



Leibniz  
Forschungszentrum  
Energie 2050



Leibniz  
Universität  
Hannover

## Zur Rolle von Wasserstoff im zukünftigen Energiesystem: Ein Überblick

*oder*

## Wasserstoff – ein Molekül macht Karriere. Wieso eigentlich?

Richard Hanke-Rauschenbach<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES)  
Fachgebiet Elektrische Energiespeichersysteme

<sup>2</sup>Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050)

<sup>3</sup>Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN)

Netzwerktreffen Energieeffizienz-Netzwerk Hannover, 15.9.21 Hannover

## Wasserstoff – ein Molekül mach Karriere



Leibniz  
Universität  
Hannover

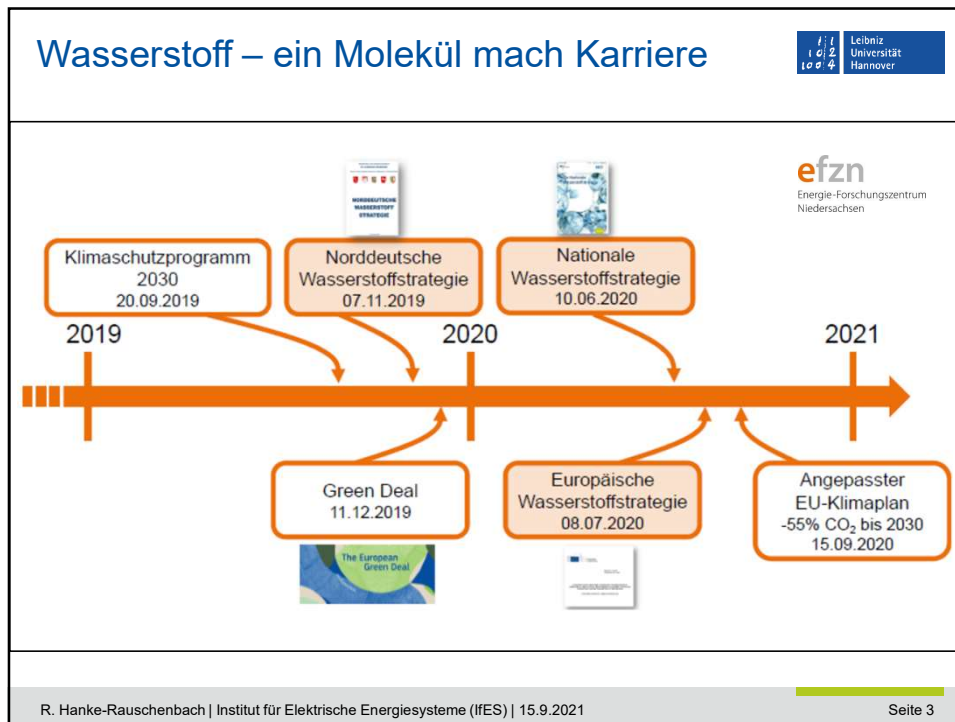
▶ Stakeholderkonferenz  
 „Wasserstoff und Energiewende“  
 am 5. November 2019 in Berlin,  
 gemeinsam ausgerichtet von  
 BMWi, BMVI, BMBF und BMZ

▶ Auftakt zur Erarbeitung der  
 Nationale Strategie Wasserstoff (NSW),  
 die bereits im Dezember 2019 im  
 Kabinett verabschiedet werden soll


” Wasserstoff: ein wichtiges  
 Element für die Energiewende

ERNEUERBARE GASE – WO FLOPPT'S, WO FLIEGT'S?  
 CHRISTOPH JUGEL @ 12. NIEDERSÄCHSISCHE ENERGIETAGE, HANNOVER, 6. NOVEMBER 2019


dena  
 Deutsche Energie-Agentur



## Wasserstoff – ein Molekül mach Karriere



Strategie	Budget	Ziele	Zeiträumen
Norddeutsch	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vollständige Versorgung aller an grünem Wasserstoff interessierten Abnehmer ermöglichen</li> <li>1. Phase (2020 – 2025): <b>500 MW</b> Elektrolyseleistung</li> <li>2. Phase (2026 – 2030): <b>5 GW</b> Elektrolyseleistung</li> </ul>	2020 - 2035
DE (national)	9 Mrd. €	<ul style="list-style-type: none"> <li>Treibhausgasneutralität bis 2050</li> <li>Heimatmarkt für H<sub>2</sub> aufbauen (Mobilität, Industrie, Wärme)</li> <li>Transport-/ Verteilinfrastruktur + rechtlichen Rahmen weiterentwickeln</li> <li>Export der H<sub>2</sub>-Technologie und Import von H<sub>2</sub> vorbereiten</li> <li>1. Phase (2020 – 2023): Markthochlauf starten</li> <li>2. Phase (2024 – 2030): <b>5 GW</b> Elektrolyseleistung, Markt stärken</li> <li>„3. Phase“ (2031 – 2035): <b>10 GW</b> Elektrolyseleistung</li> </ul>	2020 - 2035
EU	180 – 470 Mrd. €	<ul style="list-style-type: none"> <li>Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55% senken</li> <li>Erreichung der Ziele des Pariser Klima-Abkommens</li> <li>1. Phase (2020 – 2024): <b>6 GW</b> Elektrolyseleistung</li> <li>2. Phase (2025 – 2030): <b>40 GW</b> Elektrolyseleistung</li> <li>3. Phase (2030 – 2050): H<sub>2</sub>-Technologien ausgereift</li> <li>Ein Viertel des erneuerbaren Stroms wird für die Erzeugung von grünem H<sub>2</sub> verwendet</li> </ul>	2020 - 2050



## Zur Rolle von Wasserstoff im zukünftigen Energiesystem: Ein Überblick

*oder*

## Wasserstoff – ein Molekül macht Karriere. Wieso eigentlich?

Richard Hanke-Rauschenbach<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES)  
Fachgebiet Elektrische Energiespeichersysteme

<sup>2</sup>Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050)

<sup>3</sup>Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN)

Netzwerktreffen Energieeffizienz-Netzwerk Hannover, 15.9.21 Hannover

## Kernaussagen/Gliederung

1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar
  - \* Mobilität
  - \* Grundstoff/Schwerindustrie
  - \* Wärmesektor
  
2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen Energieverbrauch und Energiedargebot

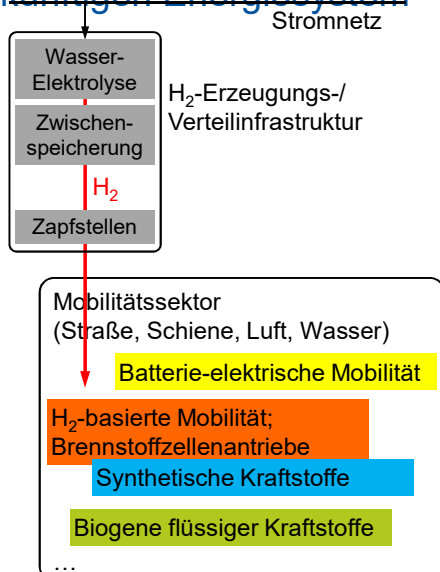
Wasserstoff wird dabei dauerhaft in Konkurrenz zu alternativen Technologien stehen, die weniger Flexibilität aber höheren Wirkungsgrad bieten

## Kernaussagen/Gliederung

1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar
  - \* Mobilität
  - \* Grundstoff/Schwerindustrie
  - \* Wärmesektor
2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen Energieverbrauch und Energiedargebot

Wasserstoff wird dabei dauerhaft in Konkurrenz zu alternativen Technologien stehen, die weniger Flexibilität aber höheren Wirkungsgrad bieten

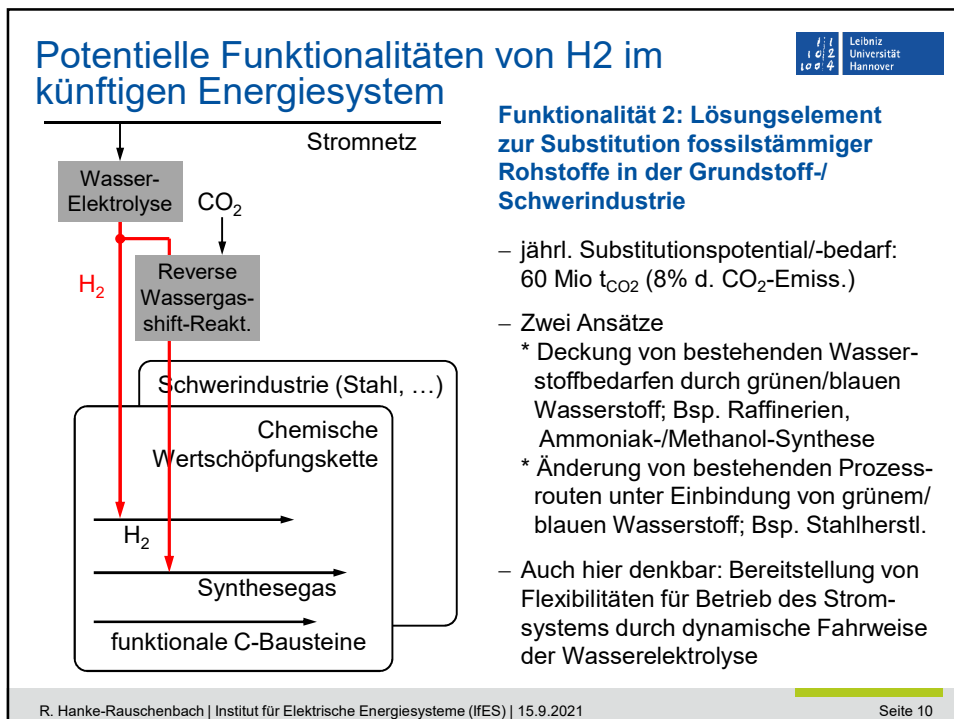
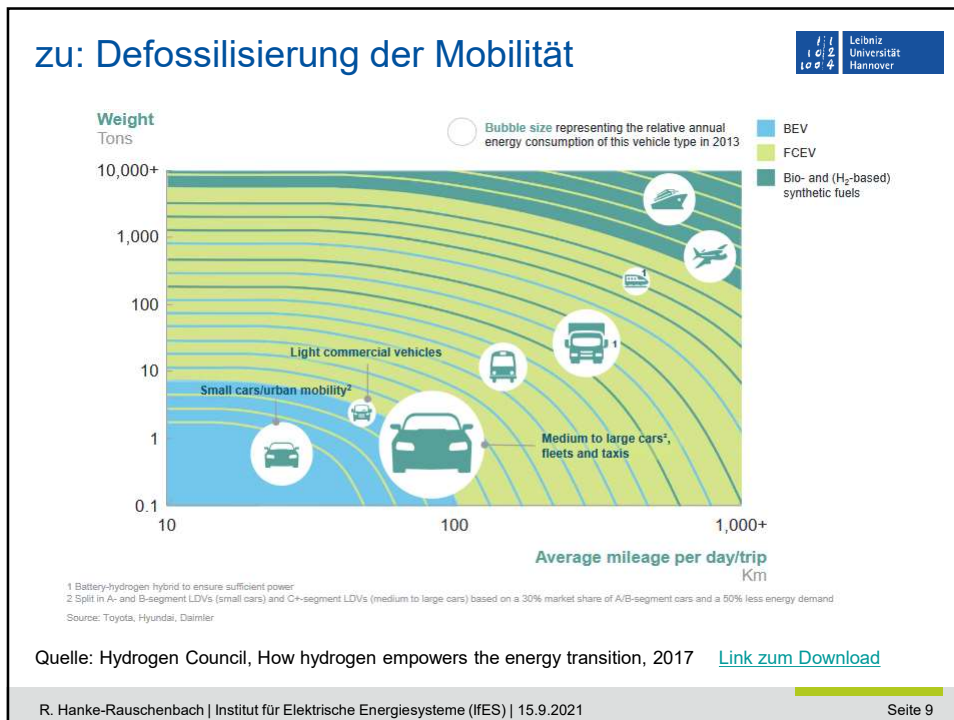
## Potentielle Funktionalitäten von H<sub>2</sub> im künftigen Energiesystem

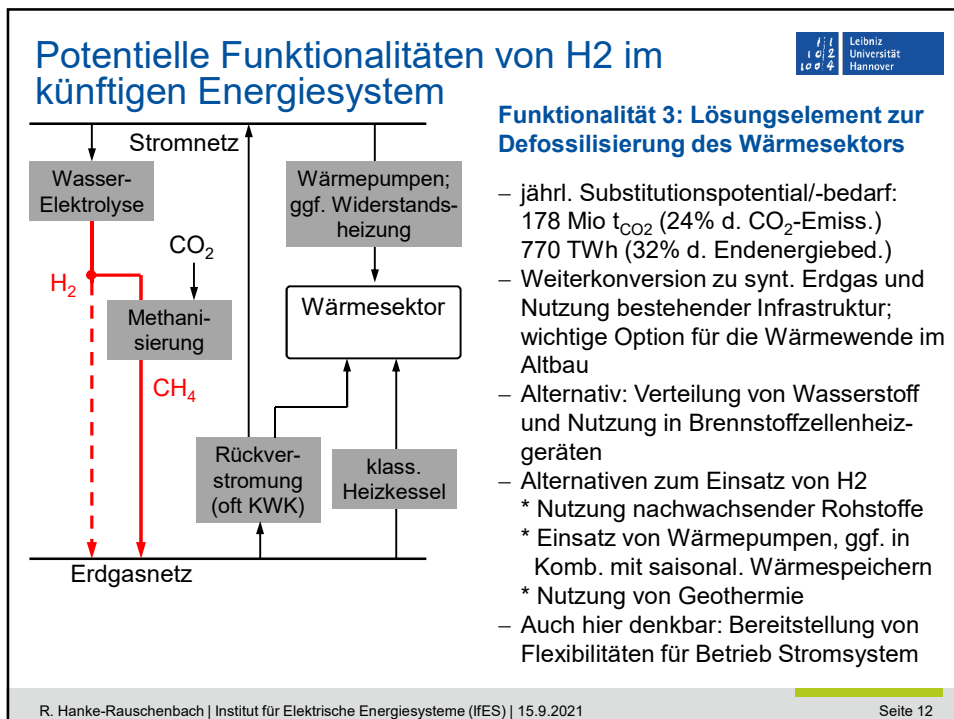
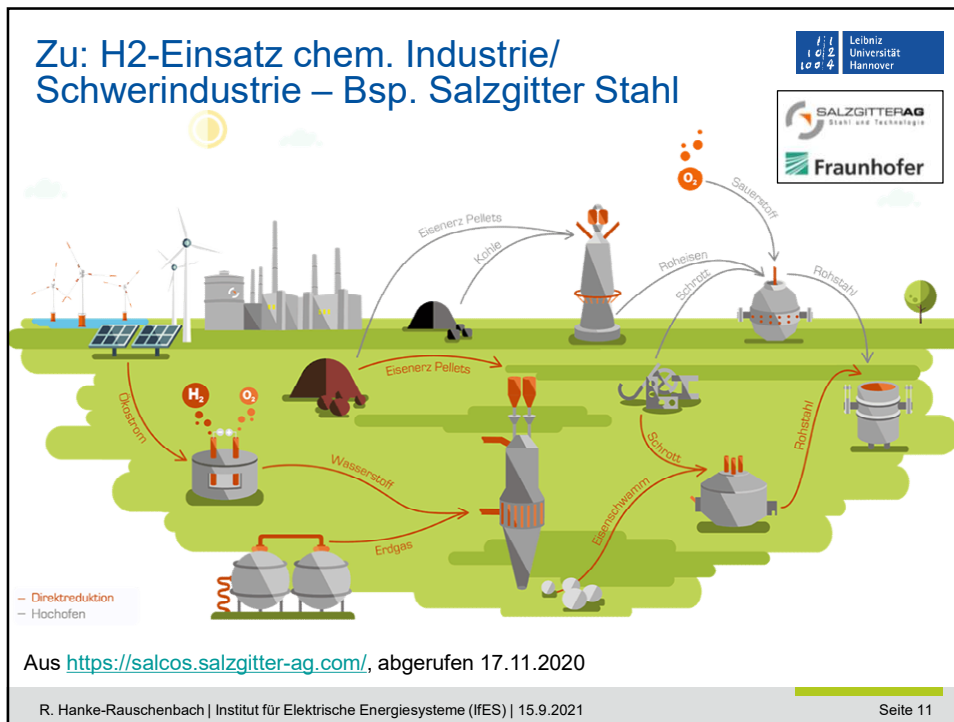


### Funktionalität 1: Lösungselement zu Defossilisierung der Mobilität

- jährl. Substitutionspotential/-bedarf\*: 185 Mio t<sub>CO2</sub> (25% d. CO<sub>2</sub>-Emiss.)  
720 TWh (30% d. Endenergiebed.)
- H<sub>2</sub>-basierte Mobilität als Teil eines komplementären Ansatzes
- Alternativen zum Einsatz von H<sub>2</sub>
  - \* Einsatz biogener Treibstoffe
  - \* Batterie-elektrische Antriebe
  - \* Einsatz synthetischer Kraftstoffe
- „Nebeneffekt“ durch dynamische Fahrweise der Wasser-Elektrolyse: Bereitstellung von Flexibilitäten für Betrieb des Stromsystems

\*Deutschland, Bezugsjahr: 2014





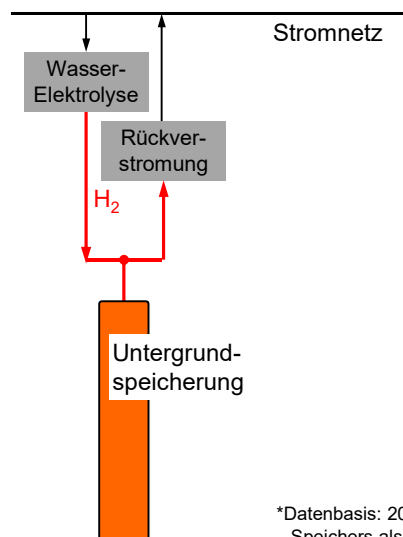
## Kernaussagen/Gliederung



1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar
  - \* Mobilität
  - \* Grundstoff/Schwerindustrie
  - \* Wärmesektor
  
2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen Energieverbrauch und Energiedargebot

Wasserstoff wird dabei dauerhaft in Konkurrenz zu alternativen Technologien stehen, die weniger Flexibilität aber höheren Wirkungsgrad bieten

## Potentielle Funktionalitäten von H<sub>2</sub> im künftigen Energiesystem



### Funktionalität 4: Lösungselement zur Langzeitspeicherung von erneuerbarer Energie

- Voraussetzung zur Erreichung hoher erneuerbarer Deckungsgrade; konkret: Überbrückung von sog. Dunkelflauten (10-20 Tage)
- benötigt werden hierfür Speicher mit hoher spez. Kapazität > 250 kWh/kW
- H<sub>2</sub>-basierte Unterspeicherung stellt hierfür eine sinnvolle Lösung dar:
  - ökonomische Sicht\*: < 5 EUR/kWh (Pumpspeicher: ≈ 50 EUR/kWh, Li-Ionen-Akku: ≈ 100 EUR/kWh)
  - Verfüg. Potential: ≈ 1.600 TWh (Pumpspeicher: ≈ 100 GWh)

\*Datenbasis: 2050, berücksichtigt sind sowohl Kosten für Energieteil des Speichers als auch für den entsprechend dimensionierten Leistungsteil



## Potentielle Funktionalitäten von H<sub>2</sub> im zukünftigen Energiesystem

**Leibniz Universität Hannover**

**BGR IGtH**

**KBB UNDERGROUND TECHNOLOGIES**

	Ausgewertete Strukturen [-]	Energiegehalt	
		CAES [TWh]	H <sub>2</sub> [TWh]
<b>Gesamt</b>	<b>269</b>	<b>4,5</b>	<b>1.614</b>
Berlin / Brandenburg	24	0,5	159
Bremen / Niedersachsen	160	2,0	702
Hamburg / Schleswig-Holstein	44	0,7	413
Mecklenburg-Vorpommern	9	0,6	193
Sachsen-Anhalt	32	0,8	147

Lösungselement zur Langzeitspeicherung von erneuerbarer Energie

Erreichung hoher Deckungsgrade; Deckung von sog. (9-20 Tage) hierfür Speicher mit Kapazität > 250 kWh/kW

Grundspeicherung involle Lösung dar: < 5 EUR/kWh, 50 EUR/kWh, 100 EUR/kWh) Potential: ≈ 1.600 TWh (Pumpspeicher: ≈ 100 GWh)

In Fragen kommen hierfür insb. aus ökonomischen Erwägungen\* vor allem Akkumulatoren und Pumpspeicherkraftwerke

\*Datenbasis: 2050, berücksichtigt sind sowohl Kosten für Energieteil des Speichers als auch für den entsprechend dimensionierten Leistungsteil

BMBF-Projekt InSpEE – Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die Errichtung von Salzlagern zur Speicherung von Erneuerbaren Energien

Benötigt sind sowohl Kosten für Energieteil des Speichers als auch für den entsprechend dimensionierten Leistungsteil

R. Hanke-Rauschenbach | Institut für Elektrische Energiesysteme (IFES) | 15.9.2021

Seite 15

## Potentielle Funktionalitäten von H<sub>2</sub> im zukünftigen Energiesystem

**Leibniz Universität Hannover**

Stromnetz

**Beachte:**

- Tag/Nacht-Ausgleich ist bereits bei mittleren erneuerbaren Deckungsgraden erforderlich
- benötigt werden hierfür Speicher mit kleiner spez. Kapazität ≈ 10 kWh/kW, die sich teilweise auch anwender-/erzeugernah installieren lassen
- In Fragen kommen hierfür insb. aus ökonomischen Erwägungen\* vor allem Akkumulatoren und Pumpspeicherkraftwerke

Lösungselement zur Langzeitspeicherung von erneuerbarer Energie

Erreichung hoher Deckungsgrade; Deckung von sog. (9-20 Tage) hierfür Speicher mit Kapazität > 250 kWh/kW

Grundspeicherung involle Lösung dar: < 5 EUR/kWh, 50 EUR/kWh, 100 EUR/kWh) Potential: ≈ 1.600 TWh (Pumpspeicher: ≈ 100 GWh)

In Fragen kommen hierfür insb. aus ökonomischen Erwägungen\* vor allem Akkumulatoren und Pumpspeicherkraftwerke


\*Datenbasis: 2050, berücksichtigt sind sowohl Kosten für Energieteil des Speichers als auch für den entsprechend dimensionierten Leistungsteil

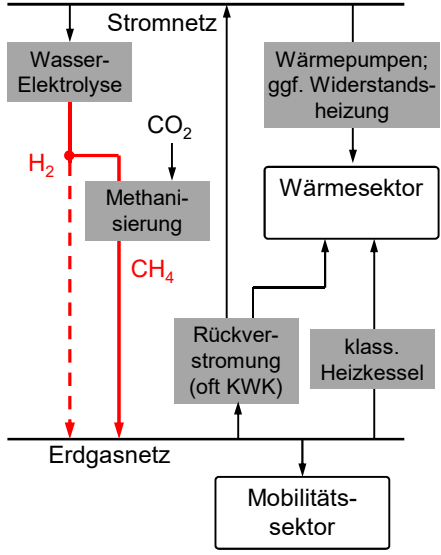
R. Hanke-Rauschenbach | Institut für Elektrische Energiesysteme (IFES) | 15.9.2021

Seite 16



## Potentielle Funktionalitäten von H2 im künftigen Energiesystem






### Funktionalität 5: Lösungselement zur volkswirtschaftlichen Optimierung des Stromnetzausbaus

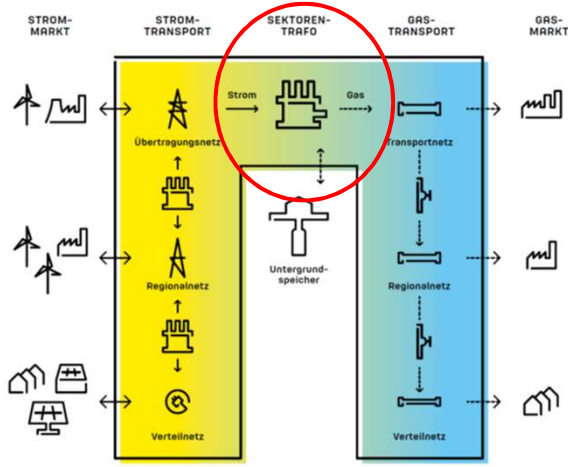
- Wandlung von sog. nicht-integrierbarem EE-Strom in H2 und Verteilung über H2-Infrastruktur (bzw. Wandlung in synth. Erdgas und Abgabe ins Erdgasnetz)
- anschließende Nutzung in verschied. Sektoren (insb. Wärmesektor)
- Systemdienlicher Betrieb der Power-to-Gas-Anlage ist notwendig
- volkswirtschaftlich sorgfältig zu bewerten
- Weiterer Vorteil: Infrastruktur lässt sich auch für Import von grünem/blauen Wasserstoff nutzen


R. Hanke-Rauschenbach | Institut für Elektrische Energiesysteme (IFES) | 15.9.2021

Seite 17

## hybride-Vorschlag – P2G als sog. „Sektoren-Trafo“ (Amprion/Open Grid Europe)







Quelle: Amprion/Open Grid Europe. "Hybride - Mit Sektorenkopplung erfolgreich zur Energiewende", 2019

R. Hanke-Rauschenbach | Institut für Elektrische Energiesysteme (IFES) | 15.9.2021

Seite 18

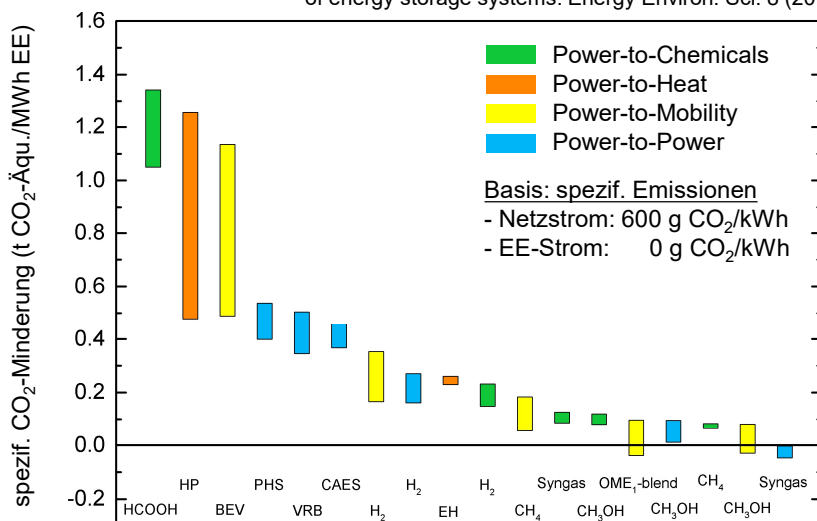
## Kernaussagen/Gliederung

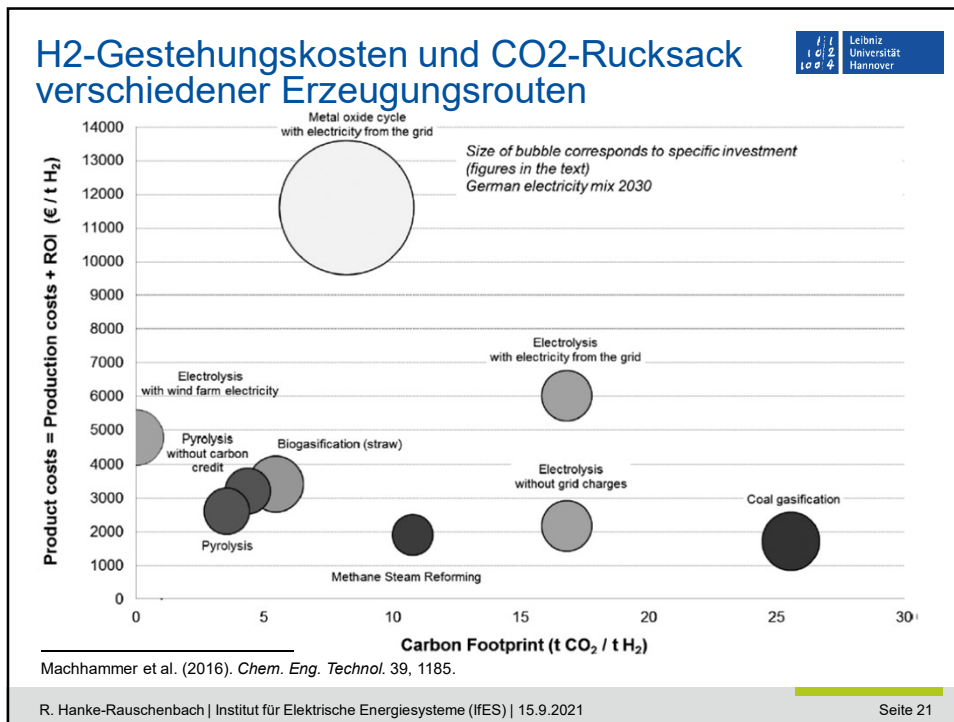
1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar
  - \* Mobilität
  - \* Grundstoff/Schwerindustrie
  - \* Wärmesektor
2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen Energieverbrauch und Energiedargebot

Wasserstoff wird dabei dauerhaft in Konkurrenz zu alternativen Technologien stehen, die weniger Flexibilität aber höheren Wirkungsgrad bieten

## P2X-Merit Order

Quelle: Sternberg und Bardow: Power-to-What? – Environmental assessment of energy storage systems. Energy Environ. Sci. 8 (2015), 389





## Wasserstoff – ein Molekül mach Karriere

- Stakeholderkonferenz „Wasserstoff und Energiewende“ am 5. November 2019 in Berlin, gemeinsam ausgerichtet von BMWi, BMVI, BMBF und BMZ
- Auftakt zur Erarbeitung der **Nationale Strategie Wasserstoff (NSW)**, die bereits im Dezember 2019 im Kabinett verabschiedet werden soll

**Wasserstoff: ein wichtiges Element für die Energiewende**

ERNEUERBARE GASE – WO FLOPPT'S, WO FLIEGT'S?  
CHRISTOPH JUDEL @ 12. NIEDERSÄCHSISCHE ENERGIETAGE, HANNOVER, 6. NOVEMBER 2019

**dena**  
Deutsche Energie-Agentur

R. Hanke-Rauschenbach | Institut für Elektrische Energiesysteme (IFES) | 15.9.2021 Seite 22




Leibniz  
Forschungszentrum  
Energie 2050



Leibniz  
Universität  
Hannover

## Zur Rolle von Wasserstoff im zukünftigen Energiesystem: Ein Überblick oder Wasserstoff – ein Molekül macht Karriere. Wieso eigentlich?

Richard Hanke-Rauschenbach<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES)  
Fachgebiet Elektrische Energiespeichersysteme

<sup>2</sup>Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050)

<sup>3</sup>Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN)

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Netzwerktreffen Energieeffizienz-Netzwerk Hannover, 15.9.21 Hannover

## H2-Forschung in Niedersachsen: EFZN-Forschungsverbund Wasserstoff

<https://www.efzn.de/de/projekte/efzn-forschungsverbund-wasserstoff-niedersachsen/>



Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen

### I. Wasserstoffbereitstellung mittels Wasserelektrolyse

Stromnetz



### II. Speicherung von Wasserstoff im Untergrund und Infrastruktur







R. Hanke-Rauschenbach | Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES) | 15.9.2021
Seite 24

## H2-Forschung in Niedersachsen: EFZN-Forschungsverbund Wasserstoff

<https://www.efzn.de/de/projekte/efzn-forschungsverbund-wasserstoff-niedersachsen/>

### III. Zukünftige Wasserstoffverbrennungskonzepte

### IV. Konversion von Wasserstoff in andere Energieträger

Mobilitätssektor (Straße, Schiene, Luft, Wasser)

**Batterie-elektrische Mobilität**

**H<sub>2</sub>-basierte Mobilität**

**Brennstoffzellenantrieb**

**Synthetische Kraftstoffe**

**Biogene flüssiger**

R. Hanke-Rauschenbach | Institut für Elektrische Energiesysteme (IFES) | 15.9.2021 Seite 25

## H2-Forschung in Niedersachsen: EFZN-Forschungsverbund Wasserstoff

<https://www.efzn.de/de/projekte/efzn-forschungsverbund-wasserstoff-niedersachsen/>

### V. H2-Anwendungen in Brennstoffzellen

### VI. Energiesystemanalyse mit besonderem Schwerpunkt auf H2

R. Hanke-Rauschenbach | Institut für Elektrische Energiesysteme (IFES) | 15.9.2021 Seite 26