

# CO<sub>2</sub>-negativer Wasserstoff aus regenerativen Gasen mittels Mikrowellen-Plasma-Cracking

Projekt H2MikroPlas

Statuskonferenz Bioenergie 2025

02.12.2025

Konrad Empacher

Technische Hochschule Köln

Cologne Institute for Renewable Energy



Kofinanziert von der  
Europäischen Union

Ministerium für Wirtschaft,  
Industrie, Klimaschutz und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen



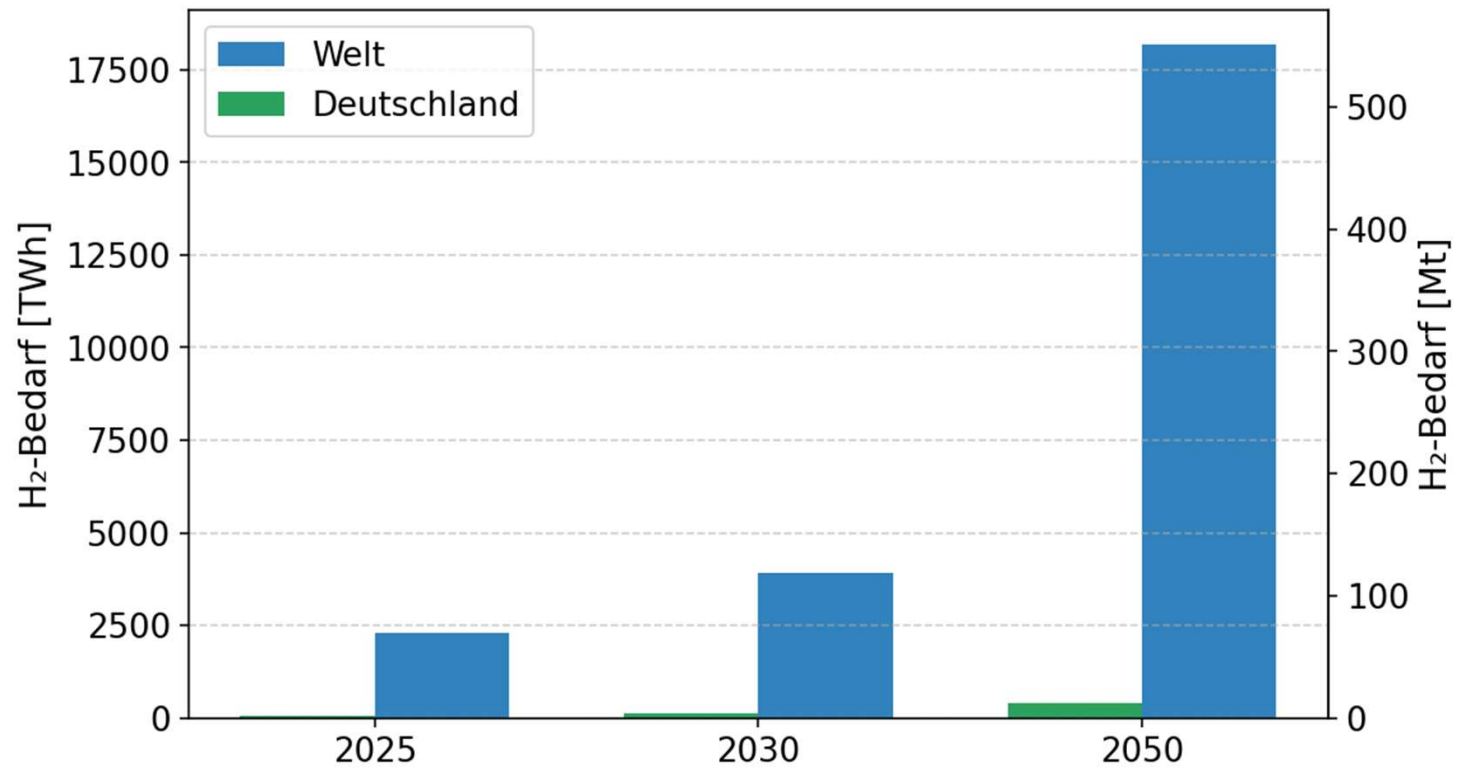
EFRE/JTF  
Programm  
NRW 21-27

cire  
Cologne Institute for  
Renewable Energy

Technology  
Arts Sciences  
TH Köln

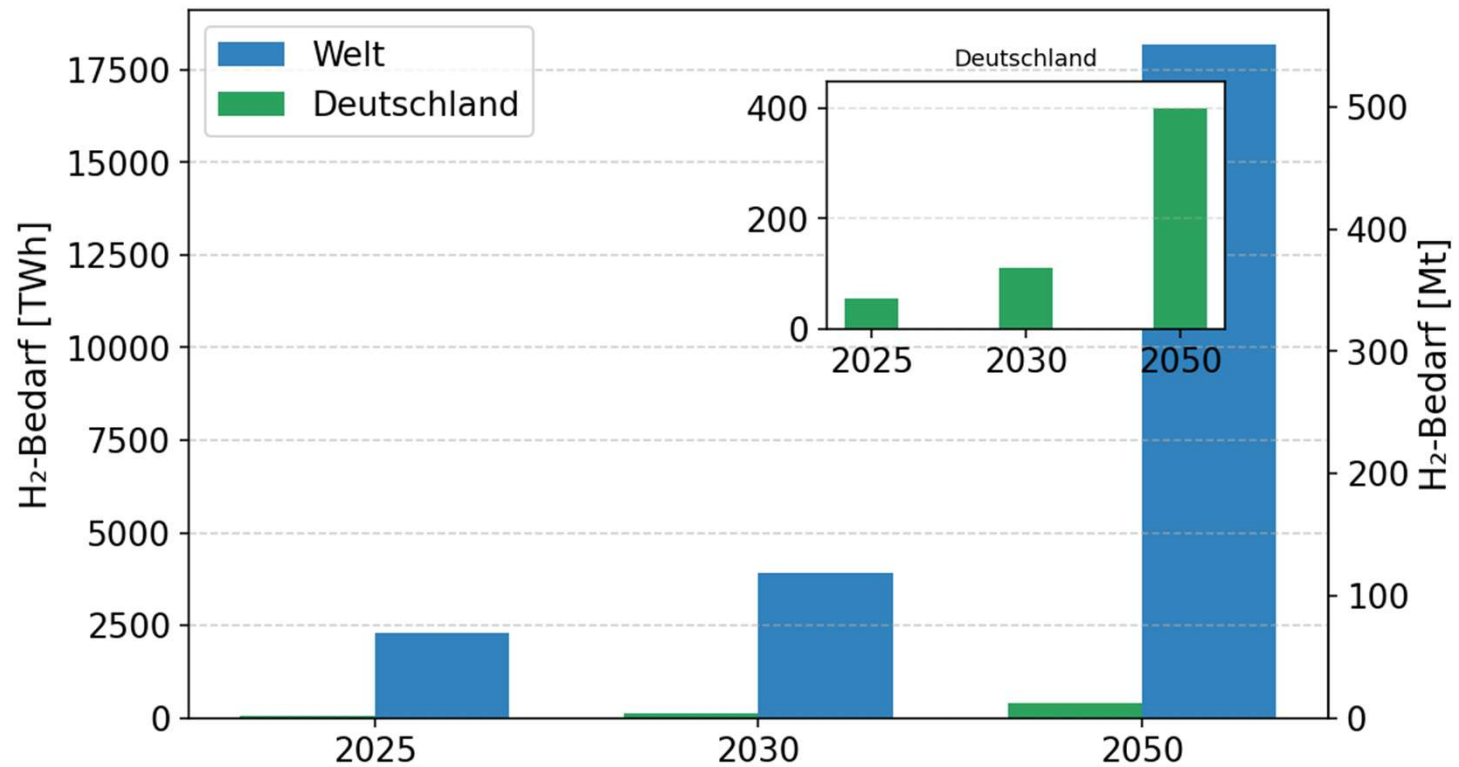
Seite 1

# Entwicklung der Wasserstoffnachfrage



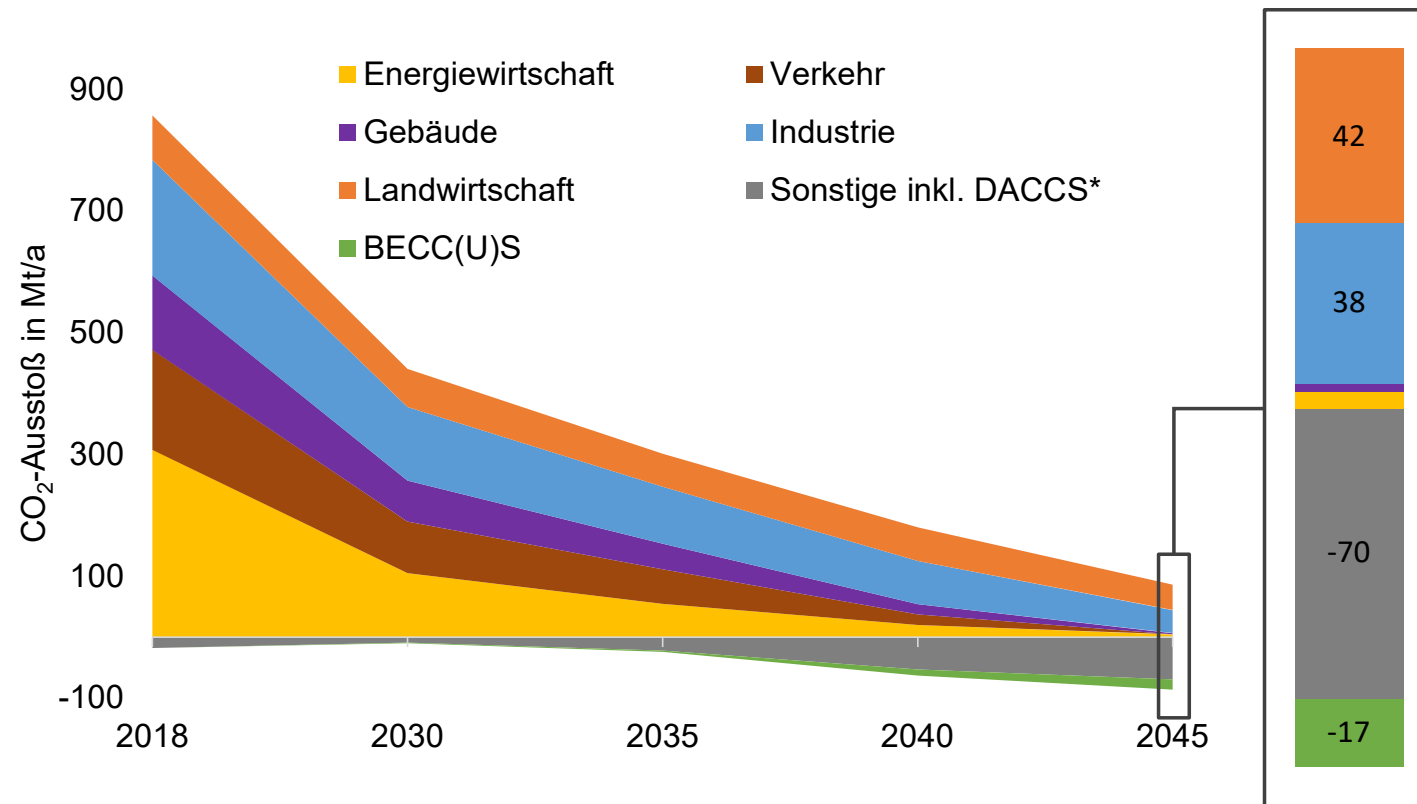
Quellen: Eigene Darstellung basierend auf Wirtschaftsdienst (2021), DWV (2024), PwC (2021)

# Entwicklung der Wasserstoffnachfrage



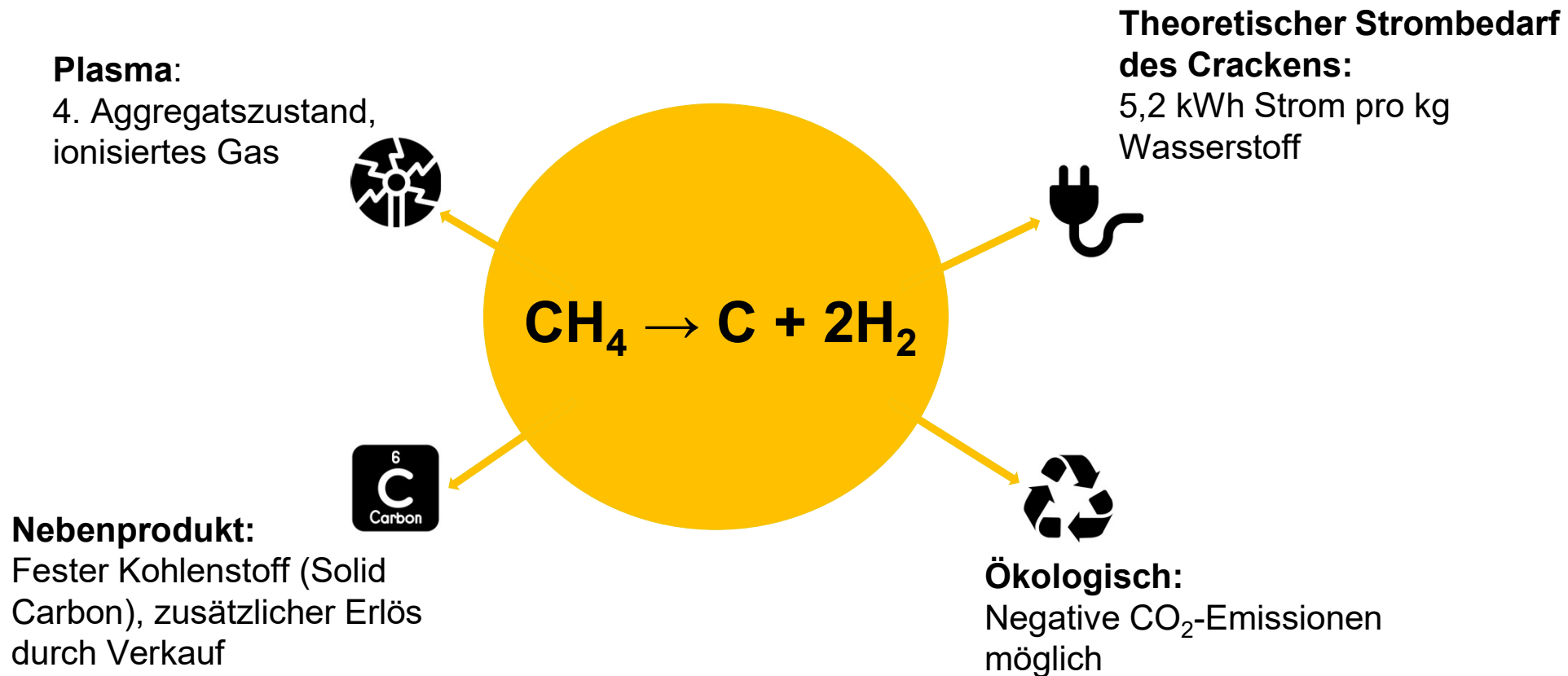
Quellen: Eigene Darstellung basierend auf Wirtschaftsdienst (2021), DWV (2024), PwC (2021)

# Negative THG-Emissionen in klimaneutralen Energiesystemen

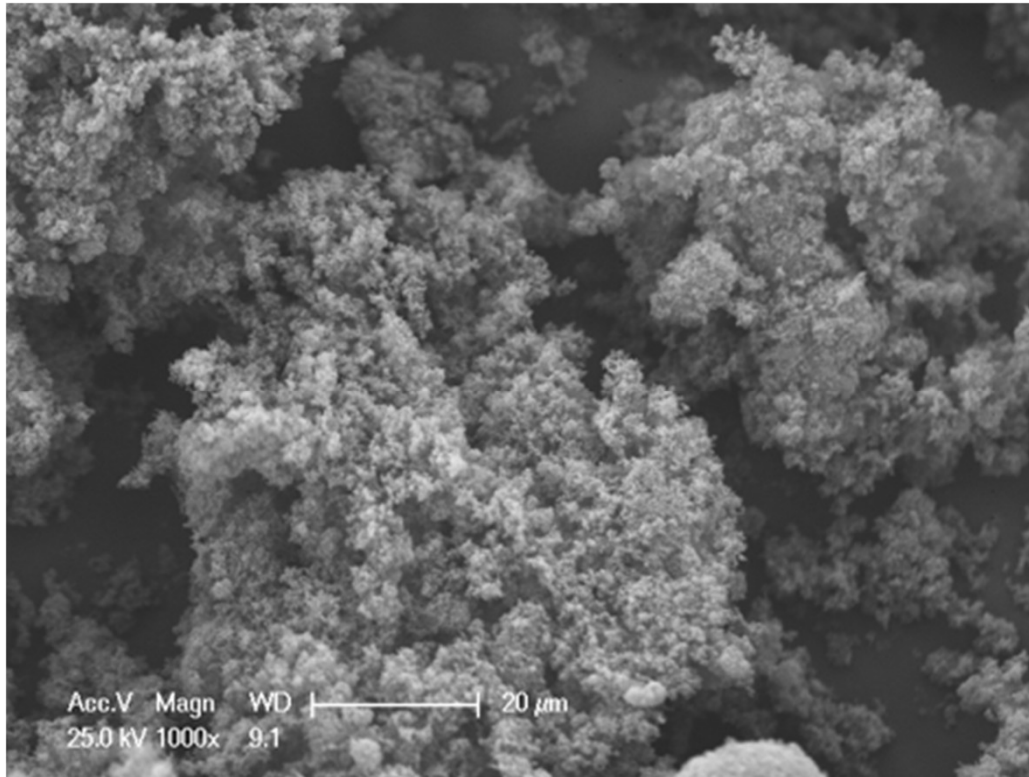


Quelle: Eigene Darstellung basierend auf EWI, dena (2021) (Szenario KN100)

# Mikrowellen-Plasma-Cracking von biogenen Gasen



## Nebenprodukt: Solid Carbon (Fester Kohlenstoff)



Quelle: ayxesis GmbH



# Das Verbundprojekt H2MikroPlas

## Förderung



Kofinanziert von der  
Europäischen Union

Ministerium für Wirtschaft,  
Industrie, Klimaschutz und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen



EFRE/JTF  
Programm  
NRW 21-27

## Projektpartner

Technology  
Arts Sciences  
TH Köln



BROCKHAUS  
UMWELT

ayxesis  
GmbH

## Assoziierte Partner



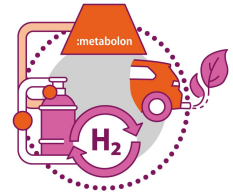
Förderkennzeichen: EFRE-20800787

Laufzeit: 01.04.2025 – 31.03.2028

### Ziele:

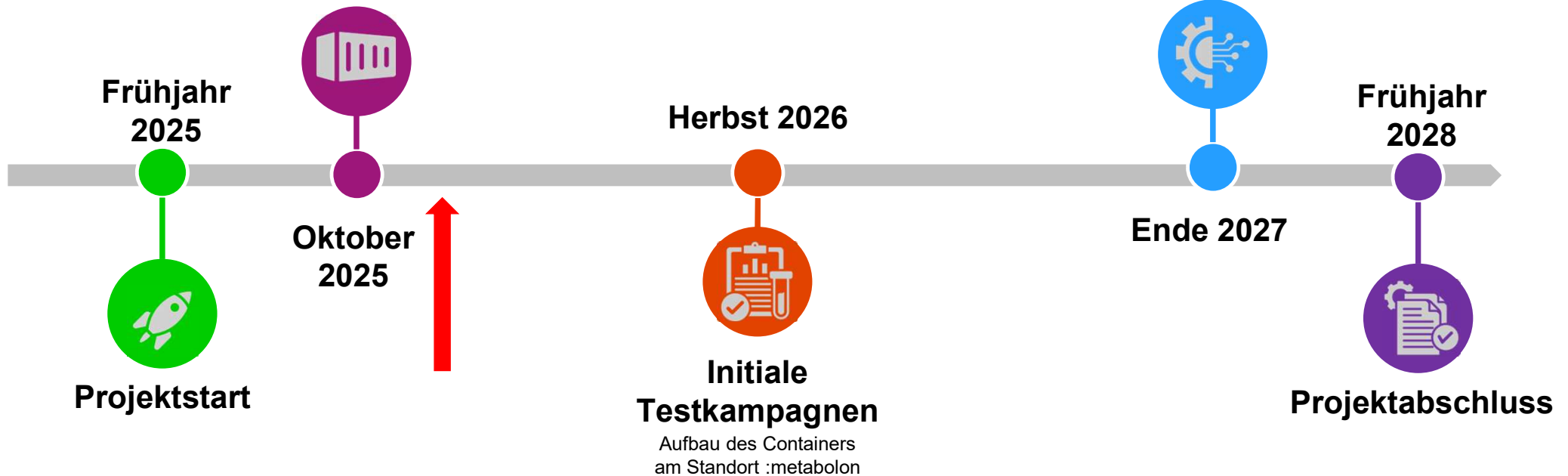
- Entwicklung einer innovativen Plasma-Cracking-Systemlösung zur Herstellung von CO<sub>2</sub>-negativem Wasserstoff aus Biogas
- Demonstration der technischen Machbarkeit und Steigerung des technologischen Reifegrads (TRL)
- Umfassende Technologiebewertung unter Einbeziehen aller relevanten Faktoren

# Das Verbundprojekt H2MikroPlas



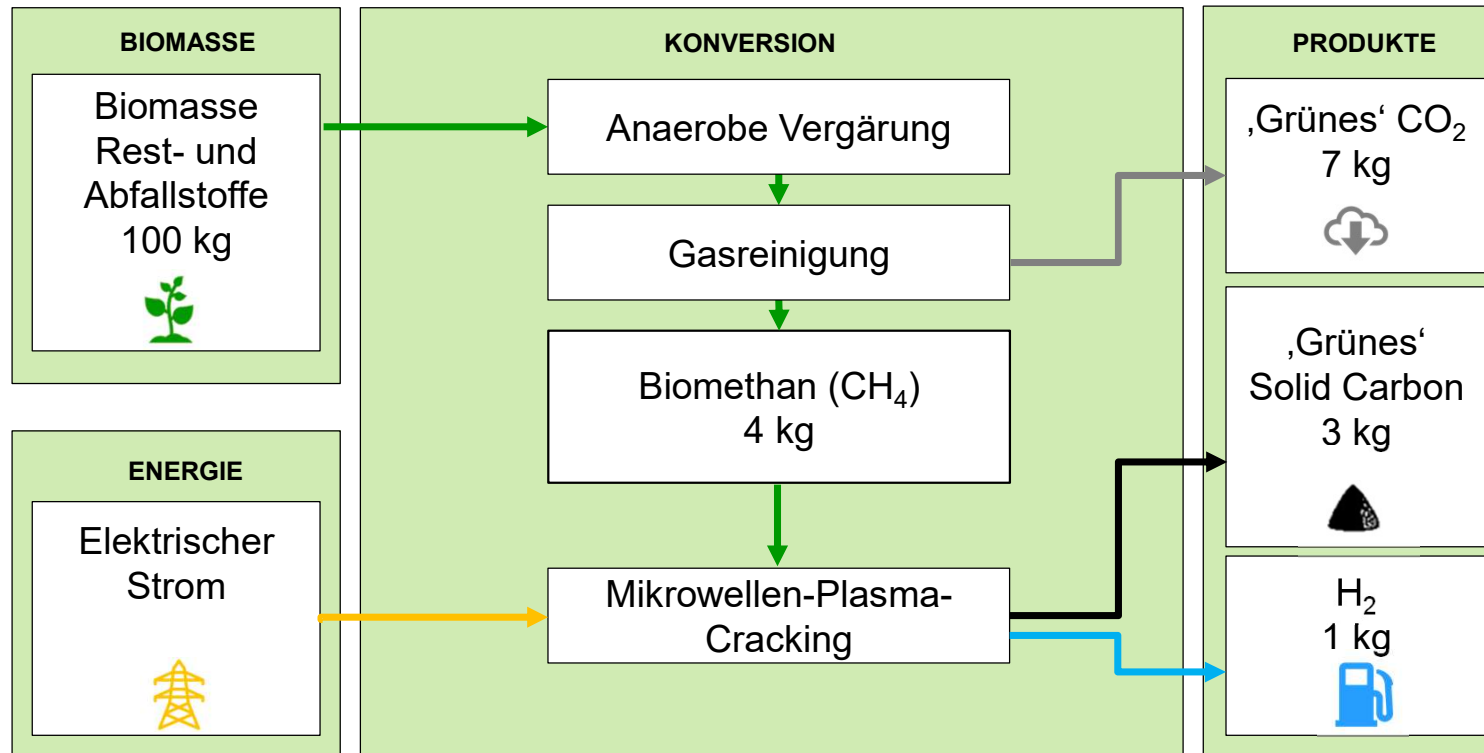
## Planung und Umsetzung des Containerbaus

Und Entwicklung einer Ausschleusungseinheit des festen Kohlenstoffs



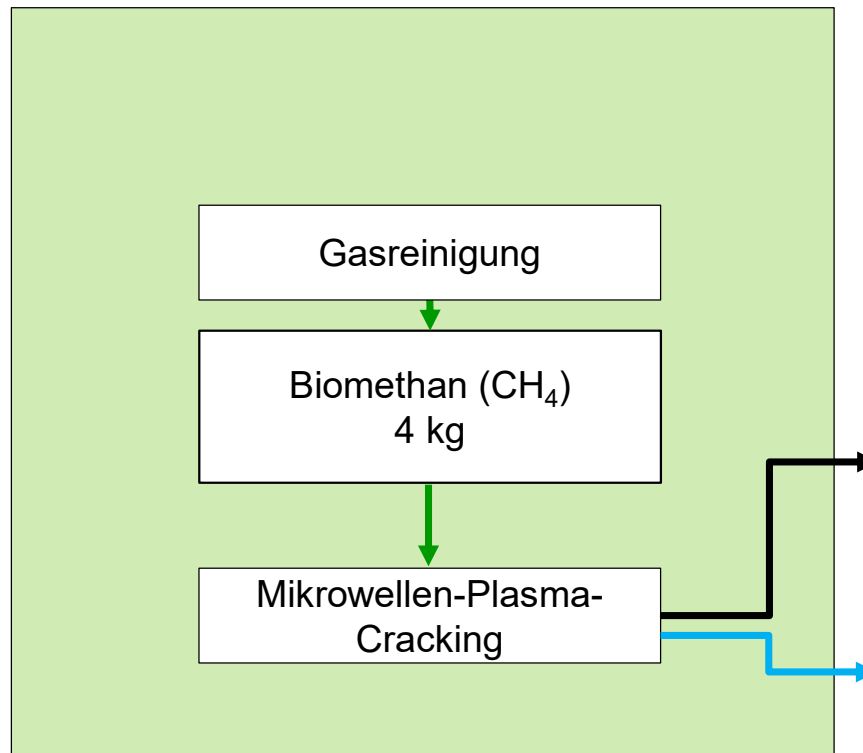


# Wasserstoffherzeugung aus Abfall durch Mikrowellen-Plasma-Cracking

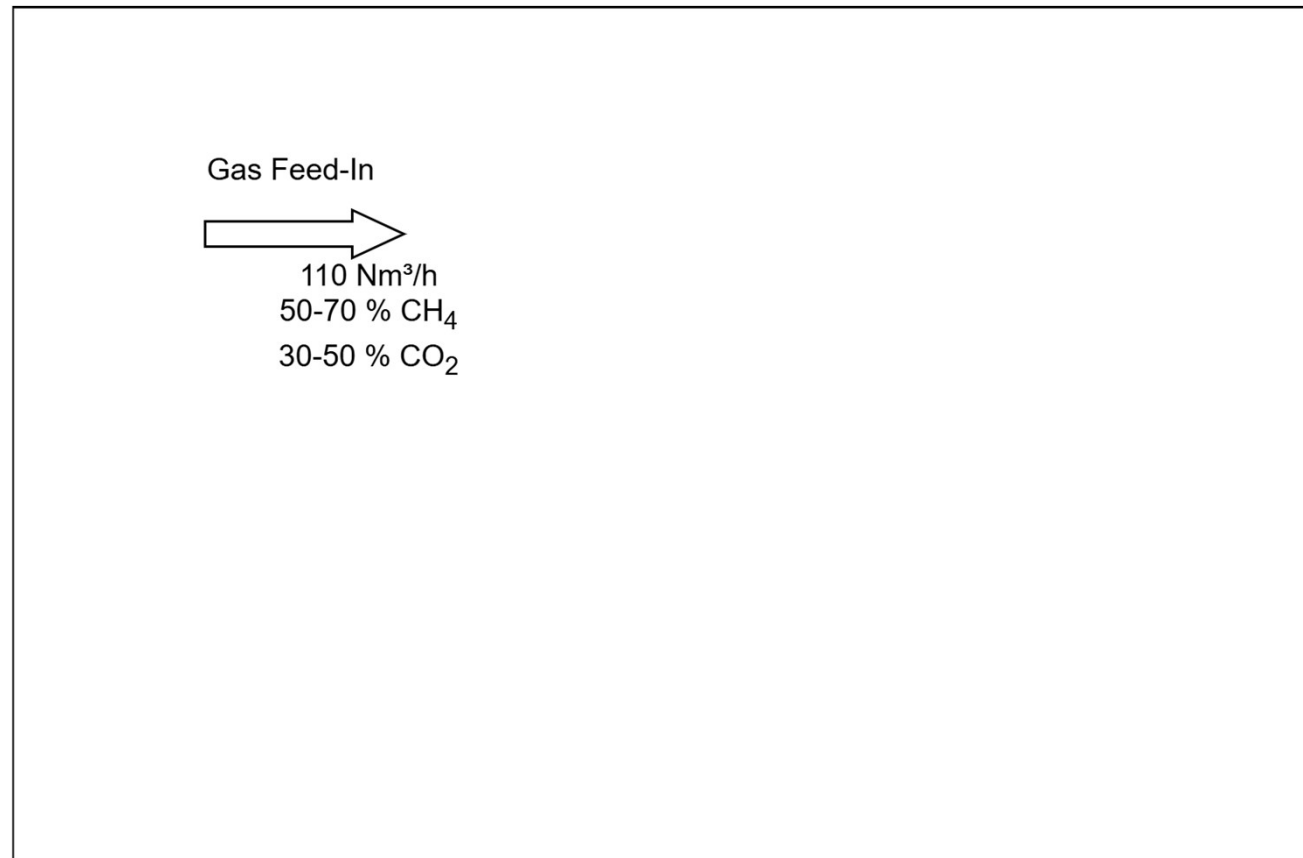


(vereinfachte, ideale Umwandlung)

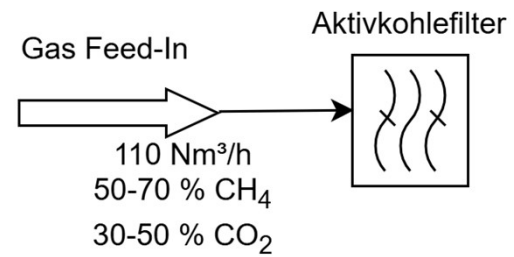
# Wasserstoffherzeugung aus Abfall durch Mikrowellen-Plasma-Cracking



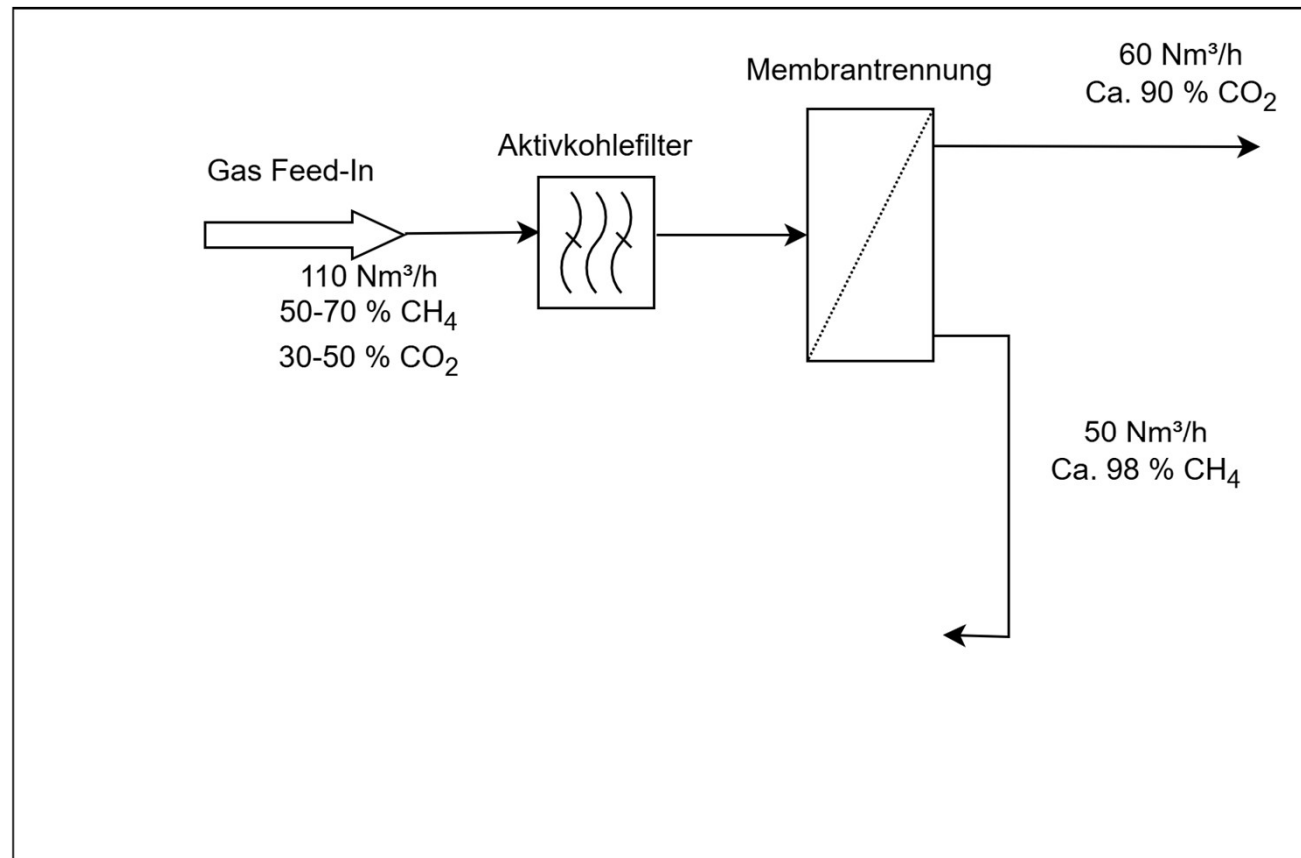
# Containerlösung H2MikroPlas



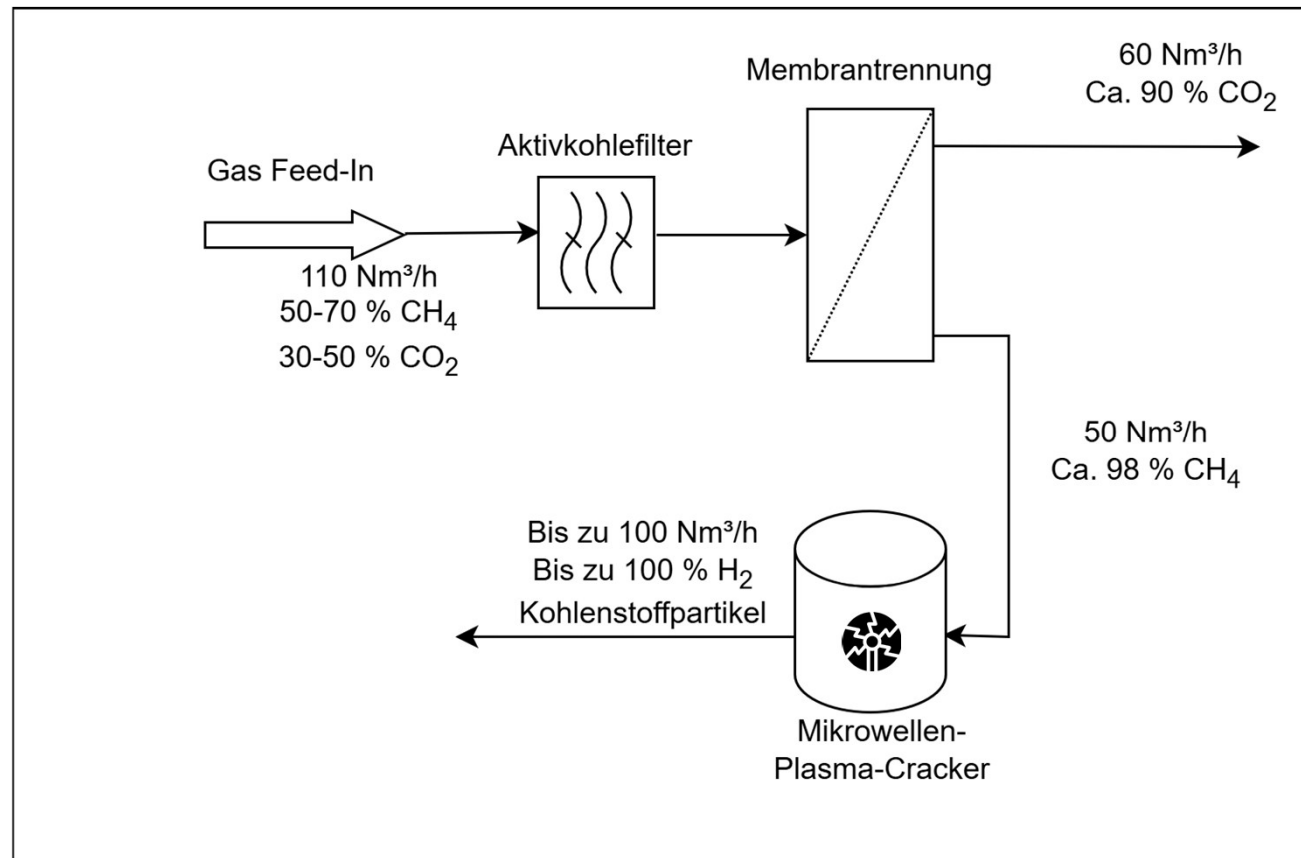
# Containerlösung H2MikroPlas



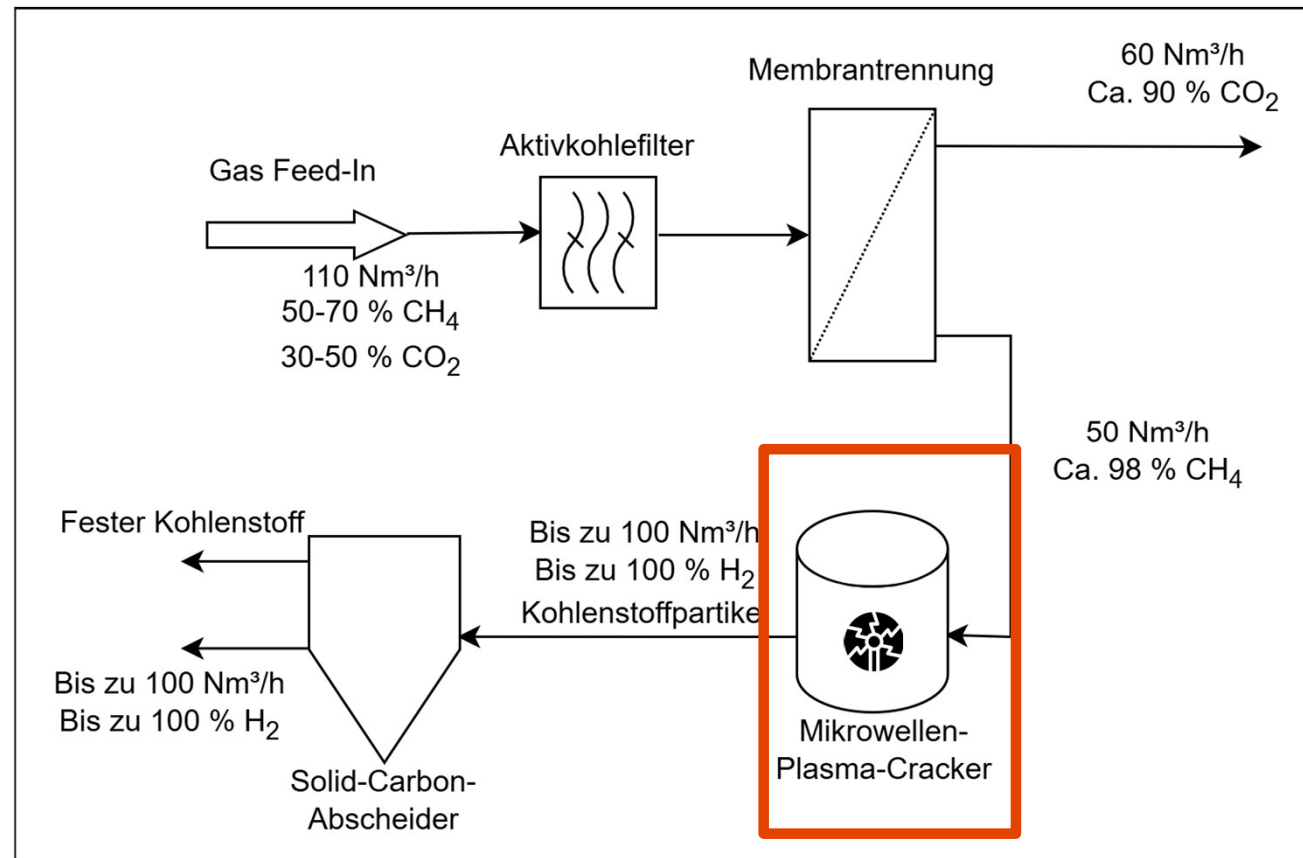
# Containerlösung H2MikroPlas



# Containerlösung H2MikroPlas



# Containerlösung H2MikroPlas



# Der CYRANNUS-Mikrowellen-Plasma-Cracker ®



Quelle: iplas GmbH

02.12.2025

Konrad Empacher

Technische Hochschule Köln

Cologne Institute for Renewable Energy

Seite 16

Technology  
Arts Sciences  
TH Köln



# Der CYRANNUS-Mikrowellen-Plasma-Cracker ®



Quelle: iplas GmbH

02.12.2025

Konrad Empacher

Technische Hochschule Köln

Cologne Institute for Renewable Energy

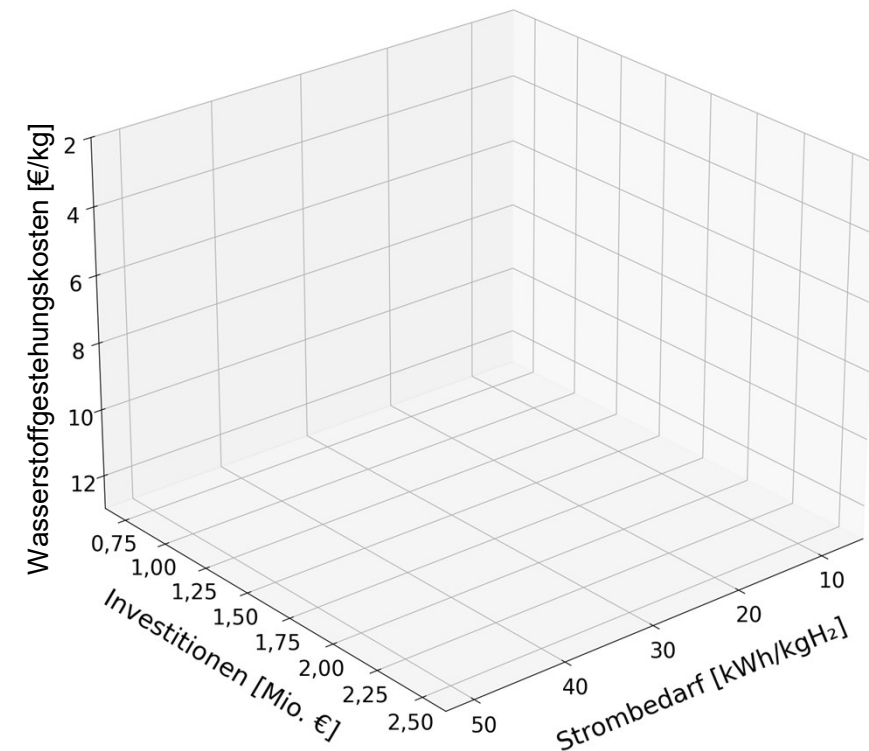
Seite 17

Technology  
Arts Sciences  
TH Köln

# Wirtschaftlichkeit des Verfahrens: Parametervariation

## Annahmen in diesem Szenario:

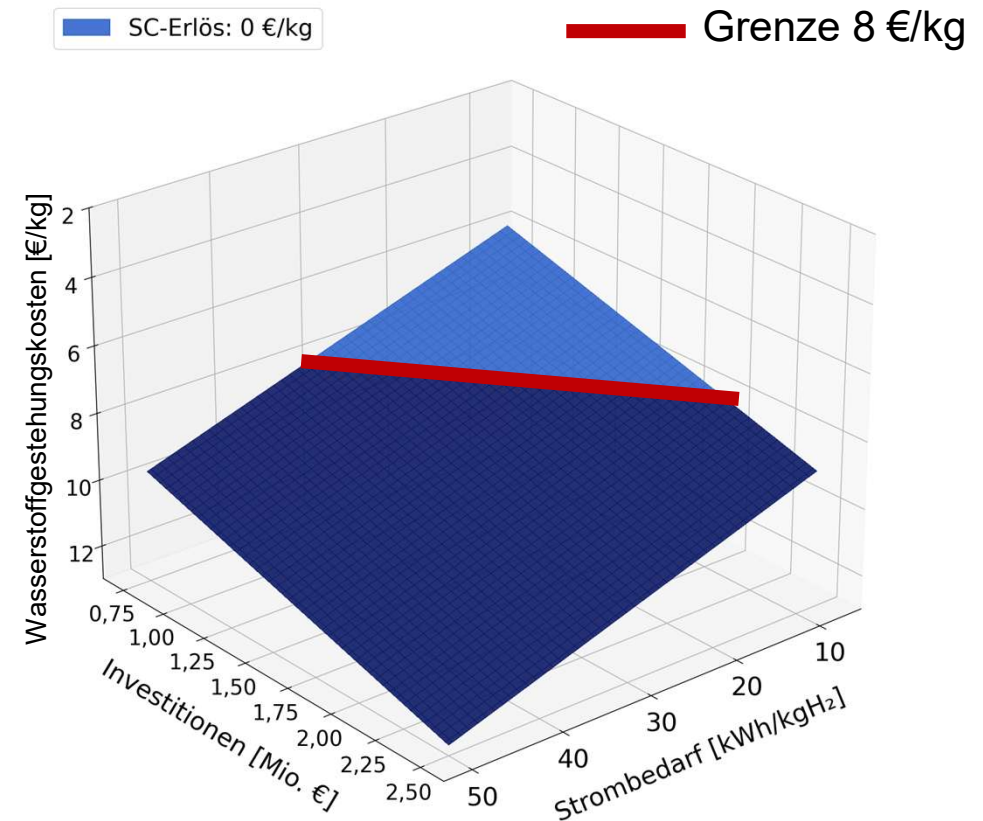
- Stromkosten: 9 ct/kWh
- Biogaskosten: 6 ct/kWh
- Investitionen und Strombedarf werden variiert



# Wirtschaftlichkeit des Verfahrens: Parametervariation

## Annahmen in diesem Szenario:

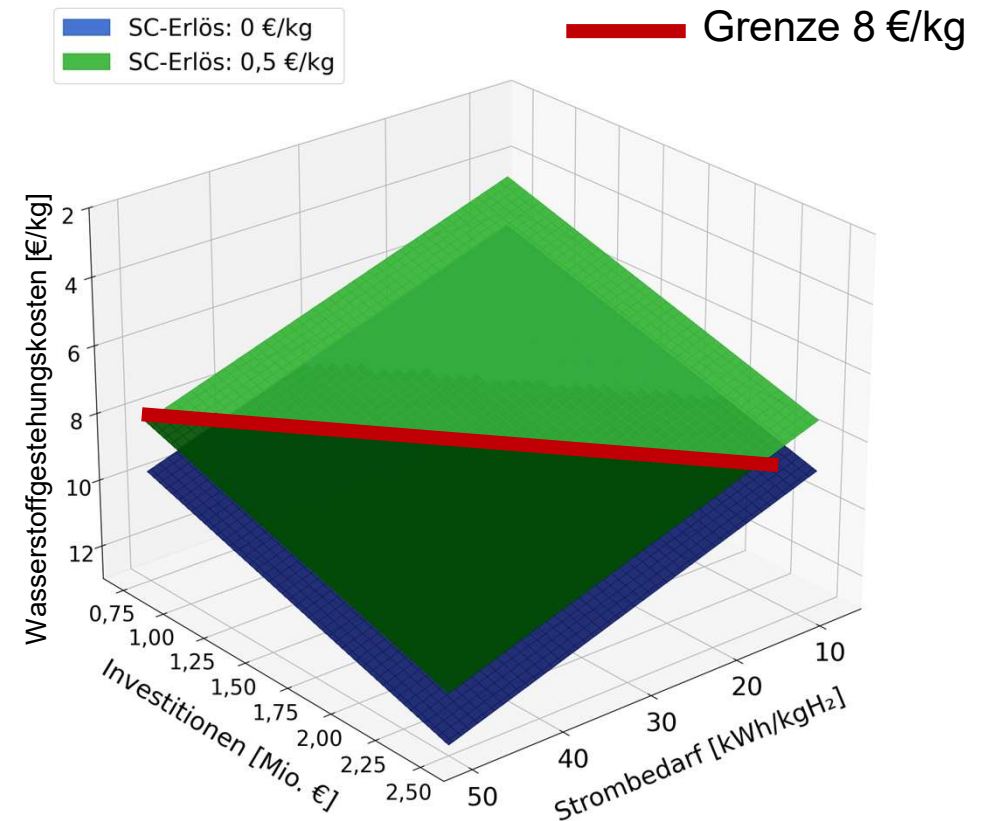
- Stromkosten: 9 ct/kWh
- Biogaskosten: 6 ct/kWh
- Investitionen und Strombedarf werden variiert



# Wirtschaftlichkeit des Verfahrens: Parametervariation

## Annahmen in diesem Szenario:

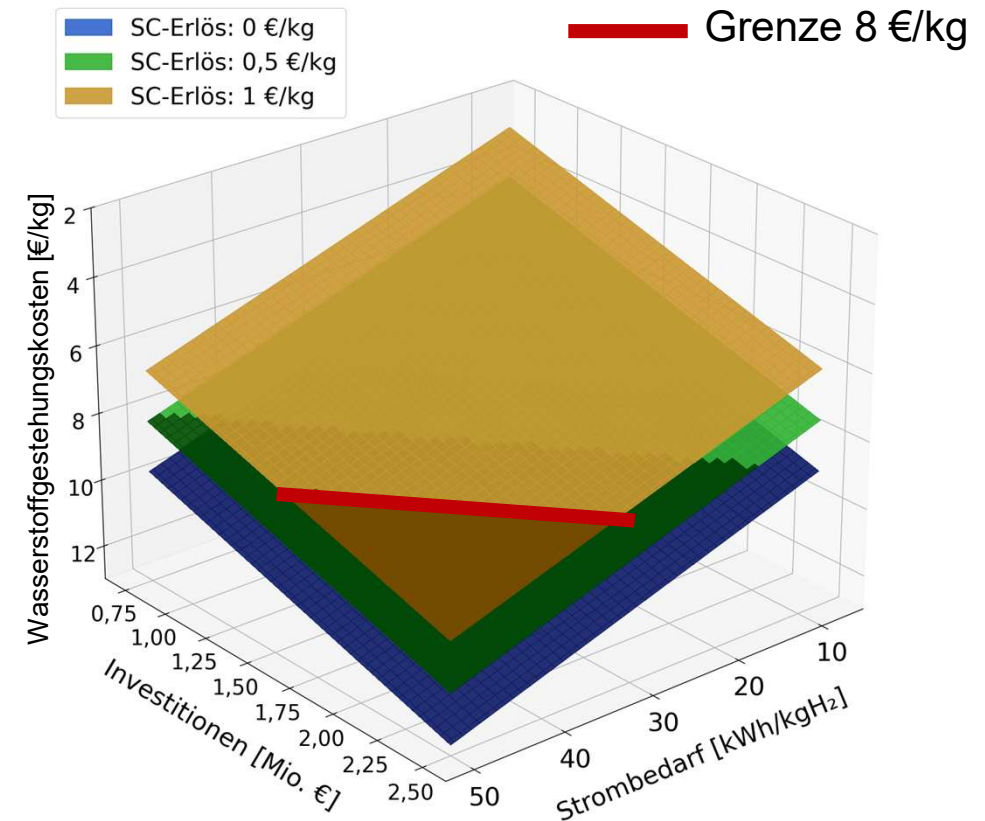
- Stromkosten: 9 ct/kWh
- Biogaskosten: 6 ct/kWh
- Investitionen und Strombedarf werden variiert



# Wirtschaftlichkeit des Verfahrens: Parametervariation

## Annahmen in diesem Szenario:

- Stromkosten: 9 ct/kWh
- Biogaskosten: 6 ct/kWh
- Investitionen und Strombedarf werden variiert



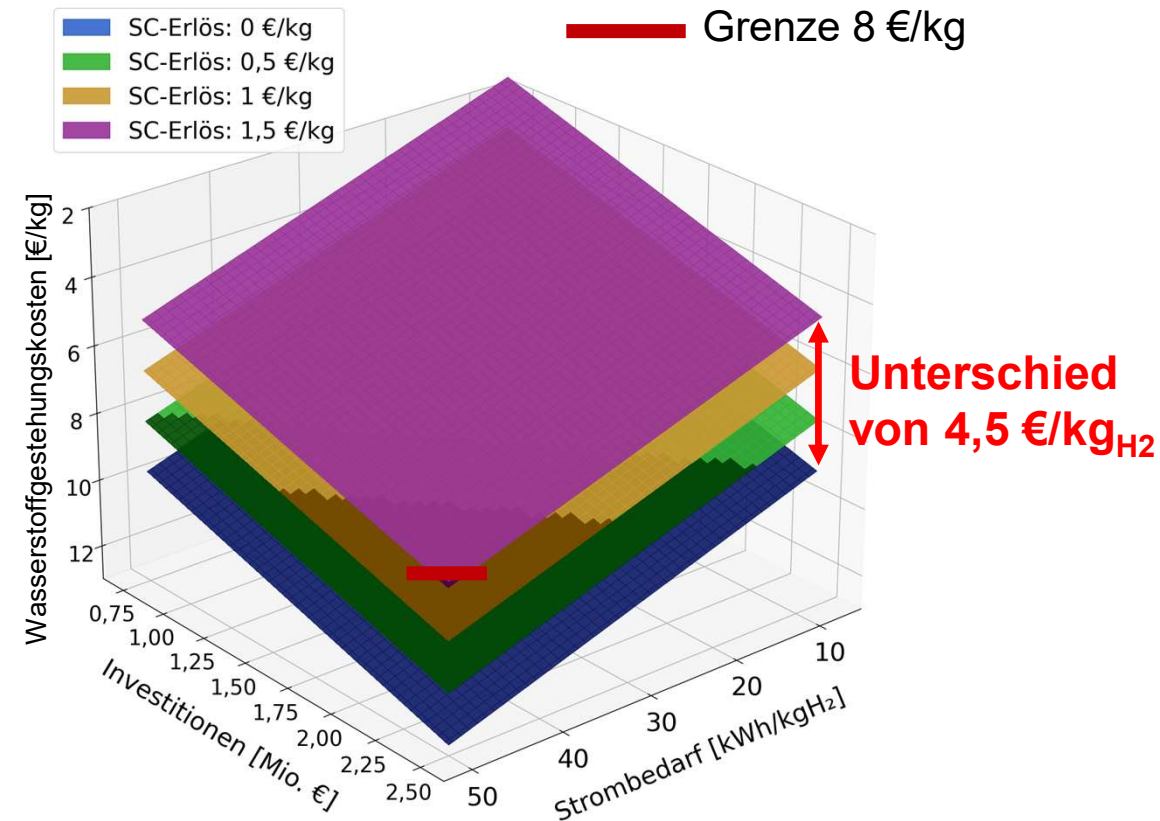


# Wirtschaftlichkeit des Verfahrens: Parametervariation

## Annahmen in diesem Szenario:

- Stromkosten: 9 ct/kWh
- Biogaskosten: 6 ct/kWh
- Investitionen und Strombedarf werden variiert

→ **Wirtschaftlichkeit des Verfahrens ist stark abhängig vom Erlös durch den Verkauf des Solid Carbon**



# Wirtschaftlichkeit des Verfahrens: Wie könnten 5 €/kg<sub>H2</sub> erreicht werden?

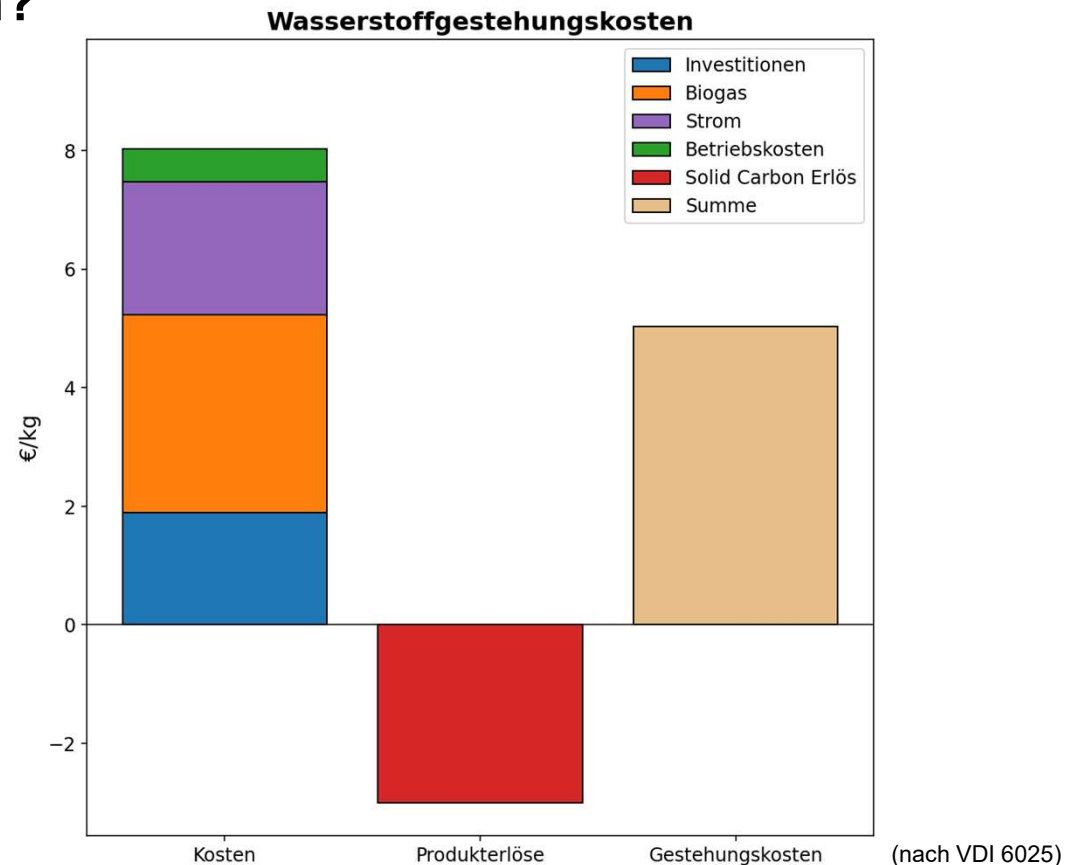
## Annahmen (nicht validiert) in diesem Szenario:

- Strombedarf: 25 kWh/kg<sub>H2</sub> bei 9 ct/kWh
- Investitionen: 1,1 Mio. €
- Biogaskosten: 6 ct/kWh

→ 8 €/kg<sub>H2</sub>

**Zusätzlicher Erlös durch Verkauf des Solid Carbons (mit 1000 €/t) führt zu:**

→ 5 €/kg<sub>H2</sub>



# Fazit

- **Wasserstoff aus biogenen Reststoffen** hat großes Potenzial in Zukunft eine Ergänzung zur Elektrolyse darzustellen
- **Gesamtlösung** als dezentrale Möglichkeit Wasserstoff zu erzeugen
- **Mikrowellen-Plasma-Cracking** ist hierbei eine vielversprechende Technologie, insbesondere aufgrund des entstehenden Solid Carbons als werthaltiges Nebenprodukt
- **Goldener Wasserstoff**: Durch die Betrachtung der gesamten Prozesskette ist eine negative Emissionsbilanz des Wasserstoffs möglich. Hieraus ergibt sich ein Alleinstellungsmerkmal und ein wichtiger Beitrag im Kontext von Carbon Management Strategien.
- **Entscheidende Stellschrauben**: Verwertung des entstehenden Solid Carbon, Strombedarf und Investitionen



# Kontakt

## Konrad Empacher

Technische Hochschule Köln  
Cologne Institute for Renewable Energy  
Lehrstuhl für Wasserstoffsystemtechnik  
*Konrad.empacher@th-koeln.de*

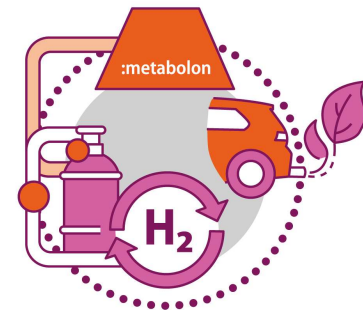
## Dr. Patrick Beuel

*Patrick.beuel@th-koeln.de*

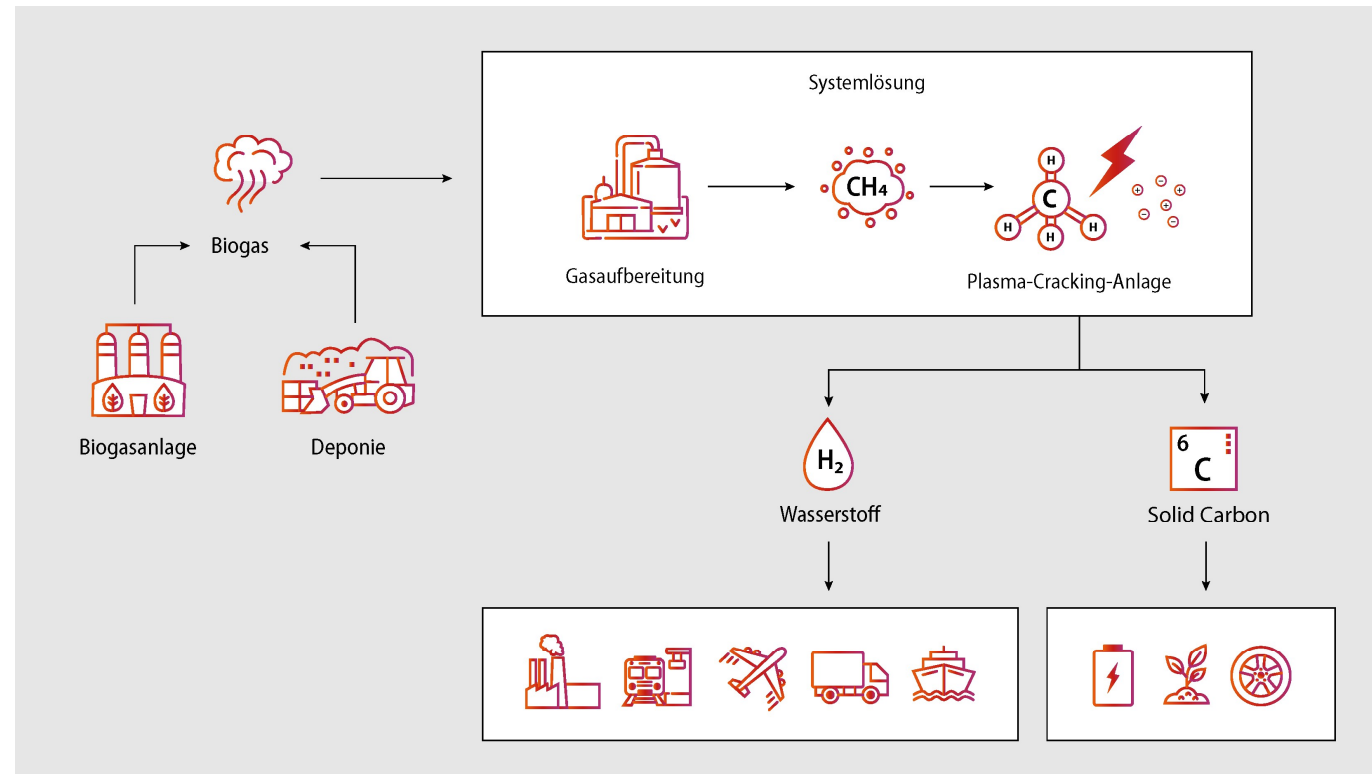
## Prof. Dr. Peter Stenzel

*Peter.stenzel@th-koeln.de*

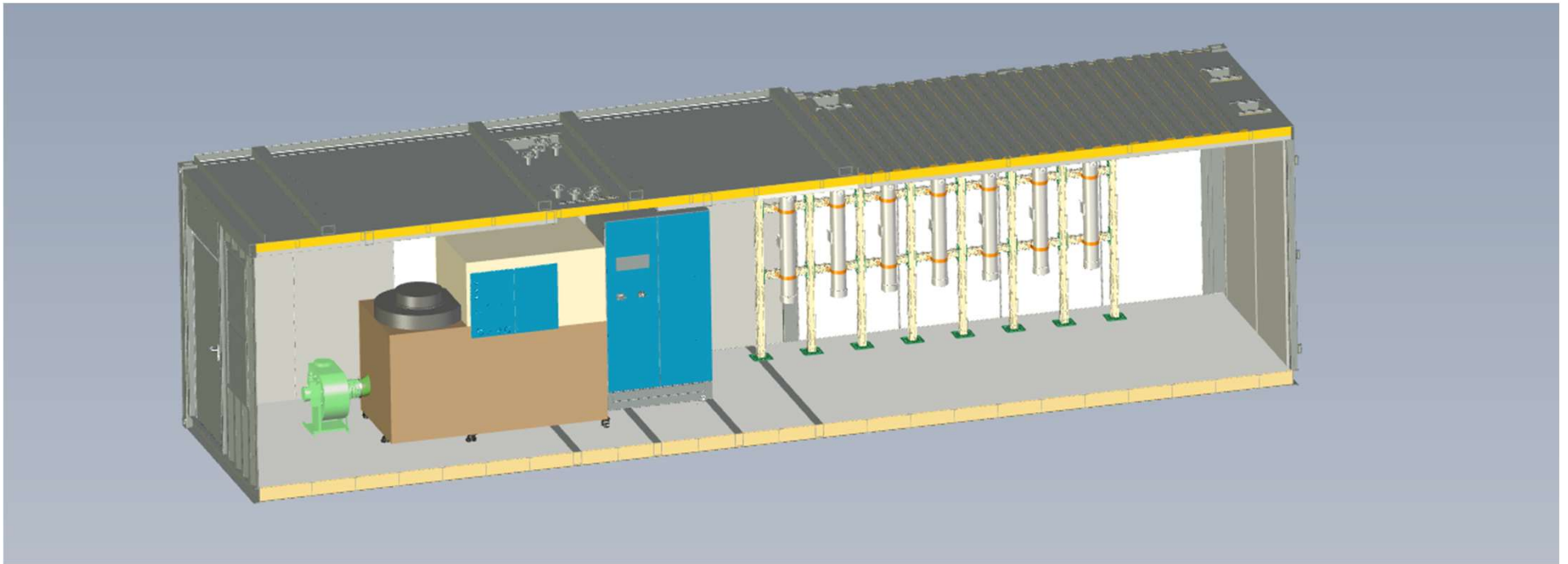
**Technology**  
**Arts Sciences**  
**TH Köln**



# Wasserstoffherzeugung durch Mikrowellen-Plasma-Cracking regenerativer Gase

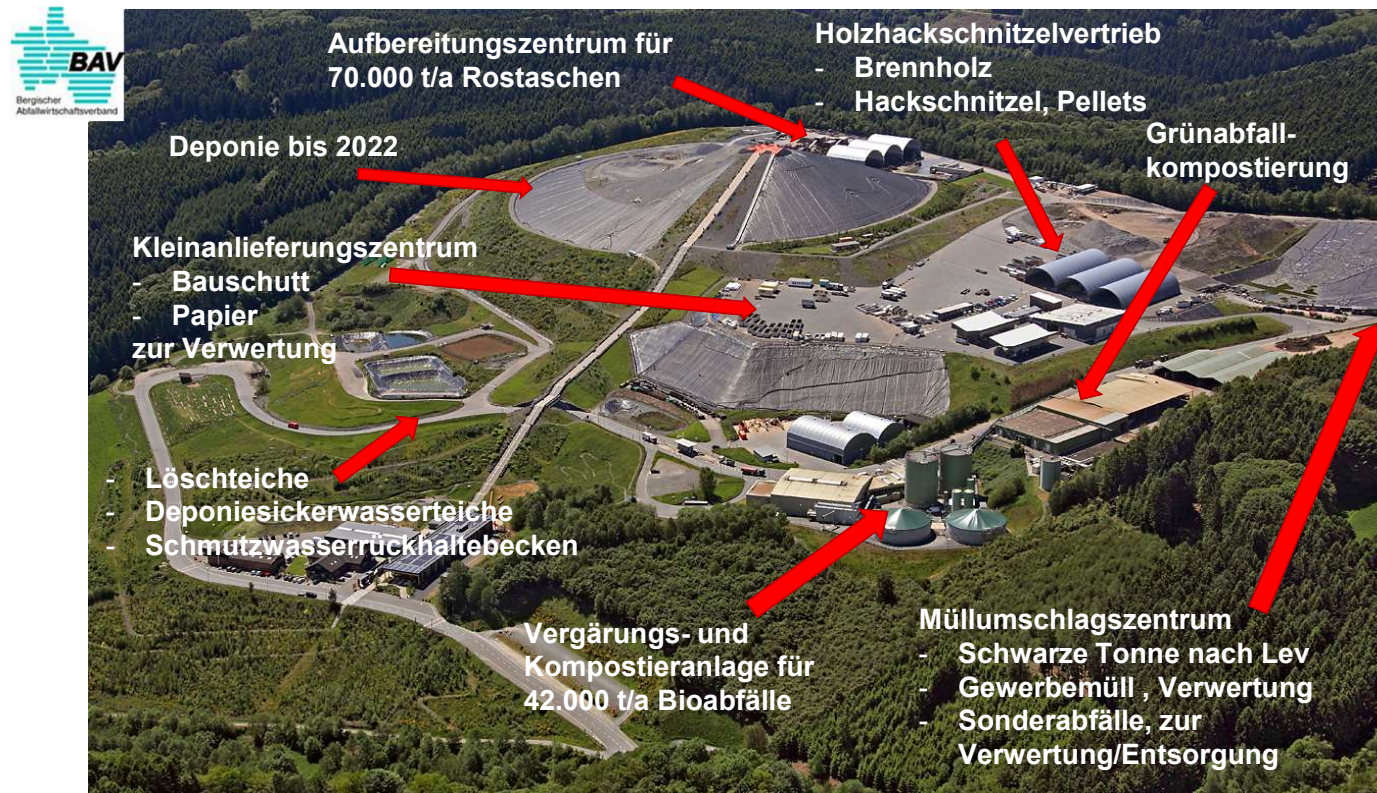


# Containerentwurf



Quelle: Brockhaus

# Zentraldeponie Leppe – Deponie, Bildungs-, Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort

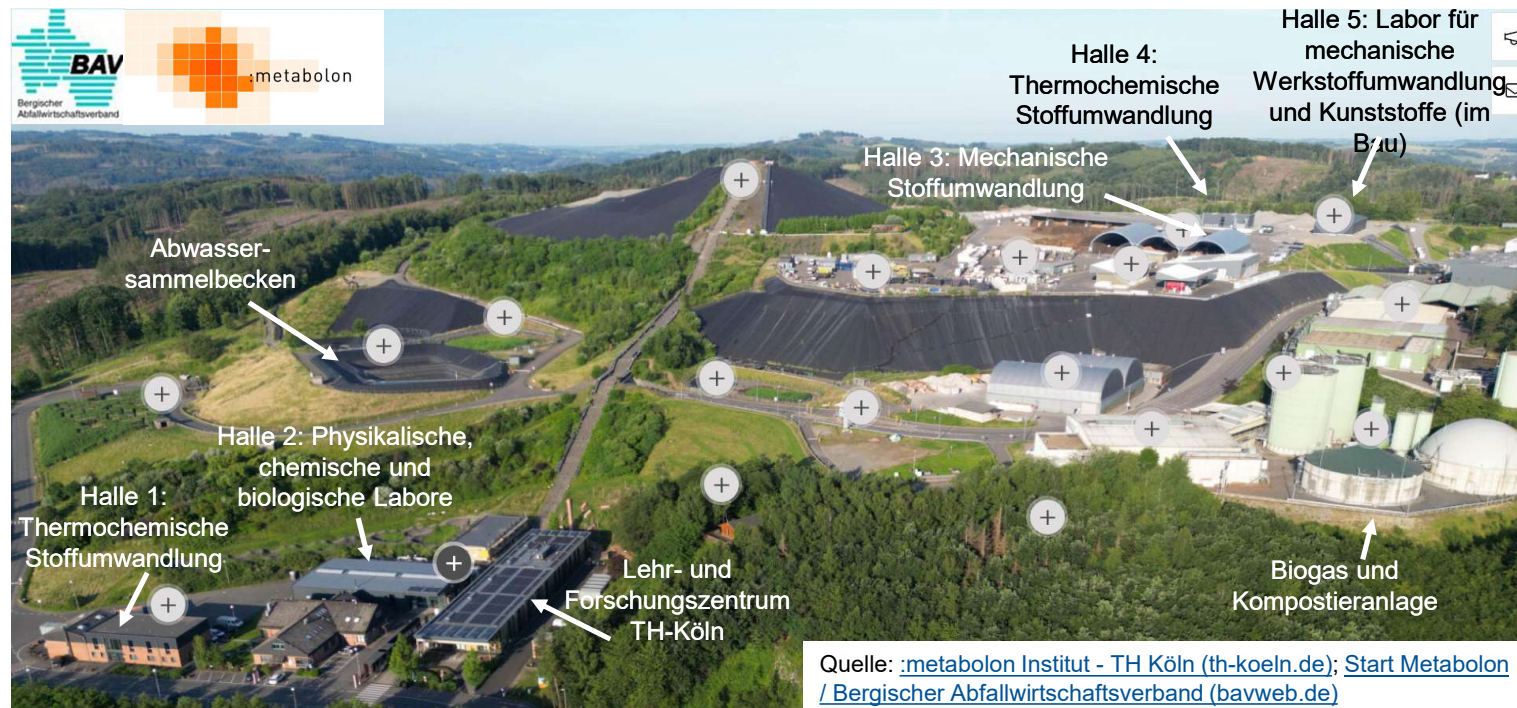


Quelle: BAV; [Start Metabolon](#) / [Bergischer Abfallwirtschaftsverband \(bavweb.de\)](#)

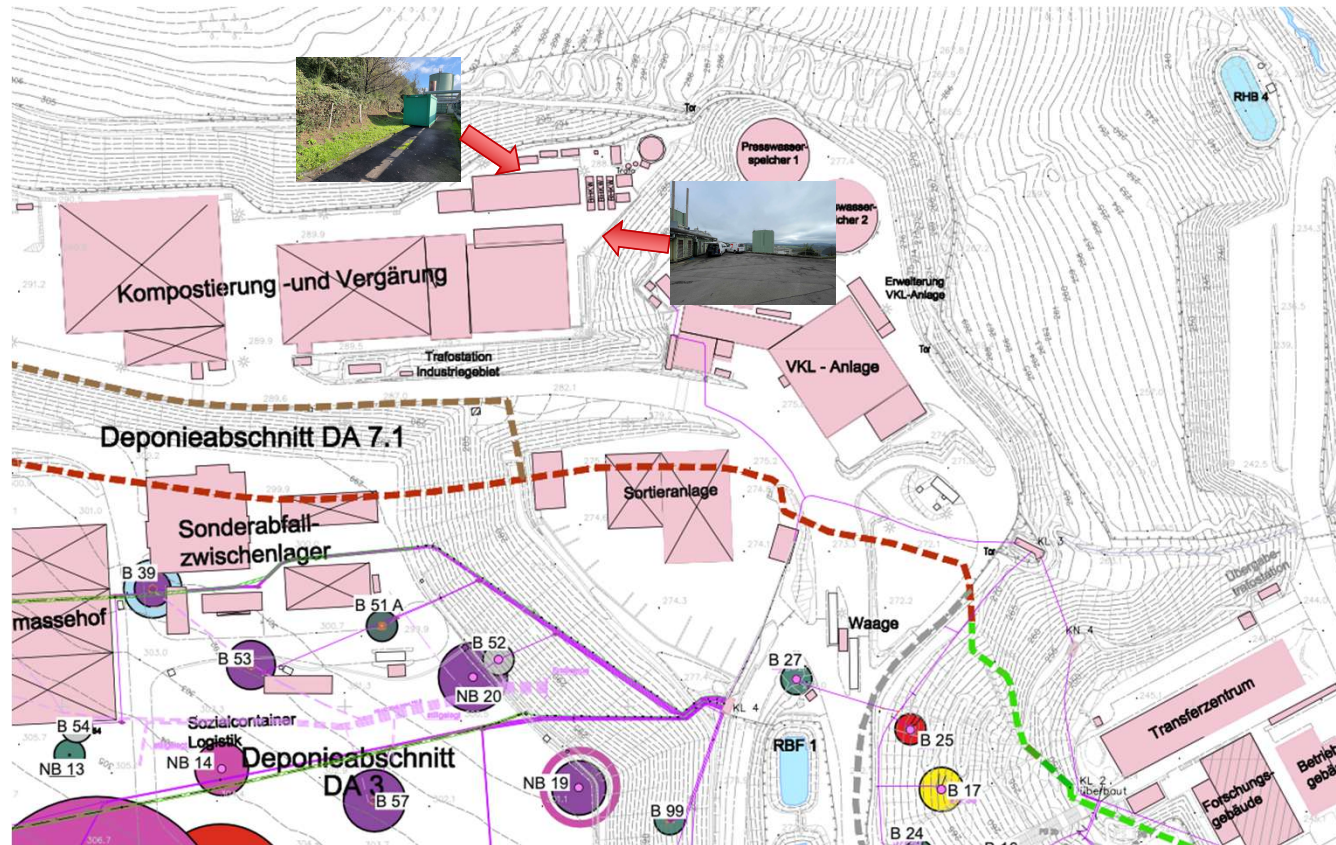


# Lehr- und Forschungszentrum :metabolon Institut der TH Köln (Zentraldeponie Leppe, Lindlar)

- Int. Lehr-, Forschungs- und Kompetenzzentrum für nachhaltige Technologien
- Praxisorientierte Forschung anhand halbertechnischer Versuchsanlagen

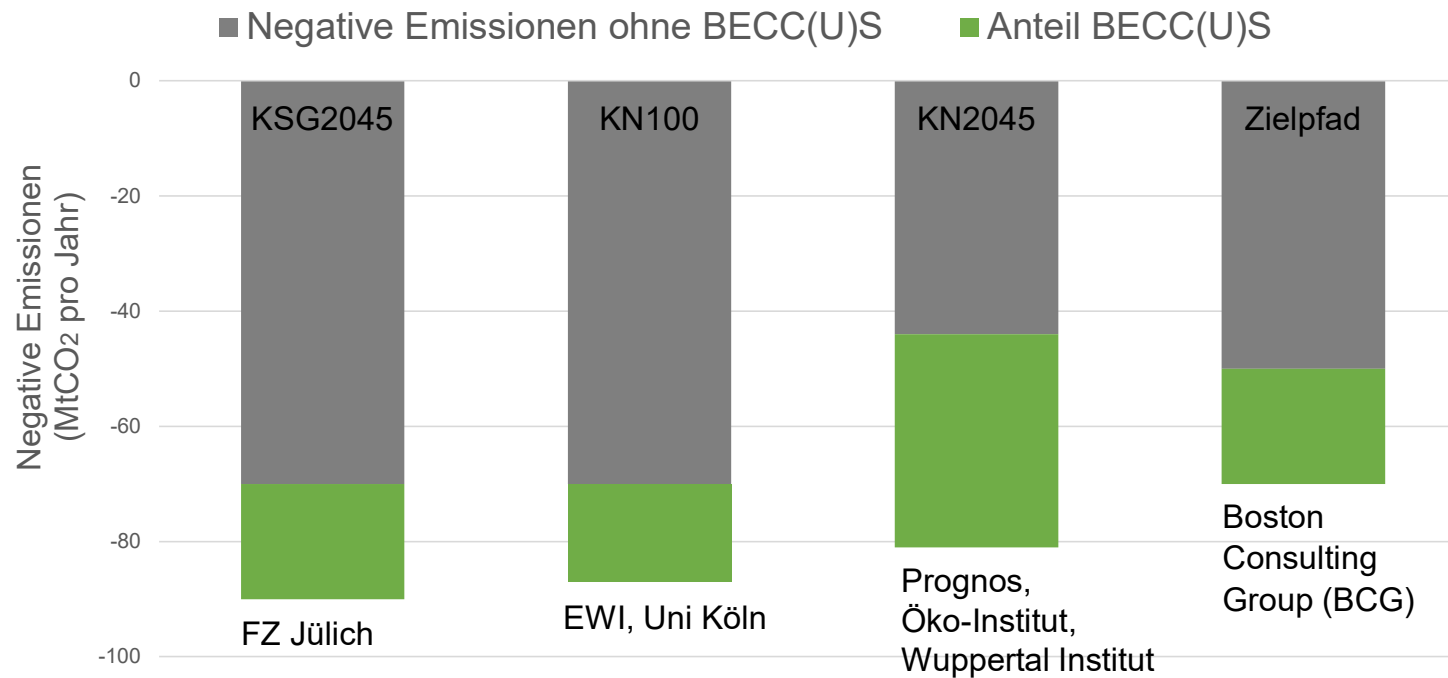


# Geplante Umsetzung am Forschungsstandort :metabolon



# Negative Emissionen – Szenarienübersicht

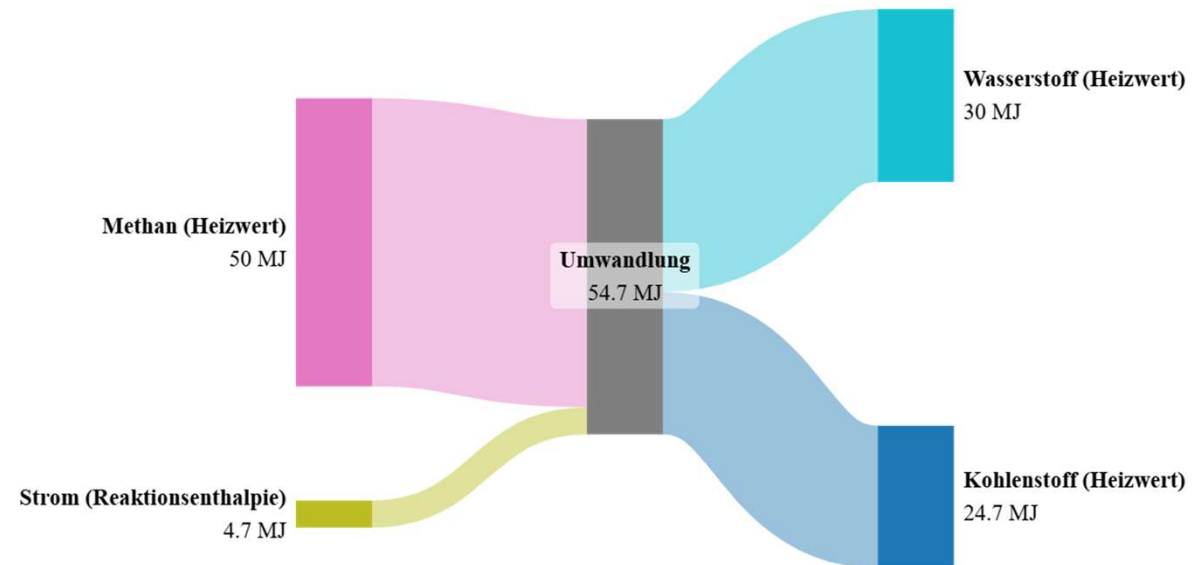
Umfang: Klimaneutrales Deutschland 2045



➡ Alle Szenarien betrachten BECC(U)S als ein Schlüsselement zum Erreichen treibhausgasneutraler Energiesysteme

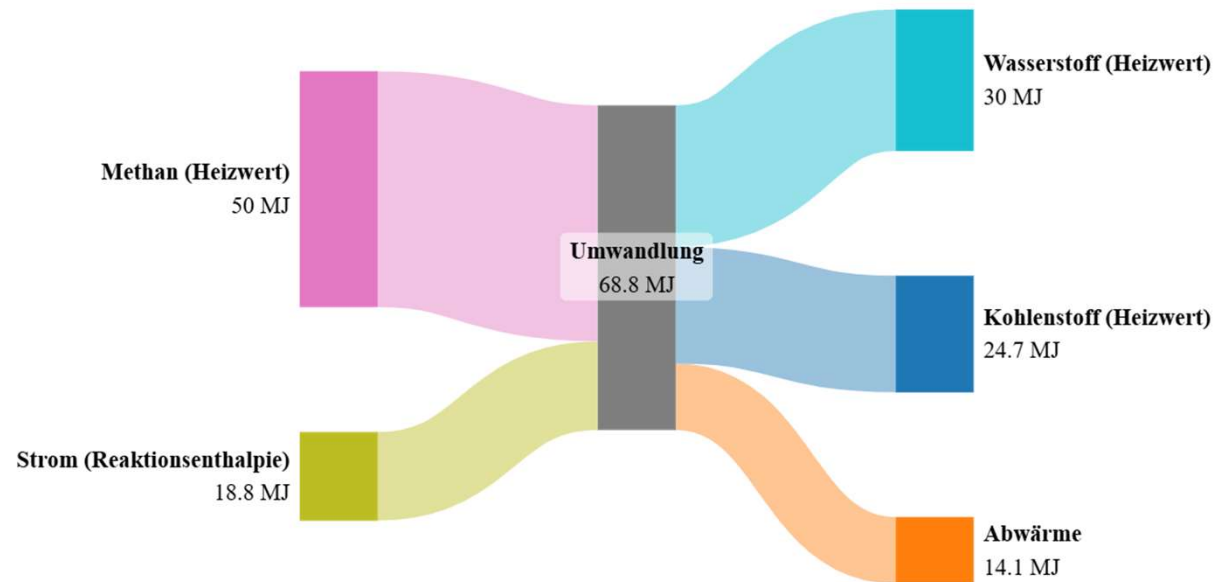
Quellen: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021); EWI, dena (2021); BDI, BCG (2021); FZ Jülich, Stolten et al. (2021)

# Sankeydiagramm- ideale Umwandlung von 1 kg Methan

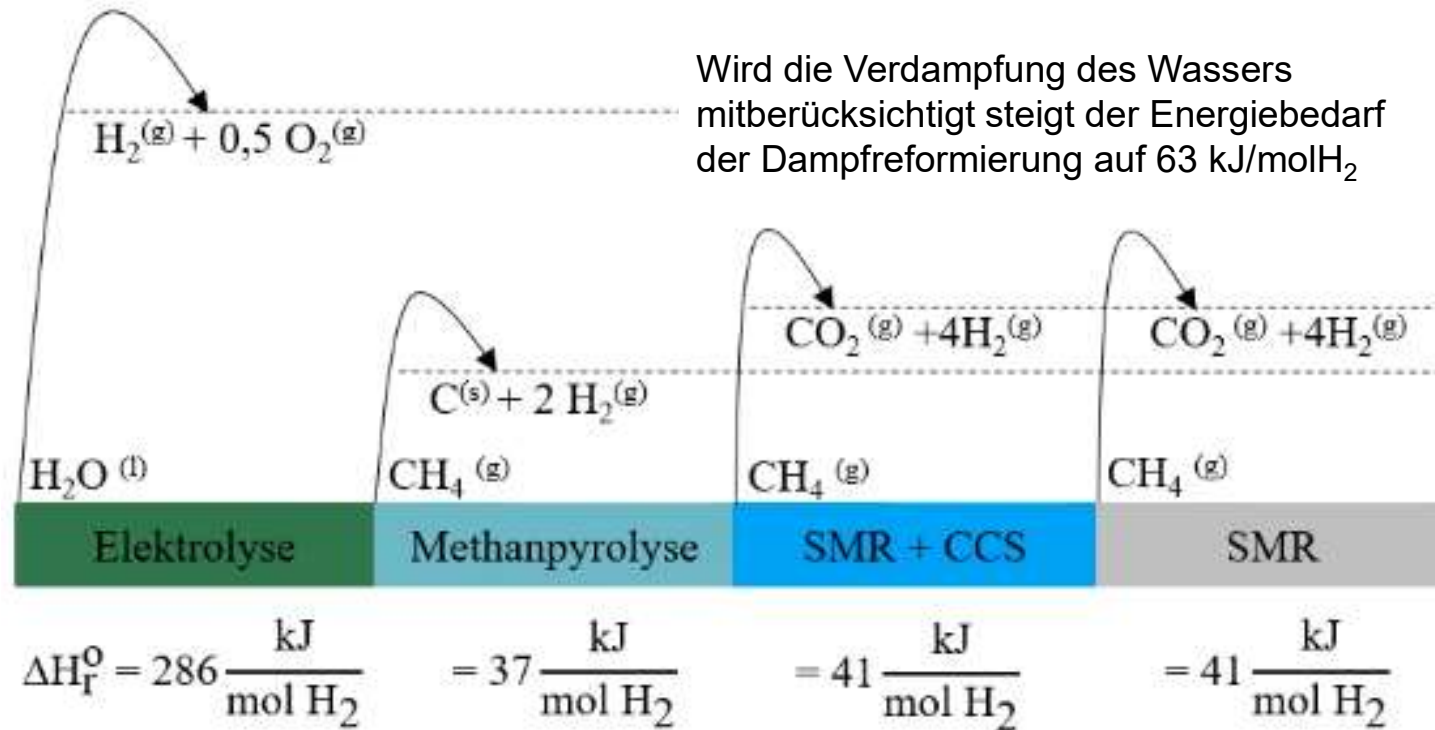




# Sankeydiagramm- Reale Umwandlung von 1 kg Methan (anhand von Annahmen)

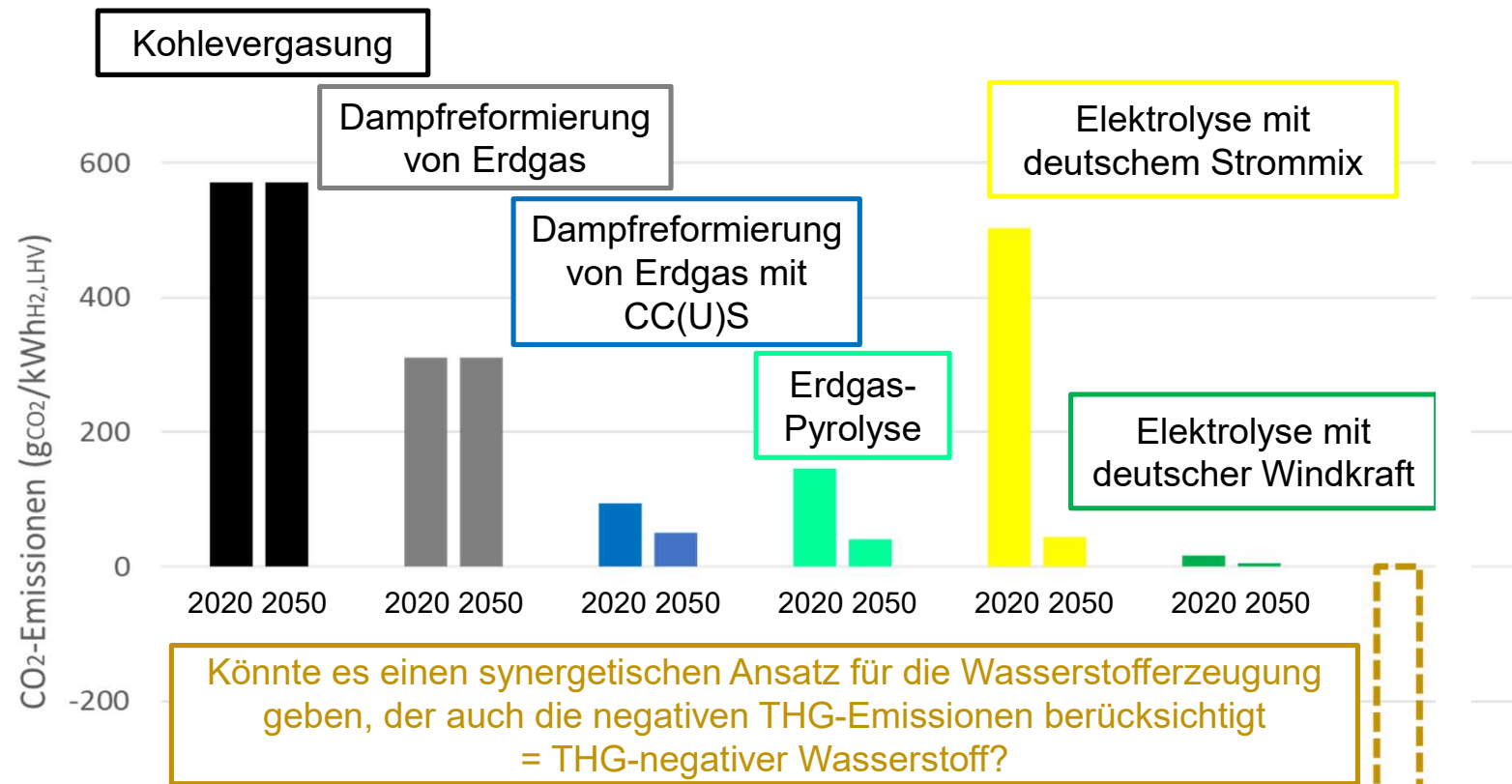


# Energiebedarf Wasserstoffherstellung



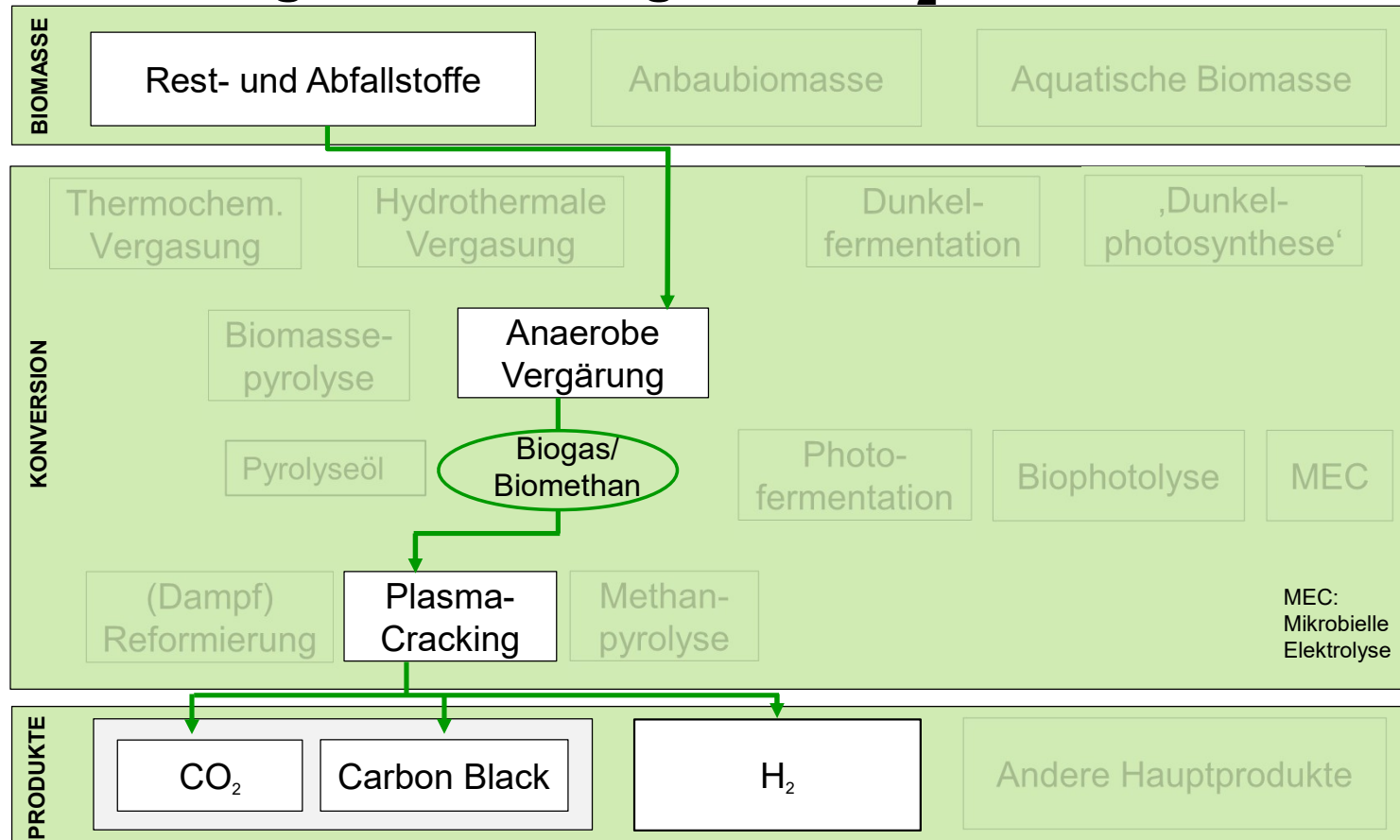
Quelle: Schneider, S., Verfahrensübersicht zur Erzeugung von Wasserstoff durch Erdgas-Pyrolyse, 2020

# Die Farben von Wasserstoff



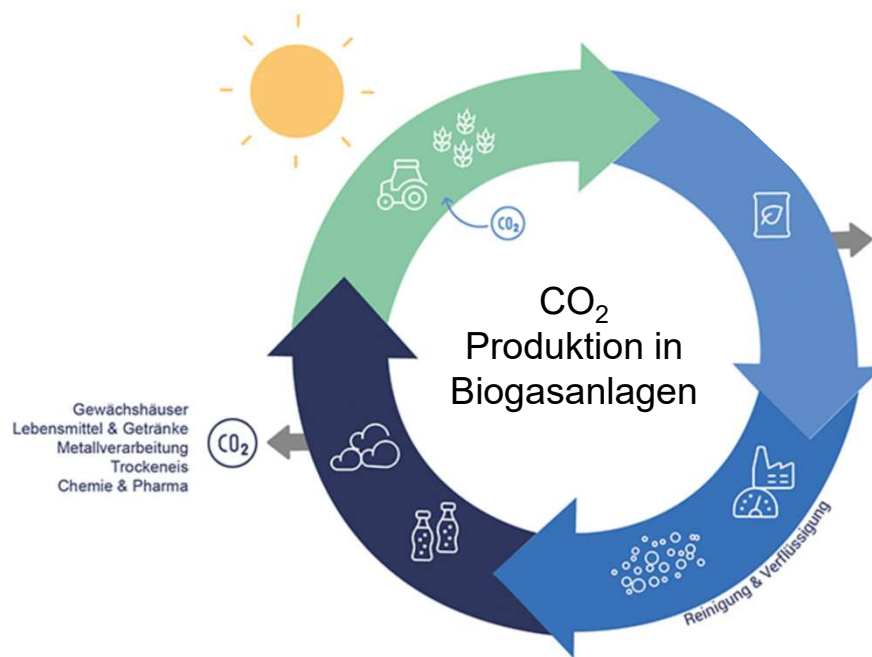
Quellen: Eigene Darstellung basierend auf Heneka et al., DVGW (2022); SRU (2021)

# Übersicht der Wege zu THG-negativem H<sub>2</sub>



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf DBFZ, Dögnitz et al. (2022)

# CO<sub>2</sub> als Rohstoff in der zirkulären Wertschöpfung



JF0

- Biogenes CO<sub>2</sub> kann anstelle von fossilem CO<sub>2</sub> verwendet werden
- Abnehmer sind besonders die Lebensmittel- und Chemieindustrie
- In Zukunft ist auch die Herstellung von fossilen Kraftstoffen (z.B. Sustainable Aviation Fuels) auf CO<sub>2</sub> angewiesen

Quelle: CropEnergies AG., Biogenes CO<sub>2</sub> . Für die Lebensmittel- und Pharmaindustrie , 2021

**JFO**

Dürfen externe Grafiken überhaupt verwendet werden.

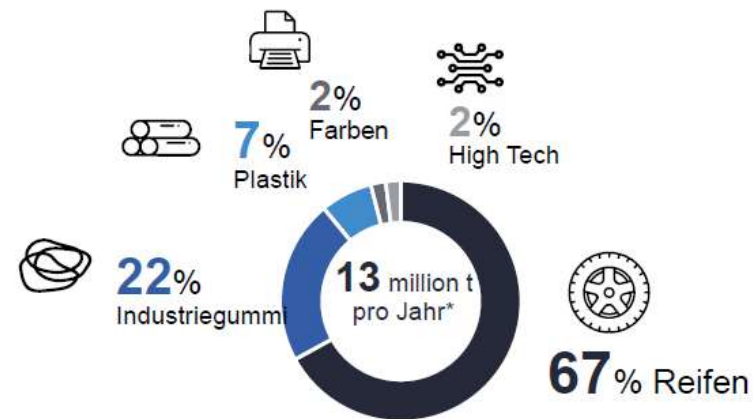
Jonas David Frieg (jfrieg); 2025-05-26T14:43:47.371

# Carbon Black als Synthetischer Rohstoff

## Hauptanwendungen von Carbon Black nach Branchen

JF0

- Carbon Black wird als Grundstoff in verschiedenen Industrien verwendet
- Negative CO<sub>2</sub>-Emissionen ergeben sich bei der Verwendung von Bio-Methan sowie der Substitution von fossilen Grundstoffen durch Carbon Black z.B. bei Kunststoffen oder Baustoffen
- Auch eine Einlagerung von Carbon Black (bei Überangebot) ist möglich



### Zukünftige Anwendungen:

Beton, Asphalt, Kaffeekapseln, Bodenverbesserung, Biokohle...

Quelle: Hanke, J., Methan-Plasmalyse zur CO<sub>2</sub>-freien Wärmeerzeugung im Hotel Moa Berlin, 2021

JF0

Hier ebenso

Jonas David Frieg (jfrieg); 2025-05-26T14:44:08.959



## Wirtschaftlichkeit des Verfahrens: Weitere Annahmen

Lebensdauer Mikrowelle & Membran	10 Jahre
Sonstige Lebensdauern	20 Jahre
Betriebskosten	40.000 €/Jahr
Biogasbedarf	3.988.000 kWh/a
Volllaststunden	8.000 h/Jahr
Methanvolumenstrom	50 Nm <sup>3</sup> /h
Umwandlungsquote	100 %
Betrachtungszeitraum	20 Jahre
Inflationsrate	2 %
Zinssatz des Eigenkapitals	6 %
Kapitalanteil des Fremdkapitals am Gesamtkapital	50 %
Zinssatz des Fremdkapitals	7 %