



# BioH2Ref - Dezentrale Wasserstoffaufbereitung von Biogas durch Dampfreformierung

Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik, RWTH Aachen



# BioH2Ref – Dezentrale Wasserstoffaufbereitung von Biogas durch Dampfreformierung



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Verbundpartner

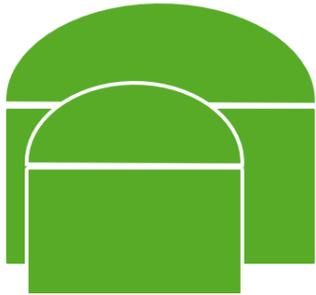
Bereitstellung von Biogas und  
Überwachung des  
Versuchsbetriebs der Pilotanlage

**Werner Schleupen**

Aufstellung und Versuchsbetrieb einer  
Pilotanlage



Prozessanalyse und Treibhausgas-  
/Ökobilanzierung der  
Wasserstoffaufbereitung



~ 100 kW<sub>el</sub>  
~ 50m<sup>3</sup><sub>Biogas</sub>/h



**Reformer + PSA**

~ 100 kg<sub>H<sub>2</sub></sub>/d



~ 5-10 Busse oder  
~ 4-6 Traktoren

# BHKW - Reformieranlage

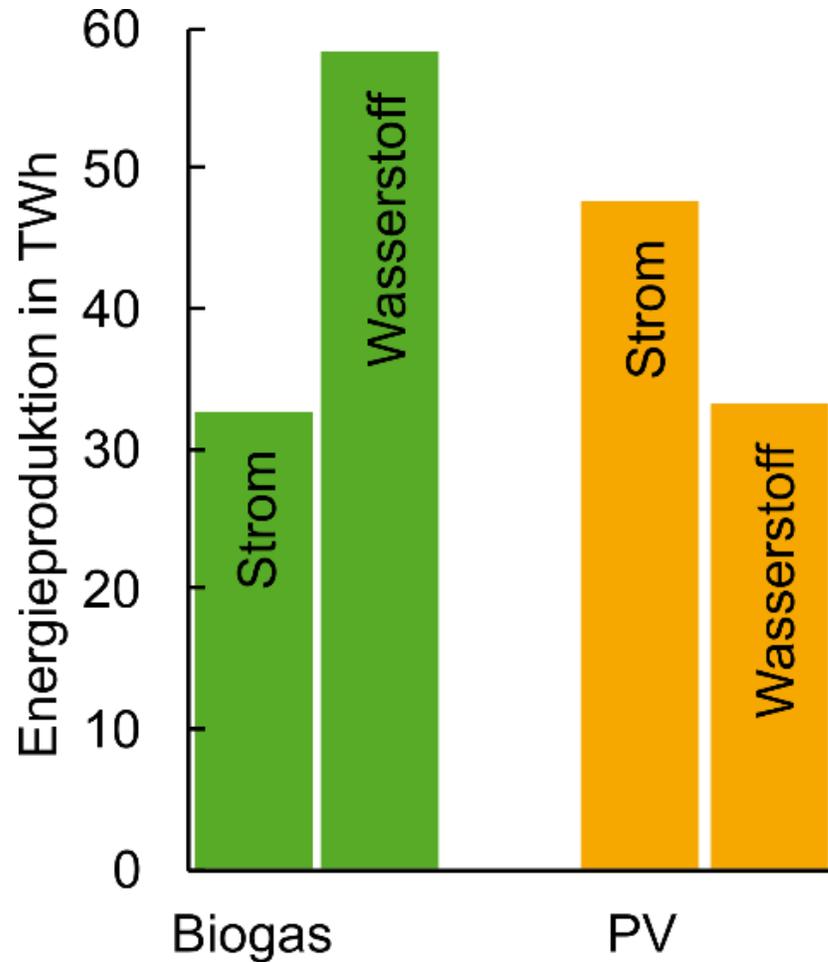
- EEG-Förderung 2021 ausgelaufen
- Folgelösung → Wasserstoffherzeugung mittels Dampfreformierung

Anlage	Bau	Leistung
BHKW	2001	100 kW <sub>el</sub>
Reformieranlage	2021	100 kgH <sub>2</sub> /Tag

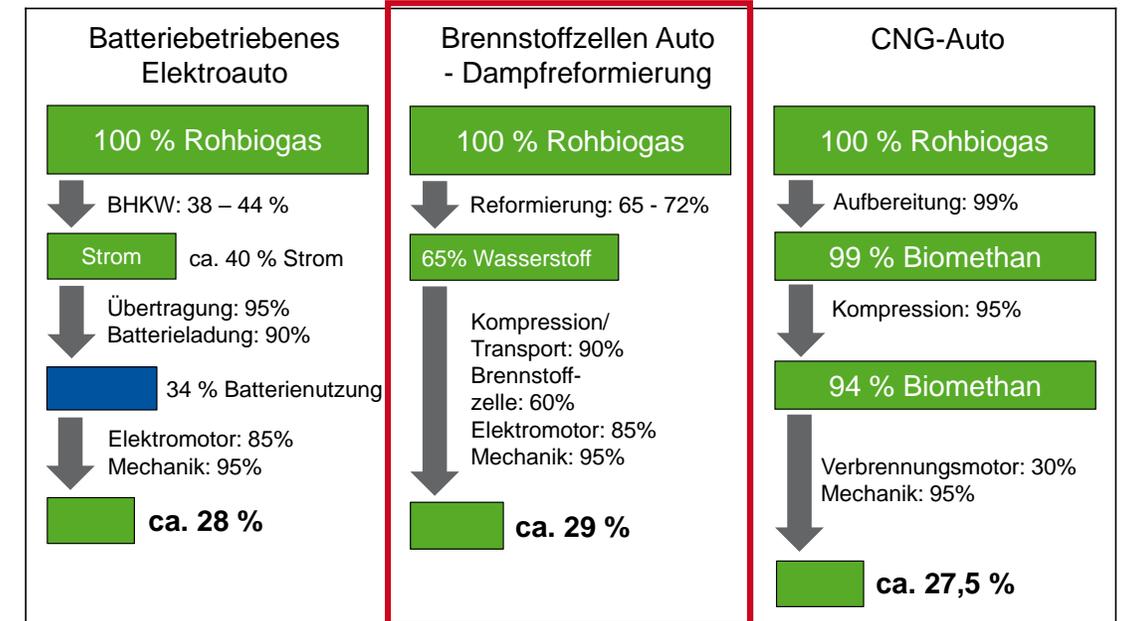
- Vorteile:
  - Deutlich geringere NO<sub>x</sub>-Emissionen
  - CO<sub>2</sub> Abscheidung möglich



# Potenziale

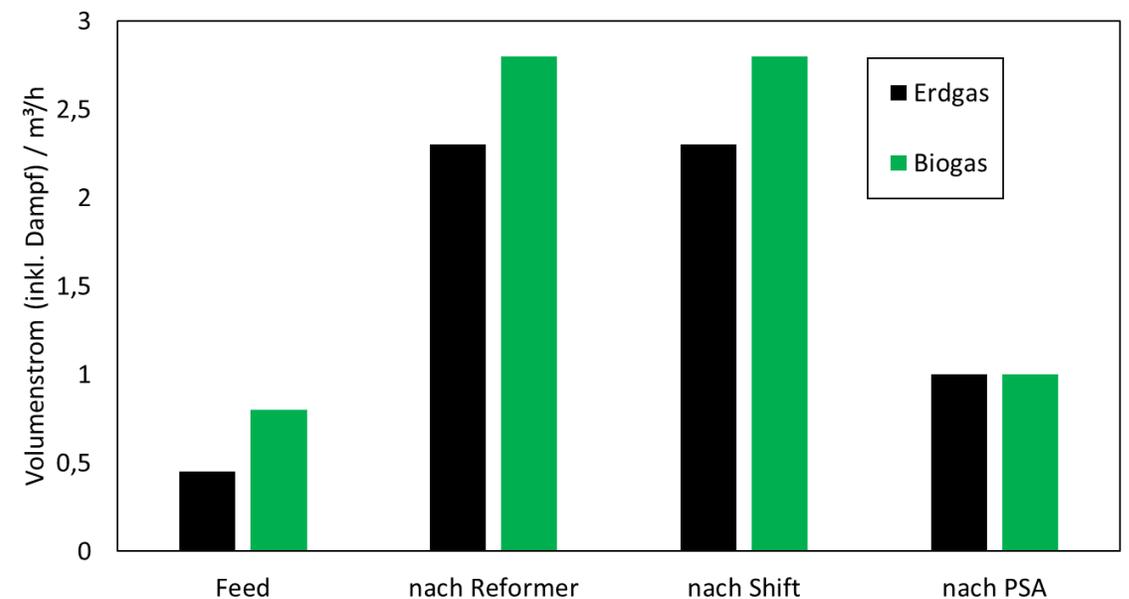


- Prozess ist Regelbar (50-100%)
- Biogas ist Speicherbar

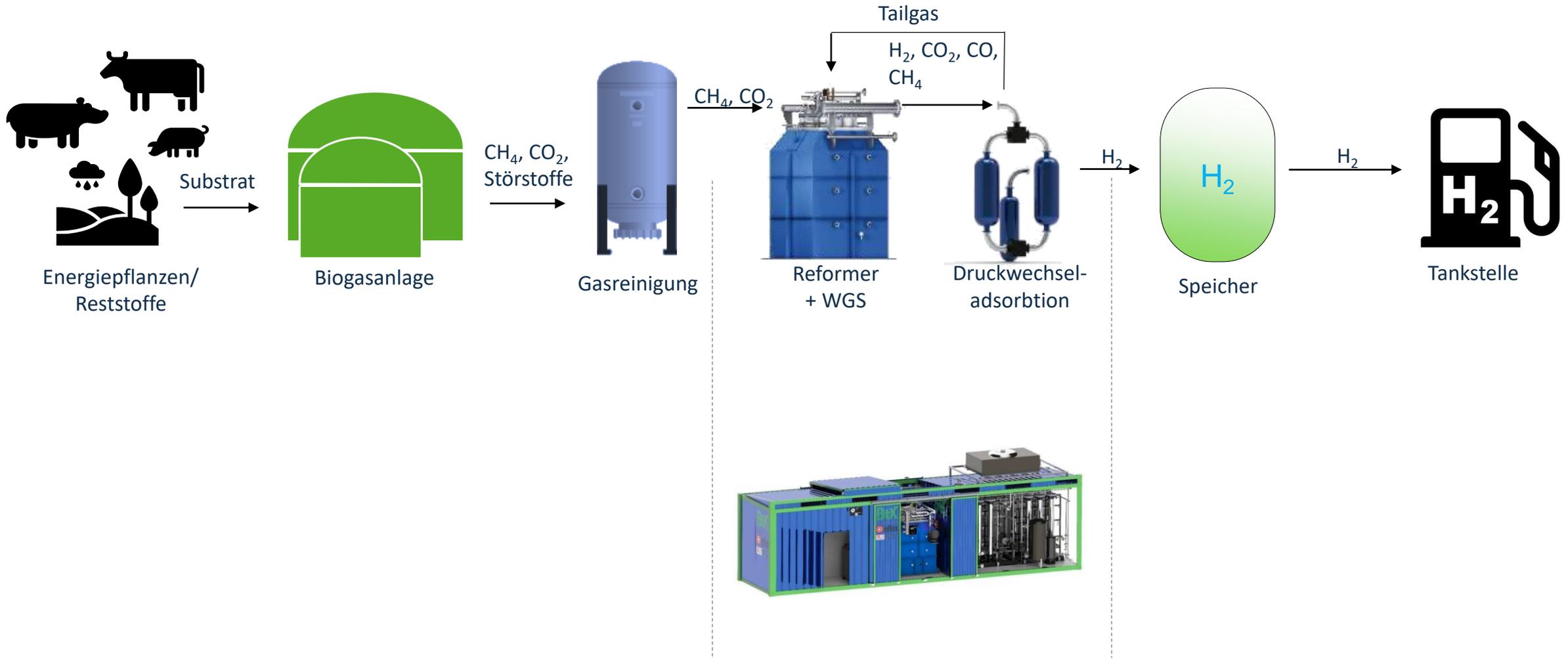


# Erdgas – Biogas

- Aufwändigere Aufbereitung durch Verunreinigungen im Rohgas ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ , ...)
- Größere Volumen der Komponenten durch mehr Eduktvolumen (Reaktor, Wärmetauscher, Aufbereitung)
- Bei Dampfreformierung von Biogas  $\eta$  5-10% niedriger als bei Erdgas
  - → hoher  $\text{CO}_2$  Gehalt (ca.45%)

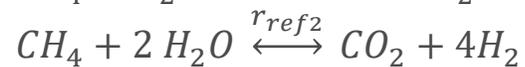
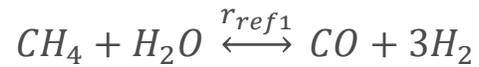


# Fließbild

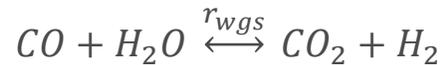


# Der Prozess

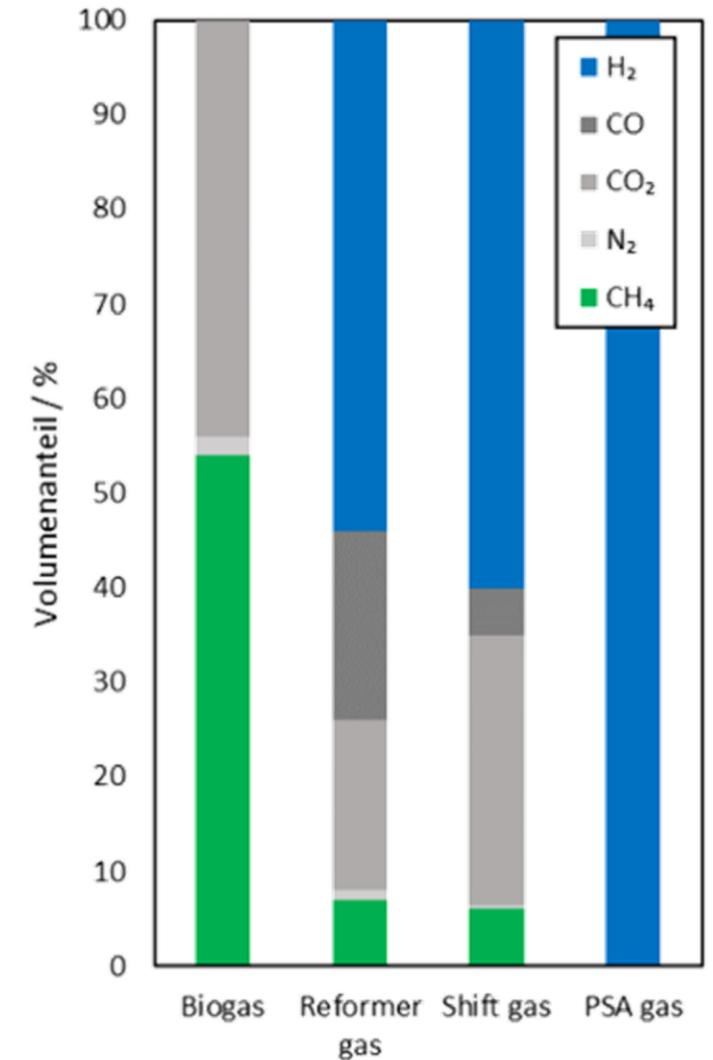
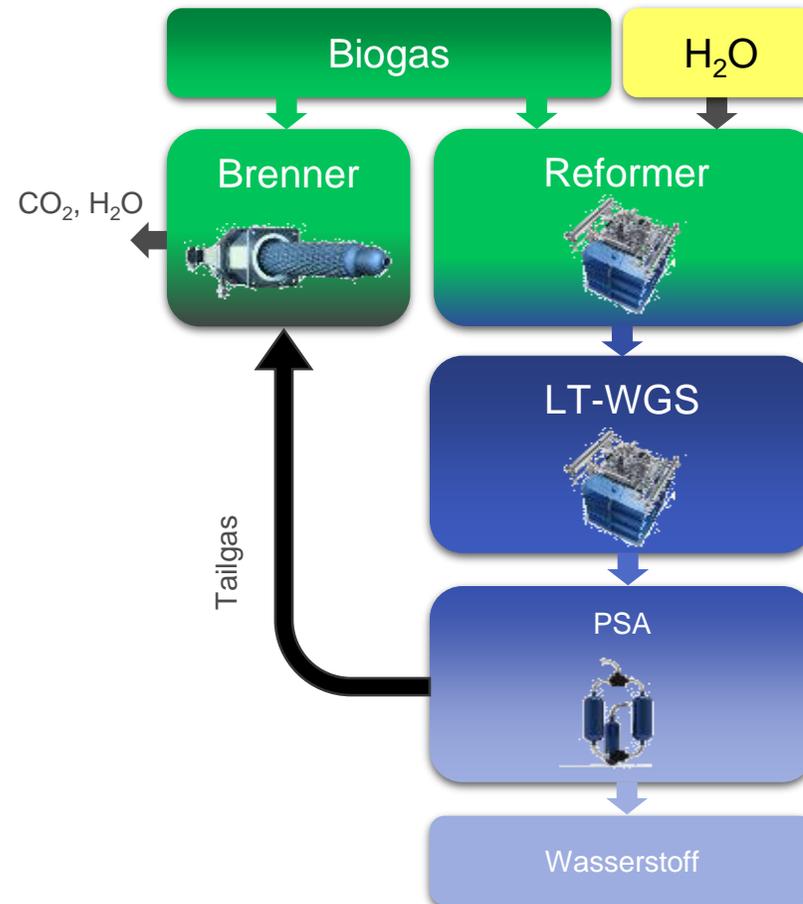
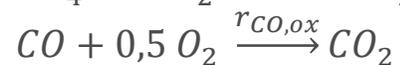
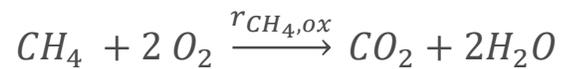
- Methanreformierung aus Biogas



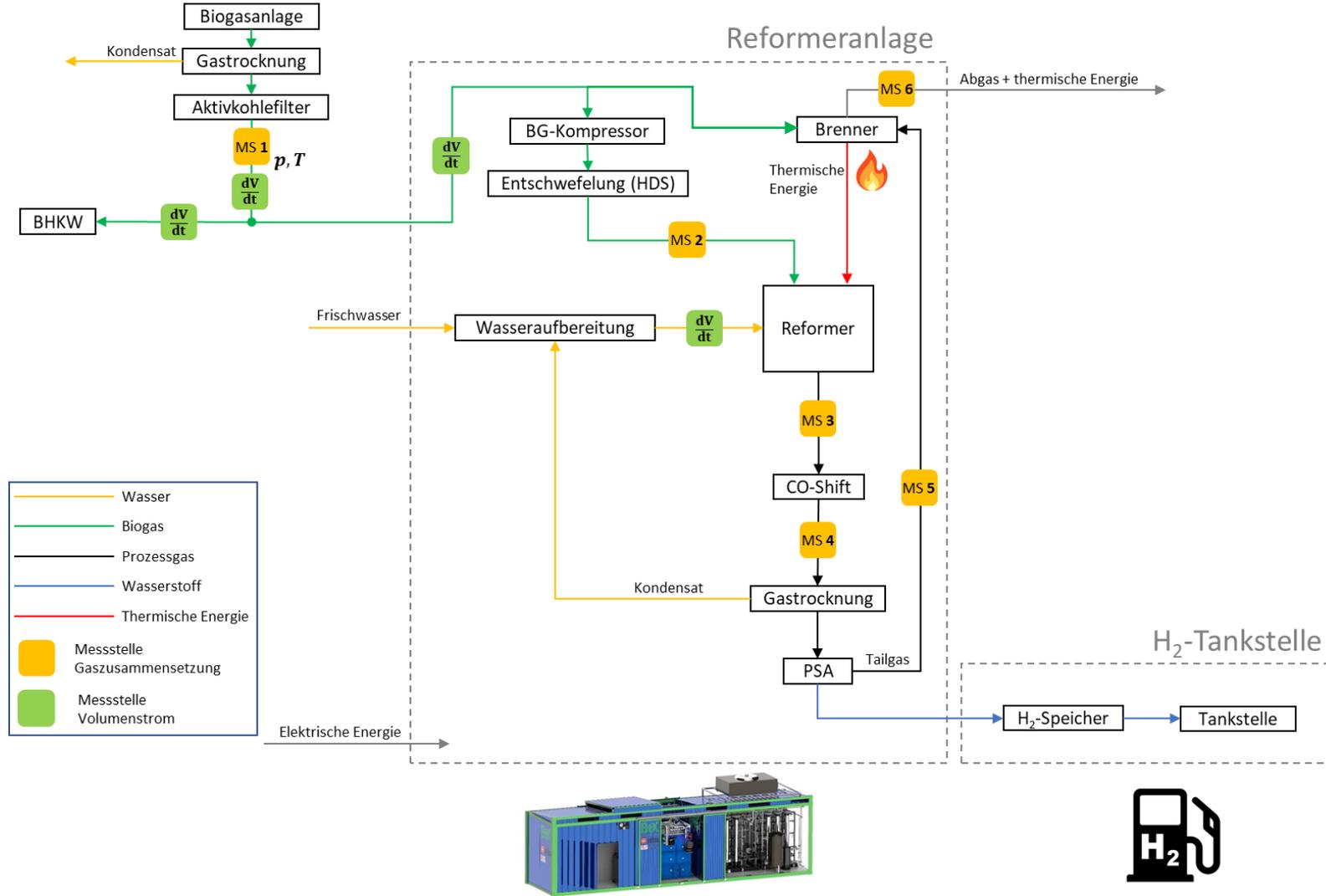
- Wassergas-Shift zur CO-Konvertierung



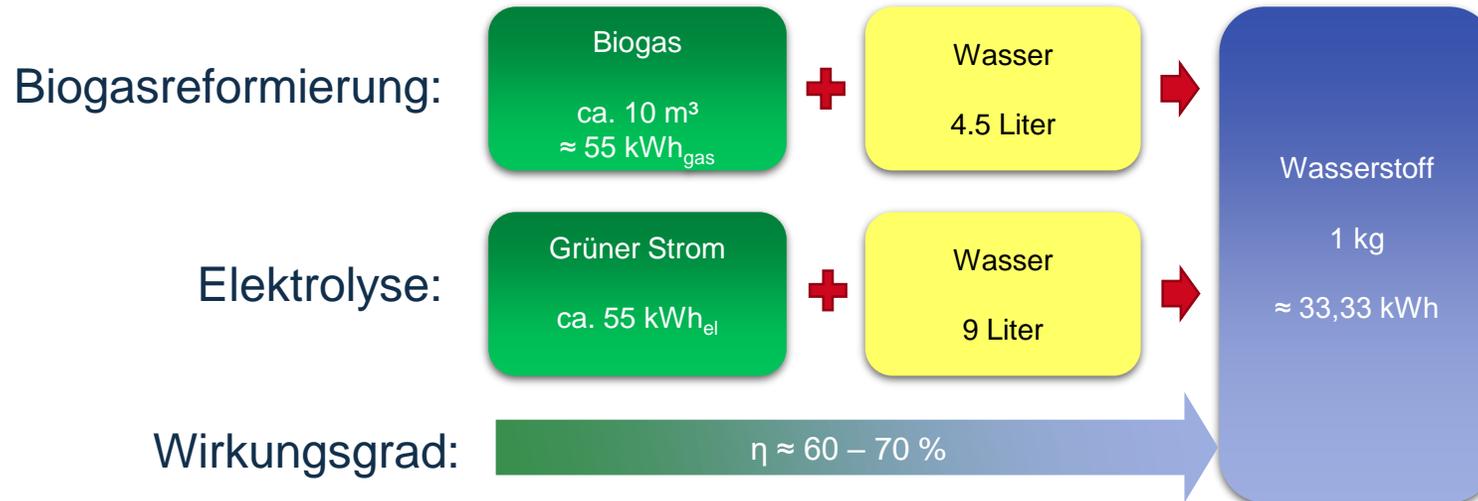
- Wasserstoffabscheidung und Tailgasverbrennung



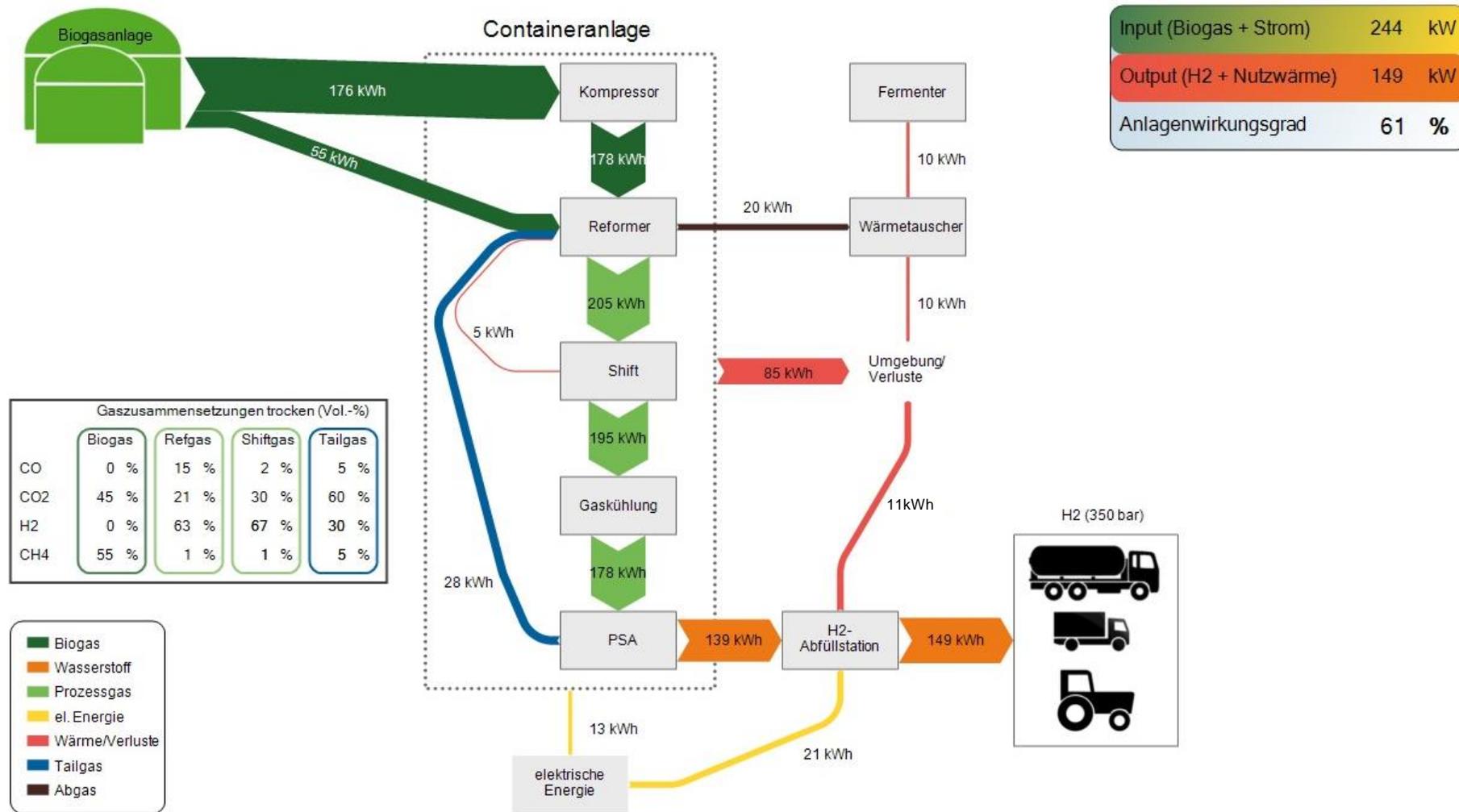
# Fließbild



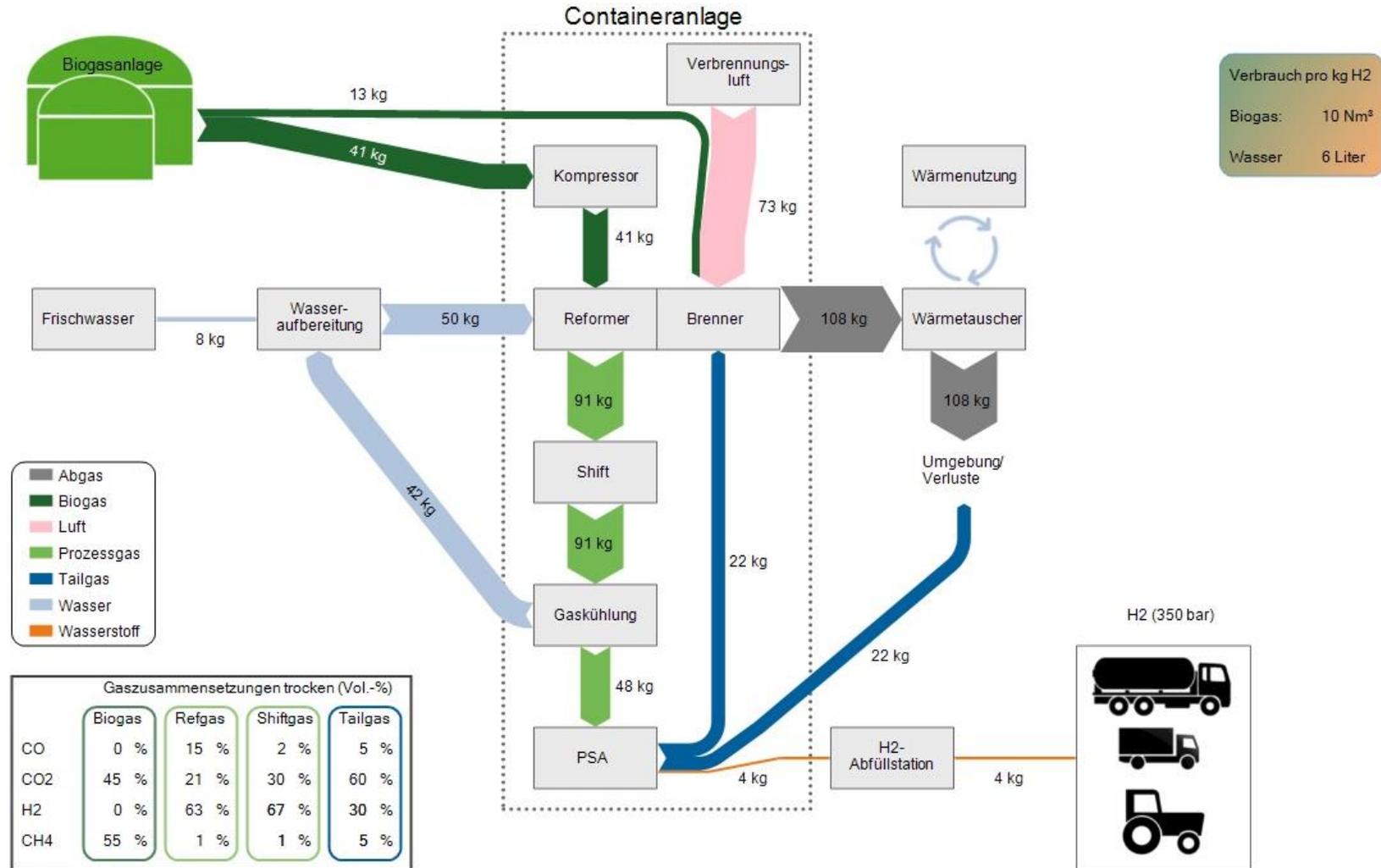
# Energiebilanz



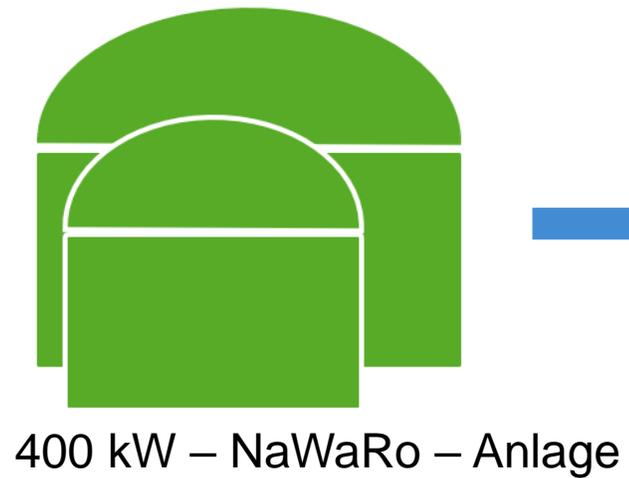
# Fließbild Energieströme 100kgH<sub>2</sub>/Tag



# Fließbild Massenströme 100kgH<sub>2</sub>/Tag



# BHKW - Wasserstoffherzeugung



# Tankstelle - Abfüllstation



- 350 bar
- Verbindung zu Reformieranlage
- Fahrzeuge oder Trailer befüllbar



## 37. BImSchG & RED II

---

(1) Biogener Wasserstoff, der in Straßenfahrzeugen eingesetzt wird, ist zusätzlich zu den Biokraftstoffen nach § 37b Absatz 1 Satz 1 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ein Biokraftstoff und ab dem 1. Juli 2023 auf die Erfüllung der Verpflichtung nach § 37a Absatz 1 Satz 1 und 2 in Verbindung mit Absatz 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes anrechenbar, wenn der biogene Wasserstoff

1. aus Rohstoffen nach Anlage 1 der Verordnung zur Festlegung weiterer Bestimmungen zur Treibhausgasminderung bei Kraftstoffen hergestellt worden ist und
2. den Anforderungen an Biokraftstoffe nach der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung entspricht.

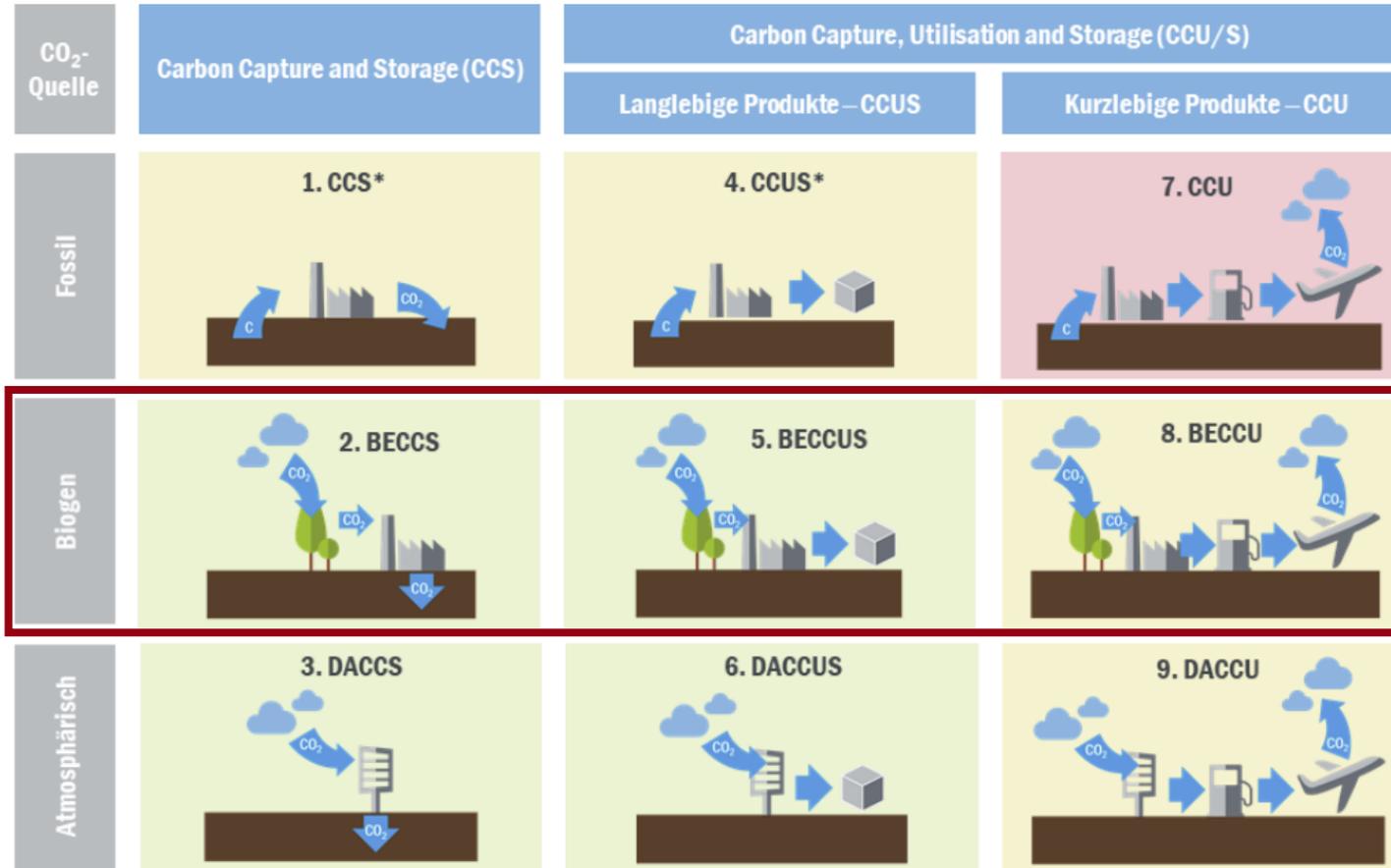
(2) Energieerzeugnisse, die anteilig aus biogenem Wasserstoff nach Absatz 1 hergestellt worden sind, gelten in Höhe dieses Anteils als Biokraftstoffe. Hierbei gelten die Vorgaben des Artikel 5 der Delegierten Verordnung (EU) 2023/1640.

(3) Von den Regelungen in den Absätzen 1 und 2 unberührt bleiben die Bestimmungen der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung sowie die Regelung des § 14 Absatz 1 Satz 2 bis 4 der Verordnung zur Festlegung weiterer Bestimmungen zur Treibhausgasminderung bei Kraftstoffen.

(2) Zur Erbringung des Nachweises, dass die Mindestanteile nach Artikel 25 Absatz 1 eingehalten werden, kann der Anteil von Biokraftstoffen und Biogas für den Verkehr, die aus den in Anhang IX aufgeführten Rohstoffen hergestellt werden, mit dem Doppelten ihres Energiegehalts veranschlagt werden

 biogener Wasserstoff **doppelt** auf die Treibhausgasquote anrechenbar

# CCS – Carbon Capture and Storage



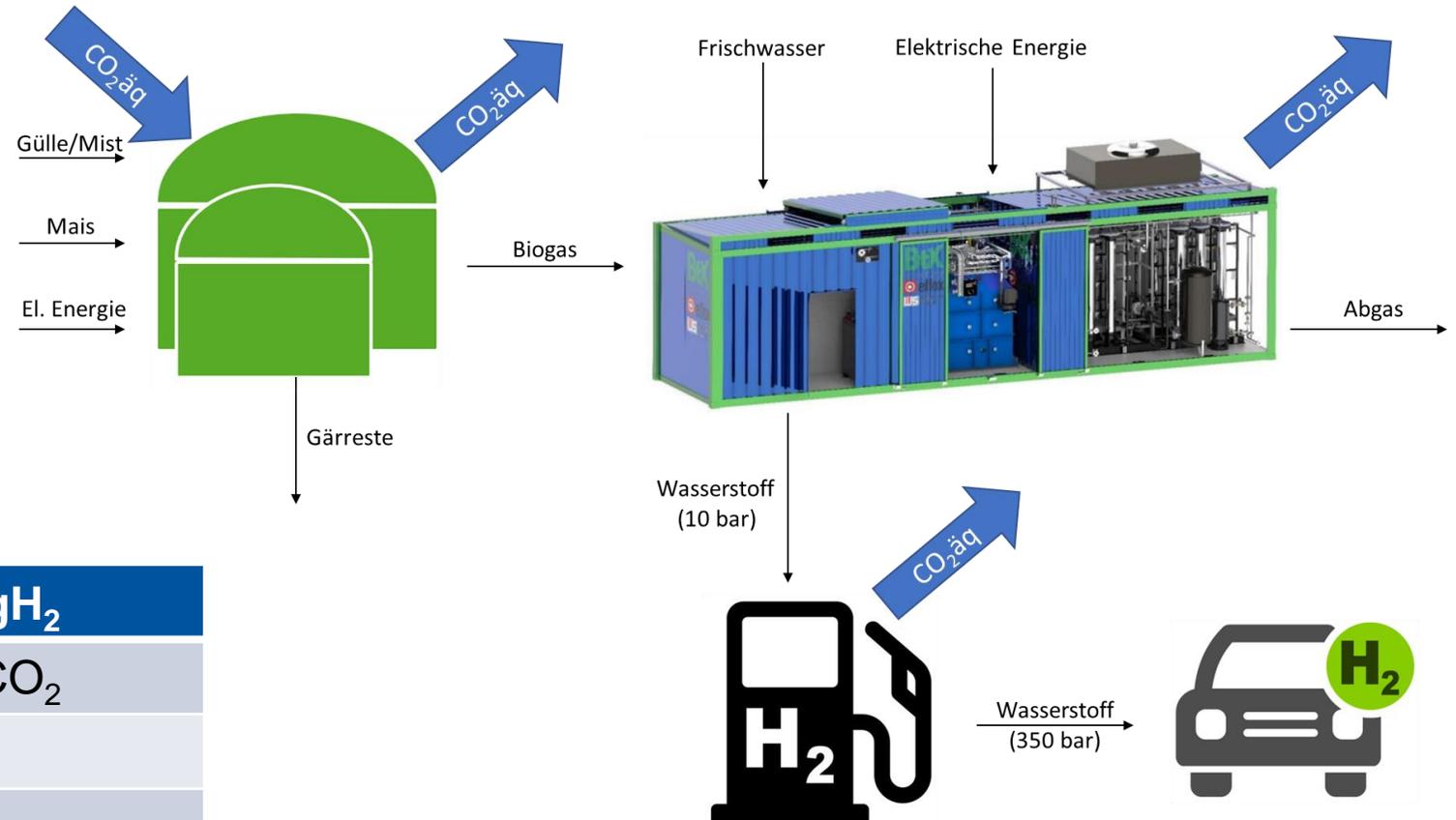
Annahme: Strom- und Wärmebedarf stammt aus erneuerbaren Energien.

Netto-negative CO<sub>2</sub>-Emissionen
  Neutrale CO<sub>2</sub>-Emissionen
  Netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen

\* Bei einer Abscheidungsrate von 90 % gehen 10 % in die Atmosphäre als netto CO<sub>2</sub>-Emission

# THG - Emissionen

- 100% Gülle & Mist
- Stromverbrauch 3 kWh/kgH<sub>2</sub>
- Geschlossenes Gärrückstandslager



CO <sub>2</sub> Einsparung: -10 kg CO <sub>2</sub> /kgH <sub>2</sub>	
100kg H <sub>2</sub>	Einparung 1tCO <sub>2</sub>
1tCO <sub>2</sub>	200€
1kgH <sub>2</sub>	2,20€
Doppelte Anrechnung	4,40€

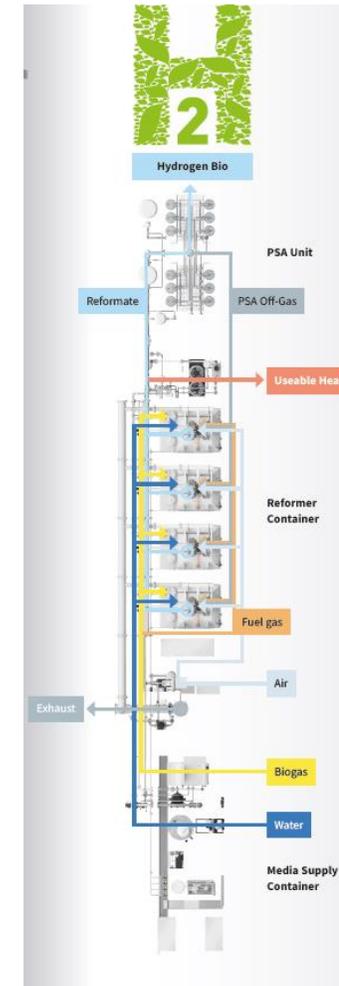
# Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Ausblick BtH400

## Annahmen

Investment	4,46	Mio. €
Zins	5	%
Abschreibung	10	Jahre
Förderung	0	%
Betriebskosten	300.000	€/Jahr
Erzeugung	400	kgH <sub>2</sub> /Tag = 100 tH <sub>2</sub> /Jahr
Betriebsstunden	6500	h/Jahr (ca 75%)
Wirkungsgrad	66	%
Preis	9	€/kgH <sub>2</sub>
THG-Quote	4,4	€/kgH <sub>2</sub>

## Ergebnis

Umsatz	1,5 Mio. €/Jahr
Gewinn	130.000 €/Jahr



## TECHNICAL DATA

### Output

Nominal Hydrogen Yield	400 kg/day @ 10 bar
Hydrogen Quality	99,97%, ISO 14687 (FC-grade)
Usable Heat (Option)	appr. 240 kW @ 80°C (cooling water)
Efficiency	up to 90% (Hydrogen based: 60-70%, thermal 20-30%)

### Input

Biogas Consumption	10 Nm <sup>3</sup> /kg H <sub>2</sub>
Biogas Quality	50-100% CH <sub>4</sub> , 200 mbar, S<1 mg/Nm <sup>3</sup> , Si=0
Water Consumption	100 l/h (depending on water quality)
Electricity Consumption	2-3 kWh/kg H <sub>2</sub>
Turn Down Ratio	Regular operation 100%-40%, Standby operation <40%

### Commercial Terms

Indicative Pricing	3.0 Mio € (exW, Renningen)
--------------------	----------------------------

# Spezifikationen der Kraftstoffqualität für Anwendungen in Straßenfahrzeugen mit PEM-Brennstoffzellen (DIN EN 17124 )



Gas	Messbereich
H <sub>2</sub>	99,7 %
Nicht H <sub>2</sub> (max)	300 ppm
Maximale Konzentration	
H <sub>2</sub> O	5 ppm
Kohlenwasserstoffe (außer CH <sub>4</sub> )	2 ppm
CH <sub>4</sub>	100 ppm
O <sub>2</sub>	5 ppm
He	300 ppm
N <sub>2</sub>	300 ppm
Ar	300 ppm
CO <sub>2</sub>	2 ppm
CO	0,2 ppm
Schwefelverbind. (H <sub>2</sub> S, COS, CS <sub>2</sub> )	0,004 ppm
HCHO	0,2 ppm
HCOOH	0,2 ppm
NH <sub>3</sub>	0,1 ppm
Halogenierte Verbind.	0,05 ppm
Halogen compounds	0,05 ppm

# Projektziele & Zusammenfassung

---

- Etablierung einer weiteren Technologie zur Nutzung von Biogas
- Beitrag zur Energiewende
- Beitrag zu emissionsfreiem Verkehr
  
- Technologiereife der direkten Reformierung von Biogas
  - Optimierung Wirkungsgrad
  
- Kontinuierliche Wasserstoffproduktion bis zu 400 kg H<sub>2</sub> pro Tag

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

**Christopher Wüning, M.Sc.**

Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik  
RWTH Aachen University  
Kopernikusstr. 10  
52074 Aachen

Tel.: +49 241 80 25949

E-Mail: [wuenning@iob.rwth-aachen.de](mailto:wuenning@iob.rwth-aachen.de)



Thinking the Future  
Zukunft denken

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages