



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



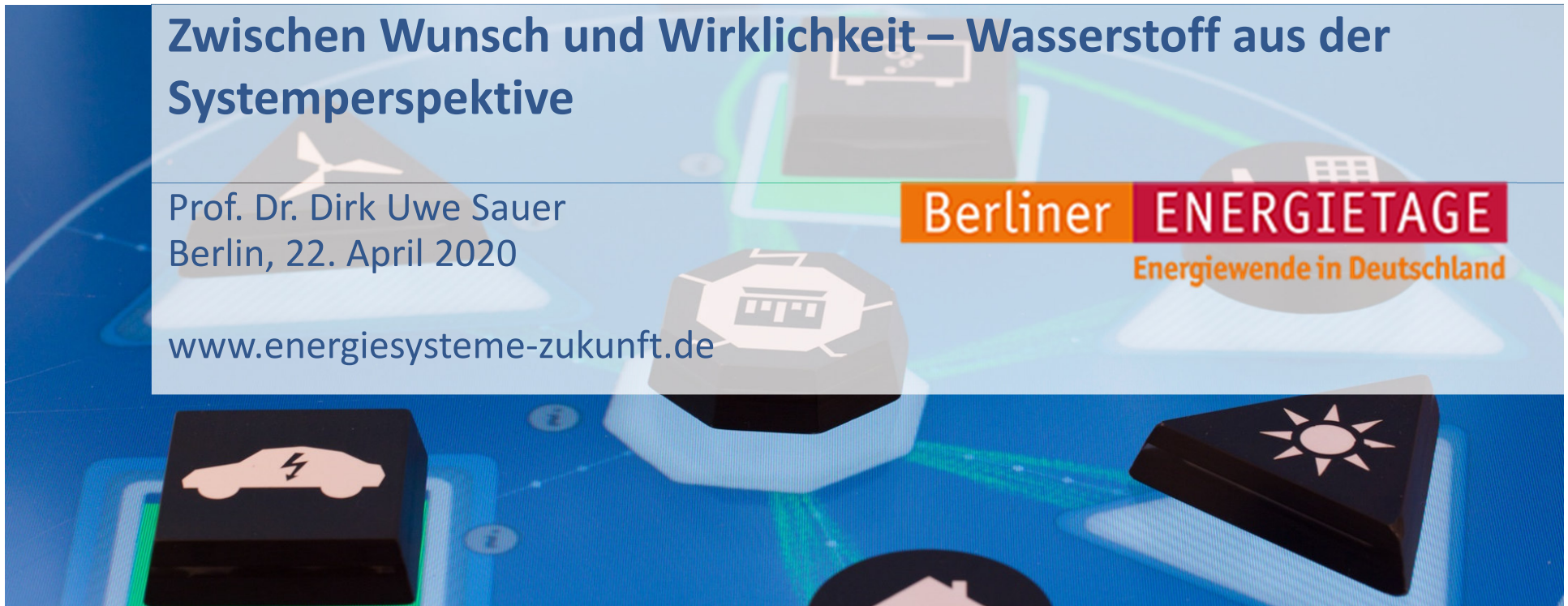
Zwischen Wunsch und Wirklichkeit – Wasserstoff aus der Systemperspektive

Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer
Berlin, 22. April 2020

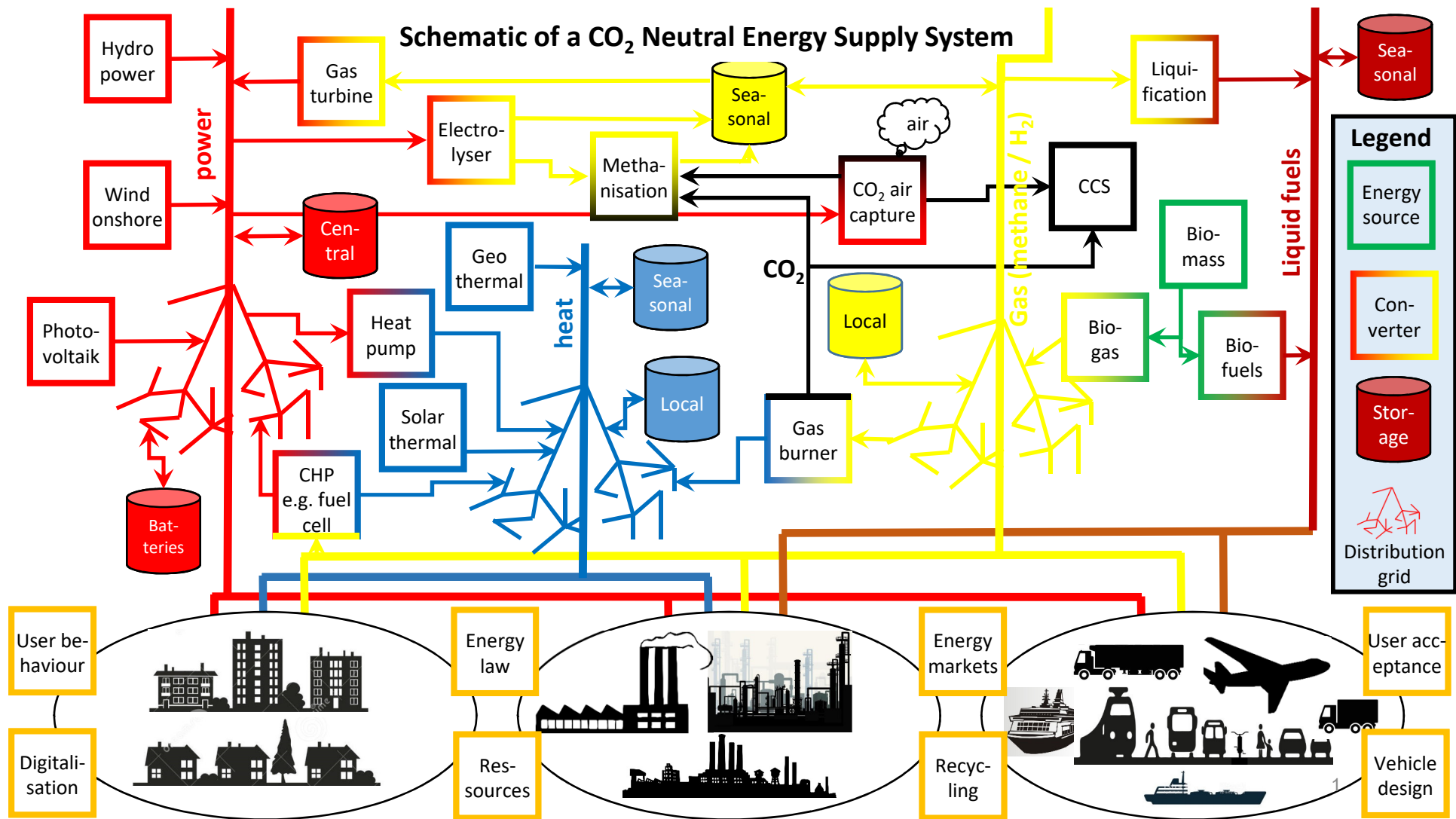
www.energiesysteme-zukunft.de

Berliner **ENERGIETAGE**

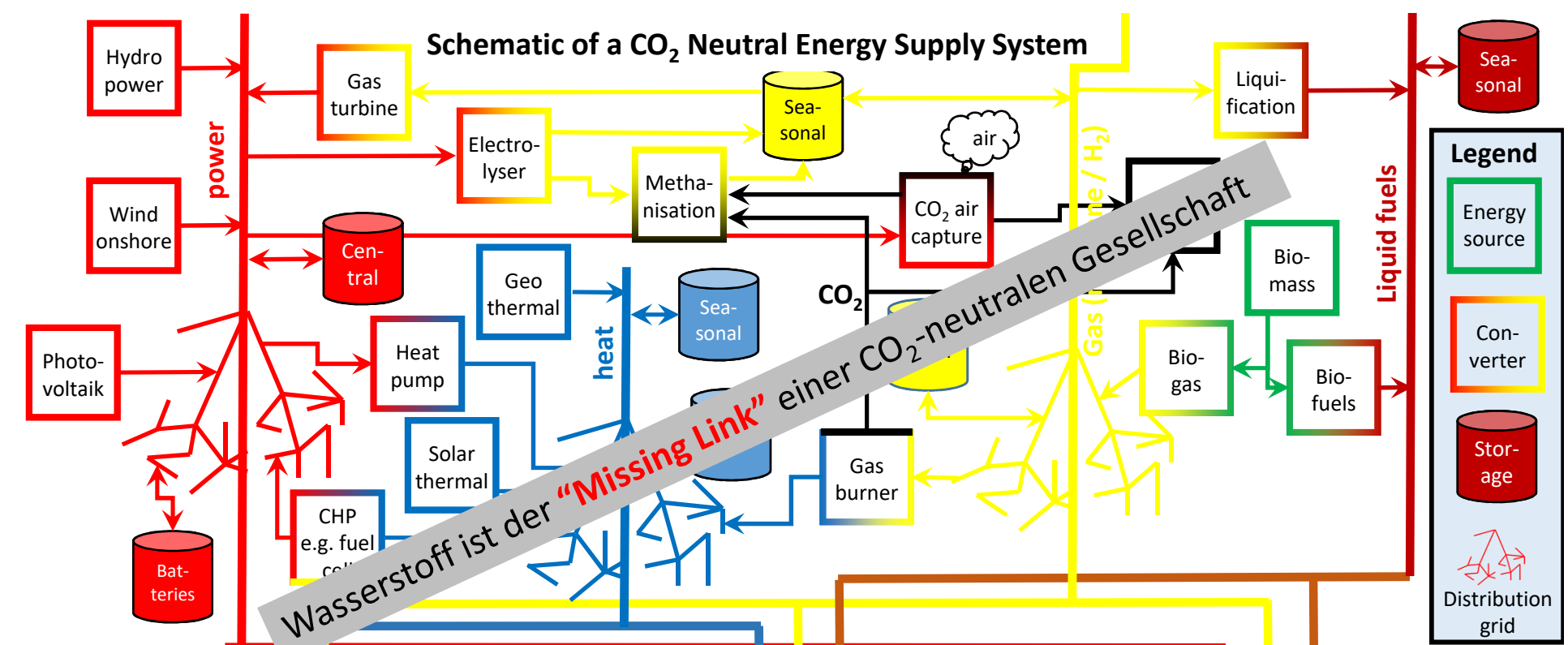
Energiewende in Deutschland



Schematic of a CO₂ Neutral Energy Supply System



Schematic of a CO₂ Neutral Energy Supply System



Wasserstoff ist der "Missing Link" einer CO₂-neutralen Gesellschaft



FES III/Flex V0.9

Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer

Elektronen und Wasserstoffmoleküle

Das Power-Duo für die Energiewende



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

acatech
DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

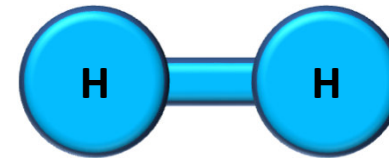
UNION
DER DEUTSCHEN AKADEMIE
DER WISSENSCHAFTEN

Elektrischer Strom – Elektronen



- Braucht aufwändige Speichersysteme
- Transport über Stromnetze
- Höchste Wertigkeit unter den Energieformen

Wasserstoff



- Stofflicher Energieträger → Grundlage für Rohstoffe
- “gespeicherte Energie”
- Transportfähig in Schiffen oder Pipelines über große Distanzen

Die Frage ist nicht, ob Strom oder Wasserstoff, sondern: **Wie viel von was, wofür und woher?**

Beispiel für Wasserstoffbedarf: Chemische Industrie als Ersatz für Erdöl und Erdgas als Rohstoff

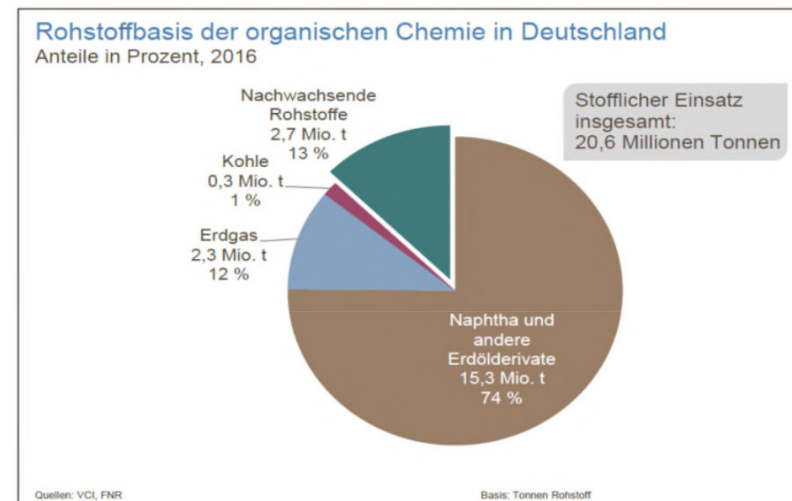


Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

acatech
DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

UNION
DER DEUTSCHEN AKADEMIEEN
DER WISSENSCHAFTEN

- **Wasserstoffbedarf aus einfacher Abschätzungsrechnung (nur Deutschland)**
- **17,6 Millionen Tonnen** Kohlenwasserstoffe müssen pro Jahr ersetzt werden
- Enthalten **2,4 Millionen Tonnen Wasserstoff**
- Bei Herstellung aus CO_2 gilt etwa:
$$\text{CO}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$$
- Nur ein Drittel des eingesetzten Wasserstoffs verbleibt im Kohlenwasserstoff
- Herstellung braucht **320 TWh Strom**
- → Das entspricht etwa **58% der aktuellen Bruttostromerzeugung** in Deutschland



Die chemische Industrie setzte 2016 rund 17,9 Millionen Tonnen fossile Rohstoffe (Erdölprodukte, Erdgas und Kohle) stofflich ein. 2,7 Millionen Tonnen waren nachwachsende Rohstoffe.

Wo der Wasserstoff herkommt – „Farben“ des Wasserstoffs



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



„Grauer“ Wasserstoff

: Herstellung aus Erdgas oder anderen fossilen Energieträgern
(z.B. Methanreformierung)

„Blauer“ Wasserstoff

: Herstellung durch Elektrolyse mit Strom aus fossilen Energieträgern
und Carbon Capture and Storage (CCS)

„Türkiser“ Wasserstoff

: Herstellung durch Methanpyrolyse aus fossilen Erdgas in einem
Hochtemperaturreaktor mit Abspaltung von reinem Kohlenstoff

„Grüner“ Wasserstoff

: Herstellung durch Elektrolyse mit Strom aus erneuerbaren Energien
(z.B. Windkraft, Photovoltaik, Wasserkraft)

„gelber“ Wasserstoff

: Herstellung durch Elektrolyse mit Strom aus Atomkraftwerken

Energetische Nutzungsmöglichkeiten von Wasserstoff



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



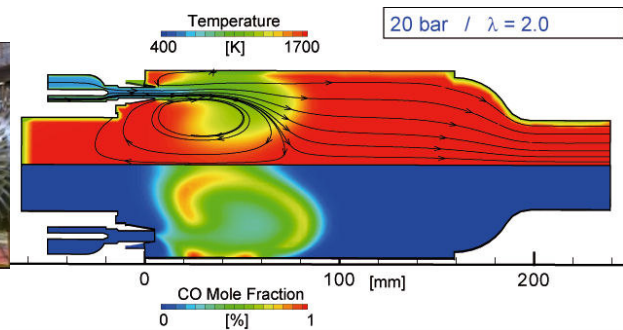
<https://www.scinexx.de/>

Verbrennen (primär Wärme)



<https://www.siemens-energy.com>

Gasturbine (primär Strom), Teil von Langzeitspeichern



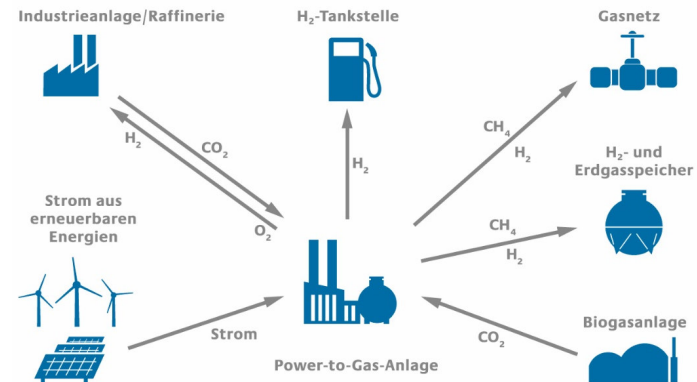
<http://www.bio-wasserstoff.de>

Brennstoffzellen (primär Strom)

Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer



Copyright: EnBW / Vaillant



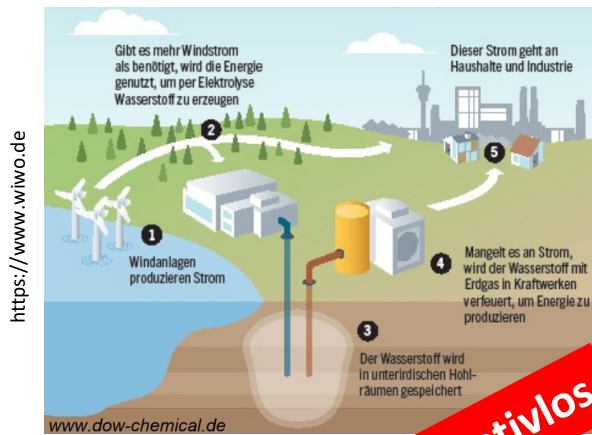
Quelle: Deutsche Energie-Agentur
www.powertogas.info

Power – to – X (primär stoffliche Energieträger)

Einsatz von Wasserstoff im stationären Bereich



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



Alternativlos



Kavernenspeicher für Dunkelflauten und saisonale Verschiebung

- Elektrolyseur
- Gasdruckspeicher (auch Alternativen denkbar)
- Rückverstromung (z.B. Gasturbinen, Brennstoffzellen)

Alternativ Stromwärmepumpe



Quelle: Vaillant GmbH, Remscheid

- KWK-Anlagen für Heizanlagen in Einzel- und Appartmenthäusern

Wasserstoff im Mobilitätssektor (jenseits PKW)



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

acatech
DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

UNION
DER DEUTSCHEN AKADEMIE
DER WISSENSCHAFTEN

<https://kolpito.com/>



Schiffe und Flugzeuge
für Langstrecken mit
alternativen Kraftstoffen
(Biotreibstoffe, eFuels,
Wasserstoff (z.B. über
LOHC))

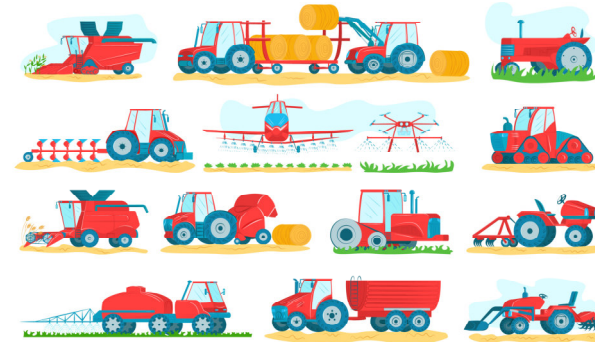
<https://www.skorpion-design.com>



<https://de.123rf.com>



<https://de.123rf.com>



<https://de.123rf.com>



- Landwirtschaft, Busse, LKW und Spezialfahrzeuge interessante Anwendungsbereiche für Wasserstoff, aber nicht alternativlos

Wie Strom eingesetzt werden sollten, wenn CO₂-Emissionen minimiert werden sollen ...



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



CO₂-Ersparnis [kg/kWh]	Anwendung (berücksichtigt nur die direkte Umwandlung und Nutzung, keine Emissionen in den Vorketten sind berücksichtigt)
1,15	Ersatz der Stromerzeugung auf Braunkohlekraftwerken
1,12	Einsatz in Wärmepumpen für Wohnhäuser anstelle von Ölheizung
0,67	Verwendung in batterie-elektrischen Fahrzeugen anstelle von Verbrennungsmotoren mit Benzin
0,26	Herstellung von Wasserstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge anstelle von Verbrennungsmotoren mit Benzin
0,16	Herstellung von eFuels und Verwendung in Verbrennungsmotoren anstelle von Benzin
0,15	Heizen durch Wasserstoffverbrennung für Wohnräume anstelle von Erdgasheizungen



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

 **acatech**
DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

 **UNION**
DER DEUTSCHEN AKADEMIEN
DER WISSENSCHAFTEN

Zwischen Wunsch und Wirklichkeit – Wasserstoff aus der Systemperspektive

Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer
Berlin, 22. April 2020

www.energiesysteme-zukunft.de

Berliner **ENERGIETAGE**

Energiewende in Deutschland

