

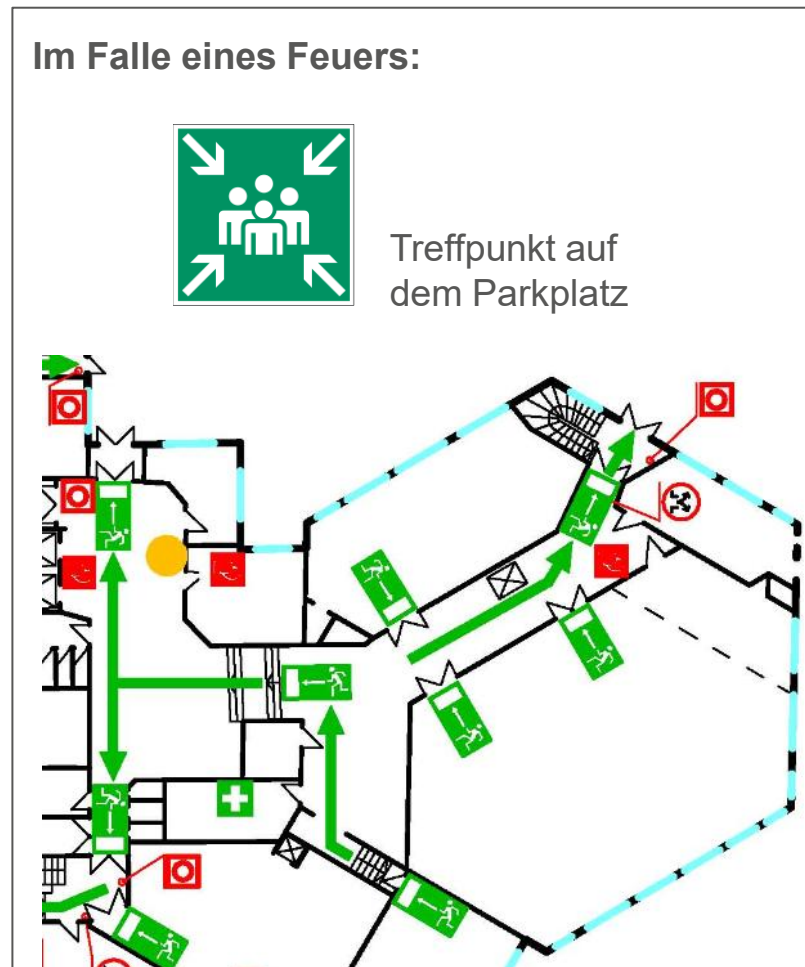
BFI-Kolloquium 2026



Moderation: M. Hensmann, M. Kozariszczuk

Organisation: M. Wunde, K. Lindemeyer

Verhalten im Brandfall



Hinweis zur Einhaltung des Kartellrechts

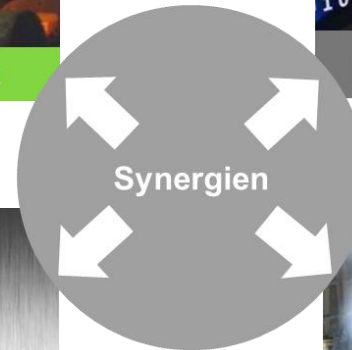
„Im Rahmen dieser Veranstaltung dürfen keinerlei kartellrechtlich unzulässige Themen behandelt, insbesondere keine Preis- oder Mengenabsprachen, getroffen werden“.

<http://www.bfi.de/de/leitfaden-projektmeetings/>

<http://www.bfi.de/en/guidelines-projectmeetings/>

Es ist nicht erlaubt Fotos, Videos oder Audioaufnahmen der Veranstaltung zu machen.





- › > 50 laufenden Forschungsprojekte
- › Fördermittelgeber: MWIKE, DBU, IGF, BMBF, BMWK, RFCS, Horizon, EFRE
- › rd. 250 Projektpartner national und international

Neuigkeiten aus dem BFI

- › Campuskonzept zur Erneuerung der technischen Ausstattung und Schaffung neuer Versuchsflächen sieht im nächsten Schritt die Erneuerung des Chemielabors vor
- › Bau der Direktreduktionsversuchsanlage sowie des DRI-Einschmelzers am Standort Alsumer-/Matenastrasse, Duisburg liegt im Zeitplan
- › Hochtemperaturtechnikum (HTT) des BFI am Standort HKM erhält Ammoniakversorgung
- › Weiterentwicklung der Planheitsmessrolle zu einer Multimesstrolle mit Bandkantenerkennung steht mit Prototyp 3 vor der Markteinführung
- › > 60 Forschungsideen 2026
- › Unterstützung bei der Beantragung einer steuerlichen Forschungsförderung

Programm BFI-Kolloquium 2026

- 09:00 – 09:15 Uhr
Begrüßung und Einführung
- 09:15 – 10:00 Uhr
CO₂-Minderung und Energieeffizienz (Teil 1)
- 10:00 – 10:15 Uhr
Kaffeepause und Austausch
- 10:15 – 11:00 Uhr
CO₂-Minderung und Energieeffizienz (Teil 2)
- 11:00 – 11:15 Uhr
Kaffeepause und Austausch
- 11:15 – 12:00 Uhr
Kreislaufwirtschaft
- 12:00 – 12:15 Uhr
Kaffeepause und Austausch
- 12:15 – 13:00 Uhr
Digitalisierung und Prozessmesstechnik
- 13:00 – 13:15 Uhr
Kaffeepause und Austausch
- 13:15 – 14:00 Uhr
Prozessoptimierung
- 14:00 – 15:30 Uhr
Mittagsimbiss und Besichtigung des BFI-Technikums

CO₂-Minderung und Energieeffizienz (Teil 1)



Ammoniakeinsatz zur Prozesswärmeerzeugung

Wolfgang Adler

BFI-Kolloquium, Düsseldorf, 29.04.2026

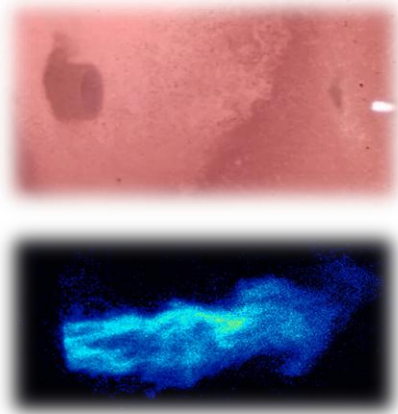
Themenfeld: CO₂-Minderung und Energieeffizienz



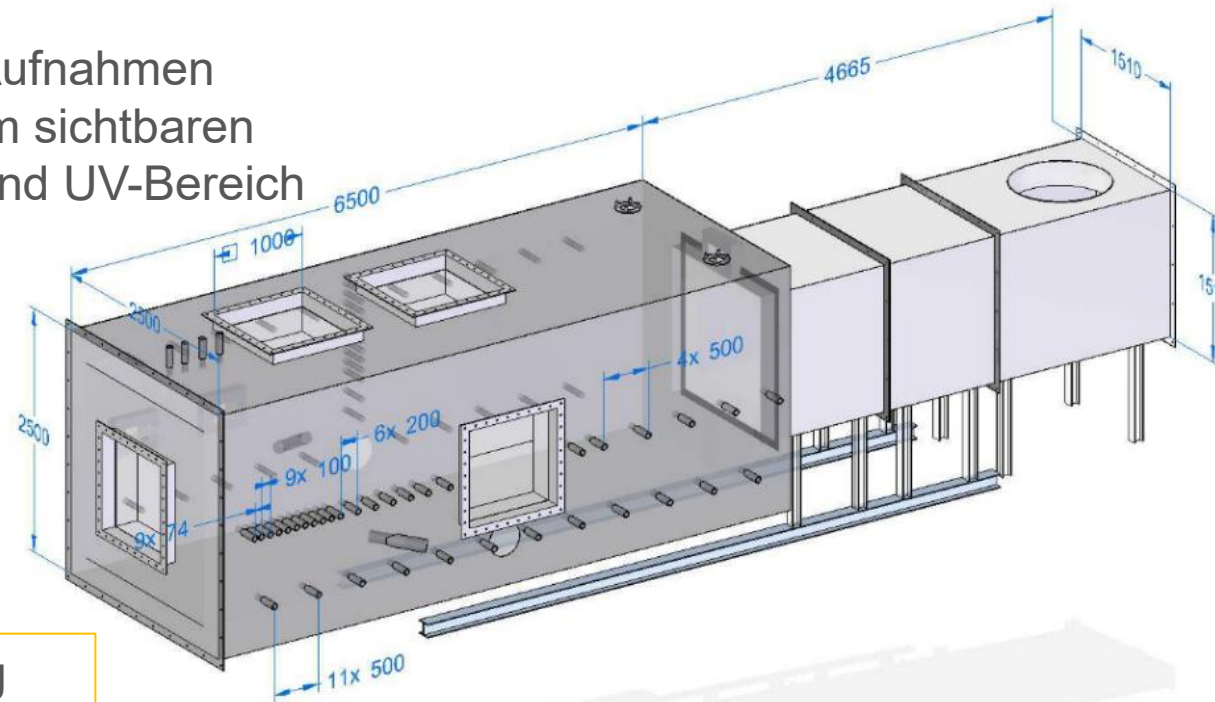
Stoffdaten im Vergleich für mögliche Energieträger bei der Dekarbonisierung

		CH ₄	H ₂	NH ₃
Siedepunkt	°C	-162	-253	-33
Dichte	kg/m ³	0,717	0,089	0,729
Untere Zündgrenze	Vol.-%	5	4	15
Obere Zündgrenze	Vol.-%	15	74	34
Zündtemperatur	°C	645	530	650
Mindestzündenergie	mJ	0,29	0,017	14
Laminare Flammengeschwindigkeit	cm/s	38,4	240	8
Heizwert	MJ/m ³	35,89	10,79	14,05
Mindestluftbedarf	m ³ /m ³	9,54	2,38	3,58

Untersuchung von Beheizungstechniken im technischen Maßstab bis 1 MW



Aufnahmen
im sichtbaren
und UV-Bereich



Kontinuierliche
Gasanalyse

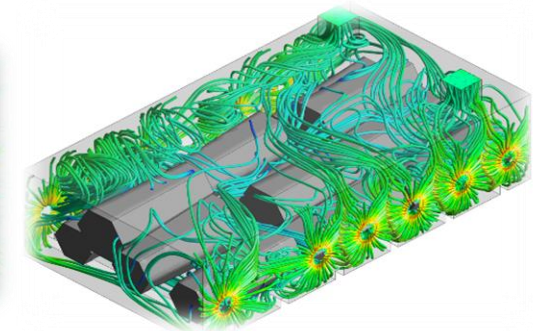
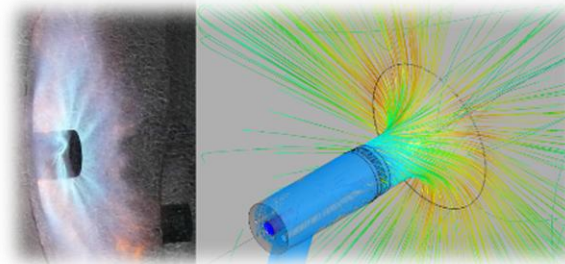
- › Brenngas
- › Abgas
- › Traversierung

Brenngasversorgung

- › Erdgas
- › Koksgas
- › Gichtgas
- › H₂

Strom: 6 x 125 A, 400 V

Validierung von
CFD-Ergebnissen



Aufbau einer NH₃-Infrastruktur am Hochtemperatur-Technikum

Projekt NH₃-Infra



Kofinanziert von der
Europäischen Union

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



Ziel

- › Schaffung einer NH₃-Infrastruktur
- › erweiterte F&E-Arbeiten zu CO₂-freien Beheizungssystemen (elektrisch, H₂, NH₃ sowie beliebige Mischungen)
- › Senkung von Hemmnissen für industrielle Nutzung

Förderung / Zeitplan

- › Förderung (90 %) durch NRW / EFRE
- › Inbetriebnahme: 09/2026

Technik

- › Mobile Containerlösung bestehend aus:
Container, Schaltschrank und Durchflussmessung sowie Gasanalysetechnik
- › Max. Brennerleistung: 1 MW
- › NH₃-Speicher: 10 MWh (2 t)
- › NH₃-Entnahme: flüssig und / oder gasförmig

Neue NH₃-Infrastruktur am Hochtemperatur-Technikum

Projekt NH₃-Infra

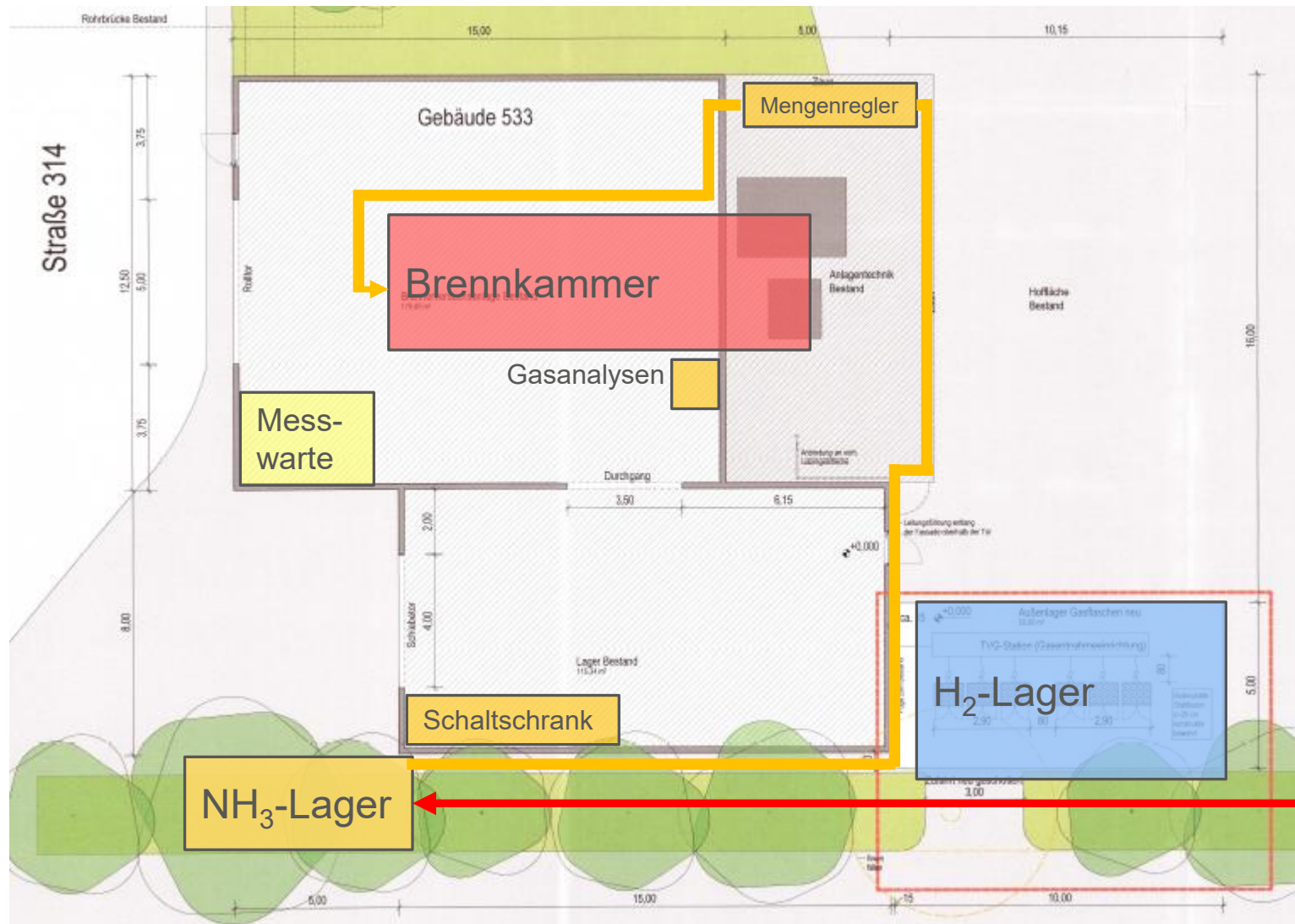


Kofinanziert von der Europäischen Union

Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen



Technikum mit neuer NH₃-Infrastruktur (**orange**)



Beispielanlage des Herstellers VDH / HKL

Kontakt: Dr.-Ing. Wolfgang Adler
VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH
Sohnstraße 69 · 40237 Düsseldorf
Telefon +49 98492-309
E-Mail wolfgang.adler@bfi.de · www.bfi.de

E-Mail wolfgang.adler@bfi.de · www.bfi.de
Telefon +49 98492-309
Sohnstraße 69 · 40237 Düsseldorf
VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH
Kontakt: Dr.-Ing. Wolfgang Adler

Erarbeitung und Bewertung standortspezifischer Dekarbonisierungsmaßnahmen

Andreas Queck

BFI-Kolloquium, Düsseldorf, 29.04.2026

Themenfeld: CO₂-Minderung und Energieeffizienz



Dekarbonisierung – Warum?

- › CO₂-Bepreisung erhöht spezifische Energiekosten
- › Verfügbarkeit und Preis von Brennstoffen leider „externen“ Einflüssen unterworfen
- › Kundenanforderungen führen zu wachsender Nachfrage nach „grünen“ Produkten
- › Neue Zielmärkte oder Kunden
- › Unternehmensimage



Dekarbonisierung – Wie genau hier am Standort?

- › Erfassung der aktuellen Energienutzung und -träger, Beurteilung von Energieeinsparpotenzialen
- › Standortspezifische Analyse der Chancen und Hemmnisse (technisch, wirtschaftlich, strukturell, personell, rechtlich..)
- › Bewertung der einzelnen Dekarbonisierungsalternativen (theoretische, technische und wirtschaftlich nutzbare Potentiale, Zeithorizont, sukzessive Umsetzung...) mit lokalem Fokus
- › Definition der erforderlichen infrastrukturellen Randbedingungen
- › Bewertung eigener Erzeugung von Energieträgern



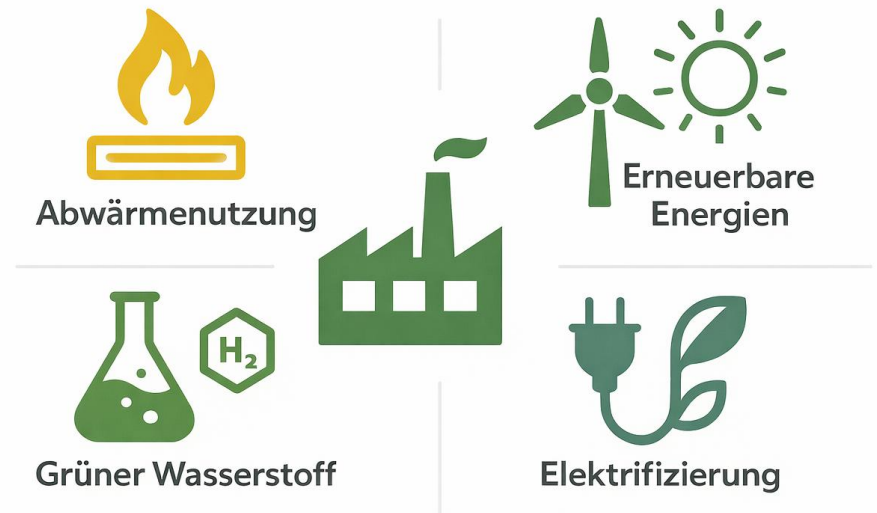
Dekarbonisierung – Was kostet das und wie ist der Zeitplan?

- › Entscheidungsunterstützung für grüne Brenngase bzw. Elektrifizierung
- › Erarbeitung eines standortbezogenen Maßnahmenplans unter Berücksichtigung der individuellen Voraussetzungen
- › Ermittlung der voraussichtlichen Kosten je nach Technologieentscheidung und Umsetzungsstufe

Ergebnis:

Technologischer und zeitlicher Investitionsplan zur Umsetzung

Standortspezifische Dekarbonisierungsmaßnahmen



Kontakt: Dr.-Ing. Andreas Queck
VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH
Sohnstraße 69 · 40237 Düsseldorf
Telefon +49 98492-290
E-Mail Andreas.Queck@bfi.de · www.bfi.de

E-Mail Andreas.Queck@bfi.de · www.bfi.de
Telefon +49 98492-290
Sohnstraße 69 · 40237 Düsseldorf
VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH
Kontakt: Dr.-Ing. Andreas Queck

Praxiserfahrungen mit einem hybriden Strahlheizrohr

Andreas Queck (BFI), Michael Keller (thyssenkrupp Steel Europe)

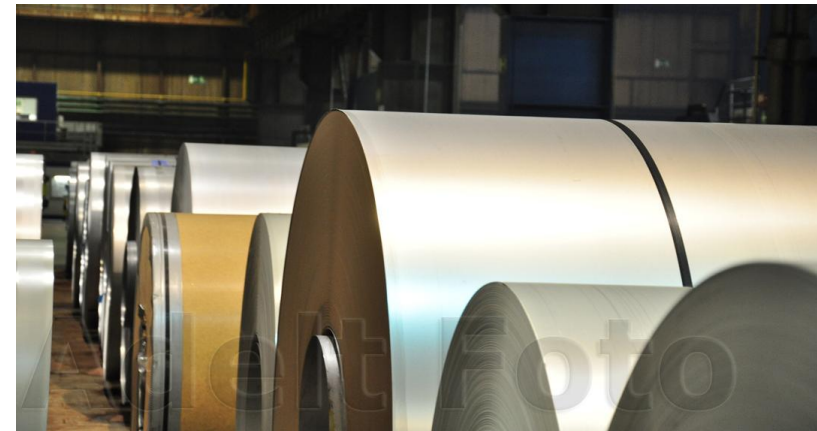
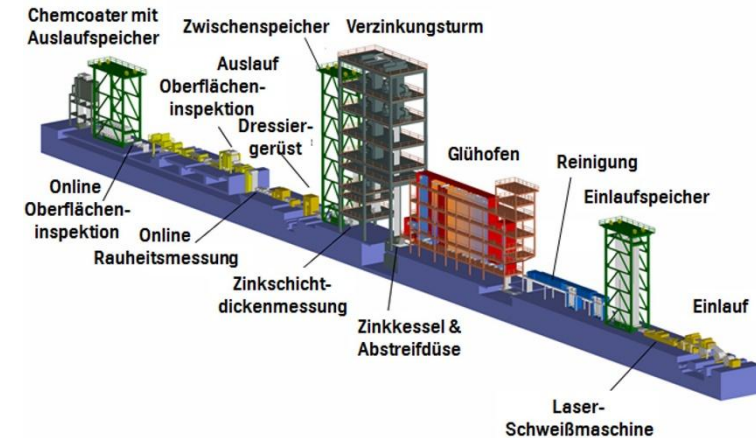
BFI-Kolloquium, Düsseldorf, 29.04.2026

Themenfeld: CO₂-Minderung und Energieeffizienz



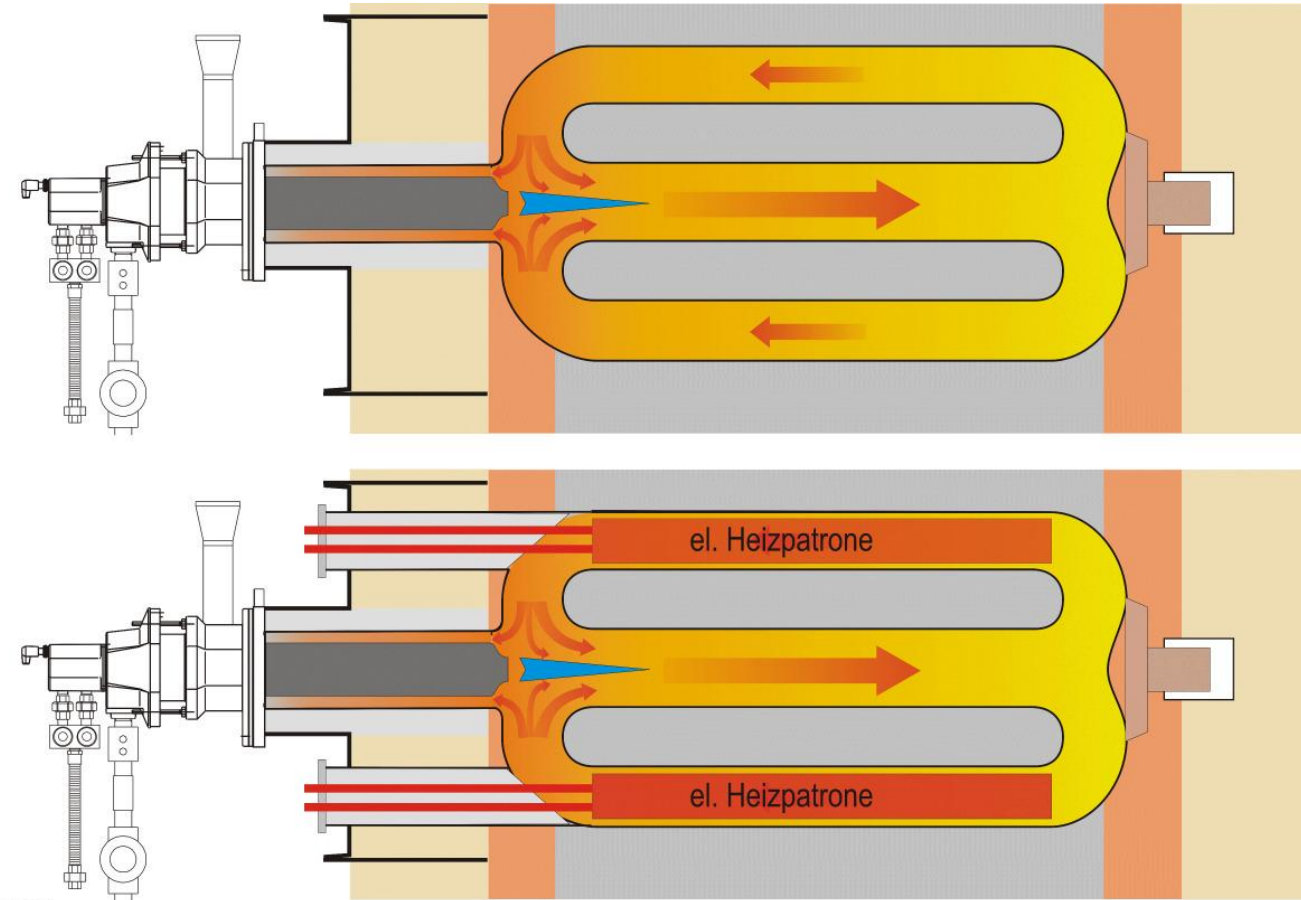
Viele Thermoprozessanlagen in der Stahlindustrie werden mit Brenngas beheizt

- › Beispiel: Bandglühofen
- › Anlage zur Veredelung von dünnem Stahlblech (=Band)
- › Randbedingungen der Anlage:
 - › Länge: rd. 300 m lang,
 - › Bandgeschwindigkeit: bis 300 m/min,
 - › Erwärmung: bis zu 835°C,
 - › Betriebszeit/a: 7 - 8000 h,
 - › Durchsatz: bis 500.000 t/a
- › über 100 Brenner im Leistungsbereich > 100 kW



Idee der hybriden Beheizung

- › Vorhandene Brennerbeheizung mit elektrischen Heizelementen ergänzen
- › Gleiche Leistung mit Brenngas oder elektrischer Energie bereitstellen
- › Keine Änderung im Ofen erforderlich -> Lösung nachrüstbar (Retrofit)
- › Flexible Nutzung von Brenngas und erneuerbarer elektrischer Energie



© '23

Konstruktion eines Demonstrators

- › Anfertigung eines Doppel-P-Strahlrohrs zur Integration der Heizelemente
- › Auswahl eines energieeffizienten und schadstoffarmen H₂-Ready-Brenners
- › Design und Fertigung von zwei Heizelementen mit gleicher Wärmeleistung des Brenners
- › Anbringung von Thermoelementen zur Ermittlung der Temperaturverteilung



Parametervariation im BFI-Technikum

- › Elektrischer Heizbetrieb
- › Heizelemente einzeln und unabhängig voneinander ansteuern
- › Betrieb mit Brennluft zur Erhöhung der Konvektion
- › Betrieb nur mit Brenner
- › Beide Beheizungstechnologien gleichzeitig in Betrieb
- › Vorgabe unterschiedlicher Temperaturniveaus
- › Kühlung nur mit Brennluft

→ Demonstrator erfolgreich getestet



Einsatz in einer Produktionsanlage bei tkSE

- › Umsetzung für Versuchsbetrieb / Optimierung Design für Anforderungen der Produktionsanlage
- › Design in „industrietauglicher“ Ausführung, z.B.
- › elektrische Anschlüsse gemäß geltenden Vorschriften (z.B. Berührungsschutz)
- › Anpassung an die Installationen im Ofen, z.B. Gas-/Luft- und Abgasführung des Brenners, Berücksichtigung der vorhandenen Platzverhältnisse
- › Beachtung der Einbausituation, Nutzung vorhandener Montagehilfen wie Ausbauten

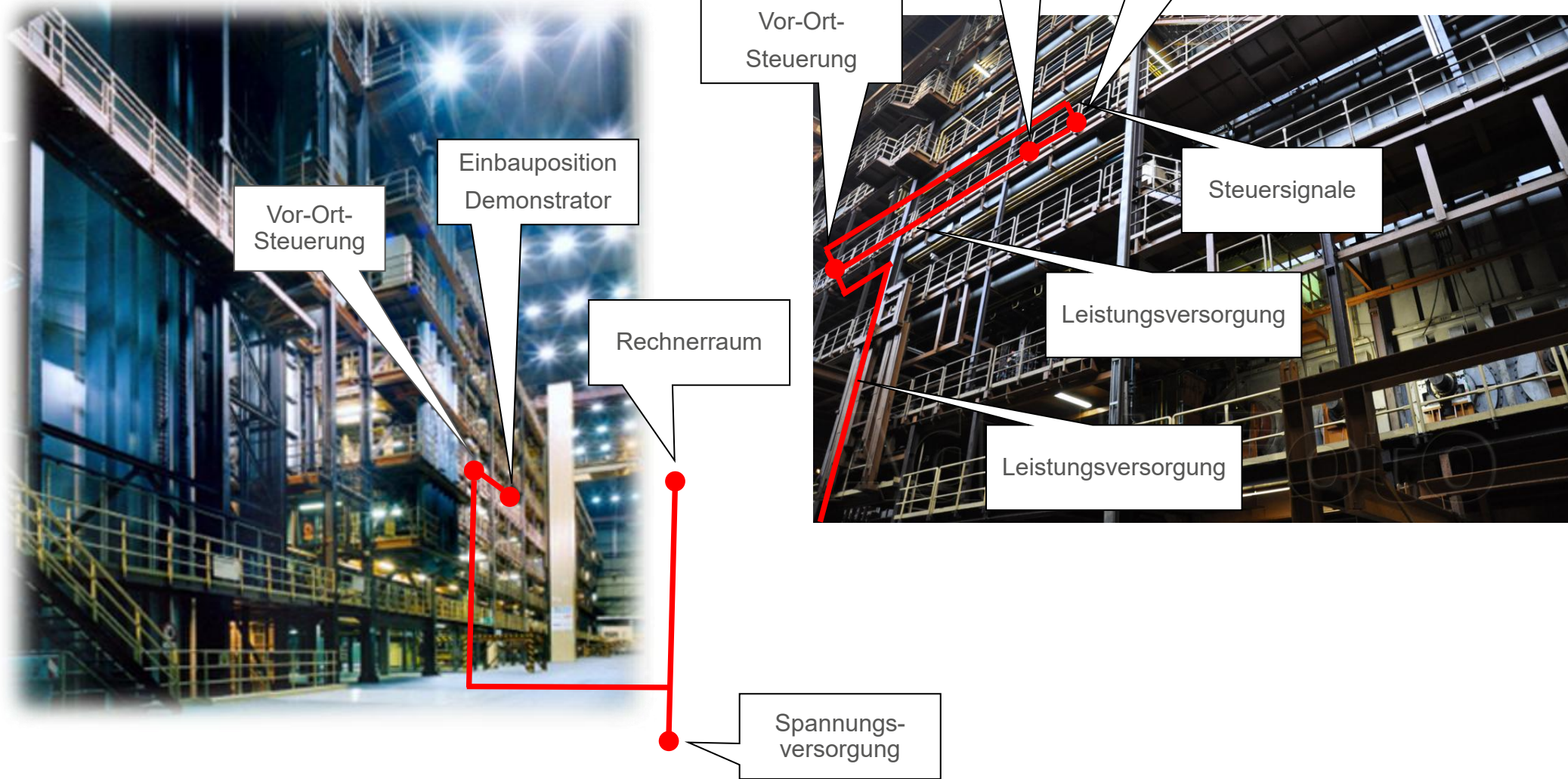


Integration im Bandglühofen

KANTHAL®

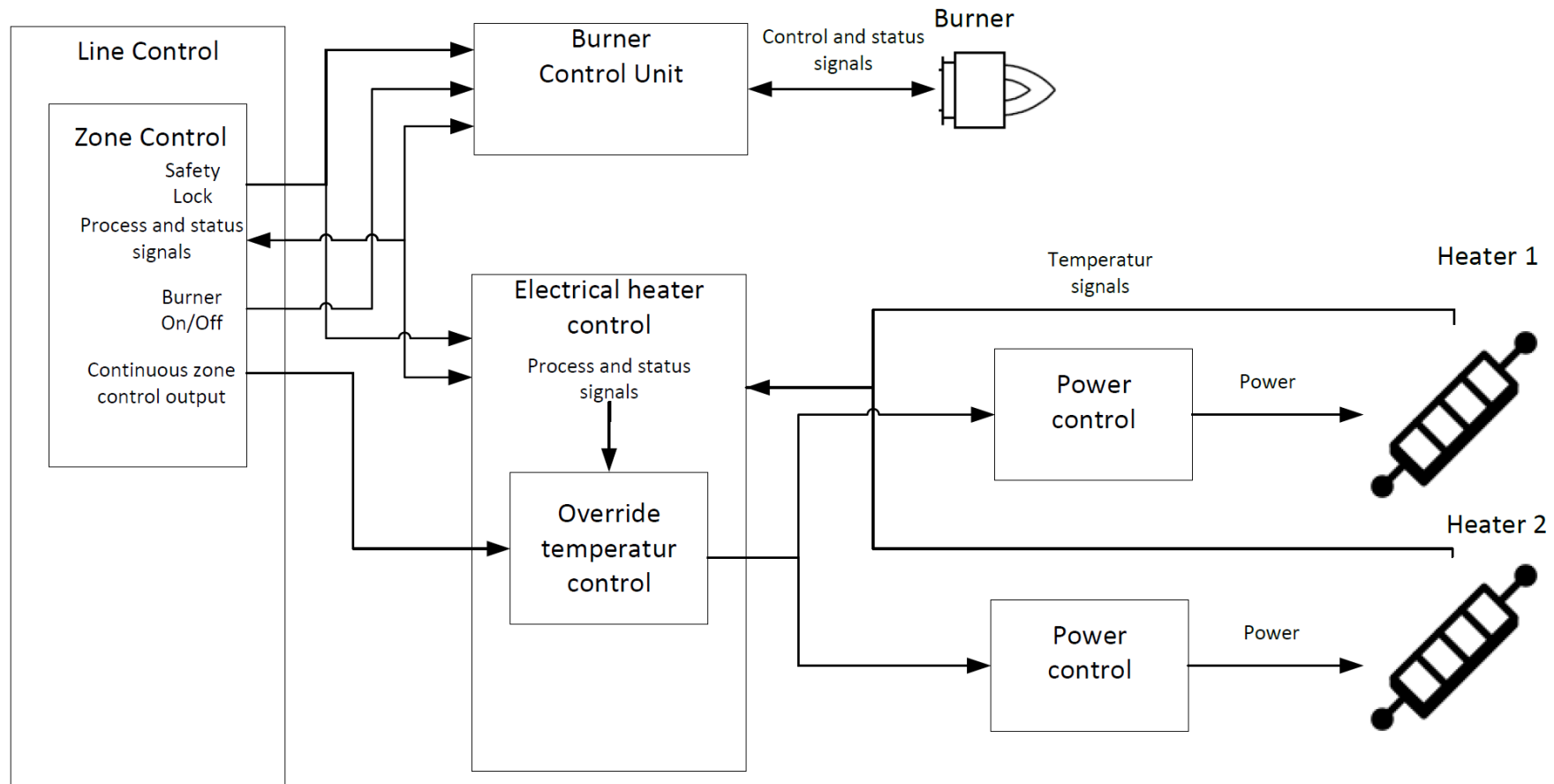


Bfi
Angewandte
Spitzenforschung



Installation in produzierende Anlage (Arbeitssicherheit, Prozesssteuerung)

Einbindung in die vorhandene Prozessleit- und Sicherheitstechnik



Erstellung separater Steuerung, Schnittstelle zum Betrieb

Steuerung Demonstrator, Visualisierung Messdaten, Einbindung in Prozessleitsystem zur Übernahme von Leistungsanforderungen, Freigabesignalen, Sicherheitskette..

The screenshot displays the ABB control interface with the following sections:

- Hardware:**
 - Versorgung 230V OK (Green)
 - Versorgung 24V OK (Green)
- Signale aus Ofensteuerung:**
 - Modus B1 Brenner (White)
 - Modus B12 Brennerspülung (White)
 - Modus B13 Heizung oben (Yellow)
 - Modus B14 Heizung unten (Yellow)
 - Safetyfreigabe von S7 (Green)
 - Safetyfreigabe Hardware (Green)
 - Zonenstellsignal aus S7 100% (Green)
- Kommunikation:**
 - UDP Kommunikation OK (Red)
- Thyristorsteller Heizung oben:**
 - Störung aus Hardware (Green)
 - Warnung über Modbus (Green)
 - Störung über Modbus (Green)
 - Sammelstörung (Green)
 - Übertemperatur Heizung (Red)
 - Bereit (Green)
 - Startbefehl Hardware (Yellow)
 - Betrieb (Yellow)
 - Resetbefehl an Hardware (Yellow)
 - Netzschütz Ein (Green)
- Thyristorsteller Heizung unten:**
 - Störung aus Hardware (Green)
 - Warnung über Modbus (Green)
 - Störung über Modbus (Green)
 - Sammelstörung (Green)
 - Übertemperatur Heizung (Red)
 - Bereit (Green)
 - Startbefehl Hardware (Yellow)
 - Betrieb (Yellow)
 - Resetbefehl an Hardware (Yellow)
 - Netzschütz Ein (Green)
- Regler oben:**
 - Istwert: 1300 °C
 - Sollwert: 1050 °C
 - Stellwert: 0 %
 - T13 OK (Red)
 - T14 OK (Red)
 - T15 OK (Red)
 - Regler Automatik (Yellow)
- Regler max Strahlrohrtemp.:**
 - Istwert: 818 °C
 - Sollwert: 950 °C
 - Stellwert: 0 %
 - Regler Automatik (Yellow)
- Regler unten:**
 - Istwert: 1300 °C
 - Sollwert: 1050 °C
 - Stellwert: 0 %
 - T16 OK (Red)
 - T17 OK (Red)
 - T18 OK (Red)
 - Regler Automatik (Yellow)
- Stellvorgabe:**
 - Vorgabe von S7: 100 %
 - Vorgabe Hand: 100 %
 - Stell Override: 0 %
 - Stellwert an Thyristor: 0 %
 - Override im Eingriff (Yellow)
 - Sollwertübernahme Automatik (Yellow)
- Hauptschalter:**
 - Buttons: EIN, AUS

The screenshot displays the ABB control interface with a 3D visualization of the furnace. The visualization shows the furnace structure with various temperature measurement points labeled as T1 through T18. The temperatures are as follows:

- T15: 1300 °C
- T14: 1300 °C
- T13: 1300 °C
- T04/7: 812 °C
- T07/3: 803 °C
- T06/9: 813 °C
- T05/5: 810 °C
- T12: -50 °C
- T01/8: 801 °C
- T02: 802 °C
- T03: 804 °C
- T11/10: 811 °C
- T10/1: 809 °C
- T09/2: 800 °C
- T08/5: 818 °C
- T18: 1300 °C
- T17: 1300 °C
- T16: 1300 °C

Anschlüsse Thermoelemente:

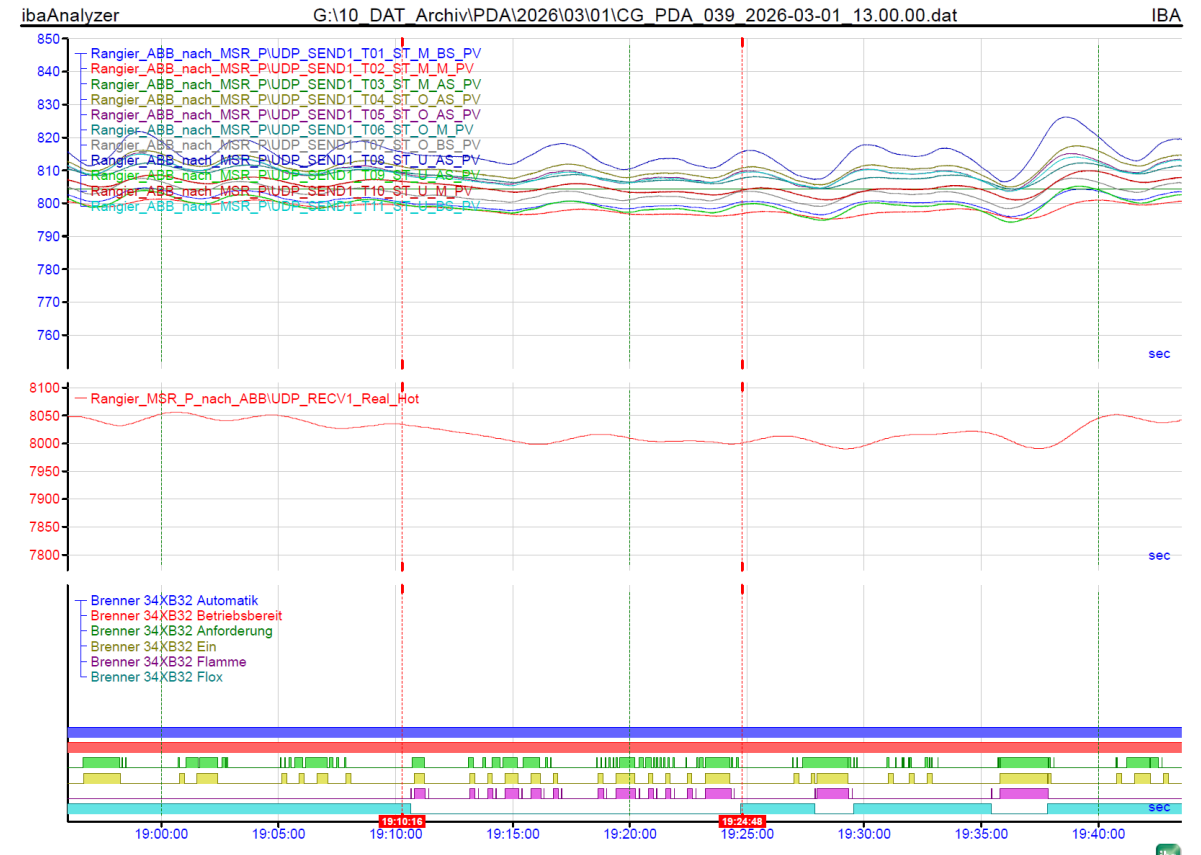
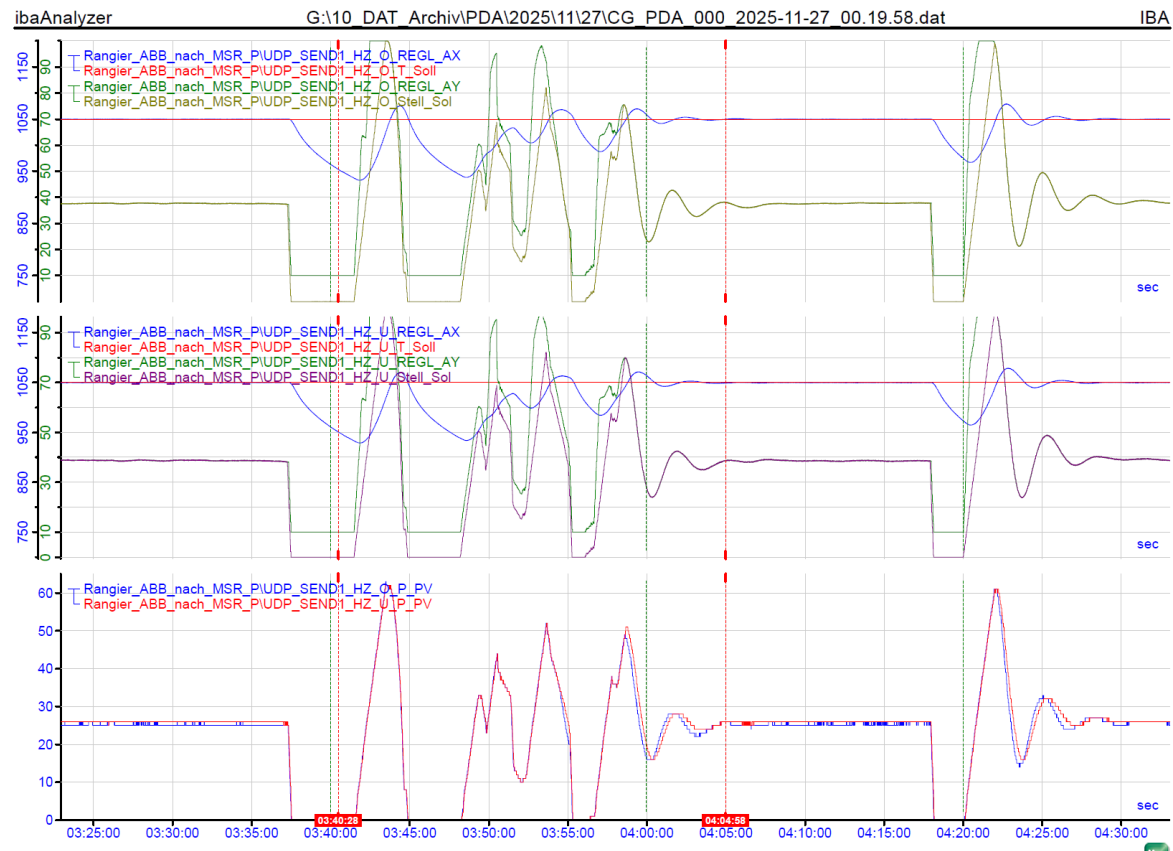
- 1 = T10
- 2 = T9?
- 3 = T7
- 4 = T2
- 5 = T5
- 6 = T8
- 7 = T4?
- 8 = T1
- 9 = T6?
- 10 = T11?

Versuchsbetrieb

KANTHAL®



Bfi
Angewandte
Spitzenforschung



Erkenntnisse	
Hybride Beheizung erfolgreich erprobt	Parallele Energieträgerinfrastruktur erforderlich
Konstruktion des Strahlrohres erfolgreich validiert	Investitionsaufwand
Schadstoffminimierter Brennermodus (FLOX) möglich	Separate Steuerung der elektrischen Beheizung notwendig
Stabiler Brennerbetrieb, keine Probleme mit Druckverlust etc.	Aufwand zur Einbindung in vorhandene Prozessleittechnik hoch
Flexibler Energieträgerwechsel möglich	

Kontakt: Dr.-Ing. Andreas Queck
VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH
Sohnstraße 69 · 40237 Düsseldorf
Telefon +49 98492-290
E-Mail Andreas.Queck@bfi.de · www.bfi.de

E-Mail Andreas.Queck@bfi.de · www.bfi.de
Telefon +49 98492-290
Sohnstraße 69 · 40237 Düsseldorf
VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH
Kontakt: Dr.-Ing. Andreas Queck

Einsatz von Wasserstoff zur Wärmebehandlung

Sebastian Bialek

BFI-Kolloquium, Düsseldorf, 29.04.2026

Themenfeld: CO₂-Minderung und Energieeffizienz



Steckbrief: H₂-DisTherPro

Verbundvorhaben: Vermeidung von CO₂-Emissionen in der Stahlindustrie durch Einsatz von Wasserstoff an diskontinuierlich betriebenen Thermoprozessanlagen am Beispiel von Haubenglühen

Organisiert und verwaltet: Projektträger Jülich (PTJ)

Laufzeit: 01.04.2022 – 31.03.2026

Fördersumme Verbund: 916.747 €

thyssenkrupp Rasselstein GmbH, DSD-Automation GmbH,
thyssenkrupp Steel Europe AG,
VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH



Gefördert durch:



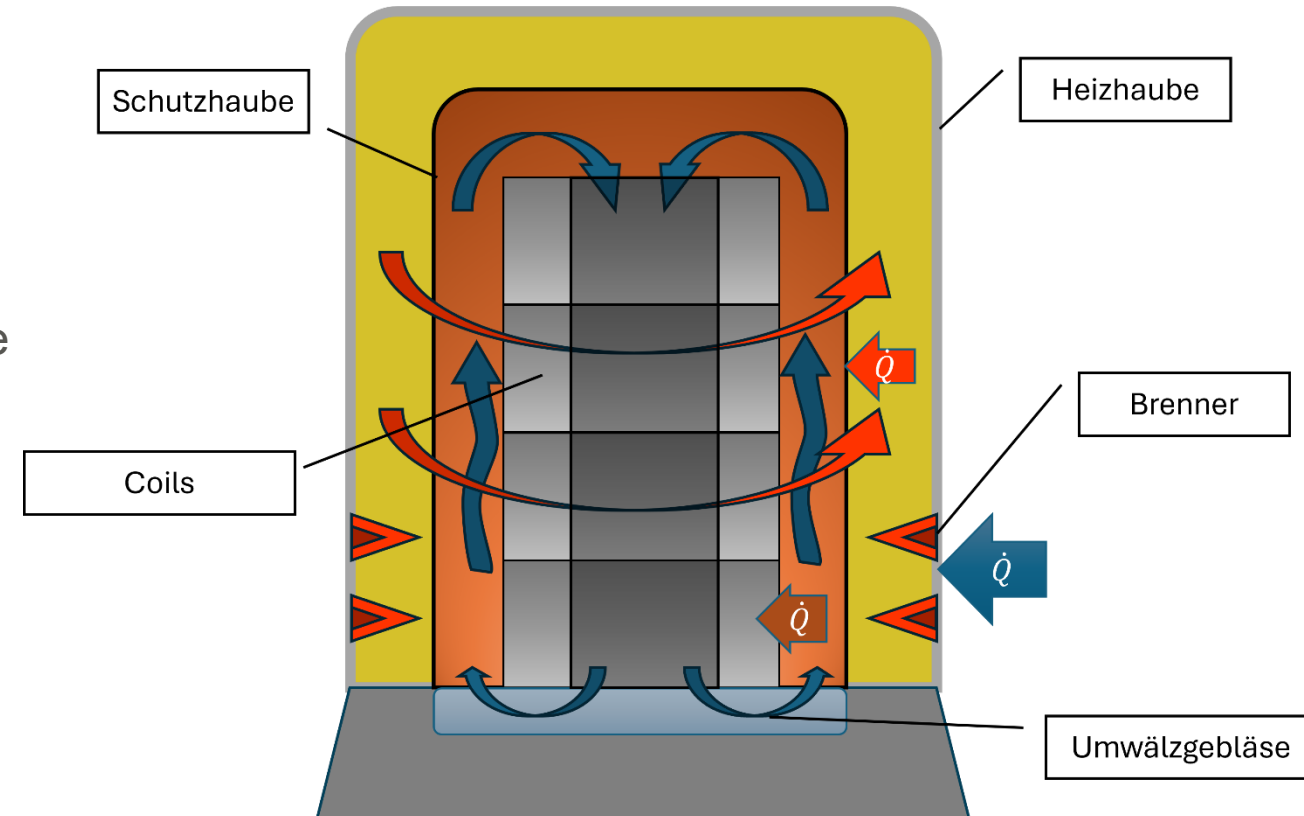
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



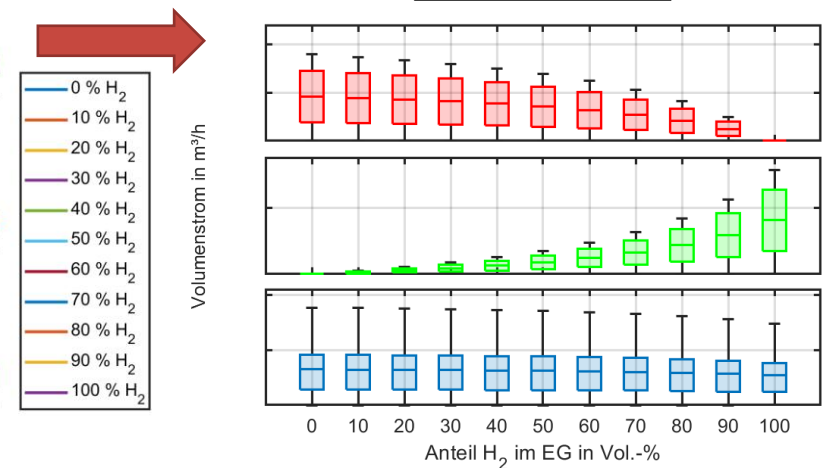
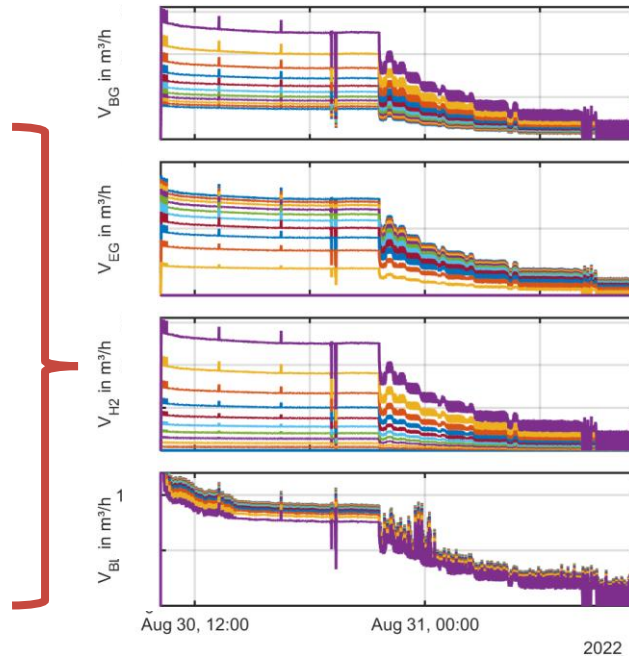
Haubenglühen (Bezug: Produktion Deutschland)

- › Wärmebehandlung zur gezielten Beeinflussung der Materialeigenschaften
- › **Indirekte Beheizung** durch tangentielle Feuerung im Ringspalt zwischen Heiz- und Schutzhaube
- › Zieltemperaturen: 600 – 700 °C
- › Verfahren verläuft „satzweise“; Dauer: 2 Tage
- › **Definierte Aufheizkurven durch Automatisierung**
- › rd. $800 \text{ MJ}_{\text{EG}}/\text{t}_{\text{Blech}} \rightarrow \text{ca. } 7,6 \text{ Mio. } \text{t}_{\text{Blech}}/\text{a}$
- › Ca. 347 kt CO_2/a Einsparpotenzial durch „grünen“ Wasserstoff
- › Weitere 50 TWh Einsparpotenzial durch Effizienzsteigerung



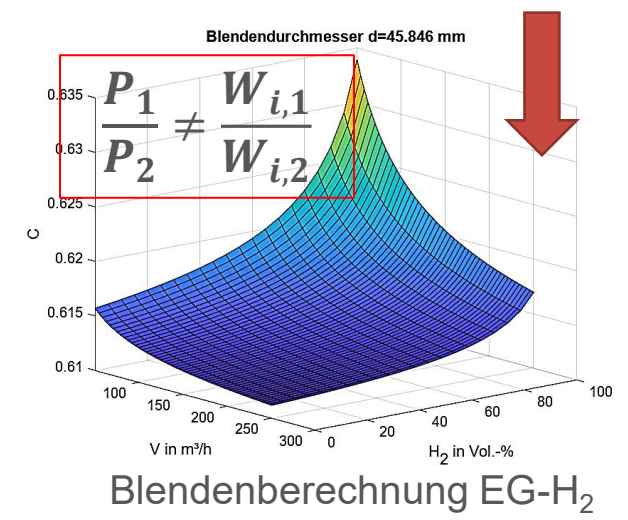
Anpassung des Energieverbunds zur Nutzung von H₂

- › Umrüstung von zunächst einem Haubenofen für EG-H₂-Gemische bis 100 Vol.-% H₂
- › Auslegung der H₂-Versorgung
 - › Dampfreformer + Tanks
 - › Gasmischstation
 - › Simulation zur Eigenversorgung mittels Wasser-Elektrolyse
- › Anpassung der M&R-Technik
 - › Gasregelstrecke
 - › Prozesssteuerung
- › Sicherheitstechnische Betrachtung
 - › Anpassungen im R&I-Schema
 - › zu erwartende Betriebszustände



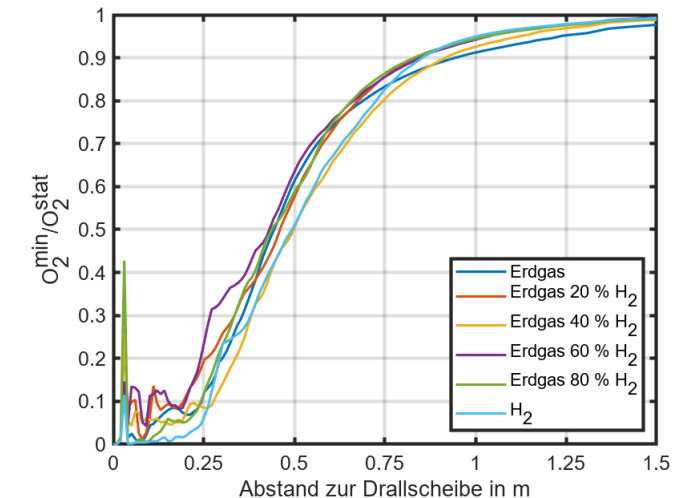
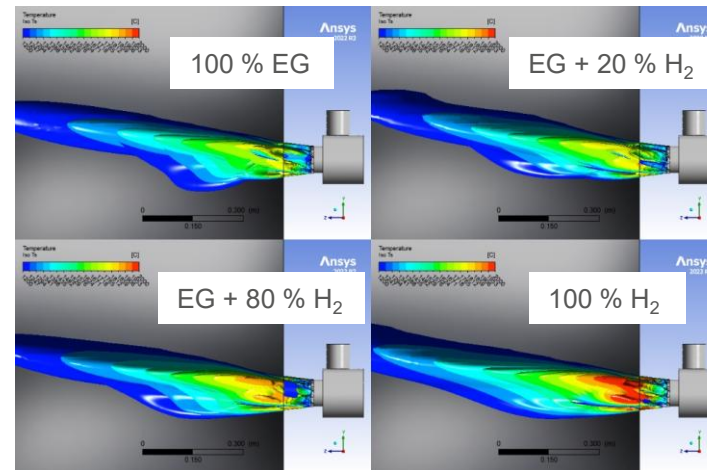
Mengengerüst EG, H₂, Brennluft; (l.) Prozessmodell, (o.) statistische Darstellung der Bedarfe

	H ₂	CH ₄
Ex.-grenzen in Vol.-%	4 – 77	4,4-17
Zündtemperatur in °C	560	595
Explosionsgruppe	IIC	IIA
Min. Zündenergie in mJ	0,017	0,29

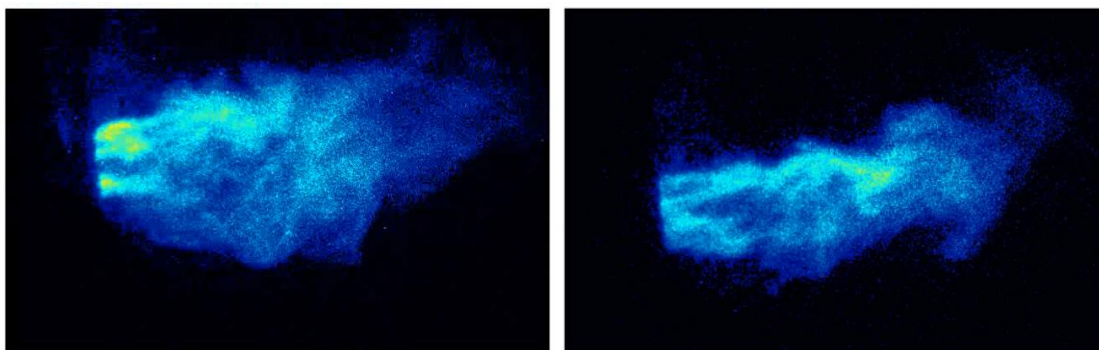


Auswirkungen auf den Prozess

- › Betriebsnahe Brennerversuche im Technikum des BFI
- › CFD-Simulationen der Brenner & Validierung
- › CFD-Simulation der Haube
- › Modellentwicklung



Temp.-verteilung in der Flamme (l.) und die resultierende Flammenlänge (r.)



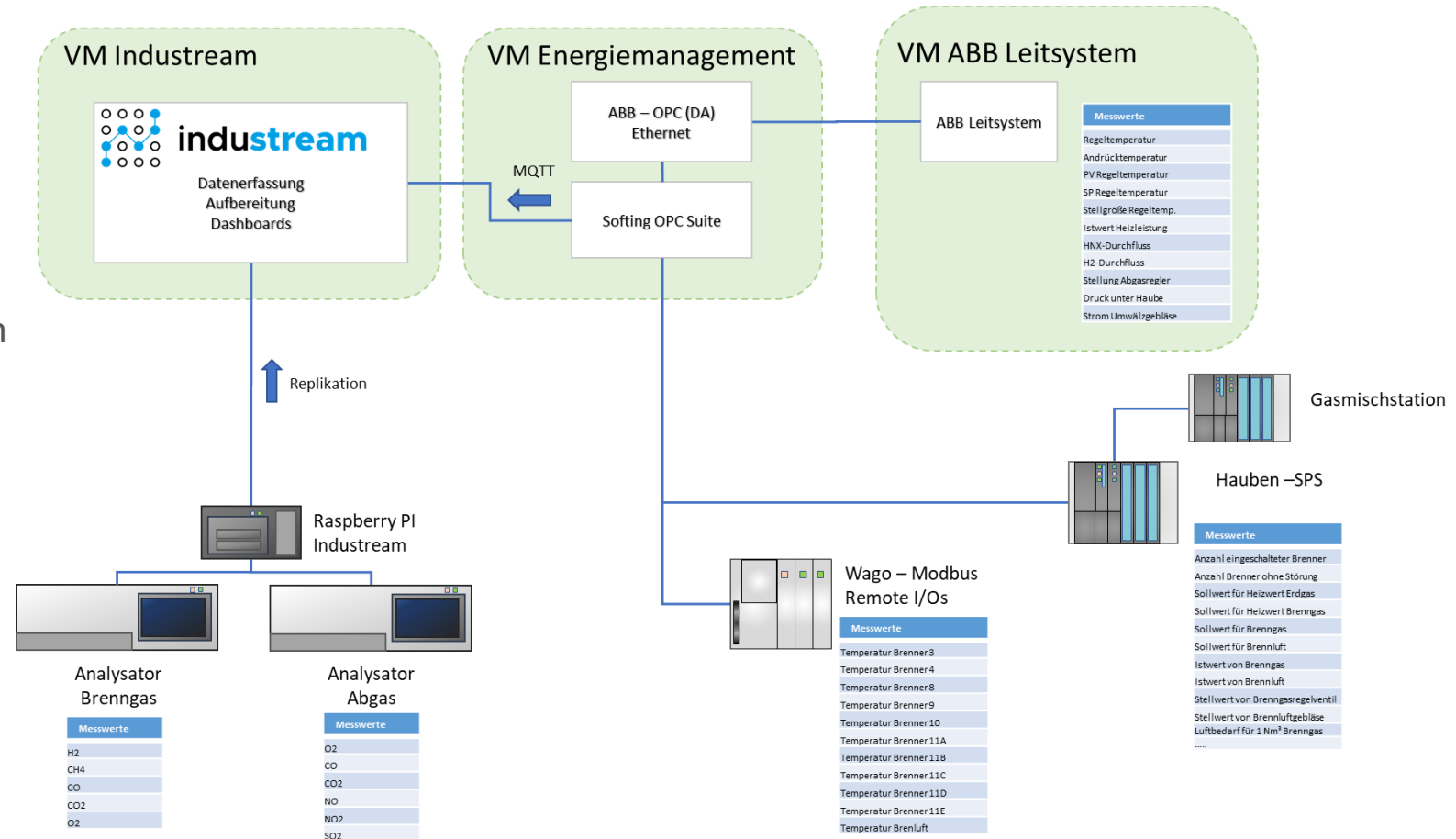
UV-Aufnahmen der Brennerversuche im BFI-Technikum, (l.) Erdgas, (r.) Wasserstoff



CFD-Simulation des Wärmeeintrags in die Schutzhaube für 3 Betriebspunkte: Aufheizen, Solltemperatur, Halten

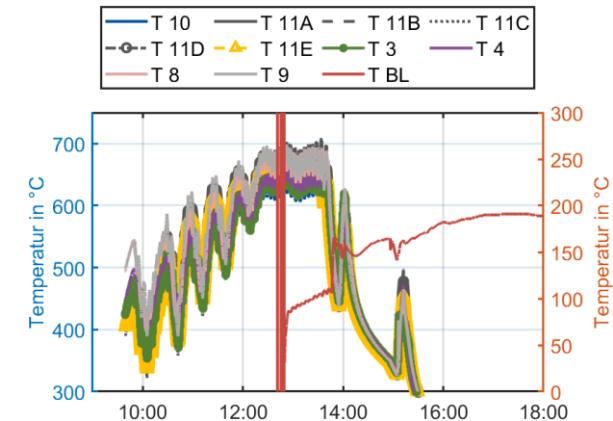
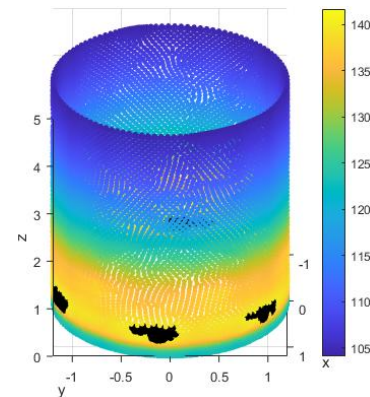
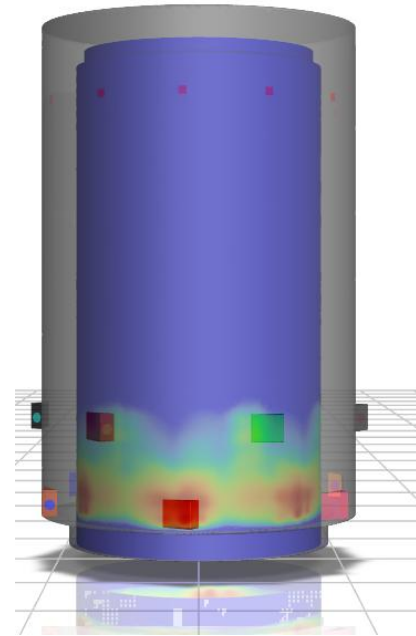
Anpassung der Prozessführung und Ofenregelung

- › Erstellung von Prozesssimulationen der Brenner und des Glühofens
 - › Thermodynamisch mit Wärmeübergängen
 - › Verbrennungsberechnung
 - › Regelventile & Gebläsekenlinien
- › Einbettung verschiedener Regelszenarien
 - › Durch Entkopplung beides regelbar
 - › Gasgemisch variabel
- › Echtzeitbetrieb für Tests und Schnelldurchlauf für Vorhersagen



Industrielle Erprobung

- › Auf Basis der CFD-Ergebnisse wurden Bereiche mit Spitzentemperaturen identifiziert
→ 1.145 °C
- › Durch tkR wurden an den entsprechenden Stellen Thermoelemente zur Überwachung angeschweißt
- › Zusätzliche Messpunkte:
 - › Brennluftvorwärmung
 - › Abgastemperatur
 - › Abgaszusammensetzung
- › Einsatz eines wassergekühlten UV-Kamerasystems zur Überwachung der Flamme im Ringspalt

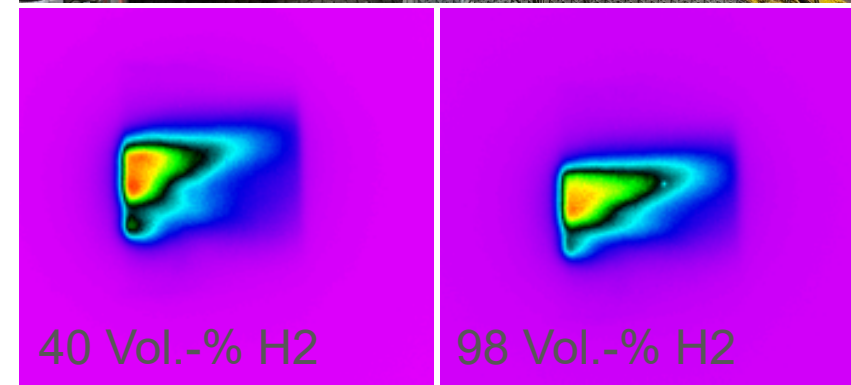


(o. l.) CFD-Berechnung der T-Verteilung; (u. l.) T-mapping und Identifikation von Hot-Spots; (o. r.) Schutzhaube mit Thermoelementen; (u. r.) Temperaturverlauf (EG)

Industrielle Erprobung

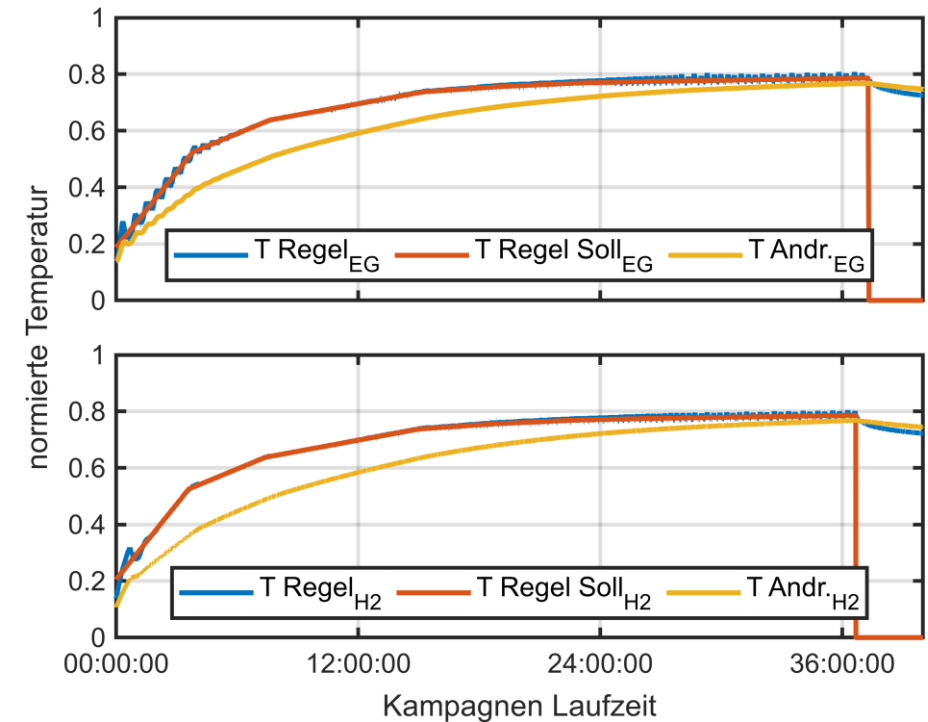
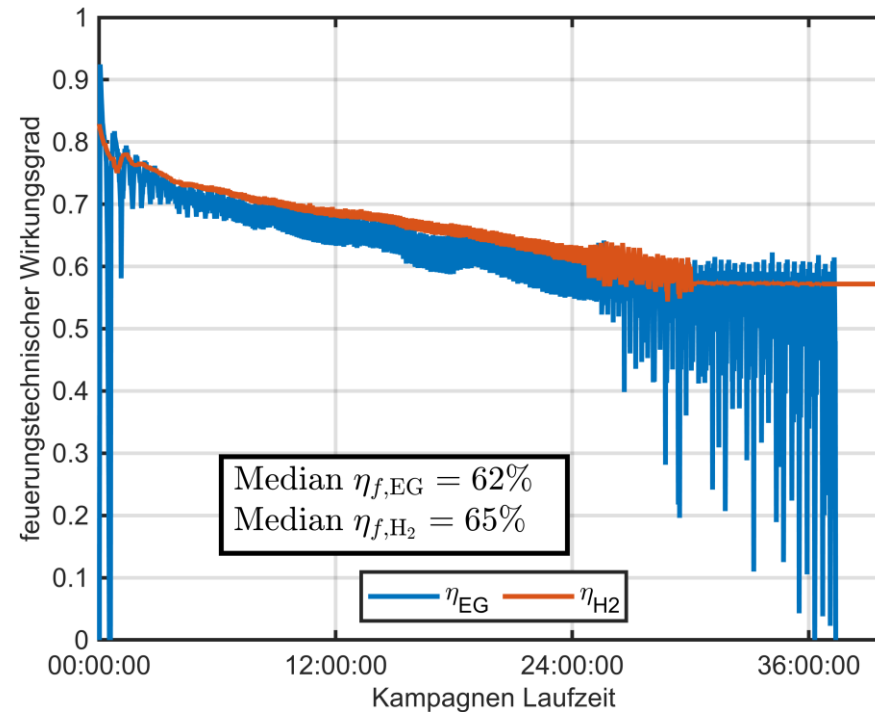
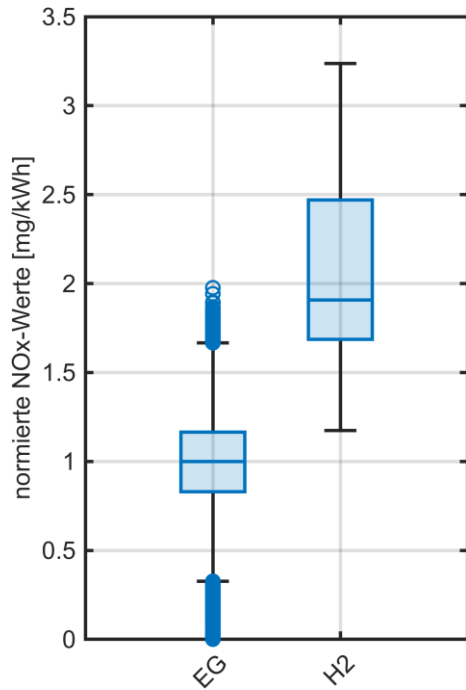
- › Einsatz von „Schrottringen“ für hohe Vergleichbarkeit
- › „lange“ Aufheizkurve ohne H₂ im Schutzgas zur Verlängerung des Bilanzzeitraums
- › Abschluss mit „echter“ Glühreise zur Beurteilung der Produktqualität
- › * bei 90 Vol.-% Wasserstoff treten erste Brennerstörungen auf (Flammensignal); Ab 95 Vol.-% Wasserstoff kein „sicherer“ Betrieb durch häufige Brennerstörungen; Für den Versuch mit **100 Vol.-% Wasserstoff** wurden UV-Sonden nachgerüstet

Kampagne	1	2	3	4	5	6	7
H ₂ in Vol.-%	0	60	70	80	90	95	100
Bewertung	+	+	+	+	0*	-*	+*



(o.) UV-Kamerasystem am Haubenofen;
(u.) Abbildung der Flamme im Ringspalt

Industrielle Erprobung Erdgas vs. Wasserstoff



- › Energieeinsparung = 4,5 %
- › Durch adaptive Prozessführung werden die Aufheizkurven exakt eingehalten
- › NOx-Werte (mg/kWh) im Median fast doppelt so hoch
- › Mittlere Brennluftvorwärmung steigt um 12 °C
- › maximale Oberflächentemperatur steigt von 746 °C auf 770 °C

Wie grün ist “grüner” Wasserstoff?

- › Ökobilanz (LCA) nach ISO 14040 und ISO 14044
- › Differenzbetrachtung des Glühprozesses
 - › Stahlerzeugung + Weiterverarbeitung werden nicht betrachtet, da unverändert
 - › Produktion & Transport Brenngas + direkte Emissionen
 - › O₂ als Nebenprodukt (Stahlwerk o. Oxifuel)
- › Bereitstellung, Transport und Speicherung
 - › technische und logistische Herausforderungen
 - › Insbesondere bei der Verdichtung verlustbehaftet

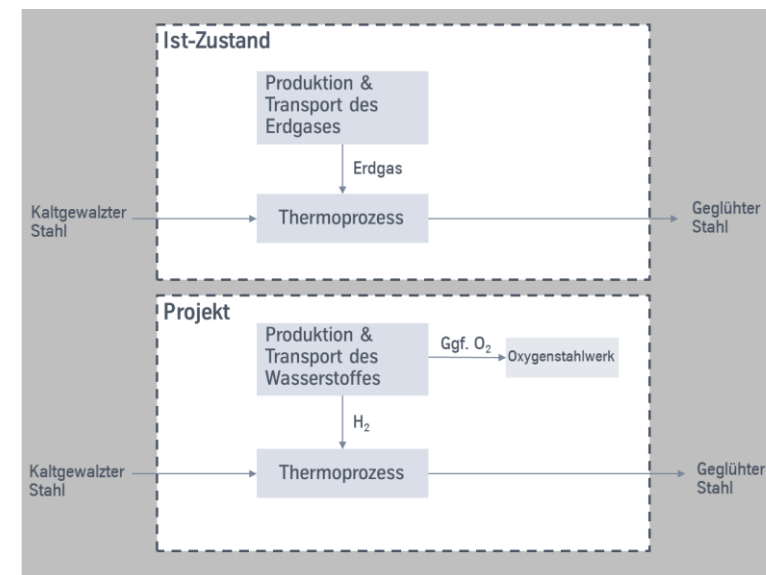
Szenario	Produktion ¹	Transport ²	Schlupf ³	Summe
A [kg CO ₂ e/kg H ₂]	3,7	0,16 - 1,1	0,17 - 1,6	4,0 - 6,4
B [kg CO ₂ e/kg H ₂]	1,4	0,06 - 0,79	0,17 - 1,6	1,6 – 3,8

Break-even mit Erdgas via Pipeline

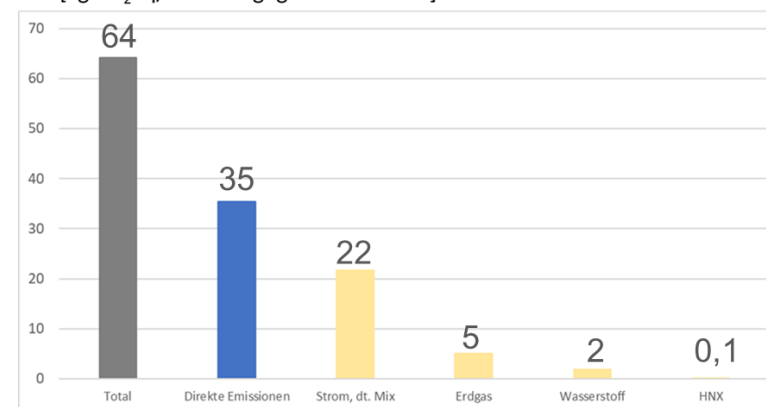
~ 8 kg CO₂e/kg H₂

Um gleichen Energieinhalt zu liefern

1. Szenario A: Elektrolyse mit dt. EE-Strommix, Szenario B: mit EU-EE-Strommix
2. Ex. 1000 km Pipeline: 2,4 kWh/kg H₂; EE-Strom – Netzstrom
3. GWP 100 (11 kg CO₂/kg H₂) – GWP 20 (33 kg CO₂/kg H₂) → 1,5 – 4,8 % Schlupf bei Pipelinetransport



Global Warming Potential (GWP)
[kg CO₂eq/t haubengeglühtes Produkt]



- › Umstellung auf den Betrieb mit Wasserstoff und Gemischen:
 - › Entkopplung von Brenngas & Brennluft für konstante Leistung + Luftverhältnis und **Anpassung der Prozessführung**
 - › Erfassung der **Brenngasbeschaffenheit**
 - › Anpassung der Druckregelstrecke (Leckagen!)
 - › Prüfung der **Brennereignung**: NO_x, Temperatur, Flammenlänge
 - › Ab 80 Vol.-% H₂ Umrüstung auf UV-Flammenüberwachung (Ionisation funktioniert teilweise noch)
 - › Je nach **Abwärmenutzung**: Überwachung des Taupunktes im Abgas erforderlich!
- › Ausblick:
 - › **Übertragbarkeit** der Anpassungskonzepte auf andere Thermoprozessanlagen
 - › **Digital Twins** für Effizienzoptimierung
 - › Speziell für Haubenglühen alternative Verfahren denkbar, wie z.B. **elektrische Beheizung**, Feuerung mit **Ammoniak**, Einsatz von **Plasmafackeln**
 - › Je nach Standort unterschiedliche **Defossilisierungs-Strategien** erforderlich (s. Vortrag Herr Queck)
 - › Ziele sollten maximale Flexibilität (**Brennstoff-Agnostik**) und hybride Ansätze sein
 - › Unsichere **Preisgestaltung**
 - › Volatile **Verfügbarkeit**

Kontakt: Sebastian Bialek

VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH

Sohnstraße 69 · 40237 Düsseldorf

Telefon +49 98492-897

E-Mail sebastian.bialek@bfi.de · www.bfi.de

E-Mail sebastian.bialek@bfi.de · www.bfi.de

Telefon +49 98492-897

Sohnstraße 69 · 40237 Düsseldorf

VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH

Kontakt: Sebastian Bialek

Warum der Hochofen eine Zukunft haben kann

Dr.-Ing. Thorsten Hauck

BFI-Kolloquium, Düsseldorf, 29.04.2026

Themenfeld: CO₂-Minderung und Energieeffizienz



- › Schrott-Mengen und -Qualitäten begrenzt
- › Alternative DR-EAF hat sehr hohen Strombedarf
 - › benötigte Strom-Mengen sind auch in mittelfristiger Planung nicht verfügbar
 - › Stromkosten in Europa sind hoch
 - › starke Abhängigkeit von externer Versorgung mit Strom und Gas
- › Wasserstoff ist absehbar nur begrenzt und zu hohen Kosten verfügbar
- › Low Emission Standards und Märkte noch unklar
- › DR-Pellets - Verfügbarkeit begrenzt und Kosten hoch

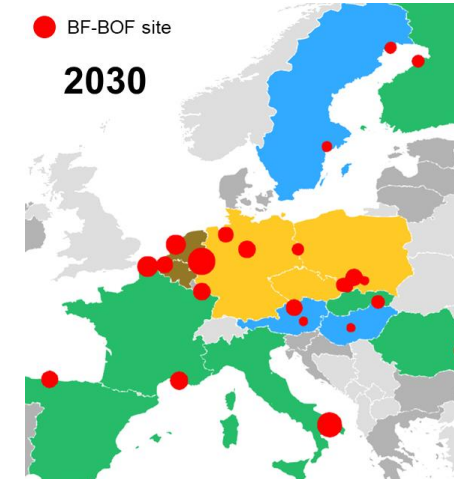
Szenarien zukünftiger Stahlproduktion (primär)




This project has received funding from the European Union under grant agreement NUMBER — 882151 — GREENSTEEL

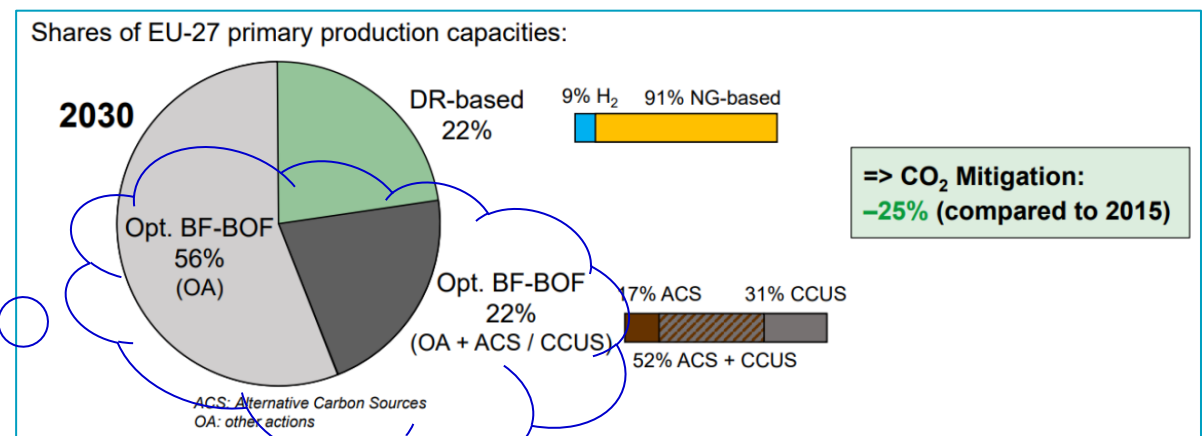
- ✓ Wesentliche Dekarbonisierungshindernisse:
 - (1) 6 von 7 am höchsten bewertete waren finanziell

- ✓ Wichtige nationale Randbedingungen:
 - (1) Verfügbarkeit CCS, H₂, sekundärer Kohlenstoff
 - (2) Erdgas-Preis
 - (3) CO₂-Fußabdruck von Electricität



- ✓ Definition von Szenarien für 2030/2050:
 - (1) plausible technology mixes
 - (2) decelerated transformation
 - (3) higher H₂-availability

78% 
 Hochofen



Optionen zur Dekarbonisierung des Hochofens

- › Einblasen von Wasserstoff-haltigen Gasen in Blasformen und Schacht (Koksgas, Erdgas, Ammoniak)
- › Einsatz von Schrott und HBI
- › Einsatz von regenerativen Kohlenstoff-Quellen für PCI und Koks
- › Gichtgas-Rückführung
- › de-fossilisierte Heißwind-Erzeugung (Plasma, Ammoniak)
- › Produktion von Wasserstoff aus Rest-CO im Gichtgas
- › CO₂-Abscheidung und -Lagerung



Übersicht - Aktuelle Projekte und Projektideen

Aktuelle Projekte

- › H2TransBF 2030 (2022 - 2025): Einblasung von Koksofengas
- › H2II (2024 - 2027): Pulsierte Schachtgas-Einblasung
- › H2loop (2025 - 2028): Wasserstoff-Erzeugung aus Hüttengasen



**Funded by
the European Union**

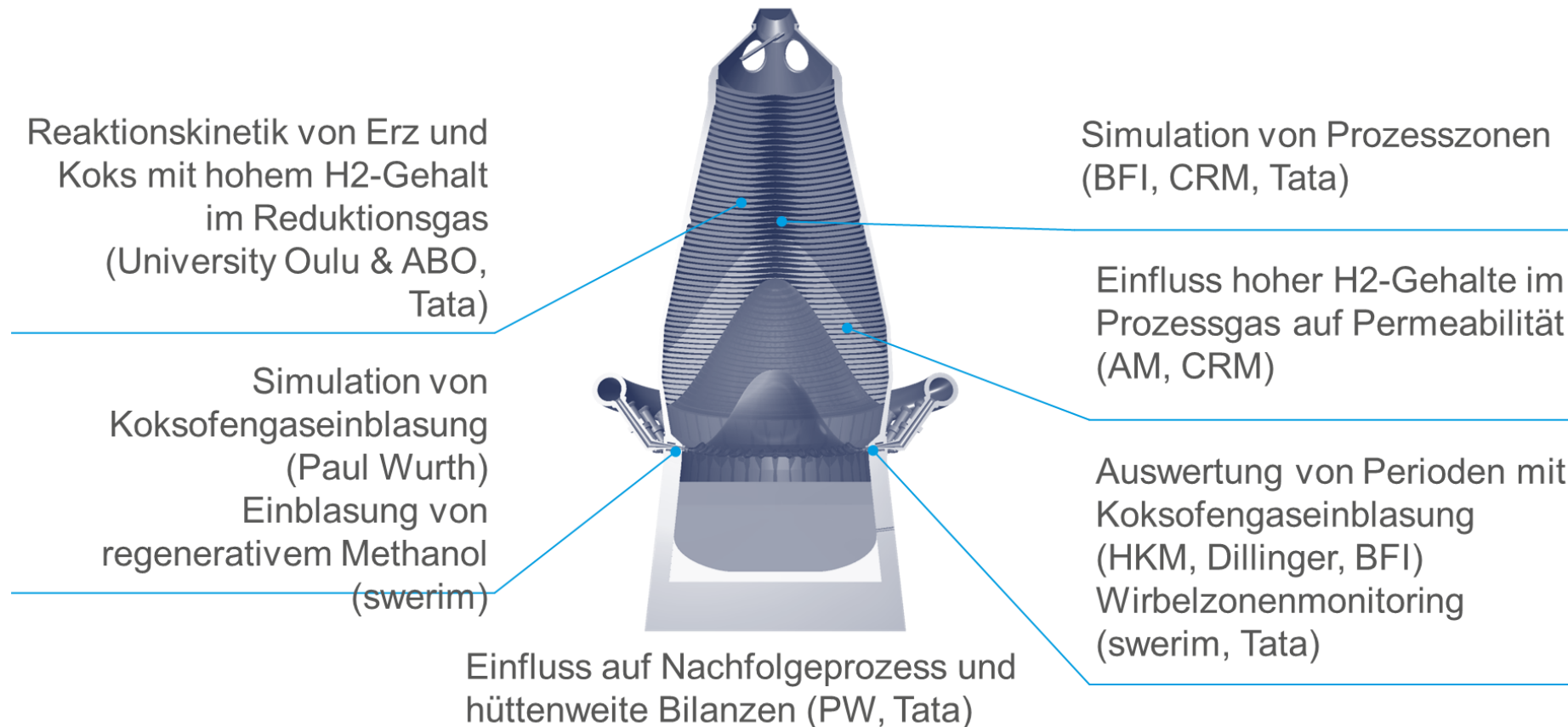
Projektideen

- › Ammoniak-Cracking und Heiß-Einsatz in Hochofen und Direkt-Reduktion
- › Gichtgas-Aufbereitung mit
... kombiniertem H₂- und Ca-Looping und Schlacken-Karbonatisierung
... SEWGS-Verfahren
- › Direkteinsatz von Ammoniak zur Prozessgas-Erwärmung

Minimisation of CO₂ Emissions from the BF by hydrogen-containing injectants and use of DRI/HBI during transition to new Ironmaking processes until 2030



Funded by
the European Union



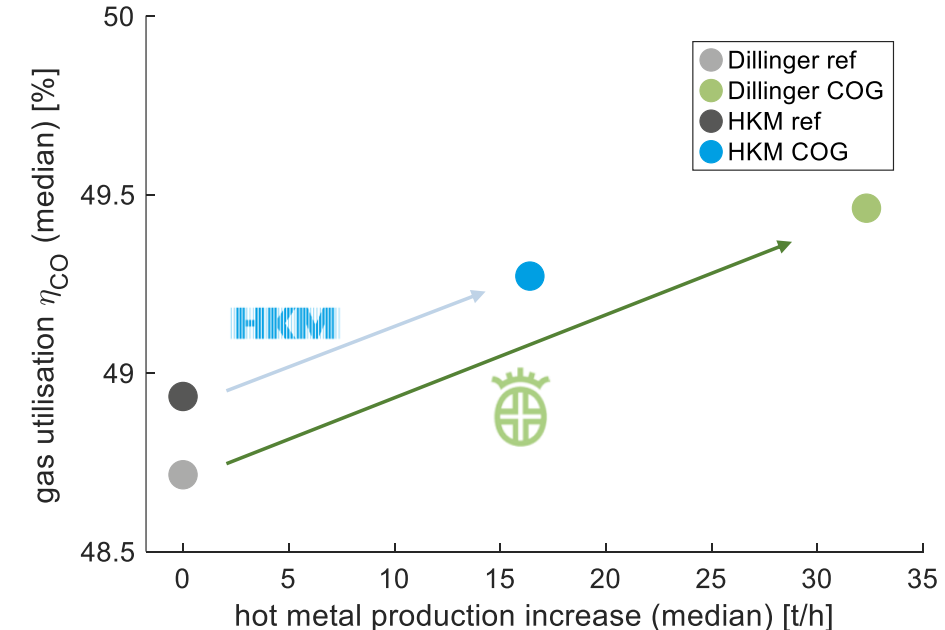
<http://h2transbf2030.org/>

=> Die Einblasung von Koksofengas ist für den Hochofen von Vorteil.

- › Ein früherer Beginn der Reduktion ermöglicht höhere Produktivität.
- › Die Gasnutzung von Kohlenmonoxid wird erhöht.

Zu beachten ist

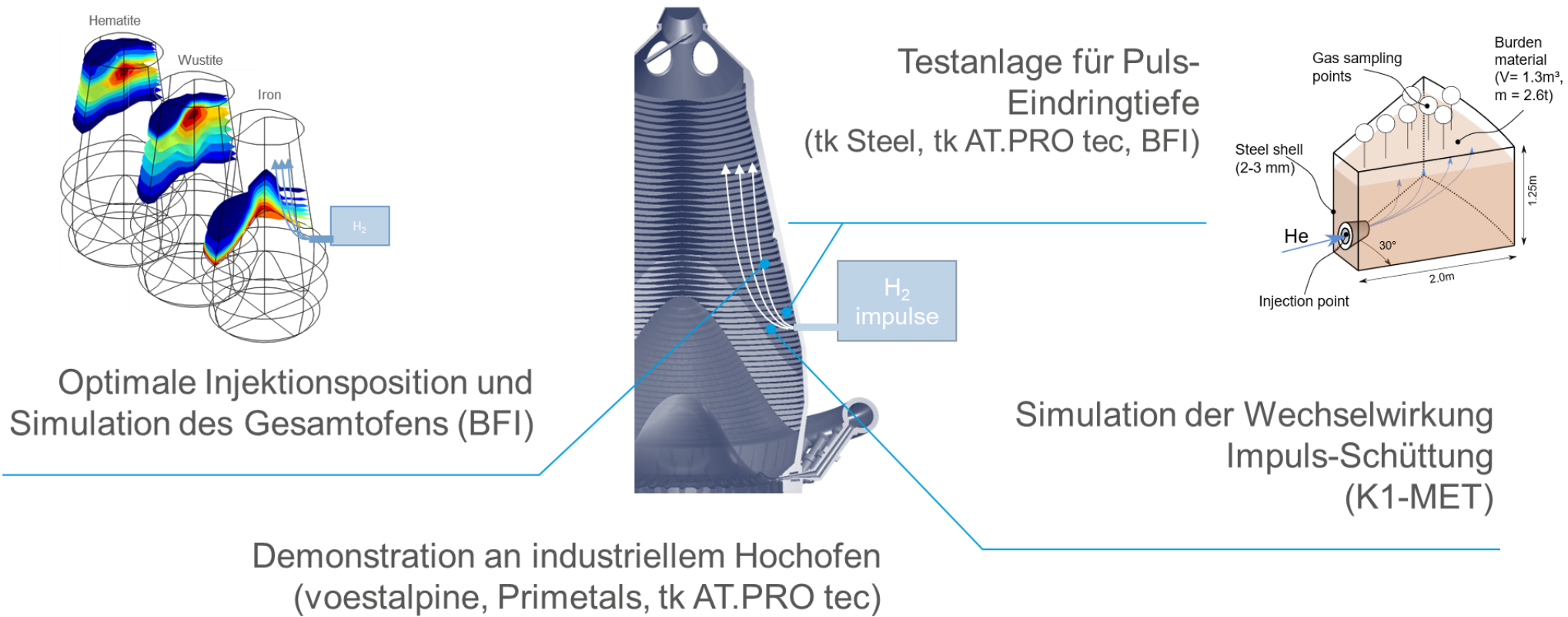
- › Der Prozess erfordert eine Optimierung des Arbeitspunktes (Ersatz von Koks/Kohle, Beschickungsmuster)
- › Überwachung der Permeabilität aufgrund möglichem verstärkten Niedertemperaturzerfall





Funded by
the European Union

Hydrogen sequence **impulse injection** into the Blast Furnace shaft

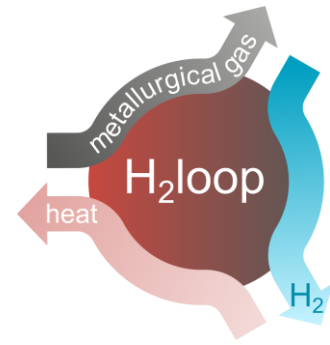


<http://h2ii.org/>

Aktuelle Projekte - H2Loop

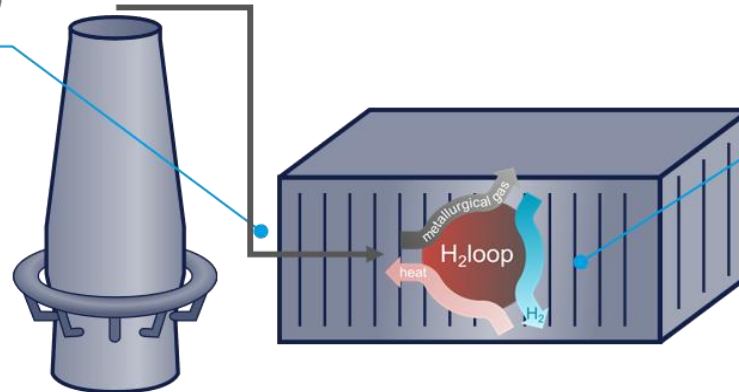


Funded by
the European Union



Sustainable decarbonisation of integrated steel plants by hydrogen production from chemical looping

Demonstration an industrieller Anlage (RGH2, ADI)



Tests mit verschiedenen Prozessgasen, digitaler Zwilling des chemical looping Prozesses (BFI)

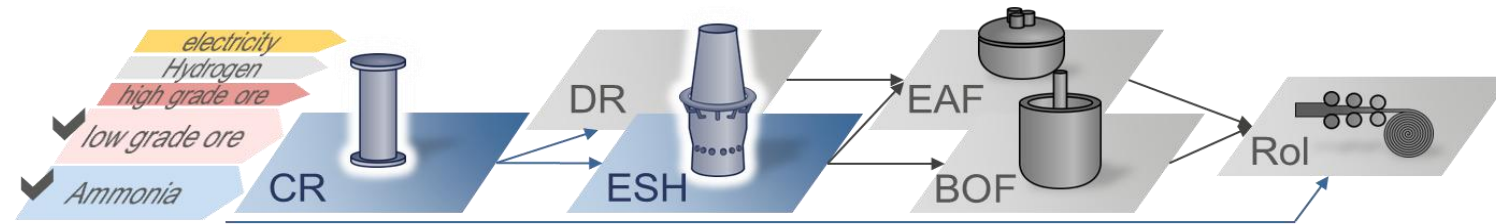
Integrierbarkeit in verschiedene Werke, holistische Auswertung inklusive LCA und Analyse verschiedener Energiemarkt-Bedingungen (PoliTO)

Projektideen – basierend auf Ammoniak

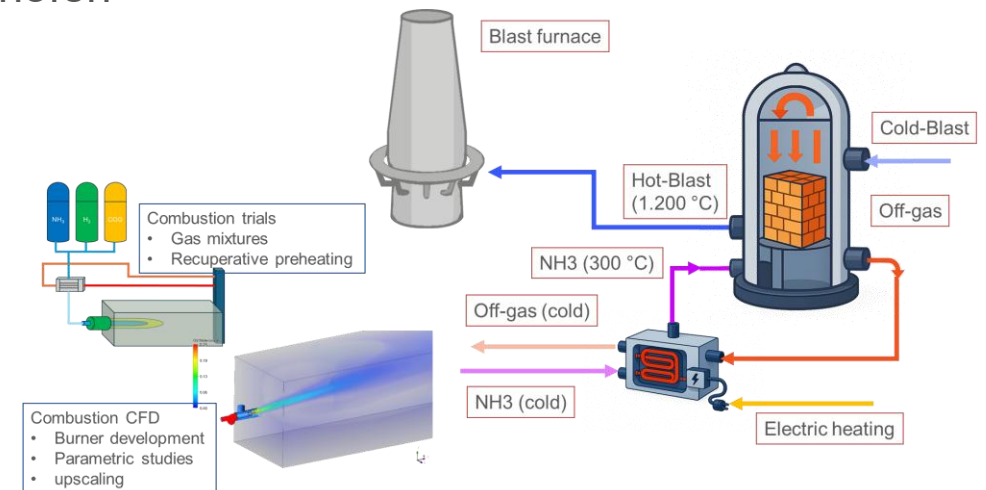
- › Deutsche Energiepreise deutlich höher als in anderen Regionen
- › Import von günstigem Ammoniak erscheint realistische Option

› Antrag Ephaistos 2025

- › Ammoniak-Cracking vor Ort abgestimmt auf Stahlproduktion
- › Heiß-Einsatz in Hochofen und Direktreduktion
- › Demonstration in integrierter Hütte und Einblasung in Hochofen
- › Ergänzung um Paul Wurth EASyMelt Konzept

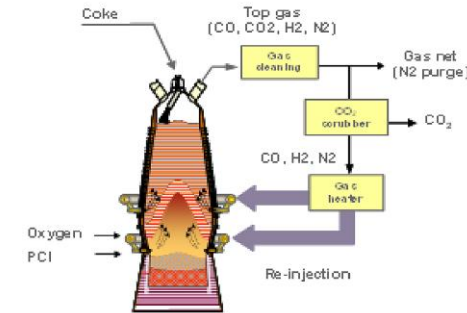


- › NH₃-2-Heat: Direkteinsatz für Hochtemperaturwärme
- › interessant insbesondere für Upstream-Großverbraucher
- › Demonstration in BFI 1 MW Technikumsanlage möglich (NH₃-ready)

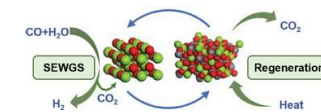
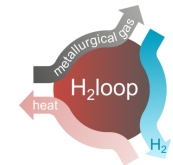


Projektideen – basierend auf Prozessgasnutzung / -umwandlung

- › Gichtgas-Rückführung in Hochofen naheliegend (demonstriert in Ulcos)
 - › Optimierung durch gepulste Einblasung sinnvoll
 - › Anreicherung mit H₂-reichen Gasen möglich / sinnvoll



- › Verschiedene Optionen für Gasumwandlung:
 - › chemical Looping (H₂Loop) zur H₂-Erzeugung => CO₂-Abscheidung/Nutzung
 - › Kalzium-Looping zur CO₂-Aufkonzentration, CO₂-Abscheidung durch Aufkalkzinerung von Schlacken
 - › SEWGS (sorptionverstärkte Wassergas-Shift-Reaktion)
 - › Membran- und Elektrolyse-basierte Verfahren
- › Breite Clean Steel Partnership - Initiative, um Hochofen-De karbonisierung zu unterstützen
 - › großes Interesse an kombinierten Produktionsrouten mit DR / EAF / ESF und de karbonisiertem Hochofen



Fazit

- › Es gibt nicht die eine Lösung für alle.
- › Es ist schwer, Vorhersagen zu treffen, besonders was die Zukunft betrifft.
- › technisch-wirtschaftliche Randbedingungen sprechen für längeren Weiterbetrieb von Hochöfen in Europa
- › Es gibt viele Möglichkeiten für schrittweise Hochofen-Dekarbonisierung.

- › Tot-gesagte leben länger



Kontakt: Dr.Ing. Thorsten Hauck

Abteilungsleiter Prozessoptimierung Roheisen-
und Stahlerzeugung

VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH

Sohnstraße 69 · 40237 Düsseldorf

Telefon +49 98492-301

E-Mail thorsten.hauck@bfi.de · www.bfi.de

E-Mail thorsten.hauck@bfi.de · www.bfi.de

Telefon +49 98492-301

Sohnstraße 69 · 40237 Düsseldorf

VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH

und Stahlerzeugung

Abteilungsleiter Prozessoptimierung Roheisen-