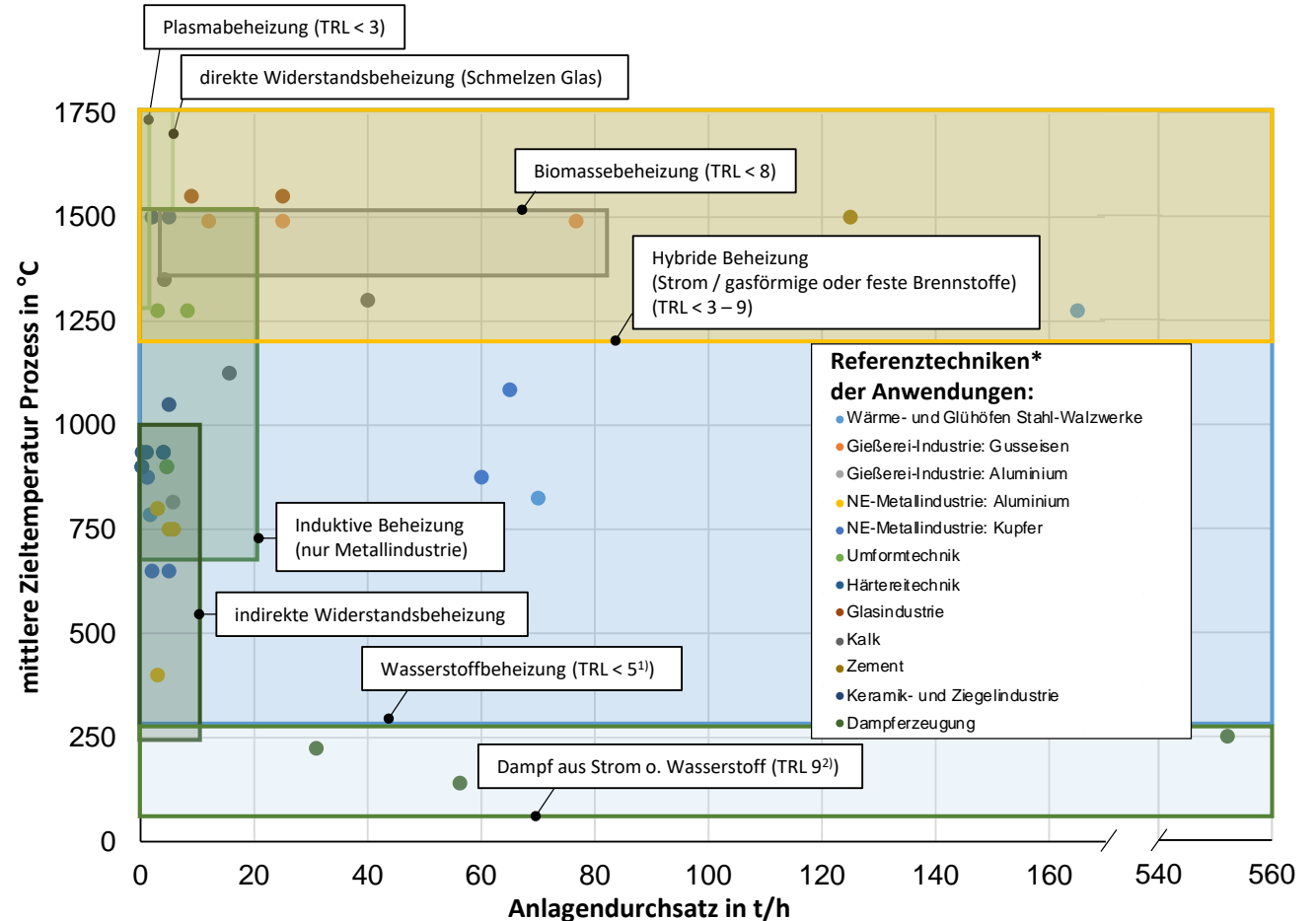
Anmerkungen:
 Fokus der Betrachtungen lag auf der Analyse des technischen Potentials einer vollständigen Elektrifizierung als PtH Alternative und dem Einsatz von Wasserstoff als PtG Alternative.
 „n.v.“: Keine signifikanten F&E-Aktivitäten für diese Anwendung vorhanden.
 „n.b.“: Anwendung wurde nicht betrachtet. Das TRL der Technologiekombination wird gleich oder geringer als das der Technologie mit jeweils geringeren TRL eingeschätzt.
 Weitere Anmerkungen siehe Bericht.

		Branche und Anwendung (zusammengefasst)																	
		Aluminium: Schmelzen, Erwärmen und Wärmebehandlung	Gießerei-Industrie: Schmelzen Al-Formguss	Kupfer: Schmelzen, Erwärmen und Wärmebehandlung	Gießerei-Industrie: Schmelzen Gusseisen	Härtereitechnik: Aufkohlen und Austenitisieren	Umformtechnik: Erwärmung Stahlblechzuschnitte	Stahl-Walzwerke: Wärmebehandlung	Keramik- und Ziegelindustrie: Brennen Ziegel und Feuerfest	Glasindustrie: Schmelzen Behälterglas	Glasindustrie: Schmelzen Flachglas	Kalk: Brennen im GGR-Ofen	Kalk: Brennen im Drehrohrofen	Zement: Brennen Zementklinker	Umformtechnik: Diskont. Erwärmung	Umformtechnik: Konti. Erwärmung	Stahl-Walzwerke: Konti. Erwärmung	Kalk: Brennen im Schachtofen	Dampferzeugung
		Gas	Koks	Gas	Gas	BS-Mix	Gas	Koks	Gas										
TRL der Alternativtechnologie	Energieträger Referenztechnik	Gas	Koks	Gas	Gas	BS-Mix	Gas	Koks	Gas										
	Elektrifizierung	9	9	9	9	9	< 4	< 4	4/9 ¹⁾	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 2	< 2	< 2	< 2	9 ⁷⁾
	Wasserstoffbeheizung	< 4	< 5	< 5	< 5	< 4	< 5	< 4	< 5	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 5	< 5	< 4	< 2	9
	Biomassebeheizung	n.v.	n.v.	n.v.	< 8 ²⁾	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	< 6 ²⁾	n.b.	n.v.	n.v.	n.v.	< 4 ²⁾	9 ⁸⁾
	Erdgas-/EE-Methanbeheizung	(9)	(9)	(9)	< 8 ³⁾	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	< 4	n.b.	(9)	(9)	(9)	n.v.	n.v.
	hybride Beheizung (Strom/Erdgas (EE-Methan))	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	< 7 ⁴⁾	< 4 ⁴⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	9	< 3 ⁵⁾	n.v.	n.v.
	hybride Beheizung (Strom/Wasserstoff)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	< 4 ⁴⁾	< 4 ⁴⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	< 5	< 3 ⁵⁾	n.b.	n.v.
	Hybride Beheizung (Brennstoffmix/Strom)	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	< 5 ⁶⁾	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.
Hybride Beheizung (Biomasse/H ₂ /Strom)	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	< 4 ⁶⁾	n.v.	n.v.	n.v.	n.b.	n.v.	

These 6: Elektrifizierung ist bei vielen Anwendungen mit niedrigeren Temp. vorteilhaft – H₂ bei sehr hohen Energiedichten

- Der Standort DE ist durch einen sehr **heterogenen Anlagenpark** geprägt, wodurch sich die Anwendungsmöglichkeiten der Alternativtechnologien unterscheiden.
- Der **überwiegende Anteil** der Anlagentypen ist **fossil, mit Erdgas beheizt**. Einige Anlagentypen werden mit festen Brennstoffen (Koks, Kohle, Restbrennstoffe) beheizt. Wenige Anlagen werden vollständig elektrisch oder hybrid betrieben.
- Elektrische Beheizungstechnologien** gehören insbesondere in Anwendungen der Metallindustrie zum Stand der Technik. Grenzen elektrischer Beheizungstechnologien liegen vor allem in der Leistungsdichte und Anwendungstemperatur.
- Der Einsatz von **Wasserstoff** ist grundsätzlich für alle gasbeheizten Anwendung denkbar. Einzelne Komponenten (bspw. Brenner) besitzen ein hohes TRL. Das Gesamtsystem muss erprobt werden.
- Der Einsatz von **EE-Methan** ist grundsätzlich für alle mit Erdgas beheizten Anlagen möglich, jedoch energetisch und wirtschaftlich zu hinterfragen.
- Biogene Brennstoffe** können fossile Festbrennstoffe ersetzen, sofern diese in ausreichender Qualität zur Verfügung stehen.
- Der Einsatz **hybride Beheizungstechnologien** ist grundsätzlich denkbar. Das TRL ist gleich oder geringer als das der einzelnen Technologien einzuschätzen, der Aufwand zur industriellen Umsetzung größer.

Einordnung und Anwendungspotential der betrachteten Alternativtechnologien



Agenda – Potential und der Weg in die Umsetzung

Zwei Themen

- Teil 1: Ergebnisse aus der UBA-Studie

im Auftrag des



- **Teil 2: Beispiele für Transformationspfade**
basierend auf einem Projekt an der NTNU

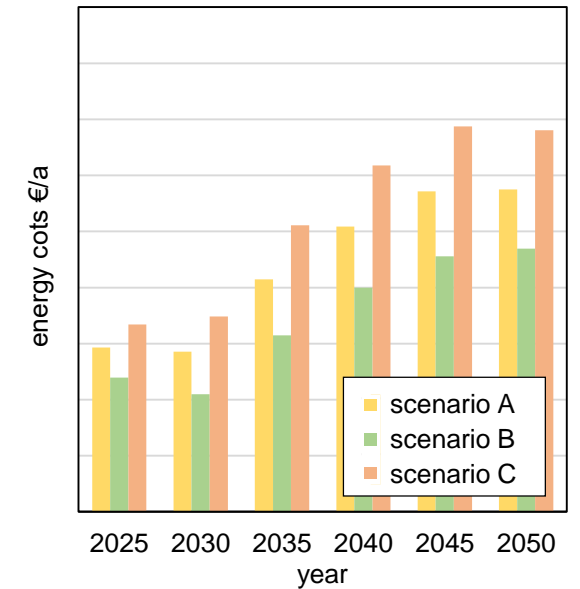
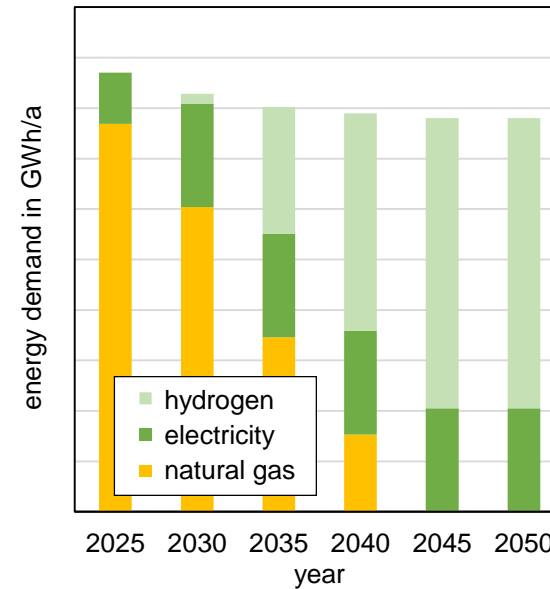
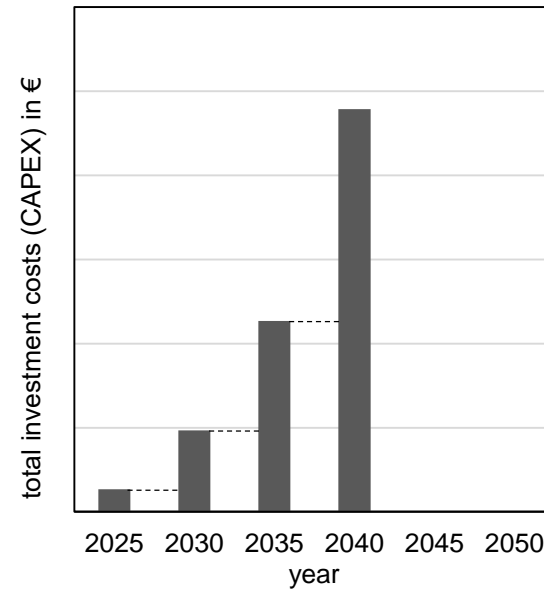
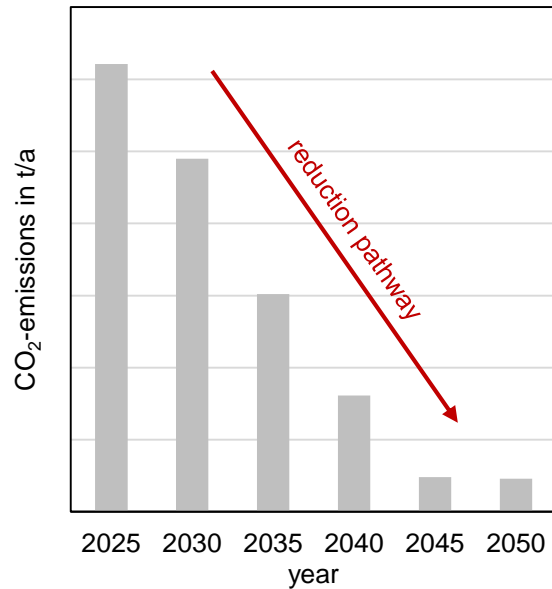
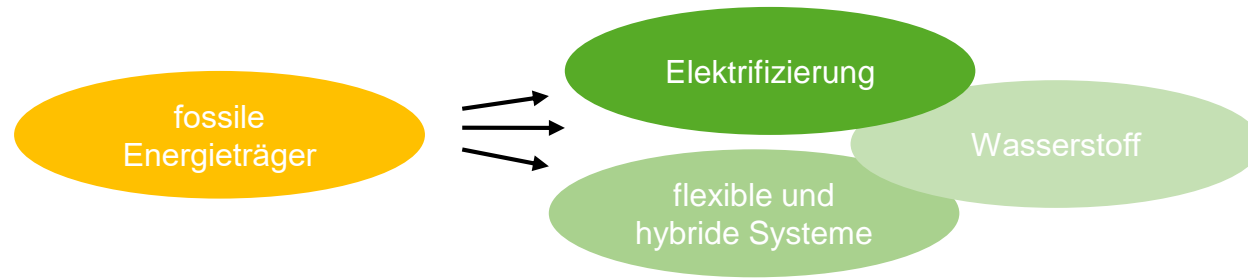
gefördert vom



Deutscher Akademischer Austauschdienst
German Academic Exchange Service

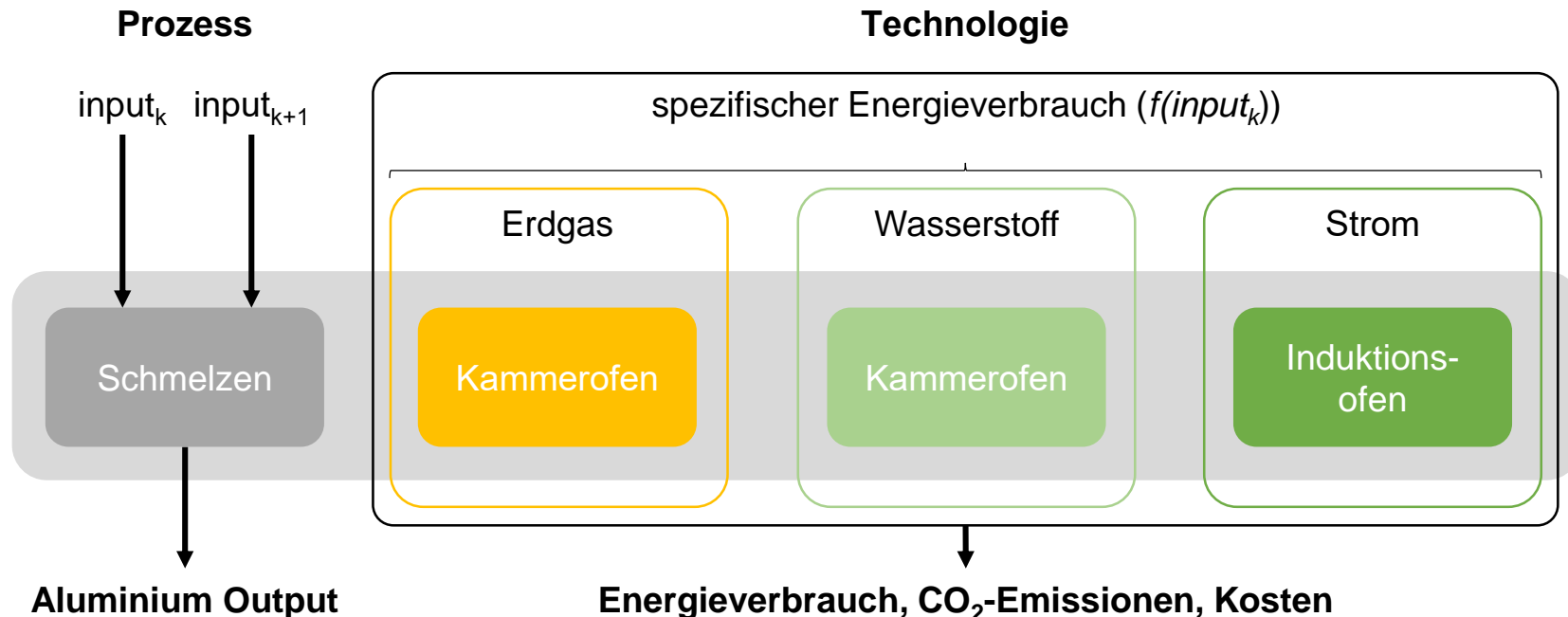
Transformationspfade zur Umsetzung einer CO₂-neutralen Prozesswärmeerzeugung

Die Transformation energieintensiver Prozesse bedarf der Analyse unterschiedlicher Kennzahlen.

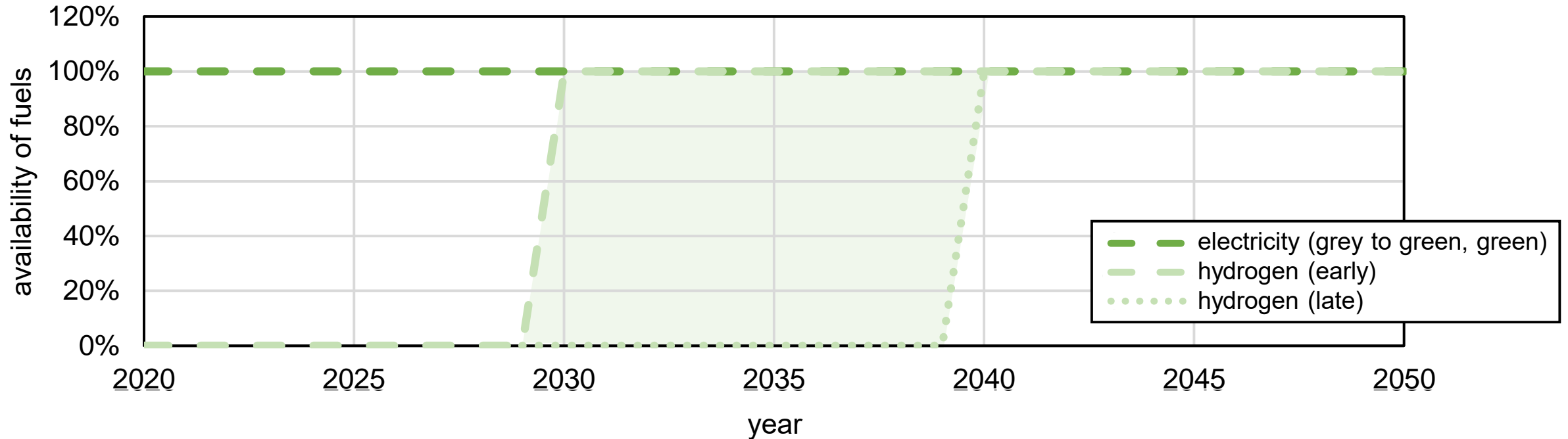


Im Fokus dieser Präsentation: Ein vereinfachtes Beispiel für den Aluminium Schmelzprozess

Der Fokus liegt auf den Möglichkeiten einer Elektrifizierung und der Beheizung mit Wasserstoff – das Beispiel soll insbesondere die Methodik verdeutlichen, welche auf unterschiedliche Prozesse angewendet werden kann, sofern ausreichend Kenndaten vorhanden sind.



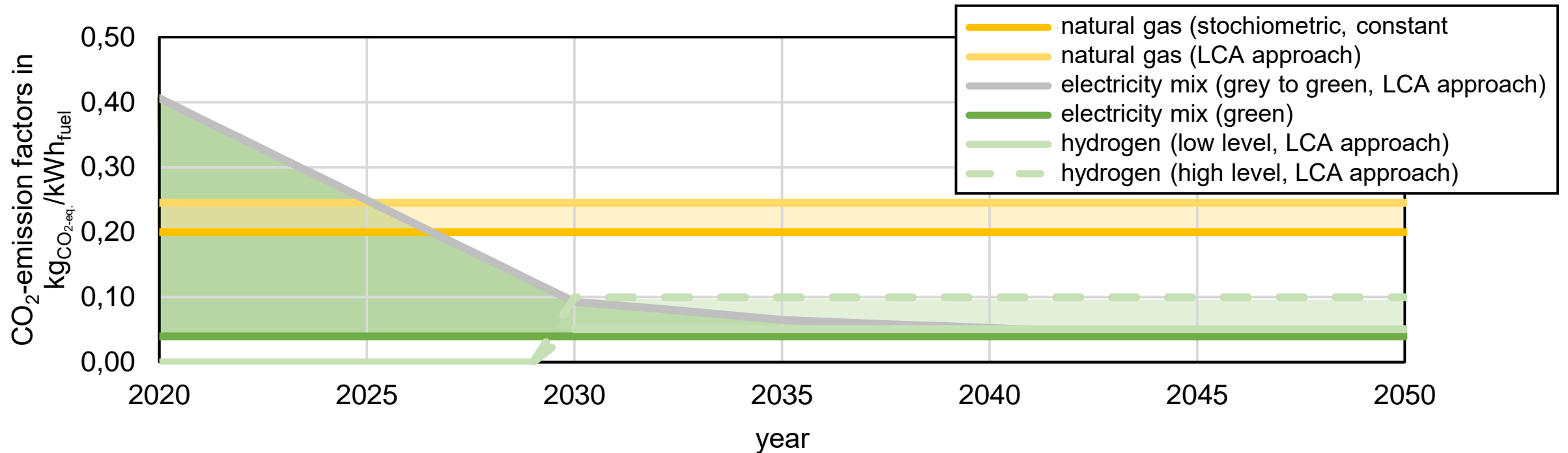
Unterschiedliche Verfügbarkeit von Strom und grünen Energieträgern in der Zukunft.



more details and literature: DAAD report

Annahmen zu Marktszenarien

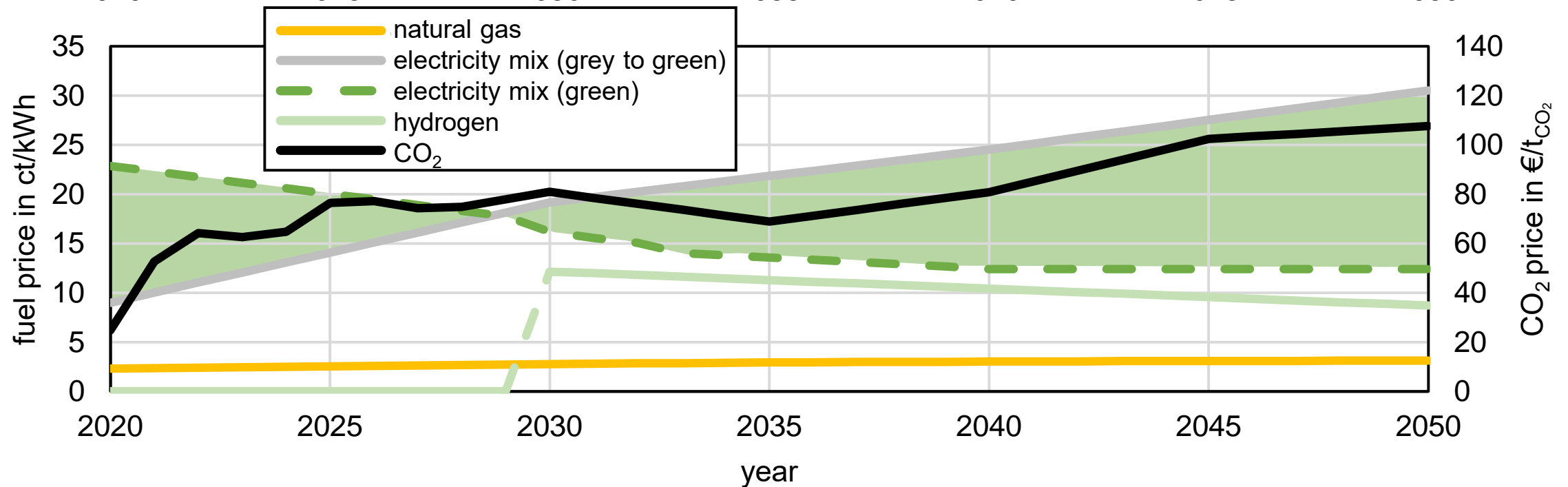
Schwerpunkt auf 3 Szenarien: grauer (1) und grüner Strom (2) sowie grüner Wasserstoff (3). Die CO₂-Emissionsfaktoren werden in allen Szenarien sinken.



more details and literature: DAAD report

Annahmen zu Marktszenarien

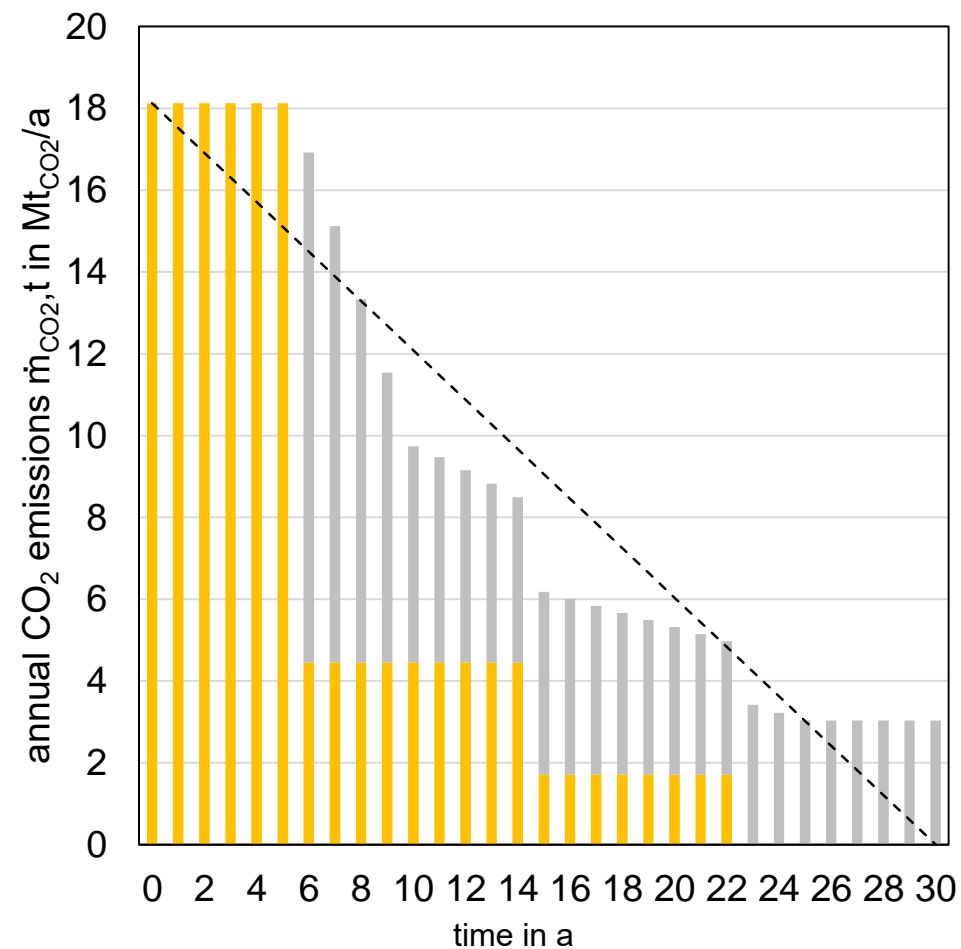
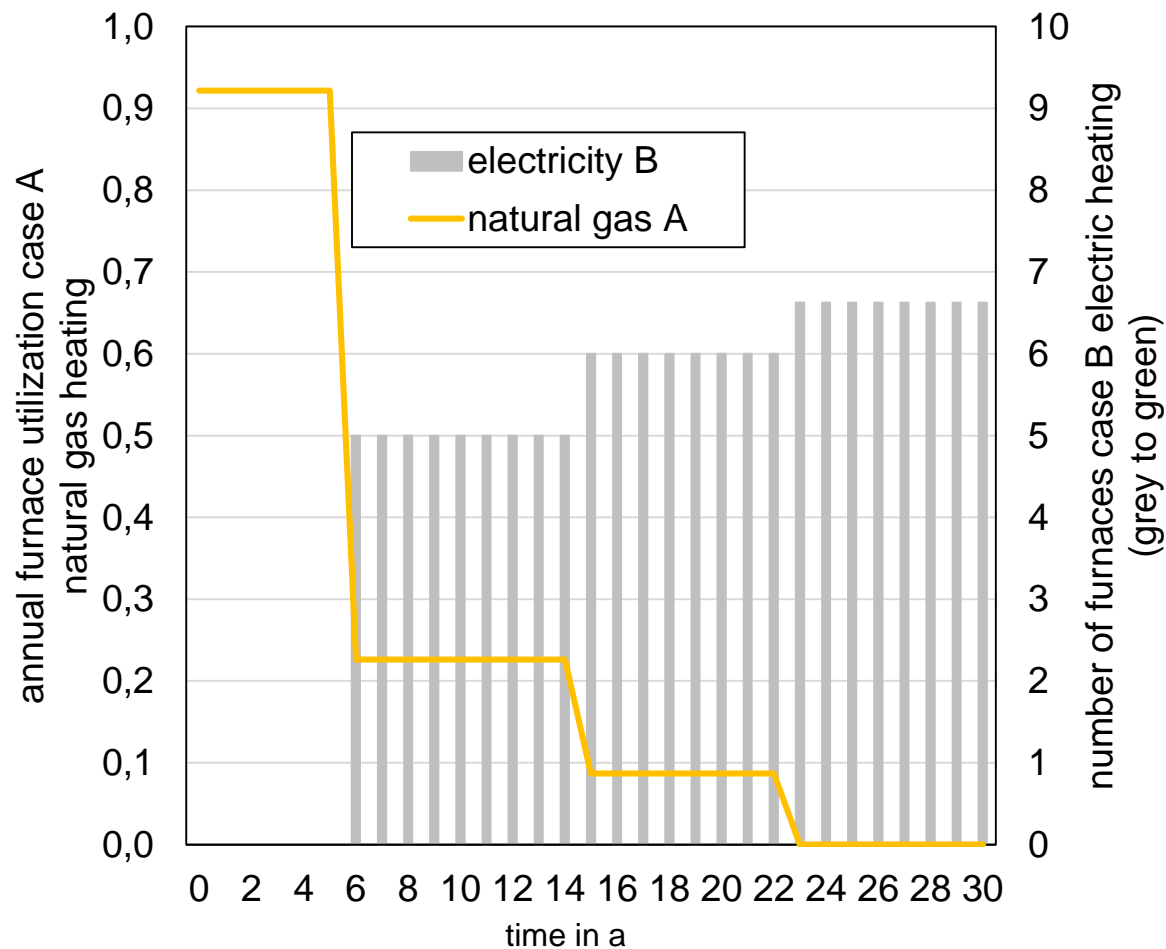
Nach unterschiedlichen Studien wird grüne Energie in Zukunft wettbewerbsfähig sein.



more details and literature: DAAD report

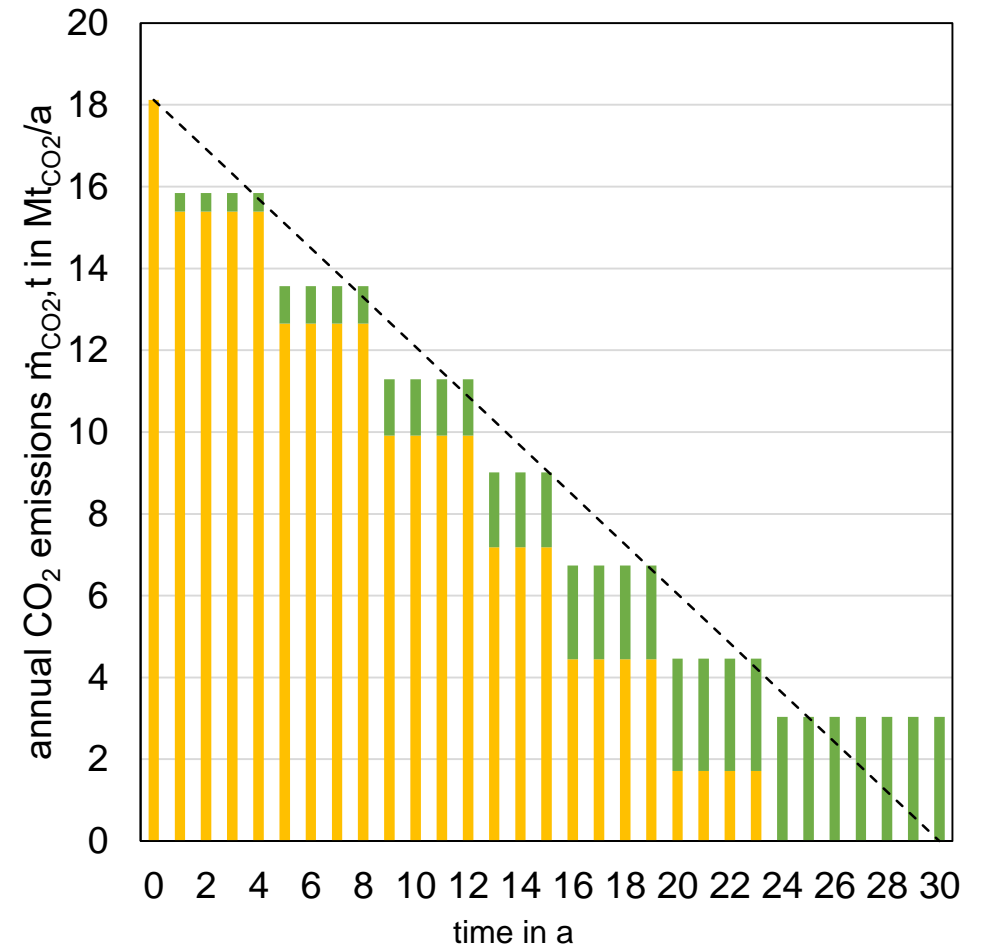
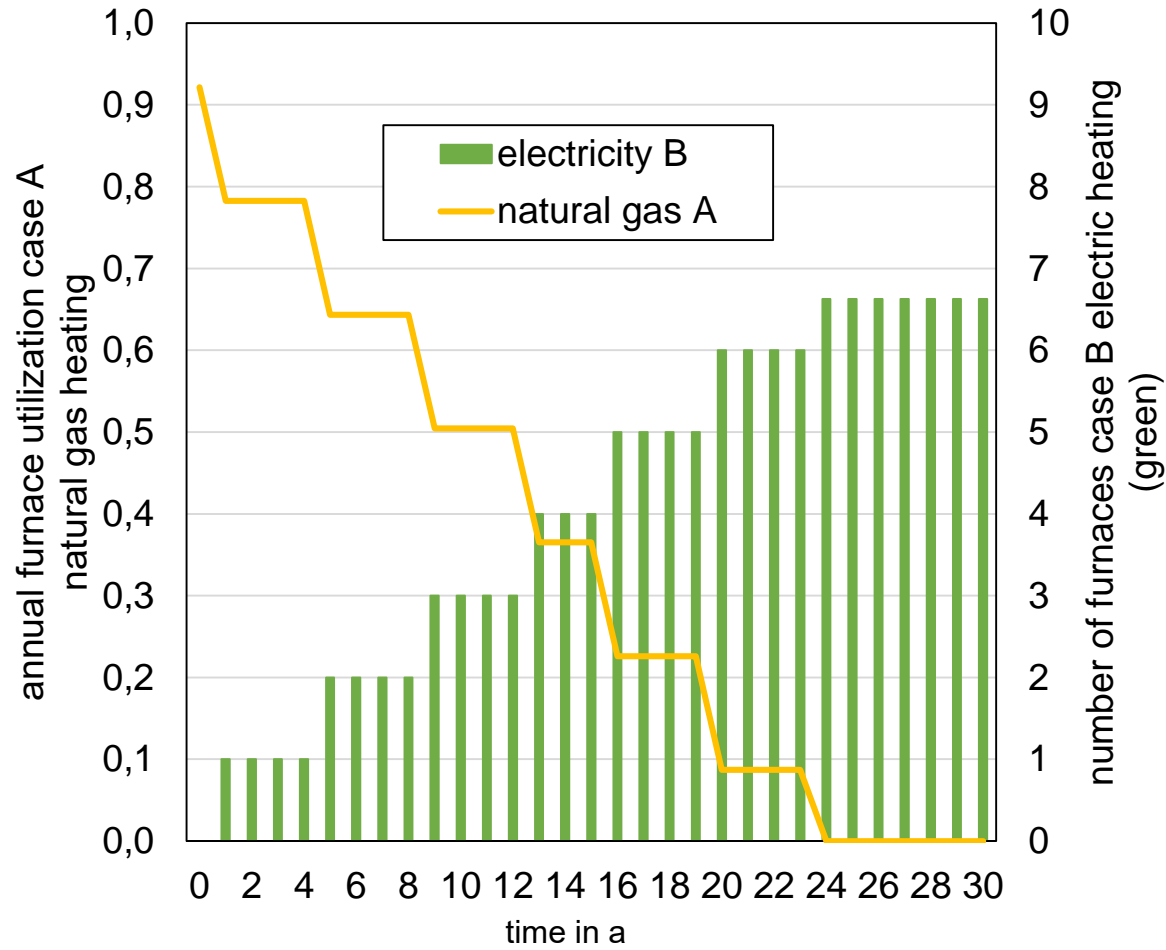
Ergebnisse Szenario 1: Schrittweise Umstellung von Erdgas auf eine Beheizung mit „grauem“ Strom

Künftige CO₂-Emissionsziele können erreicht werden, aber verspätet.



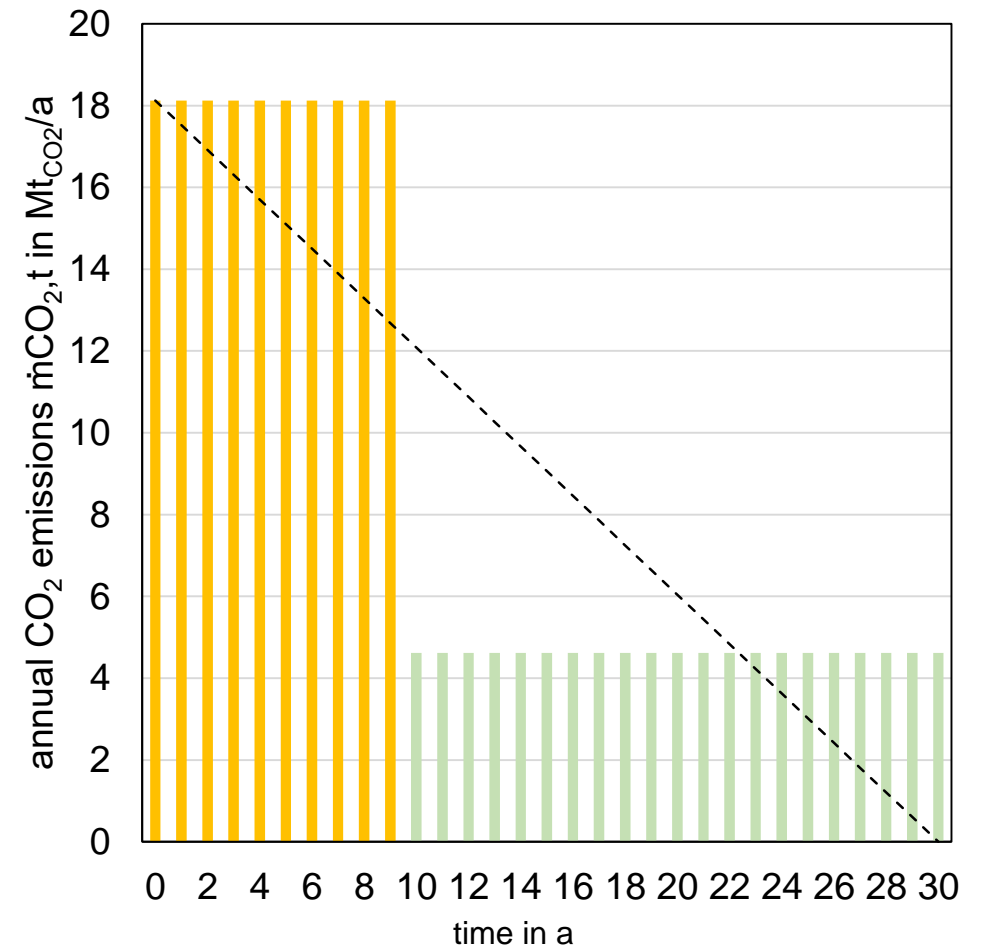
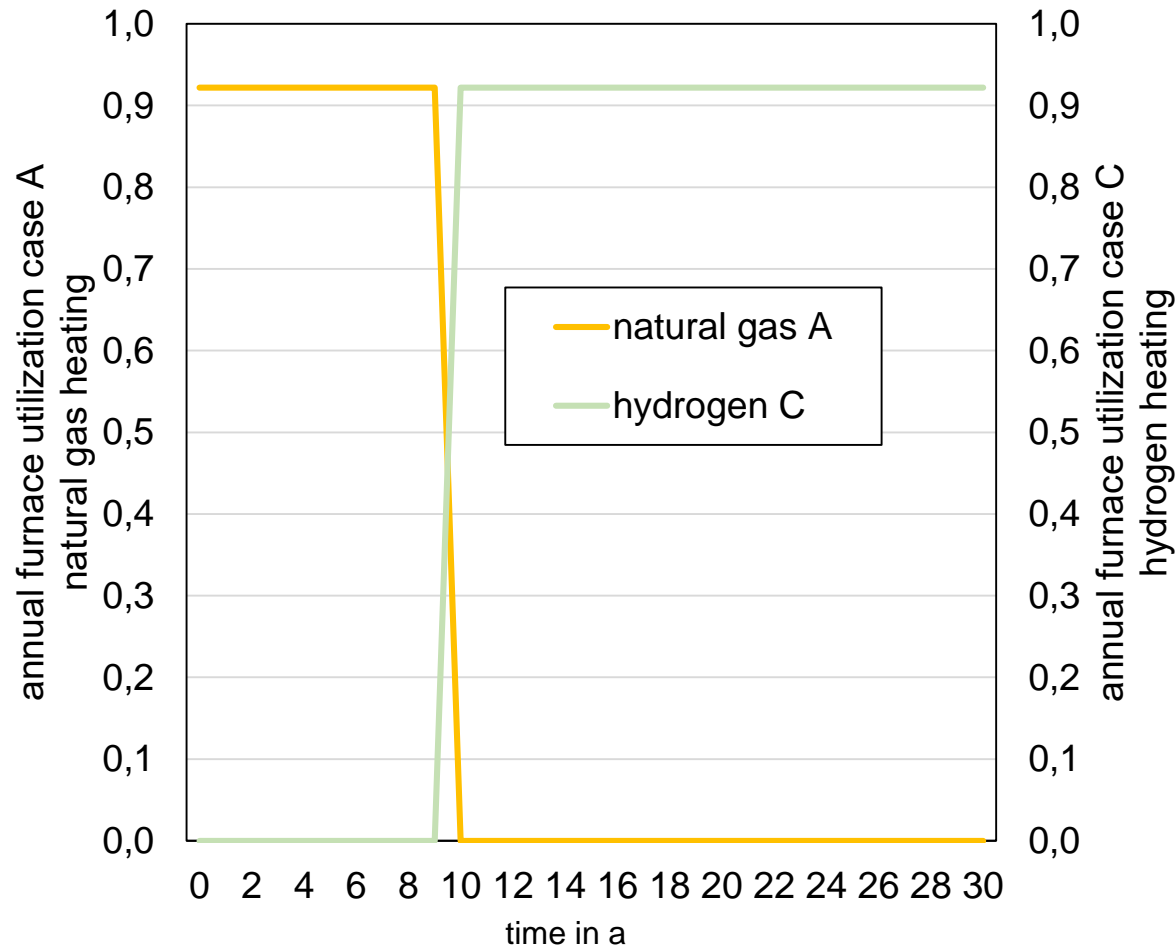
Ergebnisse Szenario 2: Schrittweise Umstellung von Erdgas auf eine Beheizung mit „grünem“ Strom

Die jährlichen CO₂-Emissionsziele können erreicht werden.



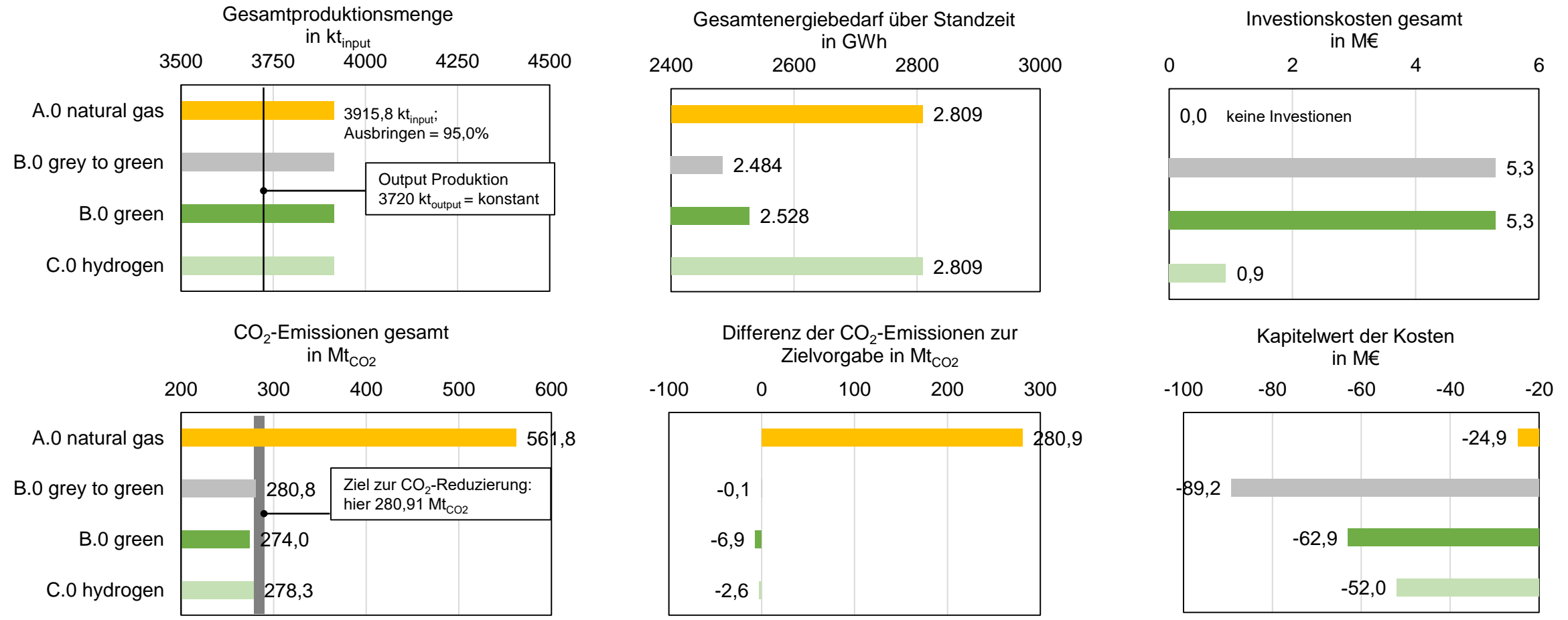
Ergebnisse Szenario 3: Schrittweise Umstellung von Erdgas auf eine Beheizung mit „grünem“ Wasserstoff

Die frühe Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff ist entscheidend.



Zusammenfassung der Ergebnisse anhand von Kennzahlen

Elektrifizierung hat den geringsten Gesamtenergiebedarf und die geringsten CO₂-Emissionen. Wasserstoff die niedrigsten Kosten in den betrachteten Szenarien.



- Es gibt bereits heute oder aber mit entsprechendem Forschungs- und Entwicklungsaufwand perspektivisch technische Lösungen für eine CO₂-neutrale Prozesswärmeerzeugung.
- Für die praktische Umsetzung sind jedoch nicht allein technische Lösungen ausschlaggebend.
- Von zentraler Bedeutung ist Bewertung der technischen Möglichkeiten in den standortspezifischen Rahmenbedingungen.
- Mit zunehmender Unschärfe in den Rahmenbedingungen nehmen Flexibilität und Technologieoffenheit in der Zukunft eine wichtige Rolle ein.
- Die frühe Erprobung neuer Technologie für eine dann schnelle Umstellung in sich verändernden Rahmenbedingungen kann zu einem Wettbewerbsvorteil werden.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt und Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Christian Schwotzer

RWTH Aachen University
Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik
Kopernikusstraße 10
52074 Aachen

Tel.: +49 241 80 26068
schwotzer@iob.rwth-aachen.de
www.iob.rwth-aachen.de