

Wasserstoff – Bestandteil der Energiewende?

StadtKrefeld: Krefelder KLIMA-Ausschusses

Krefeld, 15. Juni 2023

SWK E² - Institut für Energietechnik und Energiemanagement

Prof. Dr.-Ing. Jörg Meyer (Vortragender), Lukas Saars

15.06.2023 | Stadt Krefeld | Wasserstoff | Jörg Meyer | Lukas Saars | Folie



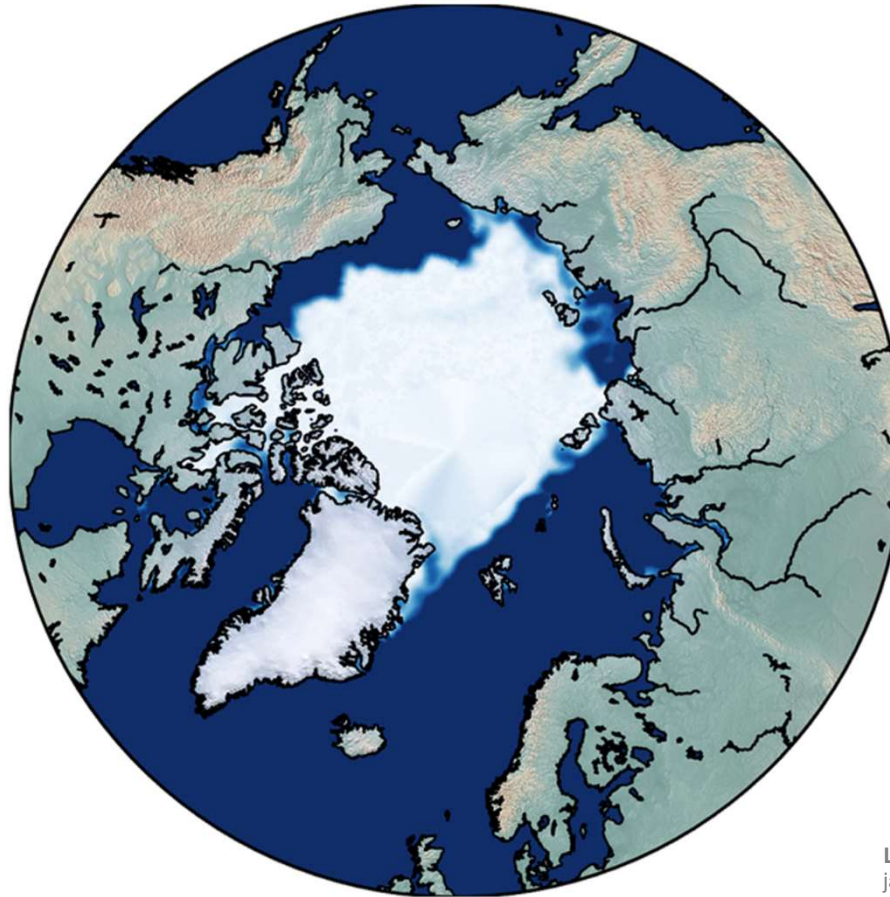
Hochschule Niederrhein
University of Applied Sciences

SWK E²

Institut für Energietechnik und
Energiemanagement
Institute of Energy Technology and
Energy Management

Einführung & Motivation

Der Klimawandel ist real und sichtbar!



1979

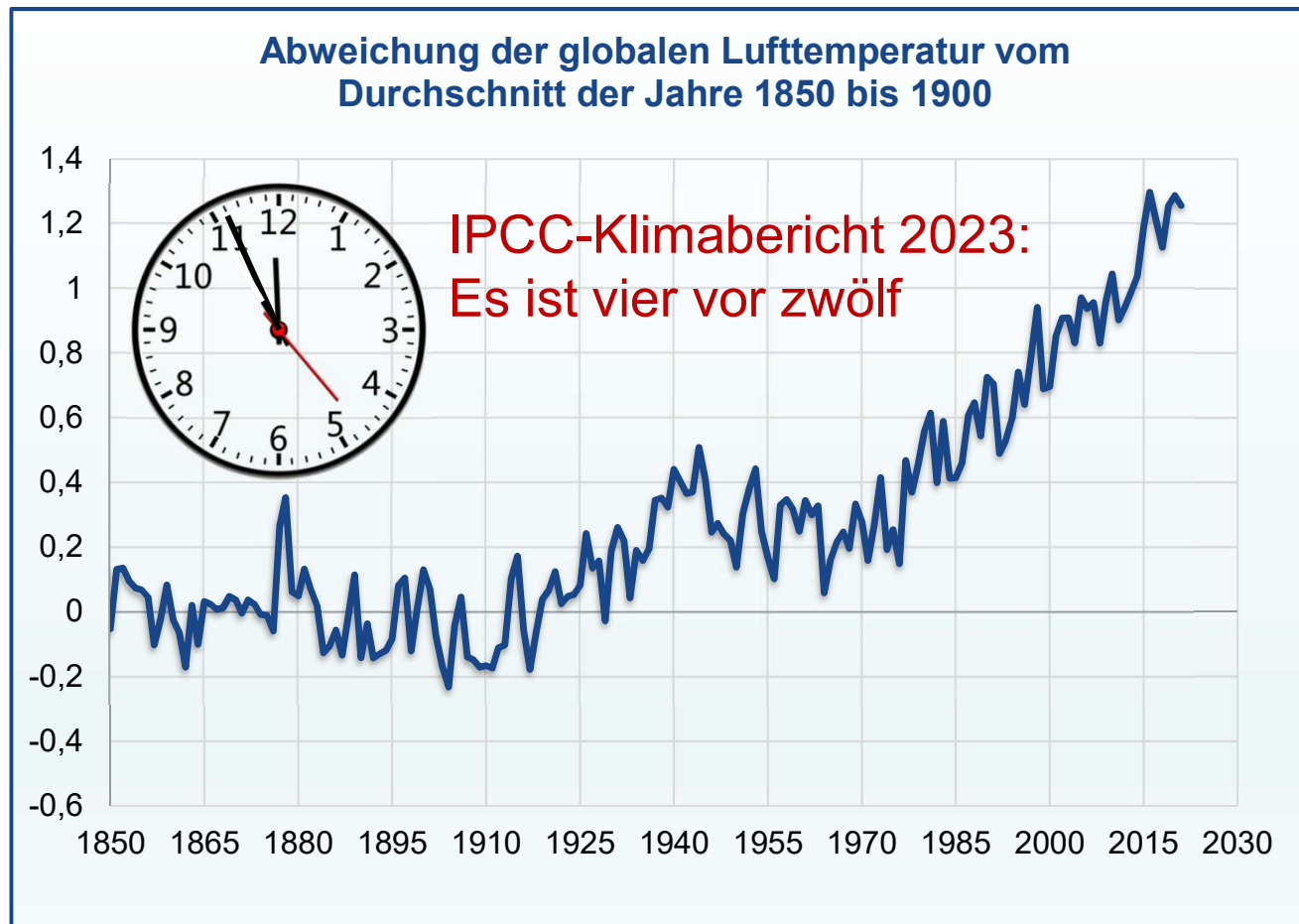
Arktische Eisbedeckung – Satellitenaufnahmen 1979 und 2019

Literatur: www.resetter.org/klimakrise/studie-schon-in-weniger-als-30-jahren-wird-arktis-im-sommer-eisfrei-sein/04/24/2020/2121/

Einführung & Motivation

Der Klimawandel ist real und sichtbar!

Literatur: Umweltbundesamt (2022) – Indikator: Globale Lufttemperatur | IPCC 6. Sachstandsbericht 20.03.2023



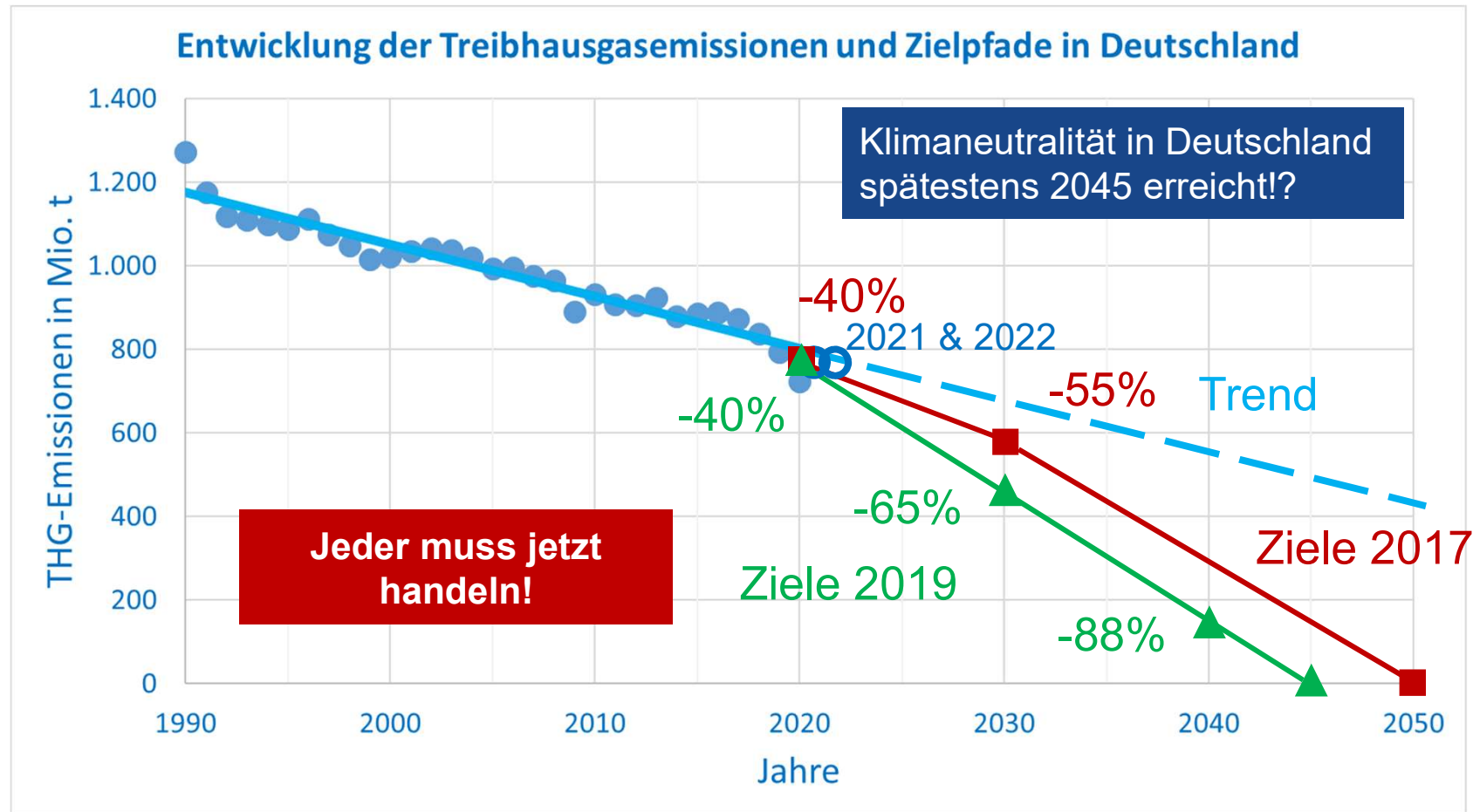
2022 war weltweit das **sechstwärmste** Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen 1850

Die letzten **acht** Jahre waren die weltweit wärmsten Jahre seit 1850

Es gab in Europa intensive Hitze- wellen, bei den viel- fach neue nationale Temperaturrekorde registriert wurden

Einführung & Motivation

Der Weg zur Klimaneutralität ist sehr anspruchsvoll!

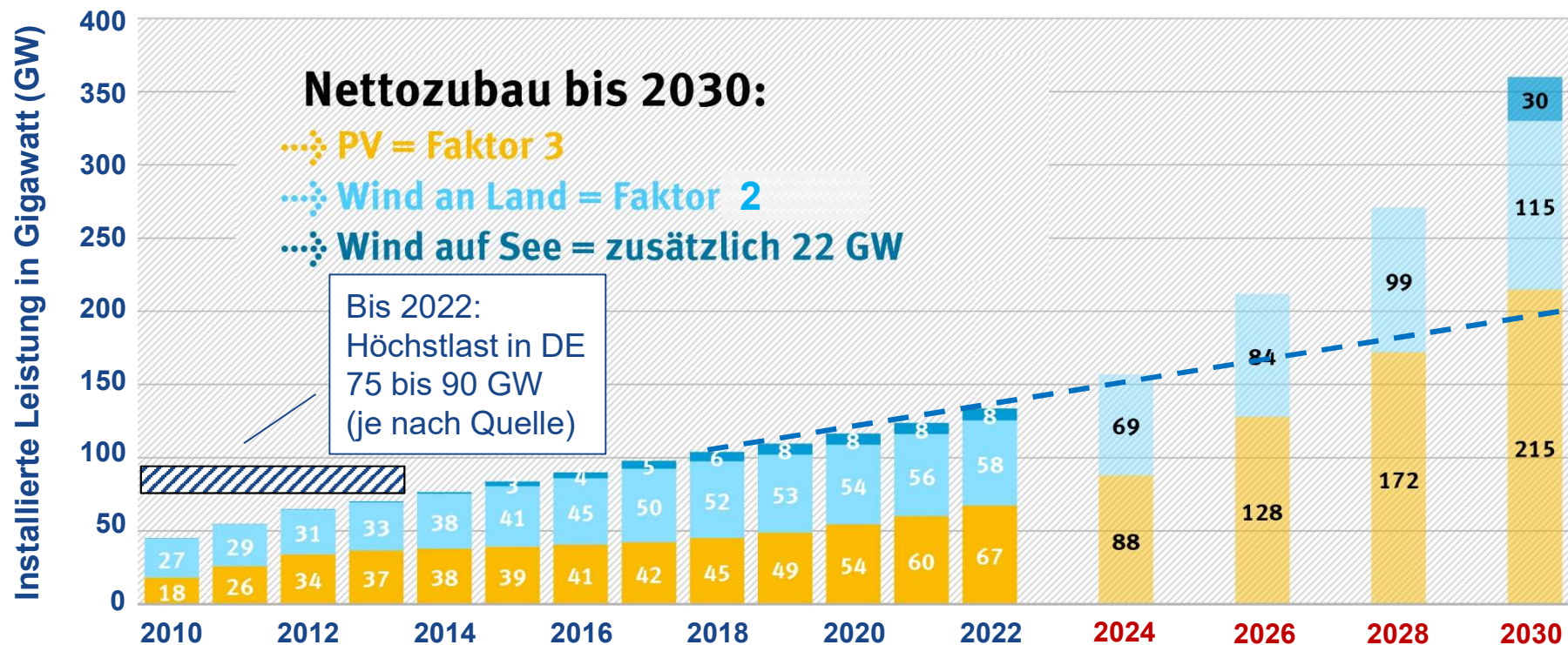


Datenbasis: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), „Energiedaten: Gesamtausgabe der Energiedaten - Datensammlung des BMWK,“ BMWK, 2022

Erneuerbare Energien und Wasserstoff

Erneuerbare Energien sind auf dem Vormarsch!

Installierte Leistung von Photovoltaik- und Windenergieanlagen in Deutschland sowie Ziele der Bundesregierung bis 2030

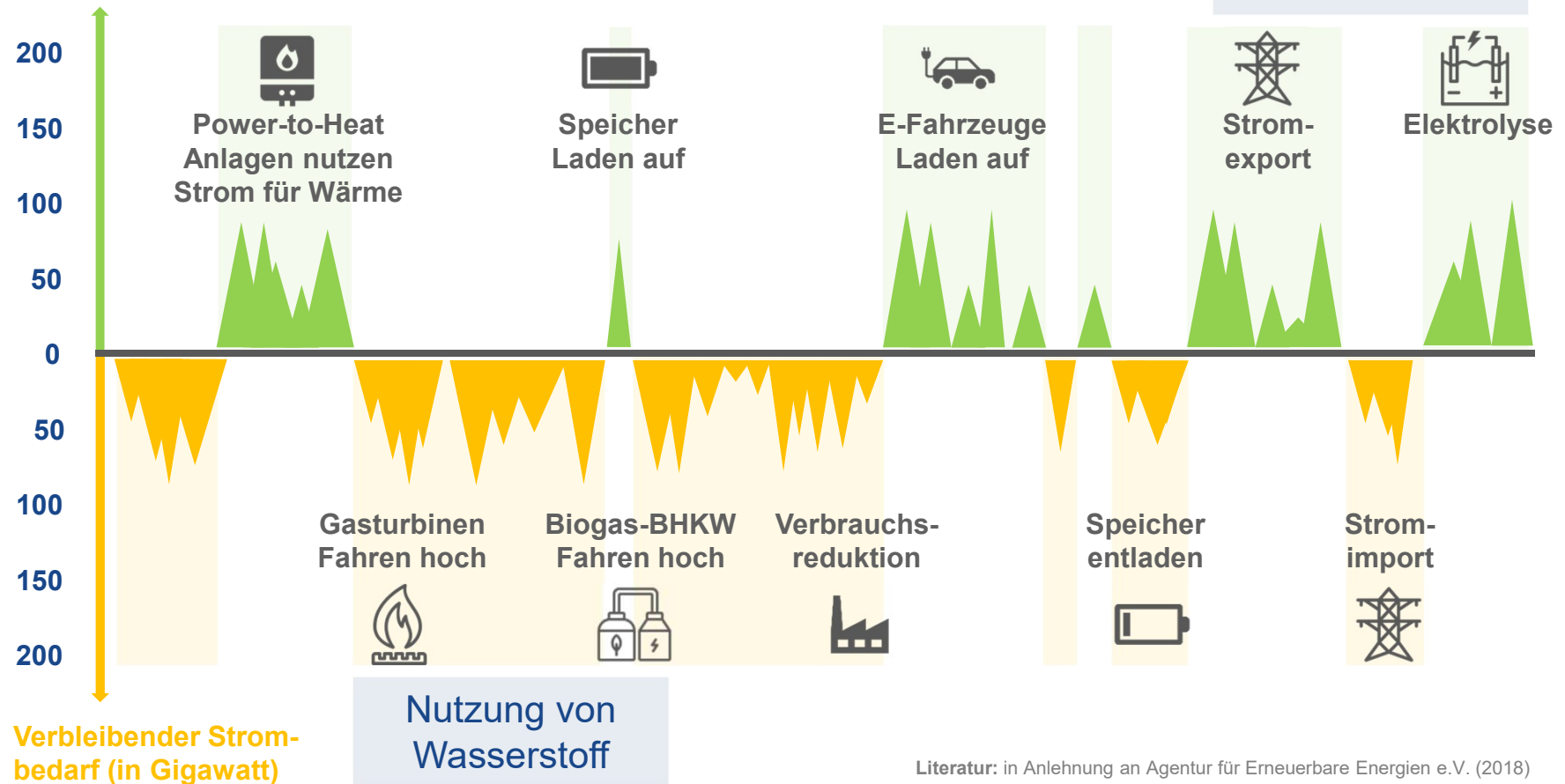


Literatur: Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (2023)

Erneuerbare Energien und Wasserstoff

Die Volatilität im Stromnetz nimmt zu!

Überangebot von Strom
(in Gigawatt)



Literatur: in Anlehnung an Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (2018)

Erneuerbare Energien und Wasserstoff

Chem. Eigenschaften des Energieträgers Wasserstoff



Definition: Wasserstoff ist das **1. Element** des **Periodensystems** der Elemente und unter Normalbedingungen ein **farbloses, geschmack- und geruchloses Gas**.

Literatur: Institut für Energietechnik – HSR Hochschule für Technik Rapperswil	Wasserstoff (H ₂)	Methan (CH ₄)
Massebezogener Heizwert	33,33 kWh/kg	13,90 kWh/kg
Volumenbezogener Heizwert (bei 1,013 bar und 25 °C)	3,00 kWh/m ³	9,94 kWh/m ³



Bedeutung am Beispiel Krefeld: Welche Wasserstoffmenge wird bei einer **Beimischung** benötigt? (Annahme: Erdgasverbrauch in Krefeld → **2.388 GWh/a**)

Anteil	Vol. %-Beimischung	Energieanteil %-Beimischung
10%	24 Mio.m ³ (10%) = 72 GWh (3%)	80 Mio.m ³ (30%) = 240 GWh (10%)
100%	240 Mio.m ³ (100%) = 720 GWh (30%)	796 Mio.m ³ (330%) = 2.388 GWh (100%)

auf den Heizwert bezogen

Erneuerbare Energien und Wasserstoff

Pipelinekapazität bei der Umstellung auf Wasserstoff



Der **obere Heizwert** von Erdgas ist mit rund **10 kWh/Nm³** mehr **dreimal so hoch** wie der von Wasserstoff (**3 kWh/Nm³**).



Bei **gleichem Druck** wird mehr als das **dreifache Volumen** an Wasserstoff benötigt, um den **Energieinhalt konstant** zu halten.

- Dennoch liegt die **transportierbare Energiemenge** von Wasserstoff **nur geringfügig** unter der von Erdgas.



Wasserstoff weist eine **neunmal geringere Dichte** und die **dreifache Strömungsgeschwindigkeit** von Erdgas auf

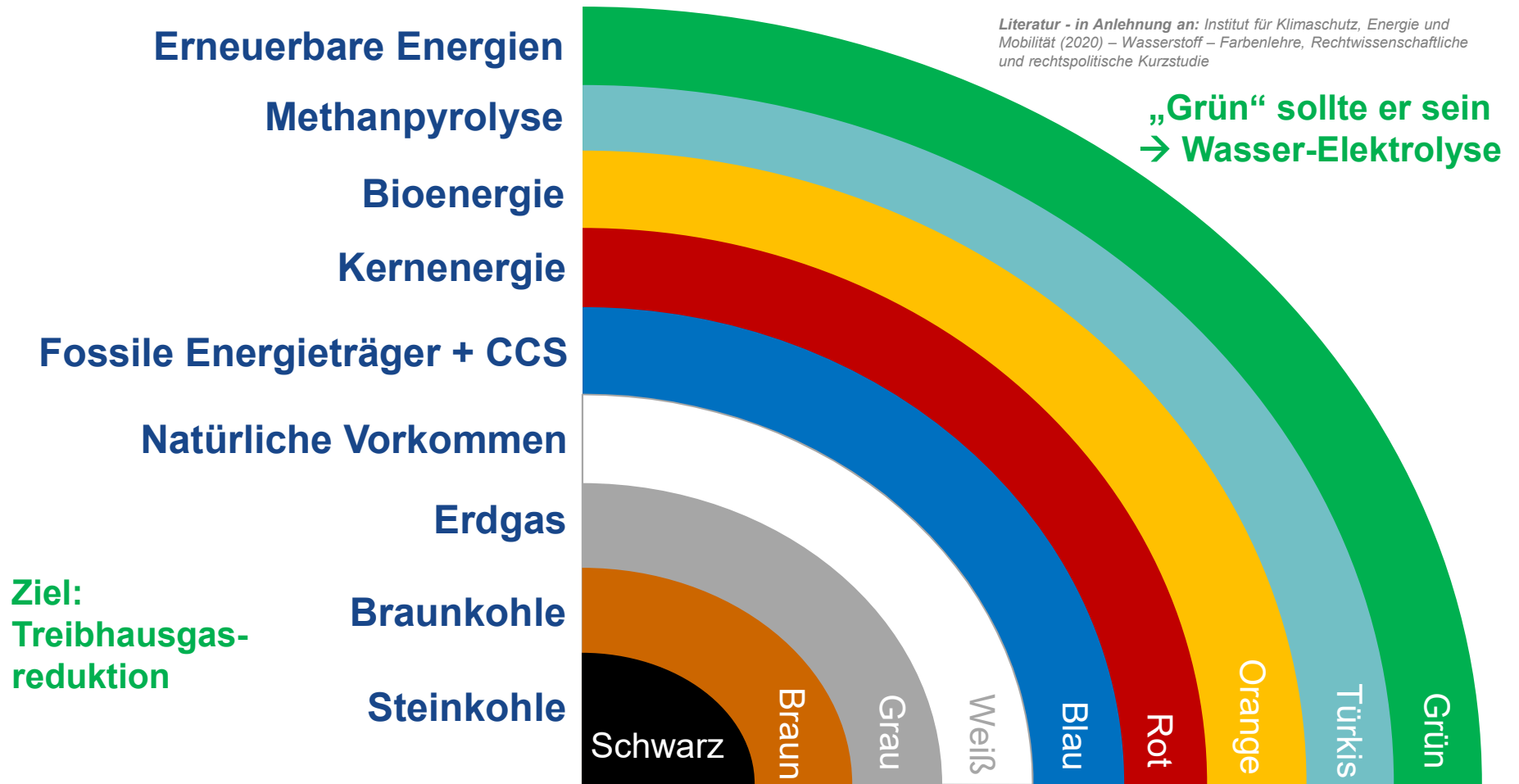
- Somit kann in der Pipeline bei **gleichem Druck** und in der **gleichen Zeit** fast **dreimal so viel Wasserstoff** wie Erdgas transportiert werden.



Die Energiedichte in den Transportnetzen verringert sich damit nur geringfügig!

Erneuerbare Energien und Wasserstoff

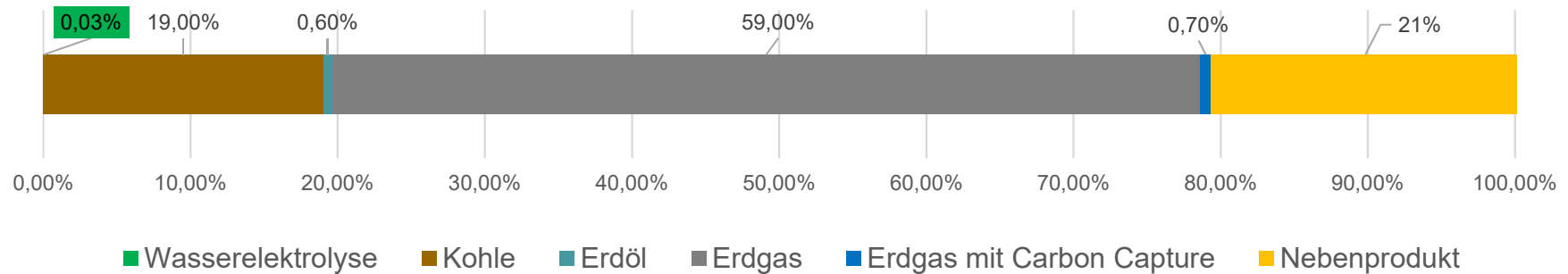
Die Farben des Wasserstoffs – Art der Produktion



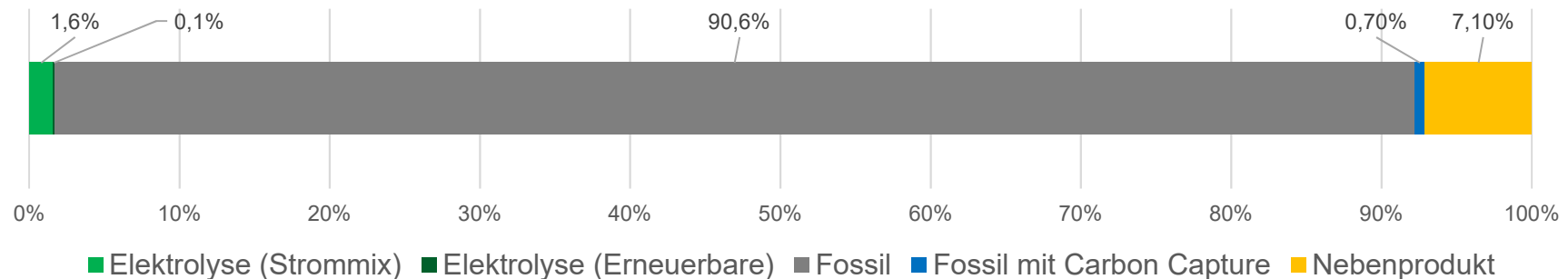
Erneuerbare Energien und Wasserstoff

Erzeugung von Wasserstoff in der Welt und in Europa

Erzeugung von Wasserstoff weltweit 2020



Erzeugung von Wasserstoff Europa 2019



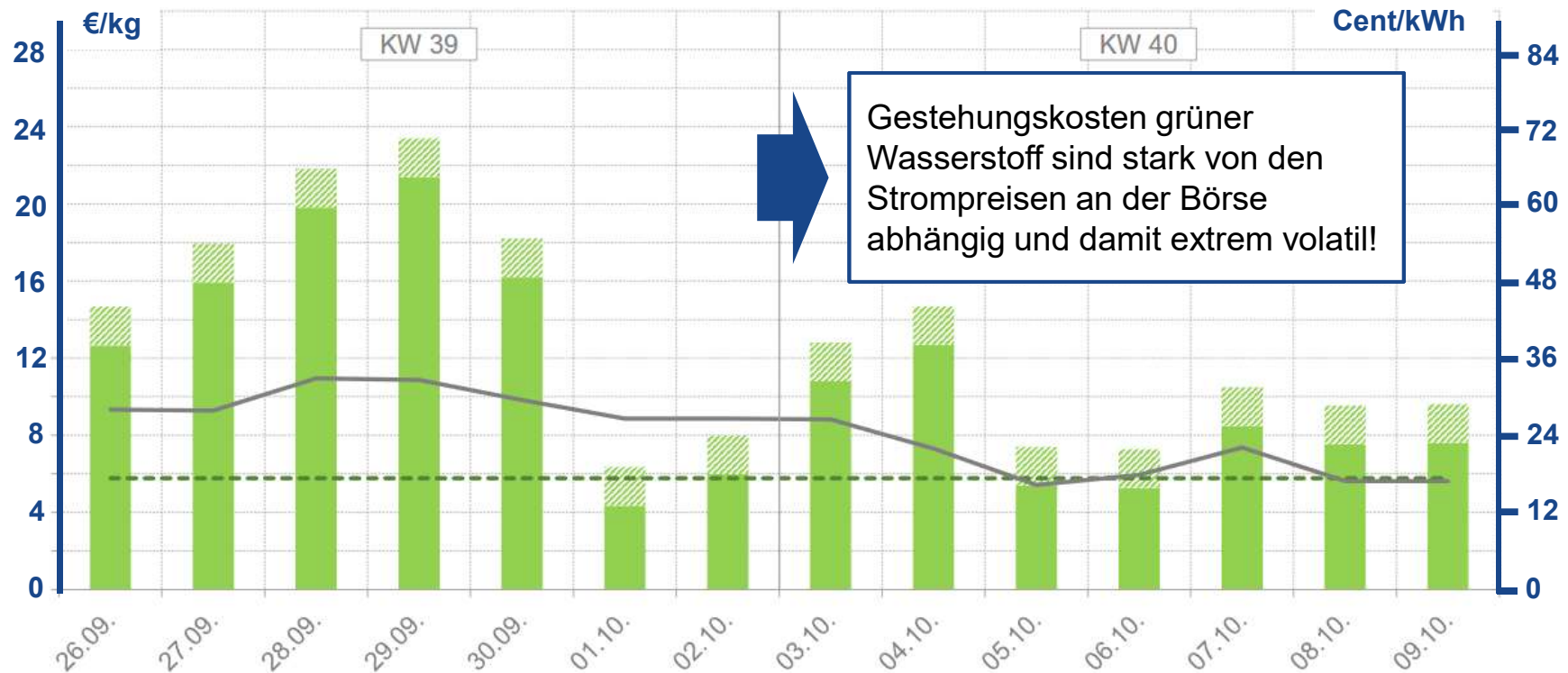
Kein/Kaum Beitrag zur THG-Reduktion!

Literatur: IEA: Global Hydrogen Review (2021)
 Literatur: Hydrogen Europe: Clean Hydrogen Monitor (2020)

Erneuerbare Energien und Wasserstoff

Gestehungskosten Grüner Wasserstoff

September 2022



Gestehungskosten grüner Wasserstoff sind stark von den Strompreisen an der Börse abhängig und damit extrem volatil!

Grüner Wasserstoff - Strombezug
 Grüner Wasserstoff (Direktverbindung)

Grüner Wasserstoff - Capex/Opex
 Grauer Wasserstoff

CAPEX = Investitionen
 OPEX = Betriebskosten

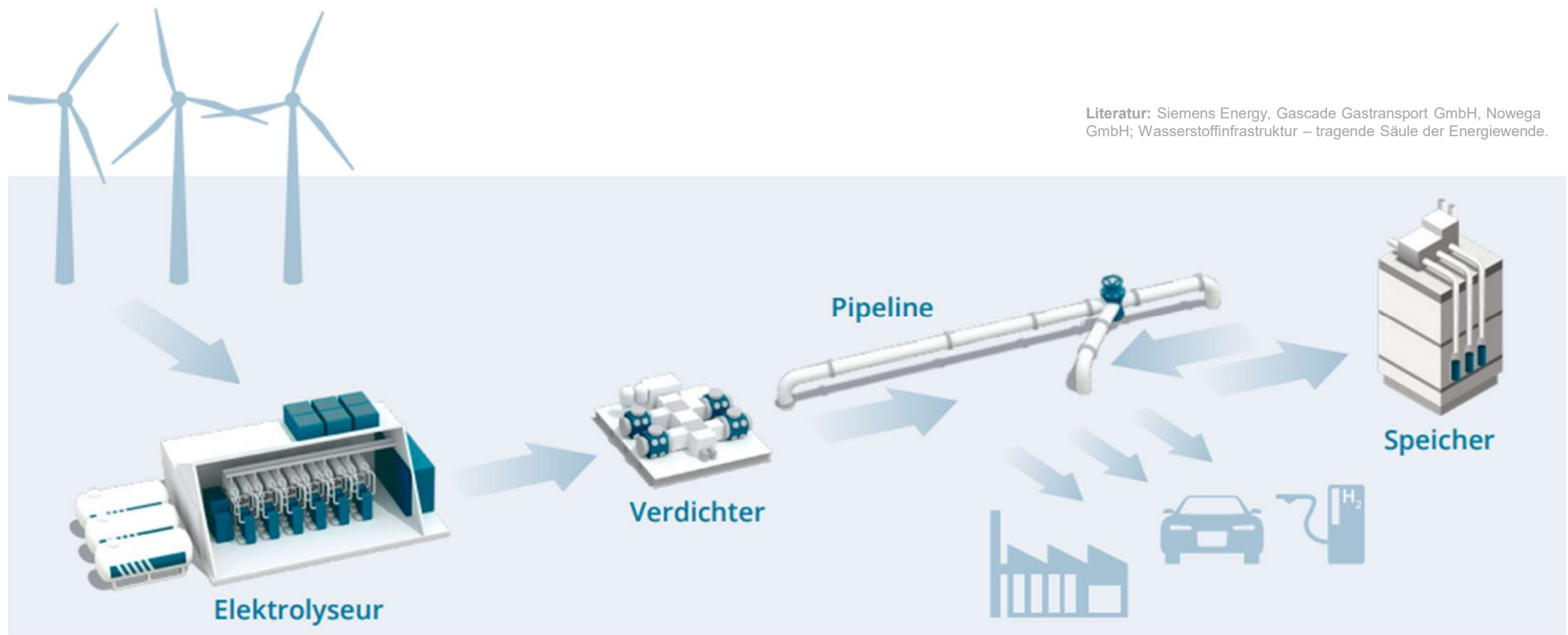
Literatur: E&M-Newsletter (2022)

H2-Preisindex (Datenquellen: EEX, enervis)

Nutzungspfade Wasserstoff und Elektrolyse

Kernelemente der Wasserstoffherzeugung und -nutzung

Literatur: Siemens Energy, Gascade Gastransport GmbH, Nowega GmbH; Wasserstoffinfrastruktur – tragende Säule der Energiewende.

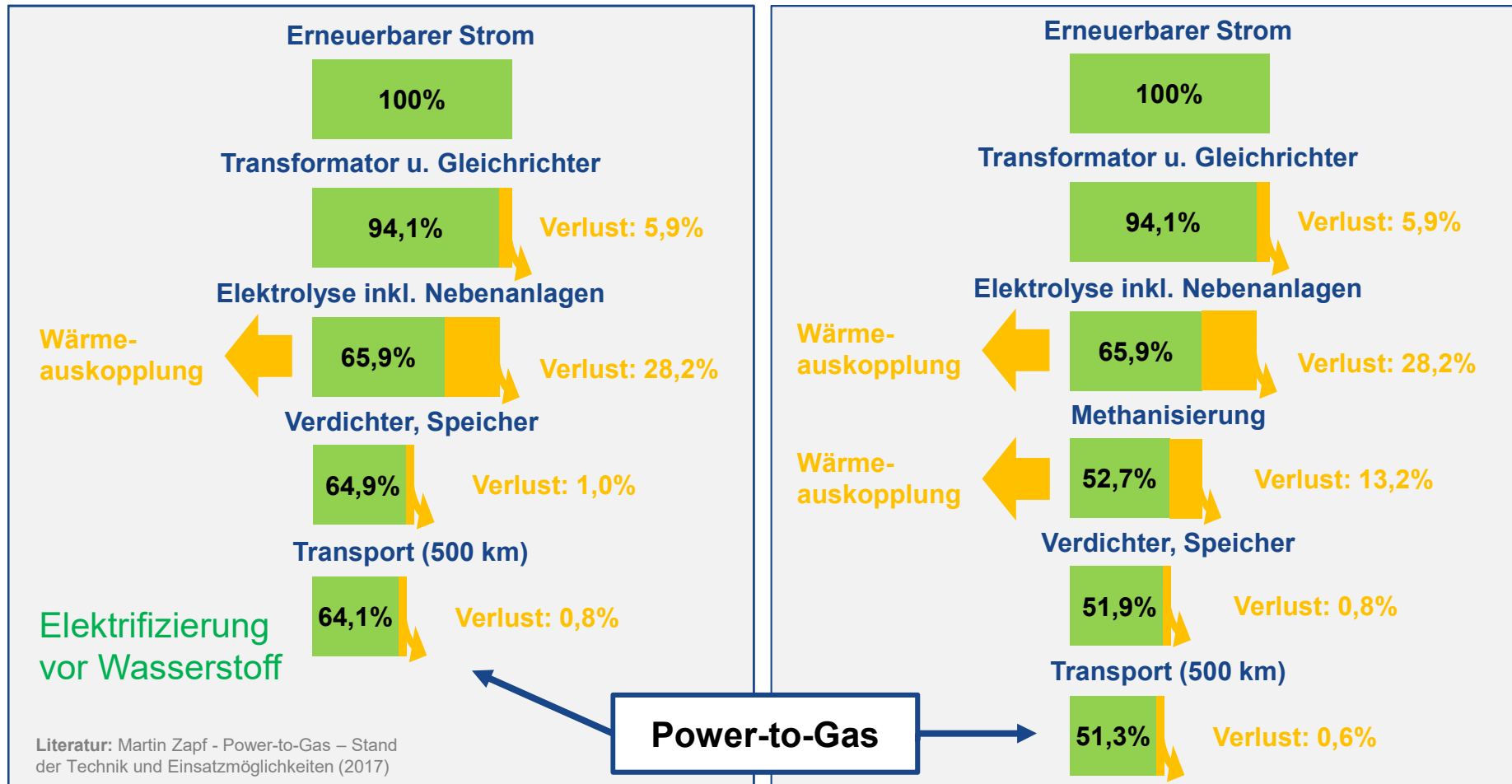


Nutzungspfade Wasserstoff und Elektrolyse

Wirkungsgradketten Elektrolyseur

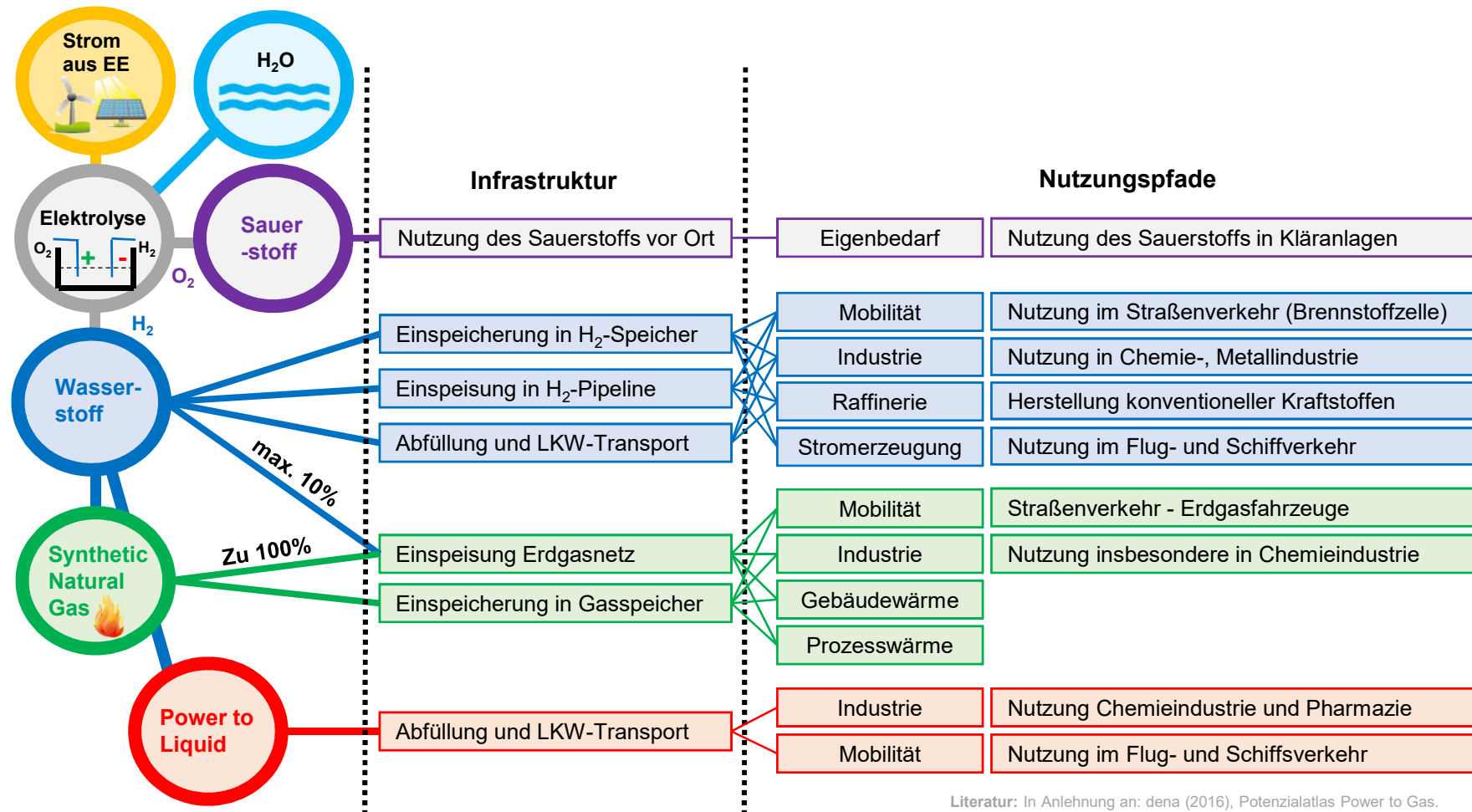
Ohne Methanisierung

Mit Methanisierung



Nutzungspfade Wasserstoff und Elektrolyse

Nutzungspfade eine Grünstrom-Elektrolyseurs



Literatur: In Anlehnung an: dena (2016), Potenzialatlas Power to Gas.

Fazit & Ausblick

Wasserstoff kann mittel- und langfristig einen Beitrag leisten!

Eine wichtige Säule der Energiewende ist die Nutzung von „Erneuerbarer Energie“

Das Angebot an „Erneuerbarer Energie“ ist über den Tag, während einer Woche und auch saisonal unterschiedlich.

Um den Bedarf und das Angebot an „Erneuerbaren Energien“ zeitlich in Einklang zu bringen, sind Speicher erforderlich

Eine klimaneutrale Speichermöglichkeit ist Wasserstoff.

Bei der Erzeugung von Wasserstoff mit elektrischer Energie aus „Erneuerbaren Energien“ entstehen Verluste (nur Elektrolyse ca. 30%).

Wenn möglich, sollte die elektrische Energie direkt genutzt werden.

Erst nach 2030 wird ausreichend elektrische Energie und günstiger Wasserstoff zur Verfügung stehen.

Zunächst wird der „grüne“ Wasserstoff in Prozessen eingesetzt und dann im Schwerlastverkehr.

Fazit & Ausblick

Wasserstoff kann mittel- und langfristig einen Beitrag leisten!

Wasserstoff – Retter der Energiewende?

- Wasserstoff wird eventuell ab 2030 in ausreichender Menge zur Verfügung stehen.
- Wasserstoff wird nicht der alleinige Retter der Energiewende sein!

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

Hochschule Niederrhein
SWK E²

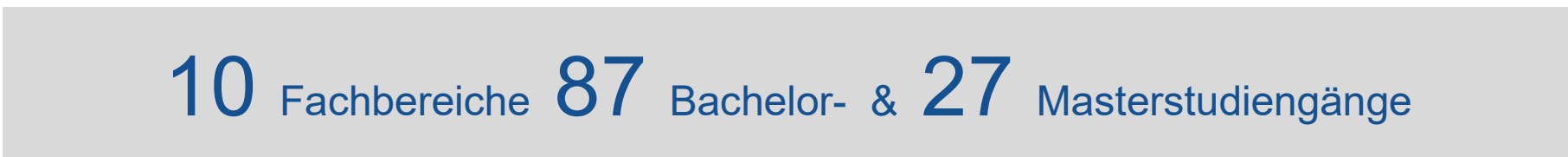
Gibt es Fragen? Oder
Anmerkungen?



Prof. Dr.-Ing. Jörg Meyer
joerg.meyer@hs-niederrhein.de
Tel: +49 (0)2151 822-6674

Lukas Saars, M.Eng.
lukas.saars@hs-niederrhein.de
Tel: +49 (0)2151 822-6676

Vorstellung Hochschule Niederrhein



Vorstellung

SWK E² - Institut für Energietechnik und Energiemanagement



7

Forschende
Professoren

7

Wiss.
Mitarbeitende

10

bis

15

Forschungs-
Projekte
jährlich

∅30

Abschluss-
Arbeiten
jährlich

2

Labore

>750.000
€/a

Forschungsdrittmittel jährlich

Forschungsthemen
(eine Auswahl)

Optimierter Einsatz von Energieanlagen, sektorspezifische und sektorübergreifende Energiekonzepte, Energiesystemanalysen, Energiemarktentwicklung, **Wasserstoffwirtschaft**

Vorstellung

Unsere Forschung

Beteiligte Fachbereiche:

Wirtschaftsingenieurwesen und Maschinenbau, Verfahrenstechnik sowie Elektrotechnik

Forschungsinhalte:

- Kraft- und Heizwerke, Kraftwärmekopplung, Wärme- und Kältetechnik, Fernwärme, Wärmepumpen, Energiespeicher, Erneuerbare Energien
- Industriebetriebe, Energieversorger, Gewerbeimmobilien, Städte & Kommunen
- Sektorenkopplung, Mobilitätskonzepte (Elektromobilität, Power-to-Liquids, Wasserstoff)
- Energiemärkte, Energiemanagement, Stromlastmanagement

Forschungsthemen



Wasserstoff an der Hochschule Niederrhein

Möglichkeiten der Zusammenarbeit – Studierende

*Beliebte
Kombination*

Praxisphase in Unternehmen

Ziel: Erfahrungen sammeln
Dauer: 12 Wochen, 450 h
Erfahrungen: mind. fünf Semester, eine Projektarbeit
Personen: 1

Studienprojekt im Unternehmen

Ziel: Projektbearbeitung und -management
Dauer: 1 Sem., 150-300 h/Person
Erfahrungen: mind. vier Semester oder mind. BA-Abschluss
Personen: 3-6

Bachelorarbeit in Unternehmen

Ziel: Eigenständige Projektbearbeitung
Dauer: 8 Wochen, 360 h
Erfahrungen: mind. 5 Semester, Praxisphase & Projektarbeit
Personen: 1

Masterarbeit

Ziel: Eigenständige Projektbearbeitung
Dauer: 20 Wochen, 810 h
Erfahrungen: mind. BA-Abschluss und 3 Semester MA-Studium
Personen: 1



Hochschule Niederrhein

University of Applied Sciences

SWK E²

**Institut für Energietechnik und
Energiemanagement**

Institute of Energy Technology and
Energy Management



Hochschule Niederrhein
University of Applied Sciences

SWK E²

Agenda

1

Einführung & Motivation

2

Erneuerbare Energien und Wasserstoff

3

Nutzungspfade Wasserstoff

4

Bedeutung für Industrie, Wärmeversorgung und Energiewirtschaft

5

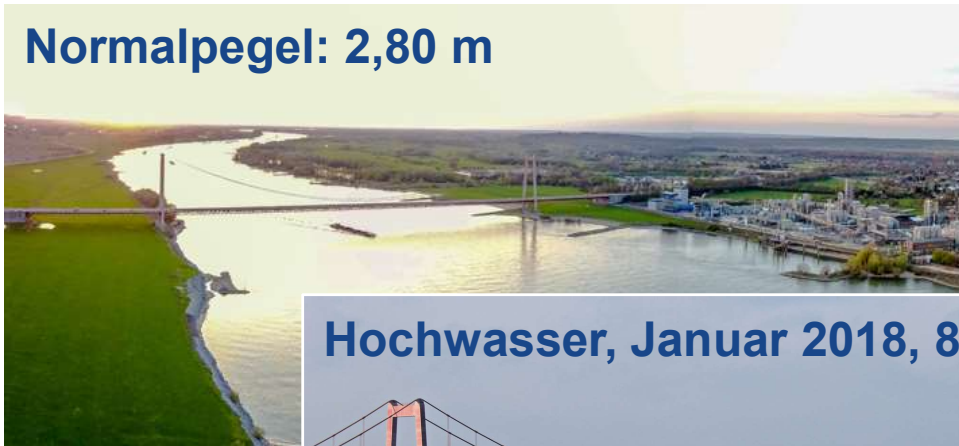
Fazit & Ausblick

Einführung & Motivation

Der Klimawandel ist real und sichtbar!

Literatur: <https://www.emmerich.de/> [Abruf: 06.12.2018, Hausarbeit Melanie Bollig]

Normalpegel: 2,80 m



Rhein bei Emmerich 2018:
Normalpegel: 2,80 m
Hochwasser: 8,00 m
Niedrigwasser: 0,11 m

Hochwasser, Januar 2018, 8,00 Meter



Niedrigwasser, Oktober 2018, 0,11 m



Erneuerbare Energien und Wasserstoff

Ist Grün also tatsächlich die Farbe der Hoffnung?

- In der **Nationalen Wasserstoffstrategie**, die von der **Bundesregierung** im Juni 2020 vorgestellt worden ist, wird bei den **Maßnahmenpaketen** kaum zwischen **grünem** und **blauem Wasserstoff** unterschieden.
- **Industrie** und **Gewerbe** besteht auf die Anwendung von **blauem Wasserstoff** zumindest als **Übergangslösung**.
- Wissenschaftler sind sich einig: **Blauer Wasserstoff** wird langfristig angesichts des **Klimawandels** kein Anwendungspotential haben.

„Jetzt glauben manche, der Planet biete genug Speichermöglichkeiten, um CO₂ unterirdisch zu verpressen. Aber wir haben keine Ahnung, was das auslöst. Also müssen wir es lassen.“ – Robert Schlögl, Max-Planck-Institutsdirektor



Das größte Potential wird dem **grünen Wasserstoff** zugeschrieben. Die einzig legitime Technik wäre der **türkise Wasserstoff**. Die Hoffnung liegt also nicht ausschließlich beim grünen Wasserstoff!

Literatur: Bundesministerium für Bildung und Forschung (2020) – "Die Zukunft gehört allein dem grünen Wasserstoff"

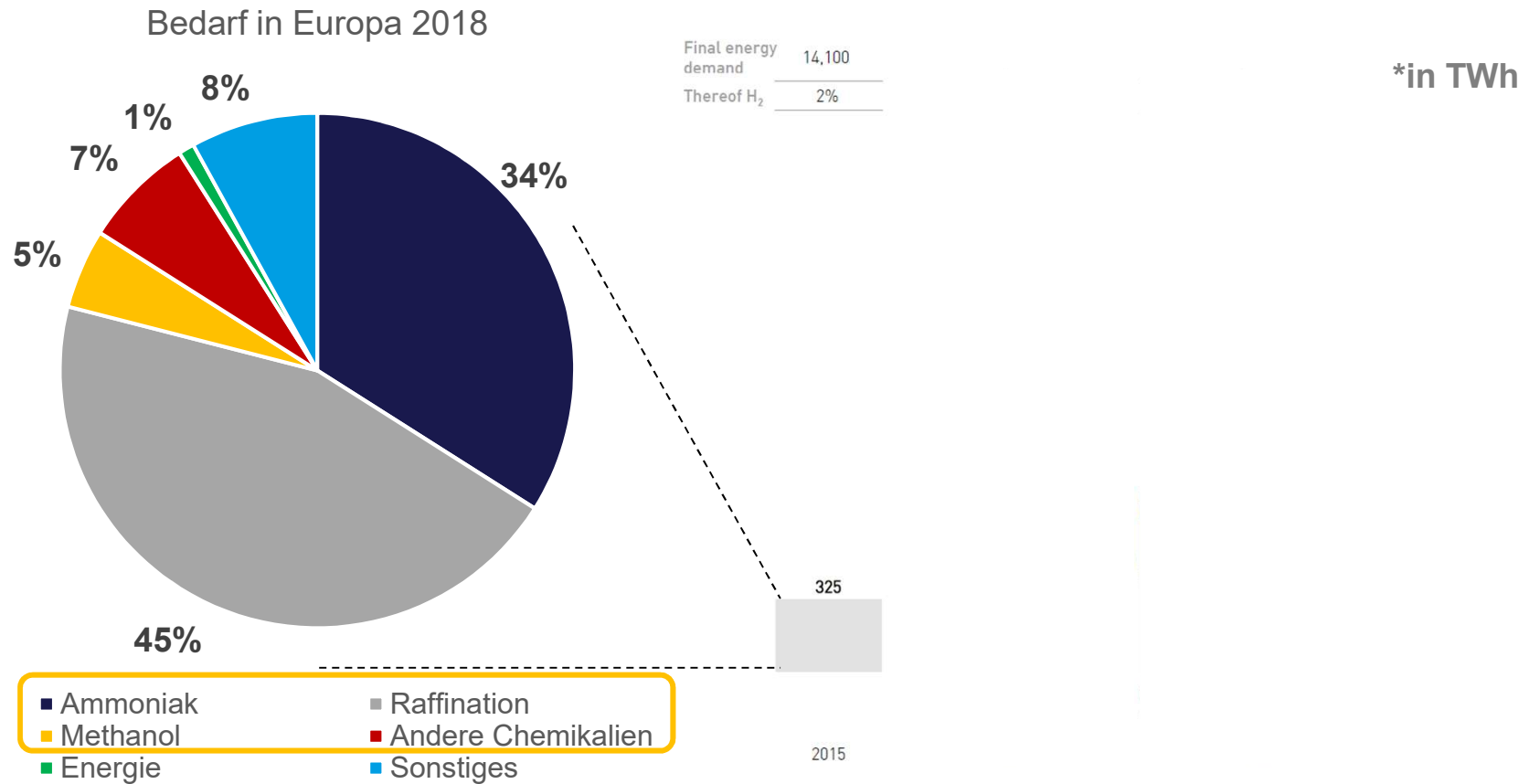
Nutzungspfade Wasserstoff und Elektrolyse

Wasserstoffwirtschaft – Hauptbereiche



Nutzungspfade Wasserstoff und Elektrolyse

Anwendung von Wasserstoff in Europa



Literatur: IEA: Global Hydrogen Review (2021)

Literatur: Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking: Hydrogen Roadmap Europe (2019)

15.06.2023 | Stadt Krefeld | Wasserstoff | Jörg Meyer | Lukas Saars | Folie

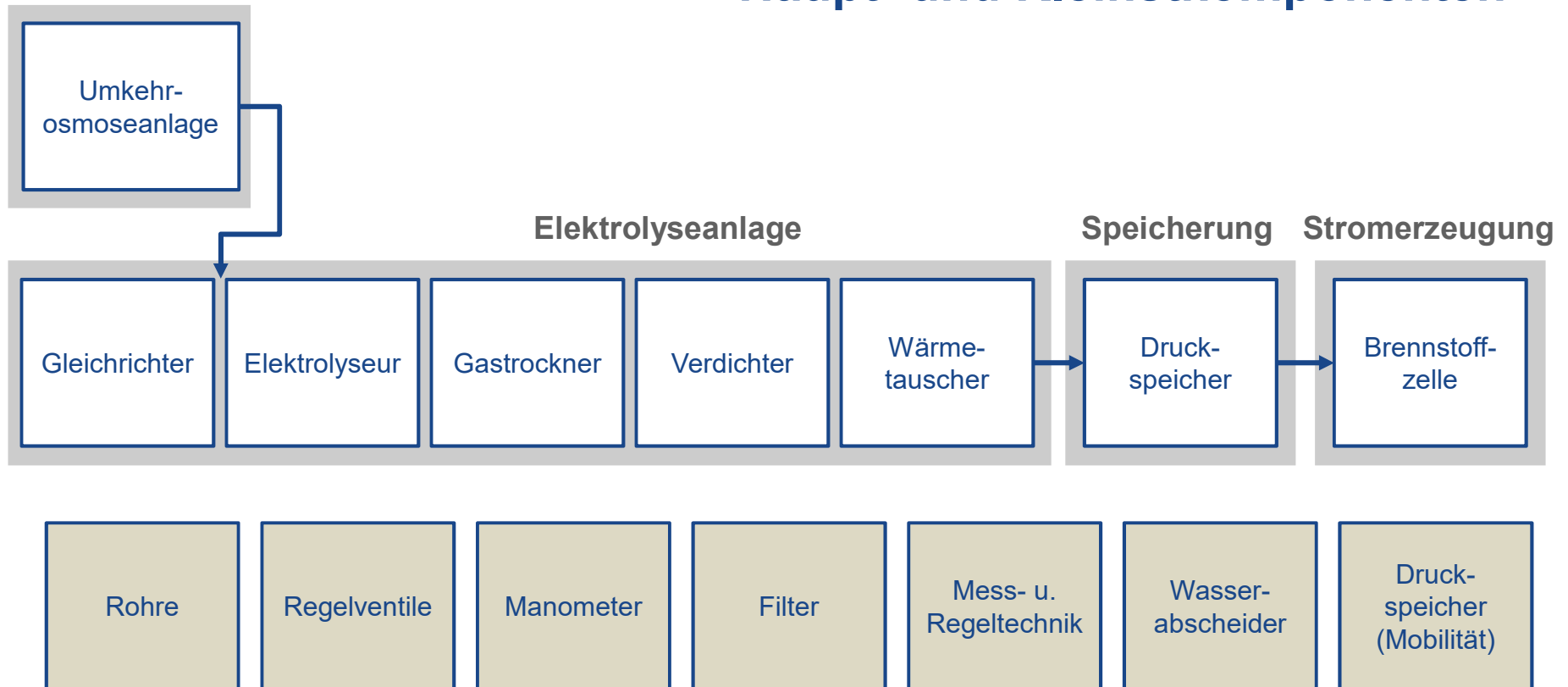
27

Bedeutung für Industrie, Wärmeversorgung & Energiewirtschaft

Wasserstoffwirtschaft – mehr als Erzeugung|Lieferung|Nutzung

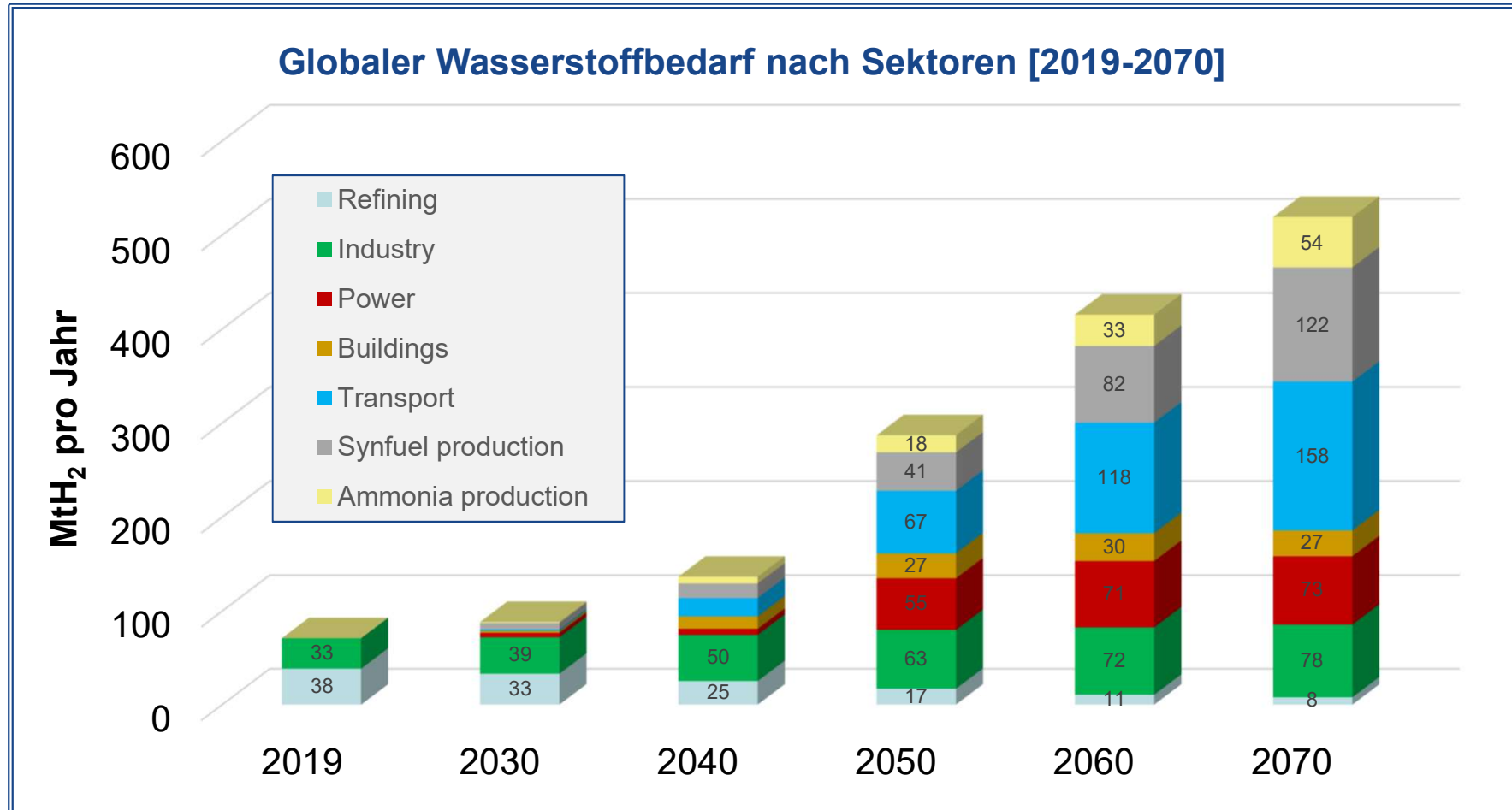
Wasseraufbereitung

Haupt- und Kleinstkomponenten



Bedeutung für Industrie, Wärmeversorgung & Energiewirtschaft

Nach 2040 wird Wasserstoff eine wichtige Rolle zugeschrieben!



Literatur: IEA – International Energy Agency (2020)

Bedeutung für Industrie, Wärmeversorgung & Energiewirtschaft

Rangfolge der Anwendungsmöglichkeiten

1 Chemische Industrie inkl. Düngerherstellung

2 Petrochemische Industrie

3 Stahlherstellung und -verarbeitung

4 Schwerlastverkehr

5 Flug- und Zugverkehr, Schifffahrt

6 Zementherstellung

7 Motorisierter Individualverkehr

8 Stromerzeugung

9 Dezentrale Wärmeerzeugung

10 Zentrale Wärmeerzeugung

Bedeutung für Industrie, Wärmeversorgung & Energiewirtschaft

Priorisierung der Wasserstoffnutzung – ein Ansatz

	Komplexität	Kosten	Zeit	THG-Reduktion	Substituierbarkeit
Breite Verwendung von Wasserstoff					
Erprobung in Form von Modellprojekten					
Bisher keine Verwendung von Wasserstoff					
Chemische Industrie inkl. Düngemittelherstellung	2	2	1	2	1
Petrochemische Industrie	2	2	1	2	1
Stahlherstellung	4	3	1	2	1
Zementherstellung	2	2	3	4	4
Flug-, Zug- und Schiffverkehr	4	3	4	2	2
Schwerlastverkehr	3	2	3	2	3
Stromerzeugung	3	4	3	5	4
Motorisierter Individualverkehr	3	3	2	2	5
Dezentrale Wärmeerzeugung	3	5	3	3	5
Zentrale Wärmeerzeugung	3	5	5	3	5

Fazit & Ausblick

Wasserstoffwirtschaft im Überblick



Erneuerbare Energien und Wasserstoff

Gestehungskosten Grüner Wasserstoff

Juli 2022



Grüner Wasserstoff - Strombezug
 Grüner Wasserstoff (Direktverbindung)

Grüner Wasserstoff - Capex/Opex
 Grauer Wasserstoff

CAPEX =
Investitionen
 OPEX =
Betriebskosten

Literatur: E&M-Newsletter (2022)

H2-Preisindex (Datenquellen: EEX, enervis)