

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

Projekt H2MikroPlas

Statuskonferenz Bioenergie 2025

02.12.2025

Seite 1

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

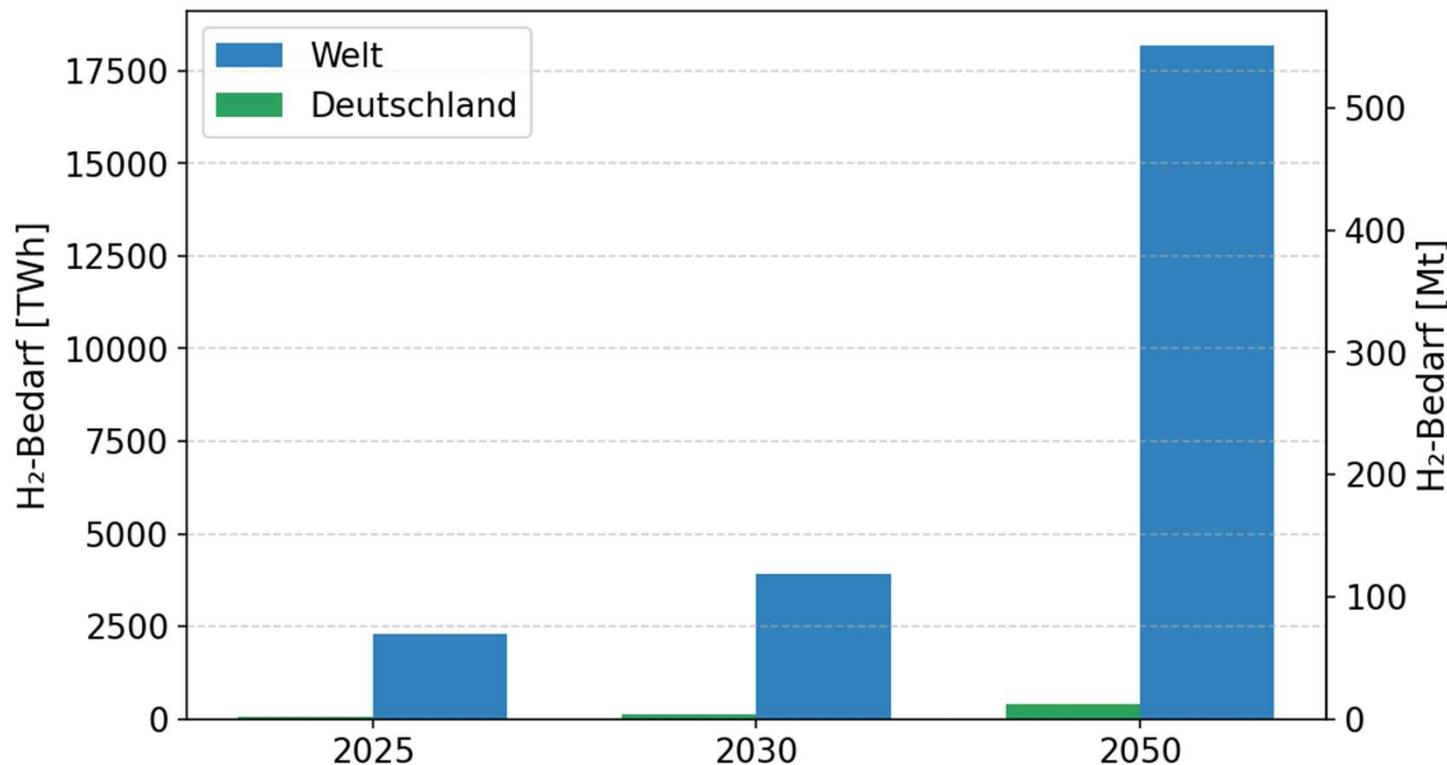


EFRE/JTF  
Programm  
NRW 21–27

cire  
Cologne Institute for  
Renewable Energy

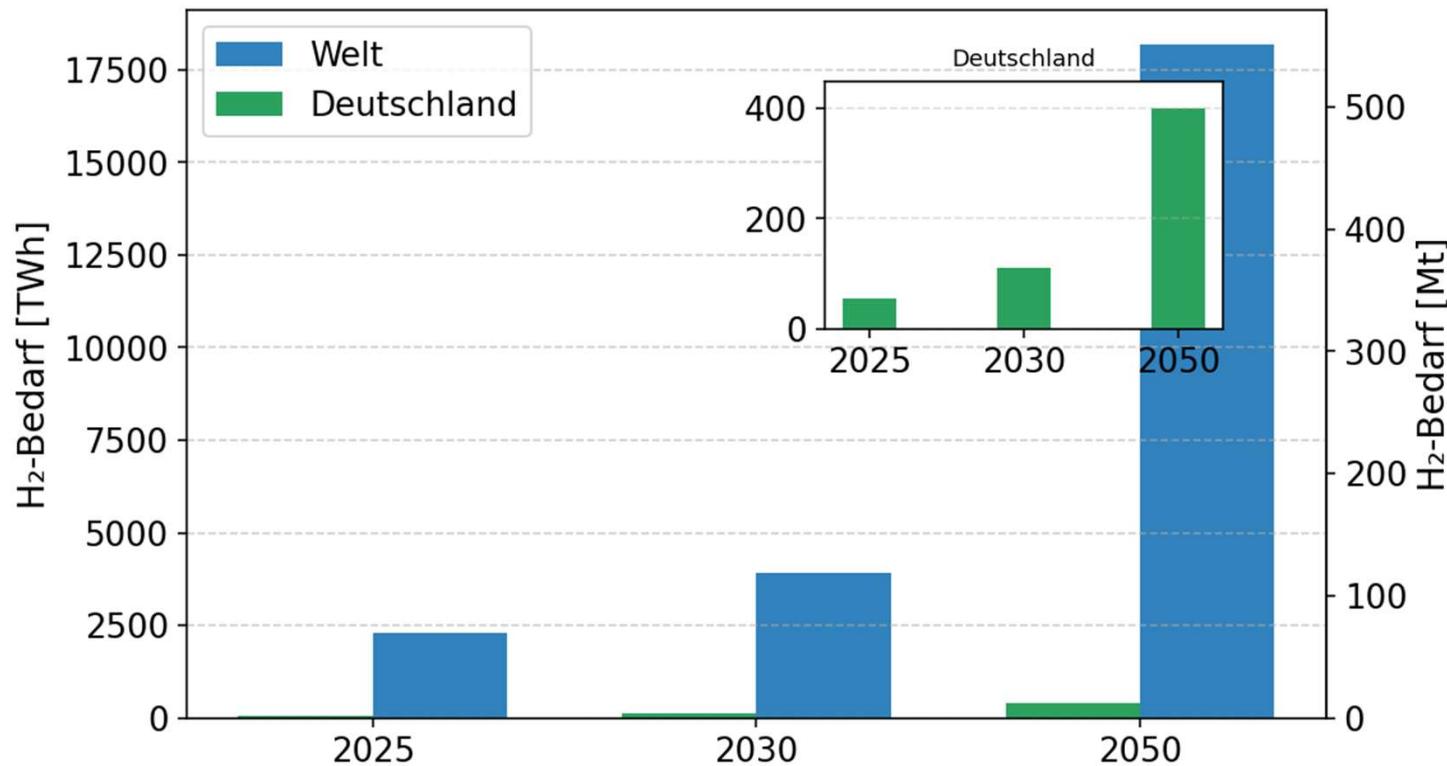
Technology  
Arts Sciences  
TH Köln

# Entwicklung der Wasserstoffnachfrage



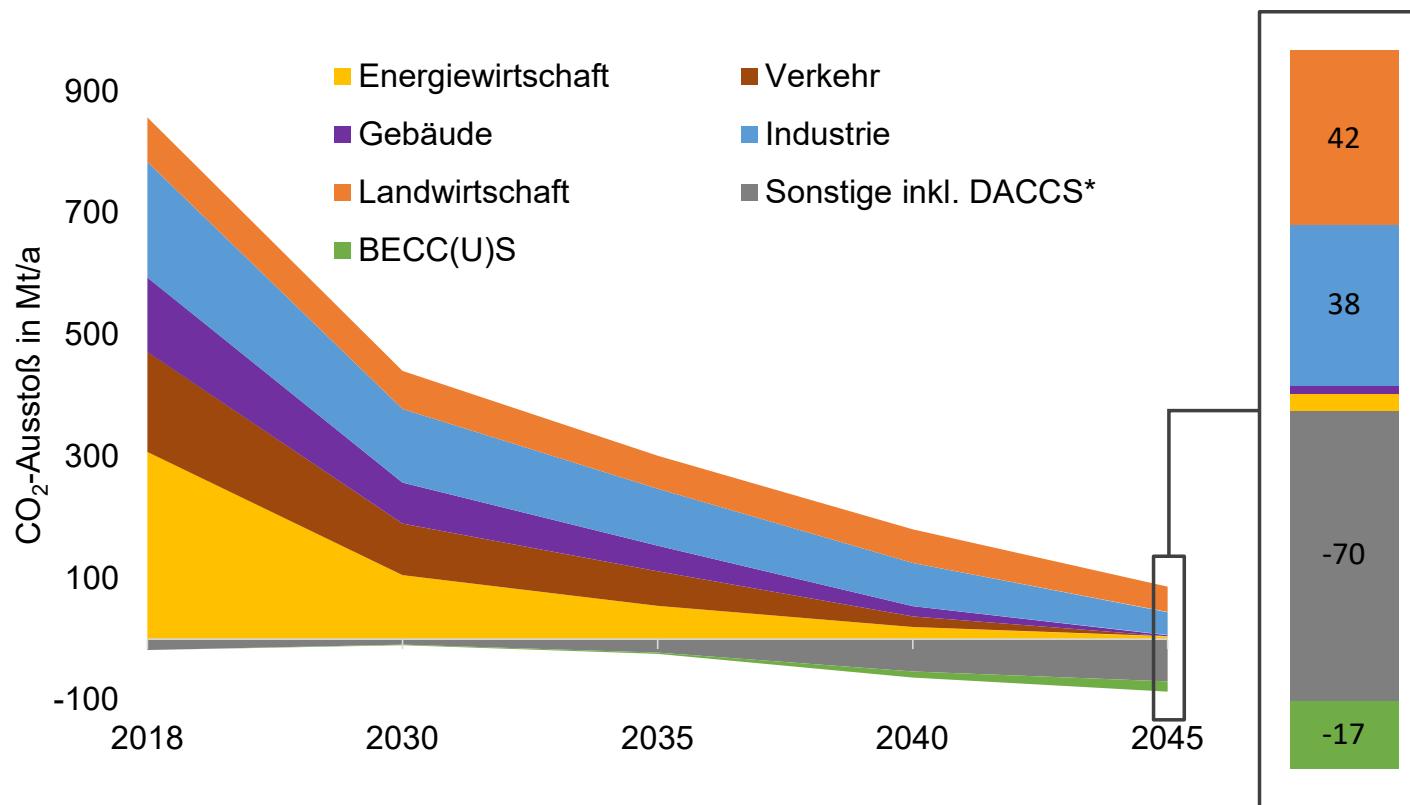
Quellen: Eigene Darstellung basierend auf Wirtschaftsdienst (2021), DWV (2024), PwC (2021)

# 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

**Plasma:**

4. Aggregatzustand,  
ionisiertes Gas



**Nebenprodukt:**

Fester Kohlenstoff (Solid Carbon), zusätzlicher Erlös durch Verkauf



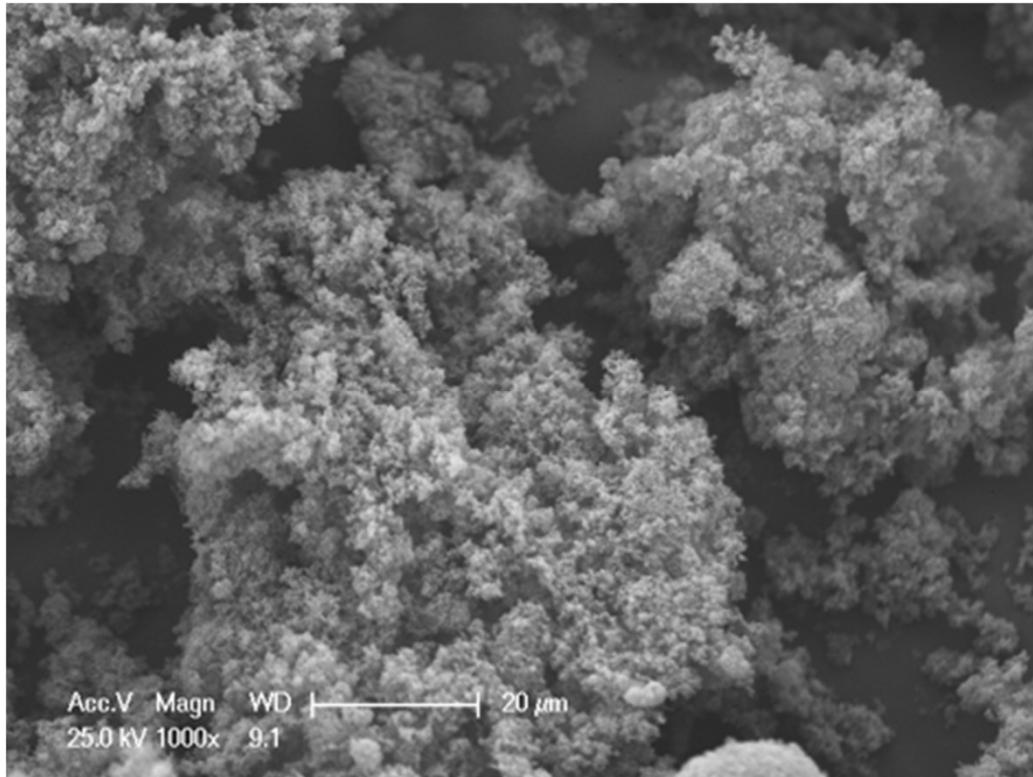
**Theoretischer Strombedarf des Crackens:**  
5,2 kWh Strom pro kg Wasserstoff



**Ökologisch:**

Negative CO<sub>2</sub>-Emissionen möglich

# Nebenprodukt: Solid Carbon (Fester Kohlenstoff)



Quelle: axysis 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



BROCKHAUS  
UMWELT

ayxesis  
GmbH

## Assoziierte Partner

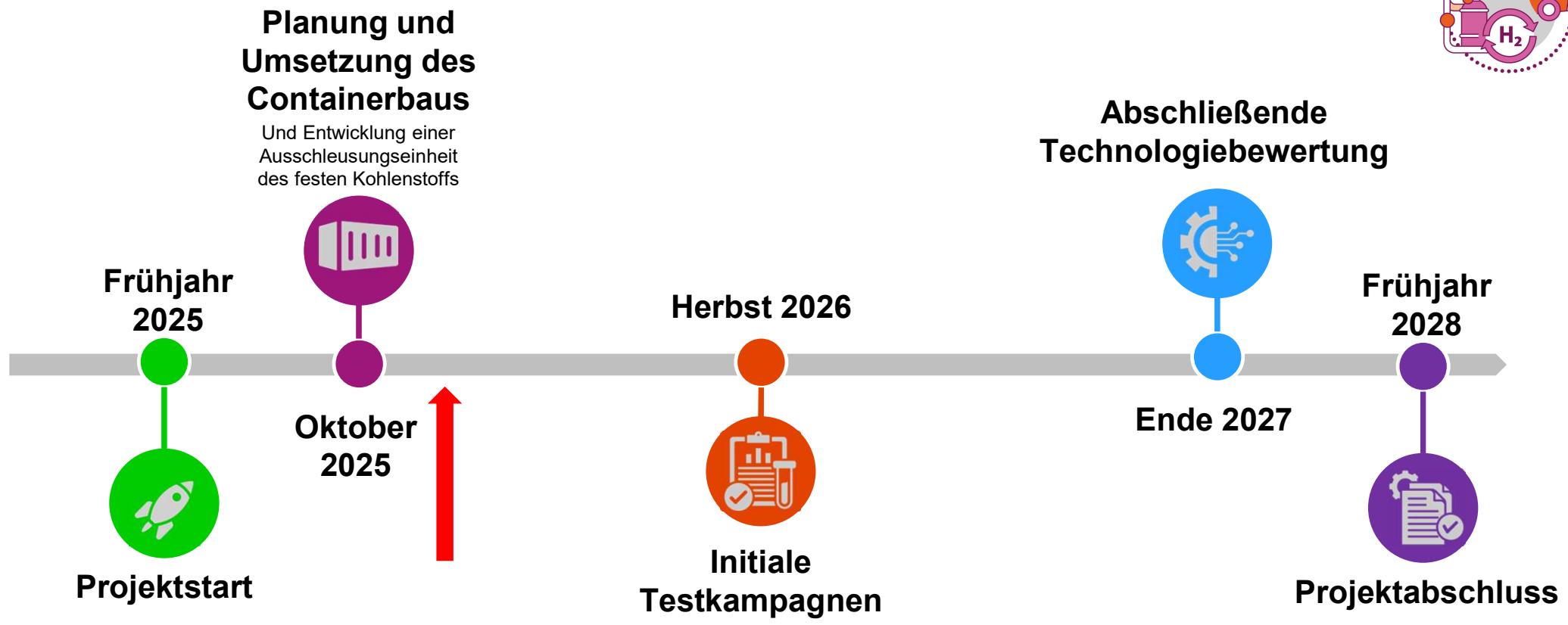


**Förderkennzeichen:** EFRE-20800787  
**Laufzeit:** 01.04.2025 – 31.03.2028

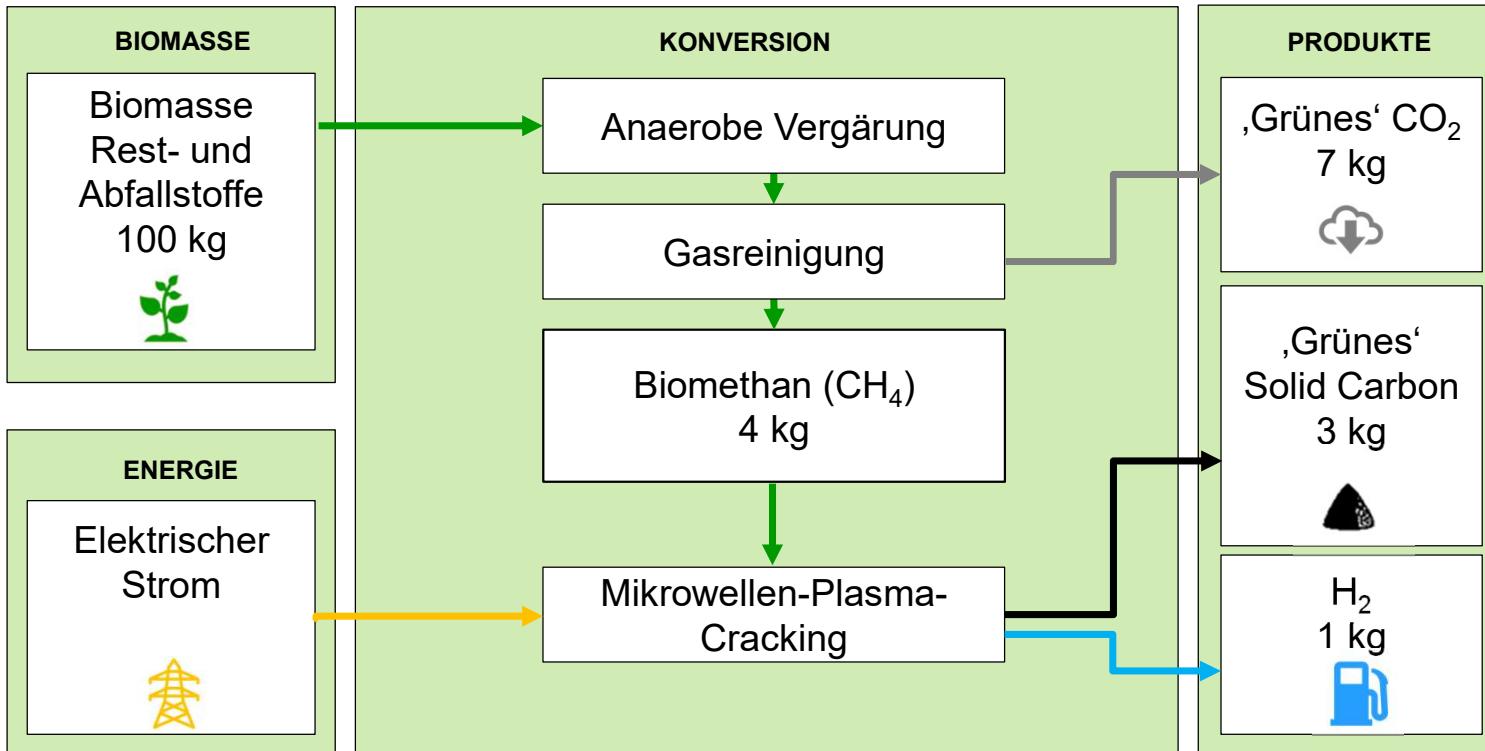
## Ziele:

- 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



# Wasserstofferzeugung aus Abfall durch Mikrowellen-Plasma-Cracking



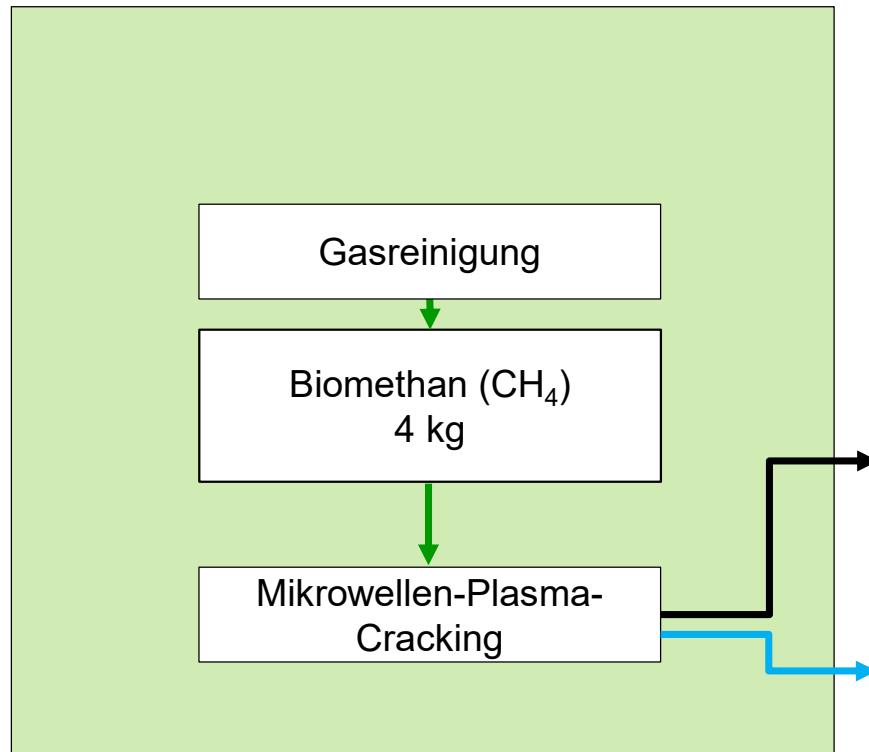
→ **CO<sub>2</sub>**: Einsatz in der Chemie- oder Lebensmittelindustrie, oder als CCS

→ **Solid Carbon**: Einsatz in der Herstellung von Batterien, Kunststoffen, Reifen etc. oder in der Landwirtschaft

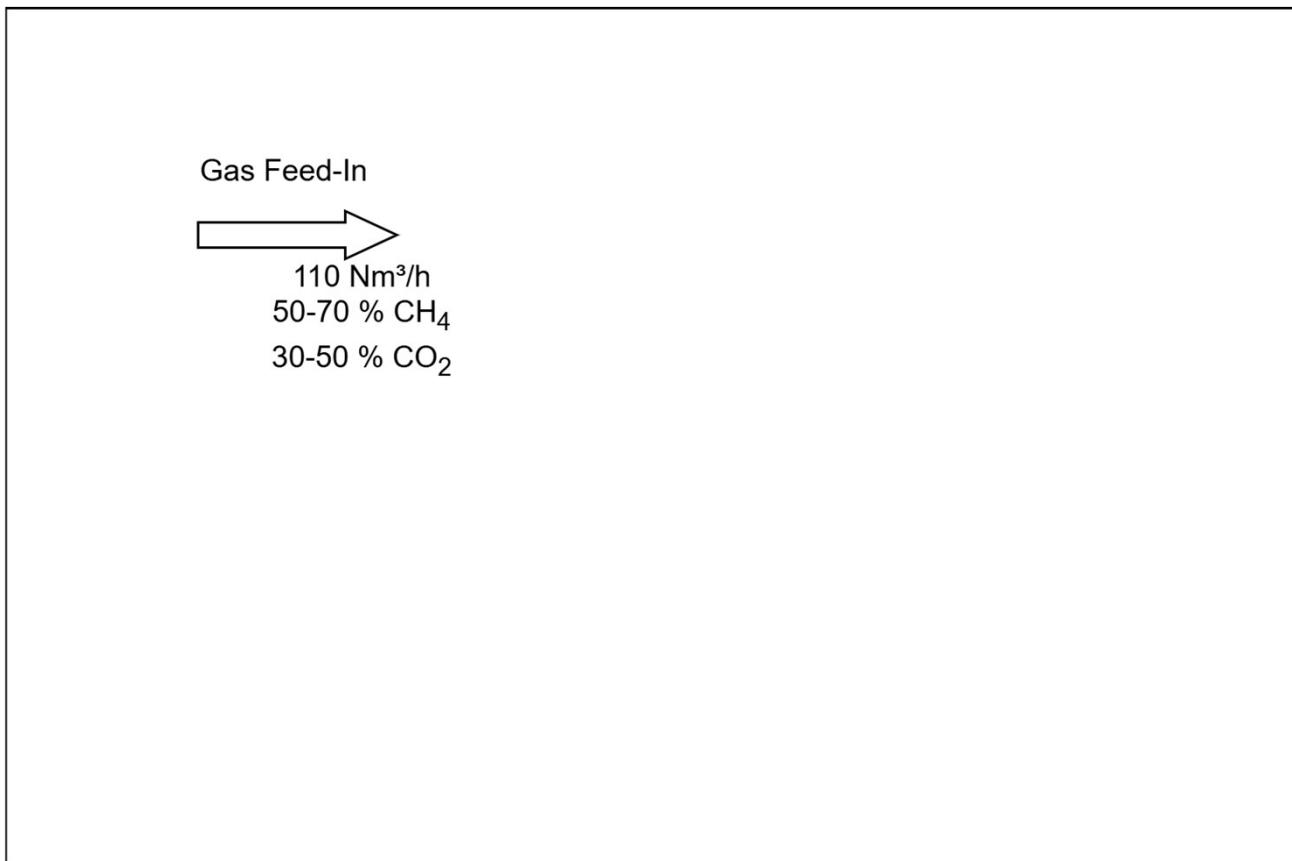
→ **Wasserstoff**: Einsatz im Verkehr oder der Industrie

(vereinfachte, ideale Umwandlung)

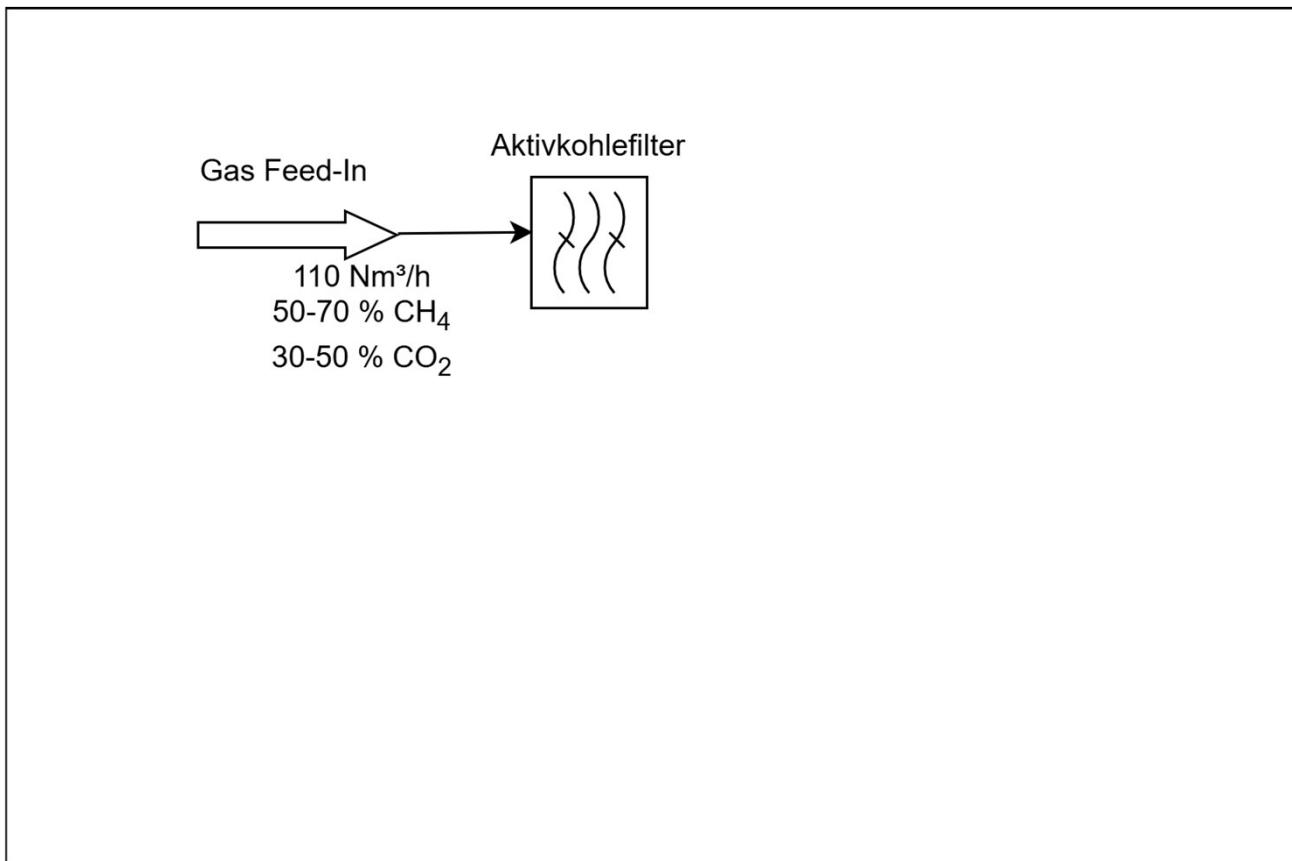
# Wasserstofferzeugung aus Abfall durch Mikrowellen-Plasma-Cracking



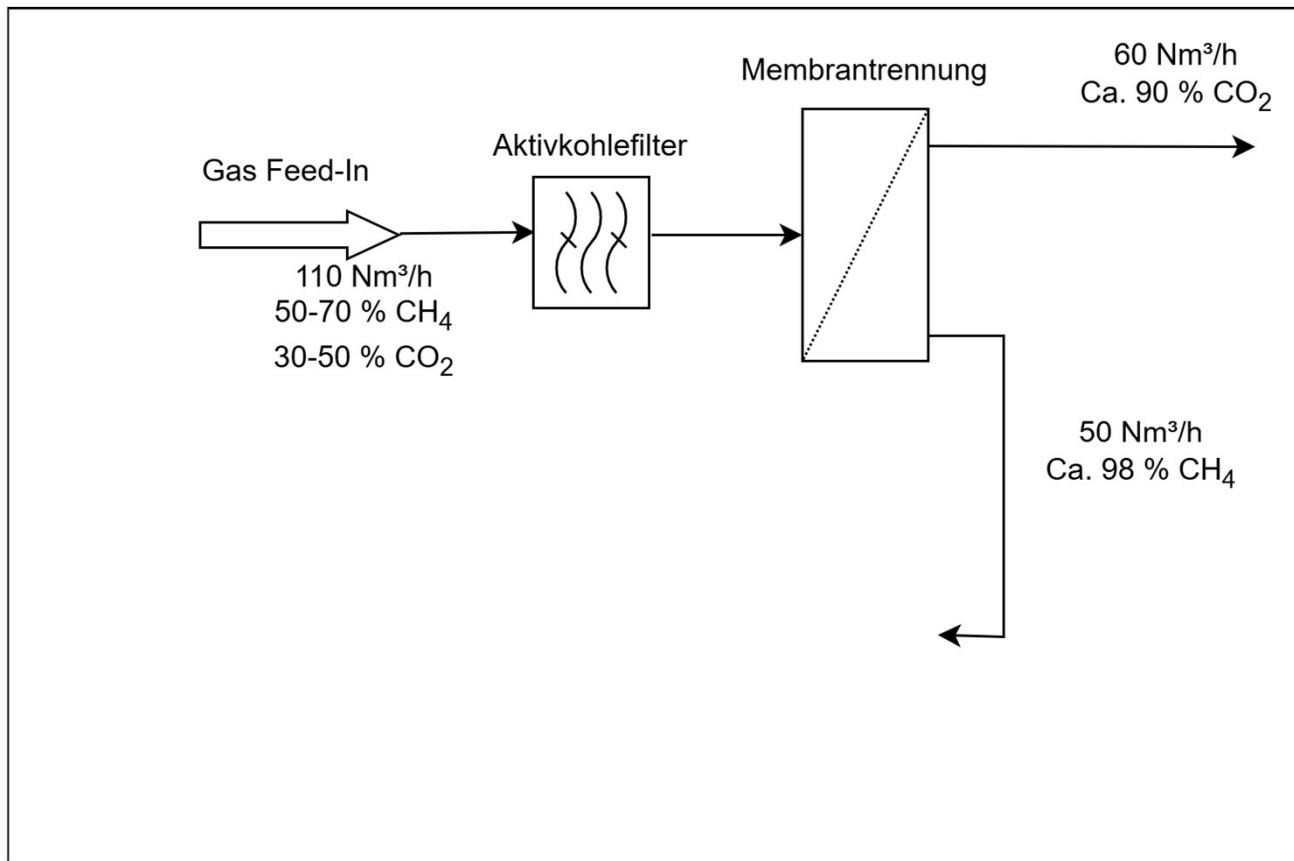
# Containerlösung H2MikroPlas



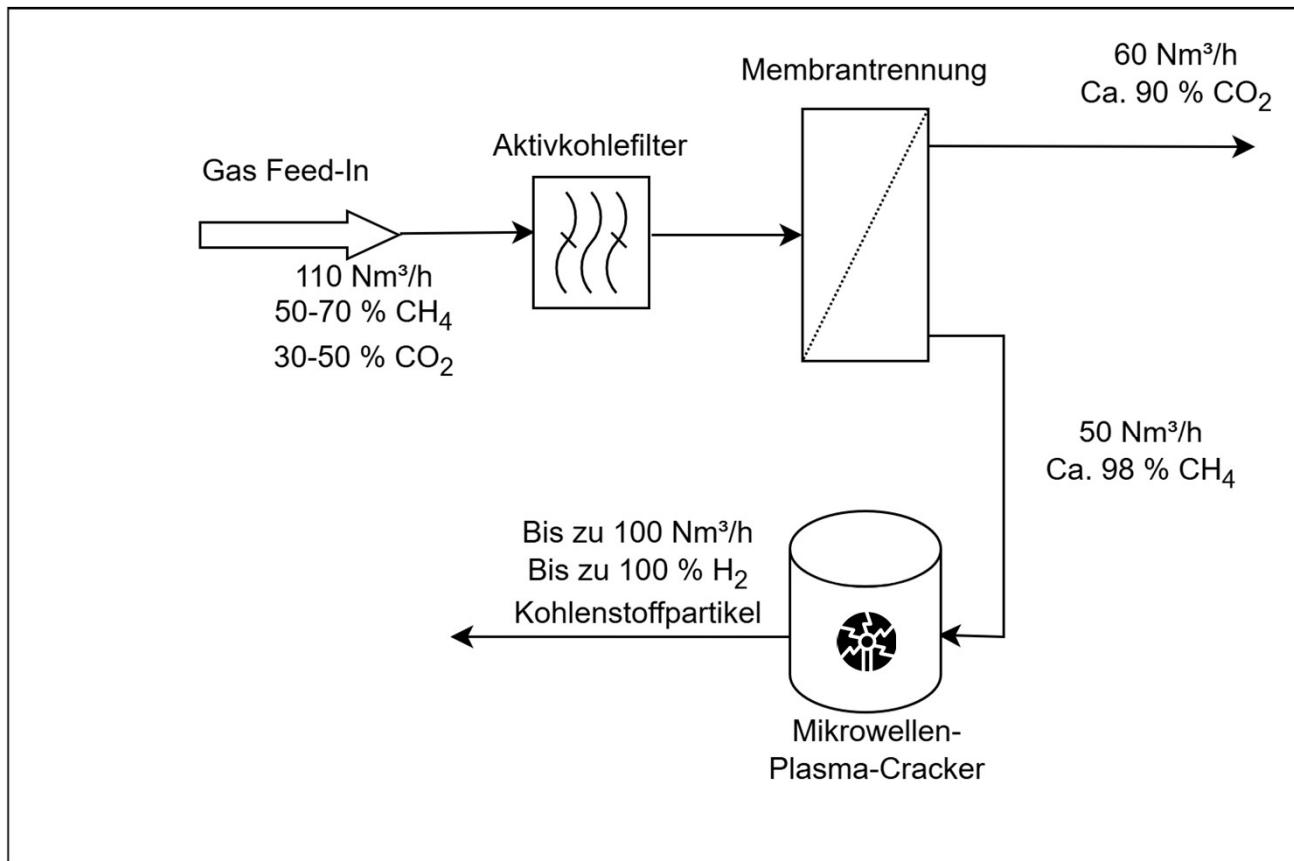
# Containerlösung H2MikroPlas



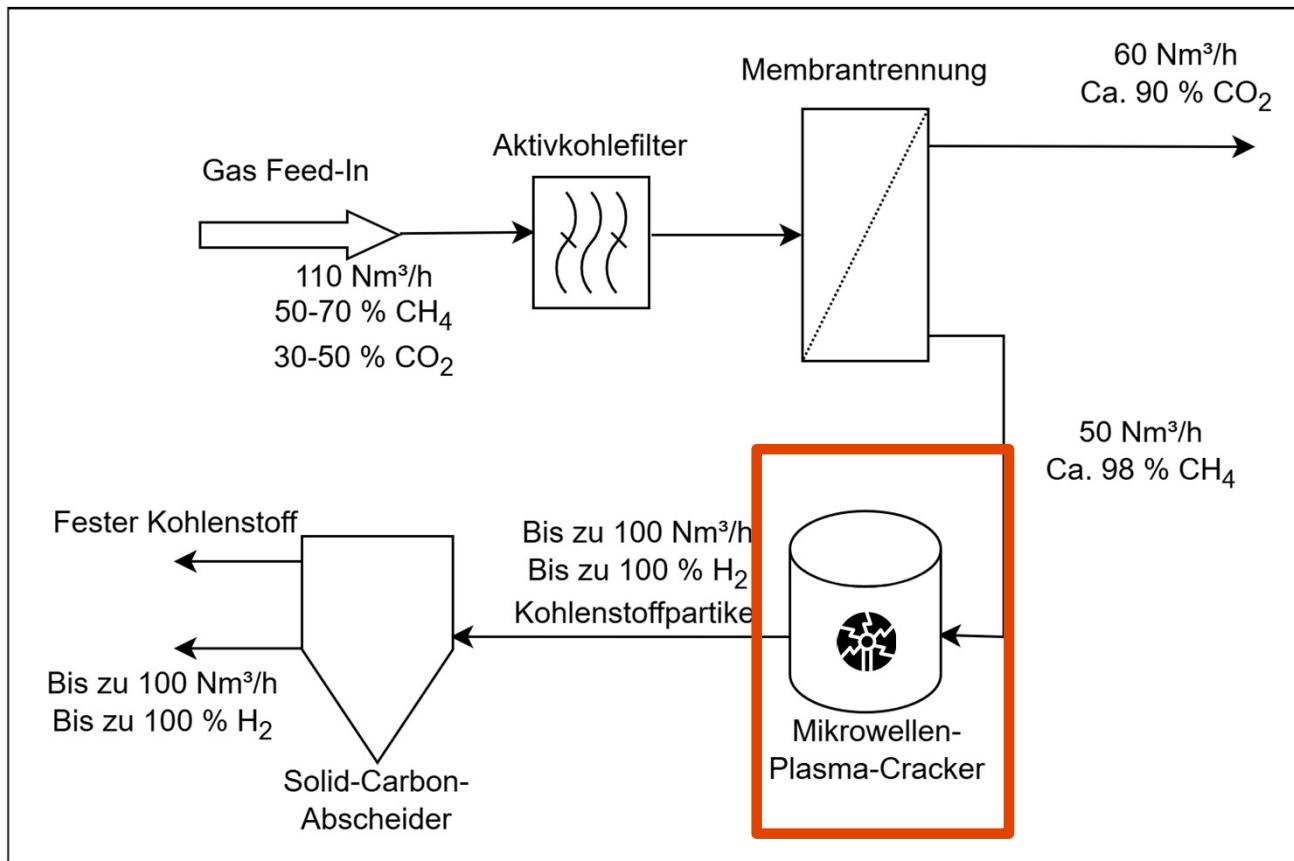
# Containerlösung H2MikroPlas



# Containerlösung H2MikroPlas



# Containerlösung H2MikroPlas



# Der CYRANNUS-Mikrowellen-Plasma-Cracker ®



Quelle: iplas GmbH

02.12.2025

Konrad Empacher

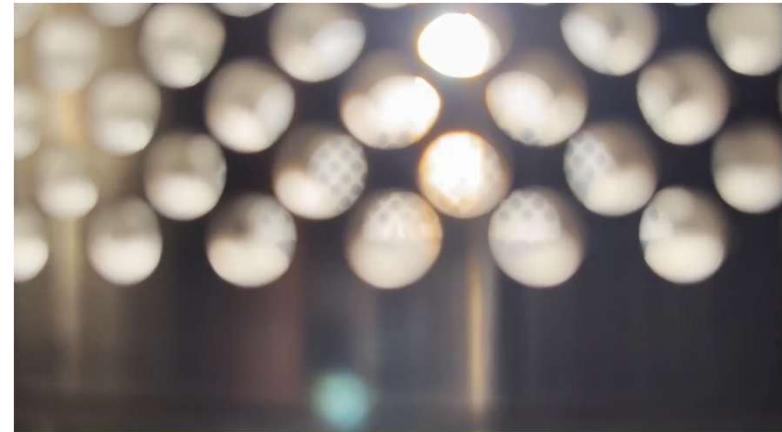
Technische Hochschule Köln

Seite 16

Cologne Institute for Renewable Energy

Technology  
Arts Sciences  
TH Köln

# Der CYRANNUS-Mikrowellen-Plasma-Cracker ®



Quelle: iplas GmbH

02.12.2025

Konrad Empacher

Technische Hochschule Köln

Seite 17

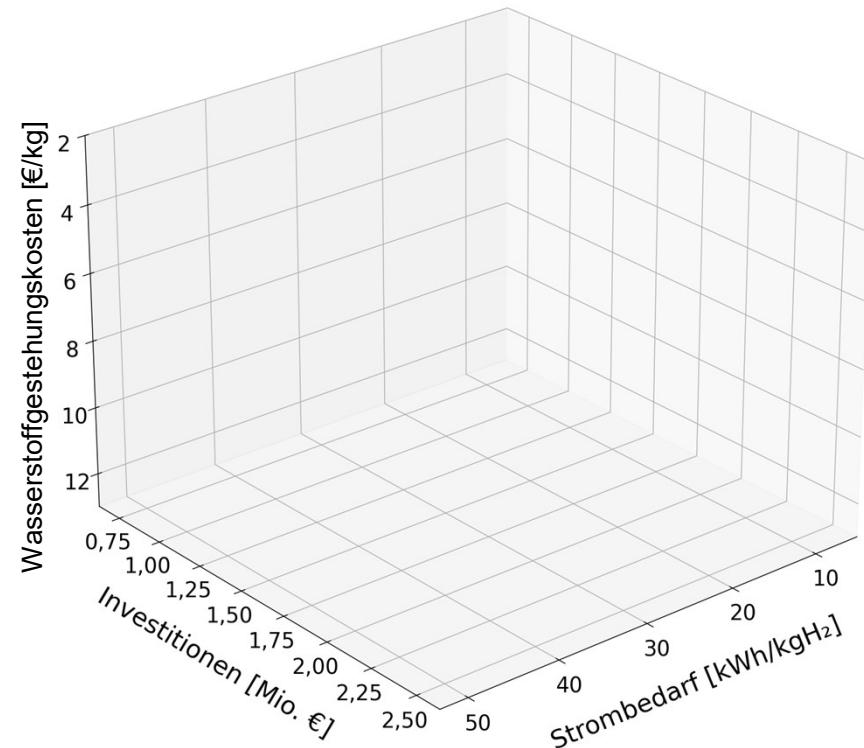
Cologne Institute for Renewable Energy

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

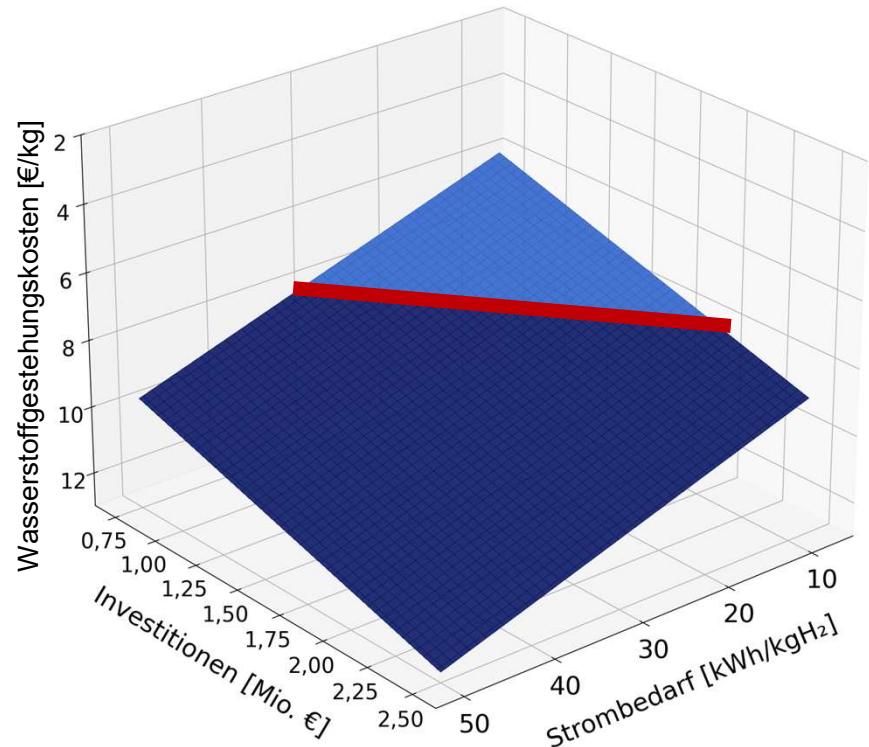


# Wirtschaftlichkeit des Verfahrens: Parametervariation

## Annahmen in diesem Szenario:

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

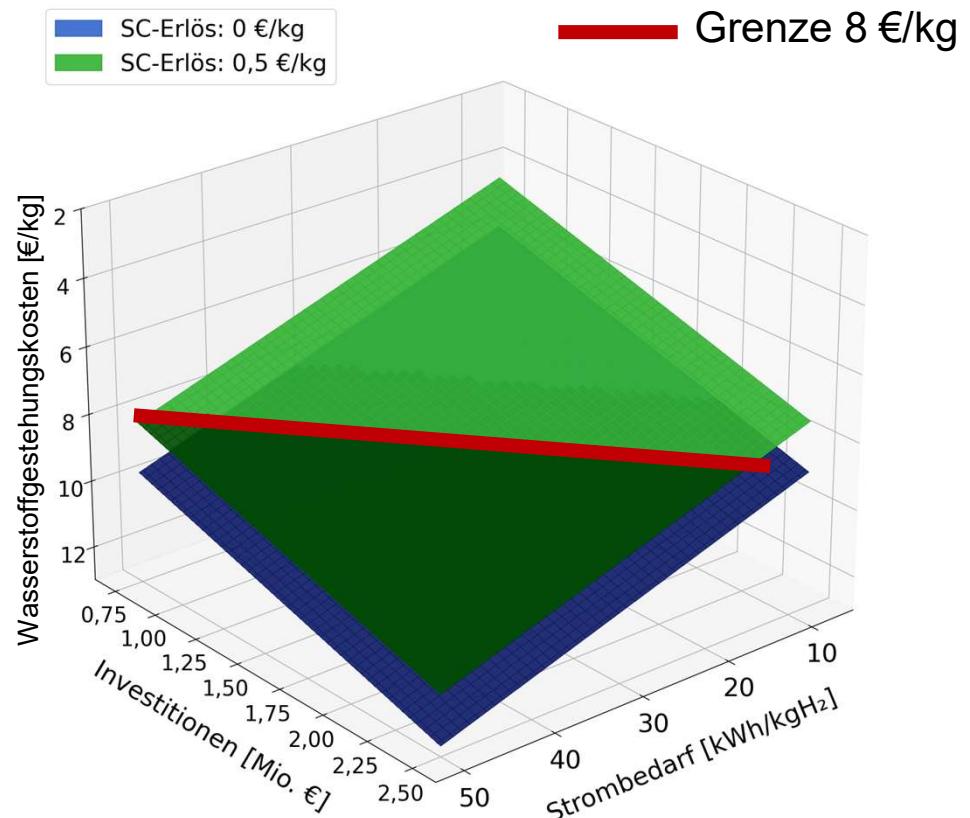
SC-Erlös: 0 €/kg      Grenze 8 €/kg



# Wirtschaftlichkeit des Verfahrens: Parametervariation

## Annahmen in diesem Szenario:

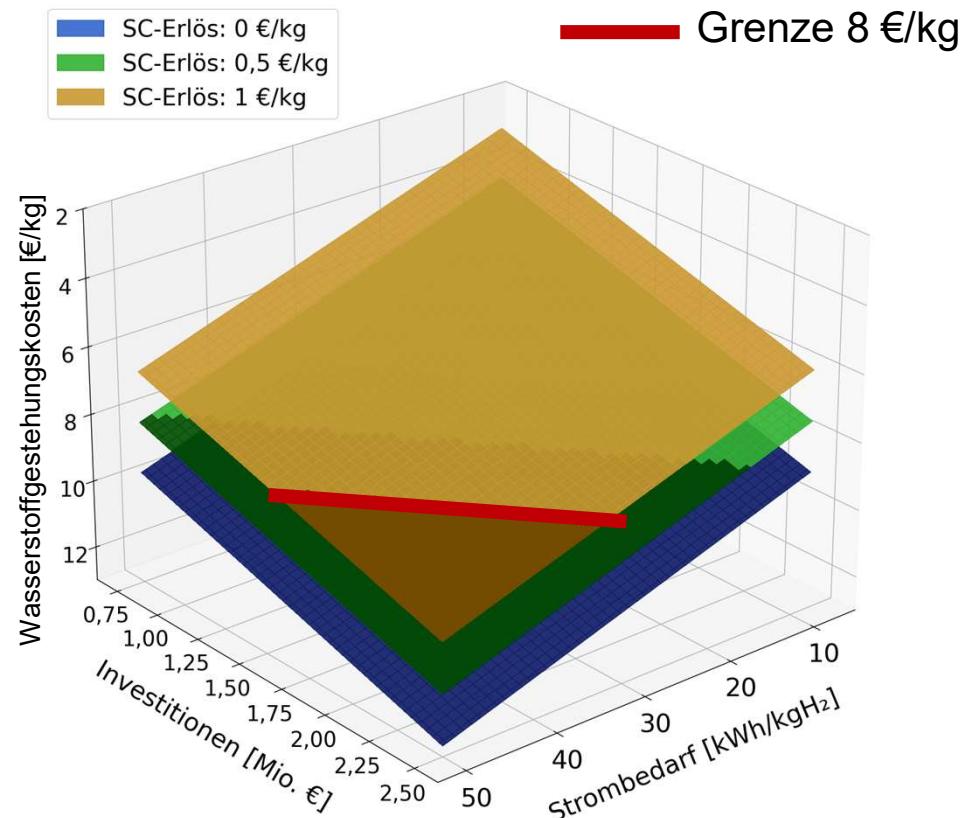
- Stromkosten: 9 ct/kWh
- Biogaskosten: 6 ct/kWh
- Investitionen und Strombedarf werden variiert



# Wirtschaftlichkeit des Verfahrens: Parametervariation

## Annahmen in diesem Szenario:

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

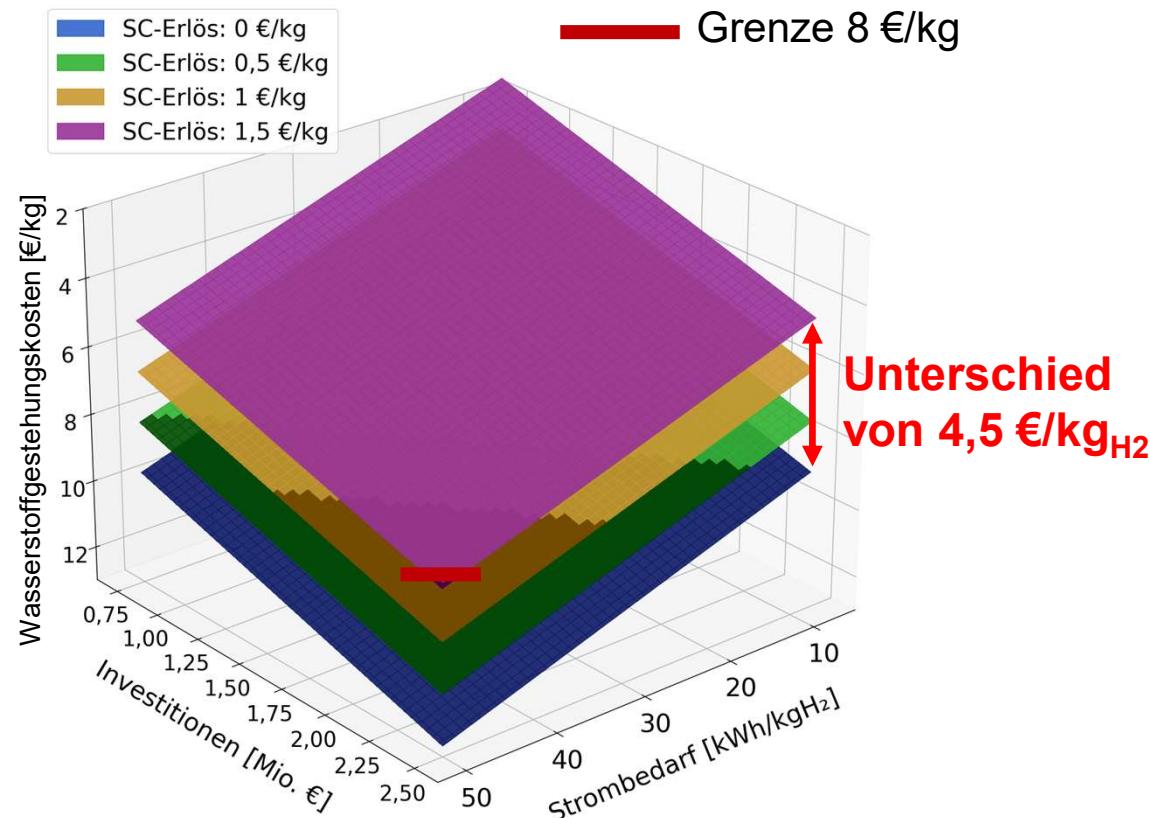


# Wirtschaftlichkeit des Verfahrens: Parametervariation

## 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?

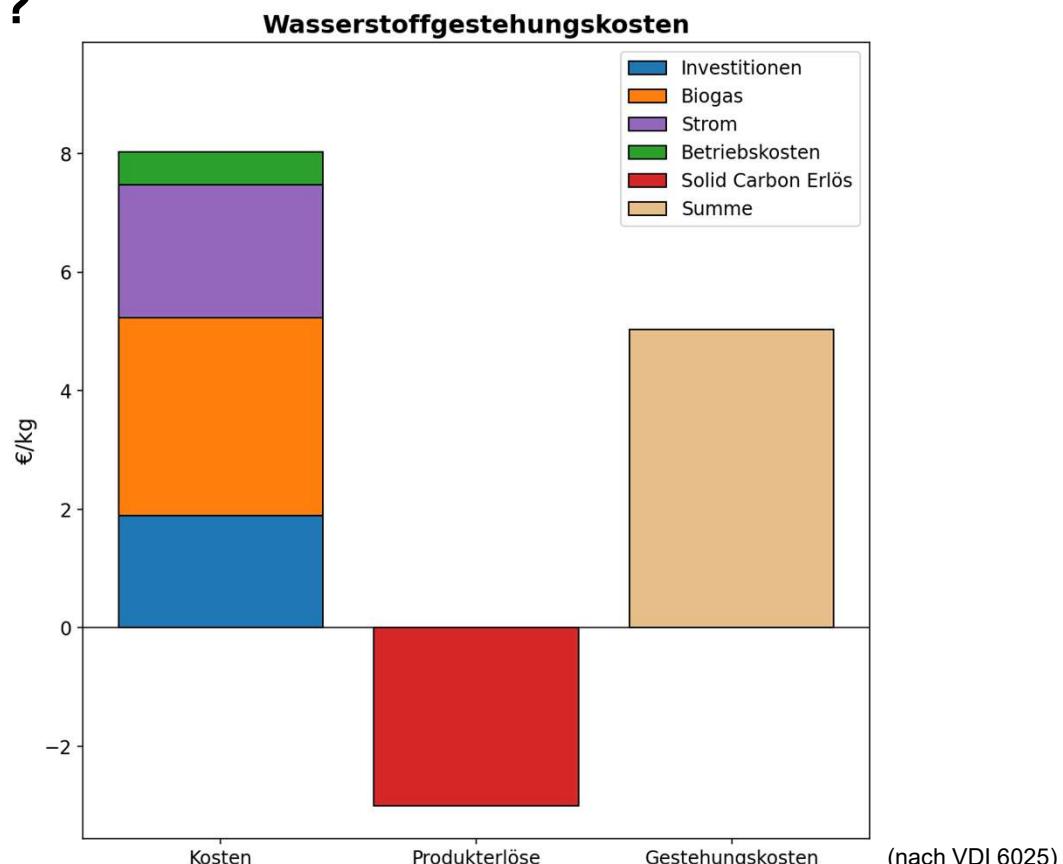
**Annahmen (nicht validiert) in diesem Szenario:**

- 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](mailto:Konrad.empacher@th-koeln.de)

## Dr. Patrick Beuel

[Patrick.beuel@th-koeln.de](mailto:Patrick.beuel@th-koeln.de)

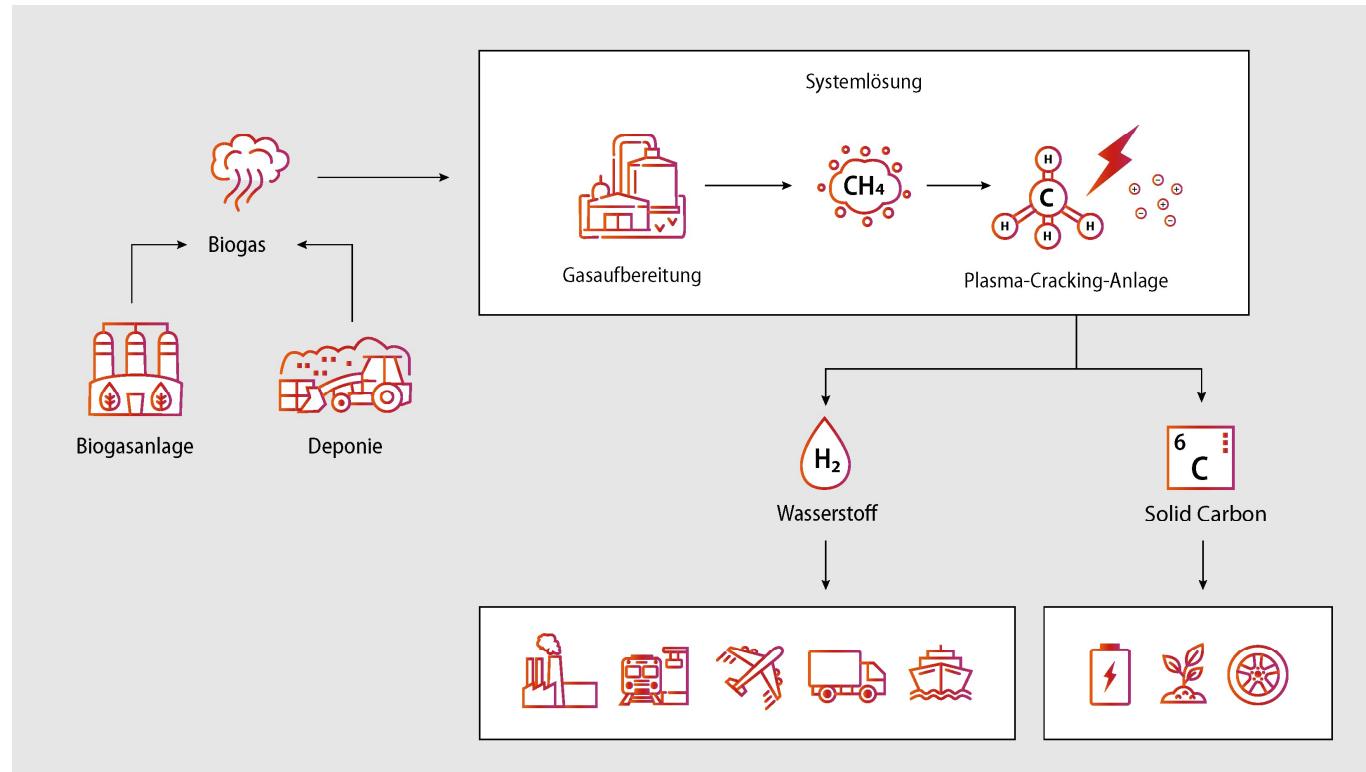
## Prof. Dr. Peter Stenzel

[Peter.stenzel@th-koeln.de](mailto:Peter.stenzel@th-koeln.de)

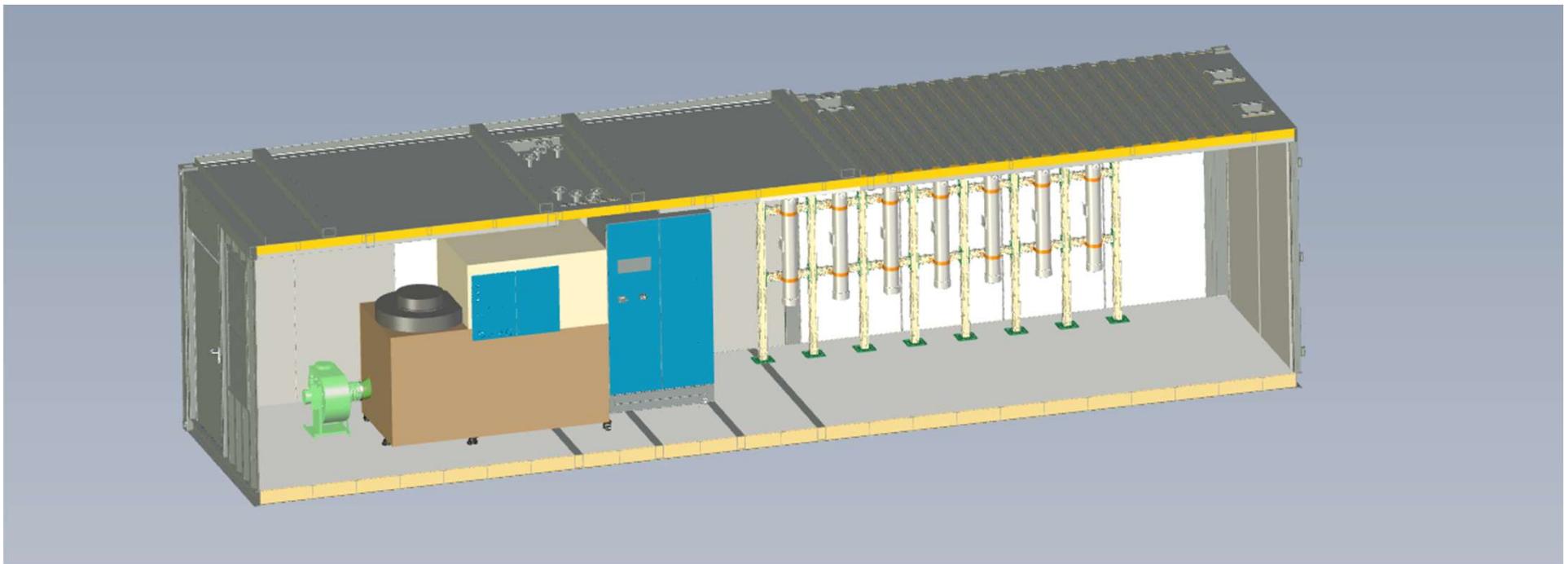
Technology  
Arts Sciences  
TH Köln



# Wasserstofferzeugung durch Mikrowellen-Plasma-Cracking regenerativer Gase

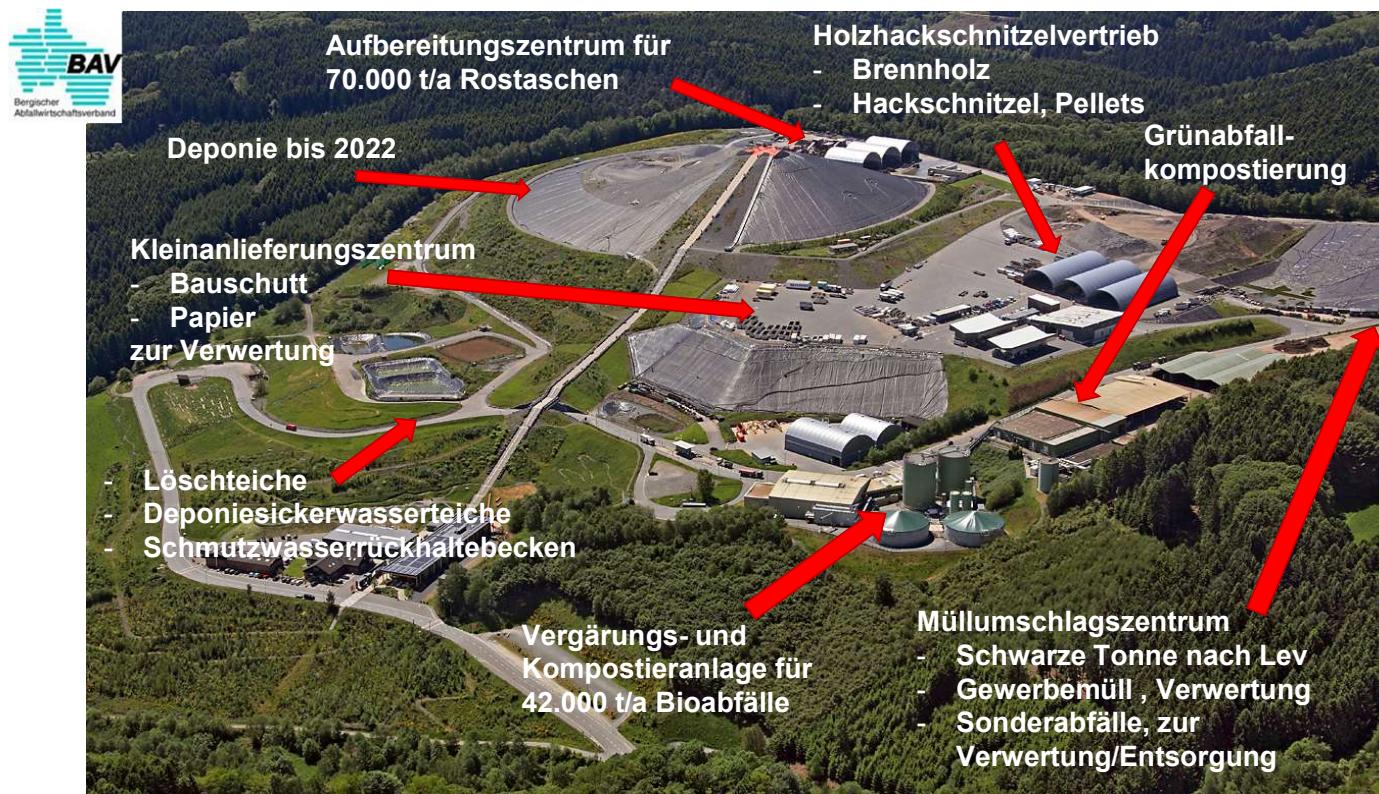


# Containerentwurf



Quelle: Brockhaus

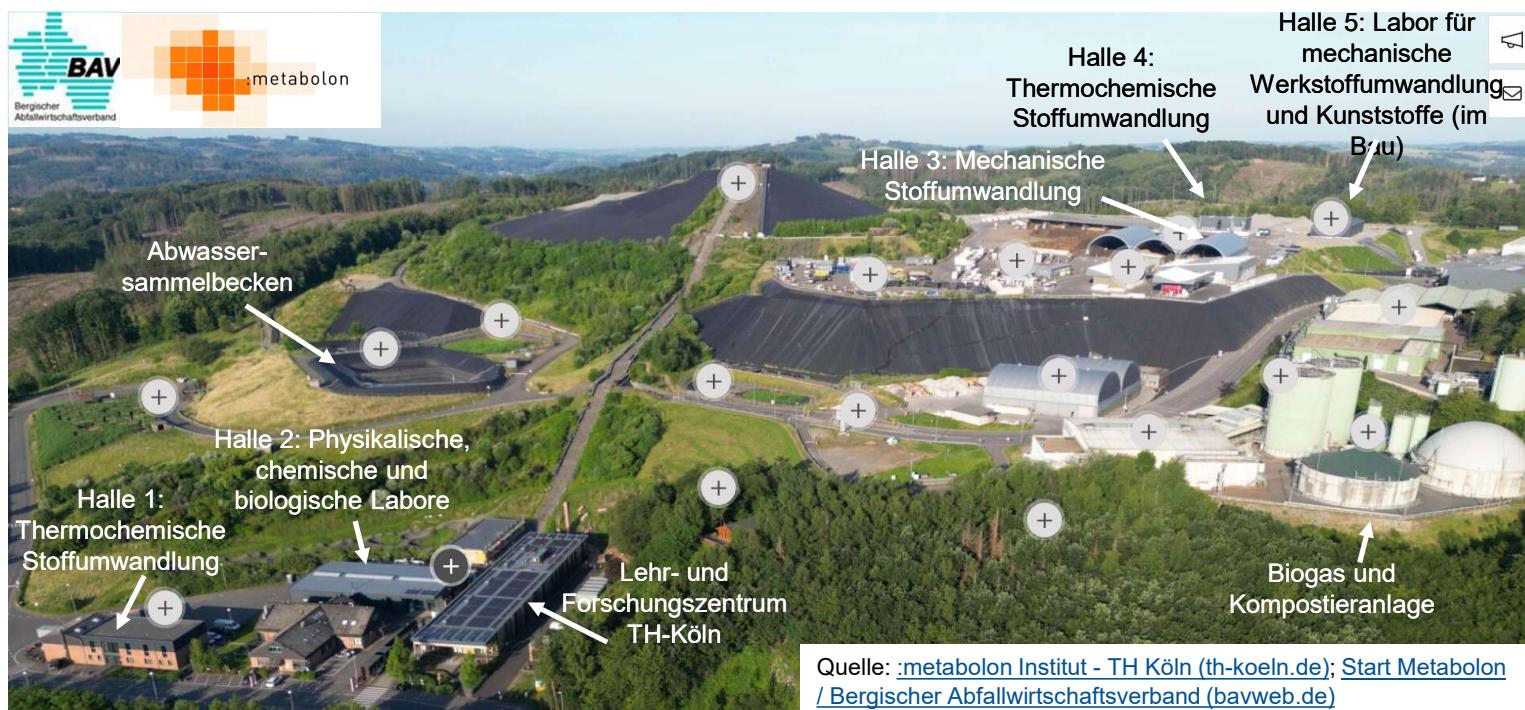
# Zentraldeponie Leppe – Deponie, Bildungs-, Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort



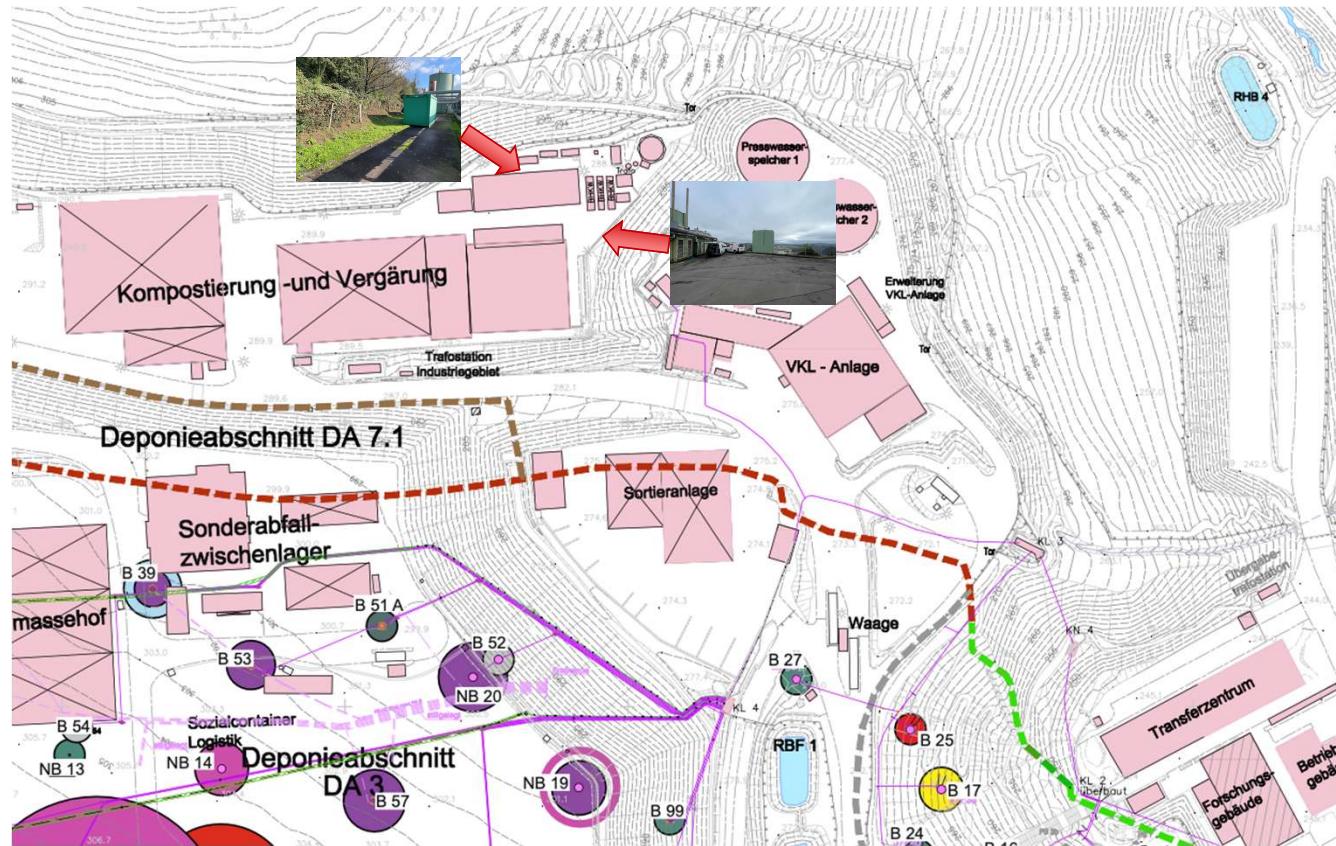
Quelle: BAV; [Start Metabolon / Bergischer Abfallwirtschaftsverband \(baweb.de\)](#)

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

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



# Geplante Umsetzung am Forschungsstandort :metabolon

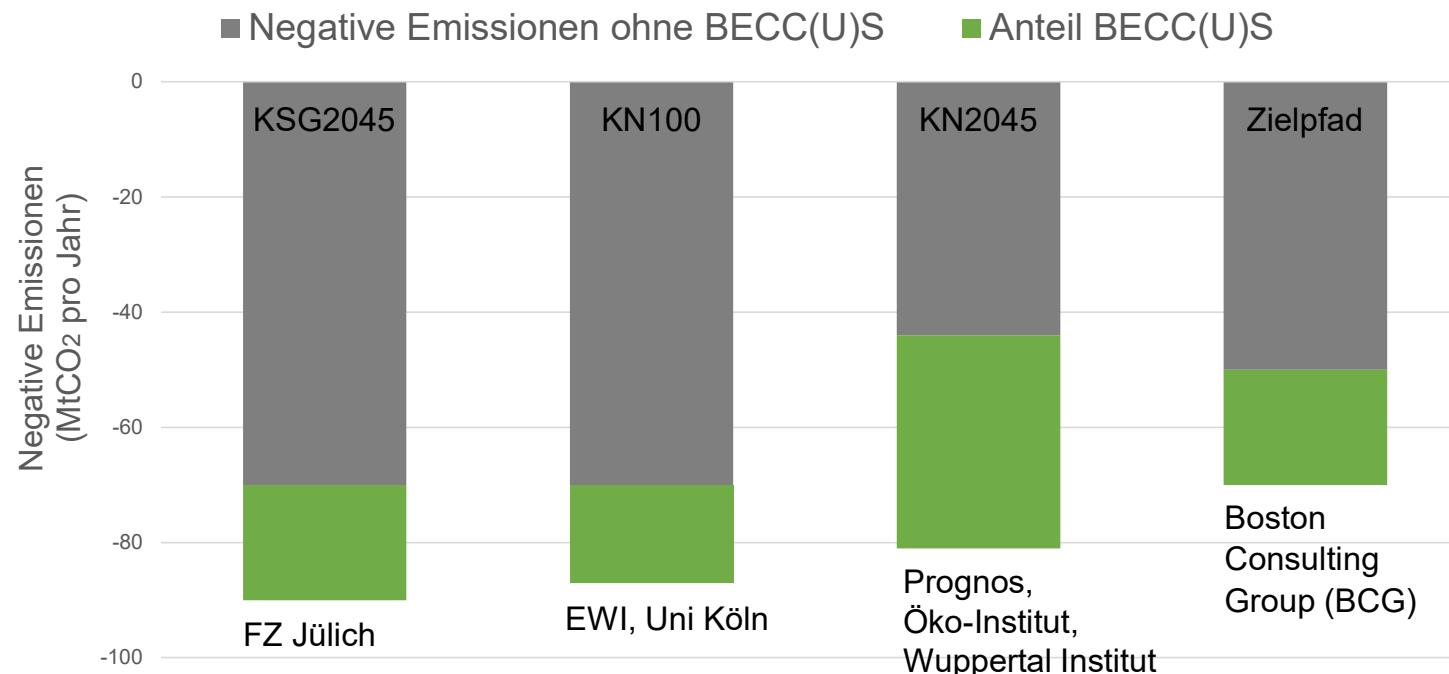


Konrad Empacher  
Technische Hochschule Köln  
Cologne Institute for Renewable Energy

Technology  
Arts Sciences  
TH Köln

# Negative Emissionen – Szenarienübersicht

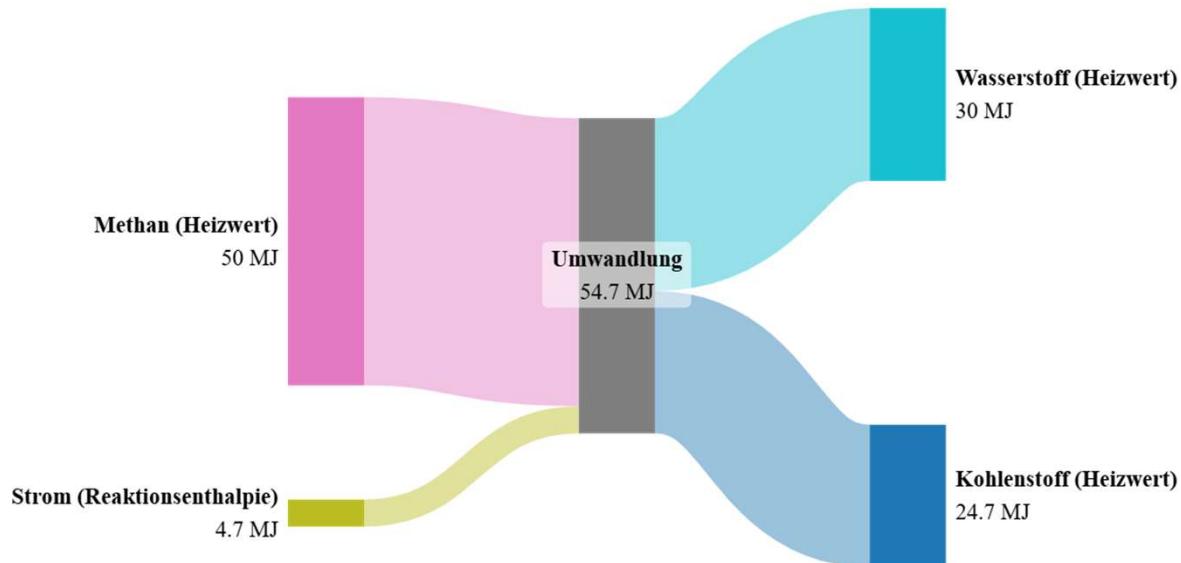
Umfang: Klimaneutrales Deutschland 2045



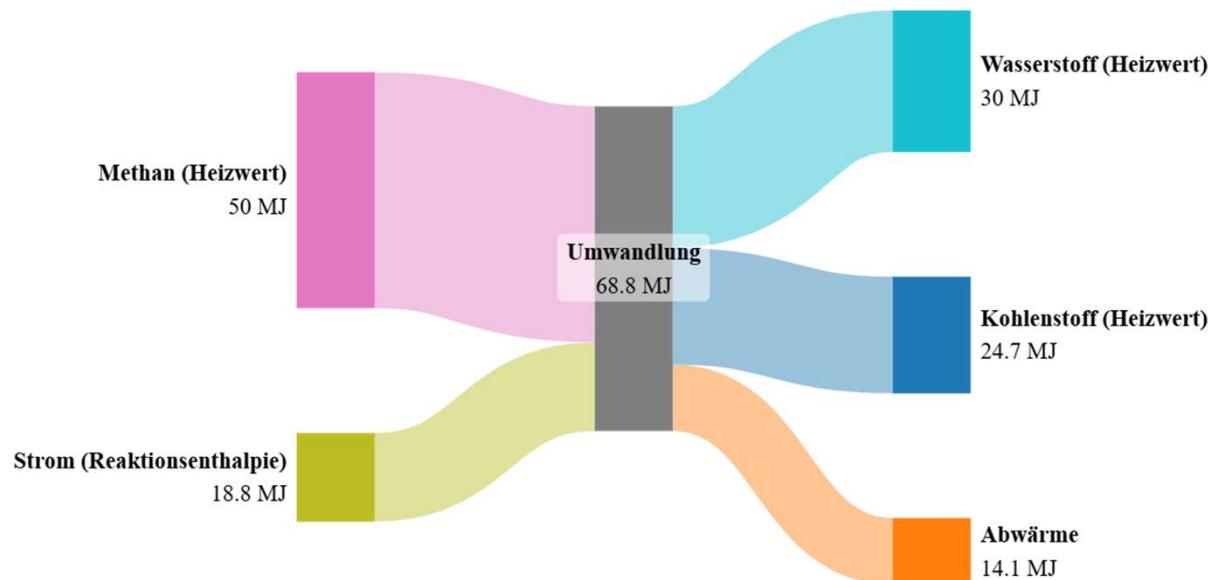
- Alle Szenarien betrachten BECC(U)S als ein Schlüsselement zum Erreichen treibhausgasneutraler Energiesysteme

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

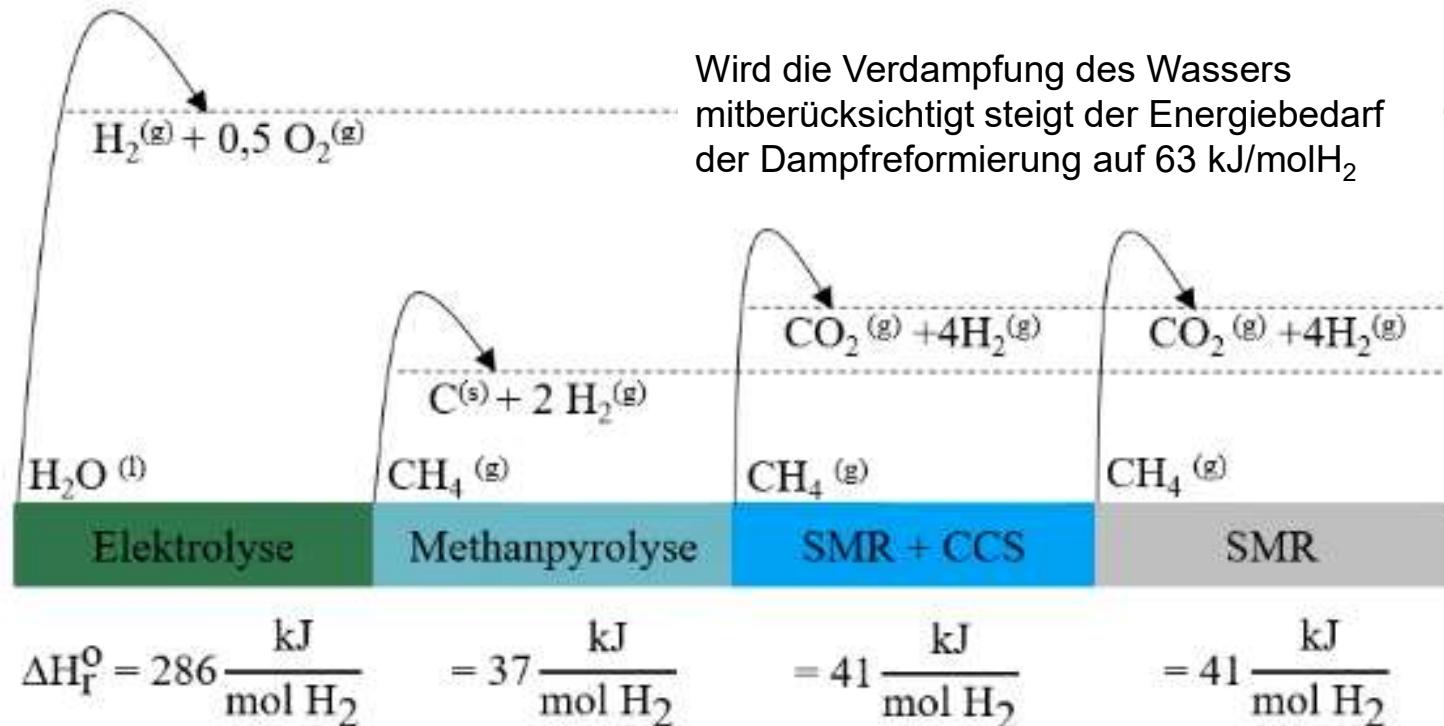
# Sankeydiagramm- ideale Umwandlung von 1 kg Methan



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

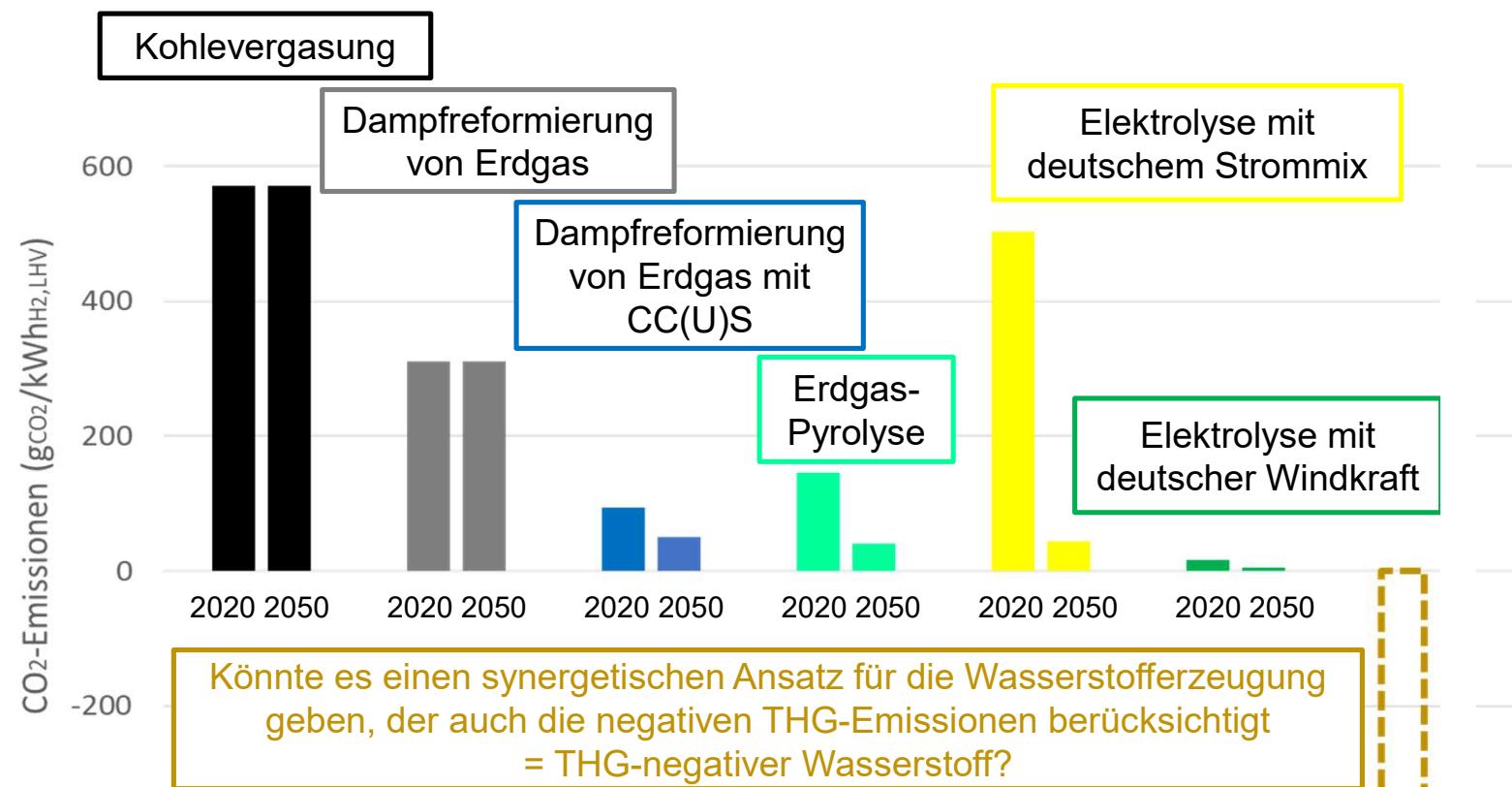


# Energiebedarf Wasserstoffherstellung



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

# Die Farben von Wasserstoff



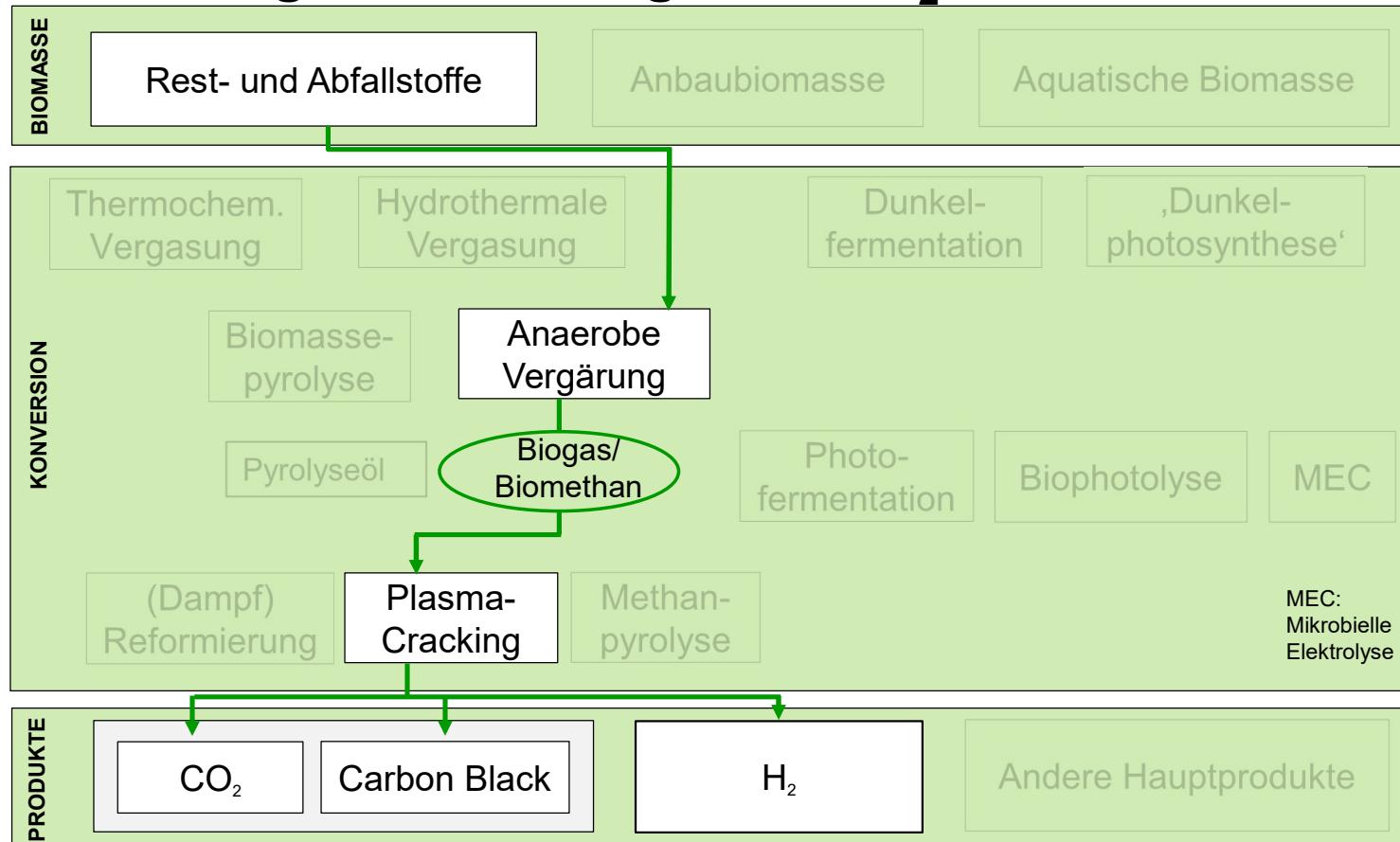
Quellen: Eigene Darstellung basierend auf Heneka et al., DVGW (2022); SRU (2021)

Konrad Empacher

Technische Hochschule Köln

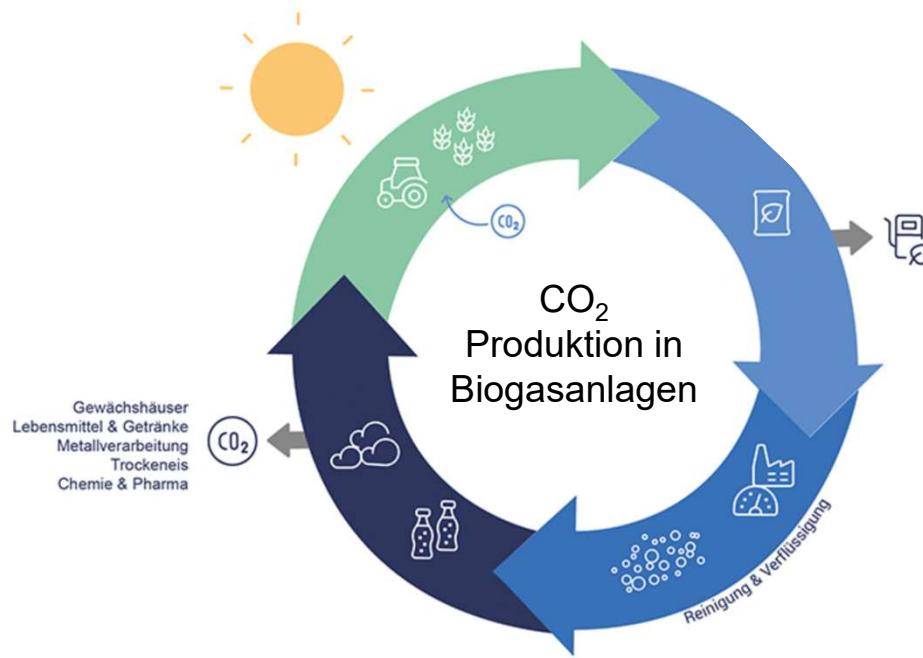
Cologne Institute for Renewable Energy

# 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



JFO

- 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

Konrad Empacher  
Technische Hochschule Köln  
Cologne Institute for Renewable Energy

Technology  
Arts Sciences  
TH Köln

JF0 Dürfen externe Grafiken überhaupt verwendet werden.

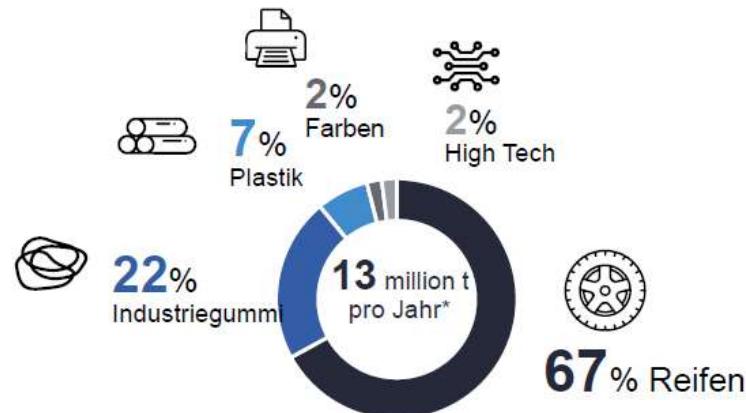
Jonas David Frieg (jfrieg); 2025-05-26T14:43:47.371

# Carbon Black als Synthetischer Rohstoff

JFO

Hauptanwendungen von Carbon Black nach Branchen

- 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
Vollaststunden	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 %