

# EnInnov2026

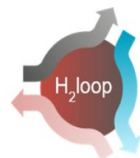
19. Symposium Energieinnovation | 11.02.-13.02.2026

## ENTWICKLUNG UND PROZESSINTEGRATION EINES CHEMICAL-LOOPING VERFAHRENS (H2LOOP) FÜR DIE WASSERSTOFFGEWINNUNG IN INTEGRIERTEN STAHLWERKEN

Julien Göthel, Uwe Pahl

AMBARtec AG, Erna-Berger-Straße 17, 01097 Dresden  
Rouge H2 Engineering AG, Puntigamer-Straße 127, 8055 Graz

<https://h2loop.eu/>

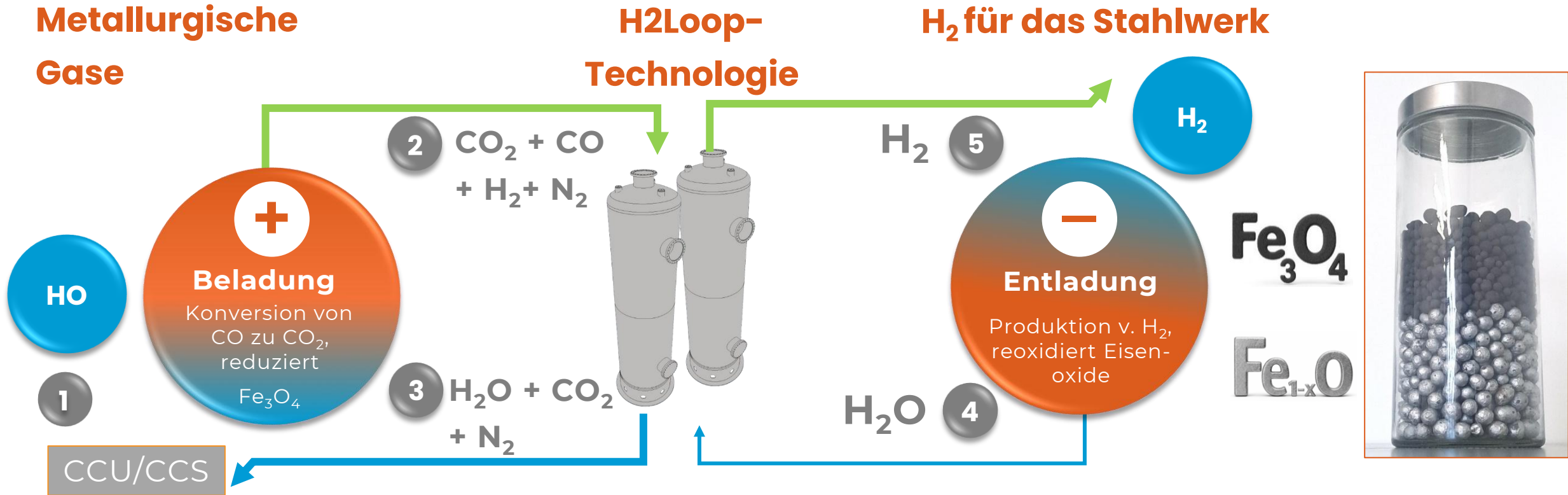


**AMBARTEC**  
HyCS-TECHNOLOGY



# Chemical-Looping für Gichtgas zu Wasserstoff am Hochofen

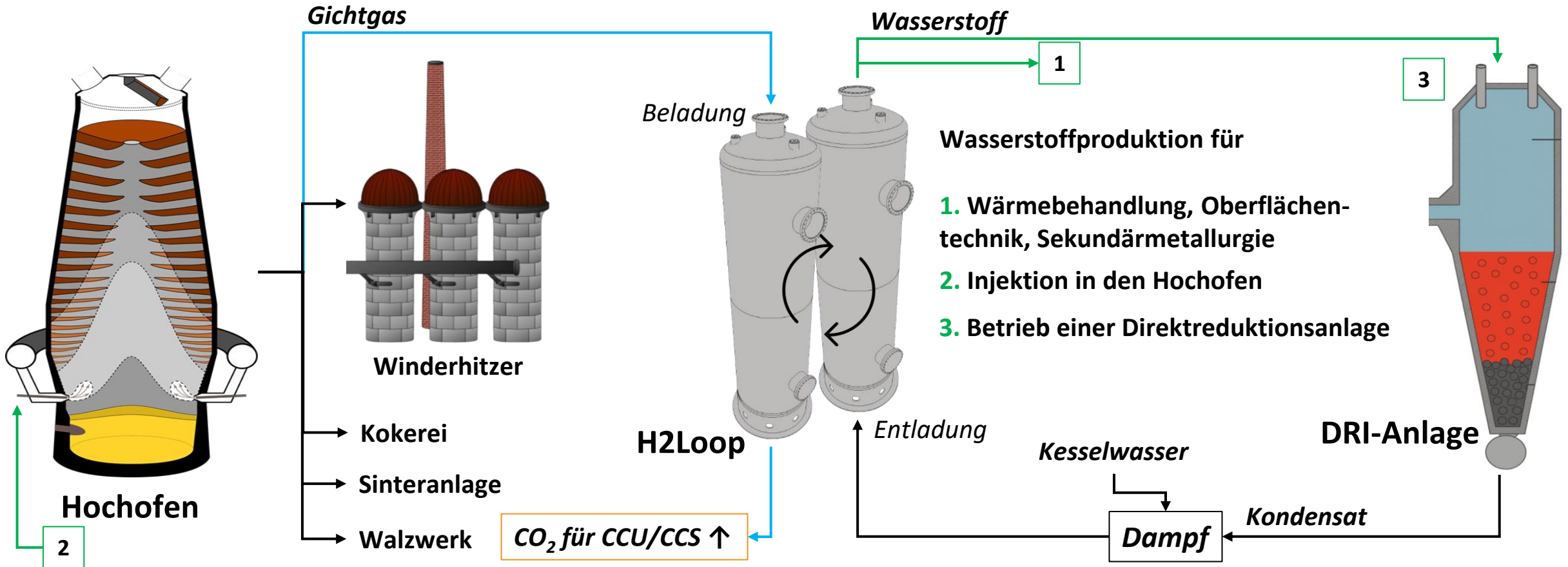
Aufkonzentrierung von CO<sub>2</sub> für CCU/CCS & Produktion von H<sub>2</sub> im industriellen Maßstab.



**Abbildung 1:** Die chemische Energie des Kohlenmonoxids wird durch einen thermochemisch stabilisierten Sauerstoffträger (Oxygen Carrier) auf Wasserstoff in einem Chemical-Looping Prozess übertragen.

# Chemical-Looping für Gichtgas zu Wasserstoff am Hochofen

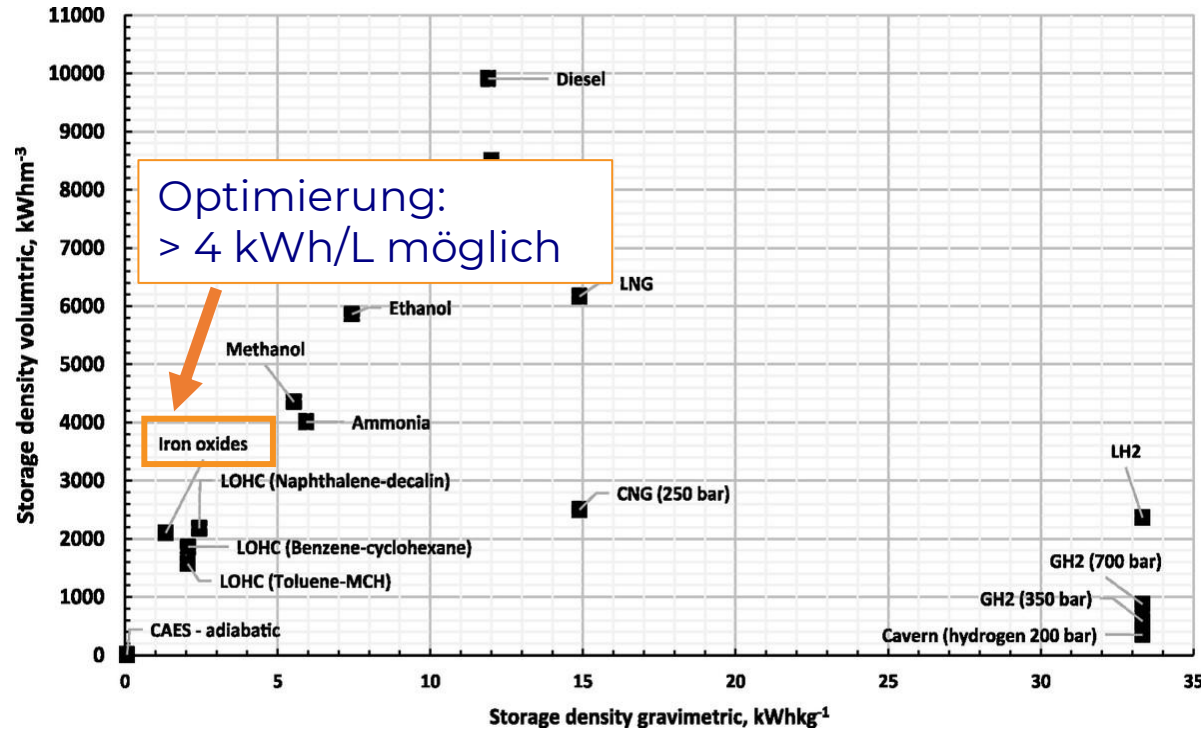
In einem integrierten Stahlwerk kann bedarfsgerecht selbst Wasserstoff hergestellt werden.



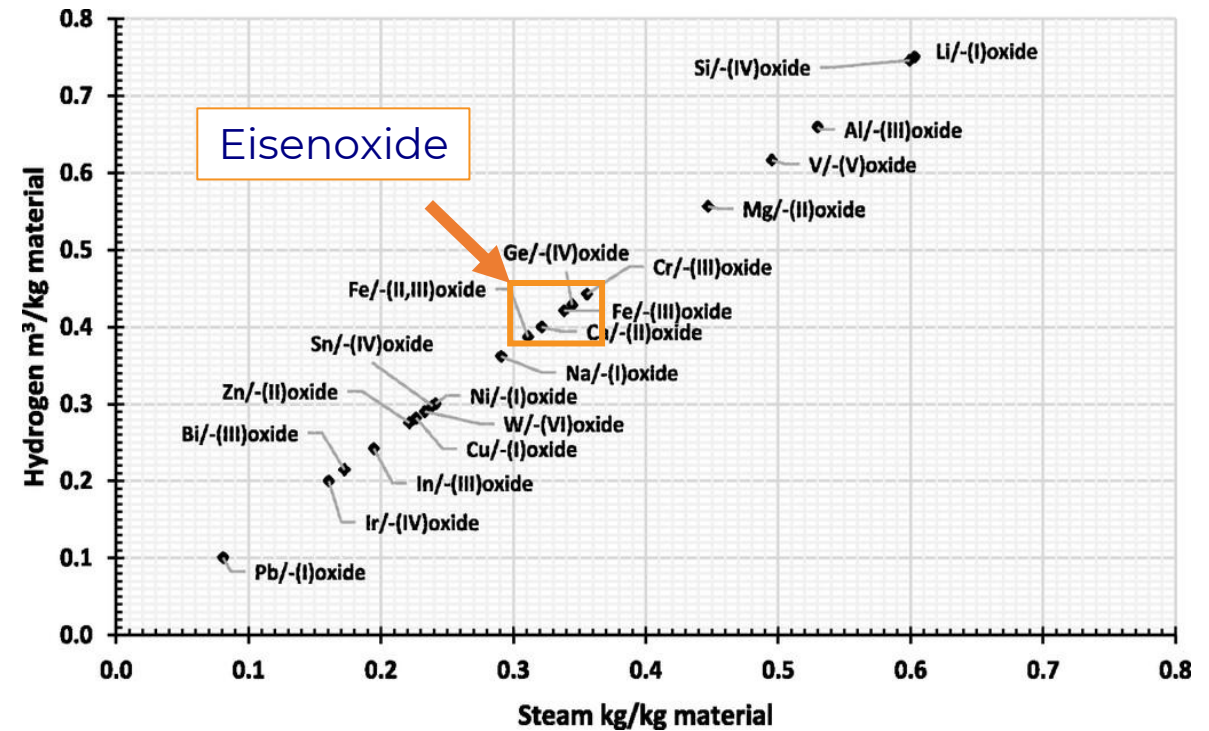
**Abbildung 2:** Das Gichtgas des Hochofens kann flexibel für die Eigenproduktion von Wasserstoff eingesetzt werden.

## Eisenoxide als Energiespeicher & -wandler

Eisenoxide als robuste, energiedichte und kostengünstige Sauerstoffträger für das Chemical Looping.



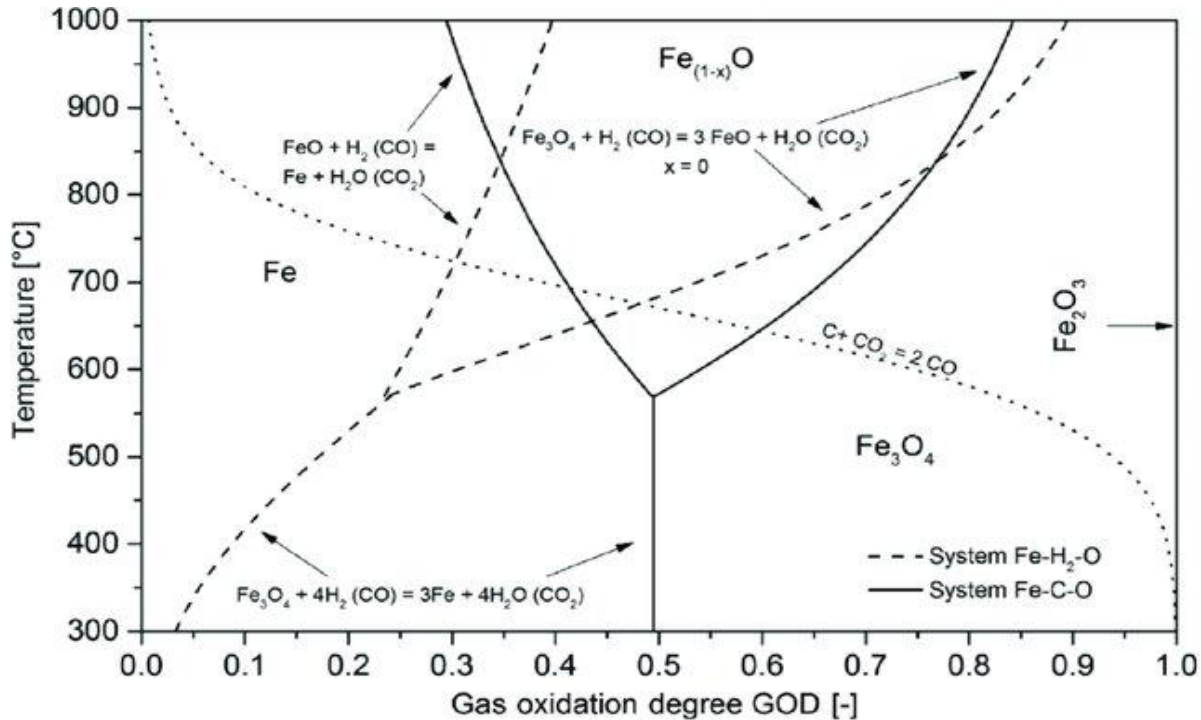
**Abbildung 3:** Volumetrische (kWhm<sup>-3</sup>) und gravimetrische (kWhkg<sup>-1</sup>) Speicherdichte verschiedener Wasserstoffspeicherkonzepte.<sup>[1]</sup>



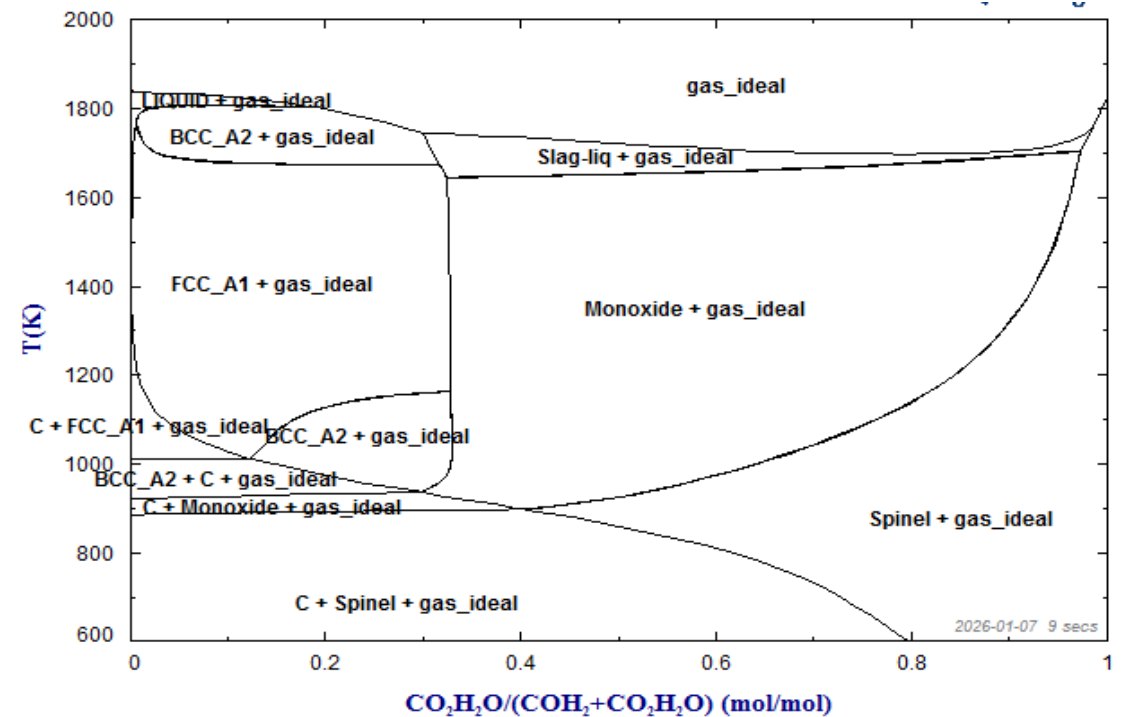
**Abbildung 4:** Ausgewählte Metall/Metalloxid-Kombinationen, dargestellt nach ihrer Eigenschaft, Wasserstoff in Wasserdampf umzuwandeln und umgekehrt; berechnet auf der theoretischen Sauerstoffaustauschkapazität/Speicherzyklus.<sup>[1]</sup>

# Gleichgewichtsdiagramme

Prozessgrenzen des Chemical-Loopings im thermodynamischen System Fe – O – H – C.



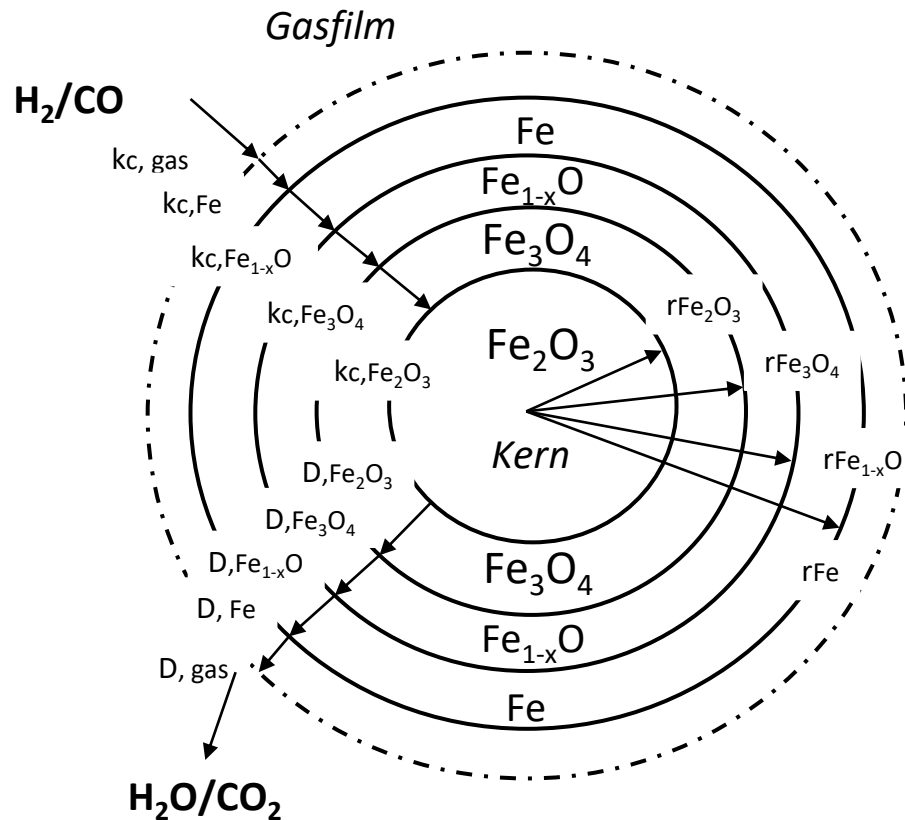
**Abbildung 5:** Baur-Glaessner-Diagramm für das Fe-O-H<sub>2</sub>- und Fe-O-C-System einschließlich des Boudouard-Gleichgewichts. Reproduziert unter den Bedingungen der CC BY-NC-ND 4.0-Lizenz.<sup>[2]</sup> Copyright 2019, die Autoren. Veröffentlicht von WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim



**Abbildung 6:** Thermodynamisches Phasendiagramm des Systems Fe-C-O-H in Abhängigkeit von der Temperatur und dem Oxidationsgrad der Gasphase. Berechnet mit FactSage 8.2 (Datenbanken FactPS, FToxid und FSstel).<sup>[3]</sup>

# Eisenoxide als Energiespeicher & -wandler

Materialdegradation und Gefügestrukturveränderungen in der Langzeitanwendung



**Abbildung 7:** Schichtmodell eines Eisenoxidpartikels nach dem Shrinking-Core-Modell. [4][5]

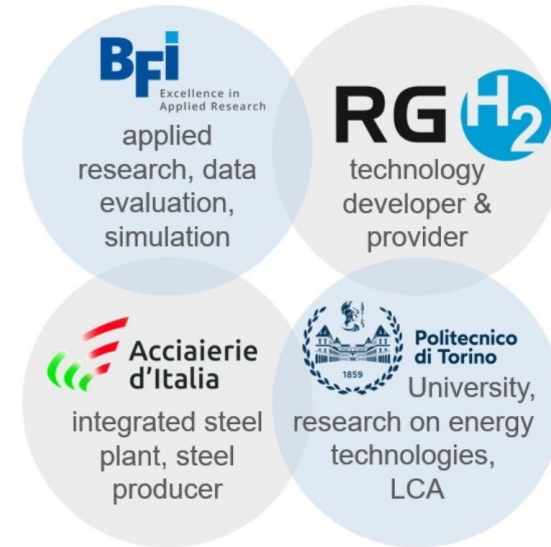
**Tabelle 1:** Ausgewählte Degradationsmechanismen von Eisenoxiden

Degradation	Mechanismus	Lösungsansatz
<b>Volumenänderung</b>	Gitterexpansion/-kontraktion beim Wechsel von Magnetit zu Wüstit.	Mesoporensystem für die elastische Dehnung
<b>Thermochemische Spannungen</b>	Zyklische Temperatur- und Phasenwechsel führen zu Mikro-Rissbildung.	Einlagerung von inerten keramischen Stützgerüsten, die Kornwachstum hemmen
<b>Agglomeration</b>	Hohe Oberflächentemperaturen begünstigen Versintern benachbarter Partikel.	Oberflächenmodifikation mit hochschmelzenden Oxiden, um den direkten Kontakt zu verhindern
<b>Kationenmigration</b>	Fe <sup>2+</sup> /Fe <sup>3+</sup> -Ionen diffundieren nach außen und bilden dichte Deckschichten.	Dotierung mit Fremdionen, die die Leerstellenkonzentration im Gitter beeinflussen

# Projektsteckbrief „H2Loop“

“Sustainable decarbonization of integrated steel plants by hydrogen production from chemical looping”

- 1) Test mit modularem Sauerstoffträgern (Oxygen Carrier) im Industriemaßstab
- 2) H2Loop-Demonstrator im TRL 7 für mind. 1 Jahr direkt am Hochofen
- 3) 24/7-Betrieb remote, > 80 % Anlageneffizienz, > 99 % H<sub>2</sub> Reinheit
- 4) Feed Engineering für Großanlage, Energieeffizienzbewertung und LCA
- 5) Scale-up-Design und Businessplan für den industriellen Roll-Out

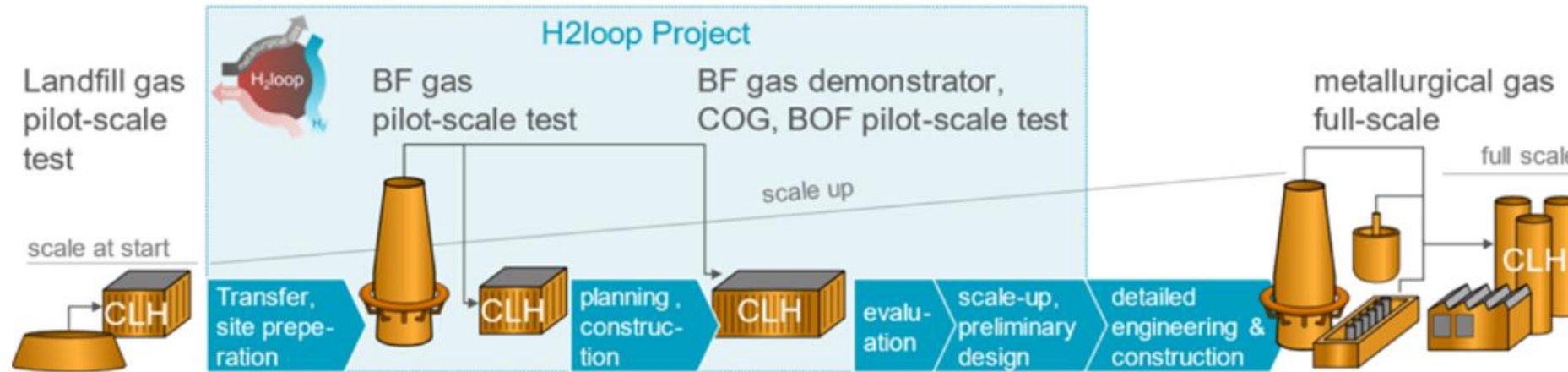


**Bfi**  
Excellence in Applied Research  
applied research, data evaluation, simulation

**RG H<sub>2</sub>**  
technology developer & provider

**Acciaierie d'Italia**  
integrated steel plant, steel producer

**Politecnico di Torino University**  
research on energy technologies, LCA



**AMBARTEC**  
HYCS-TECHNOLOGY

Project ID: 101193354

**Abbildung 8:** Der H2Loop-Demonstrator wird integriert als eine eigene kosteneffiziente Wasserstofferzeugung.

# AMBARtec & RGH2 Anlagenbau- & Anlagenbetrieb

Maßstabsübertragung, Produkte und industrielle Skalierung.

## AMBARtec AG:

- Scale-up HyCS<sup>®</sup>-Speicher: 10L → 100L → 1000L → 6000 L
- 1000L+6000L Liter CE-Zertifizierung
- Großanlage (45.000 Liter) im Betrieb mit 10.000 m<sup>3</sup>H<sub>2</sub>/h in 1972



H2compact 6000 Plus  
800 kg H<sub>2</sub> (> 20 MWh)  
20 Fuß-Container

## RGH2:

**Tabelle 2: Betriebserfahrungen mit unterschiedlichen Synthesegasen**

	Time on stream	Gas composition / mol%						CO <sub>2</sub> intensity
	h	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	t <sub>CO2</sub> MWh <sub>LHV</sub> <sup>-1</sup>
Synthetic BFG	1500+		24%	22%	4%		50%	0.90
Synthetic BOFG	100+		58%	14%	2%	12%	14%	0.66
Landfill gas reforming	4,000 (continuous)	1%	27%	4%	47%	8%	12%	0.26
	10,000 (various)	0%	23%	3%	39%	7%	28%	0.26
Wood gasification (steam)	Initial tests	5%	10%	12%	26%	30%	17%	0.34
		7%	16%	3%	41%	2%	28%	0.21
Wastewood gasification (air)	100	3%	18%	14%	21%	2%	42%	0.43
Steam reforming	10,000 (various)	2%	21%	2%	70%	6%		0.16



**AMBARTEC**

HyCS-TECHNOLOGY

**Vielen Dank!**

**Dipl.-Ing. Julien Göthel**

**AMBARtec AG / Rouge H2 Engineering AG**

**Fon +49 152 807 60 79**

**[Julien.Goethel@ambartec.de](mailto:Julien.Goethel@ambartec.de)**

**[www.ambartec.de](http://www.ambartec.de) /  
[www.rgh2.com](http://www.rgh2.com)**

**RG **

**RG  OSOD™**

**AMBARTEC**  
HyCS-TECHNOLOGY

# Abbildungsverzeichnis

**Abbildung 1:** Die chemische Energie des Kohlenmonoxids wird durch einen thermochemisch stabilisierten Sauerstoffträger (Oxygen Carrier) auf Wasserstoff in einem Chemical-Looping Prozess übertragen.

**Abbildung 2:** Chemical-Looping für Gichtgas zu Wasserstoff am Hochofen: In einem integrierten Stahlwerk kann bedarfsgerecht selbst Wasserstoff hergestellt werden.

**Abbildung 3:** Volumetrische ( $\text{kWhm}^{-3}$ ) und gravimetrische ( $\text{kWhkg}^{-1}$ ) Speicherdichte verschiedener Wasserstoffspeicherkonzepte.<sup>[1]</sup>

**Abbildung 4:** Ausgewählte Metall/Metalloxid-Kombinationen, dargestellt nach ihrer Eigenschaft, Wasserstoff in Wasserdampf umzuwandeln und umgekehrt; berechnet auf der theoretischen Sauerstoffaustauschkapazität/Speicherzyklus..<sup>[1]</sup>

**Abbildung 5:** Baur-Glaessner-Diagramm für das Fe-O-H<sub>2</sub>- und Fe-O-C-System einschließlich des Boudouard-Gleichgewichts für 1 bar und eine Kohlenstoffaktivität von 1. GOD ist das Verhältnis zwischen oxidiertem Gas und der Summe aus oxidierbarem und oxidiertem Gas, d. h., niedrige GOD-Werte haben eine große Reduktionskapazität.<sup>[2]</sup> Reproduziert unter den Bedingungen der CC BY-NC-ND 4.0-Lizenz. Copyright 2019, die Autoren. Veröffentlicht von WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

**Abbildung 6:** Thermodynamisches Phasendiagramm des Systems Fe-C-O-H in Abhängigkeit von der Temperatur und dem Oxidationsgrad der Gasphase. Das Phasendiagramm zeigt die Stabilitätsbereiche der Eisenphasen (BCC, FCC, flüssig) sowie der Oxidphasen (Monoxid/Wüstit, Spinell/Magnetit) bei einem fixierten Metall-zu-Gas-Verhältnis von 0,0001. Die untere linke Grenzlinie markiert die Boudouard-Kurve, unterhalb derer fester Kohlenstoff (C) als Graphit stabil ist. Das Diagramm verdeutlicht das für den Chemical-Looping-Prozess kritische Gleichgewicht zwischen der Reduktion der Oxide zu metallischem Eisen und der Vermeidung von Kohlenstoffabscheidungen bei sinkenden Temperaturen. Berechnet mit FactSage 8.2 (Datenbanken FactPS, FToxid und FSstel).<sup>[3]</sup>

**Abbildung 7:** Schichtmodell eines Eisenoxidpartikels nach dem Shrinking-Core-Modell.

**Abbildung 8:** Der H2Loop-Demonstrator wird integriert als eine eigene kosteneffiziente Wasserstofferzeugung.

# Quellenverzeichnis

- [1] J. Göthel, K. J. Burkmann und O. Volkova, „Review and Evaluation of Ceramic-Stabilized Iron Oxides for Use as Energy Storage Based on Iron-Steam Process,“ *Steel Research International*, vol. 96, no. 5, Art. no. 2400265, 2025.
- [2] D. Spreitzer und J. Schenk, „Reduction of Iron Oxides with Hydrogen—A Review,“ *Steel Research International*, vol. 90, no. 10, Art. no. 1900108, 2019.
- [3] C. W. Bale, E. Bélisle, P. Chartrand, S. A. Deckerov, G. Eriksson, A. E. Gheribi, K. Hack, I.-H. Jung, Y.-B. Kang, J. Melançon, A. D. Pelton, S. Petersen, C. Robelin, J. Sangster, P. Spencer und M.-A. van Ende, „FactSage thermochemical software and databases, 2010–2016,“ *Calphad*, vol. 54, pp. 35–53, 2016.
- [4] A. Bonalde, A. Henriquez und M. Manrique, „Kinetic Analysis of the Iron Oxide Reduction Using Hydrogen-Carbon Monoxide Mixtures as Reducing Agent,“ *ISIJ International*, vol. 45, no. 9, S. 1255–1260, 2005.
- [5] I. Morev, J. Kapanen, J. Peltola und S. Kallio, „Coupling of shrinking core and Eulerian-Eulerian models for chemical looping combustion,“ *Chemical Engineering Science*, vol. 325, Art. no. 123431, 2026.