

Wasserstoff – Hoffnungsträger der deutschen Energiewende?

Ausgangssituation: Deutsche Energiewende

2000
2019
2020

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) - Novelle 2014 [15]

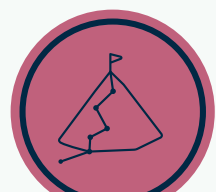
Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) - Novelle 2021 [15]

Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) - Fortschreibung 2023 [15]



Aktuelle Klimaziele (Klimaschutzgesetz 2021) [1]:

- **65%** weniger Treibhausgas-Emissionen bis 2030 (Referenz: 1990)
- **88%** weniger Treibhausgas-Emissionen bis 2040 (Referenz: 1990)
- **Treibhausgas-Neutralität** bis 2045

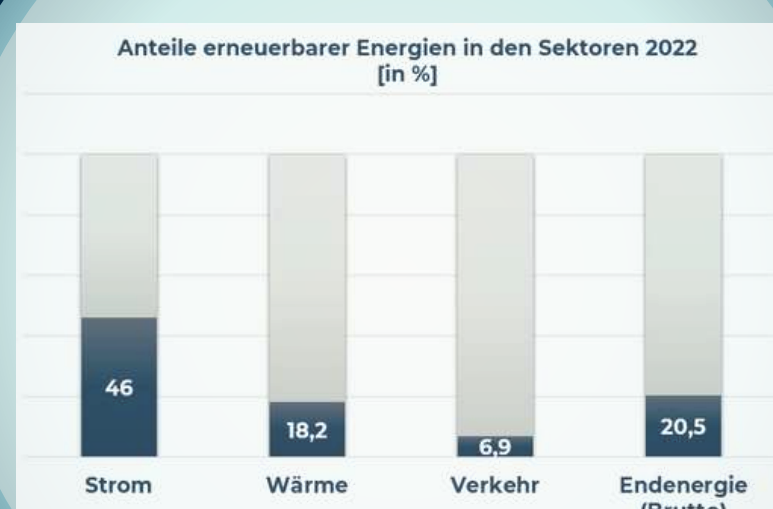


Herausforderungen der nächsten Dekaden:

- Ausweitung der Energiewende auf die Sektoren Wärme, Mobilität und Industrie [10, 13, 15]
- Sektorenkopplung und Ausbau von Speichertechnologien [10, 12]
- Diversifizierung der Energieimporte [4, 5, 6]

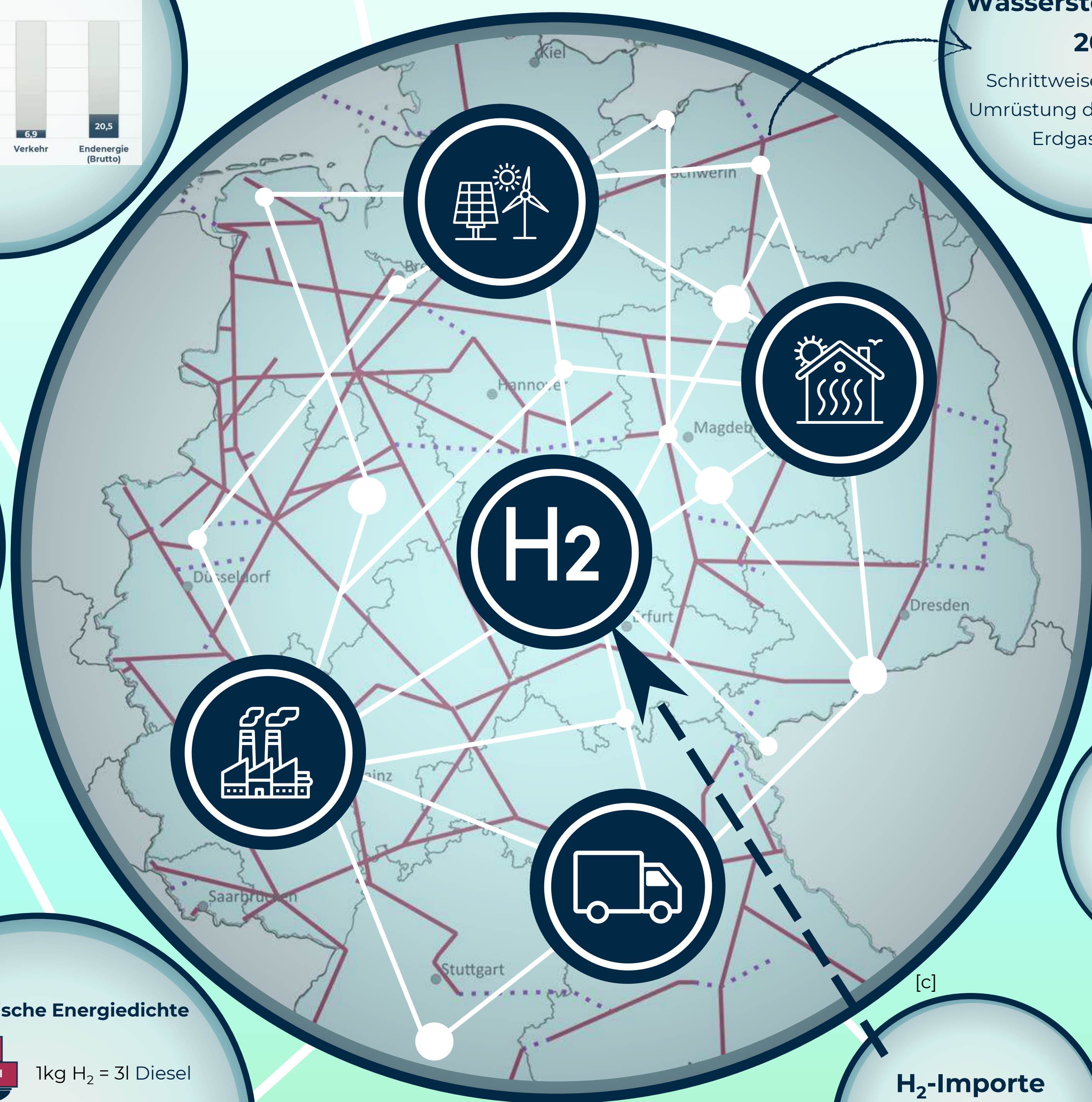
deutschen Energiewende?

Bisher: Stromwende?! [10]



[a]

“Das Wasser ist die Kohle der Zukunft. [...] [Seine zerlegten Elemente] werden auf unabsehbare Zeit hinaus die Energieversorgung der Erde sichern.” Jules Verne (19. Jdh.) [7]



Geplantes Wasserstoffkernnetz 2050

Schrittweiser Ausbau und Umrüstung des bestehenden Erdgasnetzes [9].

Interaktive Grafik Sektorenkopplung:

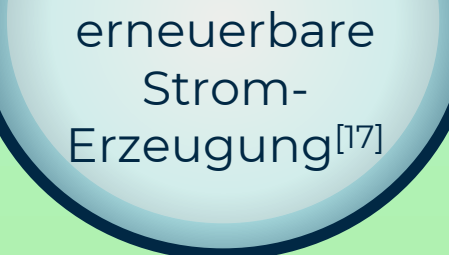


Geographische Hotspots für erneuerbare Strom-Erzeugung [7]

Zurzeit ca. 30-40 % Umwandlungsverluste bei der Elektrolyse [7]

H₂-Importe (Transport per Schiff oder Pipeline) [4, 6]

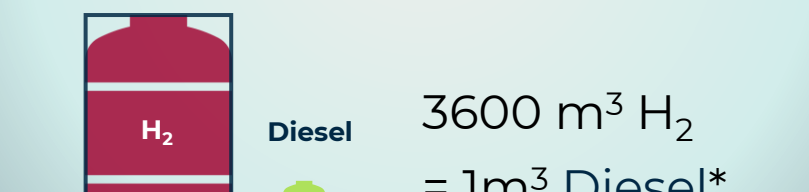
Mehr zu internationalen Dimensionen:



Gravimetrische Energiedichte



Volumetrische Energiedichte



*Verhältnisse nicht maßstabsgetreu dargestellt [b]



Universallösung: Wasserstoff?

Fakten im Überblick [7]

NAME:	Wasserstoff (H ₂)
BESCHAFFENHEIT:	Farbloses Gas, kleinstes und leichtestes Molekül
VORKOMMEN:	Global häufigstes Molekül (↔ chemisch gebunden)
EIGENSCHAFTEN:	Gute Transport- und Speichereigenschaften
GEWINNUNG:	Verschiedene Quellen und Herstellungsprozesse

	Herstellungsprozess/Quelle	Nebenprodukt
	Dampfpreformierung/Kohle oder Erdgas	CO ₂
	Dampfpreformierung/Kohle oder Erdgas	CO ₂ (Speicherung im Boden oder industrielle Nutzung)*
	Methanpyrolyse/Erdgas	Fester Kohlenstoff
	Elektrolyse/erneuerbarer Strom und Wasser	Sauerstoff

STAND 2024: Dominierende Herstellungsmethode ist grauer H₂ [4, 7]

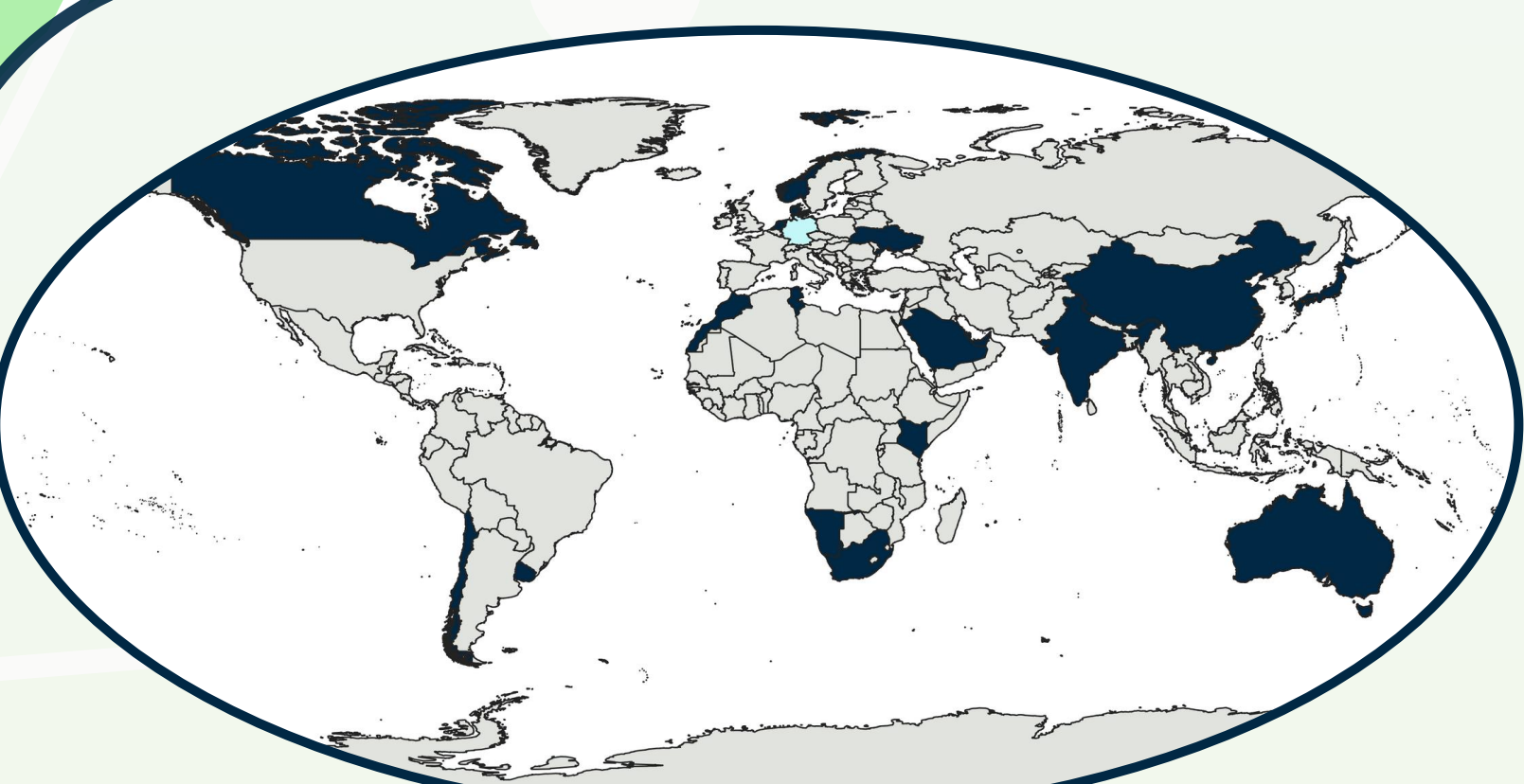
MITTELFRISTIG: CO₂-neutraler H₂ (blau und türkis) in der EU wird eine bedeutsame Übergangstechnologie sein [4, 5, 6]

LANGFRISTIG: **Grüner H₂ ist der einzig nachhaltige Energieträger** und die langfristige Zielsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie [4, 6]

*mittels Carbon and Capture Storage (CCS) bzw. Carbon and Capture Utilization (CCU)

Internationale Perspektive

- Deutsche Vorreiterrolle in der Entwicklung neuer Wasserstofftechnologien [4]
- **Diversifizierung und Versorgungssicherheit** durch Energieimporte aus verschiedenen Ländern [4, 6]
- Handelspartner: **geopolitische Dimension** (Potential für Erzeugung erneuerbaren Stroms, politische Stabilität und lokale Wertschöpfung als wichtige Faktoren) [5, 6, 17, 18]
- Fokus auf europäische Kooperationen (“European hydrogen backbone”) [6]
- Forschungsk Kooperationen: Energiewende als internationale Herausforderung [15, 17, 18]



Abgeschlossene Wasserstoffkooperationen Deutschlands (Stand: Januar 2024). [6]

Ausblick: Zukunft - Wasserstoffwirtschaft?

Wasserstoff bietet als Energieträger ein bedeutsames Potential für die Herausforderungen der Energiewende [4, 6, 19]. Mittel- und langfristig wird er voraussichtlich ein **wichtiges Verbindungselement** der deutschen und internationalen Energiewende darstellen [4, 13, 16]. Nach wie vor wird (unter anderem für die Herstellung von Wasserstoff) auch der Ausbau erneuerbarer Stromproduktion erforderlich sein [17, 19]. Für eine erfolgreiche Energiewende ist in den kommenden Jahrzehnten eine **integrative Transformation** des Energiesystems notwendig [4, 6, 16].

Zukünftiger Wasserstoff-Ausbau:

- Ausbau der Infrastruktur (national und international) [15, 17]
- Forschung und Weiterentwicklung von Wasserstoff-Technologien [4, 5, 6]
- Politische politische Interventionen [15, 17]
- Aufbau von Handelskooperationen unter Beachtung der Sustainable Development Goals und lokaler Wertschöpfung

Mehr zu angewandter H₂-Forschung:



Anwendungspotentiale

Wasserstoff bietet durch seine **guten Speicher- und Transporteigenschaften** vielseitige Anwendungsmöglichkeiten als Energieträger und wichtiger Baustein zukünftiger Energiesysteme [3, 11, 12, 16, 19].



Strom:

Speicherung durch Power-to-Gas-Prozesse → Flexibilität bei “Dunkelflauten” und schwankender Stromproduktion [4, 19]



Wärme:

Verbrennung in Blockheizkraftwerken (Potential zur Nutzung von H₂-Abfällen aus der Industrie → Pilotprojekte in “Reallaboren”) [8]



Industrie:

Reduktionsmittel in der Stahlindustrie
Grundstoff in der Chemieindustrie (Düngemittel-Herstellung, Power-to-X-Prozesse, z.B. Herstellung synthetischer Flüssigkraftstoffe) [4, 8, 19]



Verkehr:

Schwerlasten- und Langstreckentransporte
Einsatz synthetischer Kraftstoffe im Schiffs- und Luftverkehr [2]

Sektorenkopplung: Basis für zukünftigen Fortschritt in der deutschen Energiewende [4, 6, 13]



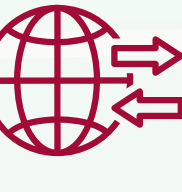
Grenzen und Herausforderungen

Wasserstoff ist jedoch ein Sekundärenergieträger, **keine direkte Energiequelle**. Durch Umwandlungsverluste bei der Produktion ist die Anwendung von Wasserstoff nur in Bereichen effizient, in denen erneuerbarer Strom nicht direkt genutzt werden kann. [4, 16]



Ineffiziente Wasserstoff-Anwendungen*:

- Alltagsgebrauch von PKW (Kurzstrecken) [12, 19]
- Stromerzeugung in gut ausgebauten Netzwerken (mit Strom aus erneuerbaren Quellen) [12, 16]
- Gebäudewärme im Privatbereich [12, 19]



Lokale Produktion:

In Deutschland: Langfristig voraussichtlich Mangel an erneuerbarem Strom → Abhängigkeit von Energieimporten aus dem Ausland [4, 6, 15]



Umweltverträglichkeit:

Abhängig vom Produktionsverfahren (siehe Quellen und Nebenprodukte der Wasserstoff-Farbpalette) [7, 19]

* Bezogen auf den derzeitigen Forschungs- und technologischen Stand. Es ist davon auszugehen, dass sich dieser durch zukünftige Entwicklungen der Technologien, Infrastruktur und Forschung (z.B. durch erhöhte Wirkungsgrade in den Elektrolyse-Verfahren) verändern wird. [7]

Literatur

- [1] Bundes-Klimaschutzgesetz: KSG; 2019 (geändert 2021).
- [2] Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik. Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland 2023.
- [3] Ausfelder F, Kundler I. Wasserstoff im Energiesystem der Zukunft. CITplus 2023;26(6):16–9. <https://doi.org/10.1002/ctip.202300609>
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Die nationale Wasserstoffstrategie. Berlin; 2020.
- [5] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Fortschrittsbericht der Umsetzung zur Nationalen Wasserstoffstrategie. Berlin; 2022.
- [6] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie - NWS 2023. Berlin; 2023.

[7] Deutscher Industrie- und Handelskammertag e.V. Wasserstoff - DIHK Faktenpapier. Berlin/Brüssel; 2020.

[8] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Wasserstoff als Fundament der Energiewende: Teil 2: Sektorenkopplung und Wasserstoff: Zwei Seiten der gleichen Medaille; 2020.

[9] FNB Gas. Wasserstoffnetz 2050: Für ein klimaneutrales Deutschland. Verfügbar unter: <https://fns-gas.de/news/wasserstoffnetz-2050-fuer-ein-klimaneutrales-deutschland/> [24.02.2024].

[10] Gollinger T. Energiewende in Deutschland: Plurale ökonomische Perspektiven. Wiesbaden, Heidelberg: Springer; 2021.

[11] Hanley ES, Deane J, Gallachoir BOP. The role of hydrogen in low carbon energy futures: A review of existing perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2018;82:3027–45. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.034>.

[12] Harst S, Albus B, Hackner A, Haslinger A. In der Wasserstoffwirtschaft liegen viele Chancen. In: Neugebauer R (Hrsg.) Wasserstofftechnologien. Wiesbaden: Springer; 2022. S. 7–19.

[13] Hebling C, Ragwitz M, Fleiter T, Groos U, Härlé D, Held A et al. Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland. Karlsruhe/Freiburg; 2019.

[14] Neugebauer R (Hrsg.). Wasserstofftechnologien. Wiesbaden: Springer; 2022.

[15] Schiffer H-W, Trüb A. A review of the German energy transition: taking stock, looking ahead, and drawing conclusions for the Middle East and North Africa. Energy Transit 2018;2(1):21–14. <https://doi.org/10.1007/s41825-018-0010-2>.

[16] Synwoldt C. Energieversorgung 20XX und Wasserstoff. CITplus 2023;26(4):14–7. <https://doi.org/10.1002/ctip.202300409>.

[17] van de Graaf T, Overland I, Scholten D, Westphal K. The new oil? The geopolitics and international governance of hydrogen. Energy Research & Social Science 2020;70:101667. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101667>.

[18] Weltenergiat. International hydrogen strategies. Verfügbar unter: <https://www.weltenergiat.de/publicationen/studien/international-hydrogen-strategies/> [24.02.2024].

[19] Yue M, Lambert H, Pahon E, Roche R, Jermel S, Hissel D. Hydrogen energy systems: A critical review of technologies, applications, trends and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2023;146:111180. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111180>.

Abbildungen:

[a] Eigene Abbildung nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik; 2023.

[b] Eigene Abbildung nach Deutscher Industrie- und Handelskammertag e.V.; 2020.

[c] Eigene Abbildung. Wasserstoffnetz 2050 nach FNB Gas; 2024. Erstellt mit QGIS und Canva.

[d] Eigene Abbildung. Aktuelle Kooperationspartner nach Weltenergiat; 2024. Erstellt mit QGIS.

Icons:

Alle Icons wurden unter der Verwendung von Canva (Canva-Pro Lizenz) erstellt.



©2024 The Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

Autorin: Tine Husfeld [5] (5123984)

Erstellungsjahr: 2024

Redakteur: Prof. Dr. Rüdiger Glaser [2]

Herausgeber: Prof. Dr. Rüdiger Glaser

Datenmanager: Michael Kahle [2]

[20], [21], [22]: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Fakultät für Umwelt & Natürliche Ressourcen Institut für Umweltsozialwissenschaften & Geographie