

## Bioraffinerien

Eisenbasierter Redoxprozess zur Wasserstoffgewinnung aus Biomasse-Synthesegas (HyCS-Biomass)

Scherwan Yousefihigh, Marco Klemm, André Hermann  
6. Bioraffinerietag  
DBFZ | 16. Sep 2025



Bezugsebene	Wasserstoffpotenzial <sup>a</sup>		Ziel 2030 – Nationale Wasserstoffstrategie	
	Min	Max	Gesamtbedarf: 90 – 110 TWh Erreichbarer Anteil	Inlandsproduktion <sup>b</sup> : 14 TWh Erreichbarer Anteil
Holzartige Biomasse mobilisierbares Potenzial	8 TWh	74 TWh	7 - 82 %	59 – 530 %
Holzartige Biomasse mobilisierbares Potenzial 10 % Mobilisierung	1 TWh	7 TWh	1 – 8 %	6 – 53 %
Verbrauch holzartiger Biomasse in kleinen Holzvergasanlagen	0,3 TWh	0,44 TWh	0,3 – 0,5 %	2,2 – 3,1 %

↑ H<sub>2</sub>-Bedarf aufgrund  
↑ THG-Quote &  
RED III

a aus Vergasung von holzartiger und lignocellulosehaltiger Biomasse, berücksichtigt sind das Biomassepotenzial, ein Vergasungskaltgaswirkungsgrad von 65 – 85 % und ein Gasaufbereitungswirkungsgrad von 72 – 80 %, b Annahme: ~ 400 Anlagen mit 10 - 150 kWel, Wirkungsgrad (el.)=0,35 %

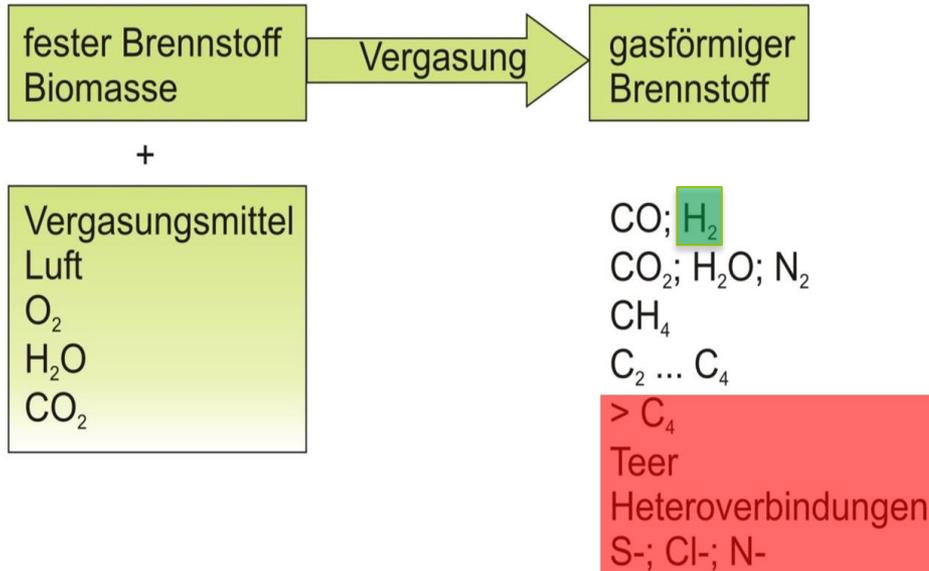
Quelle: DBFZ-Report 46, 2022

- » Wichtiger Beitrag ist prinzipiell möglich
- » Für die Nutzung des mobilisierbaren Potenzials sind Neuanlagen erforderlich
- » Für die Bestandanlagen ist prinzipiell auch Nachrüstung interessant

# Wasserstoffreiches Gas aus Biomasse

## Grundlagen

- » Ziel ist die Umwandlung eines meist festen Brennstoffes in einen gasförmigen Brennstoff
- » Das erfolgt durch die Reaktion mit einem Vergasungsmittel
- » Eines der Produkte ist i.d.R. Wasserstoff



- » Reaktion zur Wasserstoffbereitstellung:  
 $\underline{\text{C}} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \underline{2 \text{H}_2}$  endotherm
- » Bezogen auf Biomasse:  
 $\underline{\text{C}}\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \underline{2 \text{H}_2}$
- » Die Masse an erzeugten Wasserstoff beträgt etwa 1/6 der Masse des enthaltenen Kohlenstoffs und etwa 1/15 der Masse der Biomasse
- » Die Vergasung verläuft wegen des Gleichgewichtes und der Kinetik nicht komplett bis zu H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>
- » → Nutzung von z.B. CO und CH<sub>4</sub>?

# Einführung Biowasserstoff

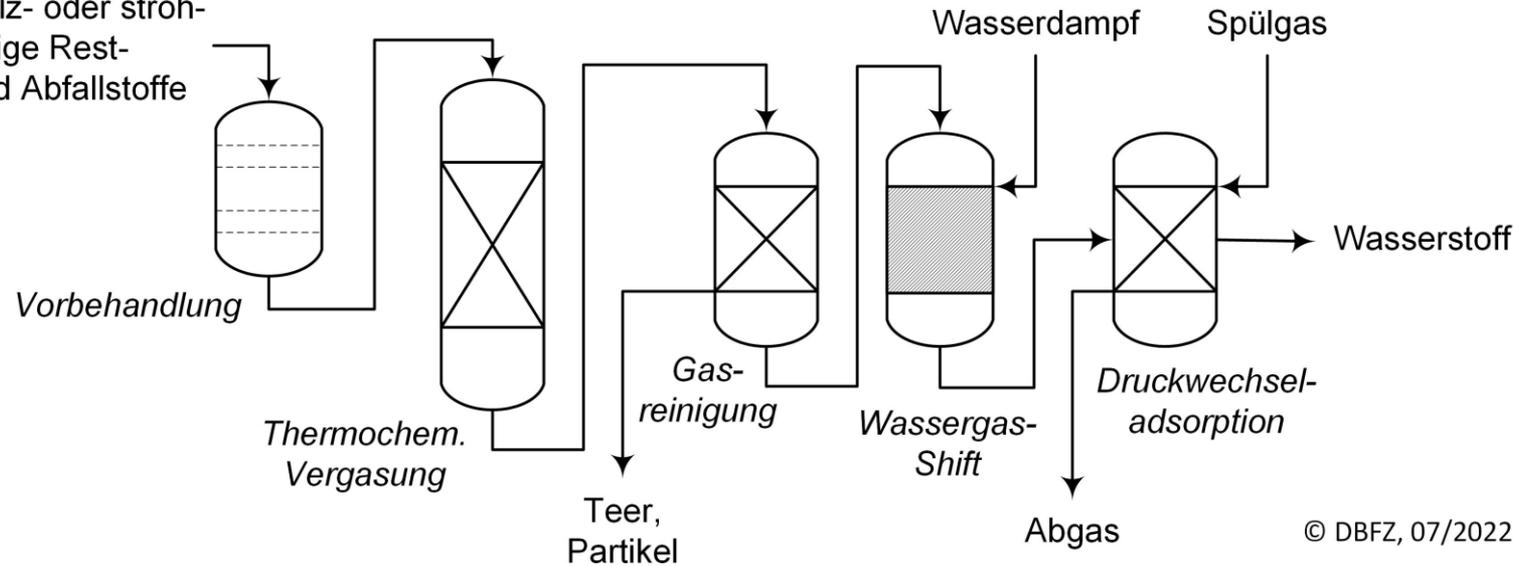
## Erreichbare Gasqualitäten



	Festbettvergaser		Zweibettwirbelschicht- vergaser (FICFB)	Flugstromvergaser
	Gleichstrom	Gegenstrom		
Bezugswassergehalt [% Trockenmasse]	≈ 6	≈ 50	≈ 15	≈ 15
Vergasungsmittel	Luft	Luft	Wasserdampf	Sauerstoff + Wasserdampf
H <sub>2</sub> [Vol.-%]	15 – 21	10 – 15	30 - 45	29 – 35
CO [Vol.-%]	10 – 22	15 – 20	20 - 30	35 – 44
CO <sub>2</sub> [Vol.-%]	11 – 13	8 – 10	15 - 25	17 – 22
CH <sub>4</sub> [Vol.-%]	1 – 5	2 – 3	8 -12	< 1
N <sub>2</sub> [Vol.-%]	Rest	Rest	1 - 3	3 – 9
unterer Heizwert [MJ/Nm <sup>3</sup> ]	4,0 – 5,6	3,7 – 5,1	9 - 15	9 – 11

## Verfahrensübersicht

Holz- oder stroh-  
artige Rest-  
und Abfallstoffe



© DBFZ, 07/2022

- » Viele Prozessstufen >> finale Wasserstoffabtrennung auch über andere Optionen (z.B. Membranen) denkbar
- » Im Abgas teils methanreiche Gase für weitere Nutzung enthalten
- » Technologiereifegrade: Vergasung TRL 6-9, Aufbereitungsschritte TRL 6-9, Gesamtsystem 5-8

## Wasserstoffproduktion

Herkömmliche Verfahren	Kopplung Vergaser mit HyCS
Aufwendige Gasaufbereitung nach der Biomassevergasung	Direkte Prozesskopplung reduziert Energieverluste und Kosten
WGS-Reaktion, DWA	Kein Bedarf an Gasaufbereitung und Shift-Reaktionen
Mechanische Verdichter zur Druckerhöhung	Kein mechanischer Verdichter (bis 100 bar)
Keine Speicherbarkeit	H <sub>2</sub> -Speicherung durch Eisennuggets

## Grundlagen und Idee

# HyCS-Biomass



➤ Verwendung von Eisen als **Redoxmedium**:  $\text{FeO}_x + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$

➤ Bei  $T > 800 \text{ }^\circ\text{C}$

Beladen (Reduxion)

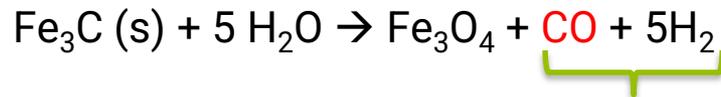
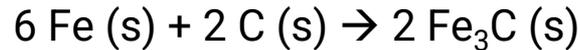
Entladen (Oxidation)



© energy-saxony

## Nebenreaktionen

➤  $2 \text{CO} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{C} (\text{s})$  (Boudouard Gleichgewicht)



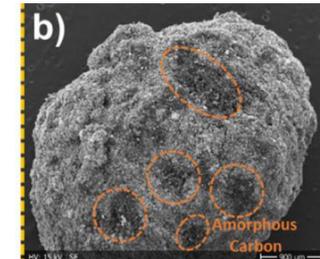
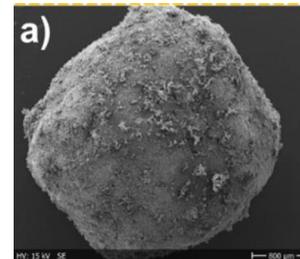
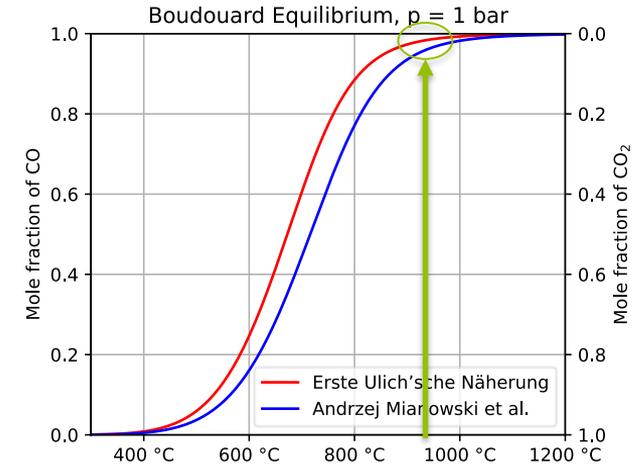
➤  $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$  (rWGS)

# Grundlagen und Idee

## HyCS-Biomass

### Lösungen dazu

- **Temperaturerhöhung ( $> 900^\circ\text{C}$ )**  $2 \text{ CO} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{C (s)}$ 
  - Gleichgewicht auf CO-Seite
  - Fast keine C-Ablagerungen
  
- **Dosierung/Rezirkulation  $\text{CO}_2$  in System**
  - Verschiebung des Gleichgewicht auf CO-Seite
  
- **Mixmaterialien als Eisennuggets**
  - Ytria-Stabilized Zirconia (YSZ)  $\rightarrow$  Bild a
  - Korrektur der Oberflächenstruktur



# Speicherung von Wasserstoff

## Ziele und Lösungsansätze

Kurzzeitspeicherung



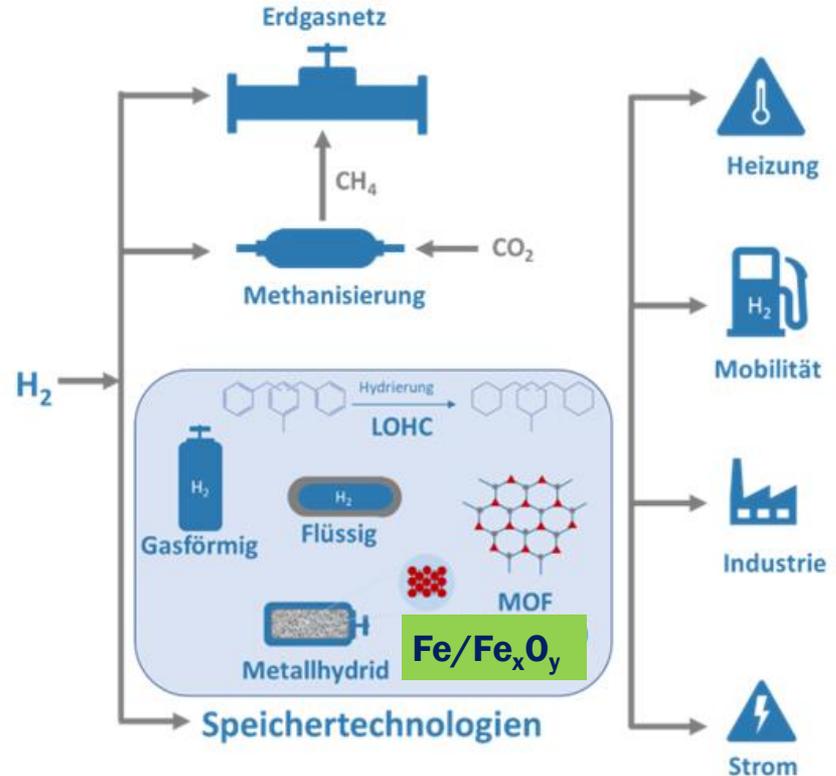
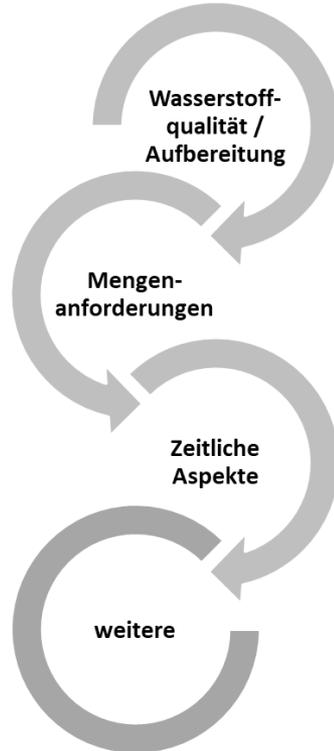
Langzeitspeicherung



Kraftstoffnutzung



Wasserstofftransport



# HyCS-Biomass

## Projektsteckbrief



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Projekt: HyCS-Biomass - Nutzung eisenbasierter Module zur Versorgung mit hochreinem Wasserstoff unter Druck auf der Basis der Luftvergasung biogener Reststoff

Fördermittelgeber: BMW

Laufzeit: 11/2024 – 11/2027

**Ziel:** Ziel des Projektes ist eine Lösung zur bedarfsgerechten Wasserstoffversorgung auf der Basis von biogenen Reststoffen, wobei bedarfsgerecht in der geeigneten Qualität, auf einem geeigneten Druckniveau, zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort bedeutet. Dabei wird mit Einsatz des Eisen-Wasserdampf-Kreisprozesses die Prozesskette deutlich vereinfacht.

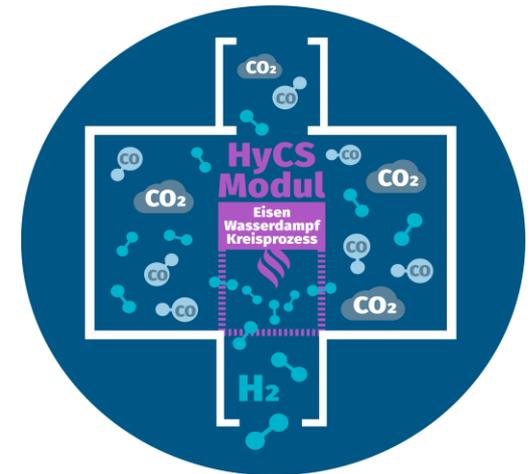
**Methode:** Kern des Lösungsansatzes stellt der Einsatz eines Eisen-Wasserdampf-Kreisprozesses dar. Dabei wird bei der Beladung mit einem reduzierenden Gas Eisenoxid in Eisen reduziert. Bei der Entladung wird Wasserdampf mit Eisen zu Wasserstoff reduziert. Kern der Arbeiten im Projekt ist die Nutzung von gas aus der Biomassevergasung als reduzierendes Gas in der Beladung.

### Ergebnisse:

Versorgung von H<sub>2</sub>-Anwendungen aus der Biomassevergasung  
Lösung für Speicherung von Wasserstoff

### Bundesinteresse:

Regenerative Wasserstoffquelle in Ergänzung zur Elektrolyse



© DBFZ

# Durchgeführte Arbeiten

## Kopplung Gasstrecke mit HyCS-Reaktor im Labormaßstab

- 1 Liter Rohreaktor
- Befüllt mit Eisennuggets

## Untersuchungen

- Reduktionsverhalten von Synthesegas
- Oxidationsverhalten durch Dampf und CO<sub>2</sub>

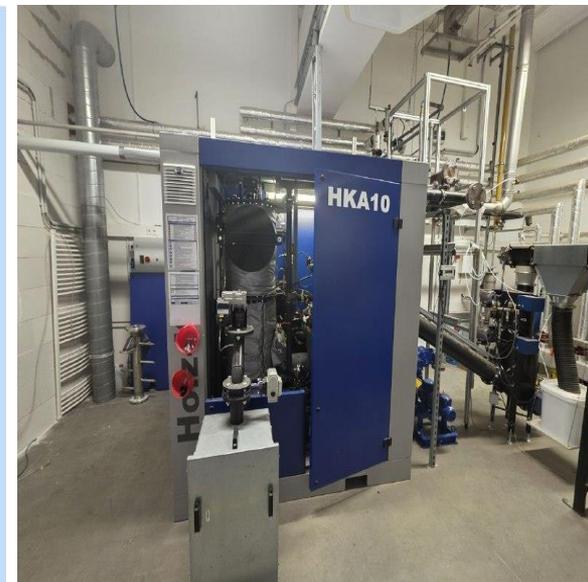
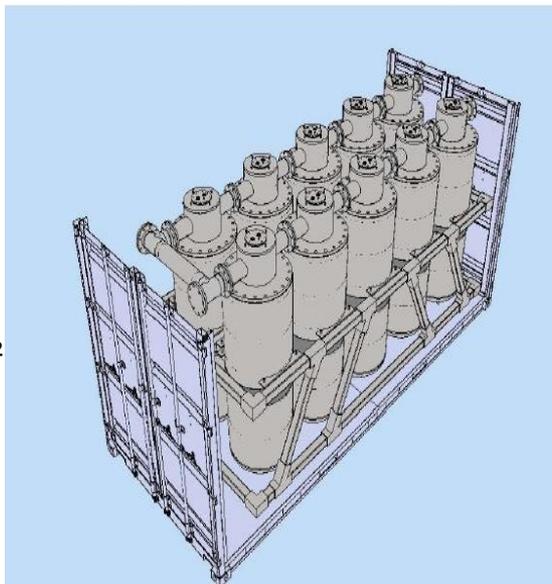


## Aufbau

- Marktüblicher Vergaser + modulares Eisen-Container-System

## HKA10

- kommerzieller Gleichstrom-Festbettvergaser der Firma Spanner Re<sup>2</sup>
- Fahrweise: kontinuierlicher Betrieb
- Brennstoffzugabe: 10 kg h<sup>-1</sup>
- Maximale Arbeitstemperatur: 1000 °C
- Maximaler Arbeitsdruck: < 1 bar(ü)
- Gasdosierung: Luft
- Elektrische Leistung: 10 kW<sub>el</sub>



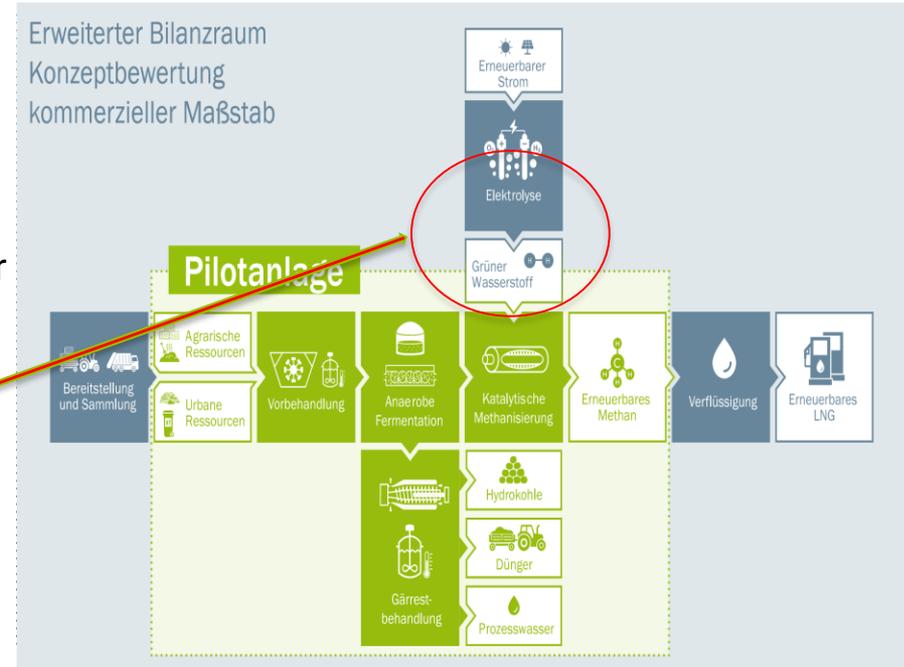
© DBFZ

### Noch offene Fragen

- Langzeitstabilität der Eisenmodule mit kohlenstoffhaltigem Gas
- Integration in industrielle Prozesse
- Optimale Reduktionsrate mit den unterschiedlicher Gas-Qualitäten
- Kompatibilität des so erhaltenen H<sub>2</sub> in Bereichen wie Transport, Synthesereaktionen

### Nächste Arbeitspakete

- Demonstration mit realem Abnehmer (Pilot-SPG)
- Vergleichbare Gasqualität mit H<sub>2</sub> aus Elektrolyse





## Kontakt:

Mohammad (Scherwan) Yousefihigh

Vergasung- und Synthesegasverfahren (VSG)

Tel.: +49 (0)341 2434-439

E-Mail: [Mohammad.yousefihigh@dbfz.de](mailto:Mohammad.yousefihigh@dbfz.de)

## DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116

D-04347 Leipzig

Tel.: +49 (0)341 2434-112

E-Mail: [info@dbfz.de](mailto:info@dbfz.de)

[www.dbfz.de](http://www.dbfz.de)