

# Anwendung von H<sub>2</sub> in der Eisen- und Stahlindustrie

Transformation der Stahlproduktion - Unser Beitrag zur Klimaneutralität

18.04.2023 | Dr. Daniel Schubert | Duisburg  
thyssenkrupp Steel Europe AG

H<sub>2</sub> Stahl

engineering.tomorrow.together.



thyssenkrupp

# Nr. 2 Flachstahlhersteller in Europa: Breites Engagement in Endabnehmerindustrien

10,5 Mio t  
Rohstahlproduktion<sup>1,2</sup>

9,5 Mio t  
Versand<sup>1,2</sup>

13,2 Mrd €  
Umsatz<sup>1,2</sup>

1,2 Mrd €  
Adj.  
EBITDA<sup>1,2</sup>

Automotive

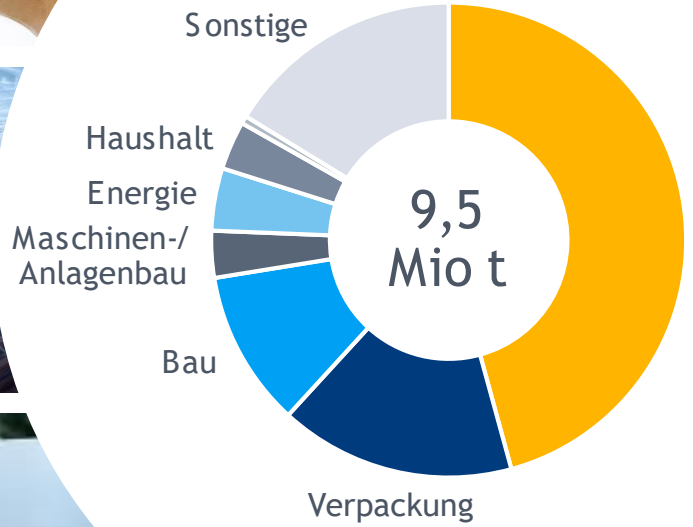


Versand nach Endabnehmerindustrien (GJ 21/22)



Konsumgüter

Sonderfahrzeuge



Automobilbau/Trucks



Trafos & Ladeinfrastruktur

Allgemeine Industrie



Energieerzeugung/Turbinen

Bauelemente



Verpackungen

10 Quadratkilometer im Raum Duisburg  
eine der größten Industriestandorte der EU

19 Produktionsstätten

~26.304 Mitarbeiter<sup>1</sup>

~1.200 Kunden<sup>1</sup>



# thyssenkrupp Steel

Führender Hersteller von Qualitätsflachstahl

Hochwertiger Stahl...



thyssenkrupp Steel steht für **Innovationen** in Stahl und **hochwertige Produkte** für modernste und anspruchsvolle Anwendungen. Das Leistungsspektrum reicht von **kundenspezifischen Werkstofflösungen** bis hin zu **werkstoffnahen Dienstleistungen**.

... für alle Anforderungen...



thyssenkrupp Steel erfüllt die steigenden Anforderungen an immer **effizientere** und **wirtschaftliche Leichtbau-** sowie **Sicherheitsstandards**, erforscht und entwickelt neue **High Performance-Stähle** und setzt **Maßstäbe bei Oberflächen- und Verarbeitungstechnologien**.

... und alle Branchen...



Bedient werden **international eine Vielzahl von Branchen**, darunter die Automobilindustrie, der Maschinenbau, der Sonderfahrzeugbau, die Haushaltsgeräte- und Verpackungsindustrie, der Energiesektor und die Baubranche.

... perspektivisch klimaneutral

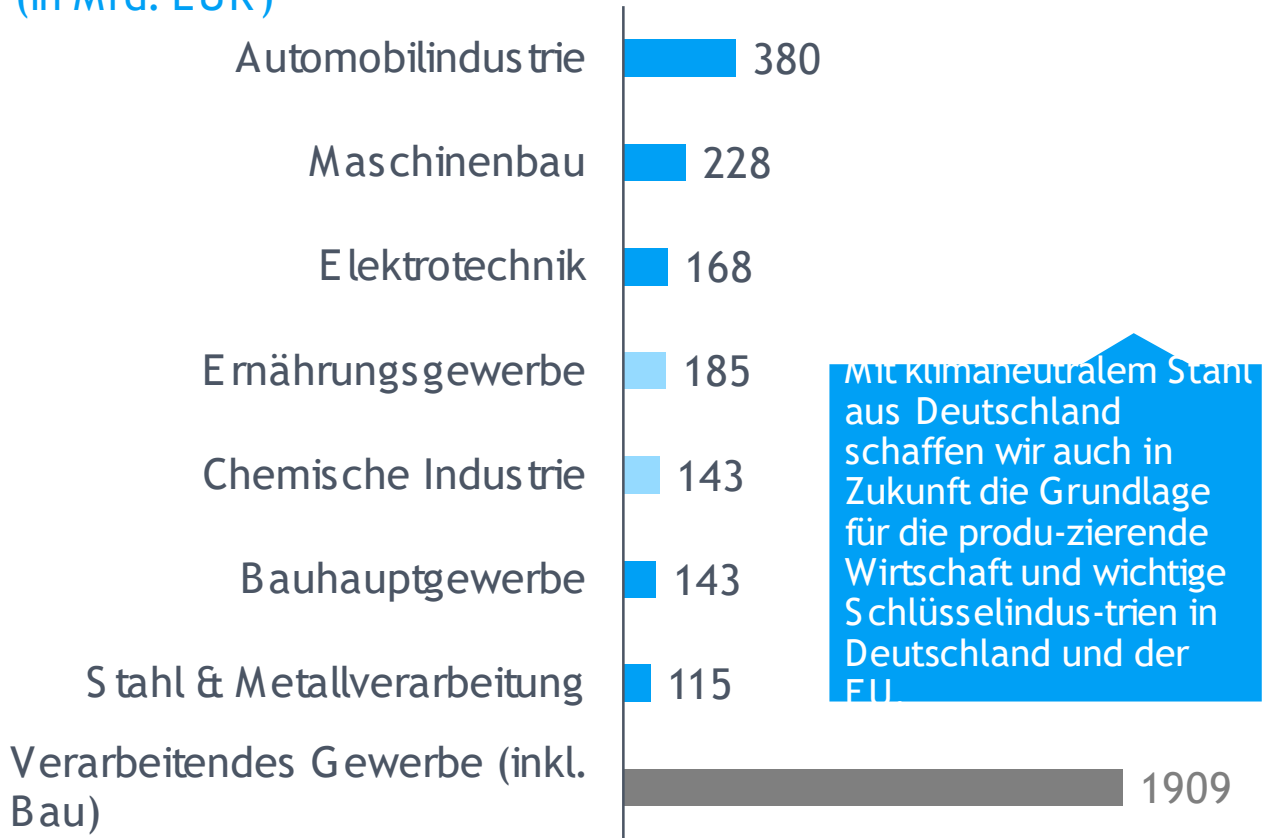


Als Vorreiter in der **Klimatransformation** hat sich thyssenkrupp Steel zum Ziel gesetzt, bereits ab 2030 jährlich 5 Mio Tonnen **CO<sub>2</sub>-reduzierten Stahl** zu produzieren. 2045 soll die Stahlproduktion vollständig klimaneutral sein.



# Stahl ist gesellschaftsrelevant

Umsätze der größten Industriebranchen in Deutschland (in Mrd. EUR)



Stahlanteil an Vorleistung

12 %
20 %
8 %
1 %
1 %
10 %
59 %

Arbeitsplätze 2021 in Tausend

817
1.041
728
614
349
894
688
7105



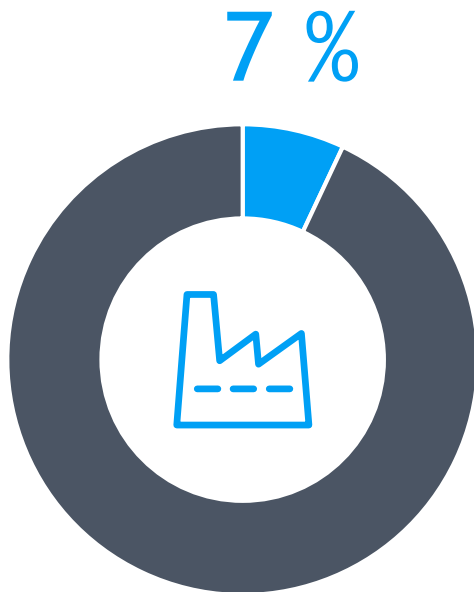
Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl, Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2022 (Zahlen aus 2021)



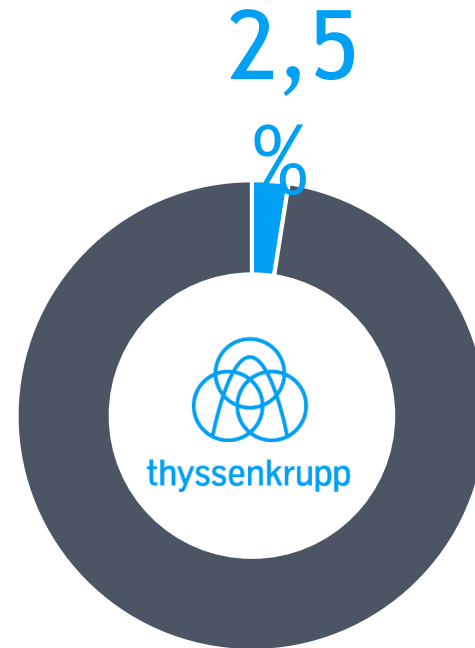
# Wir haben einen großen Hebel, um die Dekarbonisierungsziele Deutschlands zu erreichen

Deshalb tragen wir direkt und indirekt zu deren Erreichung bei

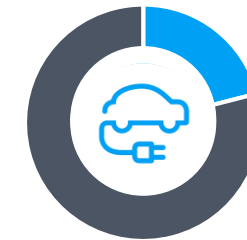
## Anteil der Stahlindustrie an CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland



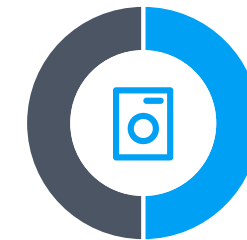
## Anteil tkSE an CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland



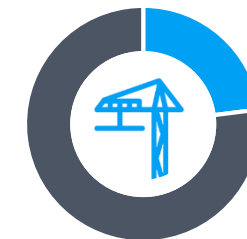
## Anteil von Flachstahl an gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen in ausgewählten Industrien<sup>1</sup>



Automobil  
(Beispiel E-Auto<sup>2</sup>)



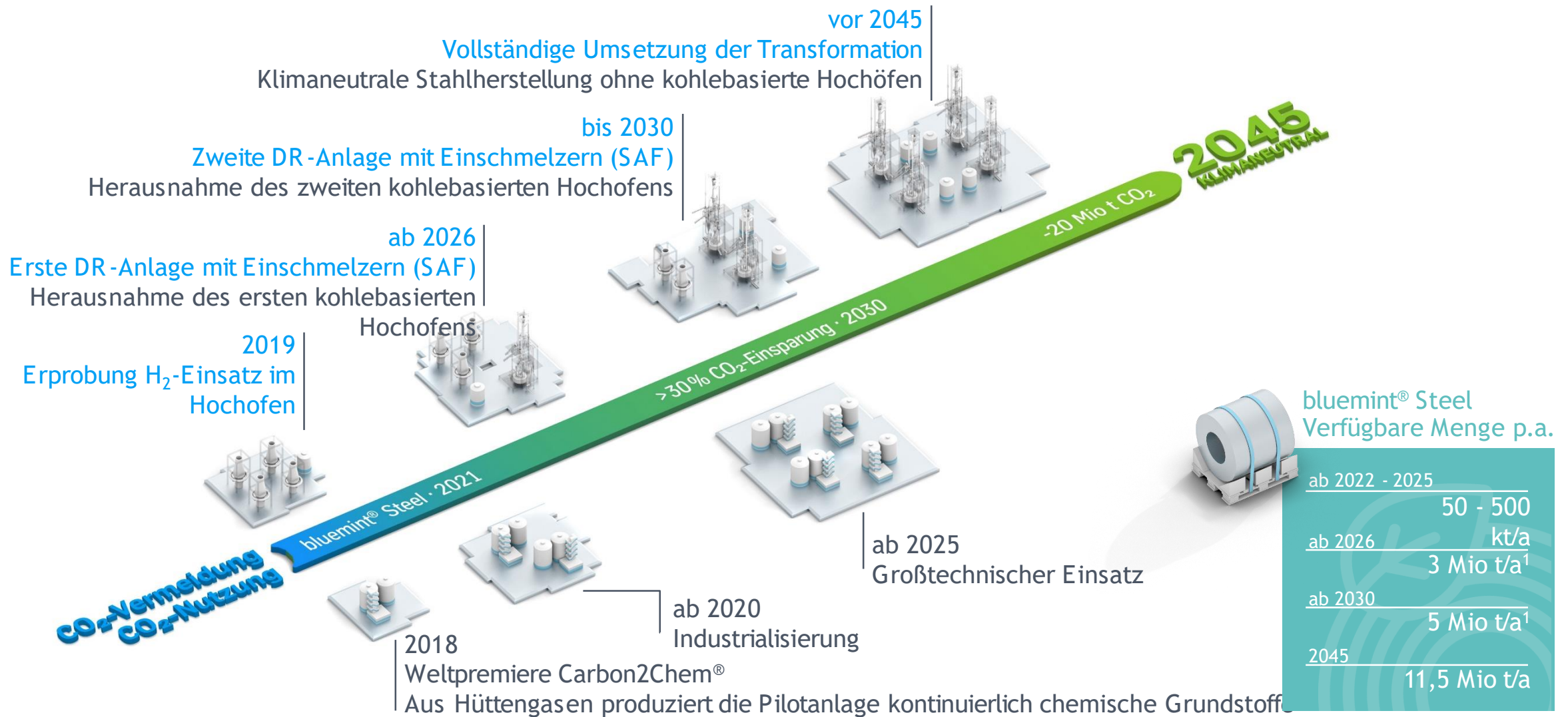
Haushalt  
(Beispiel Waschmaschine<sup>3</sup>)



Bau  
(Beispiel Lager<sup>4</sup>)

1. Scope-3-Emissionen; 2. Batteriebetriebenes Elektrofahrzeug im C-Segment; 3. Waschmaschine mit <15 kg Kapazität, 225 kg; 4. 5.500 m<sup>2</sup> Lager





1. Menge nach Anlagenhochlauf



# Wir haben eine klar definierte Klimastrategie mit zwei technologischen Pfaden

Vermeidung von CO<sub>2</sub> - CDA (Carbon Direct Avoidance)

Einsatz von Wasserstoff als Reduktionsmittel



Nutzung von CO<sub>2</sub> - CCU (Carbon Capture & Utilization)

Umwandlung von Hüttengasen in werthaltige Basischemikalien



Wasserstoff als essenzieller Grundstoff für beide Pfade



# Kern der Transformation

## Umstellung von Hochöfen und Koks Kohle auf DR -Anlagen und grünen Wasserstoff

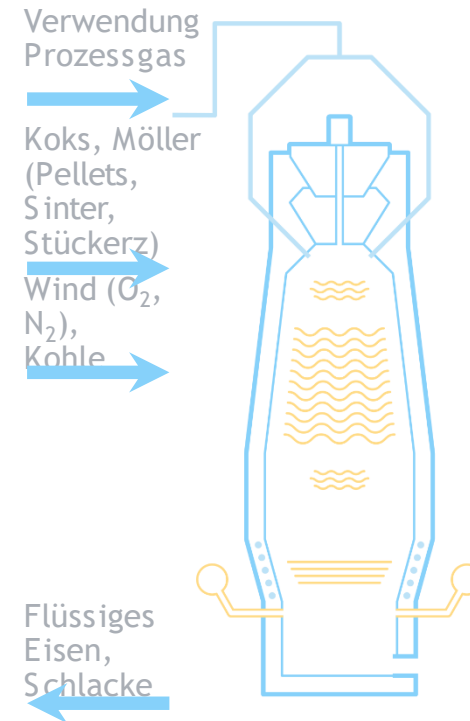
Einsatz von Wasserstoff in Direktreduktionsanlagen (DR -Anlage),  
in Kombination mit innovativen Einschmelzaggregate.

Verfahrensinnovation mit deutlichen ökologischen und ökonomischen Vorteilen.

- **Innovation**  
Engineering der Einschmelzer in Kombination mit einer DR -Anlage
- **Ökologischer Vorteil**  
Wasserstoff und grüner Strom substituieren Kohle und eliminieren CO<sub>2</sub>
- **Prozessvorteil**  
Nutzung günstigerer Einsatzstoffe und Feuerfestmaterialien, Nutzung von Prozesswärme
- **Elektro-Roheisen wird wie Roheisen eingesetzt, deshalb können weiterhin alle Produkte erzeugt werden**

### Klassischer Hochofen

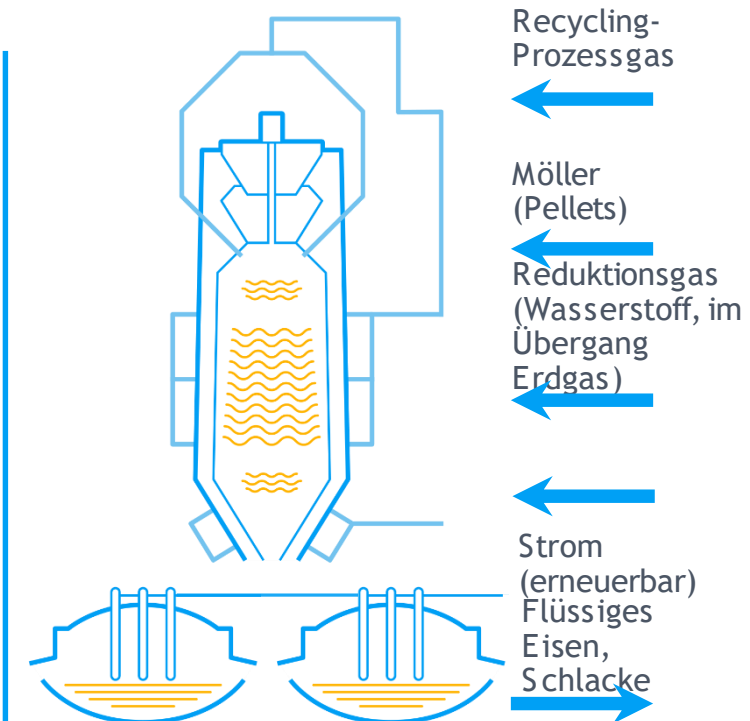
Kohlenstoff als Reduktionsmittel und Energieträger



### DR -Anlage mit Einschmelzern

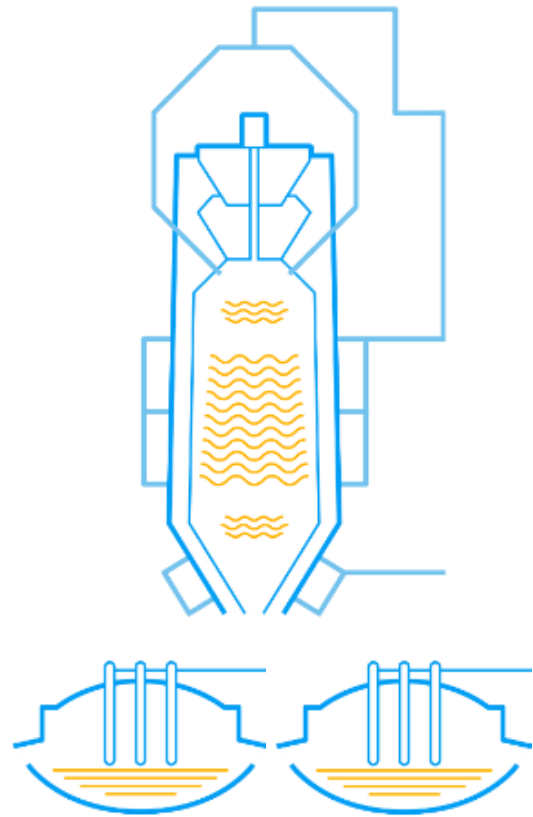
Wasserstoff als Reduktionsmittel in DR -Anlage

Grüner Strom als Energieträger im Einschmelzer





# Kern der Transformation ist die Umstellung von Hochöfen und Koks Kohle auf Direktreduktionsanlagen und grünen Wasserstoff



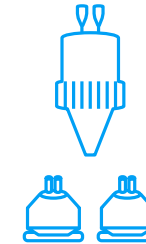
## DR-Anlage

In der DR-Anlage wird unter Nutzung von Wasserstoff (im Übergang Erdgas) die Reduktion von Eisenerz in Form von Pellets zu Eisenschwamm durchgeführt

## Einschmelzer

Im Schmelzer wird Eisenschwamm zu Roheisen weiterverarbeitet und dann in den etablierten Konverterprozess übergeben

1



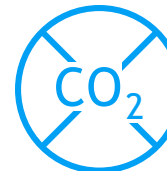
Unsere 1. DR-Anlage mit Einschmelzern in Duisburg wird ...

2



... eine Kapazität von ~2,5 Mt<sup>1</sup> haben und ...

3



... Kohle durch Wasserstoff und grünen Strom substituieren und CO<sub>2</sub> eliminieren

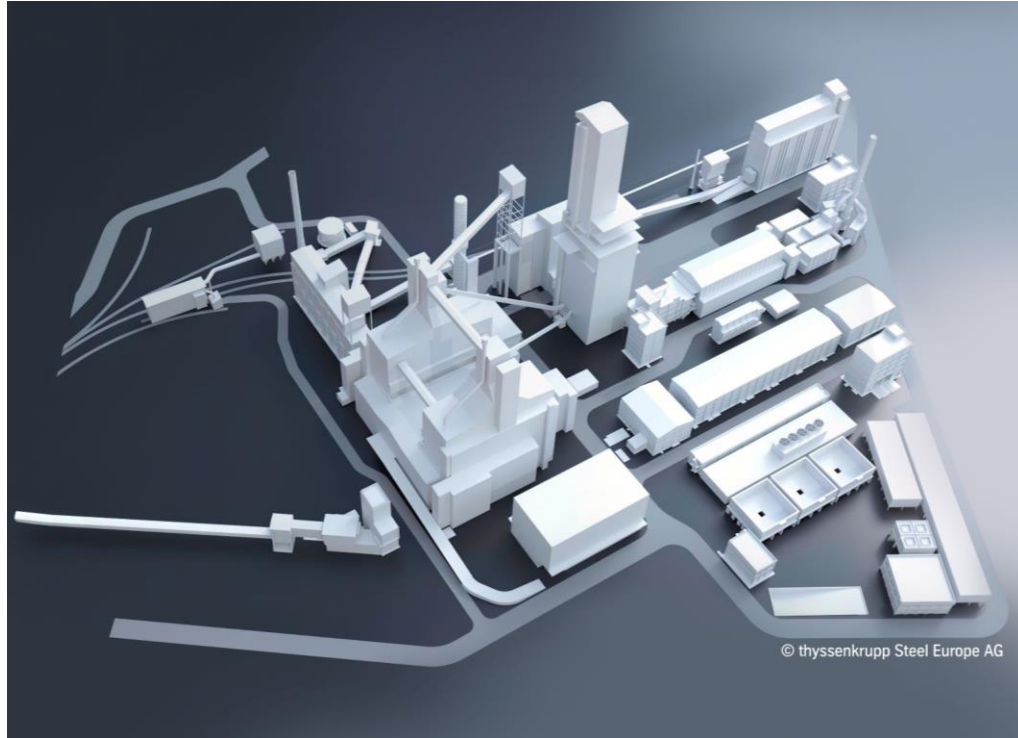
Die erste Direktreduktionsanlage in Duisburg ermöglicht es, initial einen Hochofen zu ersetzen

1. Entspricht ~2,1-2,2 Mt Roheisenkapazität



# Auftragsvergabe der größten deutschen Direktreduktionsanlage an SMS group

Start eines der weltweit größten industriellen Dekarbonisierungsprojekte



- thyssenkrupp Steel beauftragt SMS mit dem Engineering, der Lieferung und dem Bau einer wasserstoffbetriebenen Direktreduktionsanlage, zweier innovativer Einschmelzer und zugehöriger Nebenaggregate am Standort Duisburg.
- Start eines der weltweit größten industriellen Dekarbonisierungsprojekte mit einem Auftragsvolumen allein für SMS von über 1,8 Mrd. Euro.
- Wegweisendes Konzept: Direktreduktionsanlage mit Midrex-Technologie in Kombination mit zwei innovativen Einschmelzern, mit einer Kapazität von 2,5 Millionen Tonnen direktreduziertem Eisen.
- Inbetriebnahme soll Ende 2026 erfolgen.
- Bedeutender Schritt für industriellen Klimaschutz in Europa: Jährliche Einsparung von über 3,5 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>.

# Vorteil unserer Transformationsstrategie

Angebot aller Güten, keine Abstriche auf neuem Produktionsweg

## Portfolio

Grüner Qualitätsflachstahl für alle Anwendungsbranchen mit vollem Produkt- und Gütenportfolio

## Qualität

Weiterhin höchste Qualitäten in Bezug auf Umformbarkeit und Festigkeiten, Oberflächen und elektromagnetische Eigenschaften

## Prozesssicherheit

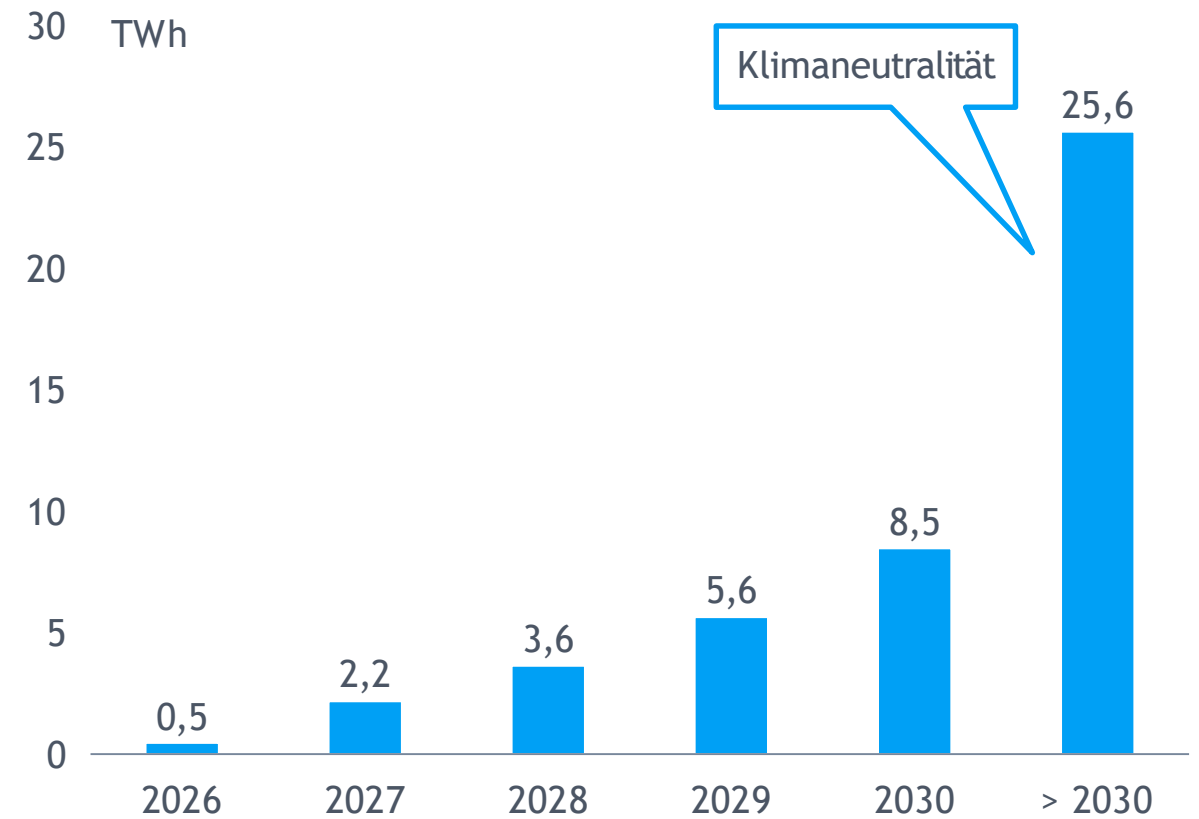
Alle Produktionsprozesse ab Stahlwerk bleiben bestehen. Etablierte Gütenkonzepte müssen nicht geändert werden, Stabilität in Zulassungsprozessen



# Die Transformation zur Klimaneutralität erfordert große Mengen an Wasserstoff



Wasserstoffbedarf thyssenkrupp Steel Europe



Quelle: tkSE, Nationale Wasserstoffstrategie 2020

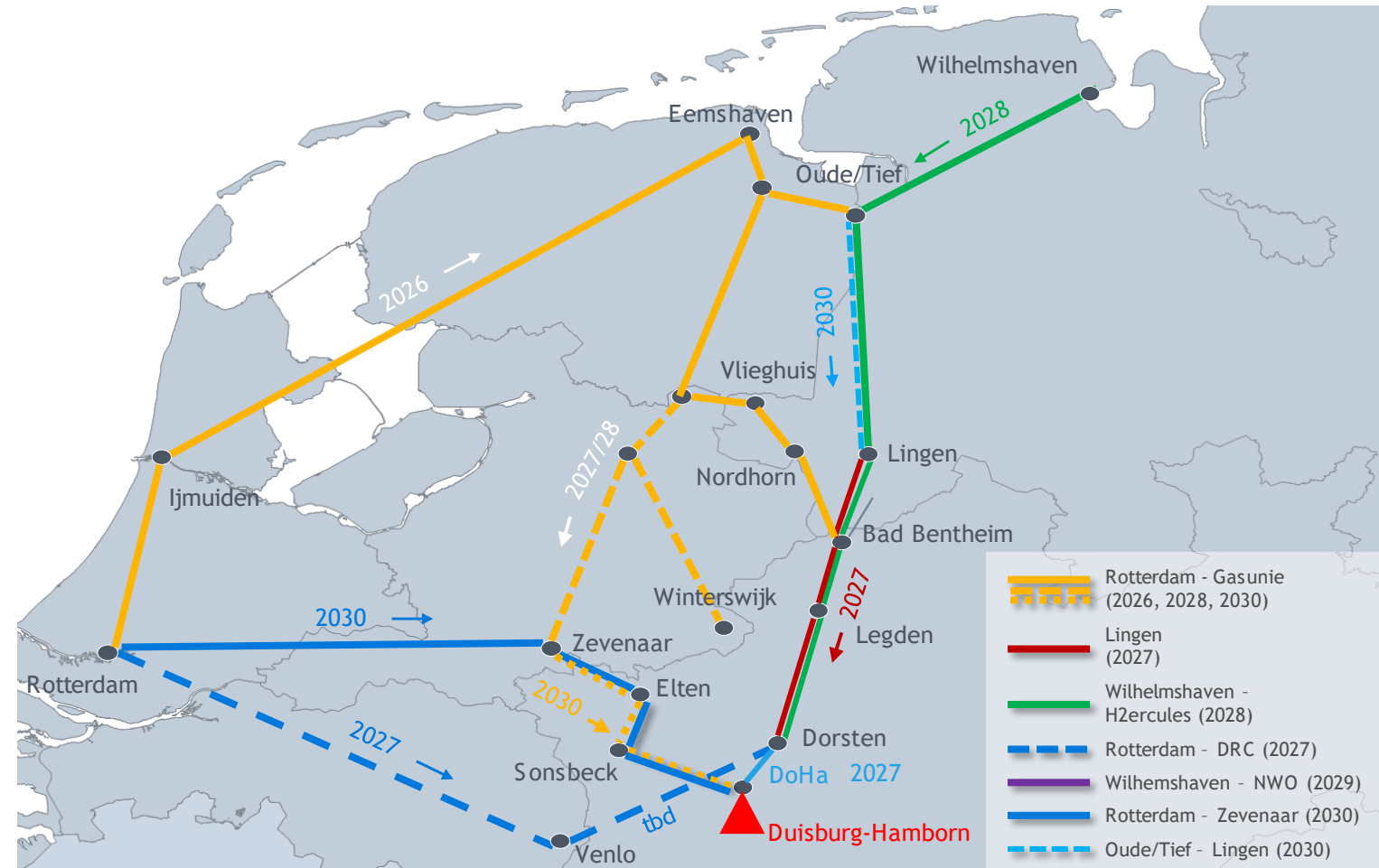
thyssenkrupp Steel Europe AG, Besuch BMWK am 18.04.2023, Dr. Daniel Schubert



# Bis 2030 wird tkSE an 4 große Wasserstoffimport-Häfen angeschlossen sein

## Pipeline-Netz 2030

- Anbindung an Eemshaven ab 2027 via Vliegghuis-Dorsten
- Anbindung an Wilhelmshaven ab 2028 via H2ercules
- Anbindung an Rotterdam über den Delta-Korridor ab 2028 oder über Eemshaven ab 2027 oder via Gasunie-Pipeline ab 2030
- Anbindung an Lingen via Dorsten ab 2027



1. Bedarfe nach Angaben aus dem Business Case; 2. Higher Heating Value (Oberer Heizwert/Brennwert)



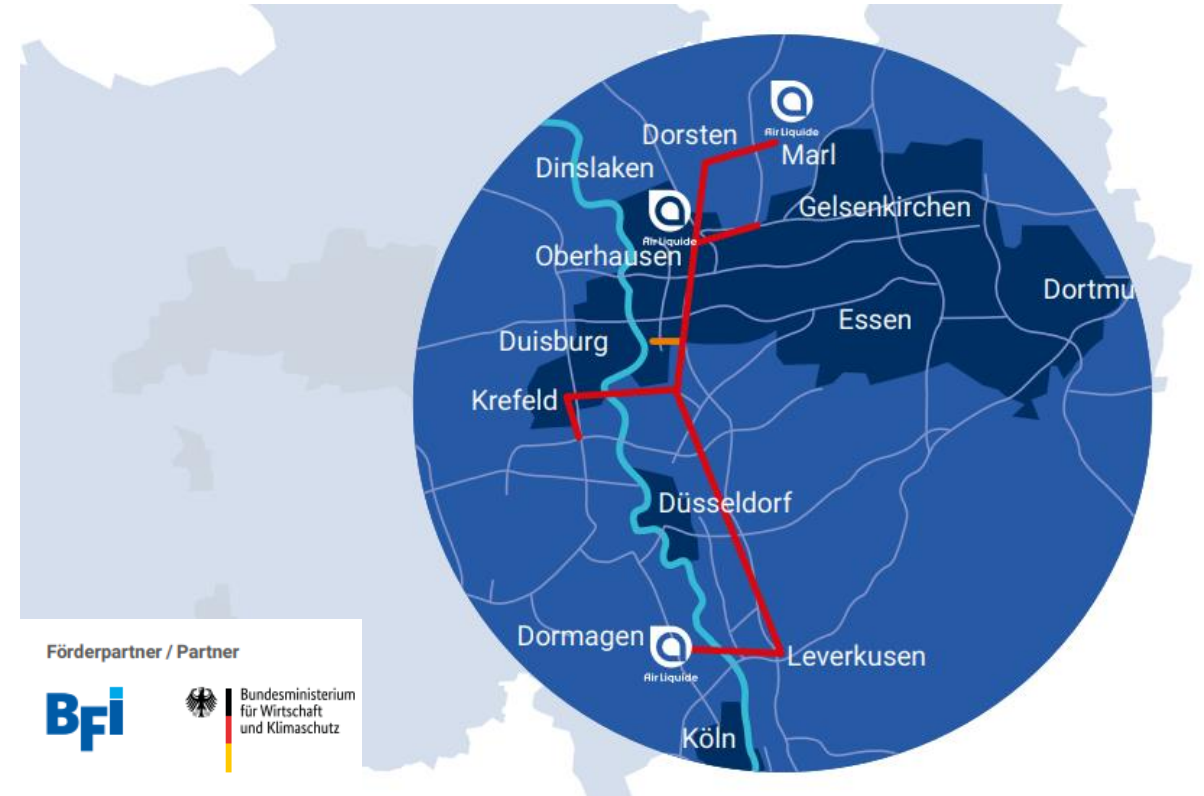
# Konkrete Projekte sichern H<sub>2</sub>-Bezug als Grundlage der Transformation

## Erste Pipeline zur Versorgung mit grünem Wasserstoff fertiggestellt

### Air Liquide - Dezember 2022

- Vier Kilometer langer Abschnitt nach sechs Monaten Bauzeit fertiggestellt
- Erste Pipeline zur Versorgung von Deutschlands größtem Stahlwerk mit Wasserstoff aus erneuerbaren Energien
- Air Liquide baut derzeit eine 20 (+10) MW-Elektrolyse in Oberhausen. Ab Herbst 2023 kann grüner Wasserstoff produziert werden
- Einsatz des Wasserstoffs zu Forschungs- und Simulationszwecken und dann vor allem zur Versorgung der ersten Direktreduktionsanlage
- Förderung der Pipeline durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen des Reallabors der Energiewende

### Die neue AL-Pipeline schafft den Anschluss zu thyssenkrupp Steel in Duisburg



# Aktueller Stand im Reallabor H<sub>2</sub>Stahl - Transport von Wasserstoff

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# H<sub>2</sub> Stahl

**Bfi**

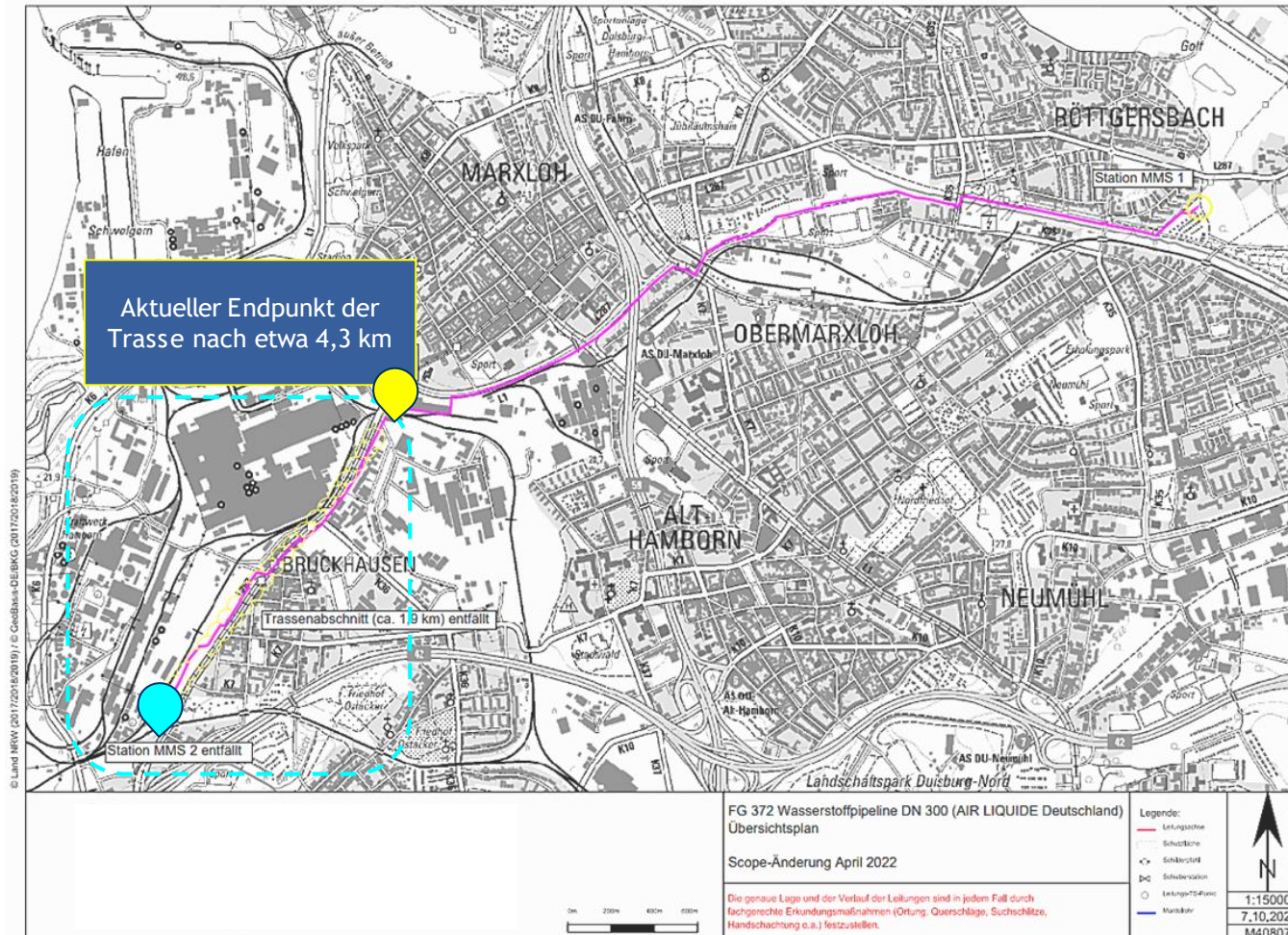
  
thyssenkrupp

 **Air Liquide**



Am 22.12.2022 besuchte die Ministerin für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie NRW; Mona Neubaur, die Teams von Air Liquide und thyssenkrupp Steel zur „Pipeline Einweihung“

# Bau der H<sub>2</sub>-Pipeline vom ALD-Netz zum tkSE-Werksgelände



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages





# Zahlen zur H<sub>2</sub>-Pipeline

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



- 4200 Meter Rohrgraben erstellt
- 230 Rohre verlegt
- 407 Schweißnähte hergestellt
- 38 Rohrbögen verarbeitet
- 57000 h geleistet
- 1200 h unfallfrei (100% sicher)
- 100 % Qualitätskontrolle
- Rechtzeitige Fertigstellung
- 120 Mitwirkende in der Spitze auf der Baustelle
- 28 Firmen engagiert



# Vorbereitungen zum Bau der H<sub>2</sub>-Pipeline

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Rodungsarbeiten 02.2022



fertiggestellte Rohre 03.2022



# Verlegung in Sonderstrecken

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Schlachthofstraße, Holtener Straße (Pressbohrverfahren zur Unterquerung von ~20 m)



Vorbereitung  
Oberfläche  
(Straßenöffnung)



Herstellung  
Rohrgraben (mit  
existierenden  
Fremdkörpern)



Verleger  
Rohrleitungsabschnitt



Vorfertigung  
Rohrleitungsabschnitt



HDD-Verfahren in  
Arbeit



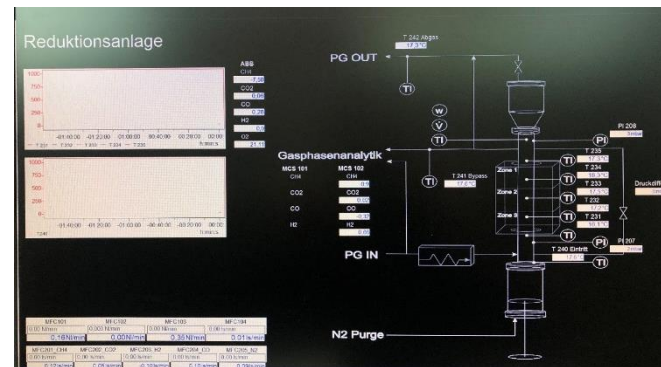
# Laufende Arbeiten zu den Sonderuntersuchungen

Gefördert durch:  
 Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

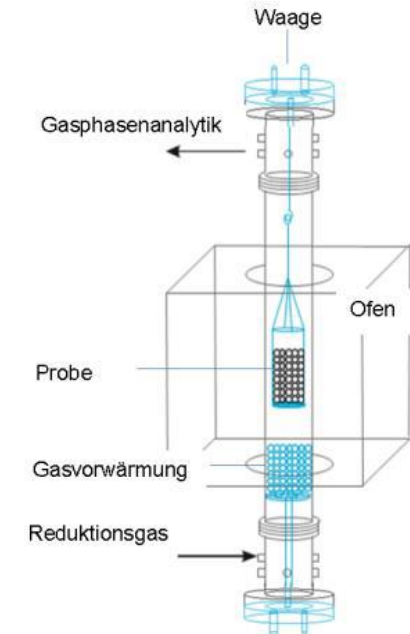


Aktueller Aufbau der Reduktionsanlage

- Konzeptionierung der Versuchsanlagen
- Auslegung, Auswahl und Bestellung von Anlagenteilen
- Aufbau der Reduktionsanlage mit wesentlichen Anlagenteilen
- Programmierung der Anlagensteuerung



Schaltbild zur Anlagensteuerung

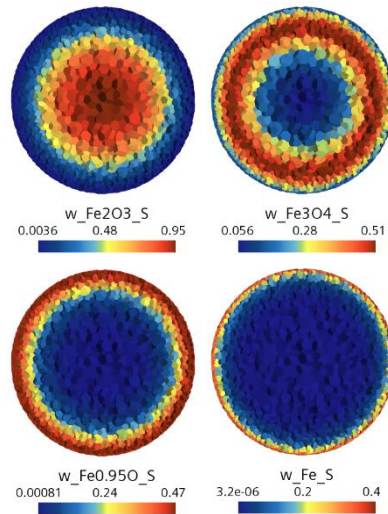


Schema der Thermogravimetrie

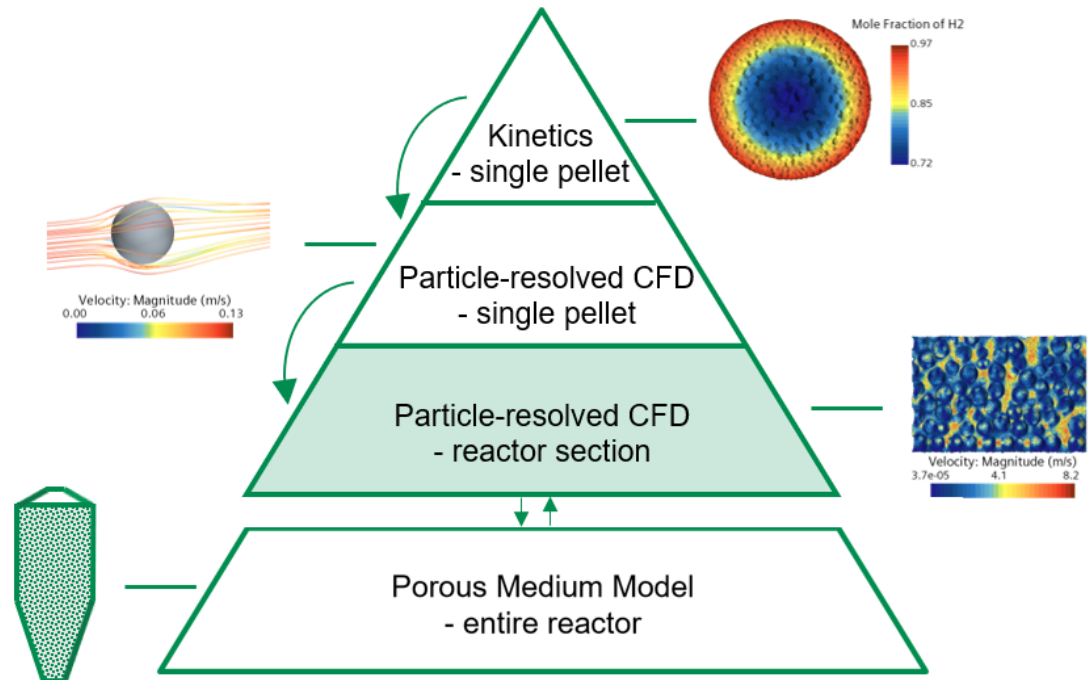


## Simulationen zur Reduktion von Eisenoxiden mit Wasserstoff

- Multiskalen-Ansatz zur Simulation von umströmten Eisenoxid-Pellets im Direktreduktionsreaktor
- Aktuell Modellierung der Kinetik an einzelnen, porösen Pellet:



Massenanteile der  
Feststoffspezies im  
Pelletquerschnitt



# DR -Versuchsanlage

Gefördert durch:  
 Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

 H<sub>2</sub>Stahl

 Bfi

 thyssenkrupp

 Air Liquide

- Der Reduktionsschacht soll beide Verfahren (HYL und Midrex) abbilden können und ermöglicht damit größtmögliche Flexibilität hinsichtlich der Forschung zur Direktreduktion. Eine Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf die industrielle Midrex-Anlage ist damit gegeben.
- Ausstattung mit innovativster Mess-, Kontroll- und Regelungstechnik
- Durchsatz bis zu 100 kg/h DRI
- Reduktionsgase: H<sub>2</sub>, Erdgas, Koksofengas, Konvertergas
- Reduktionsgas-Volumenstrom: Ca. 350 Nm<sup>3</sup>/h
- Gastemperatur < 1050 °C
- Einsatzmaterialien: Pellet (DR, HO), Stückerz, Sinter, Hüttenreststoffe
- Direktreduktionsschacht mit Reduktionszone und Kühlzone, Aufkohlung in Kühlzone
- Technologieoffen, da nicht an ein Verfahren zur Direktreduktion (HYL/Midrex) gebunden
- Übertragbarkeit auf andere Stahlstandorte => Stahlunternehmen in Deutschland entscheiden sich gerade für verschiedene DR-Verfahren; durch die technologieoffene DR-VA können übertragbare Versuchsergebnisse gewonnen werden



# DR-Versuchsanlage - Forschungsziele

Gefördert durch:  
 Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

 **H<sub>2</sub>Stahl** **Bfi**

  
thyssenkrupp

 **Air Liquide**

- Betriebsverhalten einer Direktreduktionsanlage mit Hüttengasen und Mischungen aus H<sub>2</sub>-reichen Gasen sowie mit reinem H<sub>2</sub>
- Betriebsverhalten einer Direktreduktionsanlage beim Einsatz verschiedener Fe-haltiger Einsatzmaterialien (z.B. Hochofenpellets, Stückerz, Sintermaterial) und Einsatz von Reststoffen
- Untersuchung der metallurgischen Eigenschaften des erzeugten Eisenschwamms im Hinblick auf eine mögliche Weiterverarbeitung insbesondere bei Erzeugung mit hohen H<sub>2</sub> Gehalten und niedrigen Kohlenstoffgehalten im Eisenschwamm
- Wechselwirkungen mit dem Einschmelzer
- Änderung der Produktqualität (Metallisierungsgrad) durch verschiedene Betriebsweisen
- Brückenbildung und Bildung von Anbackungen bei verschiedenen Betriebsweisen und Einsatzstoffen
- Kohlenstoffgehalt des erzeugten DRI
- Optimierung der Verweilzeit im Reduktionsschacht

**Minimierung der Betriebsrisiken der Großanlage  
durch Feststellung geeigneter Betriebsparameter**



Vielen Dank

für Ihre Aufmerksamkeit!



engineering.tomorrow.together.



thyssenkrupp