



# Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich verschiedener Pfade zur Herstellung von Wasserstoff aus Biomasse und anderen regenerativen Quellen

21. Fachtagung: Nutzung nachwachsender Rohstoffe – Bioökonomik 3.0

**Andreas Herrmann<sup>1</sup>, Holger Jorschick<sup>2</sup>, Manja Tschöpe<sup>1</sup>, Corina Dorn<sup>1</sup>, Florian Rau<sup>1</sup>, Hartmut Krause<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>TU Bergakademie Freiberg

<sup>2</sup> Forschungszentrum Jülich GmbH, Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg

Dresden, den 18.03.2016


- 1 Einleitung
- 2 Verfahrensüberblick
- 3 Bewertung ausgewählter Prozessketten
  - 3.1 Energetische Bewertung
  - 3.2 Ökonomische Bewertung
  - 3.3 Ökologische Bewertung
- 4 Zusammenfassung und Ausblick

## 1 Einleitung

# Wasserstoff – Energieträger der Zukunft

- Potential von Wasserstoff
  - Senkung von Emissionen im Mobilitätssektor
  - Speichermedium für fluktuierende regenerative Energiequellen
  - Unabhängigkeit von Importen und Weltmarktpreisen fossiler Energieträger
- Ziele der Bundesregierung bis 2025
  - Förderprogramme
  - **500 H<sub>2</sub>-Tankstellen, 500.000 H<sub>2</sub>-Fahrzeuge und 2.000 H<sub>2</sub>-Busse** <sup>[1]</sup>
  - 500.000 Brennstoffzellen-Heizgeräte
  - 1.500 MW elektrische Elektrolyseleistung aus regenerativen Energiequellen

Anstieg des dezentralen Wasserstoffbedarfs (20 – 500 m<sup>3</sup>/h) <sup>[2]</sup>

0,9 (2020)  74,2 Mrd. m<sup>3</sup>/a (2050)

<sup>[1]</sup> Jahresbericht 2013, Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, 2014

<sup>[2]</sup> Woher kommt der Wasserstoff in Deutschland bis 2050?, BMVBS, NOW, 2009

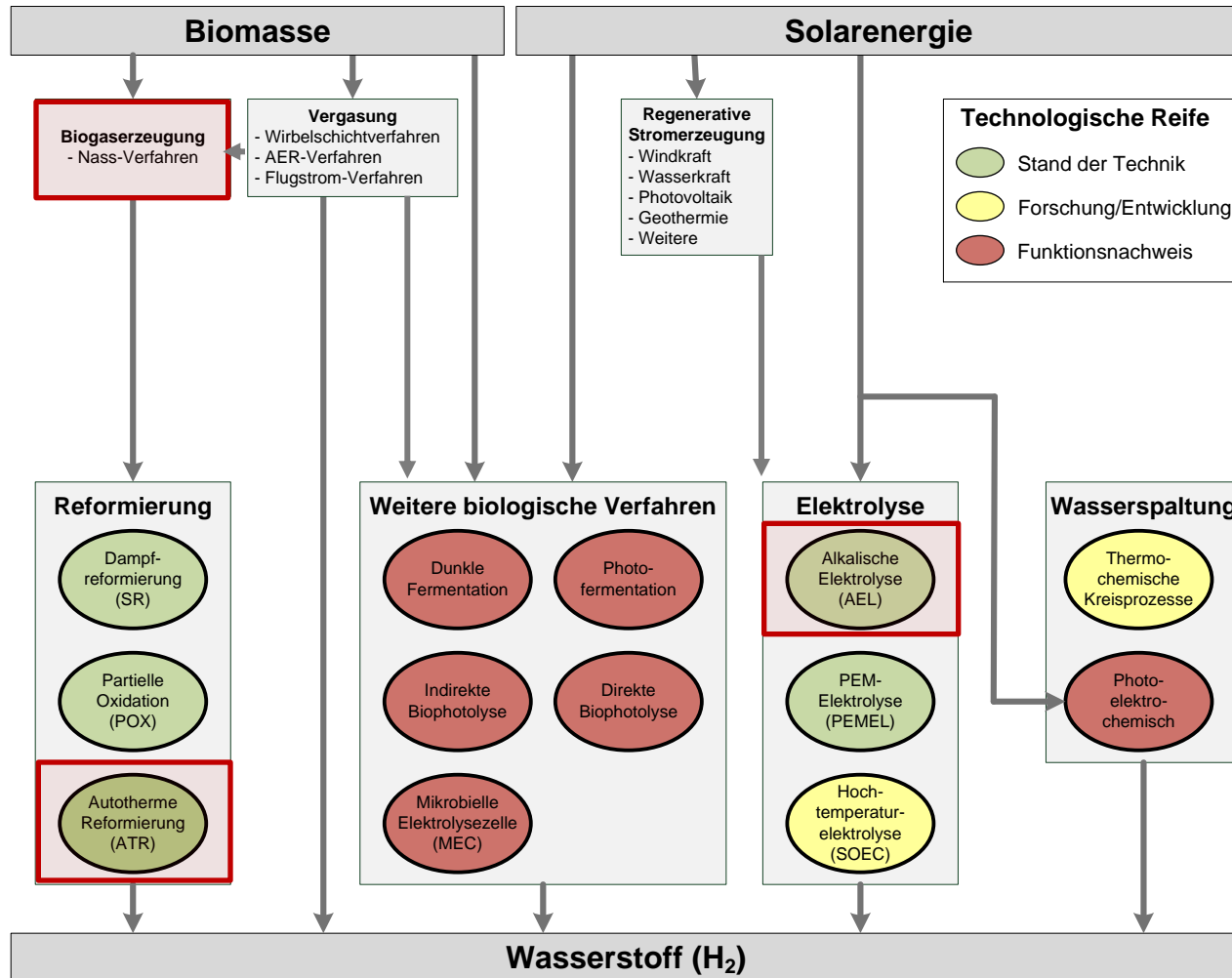
## 1 Einleitung

# Industrielle Anwendungen

- Schutzgasanwendung in Elektroindustrie & Ofentechnik
  - Unterbindung von Oxidationsprozessen
  - Beschleunigte Wärmeübertragung bei Haubenglühanlagen
- Halbleiterindustrie
  - Transportgas für Diffusionsprozesse
  - Reaktionsgas zur Erzeugung von Wasserdampf
- Schweißen
- Lebensmittelindustrie
  - Herstellung von Ölen und Margarine
  - Verpackungs- und Schutzgas
- Wasserstoff-Tankstellen

## 2 Verfahrensüberblick

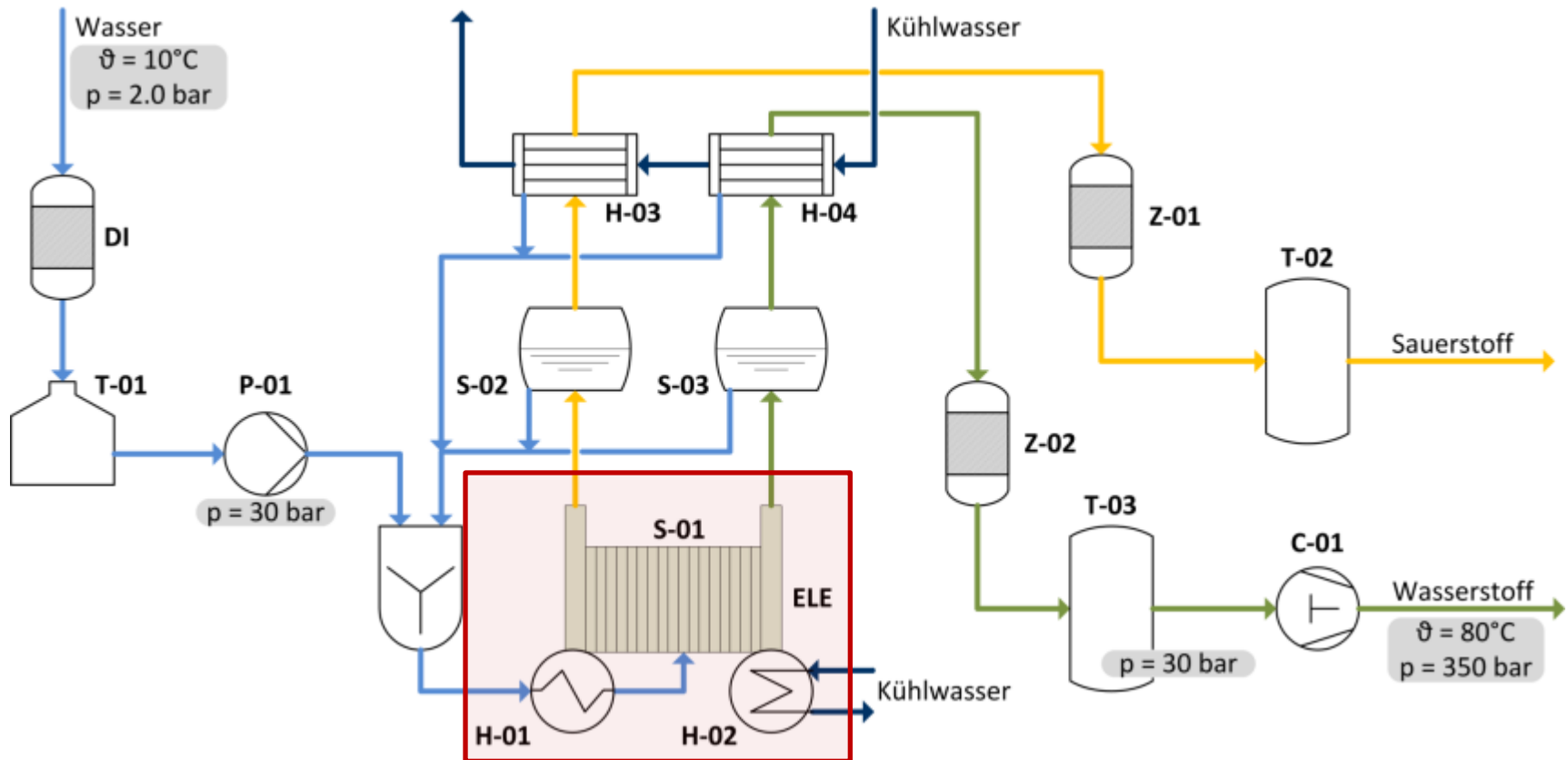
# Verfahren zur Herstellung von grünem Wasserstoff



Technologien zur Herstellung von Wasserstoff (Prinzipdarstellung)

### 3.1 Energetische Bewertung

## Elektrochemische Wasserspaltung mittels alkalischer Druckelektrolyse

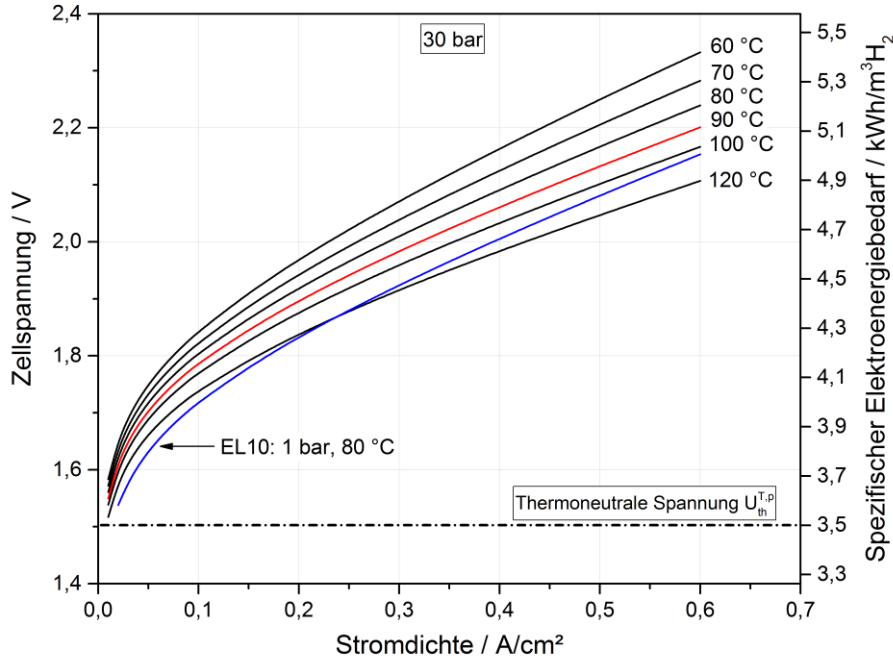


Schematisches Prozessfließbild der elektrochemischen Wasserspaltung mittels alkalischer Druckelektrolyse (eigene Darstellung)

### 3.1 Energetische Bewertung

# Elektrochemische Wasserspaltung mittels alkalischer Druckelektrolyse

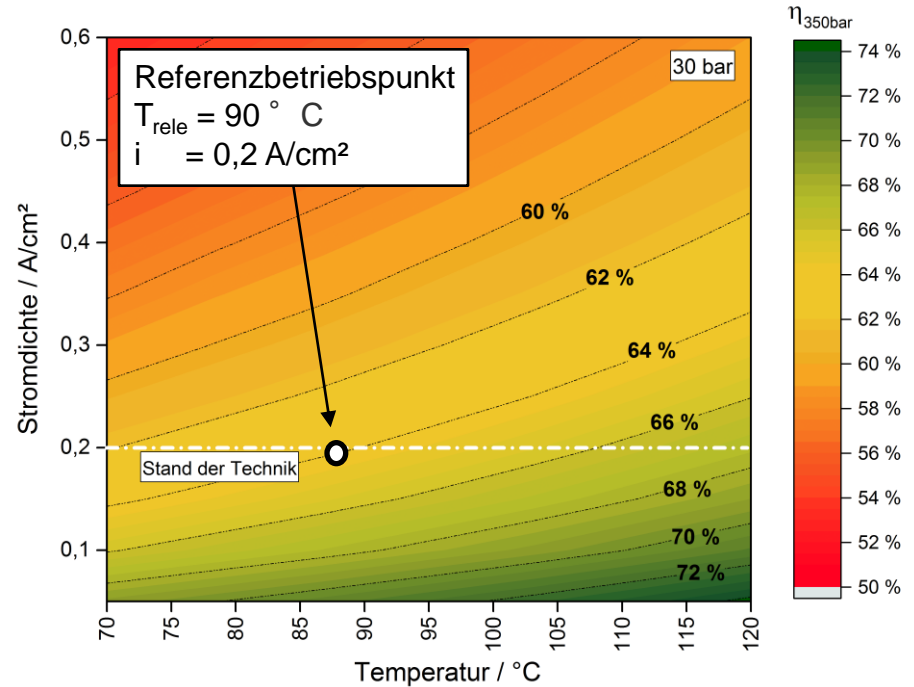
U-I-Kennlinie des Elektrolyseurs



Elektroenergiebedarf

**Gesamtwirkungsgrad**

Gesamtwirkungsgrad der Anlage (30 bar)



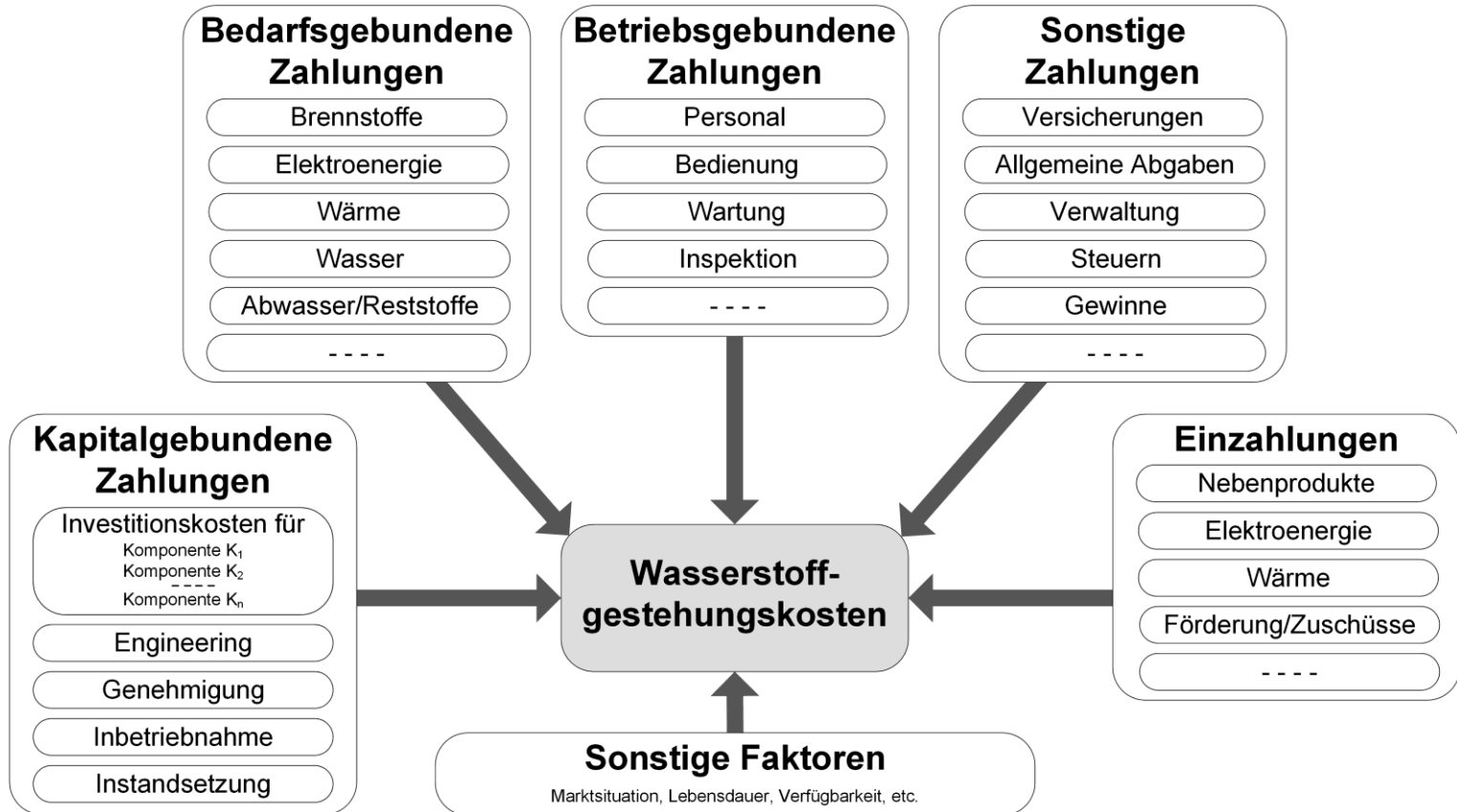
469,17 kW<sub>el</sub>

**64,0 %**

(60,3 % bei 1 bar)

## 3.2 Ökonomische Bewertung

# Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten

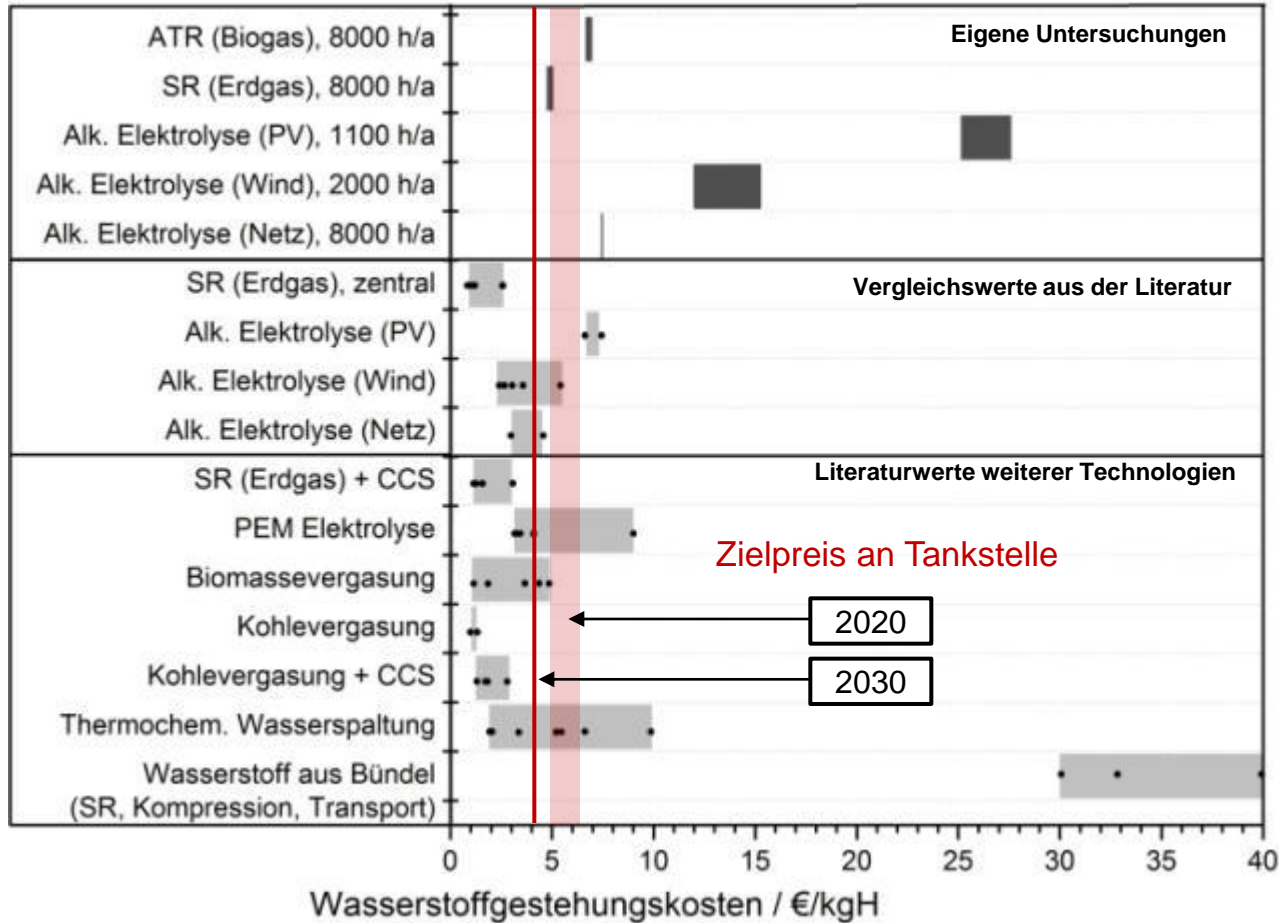


Einflussgrößen bei der Berechnung der Wasserstoffgestehungskosten



### 3.2 Ökonomische Bewertung

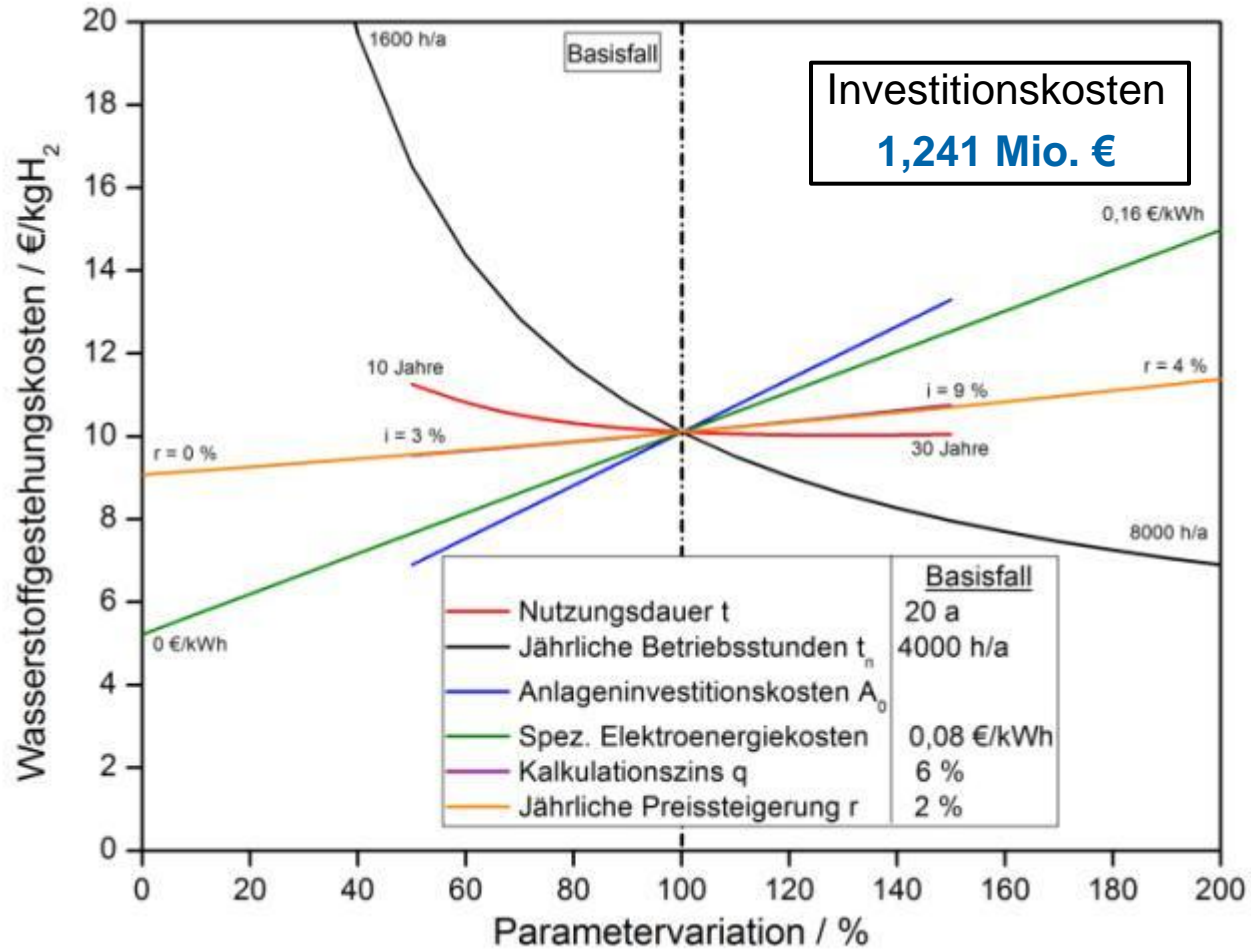
## Wasserstoffgestehungskosten - Technologievergleich



## 3.2 Ökonomische Bewertung

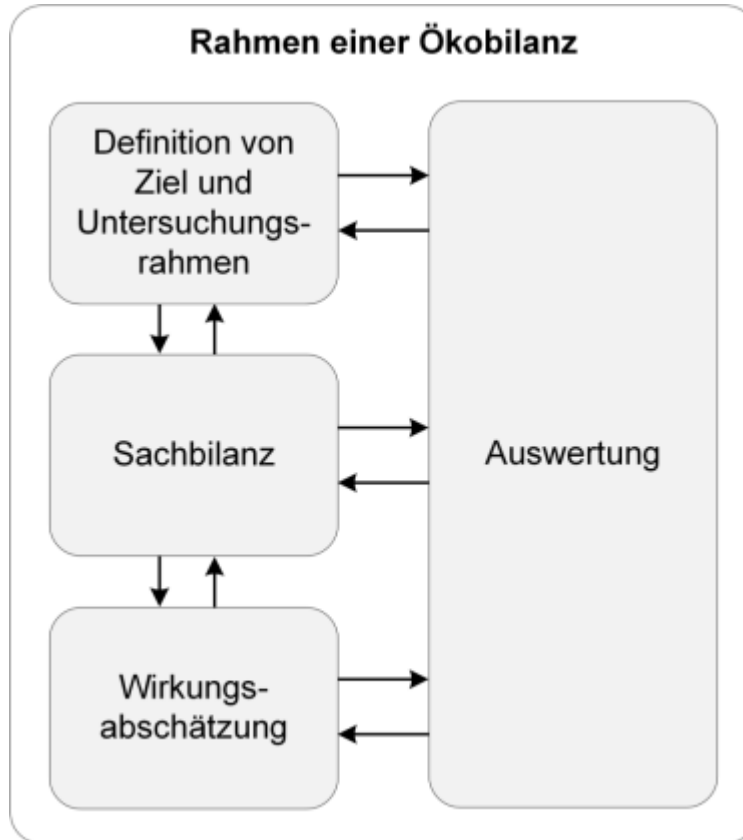
# Wasserstoffgestehungskosten

Sensitivität der Wasserstoffgestehungskosten bei der alkalischen Elektrolyse



## 3.3 Ökologische Bewertung

### Zielsetzung und Untersuchungsrahmen

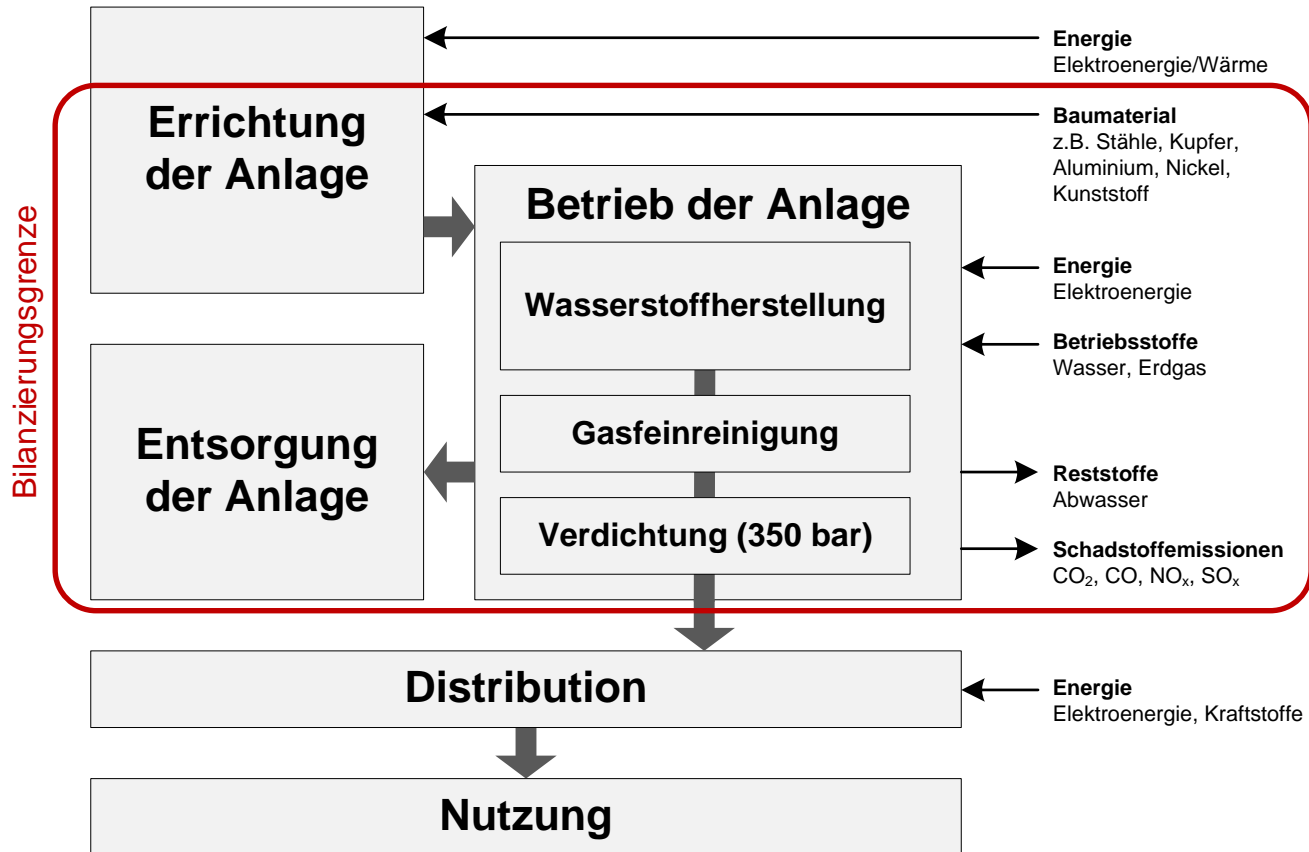


Phasen einer Ökobilanz nach DIN 14040 <sup>[4]</sup>

- Wasserstoffherstellung (100 m<sup>3</sup>/h)
- Lebenszyklus einer Produktionsanlage
  - Errichtung
  - Betrieb
  - Entsorgung
- Wirkungsindikatoren
  - **Treibhauspotential** **kgCO<sub>2</sub>-Äq.**
  - Kumulierte Energieaufwand MJ
  - Versauerungspotential kgSO<sub>2</sub>-Äq.
  - Eutrophierungspotential kgPO<sub>4</sub>-Äq.
  - ReCiPe-Indikator Pt (Punkten)

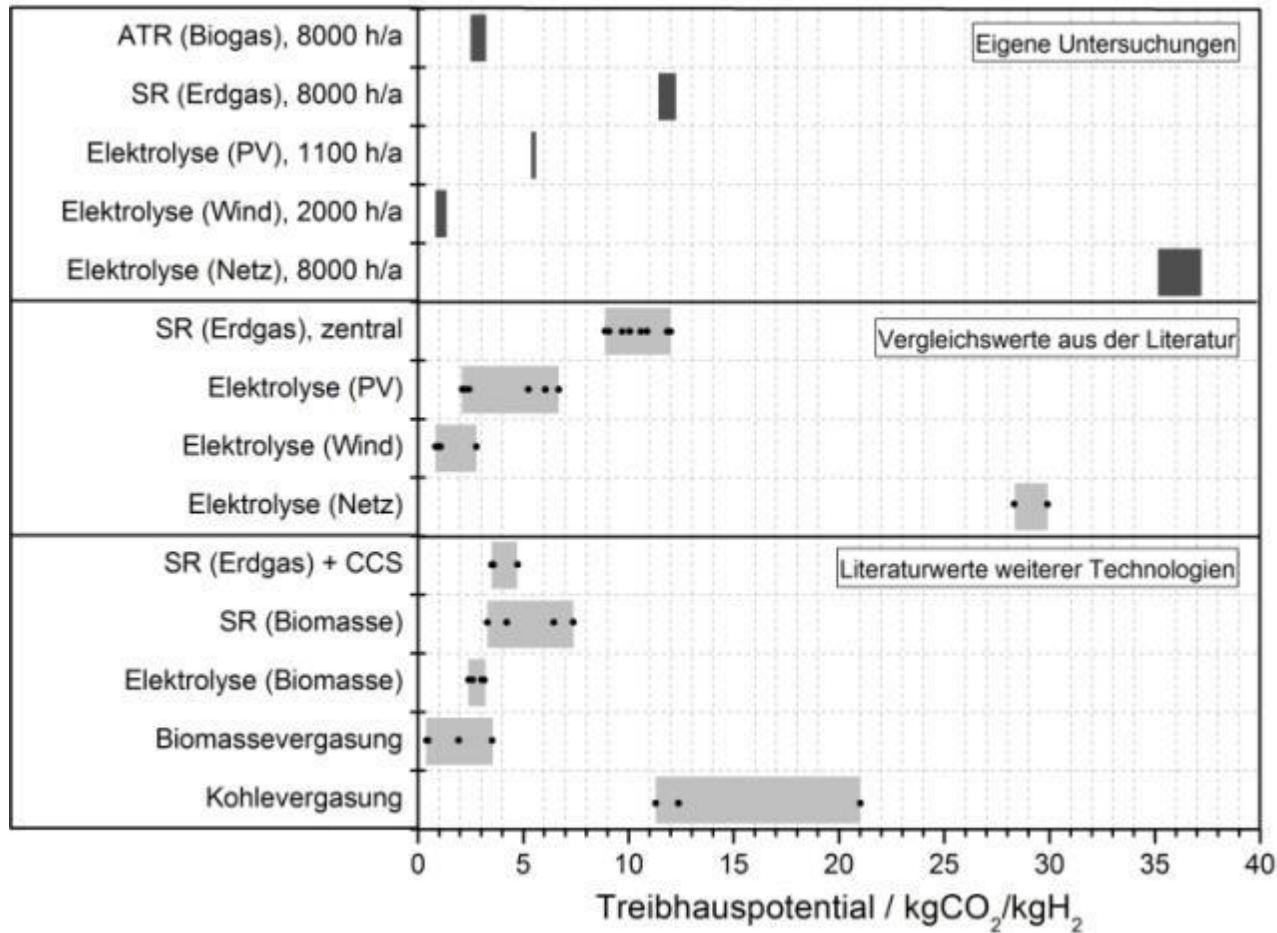
<sup>[4]</sup> DIN EN ISO 14040 - Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2009

## 3.3 Ökologische Bewertung Untersuchungsrahmen



### 3.3 Ökologische Bewertung

## Treibhauspotential - Technologievergleich



### Schlussfolgerungen

- Dezentrale Reformieranlagen und Elektrolyseure
  - Vielversprechende Alternative zu H<sub>2</sub> in Bündeln o.ä.
  - Benötigt für Aufbau einer H<sub>2</sub>-Infrastruktur
- Wasserstoffgestehungskosten hauptsächlich beeinflusst durch:
  - Jährliche Betriebsstunden, Investitionskosten, spezifische Energiekosten
- Nutzung von Netzstrom für Elektrolyse ökonomisch sinnvoll
  - ABER: keine Alternative zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Biogasreformierung ökologisch sinnvoll bei geringem NaWaRo-Anteil
- Elektrolyse:
  - Ökologisch sinnvoll bei Einsatz von Windenergie
  - Ökologisch wenig sinnvoll bei Einsatz von Netzstrom
- Umwelteinwirkungen nahezu vollständig auf Betrieb zurückzuführen



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



**Dipl.-Ing. Andreas Herrmann**

**TU Bergakademie Freiberg  
Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik  
Gustav-Zeuner-Str. 7  
09599 Freiberg**

**[Andreas.Herrmann@iwtt.tu-freiberg.de](mailto:Andreas.Herrmann@iwtt.tu-freiberg.de)**