

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Verbundprojekt NuCOWin

## *1. Statuskonferenz der BMBF-Fördermaßnahme KlimPro-Industrie*

Berlin | 27.04.2023 | Lucas Horn, M. Sc.



thyssenkrupp [engineering.tomorrow.together.](https://www.thyssenkrupp.com)



TU Clausthal

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*

## 1. Vorstellung des Projekts

Hintergrundinformationen, Partner & Aufgabenverteilung

## 2. Einblicke in den Hüttenverbund

Zukünftige Entwicklung des Hüttenverbunds

Funktionsweise von Direktreduktionsanlage und Hochofen

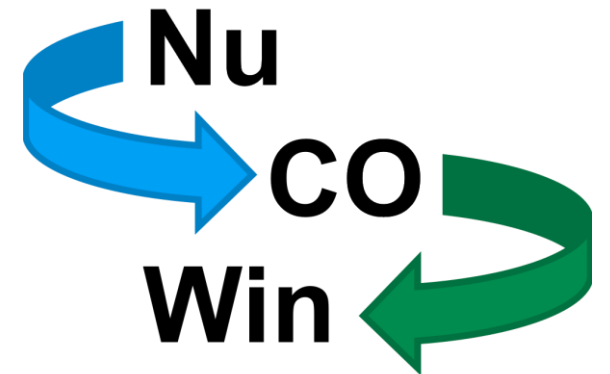
Projektidee im Detail

## 3. Statusupdate zum aktuellen Arbeitsstand

Simulation

Versuchsstand

## 4. Ausblick



# 1. Vorstellung des Projekts

Projektidee & Hintergrundinformationen

# Nu CO Win

Nutzung von CO<sub>2</sub> im Heißwind zur Effizienzsteigerung im Hochofen.

Themenbereich **CCU**

des **Hüttenverbundes.**

**Laufzeit des Vorhabens:**

01.08.2022 bis 31.07.2025

# 1. Vorstellung des Projekts

## Projektpartner & Aufgabenverteilung

### Theorie & Projektmanagement



- Modellbildung
- Simulation
- Projektmanagement
- Koordination

### Praxis & Versuche im Labormaßstab



- Planung & Entwicklung des Versuchsaufbaus
- Bau des Versuchsstandes
- Versuchsdurchführung

### Industrieller Partner



- Szenarienbildung & Life Cycle Assessment
- Ermittlung örtlicher Begebenheiten
- Bezugnahme Downstream Prozesse
- Optimierung des Anlagenparks

# 2. Einblicke in den Hüttenverbund

## Entwicklungskonzept Stahlstandort Duisburg

- Sukzessives Ersetzen von Hochöfen durch Direktreduktionsanlagen
- Verminderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um >30% bis 2030
- Klimaneutralität bis 2045

## Ansatzpunkt für das Projekt NuCOWin

- Koexistenz von Direktreduktionsanlagen und Hochöfen effizienzbringend ausnutzen
- Übergangstechnologie

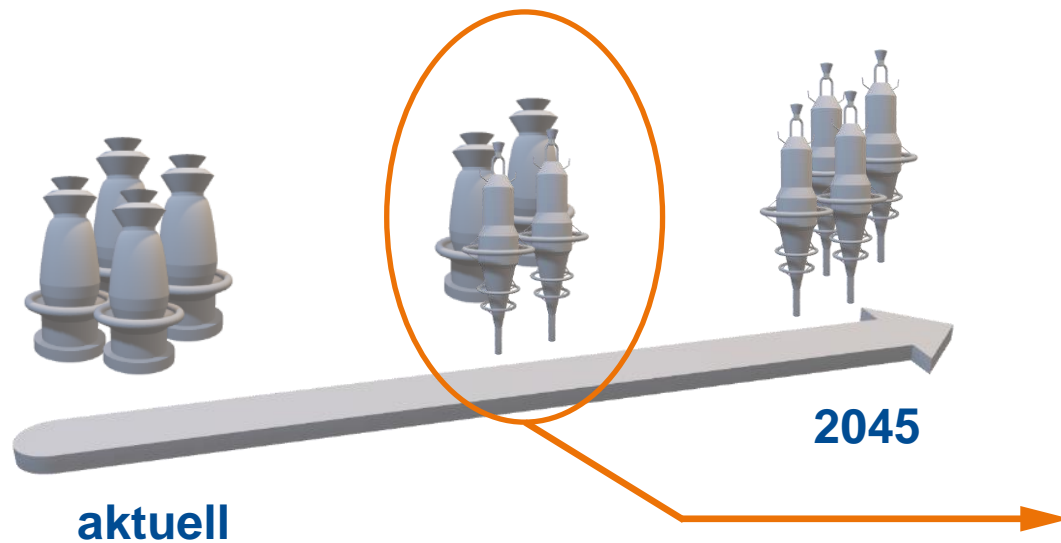
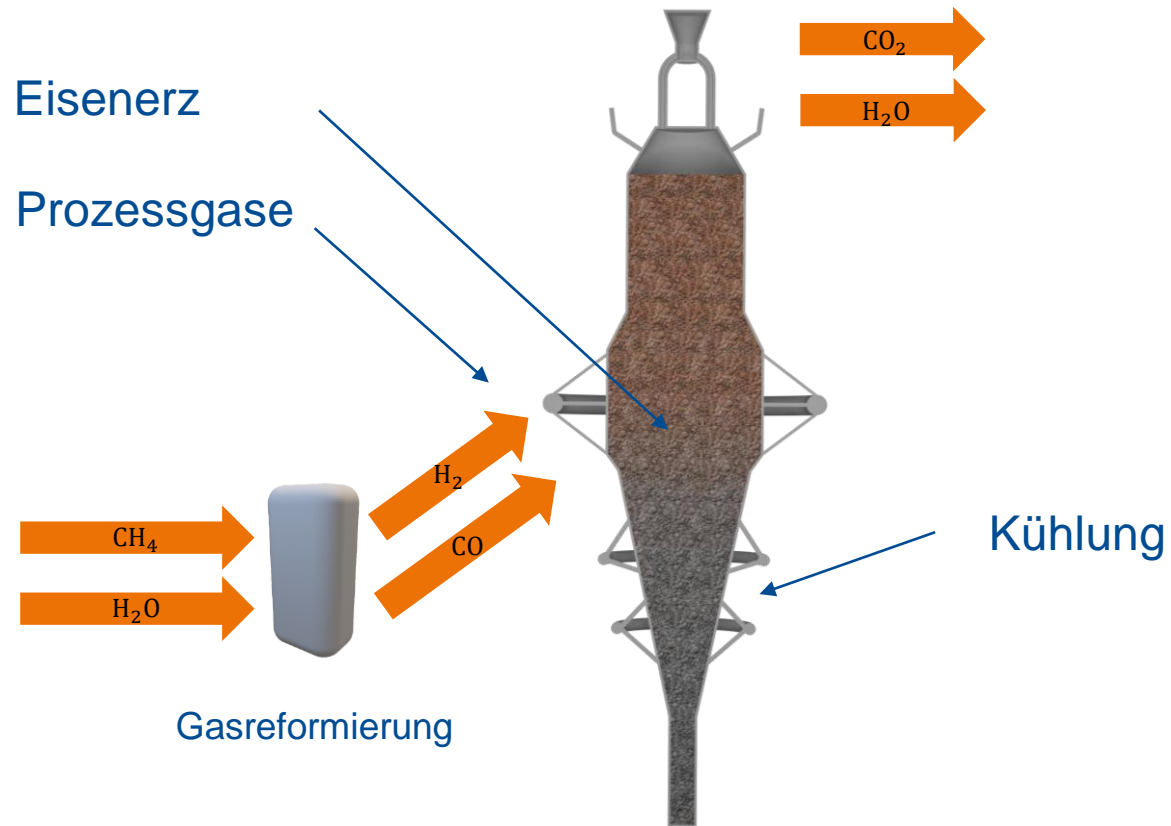


Abb. 1: Der zukünftige Hüttenverbund. [1]

# 2. Einblicke in den Hüttenverbund

## Prinzip des Direktreduktionsprozesses



## Direktreduktionsanlage im Überblick

- Beschickung von oben (Gicht) mit Eisenerz
- Zuführung von heißem Reduktionsgas
- Reduktionsgas aus Gasreformierung
- Gasbasierter Gegenstromreaktor
- Verhinderung von Reoxidation durch Kühlung
- $\text{CO}_2$  - Emissionen bei Erdgasbetrieb

Abb. 2: Schnittdarstellung einer mit Erdgas betriebenen Midrex-Direktreduktionsanlage mit Reformier. [2]

# 2. Einblicke in den Hüttenverbund

## Prinzip des Hochofenprozesses

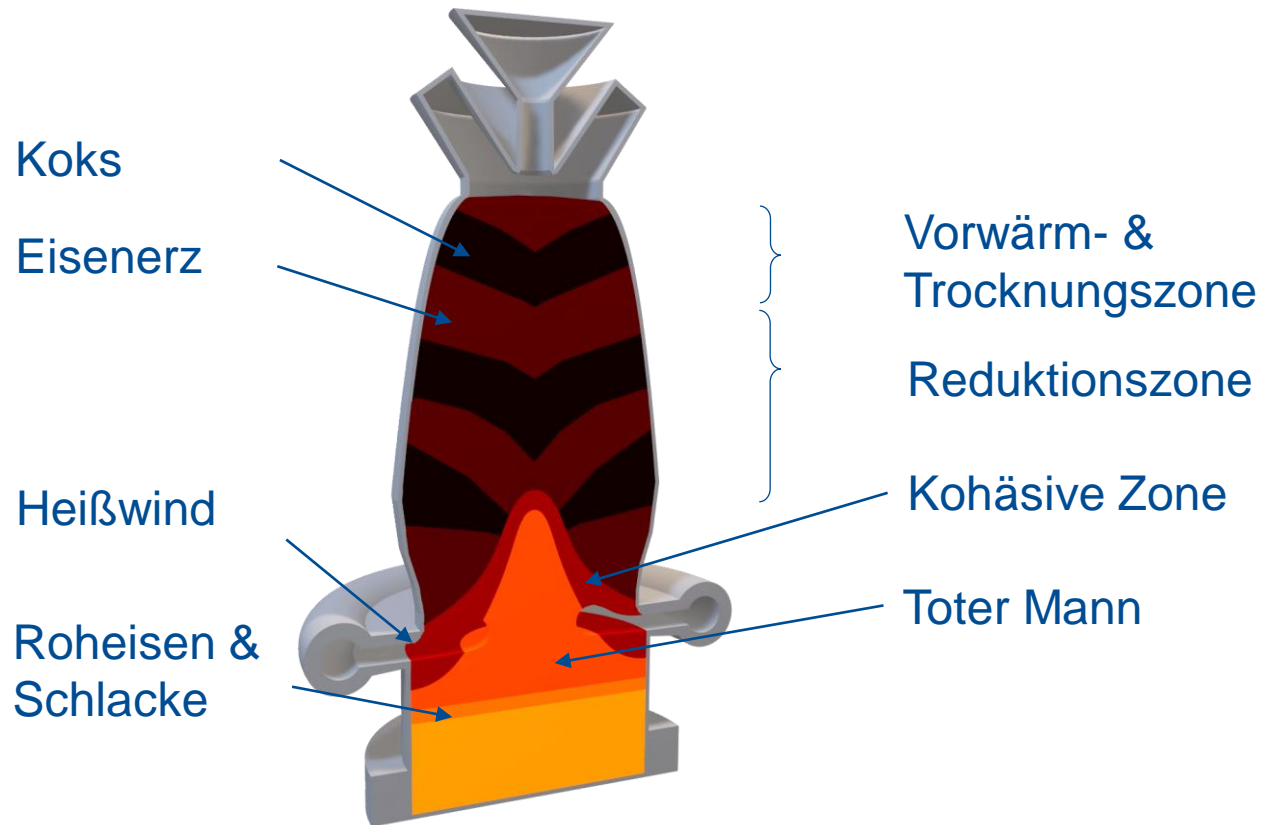


Abb. 3: Schnittdarstellung eines Hochofens. [3]

## Hochofen im Überblick

- Gegenstromreaktor
- Schichtweise Beschickung des Hochofens von oben (Gicht)
- Zuführung von Heißwind und Kohlenstaub über Blasformen
- Kohlenstoffumsetzung liefert Reduktionsgas
- Verflüssigung des Eisens

# 2. Einblicke in den Hüttenverbund

## Prinzip des konventionellen Hochofenprozesses

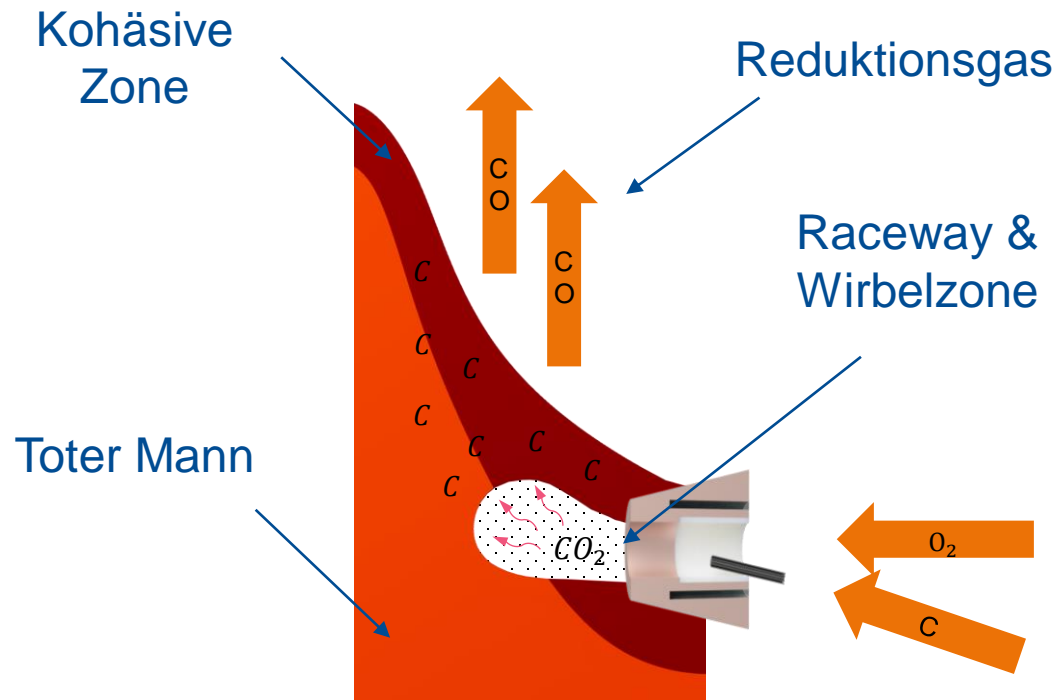


Abb. 4: Reaktionen im Unterofen. [4]

### Reaktion in der Wirbelzone

- $C + O_2 \rightarrow CO_2$  (exotherm)
- $\Delta H_1 = \text{negativ} \rightarrow \text{Energie wird frei}$

### Reaktionen im toten Mann & der kohäsiven Zone

- $CO_2 + C \rightarrow 2CO$  (endotherm)
- liefert Reduktionsgas
- $\Delta H_2 = \text{positiv} \rightarrow \text{Energie wird benötigt}$
- $|\Delta H_1| > |\Delta H_2|$

⇒ Boudouard-Reaktion ausnutzen



# 2. Einblicke in den Hüttenverbund

## Kopplung von Direktreduktionsanlage und Hochofen

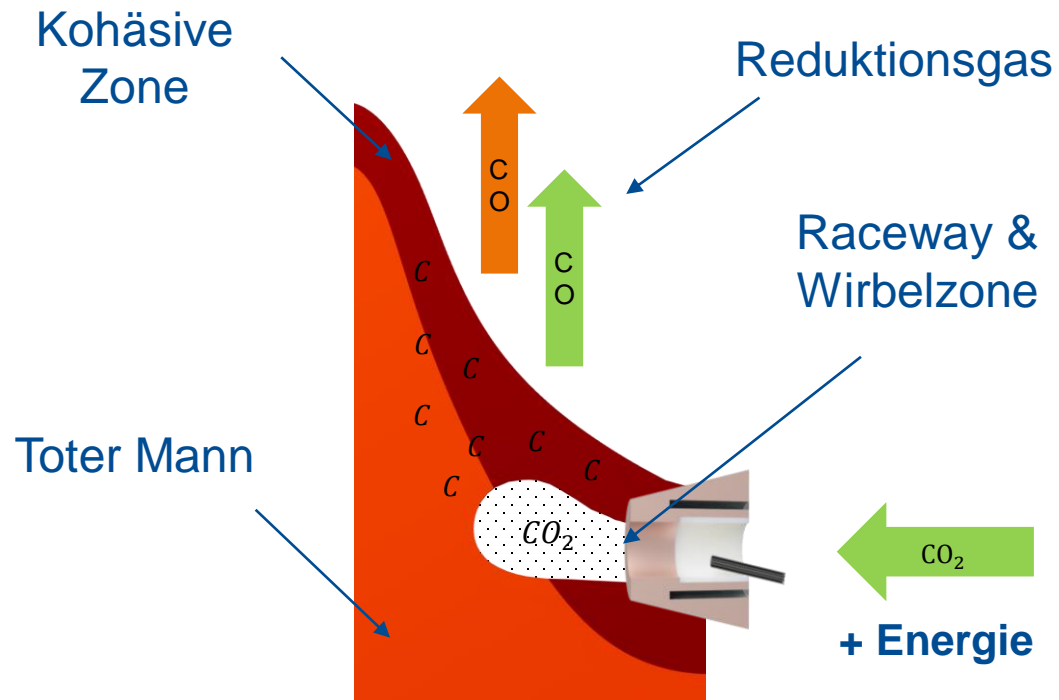


Abb. 5: Veränderte Stoffströme bei einer Kopplung von DRA & HO.

### Reaktion in der Wirbelzone

- CO<sub>2</sub> aus Direktreduktionsanlage einblasen
- CO<sub>2</sub> als Kohlenstoff- und Sauerstoffträger

### Problem

- Energiebilanz des Hochofens
- ~~C + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> (exotherm)~~
- $\Delta H_1 = 0 \rightarrow$  Energie fehlt

### Reaktion im toten Mann

- Endotherme Boudouard-Reaktion und Prozess kämen ohne zusätzliche Energie zum Erliegen

# 2. Einblicke in den Hüttenverbund

## Kopplung von Direktreduktionsanlage und Hochofen

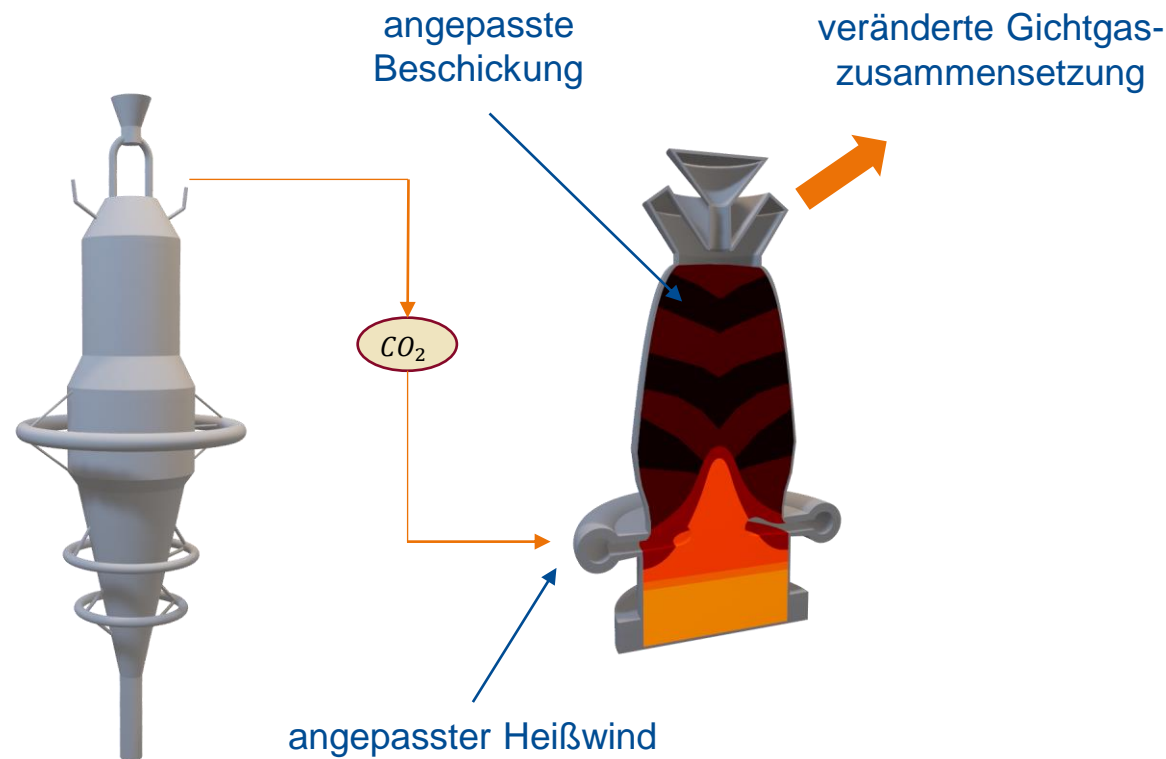


Abb. 6: Notwendige Änderungen bei einer Kopplung von DRA und HO.

### Lösungsansätze

- Einblasen von Wasserstoff oder anderen Brenngasen
- Anpassung der Heißwindtemperatur
- Anpassung der Beschickung
- Höhere Schrottraten

### Forschungsauftrag

- Betriebspunkt finden, der bei Kopplung beider Aggregate  $CO_2$  - Einsparung mit sich bringt und gleichzeitig wirtschaftlich ist

# 3. Aktueller Arbeitsstand

## Simulation

### Bisher:

- Erstellung eines **stationären Bilanzraummodells**
  - Unterteilung des Hochofens in adiabate Gleichgewichtsräume (Reaktionsräume)
  - Definition von Stoffströmen
- Aufbereitung von **Betriebsdaten** von tkSE

### Aktuell:

- **Einpfelegen** der Betriebsdaten aus konventionellem Betrieb in das Simulationsprogramm
- Berechnung des **Referenzszenarios** „konventioneller HO“

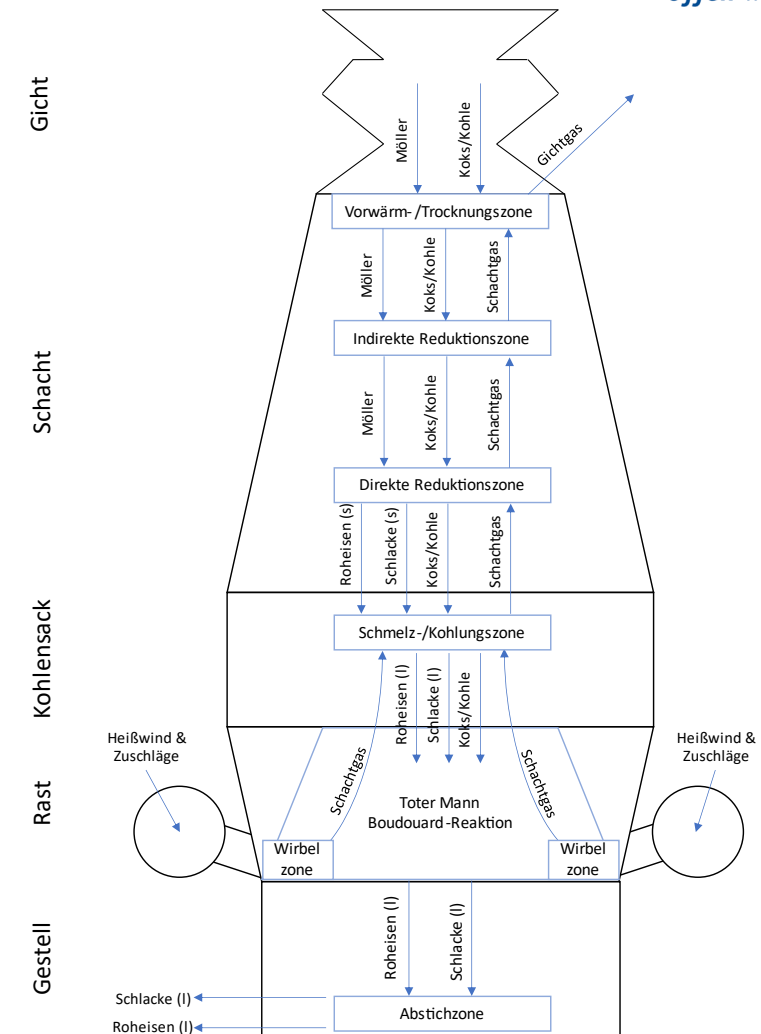


Abb. 7: Modellrahmen des stationären Bilanzraummodells.

# 3. Aktueller Arbeitsstand

## Versuchsstand

- Fertigstellung des Reaktorraums „Wirbelzone“
- Bau der übrigen **Reaktorabschnitte**
- **Versuchsdurchführung**
  - Gewinnung von Versuchsdaten

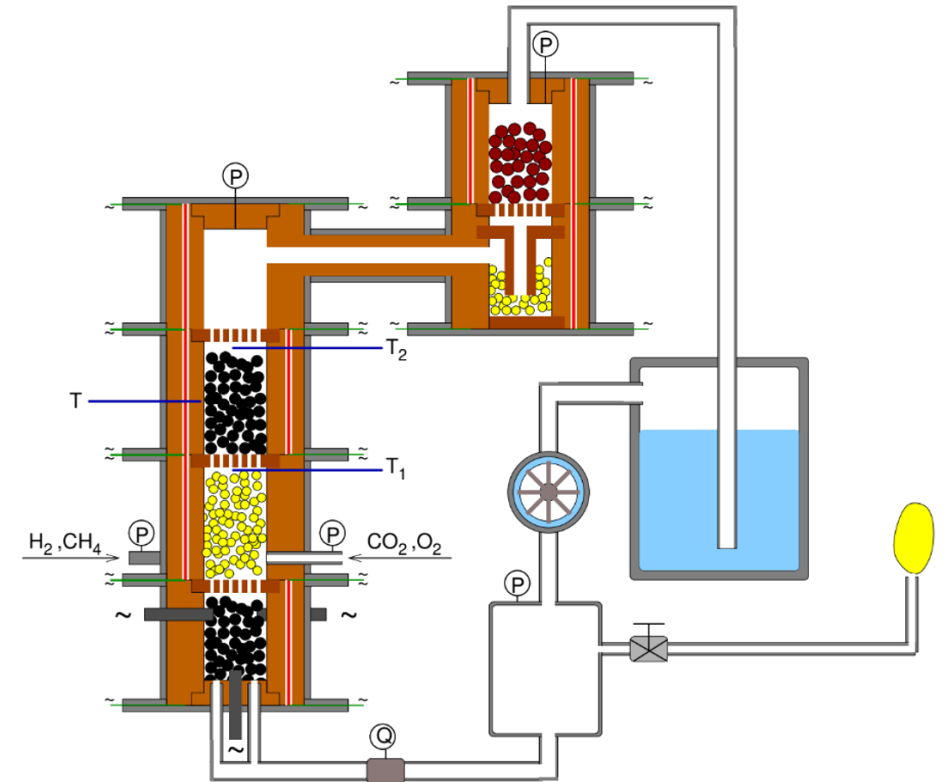
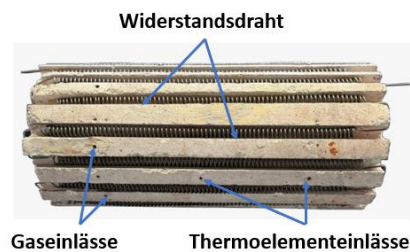
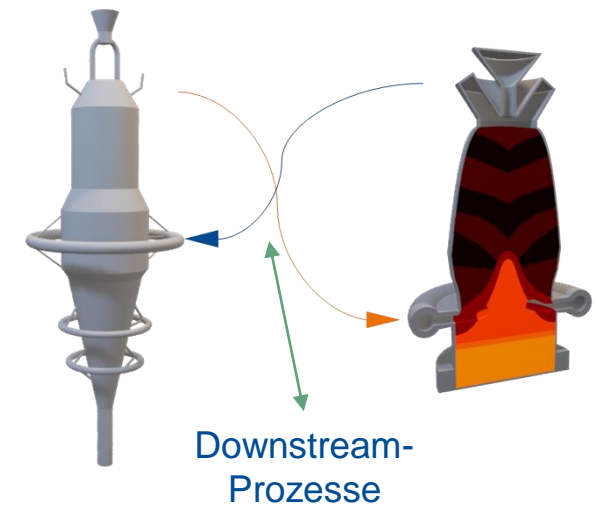
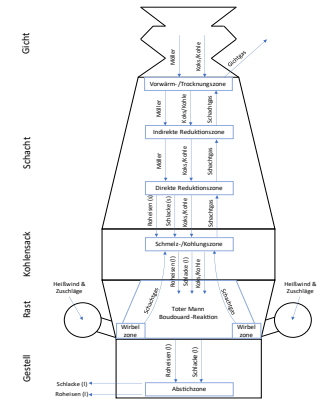
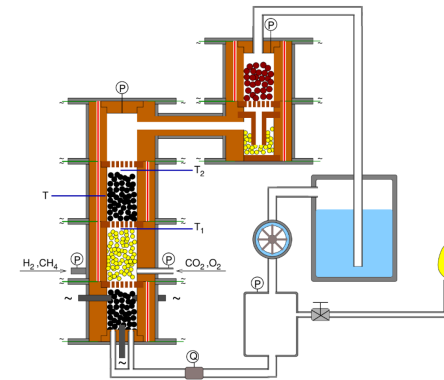


Abb. 8: Aktueller Arbeitsstand und Schemazeichnung des Versuchsstandes. [5]

# 4. Ausblick

## Simulation & Versuchsstand

- **Weiterentwicklung** des Modells und des Versuchsstandes
- **Kalibrierung** der Simulation anhand von Versuchsergebnissen
- Bereitstellung der Simulations- und Versuchsergebnisse für das **Life Cycle Assessment**
- **Gichtgaszusammensetzung** des modifizierten Hochofens bestimmen





***Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!***

Berlin | 27.04.2023 | Lucas Horn, M. Sc.



thyssenkrupp [engineering.tomorrow.together.](https://www.thyssenkrupp.com)



TU Clausthal

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*

- [1] Eigene Darstellung in Anlehnung an: Stagge, M. (2023): Klimastrategie: Mit grünem Stahl in die Zukunft. <https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/unternehmen/nachhaltigkeit/klimastrategie/>. Eingesehen am 24.04.2023.
- [2] Eigene Darstellung in Anlehnung an: Hamadeh, H. et. al. (2018): Detailed Modeling of the Direct Reduction of Iron Ore in a Shaft Furnace. MDPI Materials, Basel.
- [3] Eigene Darstellung in Anlehnung an: Schenk, J. (2011): Thermodynamisches Bilanzmodell zur Optimierung und Analyse der Betriebsweise. Diplomarbeit der Studienrichtung Verfahrenstechnik, Graz.
- [4] Eigene Darstellung in Anlehnung an: Peacey, J.G., W.G. Davenport (1979): The Iron Blast Furnace. Pergamon Press, Oxford.
- [5] Spitzer, K.-H. (2022): Versuchsstand des Projekts NuCOWin. Unveröffentlicht, Clausthal.