



Foto: NLMK Group

Potenziale für eine CO₂-neutrale Prozesswärmeerzeugung in Erwärmungs- und Glühöfen in Stahl-Walzwerken

N. Schmitz, T. Echterhof, H. Pfeifer

10. Oktober 2019



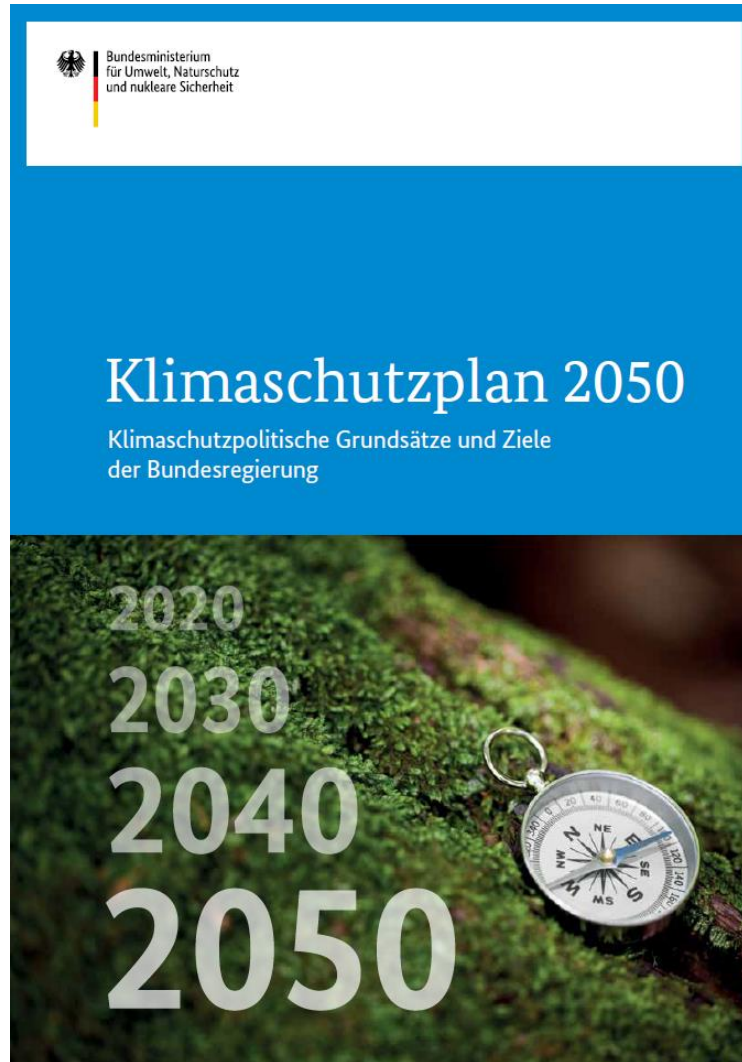
2. Aachener Thermoprozess-Kolloquium
10. und 11. Oktober 2019

IOB

Institut für
Industriefenbau
und Wärmetechnik

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

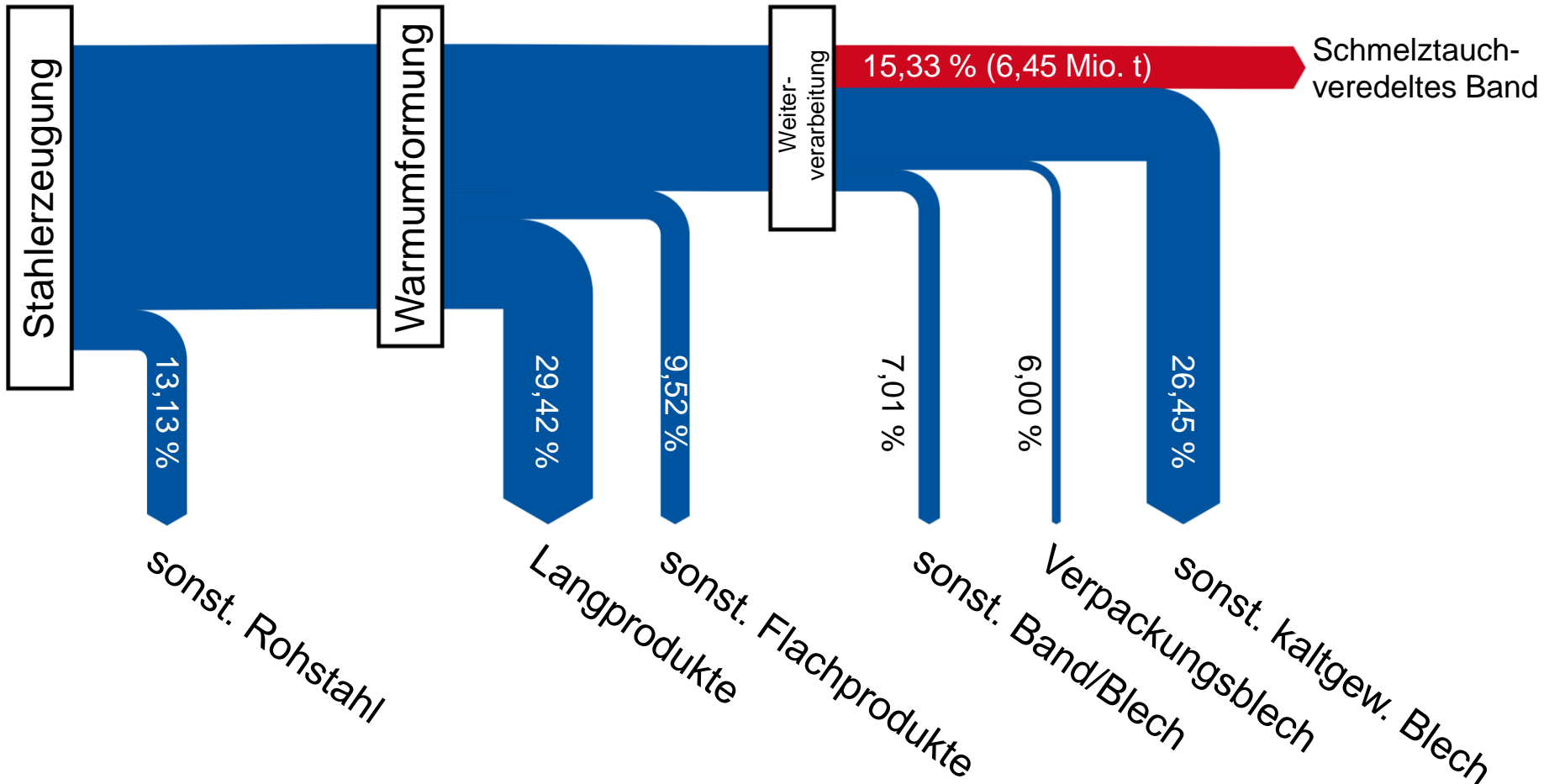
Motivation und Rahmenbedingungen



Bildquelle: Klimaschutzplan 2050, Bundesregierung

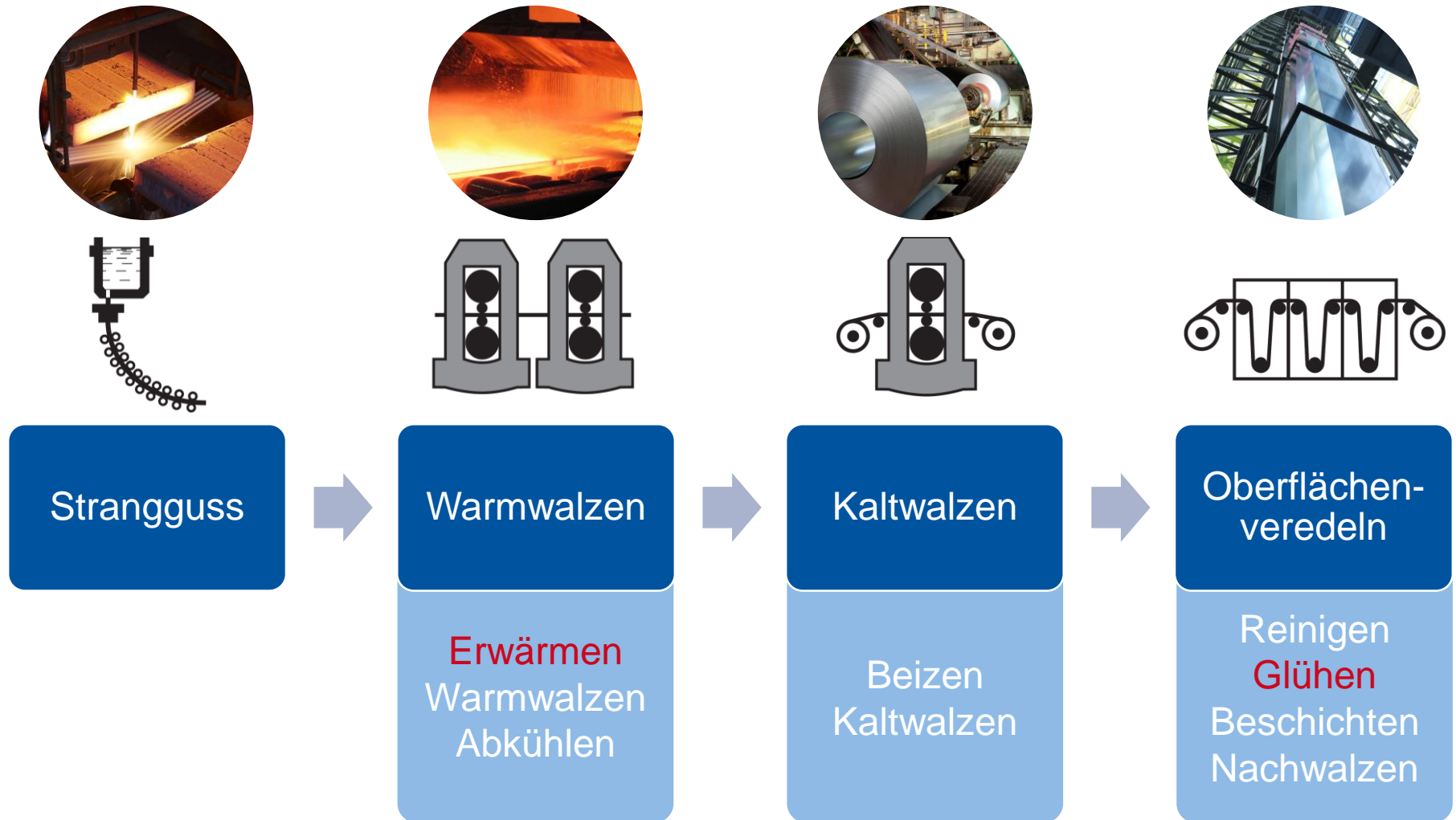
Stahlerzeugung in Deutschland

Rohstahlerzeugung in 2016: 42,08 Mio. t



Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl: Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie, Düsseldorf, 2018

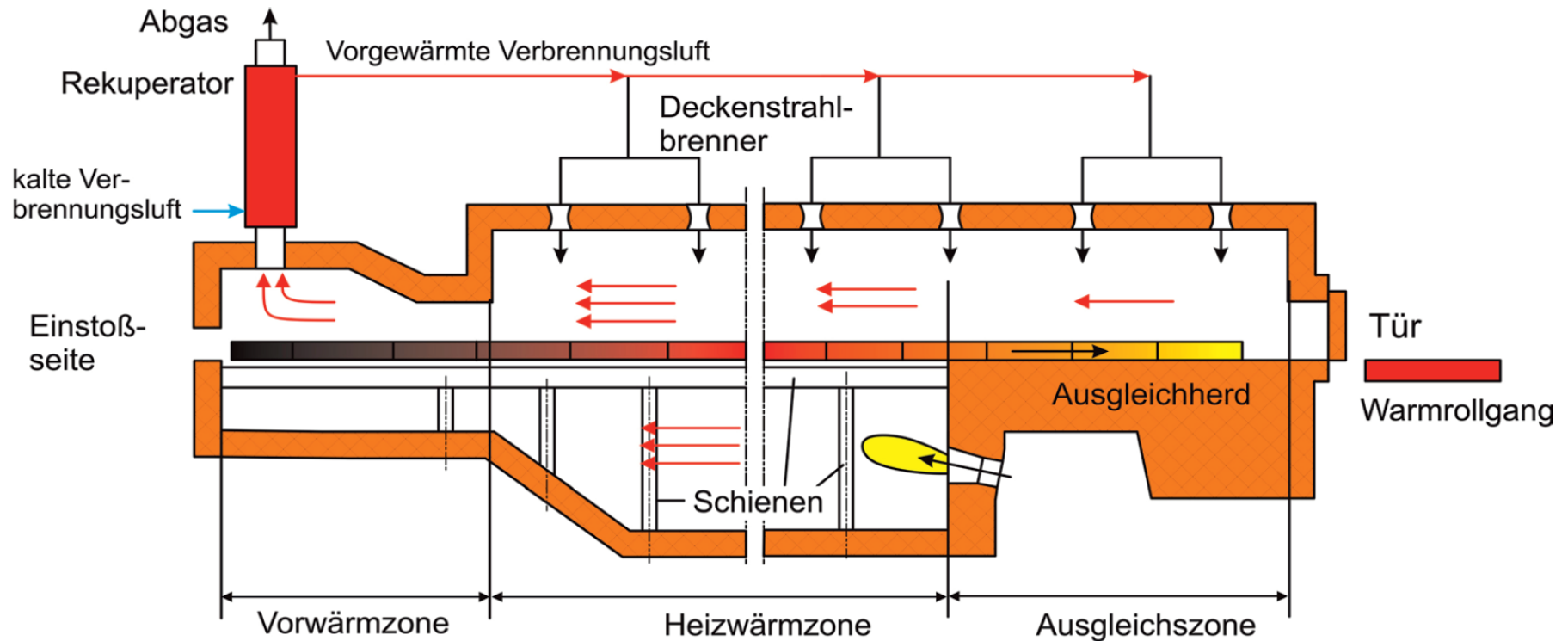
Beispielprozesskette – feuerverzinktes Stahlband



Bildquellen: Primetals Technologies, worldsteel, ThyssenKrupp Steel Europe, Verlag Stahleisen GmbH

Erwärmung im Stoß-/Hubbalkenofen – Referenztechnologie

- Direkte Beheizung mit Erdgas H
- Wärmerückgewinnung mittels Zentralrekuperator

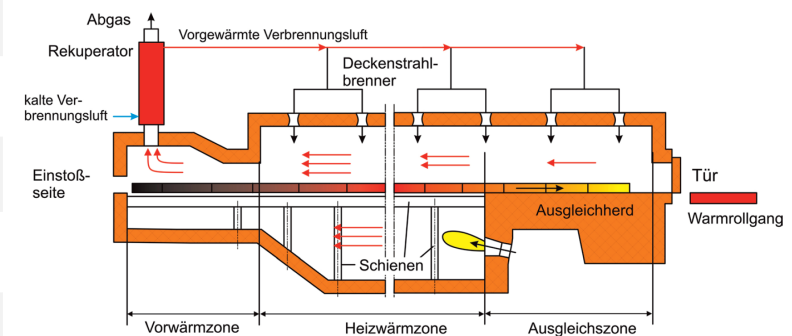
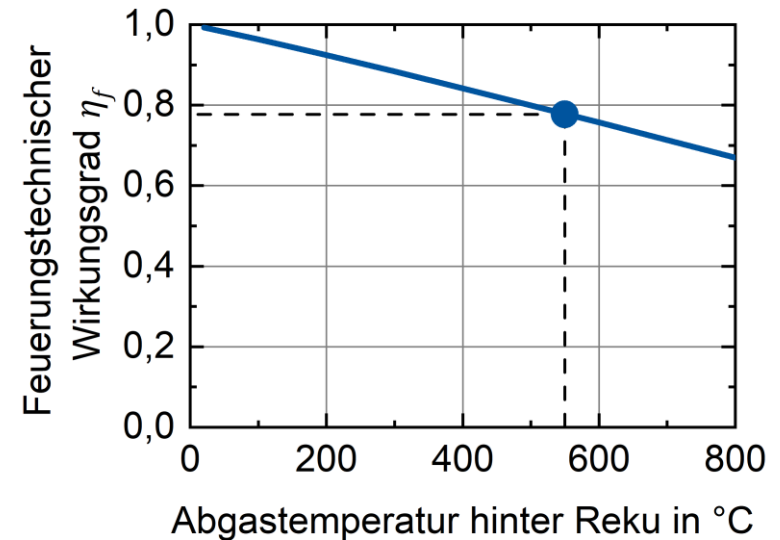


Bildquelle: Praxishandbuch Thermoprozesstechnik Band 2: Anlagen, Komponenten, Sicherheit, 2. Auflage, Essen, Vulkan-Verlag, 2011

Erwärmung im Stoß-/Hubbalkenofen

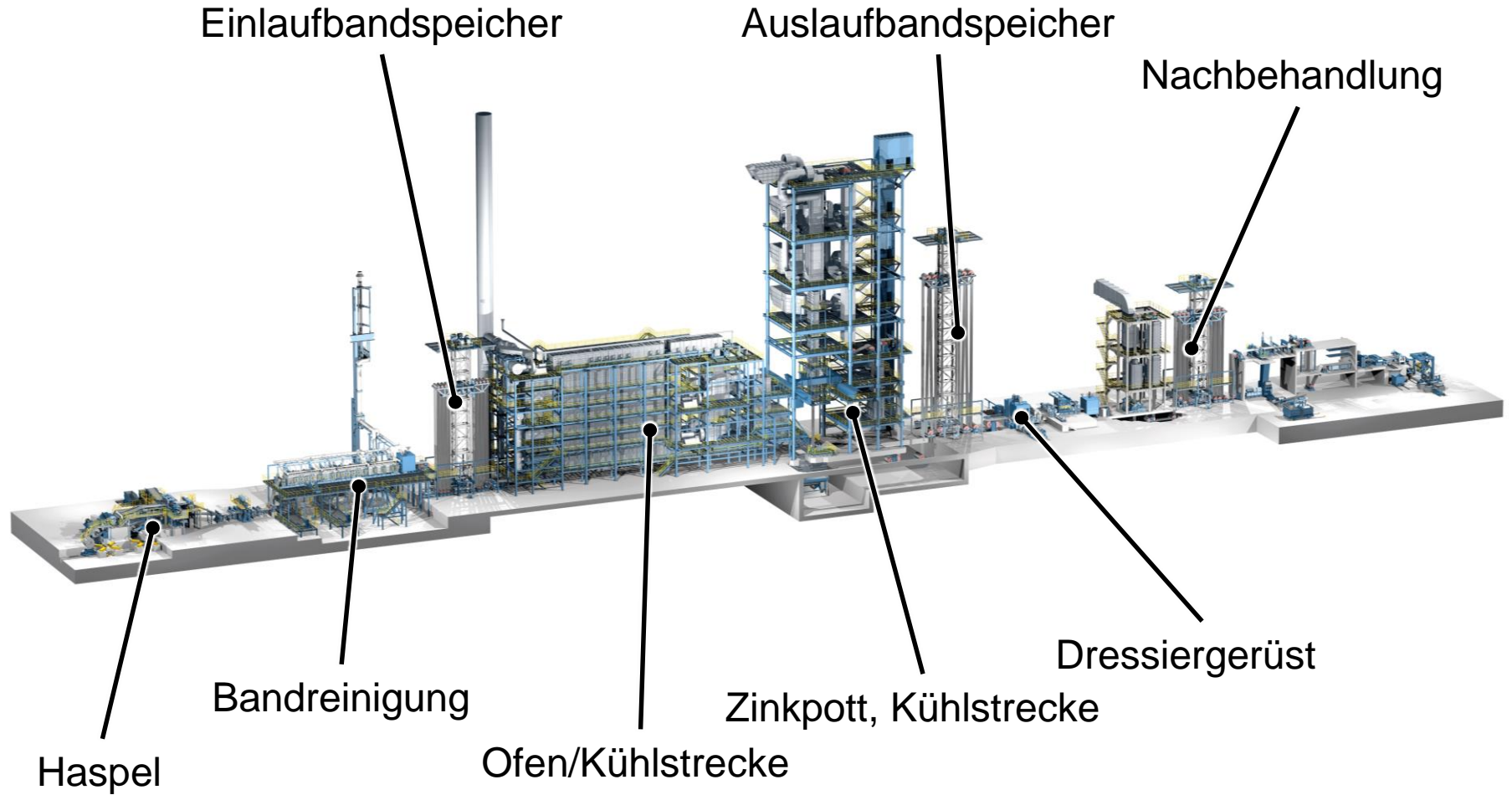
- Annahmen:
 - Ziehtemperatur: 1250 °C
 - Abgastemperatur vor Rekuperator: 900 °C
 - Verbrennungslufttemperatur: 450 °C
 - spez. Energiebedarf: 1,429 GJ/t (nach BAT)

| Bezeichnung | Wert |
|---------------------------------------|------------|
| Austrittstemperatur Gut T_{Stahl} | 1250 °C |
| spez. Enthalpie Stahl h_{Stahl} | 0,827 GJ/t |
| spez. Energiebedarf e | 1,429 GJ/t |
| Gesamtwirkungsgrad η_{ges} | 0,578 |
| feuerungstechn. Wirkungsgrad η_f | 0,780 |
| Reaktorwirkungsgrad η_R | 0,742 |



Quelle spez. Energiebedarf: European Commission, European IPCC Bureau, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Ferrous Metals Processing Industry, Draft 1 (March 2019)

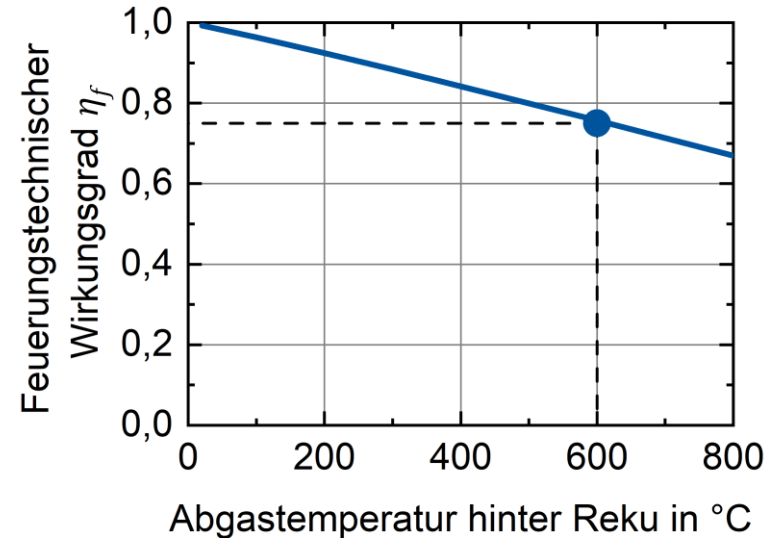
Kontinuierliche Verzinkungslinie - Referenztechnologie



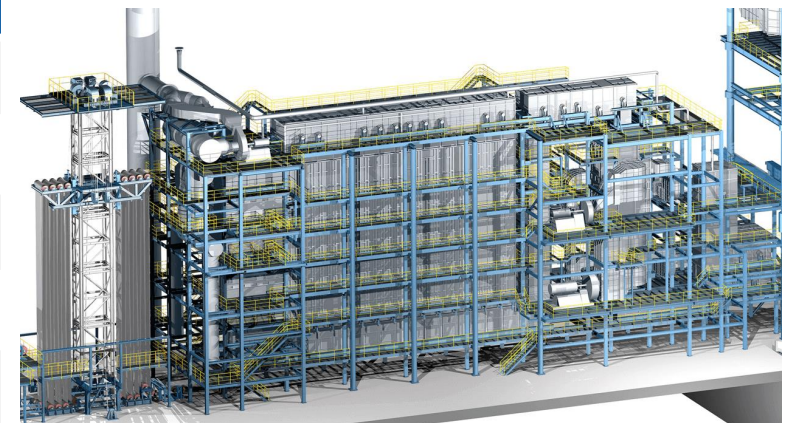
Quelle: SMS group

Wärmebehandlung im Durchlaufofen

- Annahmen:
 - Glühtemperatur: 830 °C
 - Indirekte Beheizung mit Doppel-P Strahlheizrohren und metallischen Rekuperatorbrennern
 - spez. Energiebedarf: 0,915 GJ/t (nach BAT)

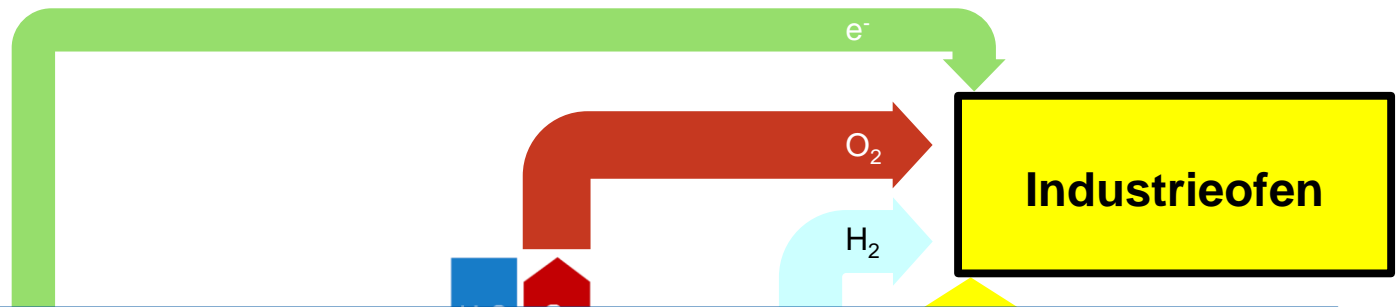


| Bezeichnung | Wert |
|---------------------------------------|------------|
| Austrittstemperatur Gut T_{Stahl} | 830 °C |
| spez. Enthalpie Stahl h_{Stahl} | 0,529 GJ/t |
| spez. Energiebedarf e | 0,915 GJ/t |
| Gesamtwirkungsgrad η_{ges} | 0,582 |
| feuerungstechn. Wirkungsgrad η_f | 0,750 |
| Reaktorwirkungsgrad η_R | 0,775 |

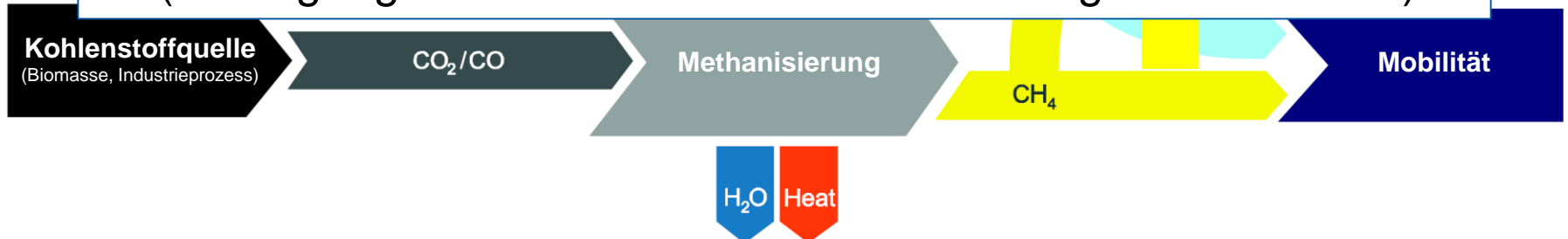


Quelle spez. Energiebedarf: European Commission, European IPCC Bureau, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Ferrous Metals Processing Industry, Draft 1 (March 2019)

Möglichkeiten für eine CO₂-neutrale Prozesswärmeerzeugung

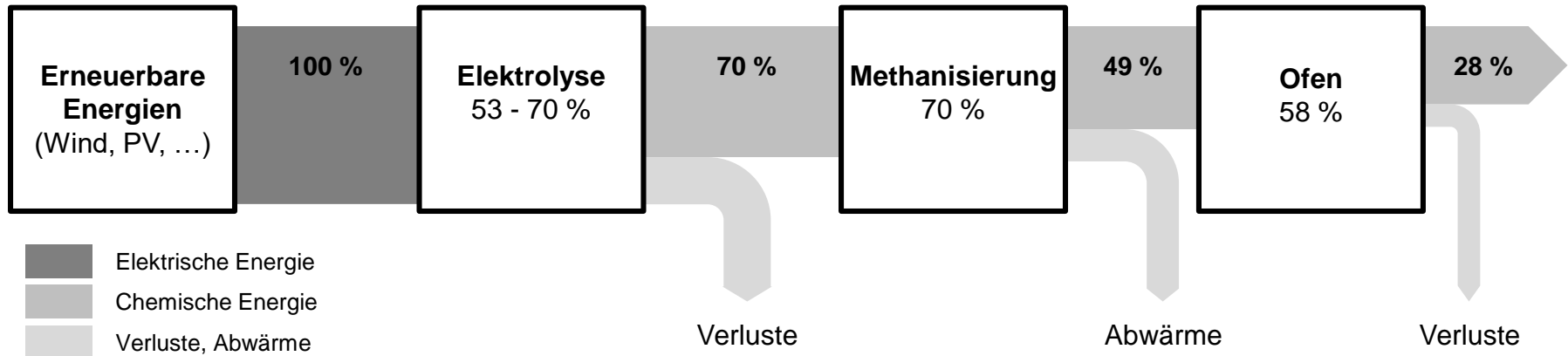


1. Direkte Elektrifizierung (Nutzung von EE-Strom)
2. Erzeugung von EE-Wasserstoff und Verbrennung mit Luft
3. Erzeugung von EE-Wasserstoff und Verbrennung mit Sauerstoff
4. Erzeugung von EE-Methan und Verbrennung mit Luft
5. (Erzeugung von EE-Methan und Verbrennung mit Sauerstoff)



Quelle: H. Pfeifer, Trends im Industrieofenbau (Hybrid-Heating), Kick-off Veranstaltung zum Innovationsforum Hybrid-Heating, 08.11.2018, Aachen
Nach: Götz, M. et al.: Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review, Renewable energy 85 (2016), p. 1371/90

Energiebedarf für die Erzeugung erneuerbarer Gase



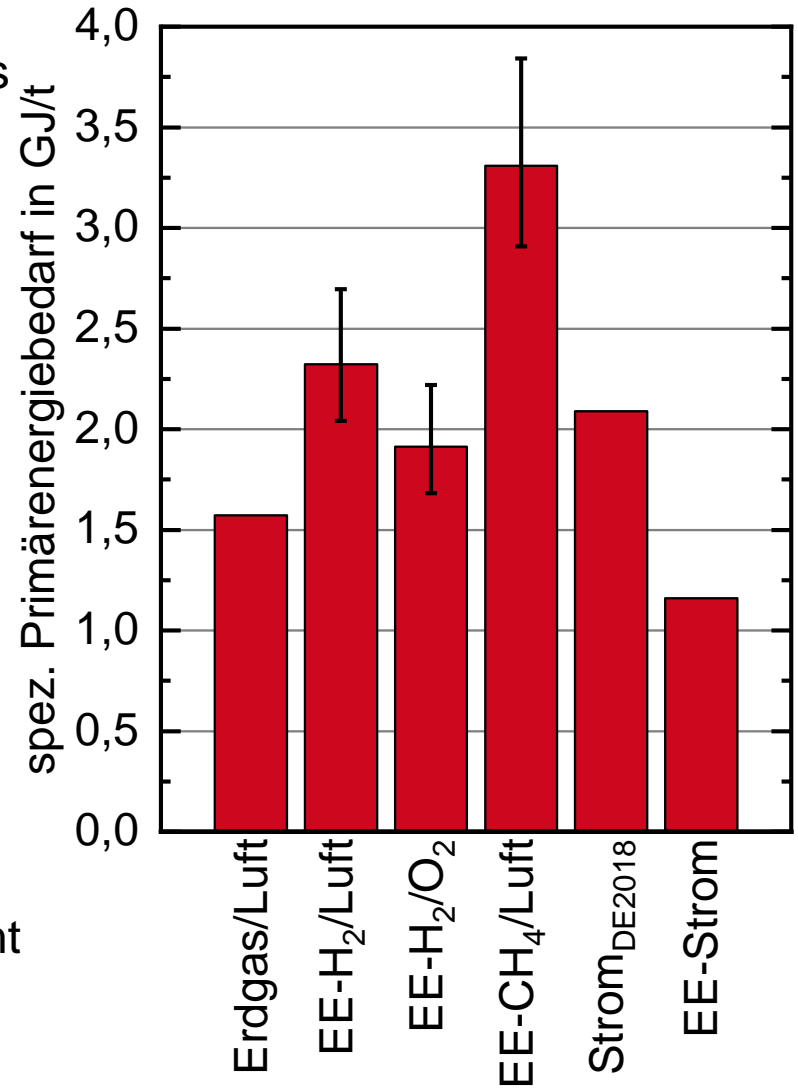
| Bezeichnung / Prozess | H ₂ -Elektrolyse | Methanisierung |
|--|-----------------------------|----------------|
| spez. el. Energiebedarf in MJ/m ³ | 15,48 - 20,52 | 51,00 |
| Heizwert des Produktgases H_u in MJ/m ³ | 10,78 | 35,81 |
| Wirkungsgrad η (bez. auf H_u) | 0,53 - 0,70 | 0,70 |

Annahmen für die Szenarienbetrachtung

- Es wird der Primärenergieeinsatz betrachtet. Folgende PE-Faktoren werden berücksichtigt:
 - fossiles Erdgas: 1,1
 - Strommix Deutschland 2018: 1,8
 - EE-Strom: 1,0
- Der Reaktorwirkungsgrad η_R ist grundsätzlich konstant.
- Für die elektrische Beheizung wird ein elektrischer Wirkungsgrad von $\eta_{el} = 0,96$ angenommen.
- Der feuerungstechnische Wirkungsgrad bei der Verbrennung von EE-H₂ mit Luft ist gleich dem des Referenzfalls. (Änderungen in Bezug auf Gasstrahlung im Ofen und im Strahlrohr und des Wirkungsgrads der Wärmerückgewinnung werden nicht berücksichtigt.)

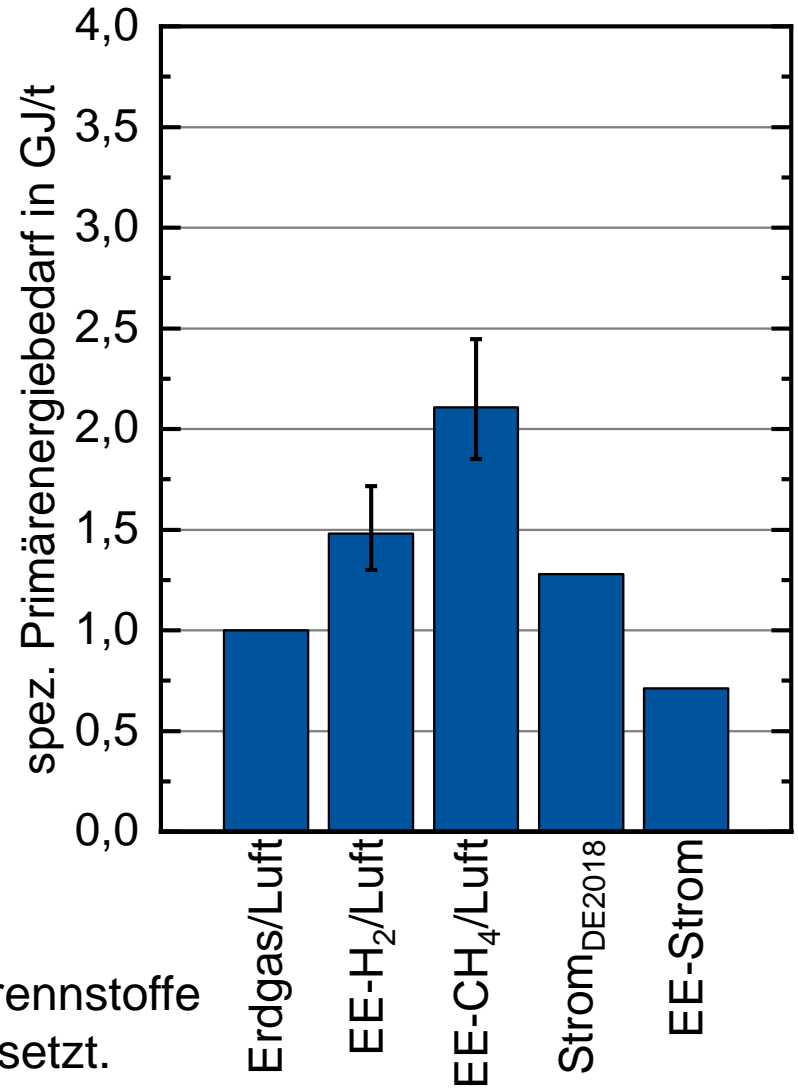
Szenarien: Erwärmung im Stoß-/Hubbalkenofen

- Die Umstellung des derzeitigen Anlagenparks eine rein elektrische Erwärmung ist aktuell nicht denkbar.
- Die Änderung der Erwärmungsprinzipien (z.B. auf Induktion, Konduktion, ...) ist rein technisch möglich, erfordert jedoch den Neubau von Anlagen.
- Hybride Beheizungsansätze (fossiles Erdgas und EE-Strom) sind vorhanden, sind aber aktuell nicht wirtschaftlich.
- Die Umstellung auf H_2 /Luft bzw. H_2/O_2 ist über Retrofit vorhandener Erwärmungsöfen möglich, allerdings großtechnisch aktuell nicht umgesetzt. → Schadstoffemissionen!

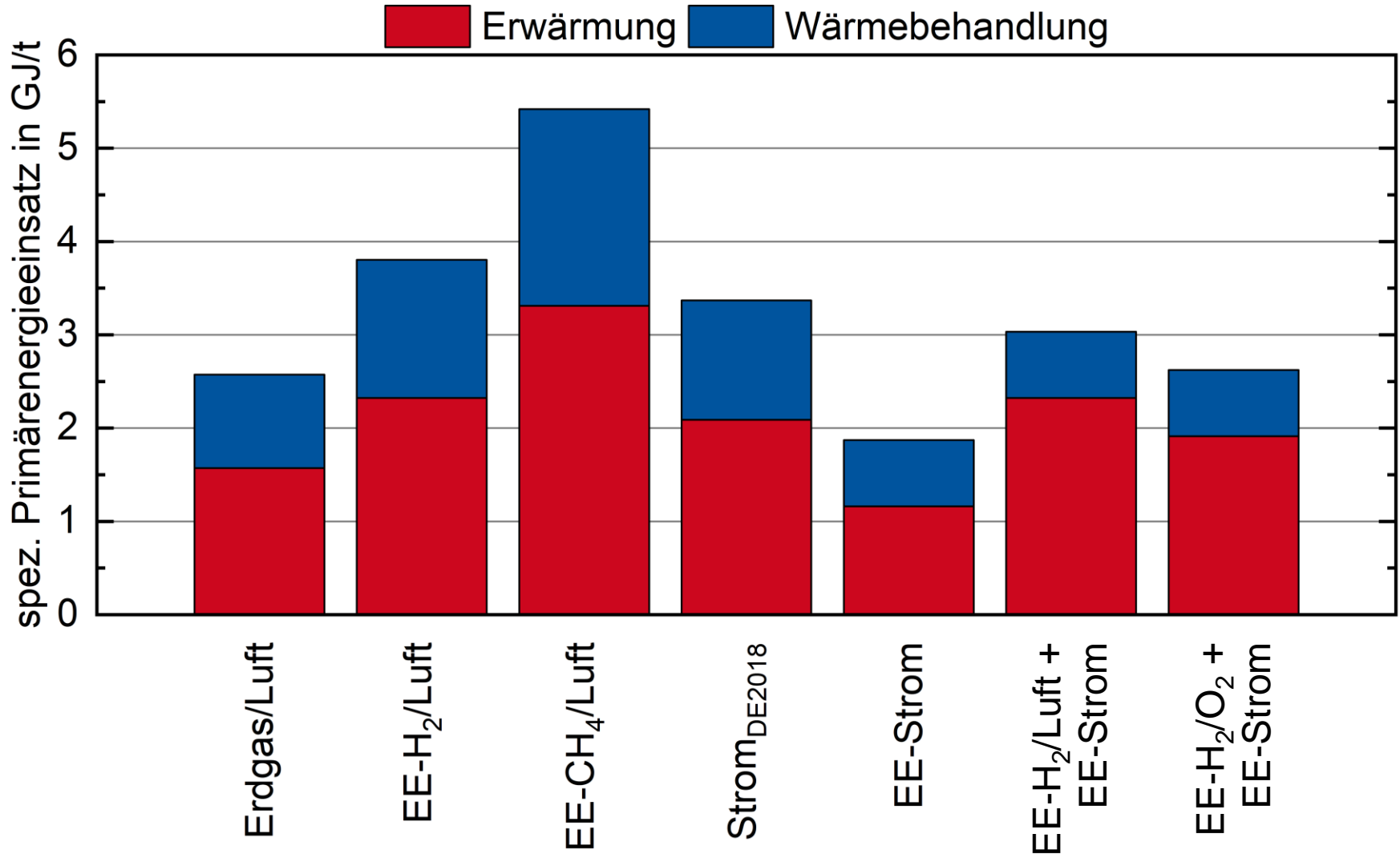


Szenarien: Wärmebehandlung im Durchlaufofen

- Technisch ist die Umstellung des Durchlaufofens auf elektrische Beheizung uneingeschränkt möglich, allerdings nicht wirtschaftlich.
(Heizelemente/induktive Erwärmung)
- Der Einsatz mehrerer Energieträger ist denkbar, da die Heizleistung in kleinen Einheiten (120 bis 160 kW pro Strahlheizrohr) bereitgestellt wird.
- Die Umstellung der Strahlrohrbrenner auf EE-H₂/Luft ist möglich, es sind jedoch Anpassungen notwendig, um geringe Schadstoffemissionen zu garantieren.
- Oxyfuel-Verbrennung im Strahlheizrohr für Brennstoffe mit hoher Flammentemperatur ist nicht umgesetzt.



Betrachtung der Gesamtprozesskette

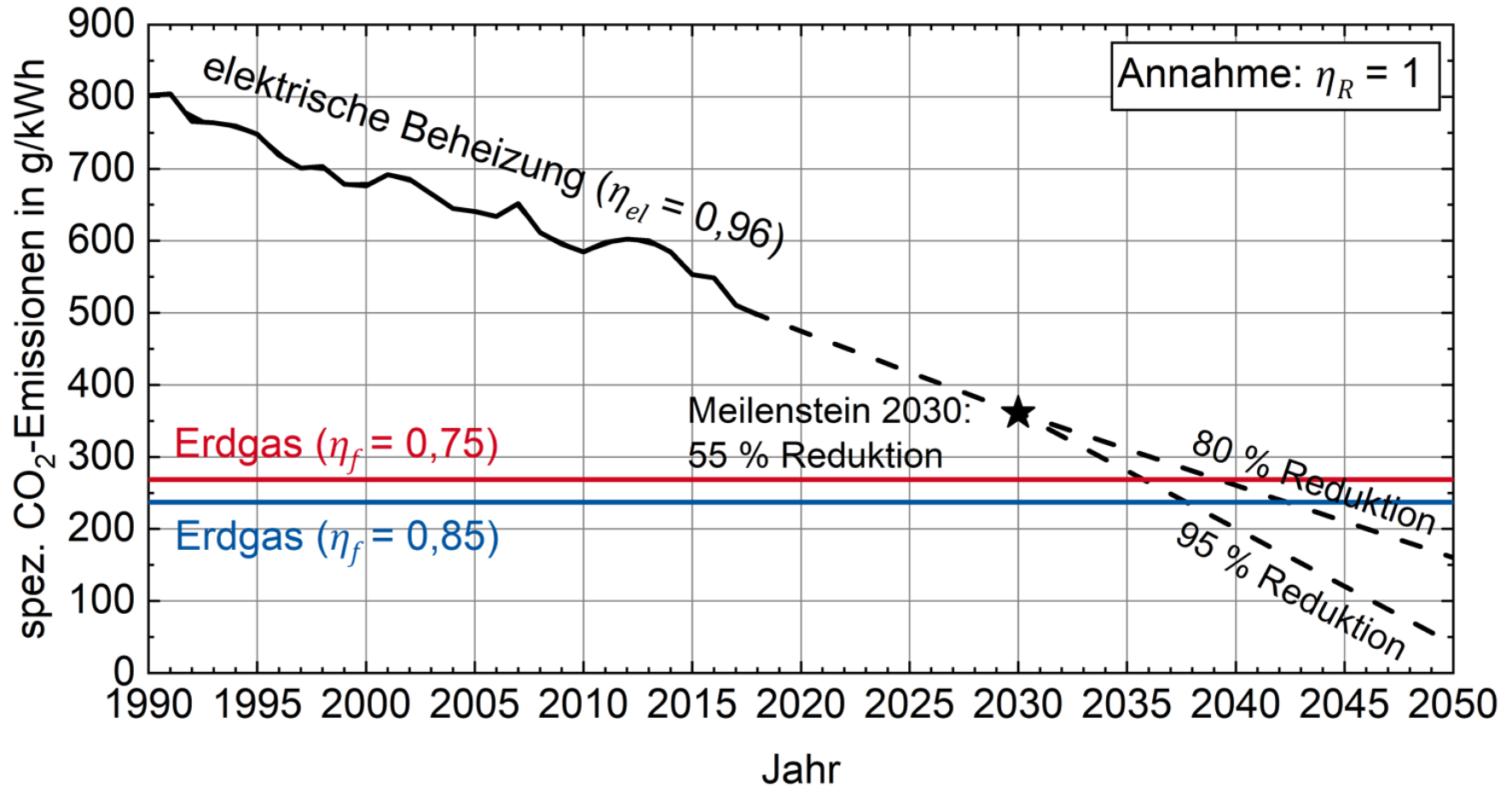


Zusammenfassung

- Eine flächendeckende Elektrifizierung, gerade von Hochtemperaturprozessen, ist nicht uneingeschränkt möglich. Viele Konzepte sind im Brownfield nicht umsetzbar.
- PtG ermöglicht eine CO₂-neutrale Prozesswärmeerzeugung, wenn EE-Strom verwendet wird.
- Aktuelle Energiepreise lassen den wirtschaftlichen Einsatz elektrischer oder hybrider Systeme nicht zu.
- Es besteht Forschungsbedarf in Bezug auf die sinnvolle Einbindung erneuerbarer Energien für die Prozesswärmeerzeugung in Bezug auf:
 - Erhaltung der Produktqualität beim Wechsel der Energieträger (z.B. bei Hybrid-Anlagen)
 - Flexibilisierung von Anlagen in Bezug auf die Produktion und die verwendeten Energieträger
- Aktuell sind die spezifischen CO₂-Emissionen bei der Nutzung von Strom höher als bei effizienten, fossil beheizten Systemen...

Ausblick...

Klimaschutzprogramm 2030, Klimaschutzplan 2050, ...



Quelle: Klimaschutzplan 2050, Bundesregierung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Nico Schmitz, M.Sc.

Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik
RWTH Aachen University
Kopernikusstr. 10, 52074 Aachen
Email: schmitz@iob.rwth-aachen.de
Tel.: +49 241 80 26064
www.iob.rwth-aachen.de