

M.Eng Felix Kugler

Prozesswärme in der stahlverarbeitenden Industrie

5. Cluster-Forum: Transformation zur dekarbonisierten Wärmebereitstellung - Chancen, Technologien, Anwendungsfelder
22. September 2022, 10:00 - 17:30 Uhr, Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Amberg

Agenda

- 1 Rahmendaten Stahlerzeugung
- 2 Der konventionelle Stahlherstellungsprozess
- 3 Methoden zur Dekarbonisierung der Stahlerzeugung (CCS, CCU, CDA)
- 4 CDA: Die neue Wasserstoffroute - Direktreduktionsverfahren
- 5 SALCOS – Direktreduktion am Beispiel Salzgitter
- 6 Auftretende Wärmepotentiale

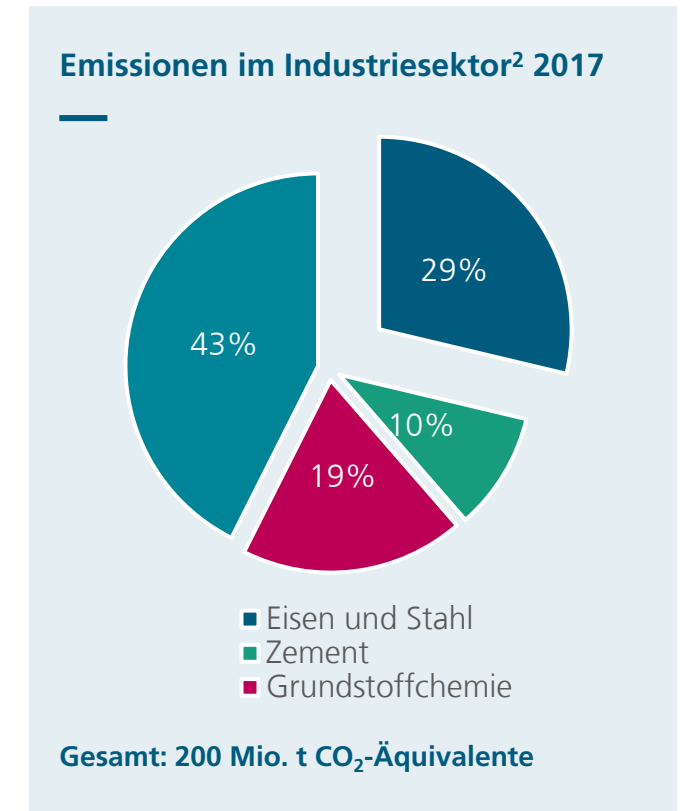
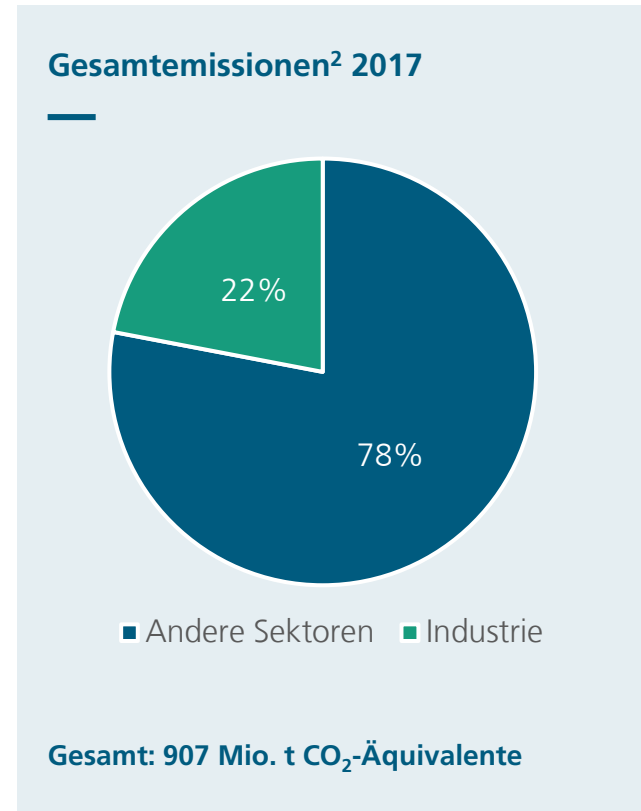
1 Rahmendaten Stahlerzeugung

Stahlproduktion DE

- 42,6 Mio. t Rohstahl in 2015¹
 - davon über Primärroute: 30,0 Mio. t (70 %)

Emissionen Stahlproduktion

- Gesamt: 57,0 Mio. t pro Jahr²
 - Davon prozessbedingt: 18,1 Mio. t pro Jahr (Einsatz von Erdgas und Koks)
- Entspricht ca. 6 % der Gesamtemissionen in Deutschland
- Endenergiebedarf: 151 TWh

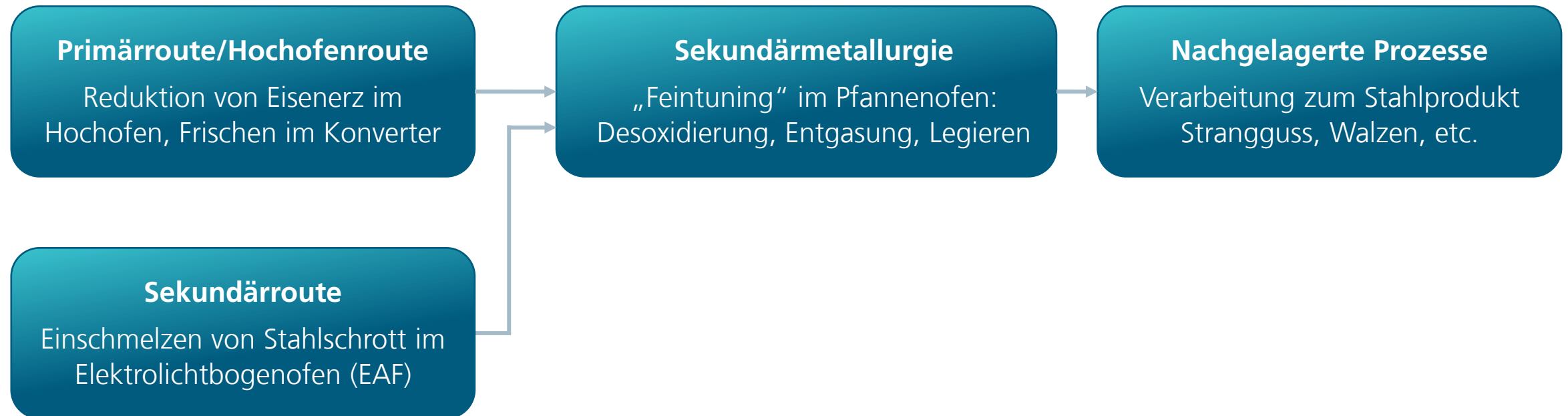


¹ Sprecher, M. et al.: Abwärmenutzungspotenziale in Anlagen integrierter Hüttenwerke der Stahlindustrie, 2019

² Agora Energiewende und Wuppertal Institut: Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement, Berlin, 2019.

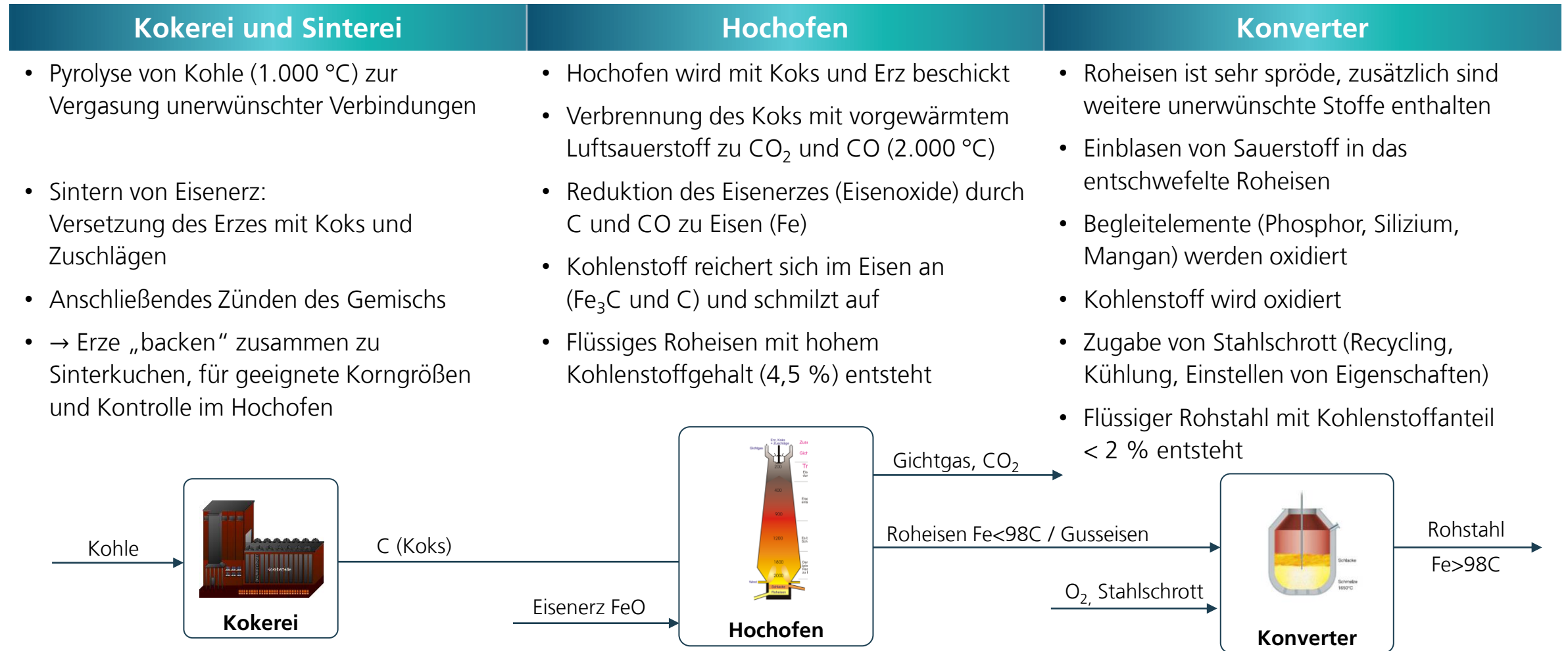
2 Der konventionelle Stahlherstellungsprozess

Stahlherstellung Heute



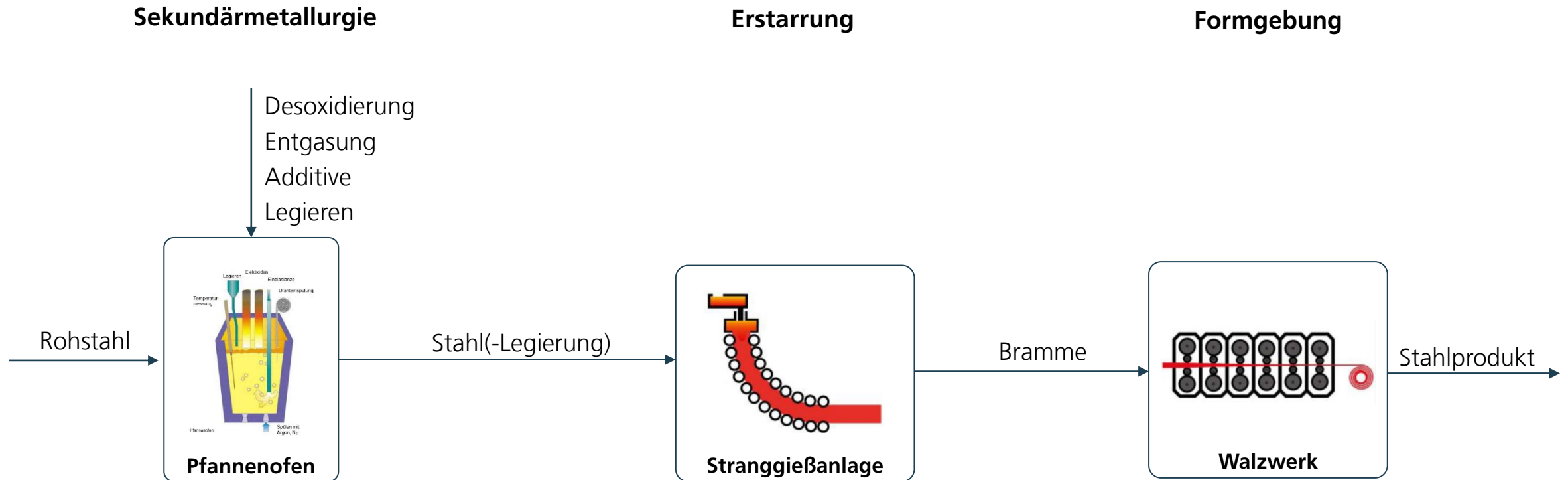
2 Der konventionelle Stahlherstellungsprozess

Hochofenroute im Überblick



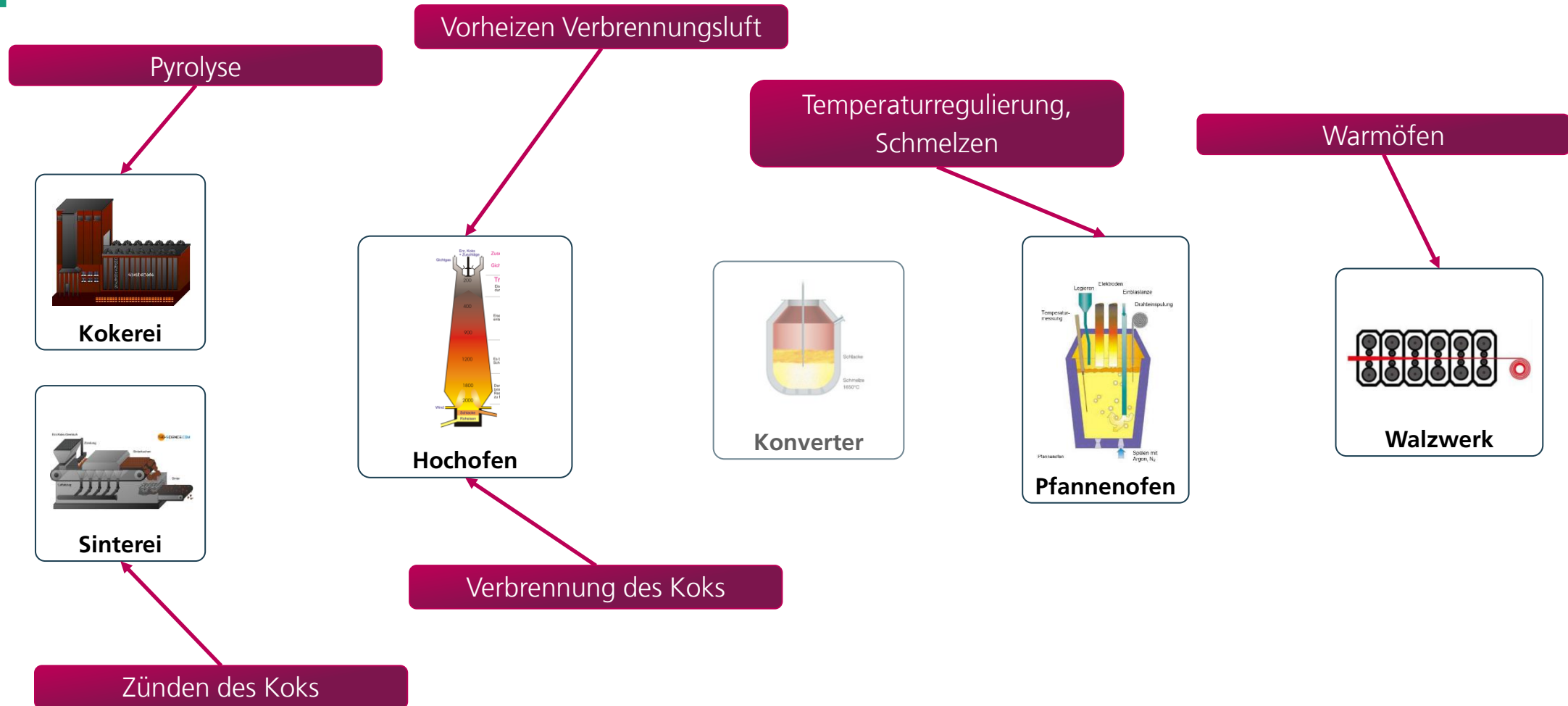
2 Der konventionelle Stahlherstellungsprozess

Sekundärmetallurgie und Nachgelagerte Prozesse



2 Der konventionelle Stahlherstellungsprozess

Viele Energiebedarfe – Nicht nur die Reduktion erfordert Wärme



3 Methoden zur Dekarbonisierung der Stahlerzeugung

CCS, CCU und CDA im Überblick

Carbon Capture & Storage (CCS)

- Abtrennung von CO₂ aus dem Hüttenabgas und langfristige Speicherung des CO₂

Carbon Capture & Utilization (CCU)

- Abtrennung von CO₂ und anschließende Nutzung als Edukt für Prozesse zur Bereitstellung von chemischen Grundstoffen
- CCS und CCU erlauben Weiterbestehen der integrierten Hüttenwerke, lediglich Stofftrennung für CO₂ notwendig
 - Emissionsminderungspotential 68 %¹

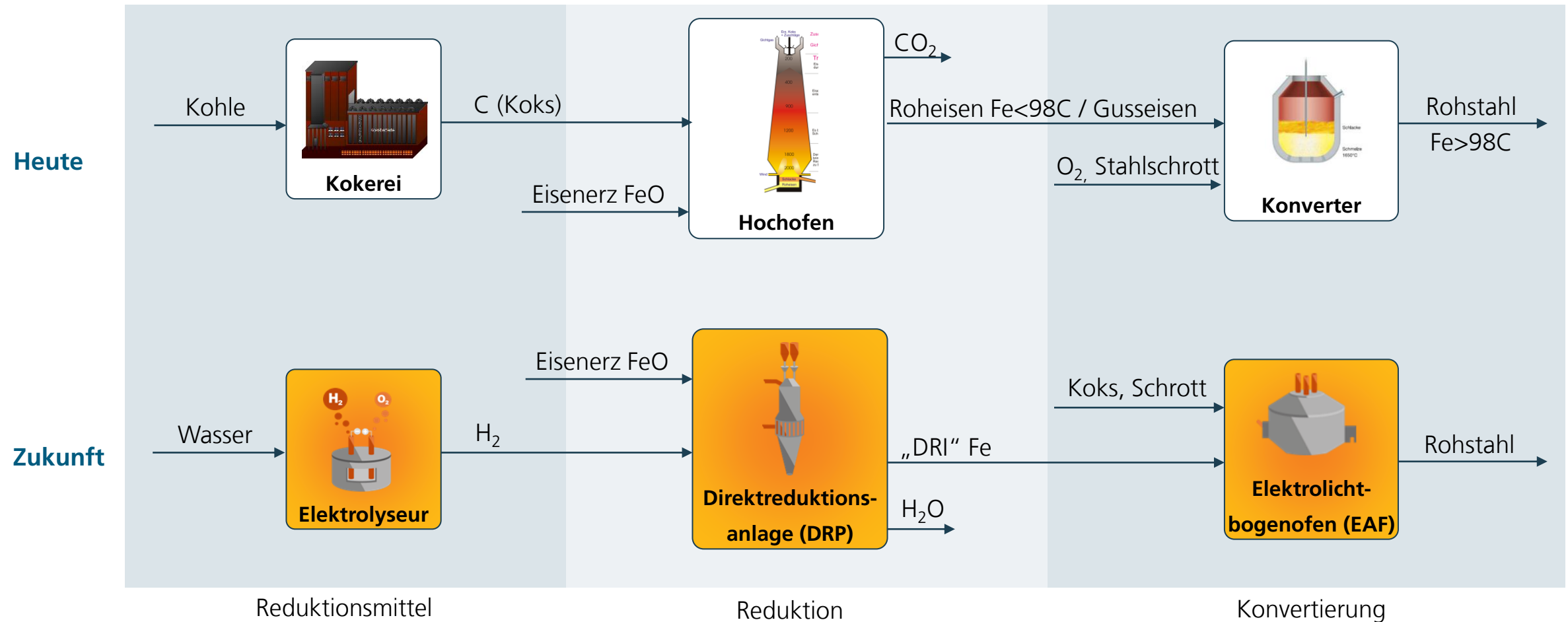
Carbon Direct Avoidance (CDA)

- Substitution der kohlenstoffreichen Reduktionsmittel durch kohlenstoffarme oder -freie Reduktionsmittel und somit Vermeidung der Bildung von CO₂
- Umfassende Umstellung der kompletten Herstellungsrouten
- Emissionsminderungspotential 98 %¹

¹ Jahn, M.: MACOR Abschlussbericht. Machbarkeitsstudie zur Reduzierung der CO₂-Emissionen im Hüttenwerk unter Nutzung regenerativer Energien, 2020.

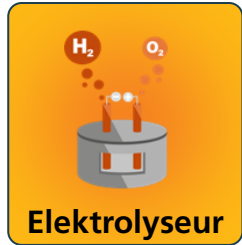
4 CDA: Die neue Wasserstoffroute - Direktreduktionsverfahren

Die Rohstahlproduktion Heute – Zukunft



4 CDA: Die neue Wasserstoffroute - Direktreduktionsverfahren

Beschreibung der Anlagen



	T °C	η %	TRL	Lebensdauer h	Invest T€/kW
AEL	70 – 90	50 – 69	9	60 - 90 k	1 – 2
PEMEL	50 – 80	50 – 68	6 – 8	20 - 60 k	1,5 - 2,3
SOEL	600 – 900	75 – 85	4 – 6	< 10 k	2,5

- Befüllung mit Stückerz und Pellets
 - Reduktion von Eisenerz mit H_2 zu Eisen (Fe) und H_2O (auch Reduktion mit CH_4 möglich)
 - Temperaturen bis 1.100 °C, es erfolgt kein Aufschmelzen
 - Durch Herauslösen des Sauerstoffs entsteht poröser Eisenschwamm
-
- Aufschmelzen des DRI/HBI mithilfe von Elektroden
 - Zugabe von Stahlschrott und Kohlenstoff
 - Anschließendes Abgießen der Schlacke und des Rohstahls
 - Weiterverarbeitung des Rohstahls über Sekundärmetallurgie und nachgelagerte Prozesse

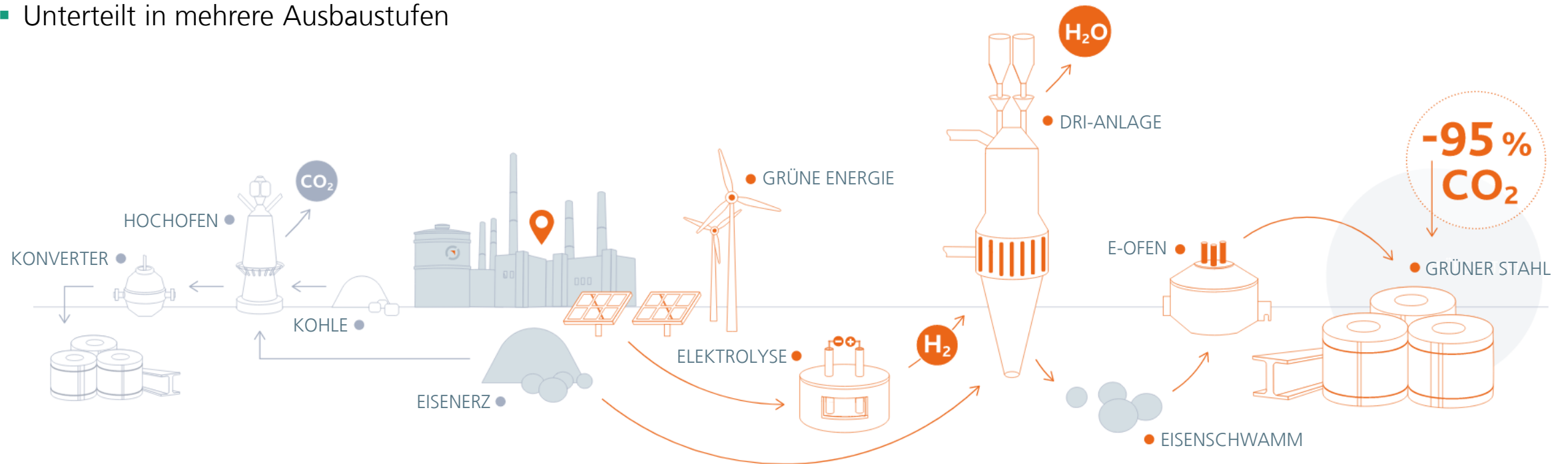
Eisenschwamm (DRI) und brikettiertes Eisen (HBI)



5 SALCOS – Direktreduktion bei Salzgitter

Salzgitter Low CO₂ Steelmaking

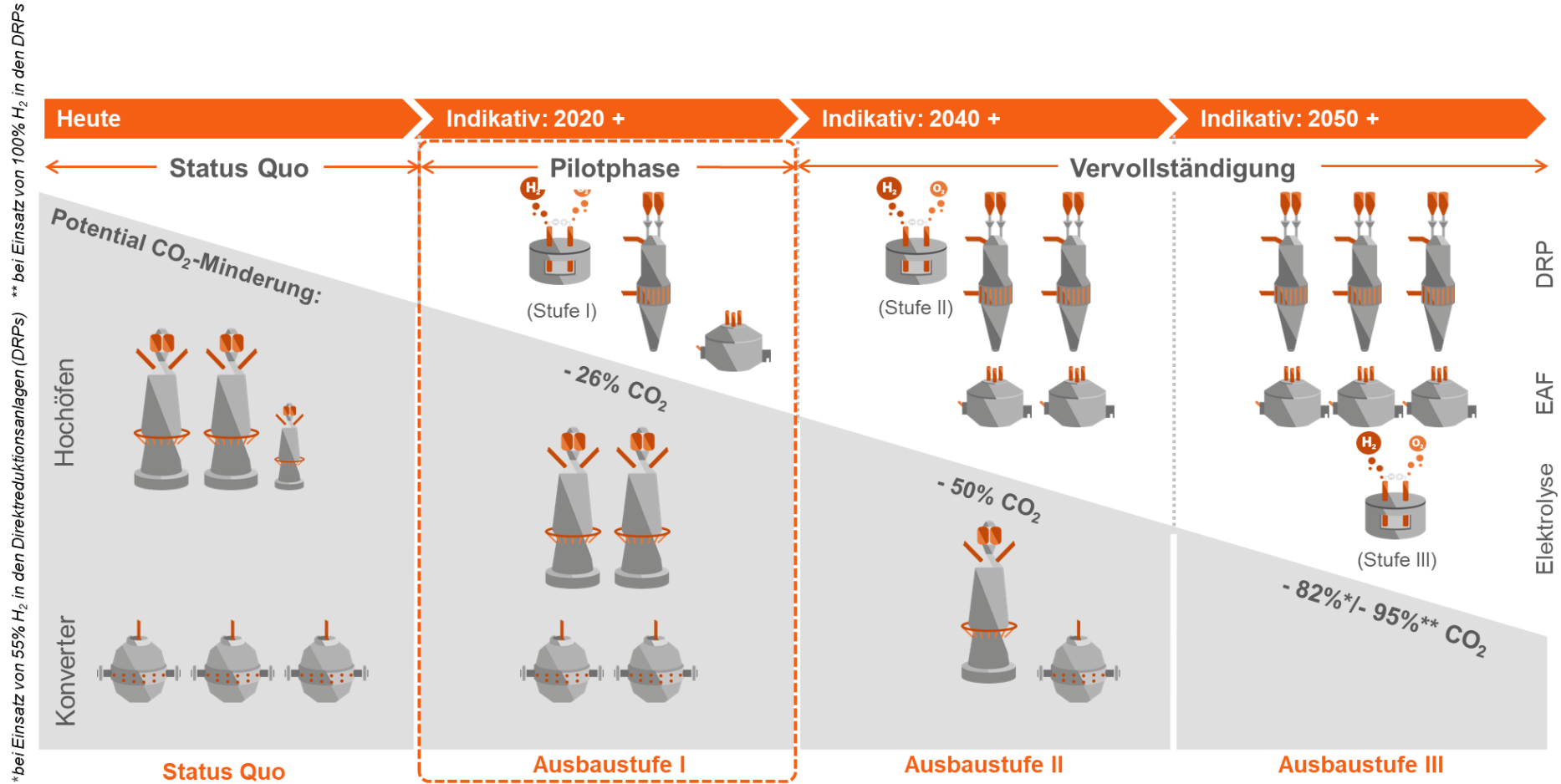
- Umstellung der Hochofenroute auf Direktreduktionsbetrieb in drei Ausbaustufen bis 2050
- Rohstahlproduktion soll bei 5 Mio. t/a bleiben
- Unterteilt in mehrere Ausbaustufen



Abbildungen: Salzgitter

5 SALCOS – Direktreduktion bei Salzgitter

Die Ausbaustufen



Abbildungen: Salzgitter

Einzelne Module sind technisch auch in Kombination realisierbar. Der tatsächlicher Umsetzungszeitpunkt hängt von wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen ab.

5 SALCOS – Direktreduktion bei Salzgitter

Aktueller Stand

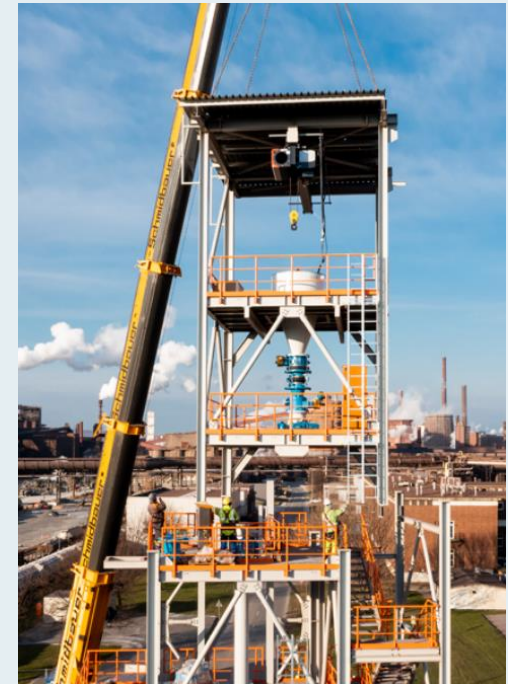
Aufbau eines eigenen Windparks mit 7 WKA mit 30 MW + 2 MW PEM-Elektrolyse



Erprobung SOEL-Elektrolyse, Prototyp mit 1 MW Leistung und $\eta = 84\%$



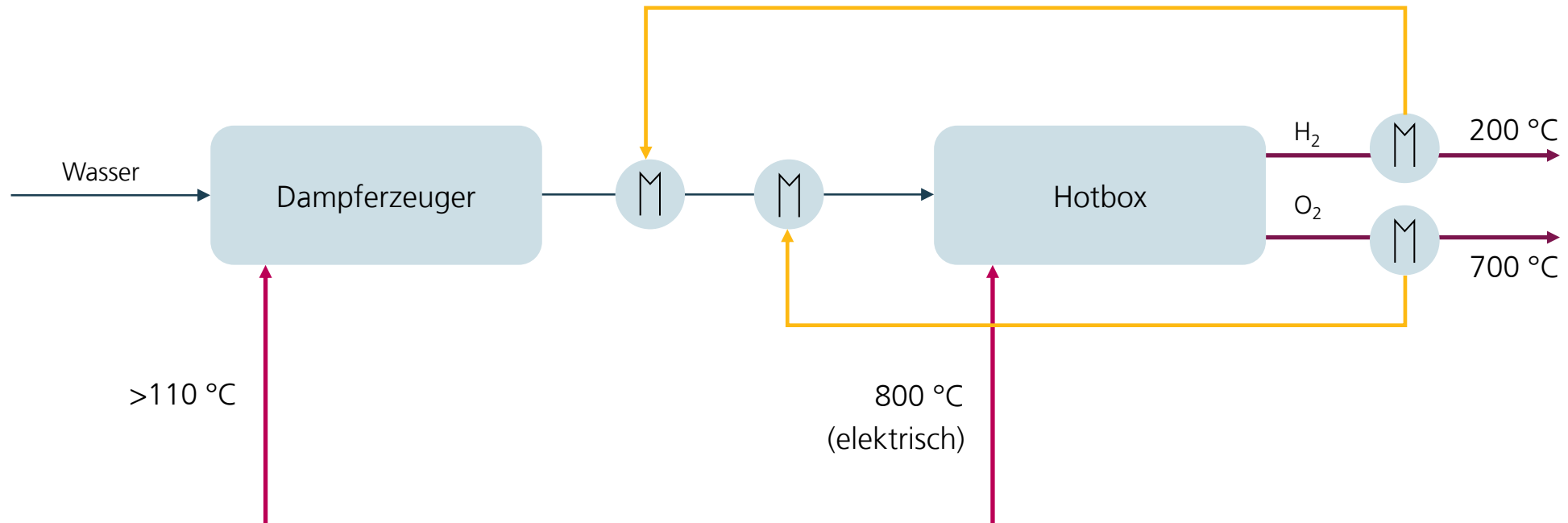
Prototyp DR-Anlage für H₂ und Erdgas-Betrieb mit HBI-Pressen



Abbildungen: Salzgitter

6 Wärmepotentiale

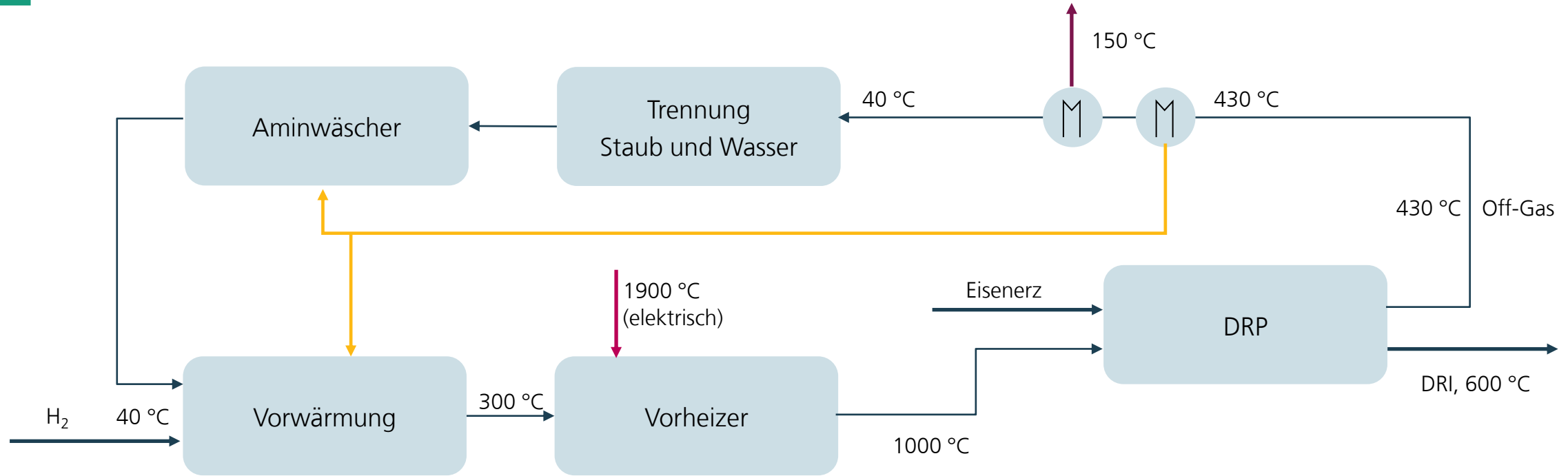
HT-Elektrolyse



- Wärmebedarf für Dampferzeugung und Hotbox
- Interne Nutzung der Anoden- und Kathodengaswärme zur Vorwärmung des Wasserdampfs
- Verbleibende Abwärmepotentiale im Anoden- und Kathodengas

6 Wärmepotentiale

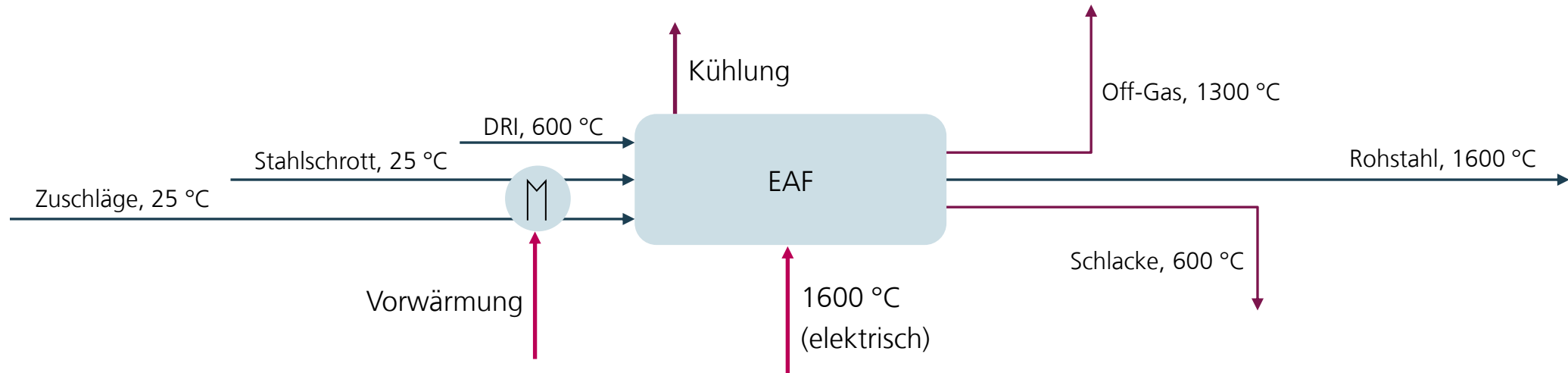
Direktreduktionsanlage



- Wärmebedarf für Vorheizen des Reduktionsgases
- Interne Wärmebedarfe werden durch Off-Gas-Wärme gedeckt
- Verbleibendes Abwärmepotential im Off-Gas

6 Wärmepotentiale

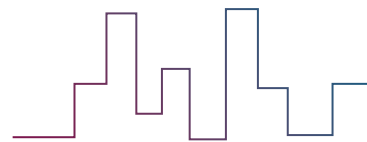
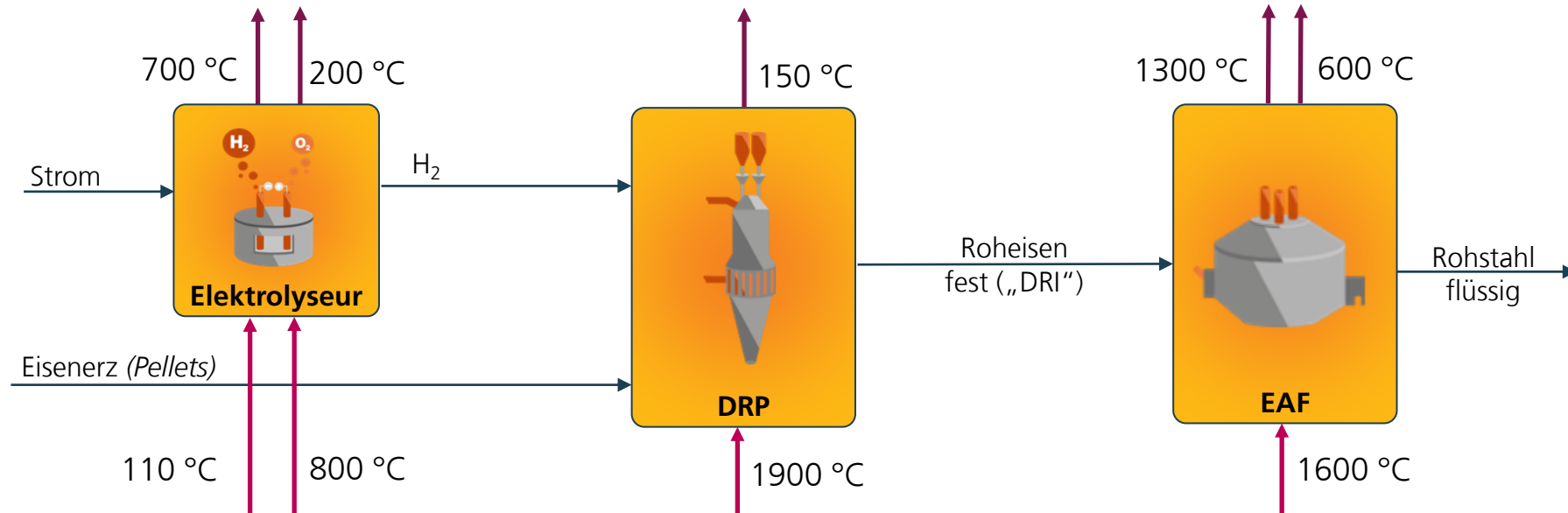
Elektrolichtbogenofen



- Hauptwärmebedarf in der elektrischen Bereitstellung des EAF
- Bedarf kann gesenkt werden durch Vorwärmung der Einsatzstoffe
 - Ggf. auch Vorwärmung des DRI nötig bei örtlicher oder zeitlicher Trennung
- Off-Gas und Schlacke bieten Abwärmepotentiale, ebenso Kühlung der Ofenwand

6 Wärmepotentiale

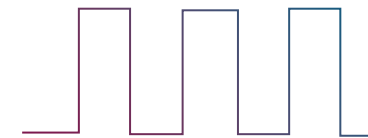
Zeitliche Diskrepanzen in allen Last- und Bedarfsprofilen



diskontinuierlich



kontinuierlich



zyklisch

Offen

6 Wärmepotentiale

Weitere Herausforderungen

Die Transformation der Stahlindustrie hat begonnen

- Grüner Wasserstoff aus Hochtemperaturelektrolyseuren
- Direktreduktion von Erz mittels Wasserstoffs
- Optimierung der Prozessschritte erfolgt bereits während der Transformation

Weitere Potentiale in den nachgelagerten Prozessen

- Abgase der Sekundärmetallurgie
- Kühlung heißer Brammen nach Stranggießanlage
- Abgas der Warmöfen im Walzwerk; Kühlung der Ofenelemente; Restwärme des Warmbandes

Restkohlenstoffsenken

- Kohle im EAF erforderlich zur Einstellung des Kohlenstoffanteils des Stahls
- Versorgung Öfen in nachgelagerten Prozessen
- Biokohlen und Syn-Gase können Abhilfe verschaffen



Felix Kugler

Gruppenleiter Thermische Speicher und Prozesswärme

Institutsteil Sulzbach-Rosenberg

Tel.: +49 (0) 1511 1679497

E-Mail: felix.kugler@umsicht.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Umwelt-,
Sicherheits- und Energietechnik
UMSICHT