

Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle bei der Defossilisierung des Gesamtenergiesystems

Richard Hanke-Rauschenbach^{1,2}

¹Leibniz Universität Hannover
Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES)
Fachgebiet Elektrische Energiespeichersysteme

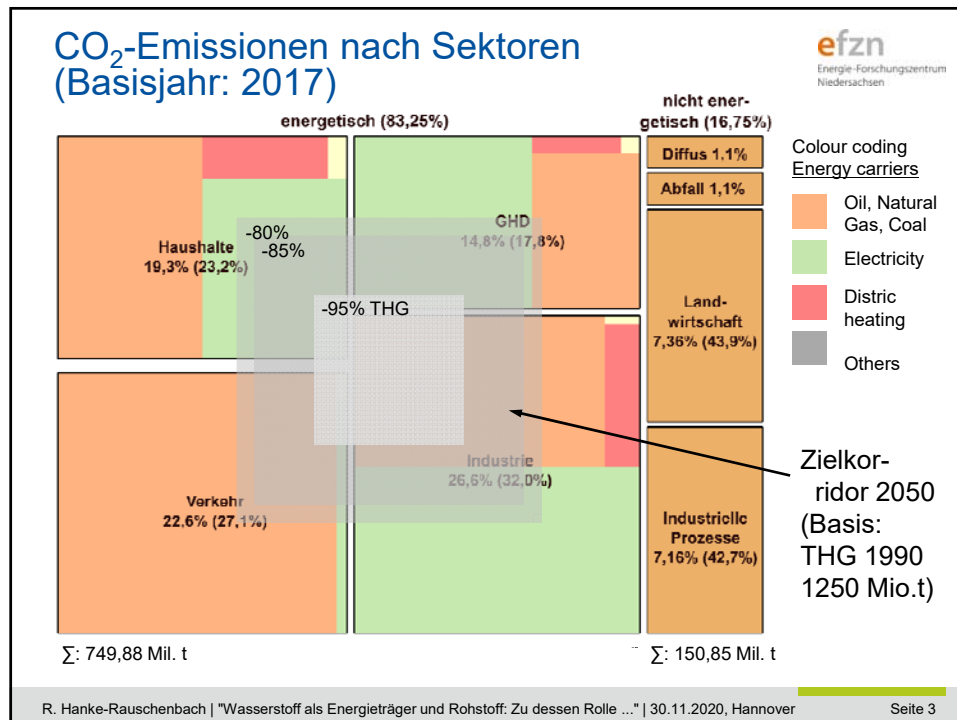
²Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN)
EFZN-Forschungsverbund Wasserstoff Niedersachsen

Webkonferenz „Synergiewende mit grünem Wasserstoff“, 30.11.2020

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

efzn
Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

- Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar
 - * **Mobilität**
 - * Grundstoff/Schwerindustrie
 - * Wärmesektor
- 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

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 4

Defossilisierung der Mobilität

Stromnetz

jährl. Substitutionspotential/bedarf*:
 185 Mio t_{CO2} (25% d. CO₂-Emiss.)
 720 TWh (30% d. Endenergiebed.)

Defossilisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- + Nutzung bestehender Infrastr.
- + liefern aktuell 35 TWh (entspricht 99% des EE-Anteils)
- insg. begrenztes Potential
- niedrige Kettenwirkungsgrade, hoher Flächenbedarf

*Bezugsjahr: 2014

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 5

Defossilisierung der Mobilität

Stromnetz

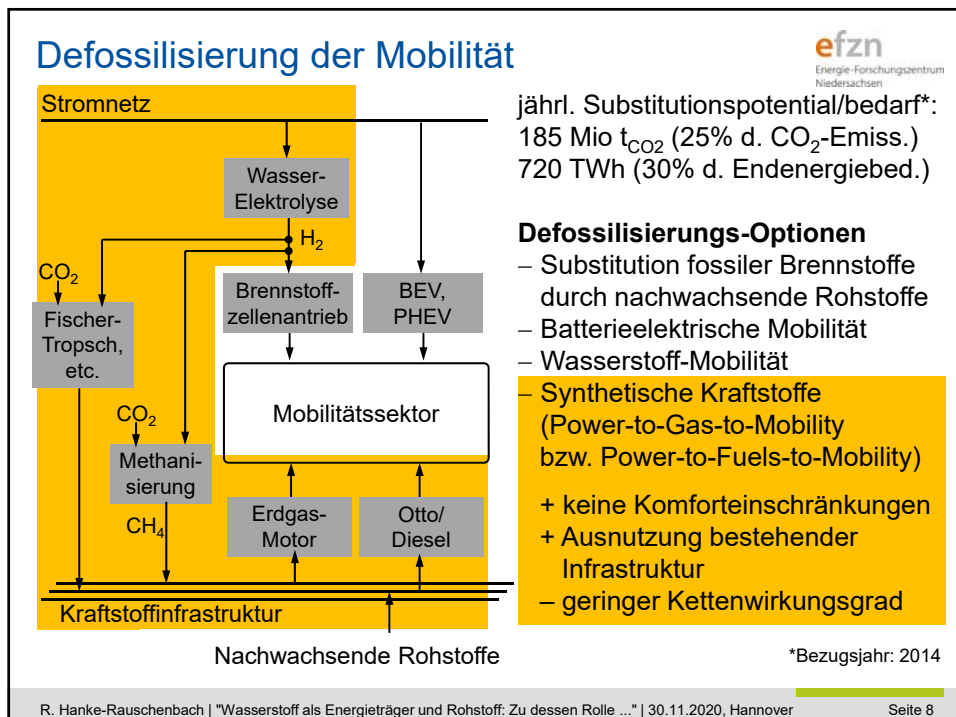
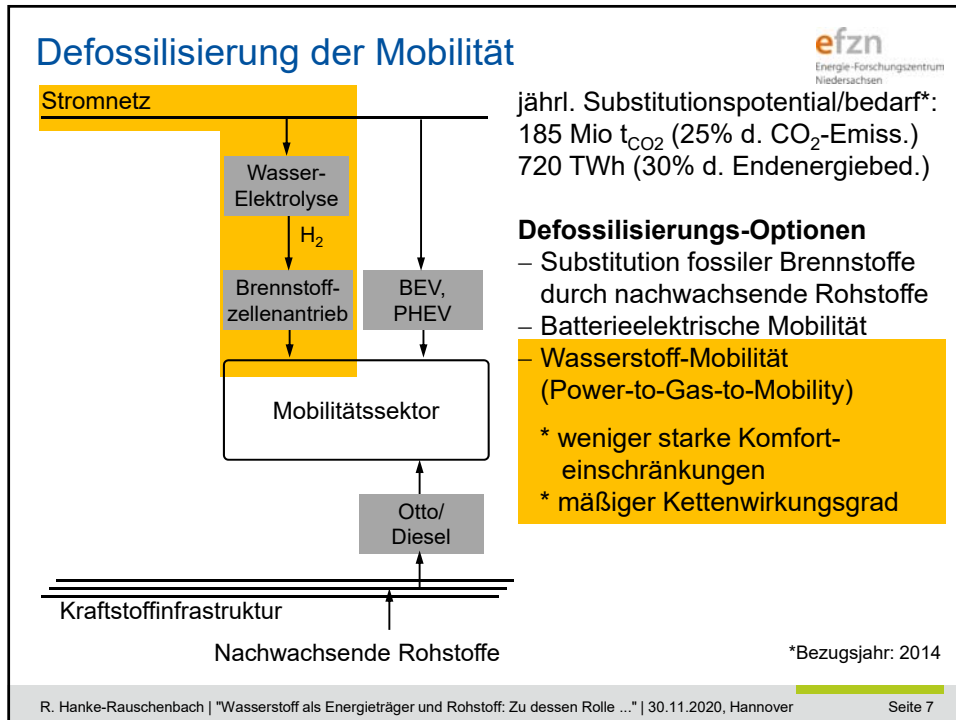
jährl. Substitutionspotential/bedarf*:
 185 Mio t_{CO2} (25% d. CO₂-Emiss.)
 720 TWh (30% d. Endenergiebed.)

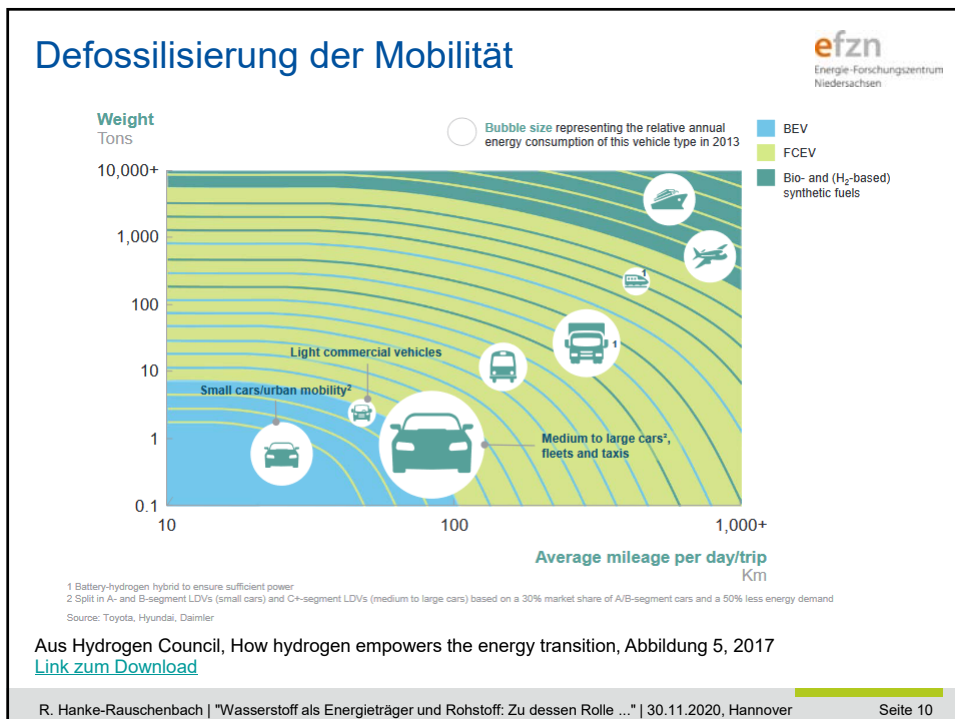
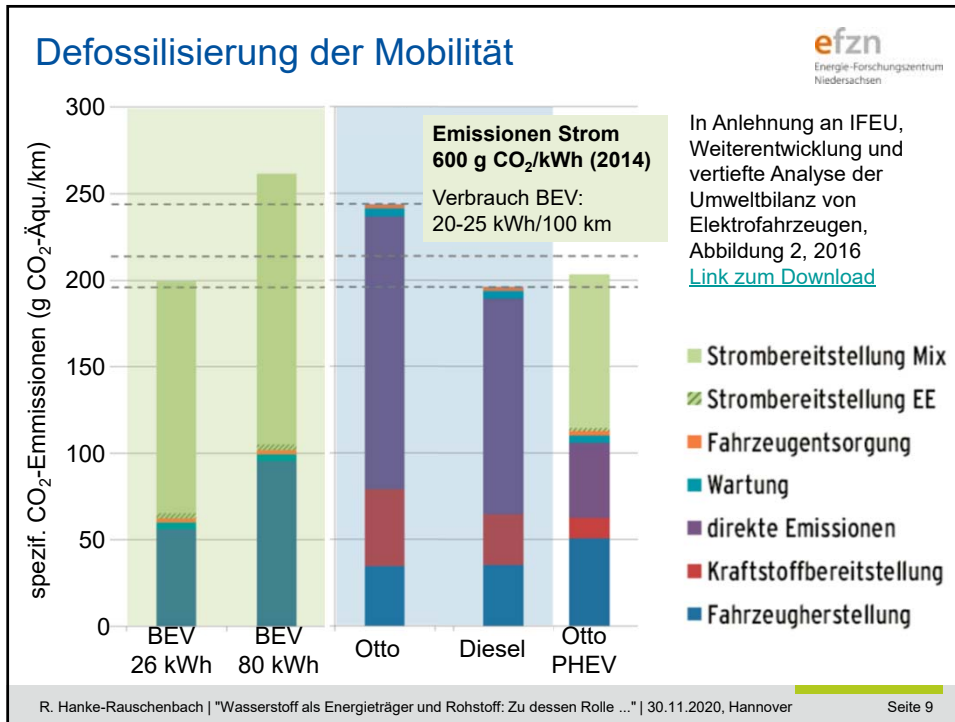
Defossilisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Batterieelektrische Mobilität (Power-to-Mobility)
- + sehr guter Kettenwirkungsgrad
- gegenwärtig häufig mit Komforteinschränkungen verbunden
- eingeschränkte Option für Nutzfahrzeuge und große Reichweiten

*Bezugsjahr: 2014

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 6



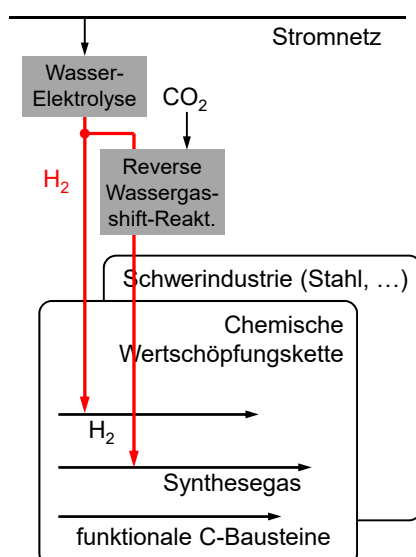


Kernaussagen/Gliederung

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

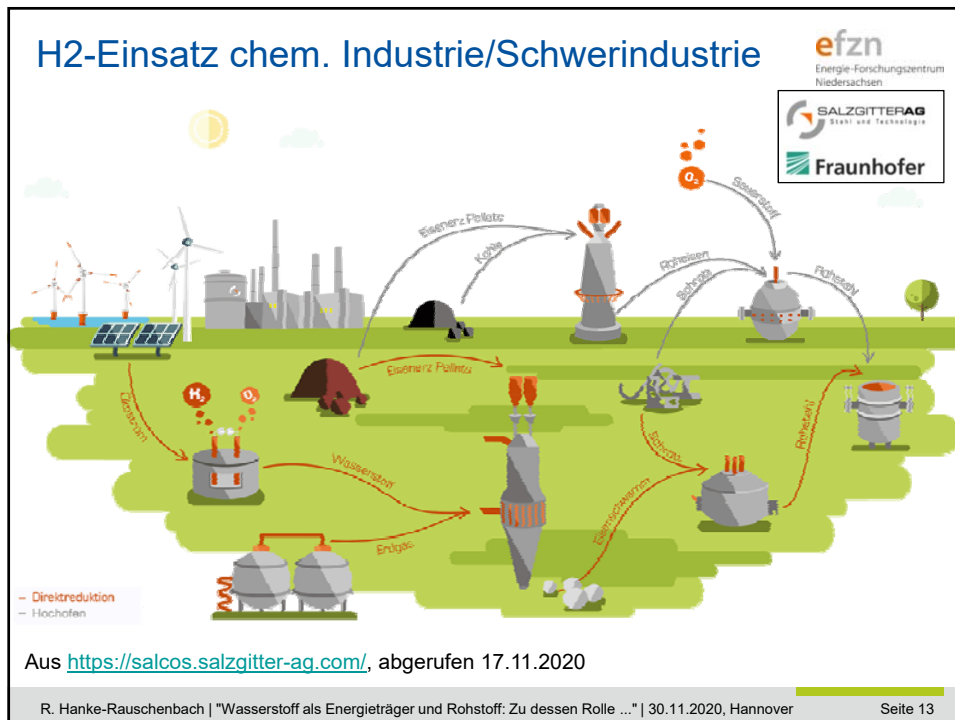
H₂-Einsatz chem. Industrie/Schwerindustrie



Substitution fossilstämmiger Rohstoffe in der chemischen Industrie/Schwerindustrie

- jährl. Substitutionspotential/-bedarf: 60 Mio t_{CO₂} (8% d. CO₂-Emiss.)
- Zwei Ansätze
 - * Deckung von bestehenden Wasserstoffbedarfen durch grünen/blauen Wasserstoff; Bsp. Raffinerien, Ammoniak-/Methanol-Synthese
 - * Änderung von bestehenden Prozessrouten unter Einbindung von grünem/blauen Wasserstoff; Bsp. Stahlherstl.

*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

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover

Seite 14

Defossilisierung der Wärmebereitstellung

efzn
Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

Stromnetz

Gebäudebeheizung/
Warmwasserbereitung

KWK-
Anlagen

klass.
Heizkessel

Erdgasnetz

Nachwachsende Rohstoffe

jährl. Substitutionspotential/bedarf*:
178 Mio t_{CO2} (24% d. CO₂-Emiss.)
770 TWh (32% d. Endenergiebed.)

Defossilisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- + Nutzung bestehender Infrastr.
- + liefern aktuell 105 TWh (entspricht 90% des EE-Anteils)
- + Bedarfsgerechte Bereitstellung möglich
- insg. begrenztes Potential
- niedrige Kettenwirkungsgrade, hoher Flächenbedarf, deshalb Einhaltung Nutzungskaskade

*Bezugsjahr: 2014

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 15

Defossilisierung der Wärmebereitstellung

efzn
Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

Stromnetz

Wärmepumpen
ggf. Wider-
standsheizung

Gebäudebeheizung/
Warmwasserbereitung

KWK-
Anlagen

klass.
Heizkessel

Erdgasnetz

Nachwachsende Rohstoffe

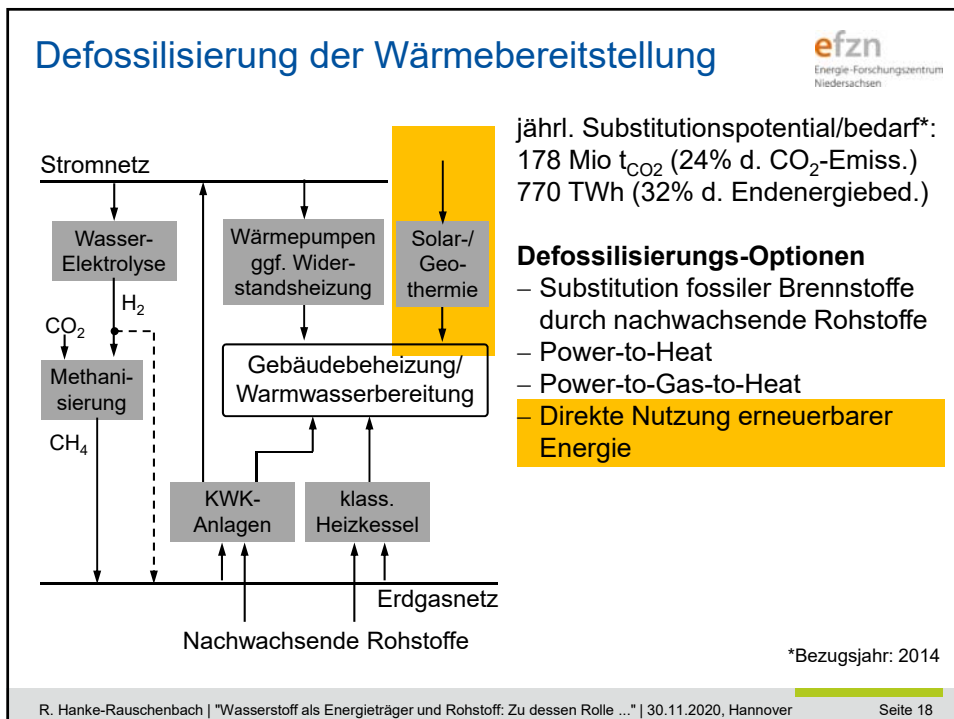
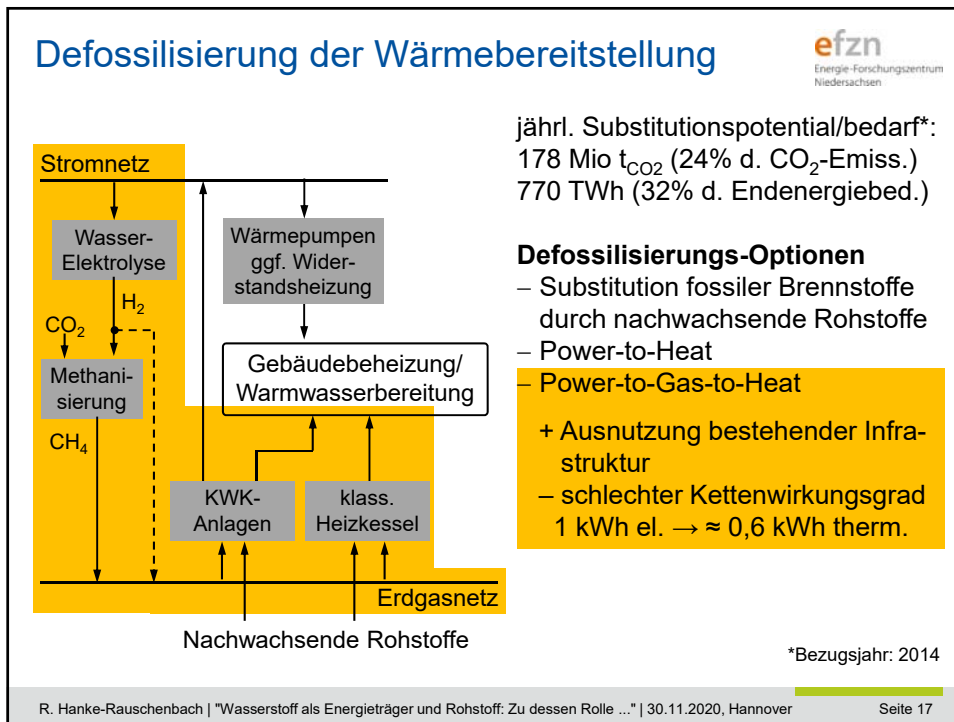
jährl. Substitutionspotential/bedarf*:
178 Mio t_{CO2} (24% d. CO₂-Emiss.)
770 TWh (32% d. Endenergiebed.)

Defossilisierungs-Optionen

- Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe
- Power-to-Heat
- + guter Kettenwirkungsgrad, insb. bei Wärmepumpenanlagen
1 kWh elekt. → >3 kWh therm.
- * Neubaustandard bzw. effizient gedämmter Altbau nötig
- * ggf. Kombination mit saisonalem Wärmespeicher nötig

*Bezugsjahr: 2014

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 16



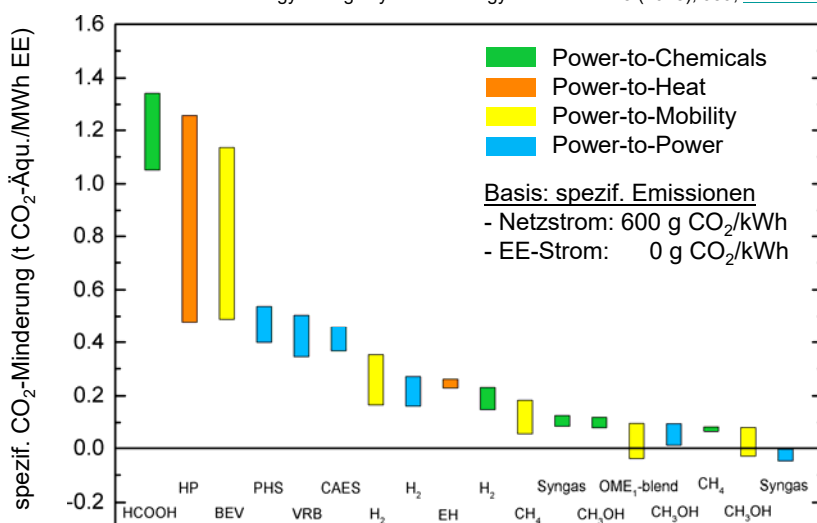
Kernaussagen/Gliederung

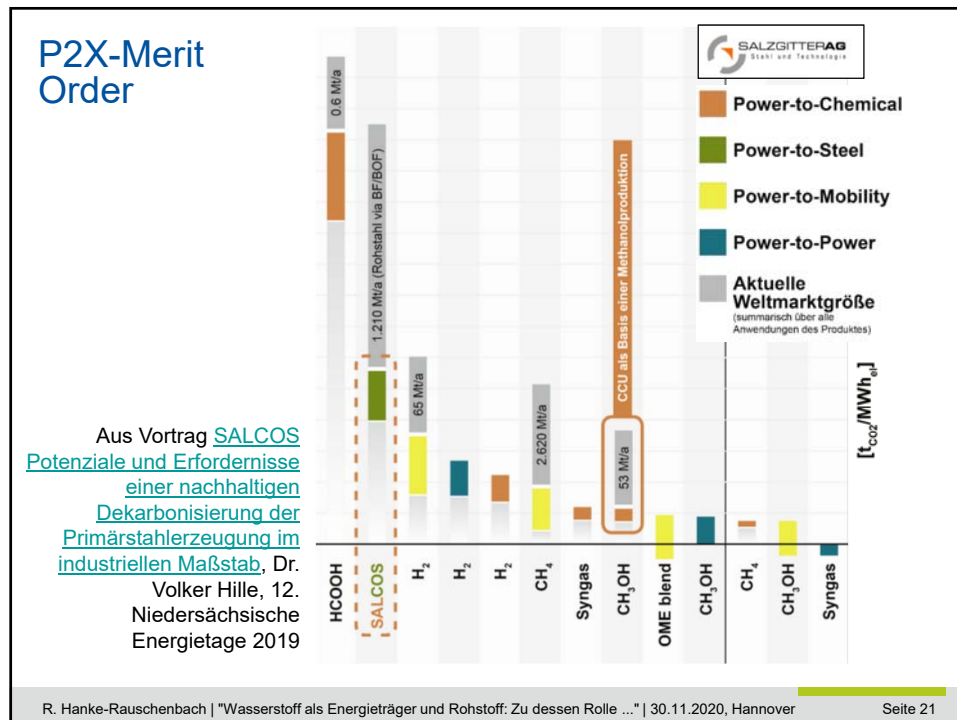
1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar
 - * Mobilität
 - * Grundstoff/Schwerindustrie
 - * Wärmesektor
2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen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

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

P2X-Merit Order

Aus Vortrag [Power to What?](#), Prof. Dr.-Ing. André Bardow, 10. Niedersächsische Energietage 2017
Further reading Sternberg und Bardow: Power-to-What? – Environmental assessment of energy storage systems. Energy Environ. Sci. 8 (2015), 389, [Link zum Download](#)





Kernaussagen/Gliederung

efzn
Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

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 **Energieangebot**

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

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 22

Ausgleich von örtlichen Unterschieden zwischen Verbrauch und Dargebot

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)

efzn
Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff. Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 23

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

efzn
Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

ab 2030
UMWIDMUNG EINER BESTEHENDEN ABLEITUNG FÜR DEN TRANSPORT VON WASSERSTOFF

Voll liberalisierter Markt
 Regulierter Markt

Abbildungen aus Amprion/Open Grid Europe, "Hybride - Mit Sektoren-kopplung erfolgreich zur Energiewende", 2019
[Link zum Download](#)

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff. Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 24

Ausgleich von örtlichen Unterschieden zwischen Verbrauch und Dargebot

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 | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 25

Nutzung der H2-Infrastruktur zum Import von grünem Wasserstoff

Vergleich der Erzeugungs- und Transportkosten für synthetisches Methan in Nordafrika (Photovoltaik) und in der Nord- und Ostsee (Offshore-Windkraft) im Referenzfall (ct₂₀₁₇/kWh_{Methan})

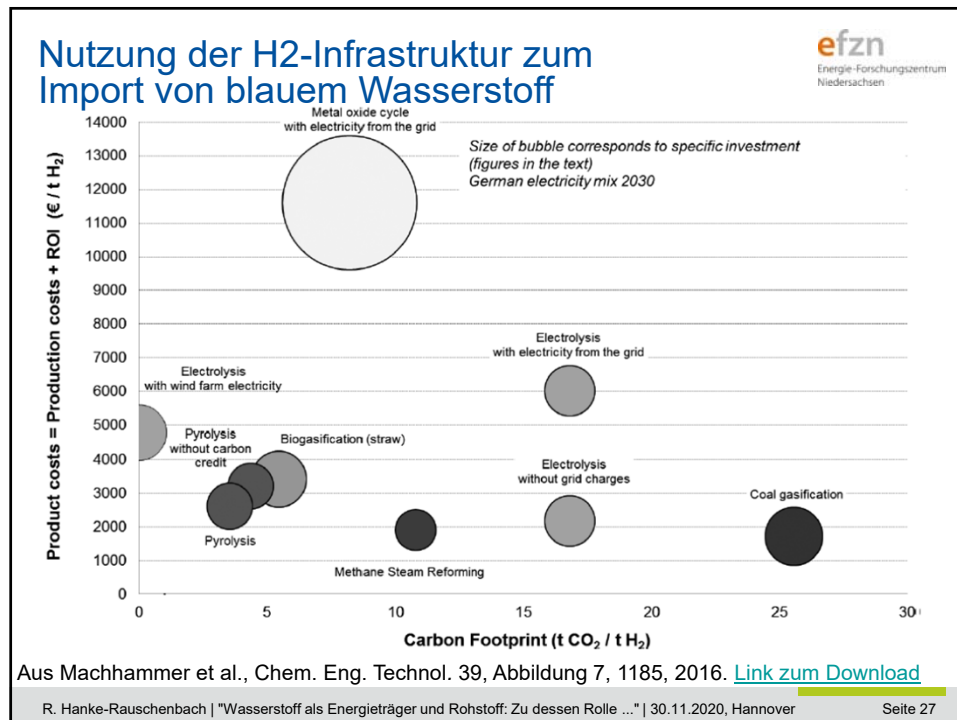
Abbildung 3

Quelle: PV (links), Wind Offshore (rechts).
 ■ Transport ■ Umwandlung in Methan (inklusive H₂-Speicher) ■ Umwandlung Wasserstoffelektrolyse ■ Stromkosten Wasserstoffelektrolyse

Frontier Economics

Aus Frontier Economics, Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe, 2018. Studie im Auftrag von Agora Verkehrswende und Agora Energiewende, [Link zum Download](#)

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 26



Kernaussagen/Gliederung

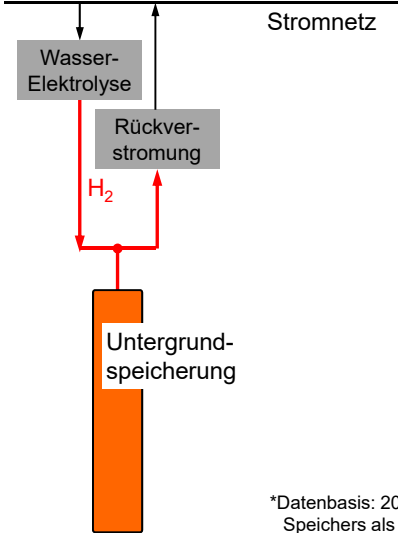
efzn
Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

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 Energieangebot

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

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 28

Ausgleich von zeitlichen Unterschieden zwischen Verbrauch und Dargebot



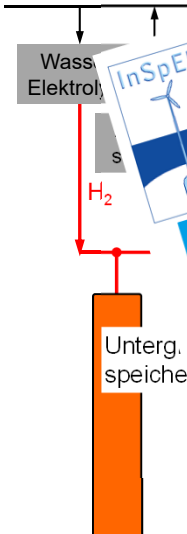
Lösungselement zur Langzeit-speicherung von erneuerbarer Energie

- 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
- H₂-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

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover
Seite 29

Ausgleich von zeitlichen Unterschieden zwischen Verbrauch und Dargebot



Lösungselement zur Langzeit-speicherung von erneuerbarer Energie

Erreichung hoher Deckungsgrade; Überbrückung von sog. Dunkelflauten (10-20 Tage) benötigt werden hierfür Speicher mit hoher spez. Kapazität > 250 kWh/kW

H₂-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

	Ausgewertete Strukturen [-]	Energiegehalt CAES [TWh]	H ₂ [TWh]
Gesamt	269	4,5	1.614
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

Aus InSpEE-DS - Teilprojekt Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung (Sachbericht 03ET6062A), Tabelle 7-1, 2020 [Link zum Download](#)

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover
Seite 30

Ausgleich von zeitlichen Unterschieden zwischen Verbrauch und Dargebot

efzn
Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

Lösungselement zur Langzeit-Speicherung erneuerbarer Energie

Beachte:

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

zur Erreichung hoher Deckungsgrade; Deckung von sog. (10-20 Tage) hierfür Speicher mit Kapazität $> 250 \text{ kWh/kW}$ und Speicherdauer von mehreren Jahren erforderlich. Grundspeicherung ist eine unvermeidbare Lösung dar: Kosten: $< 5 \text{ EUR/kWh}$ (Akkumulatoren: 50 EUR/kWh , Pumpspeicher: 100 EUR/kWh) Gesamtpotential: $\approx 1.600 \text{ TWh}$ (Pumpspeicher: $\approx 100 \text{ GWh}$)

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

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 31

Zusammenfassung: Kernaussagen

efzn
Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

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

R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 32



Leibniz
Universität
Hannover



Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle bei der Defossilisierung des Gesamtenergiesystems

Richard Hanke-Rauschenbach^{1,2}

¹Leibniz Universität Hannover
Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES)
Fachgebiet Technische Energiespeichersysteme

²Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN)
EFZN-Forschungsverbund Wasserstoff Niedersachsen
<https://www.efzn.de/de/projekte/efzn-forschungsverbund-wasserstoff-niedersachsen/>

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Webkonferenz „Synergiewende mit grünem Wasserstoff“, 30.11.2020



Leibniz
Universität
Hannover



Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

H2-Forschung in Niedersachsen: EFZN-Forschungsverbund Wasserstoff

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

I. Wasserstoffbereitstellung mittels Wasserelektrolyse



II. Speicherung von Wasserstoff im Untergrund und Infrastruktur

Bildquelle: Wasserstoff unter Tage speichern, 2017 [Link zum Download](#)



Untergrundspeicherung



Leibniz
Universität
Hannover



TU Clausthal
Heinrich-Hertz-Institut



Fraunhofer
Heinrich-Hertz-Institut



Fraunhofer
Heinrich-Hertz-Institut



Fraunhofer
Heinrich-Hertz-Institut



Fraunhofer
Heinrich-Hertz-Institut



Fraunhofer
Heinrich-Hertz-Institut



Fraunhofer
Heinrich-Hertz-Institut



Fraunhofer
Heinrich-Hertz-Institut



Fraunhofer
Heinrich-Hertz-Institut



TU Clausthal
Heinrich-Hertz-Institut



Leibniz
Universität
Hannover



Fraunhofer
Heinrich-Hertz-Institut



Fraunhofer
Heinrich-Hertz-Institut

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










R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 35

H2-Forschung in Niedersachsen: EFZN-Forschungsverbund Wasserstoff

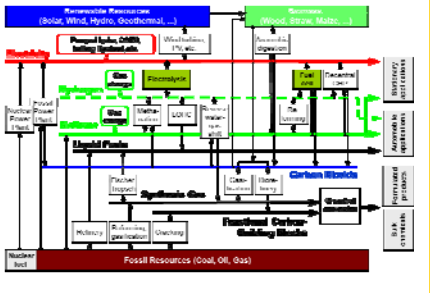
<https://www.efzn.de/de/projekte/efzn-forschungsverbund-wasserstoff-niedersachsen/>



V. H2-Anwendungen in Brennstoffzellen




VI. Energiesystemanalyse mit besonderem Schwerpunkt auf H2



R. Hanke-Rauschenbach | "Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff: Zu dessen Rolle ..." | 30.11.2020, Hannover Seite 36