

A photograph of a field of yellow flowers, likely Helianthus, in the foreground. The flowers are in various stages of bloom, with some fully open and others as buds. The stems are dark green and some have reddish-brown tints. In the background, there is a dense forest of green trees under a bright sky.

# Grüner Wasserstoff aus Biogas

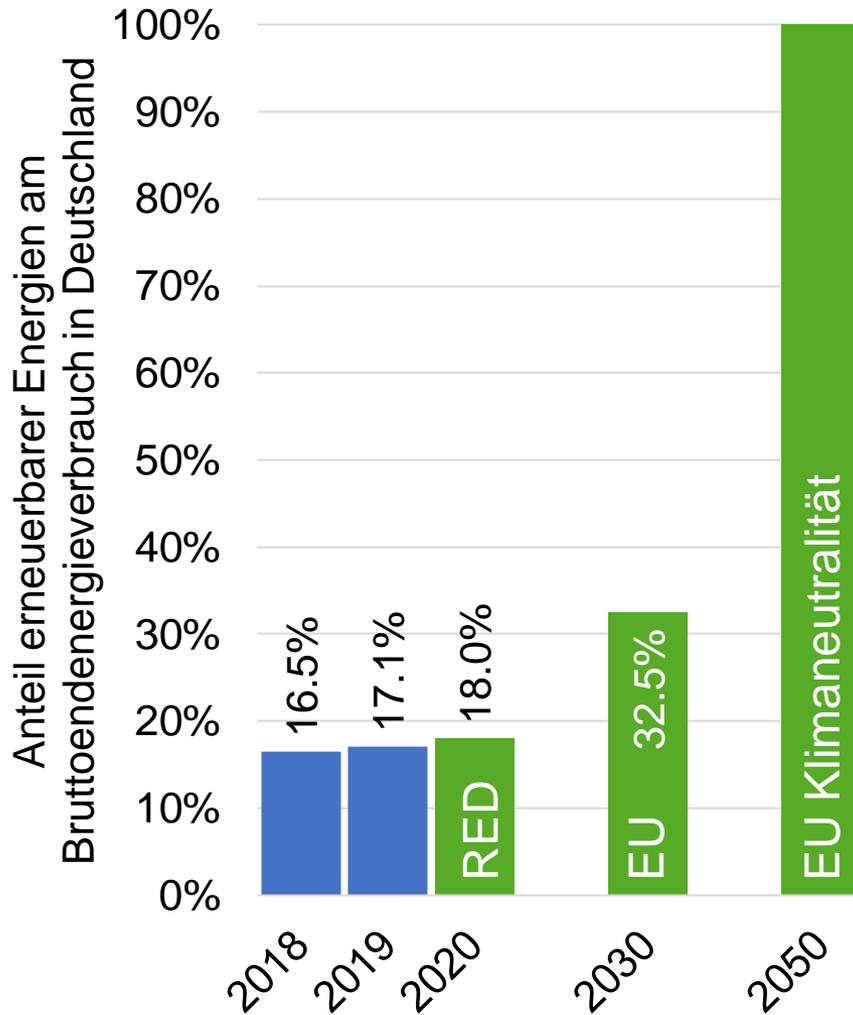
Maximilian Schleupen

Biogas 2020

Wasserstoffseminar Agropole

15.12.2020

# Stand und Ziele Energiepolitik



„Wasserstoff ist ein Schlüsselrohstoff für eine langfristig nachhaltige Energiewende“

## Nationale Wasserstoffstrategie

- Nur grüner Wasserstoff ist auf Dauer nachhaltig

**Grüner Wasserstoff:** CO<sub>2</sub>-freier Wasserstoff, der auf Basis erneuerbarer Energien hergestellt wird.

## Wasserstoff Roadmap NRW

### Ziele 2030:

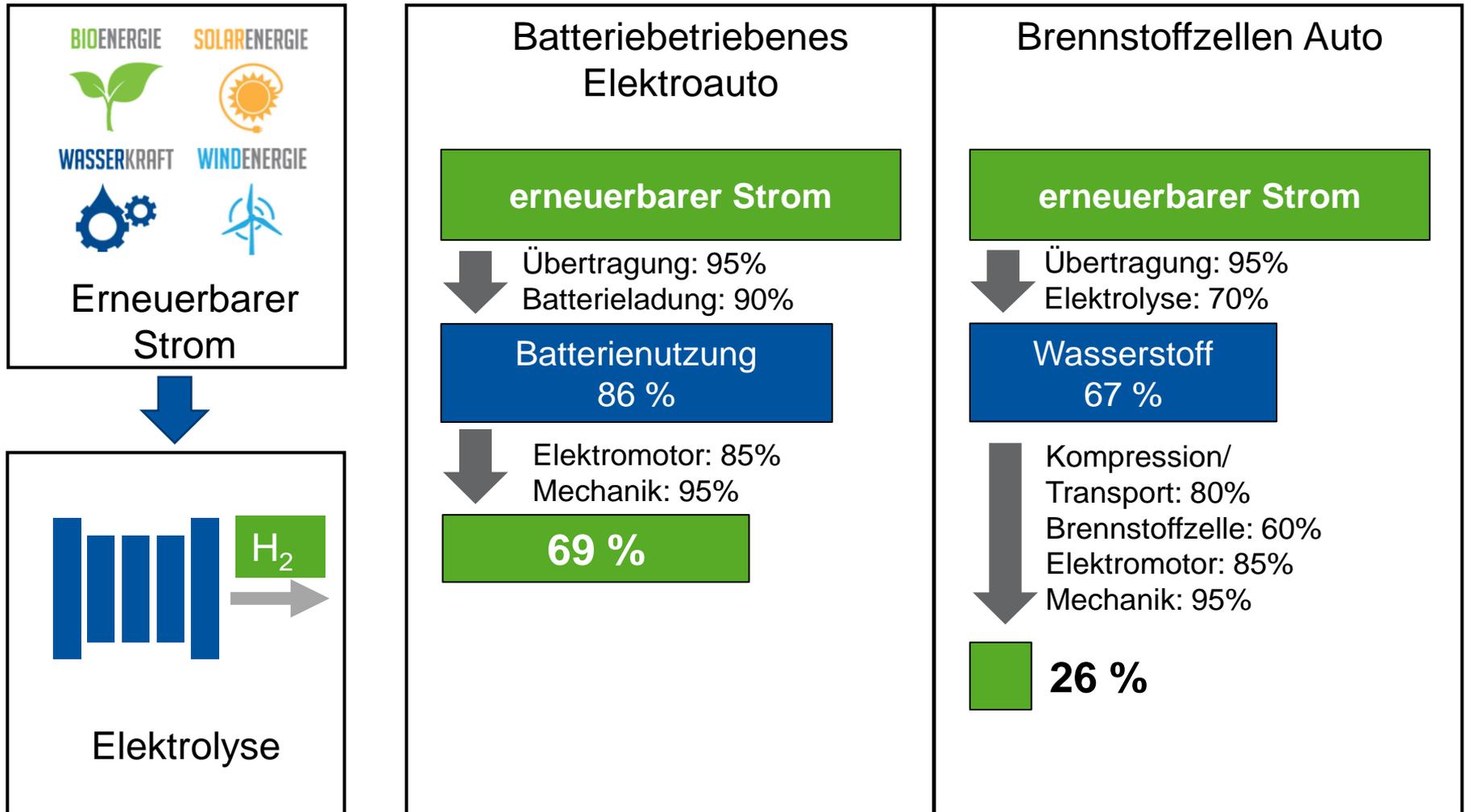
- 11.000 Brennstoffzellen-Lkw
- 200 Wasserstofftankstellen
- 1000 Brennstoffzellen-Abfallsammler
- 3800 Brennstoffzellen-Busse (ÖPNV)

AGEE-Stat; Stand: Februar 2020

Entwurf: Nationale Wasserstoffstrategie

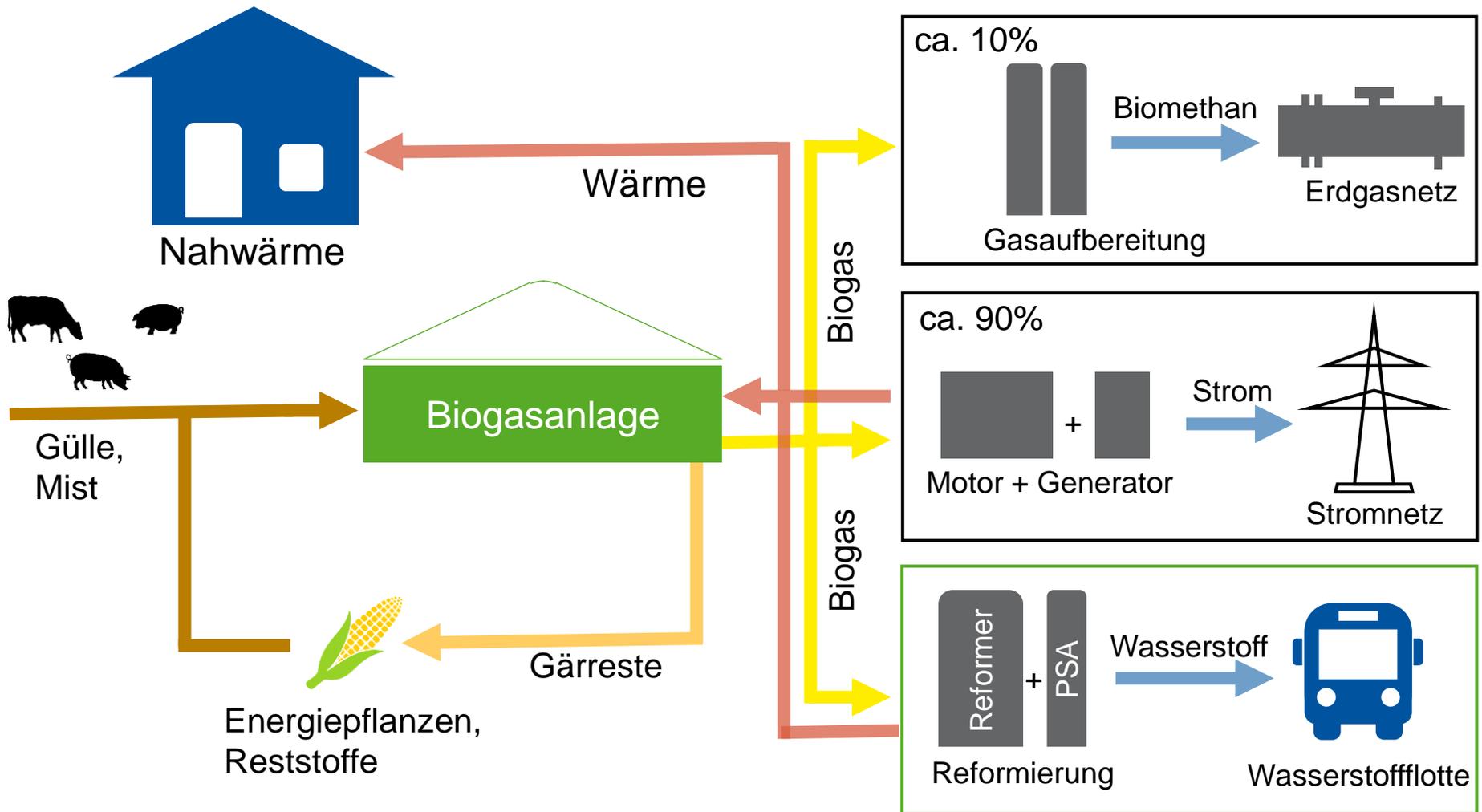
<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Namensartikel/2019/20191105-altmaier-faz-wasserstoff.html>

# Grüner Wasserstoff für den Verkehr

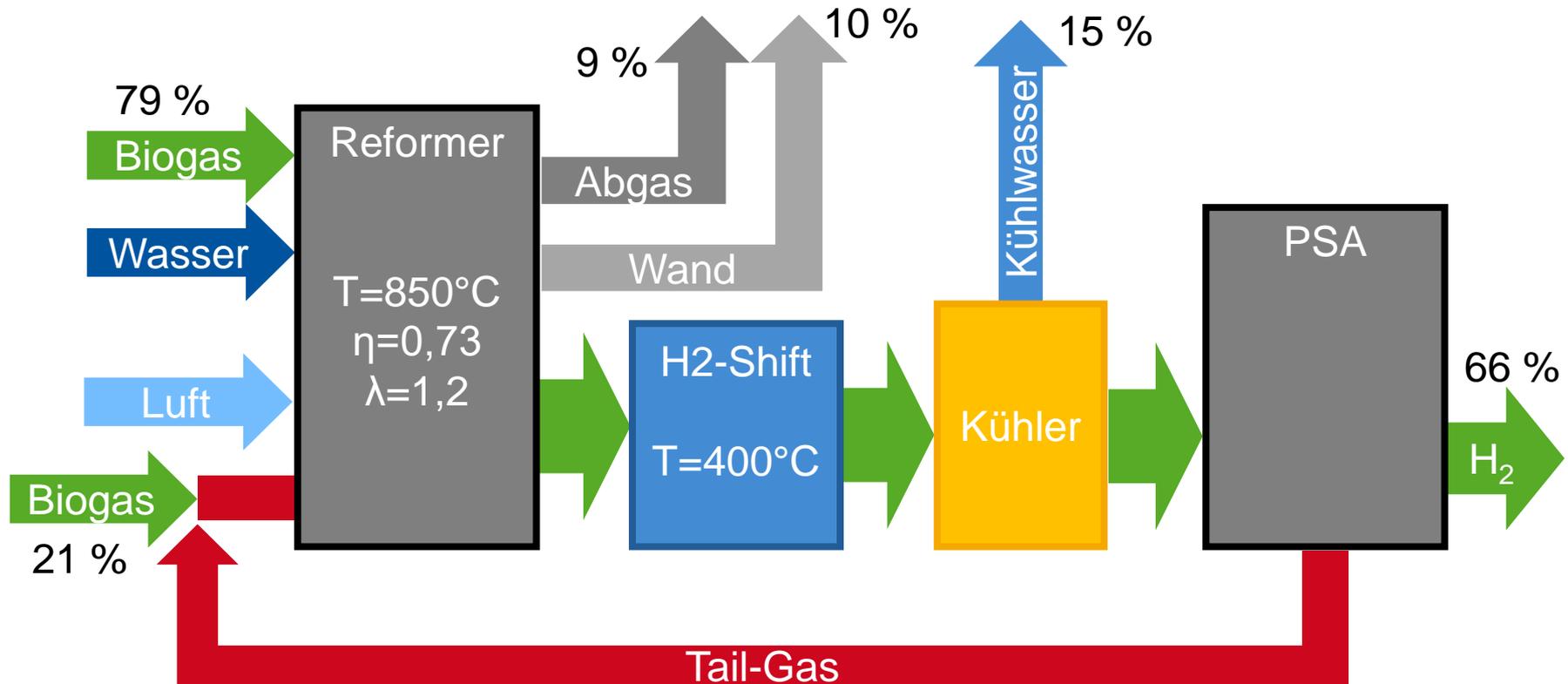


Agora, Die Zukunft strombasierter Brennstoff: Verwendung, Kosten, Nachhaltigkeit

# Grüner Wasserstoff aus Biogas



# Exkurs: Dampreformierung



Wärmebedarf einer Biogasanlage liegt bei etwa 127000 kWh/y bei 100 kW elektrischer installierter Leistung – 5,8 % im Jahresmittel

# Exkurs: Dampfreformierung - Anlagenbeispiele



Chemieindustrie (DE)  
50.000 Nm<sup>3</sup>/h



Stahlindustrie (USA)  
11.000 Nm<sup>3</sup>/h



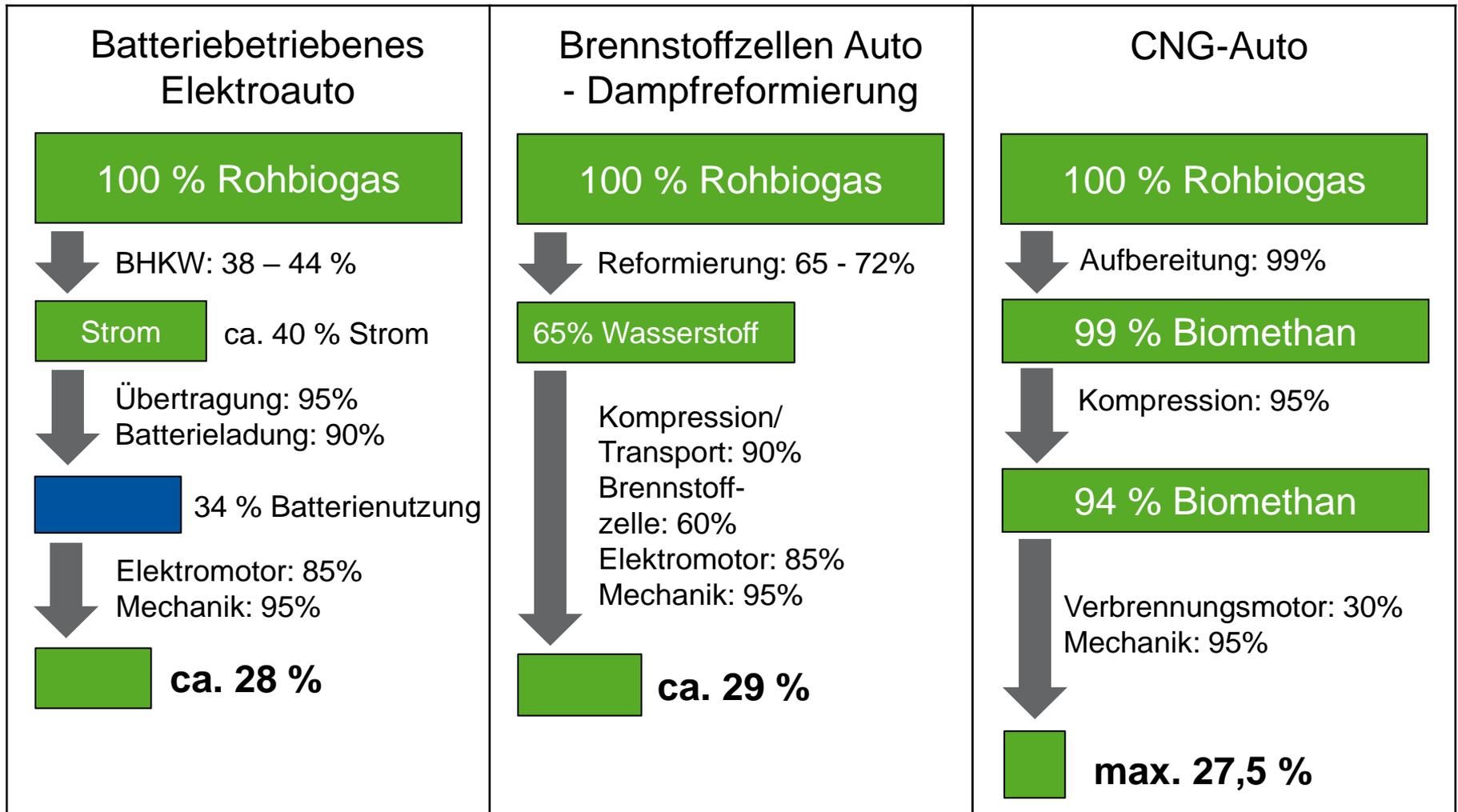
Stahlwerk (ROU)  
300 Nm<sup>3</sup>/h



Mehrfamilienhaus (DE)  
5 Nm<sup>3</sup>/h

Webinar: Grüner Wasserstoff aus Biogas,  
Präsentation Frau Schweizer

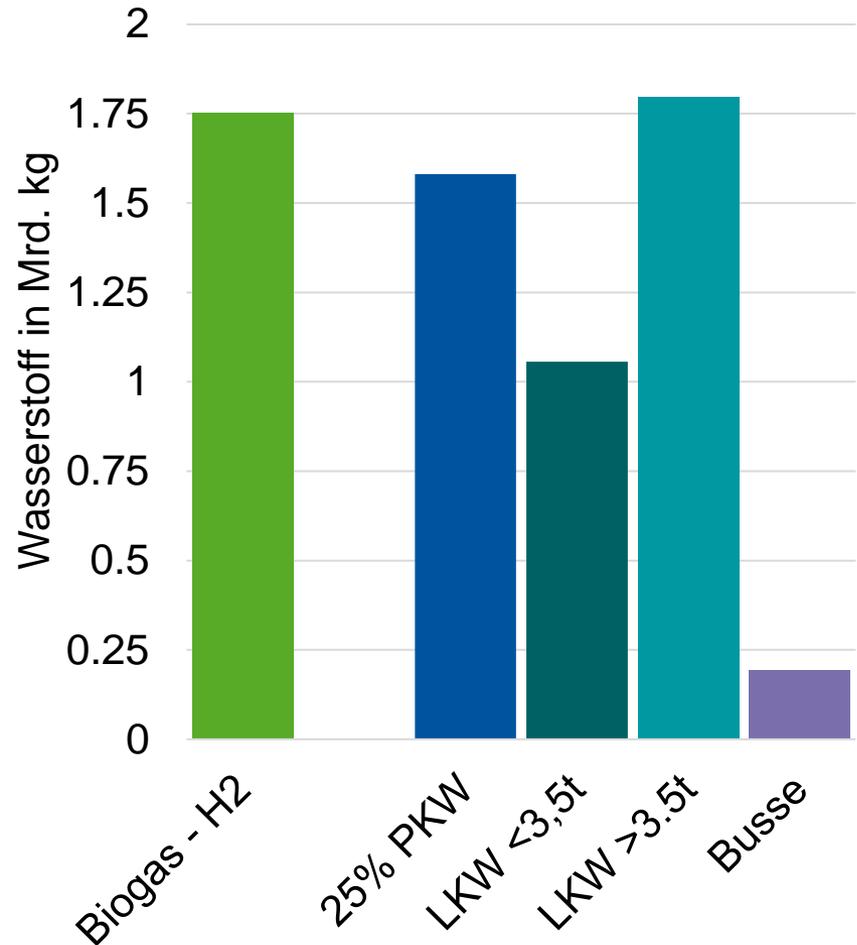
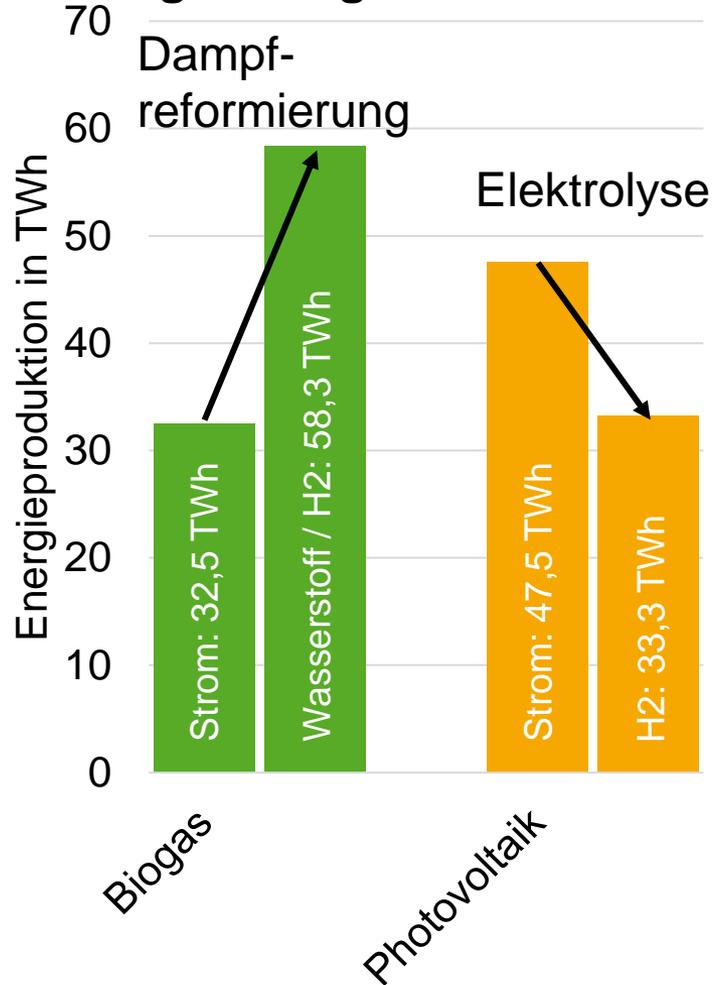
# Effektive Nutzung der erneuerbaren Ressourcen



Berechnung basierend auf: Agora, Die Zukunft strombasierter Brennstoff: Verwendung, Kosten, Nachhaltigkeit

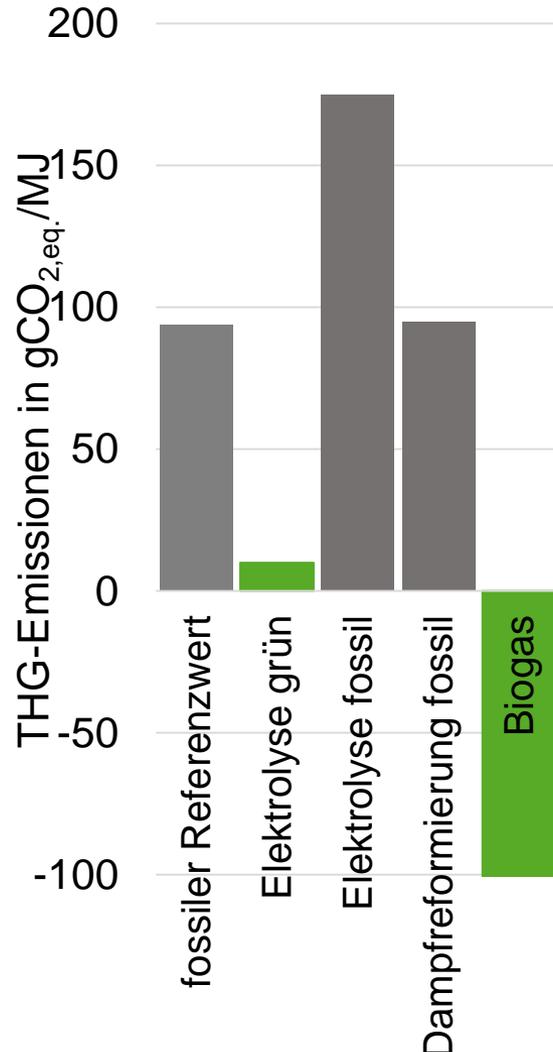
# Effektive Nutzung der erneuerbaren Ressourcen

9500 Biogasanlagen haben 2019 ca. 32,5 TWh erneuerbaren Strom produziert



UGR – Transportleistungen – Energieverbrauch 2018 / BMWi: Zahlen und Fakten Energiedaten, Stand 31.03.2020 / Fachverband Biogas: Branchenzahlen 2018

# THG – Emissionen: Wasserstoff aus Biogas – RED II



$$E = \underbrace{e_{ec} + e_I}_{\text{Anbau und Landnutzungsänderung}} + \underbrace{e_p}_{\text{Verarbeitung}} + \underbrace{e_{td}}_{\text{Transport}} + \underbrace{e_u}_{\text{Nutzung}} - \underbrace{e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr}}_{\text{CO}_2\text{-Gutschriften}}$$

Substrat	THG - Einsparung
100 % Gülle	202 %
100 % Mais	63 %
100 % Bioabfall	80 %
Gülle – Mais 60/40	84 %

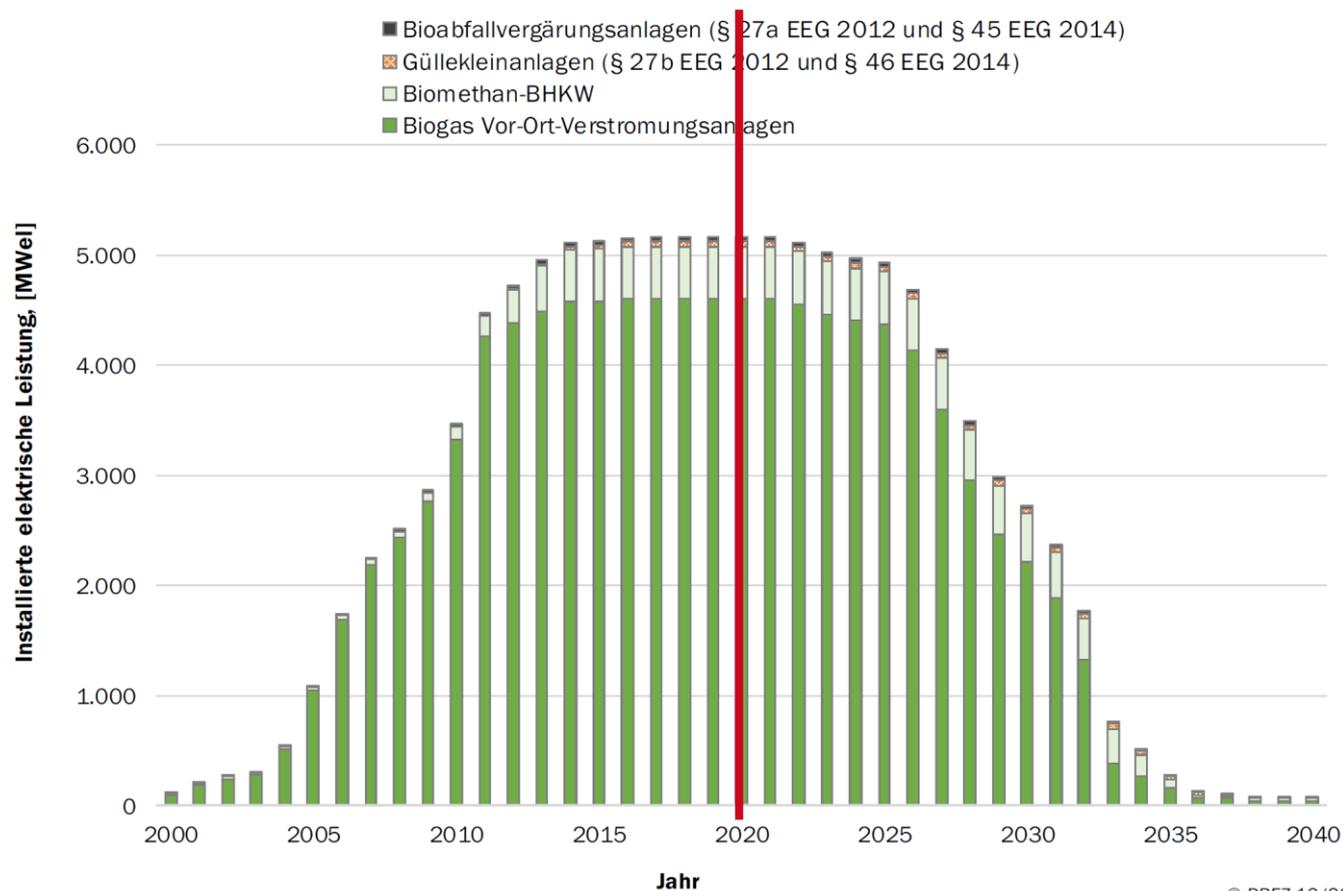
RED II: fossile Referenzwert 94 gCO<sub>2,äq.</sub>/MJ

Timmerberg et. al. 2020

<https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/renewable-energy-recast-2030-red-ii>

Biomethan als Kraftstoff und Treibhausgas(THG)zertifizierung, Biogas Forum Bayern

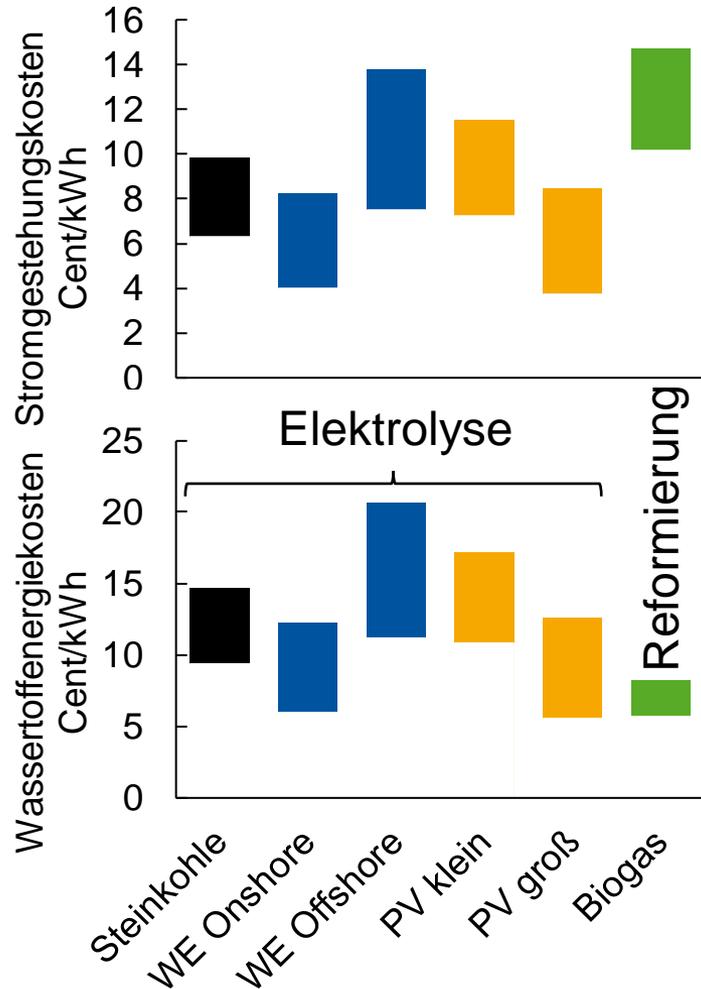
# Entwicklung der installierten Anlagenleistung ohne EEG-Anschlussförderung



- Ab 2035 (in 15 Jahren!) wäre die THG-Minderung von rd. 20 Mio. t CO<sub>2</sub>e zusätzlich anderweitig auf zu bringen.

# Vorhandene Potentiale sinnvoll nutzen

## Neuanlagen 2018



Erneuerbare  
Energien Gesetz -  
EEG  
§  
20 Jahr feste  
Einspeisevergütung  
für Neuanlagen

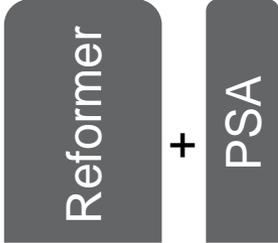
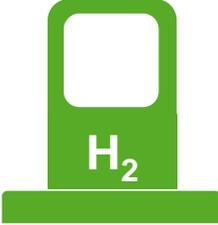


Wirtschaftliche  
Anschlusslösung  
?  
H<sub>2</sub>

Einspeisevergütung: ca. 17-24 Cent/kWh

Fraunhofer ISE Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, 2018  
EEG 2000-2017

# Wirtschaftlichkeit von grünem Wasserstoff aus Biogas

		
<p>400 kW elektrisch 170 m<sup>3</sup><sub>Biogas</sub>/h</p>	<p>H<sub>2</sub>-Energiekosten ca. 3,4 €/kg</p>	<p>ca. 18 kg<sub>H2</sub>/h ca. 430 kg<sub>H2</sub>/d ca. 150 t<sub>H2</sub>/y</p>
<p>Einspeisevergütung ca. 20 Cent/kWh<sub>el</sub></p>	<p>Investition: 1,3 Mio.€</p>	<p>Investition: 1,5 Mio.€</p>

**Durch die dezentrale Biogasproduktion können Wasserstofftransportkosten vermieden werden**

1 Bus verbraucht etwa 25 kg<sub>H2</sub>/d  
20 Cent/kWh<sub>el</sub> entsprechen etwa 8 Cent/kWh<sub>Biomethan</sub>

# Wirtschaftlichkeit von grünem Wasserstoff aus Biogas

Aktueller Tankstellenpreis von grauem Wasserstoff

9,50 € pro kg brutto

7,98 € pro kg netto

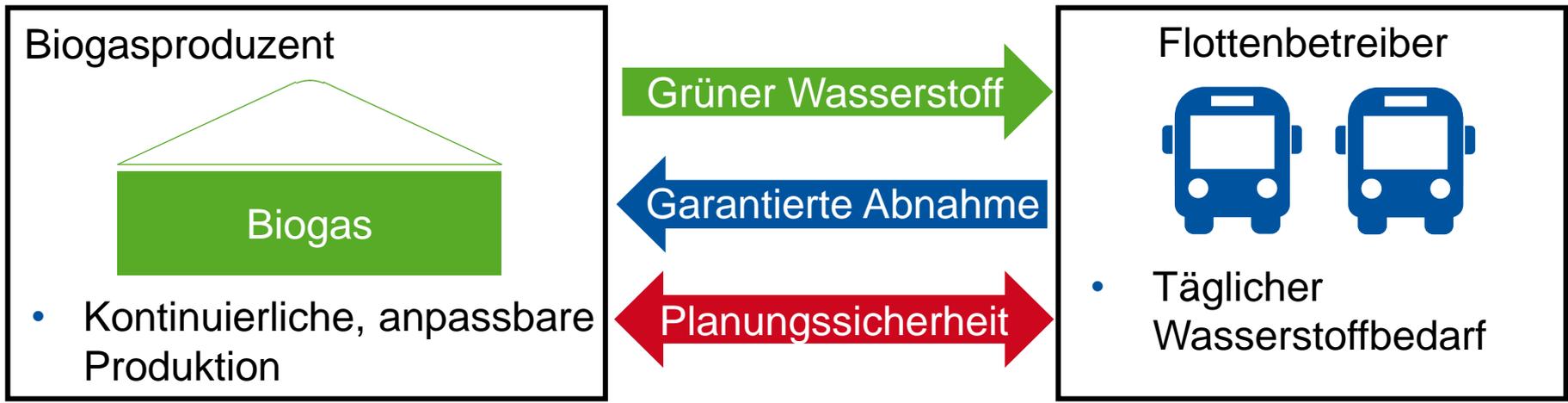
Grüner Wasserstoff aus Biogas: 6,58 €/kg

Energiekosten	3,40 €/kg
Verdichtung	0,8 €/kg
Betrieb und Wartung	0,55 €/kg
Abschreibung	1,83 €/kg
Summe:	6,58 €/kg

Abschreibungszeitraum von 10 Jahren

# Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit

- **Versorgungssicherheit durch eine wetterunabhängige, nachgewiesen verlässliche erneuerbare Energiequelle**
- **Wirtschaftlichkeit durch Planungssicherheit aller beteiligten Parteien**
- **Nachhaltigkeit durch eine geschlossene regionale Wertschöpfung**



# Wasserstoffprojekte in Deutschland

HyCologne	Rhein-Main-Verkehrsverbund	Brennstoffzellenzukunft
<p>Brennstoffzellenbusse Müllwagen in Hürth bei Köln</p> 	<p>27 Brennstoffzellenzüge</p> 	<p>Züge, Busse, Kommunale Fahrzeuge, LKW's, Landmaschinen</p> 
<p>Wasserstoffquelle:</p>	<p>Wasserstoffquelle:</p>	<p>Wasserstoffquelle:</p>
<p>Chemiepark Hürth</p>	<p>Industriepark Höchst H2-Tankstelle seit 2006</p>	<p>Eine der 9500 Biogasanlagen in Deutschland</p>

# Ihr Kontakt

Maximilian Schleupen, M.Sc.  
Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik  
RWTH Aachen University  
Kopernikusstr. 10, 52074 Aachen  
[www.iob.rwth-aachen.de](http://www.iob.rwth-aachen.de)  
[schleupen@iob.rwth-aachen.de](mailto:schleupen@iob.rwth-aachen.de)  
+49 241 80 26070



## Dampfreformierung von Erdgas ist das häufigste Verfahren zur Wasserstoffherzeugung

### ■ Kernprozess Reformierung

- Umsetzung von Kohlenwasserstoffen mit Wasserdampf zu Synthesegas
- Ablaufende Reaktionen
  - Reformierung 1:  $CH_4 + H_2O \rightleftharpoons CO + 3H_2$   $\Delta_R H^0 = 206 \text{ kJ/mol}$
  - Reformierung 2:  $CH_4 + 2H_2O \rightleftharpoons CO_2 + 4H_2$   $\Delta_R H^0 = 165 \text{ kJ/mol}$
  - Wassergas-Shift:  $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$   $\Delta_R H^0 = -41 \text{ kJ/mol}$
- Katalysatoren: Nickel auf keramischem Träger (Schüttung)
- Betriebsparameter:
  - T: 700 – 900 °C
  - p: 1 – 20 bar

Webinar: Grüner Wasserstoff aus Biogas,  
Präsentation Herr Nitzsche, DBI Freiberg