

Grüne Wasserstoffimporte aus Afrika - der Schlüssel zur Energiewende?

Anton Achhammer – Forschungsstelle für
Energienetze und Energiespeicher



Tweedback

<https://tweedback.de/ux8v>

Grüne Wasserstoffimporte aus Afrika – der Schlüssel zur Energiewende?

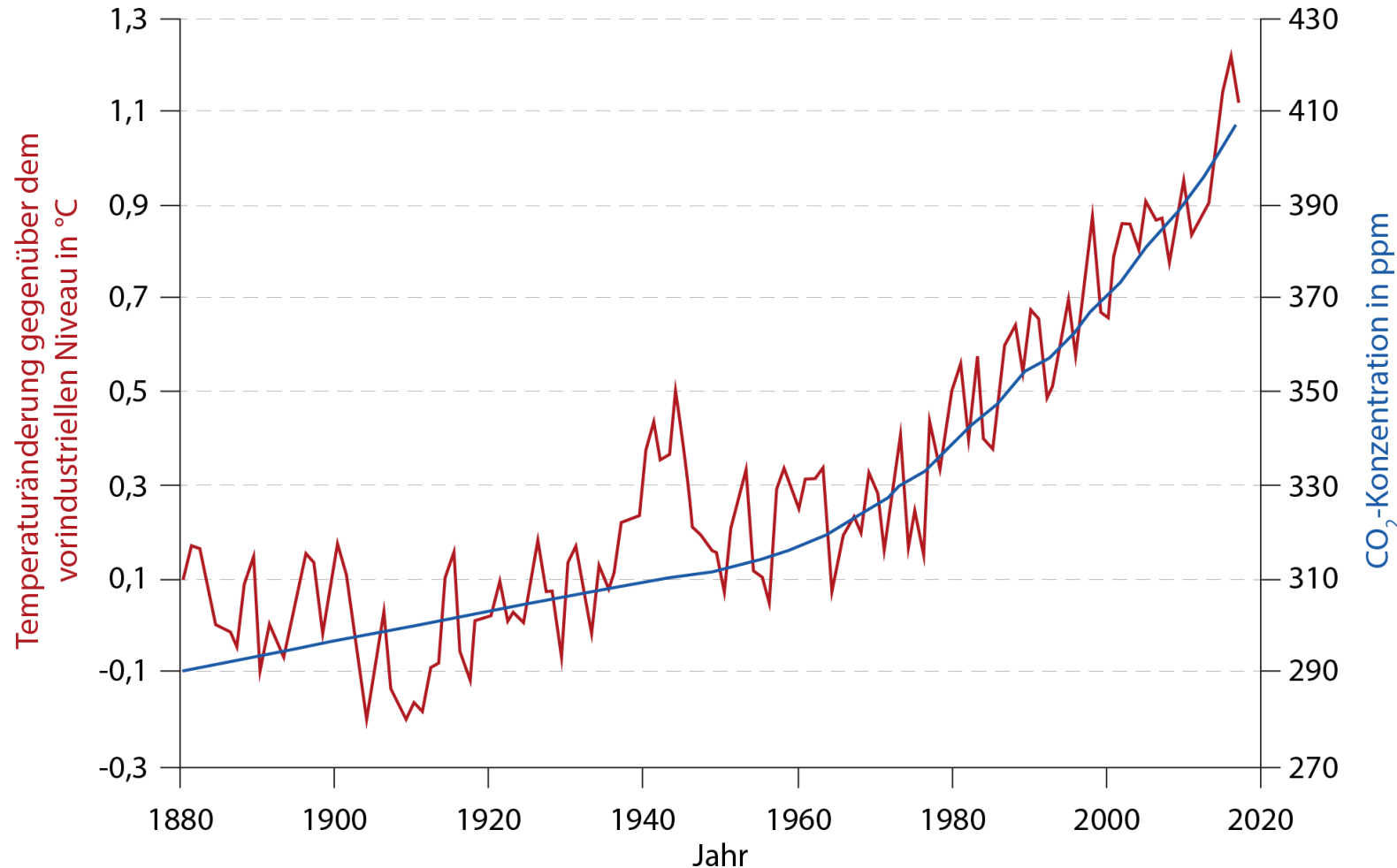
- 1 | Einführung zu grünem Wasserstoff (GH₂) und Power-to-X (PtX)
- 2 | Wirtschaftlichkeit von GH₂ und PtX
- 3 | Probleme, Chancen und Herausforderungen für GH₂ und PtX in Afrika – Das Projekt H2Global meets Africa







EINFÜHRUNG ZU GRÜNEM WASSERSTOFF (GH₂) UND POWER-TO-X (PTX)

Warum ist eine kohlenstoffarme Zukunft wichtig?

CO₂-Konzentration vs. Temperatur

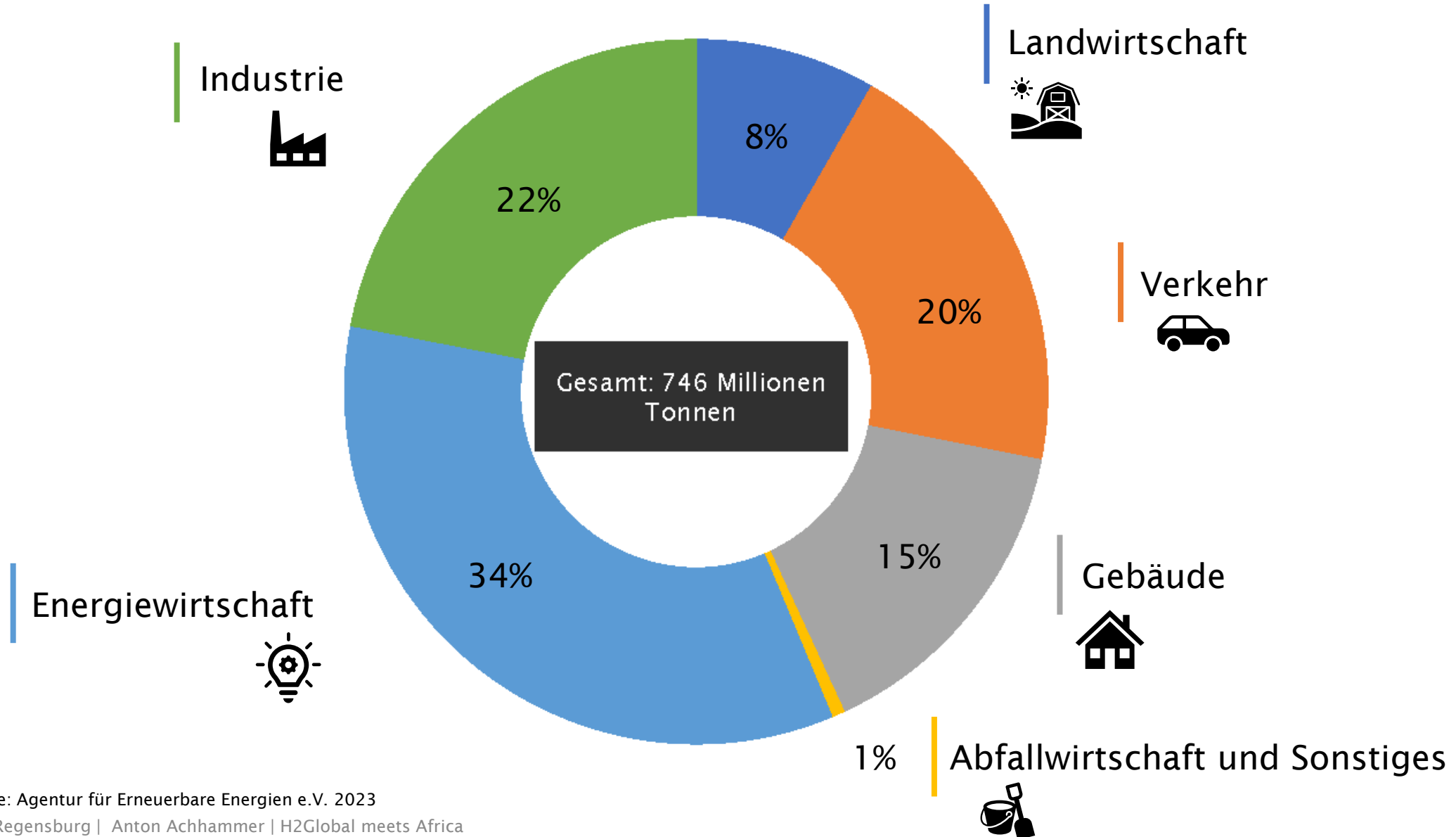


Wissenschaftlich belegt

-  Einfluss des Menschen auf das Klimasystem
-  Weitere Emissionen führen zu weiterer Erwärmung
-  Höchste Temperaturen in den letzten 3 Jahrzehnten seit 1850
-  Höchste Konzentration der Treibhausgase seit mind. 800.000 Jahren

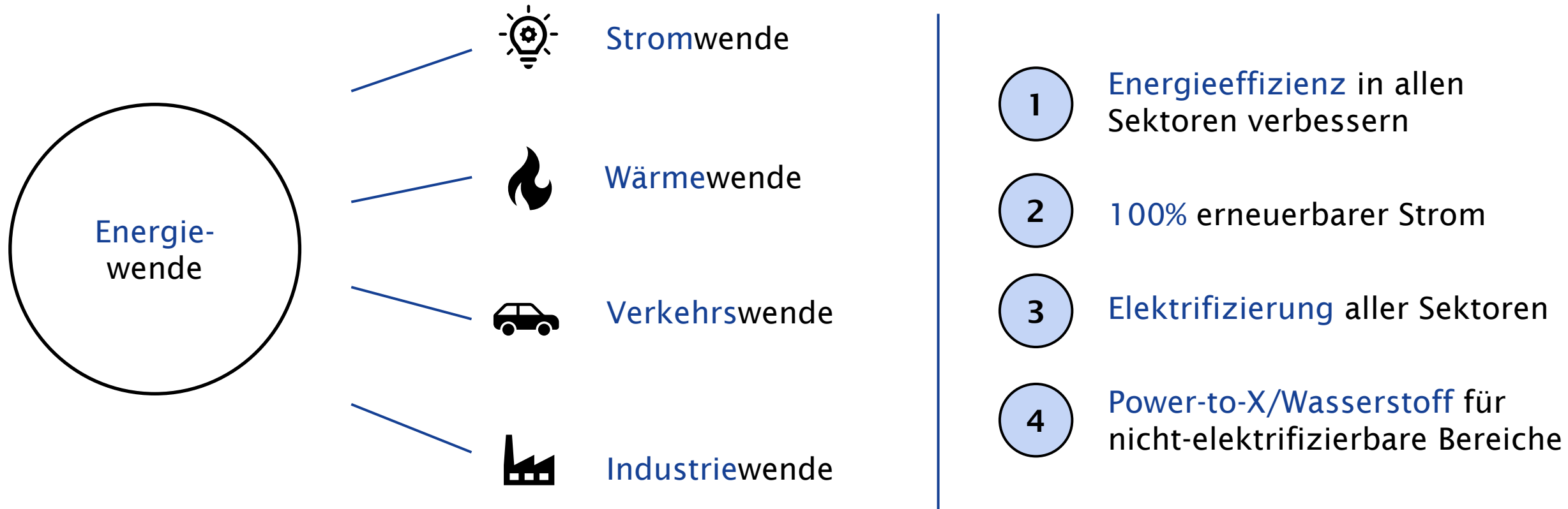
Warum ist eine kohlenstoffarme Zukunft wichtig?

Ausstoß Treibhausgase nach Sektoren in Deutschland (2022)



Warum ist eine kohlenstoffarme Zukunft wichtig?

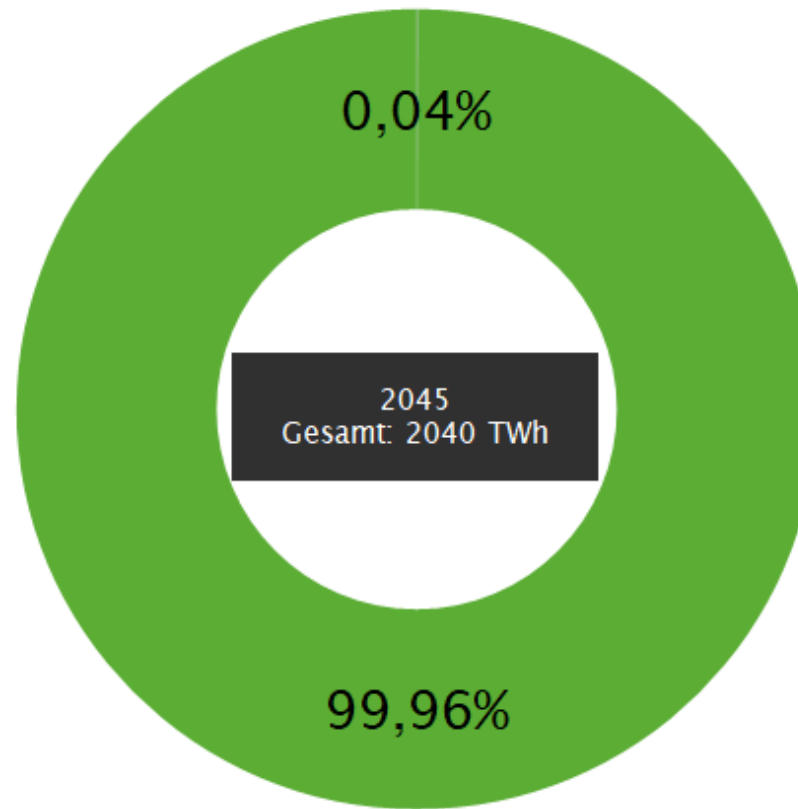
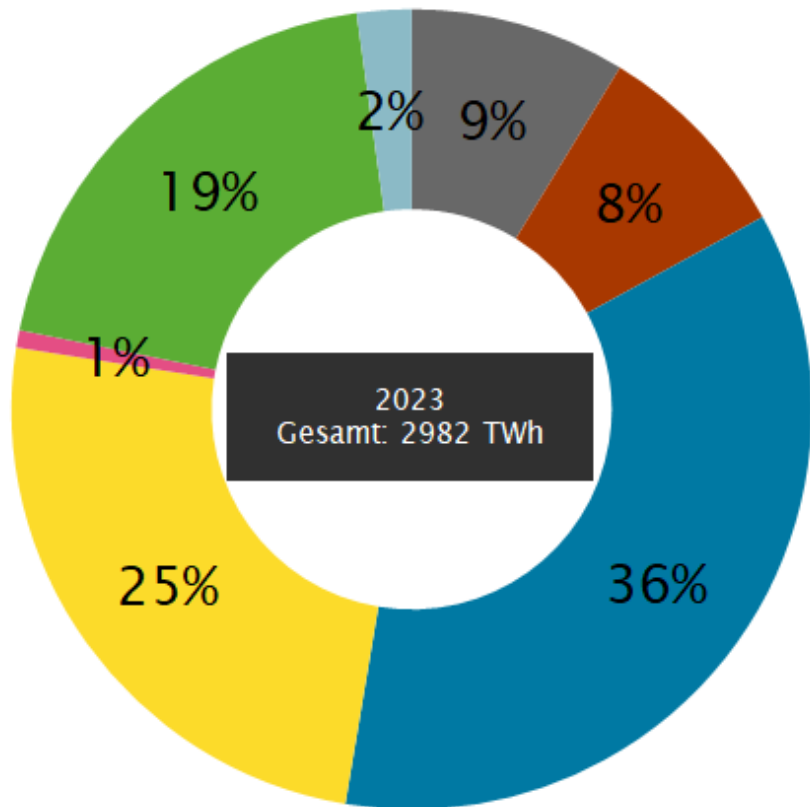
Lösung (Politik): Ausreichendes **Klimaschutzgesetz (1,5 °C)**



Energiewende

Energieeffizienz in allen Sektoren verbessern

Mögliche Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland

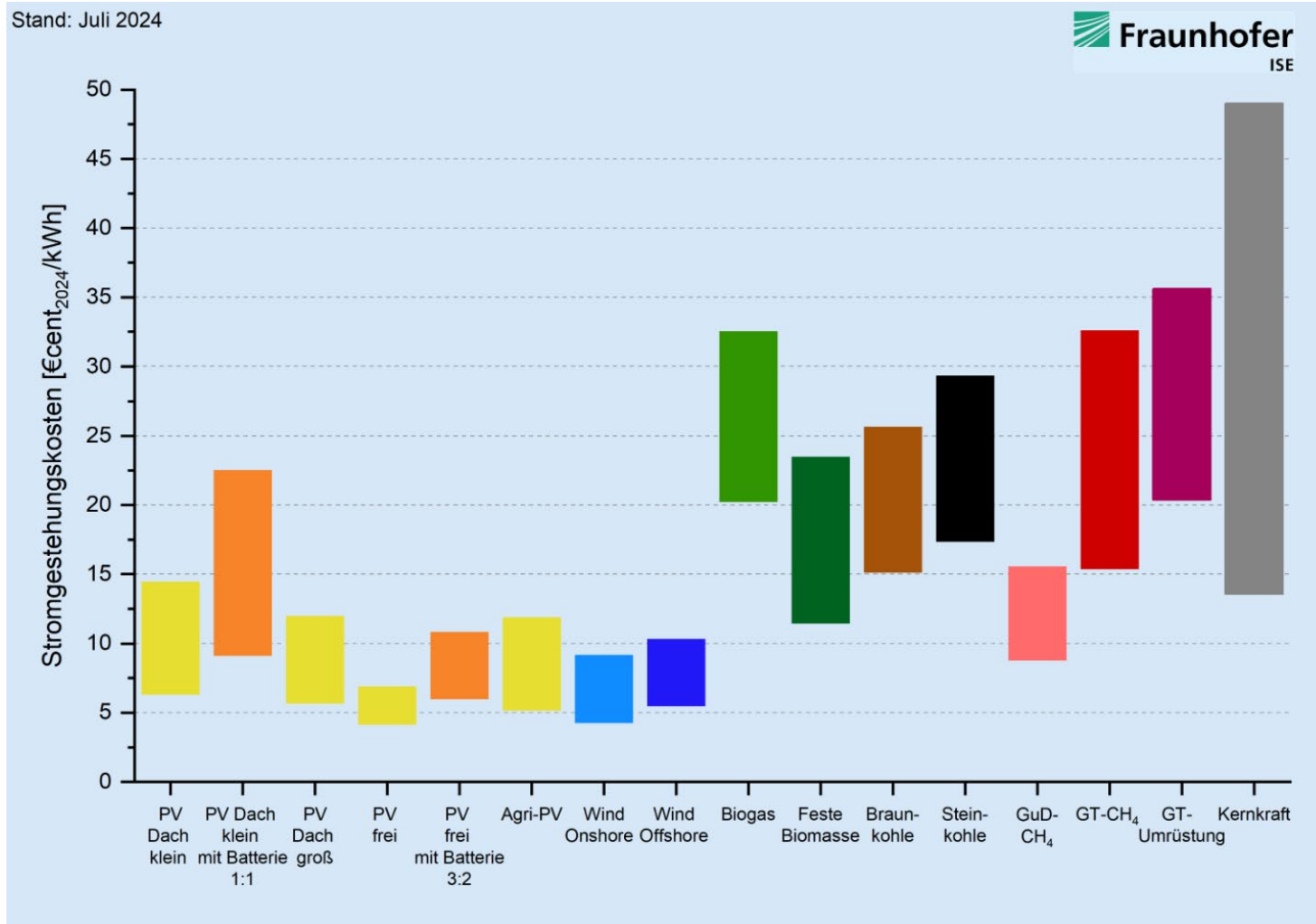


- Steinkohle
- Braunkohle
- Mineralöl
- Gase
- Kernenergie
- Erneuerbare Energien
- Sonstige Energieträger

→ Die beste Energie ist diejenige, die überhaupt nicht benötigt wird.

Energiewende

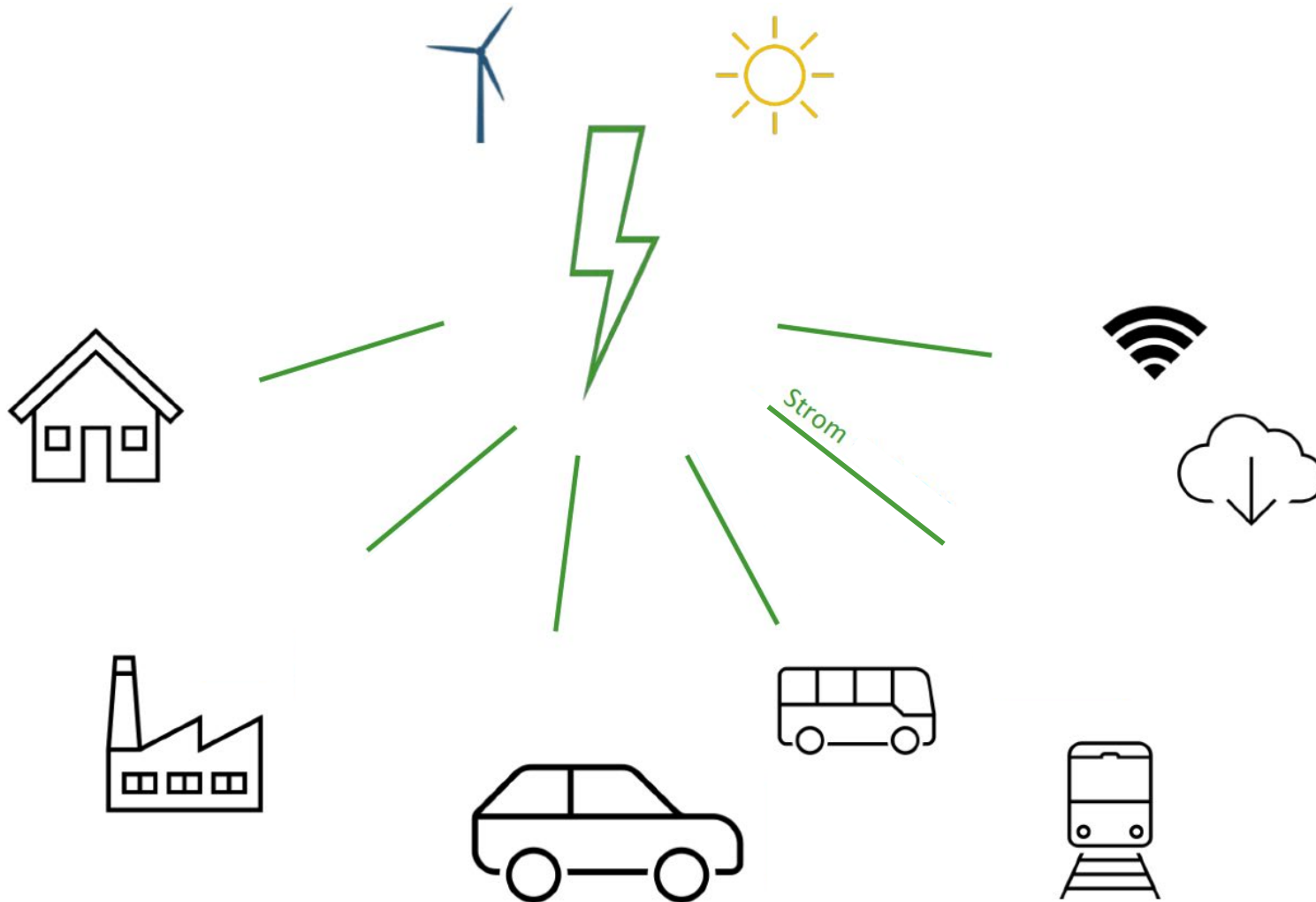
100% erneuerbarer Strom



Erneuerbare Energien weisen die geringsten Stromgestehungskosten in Deutschland auf

Energiewende

Elektrifizierung aller Sektoren

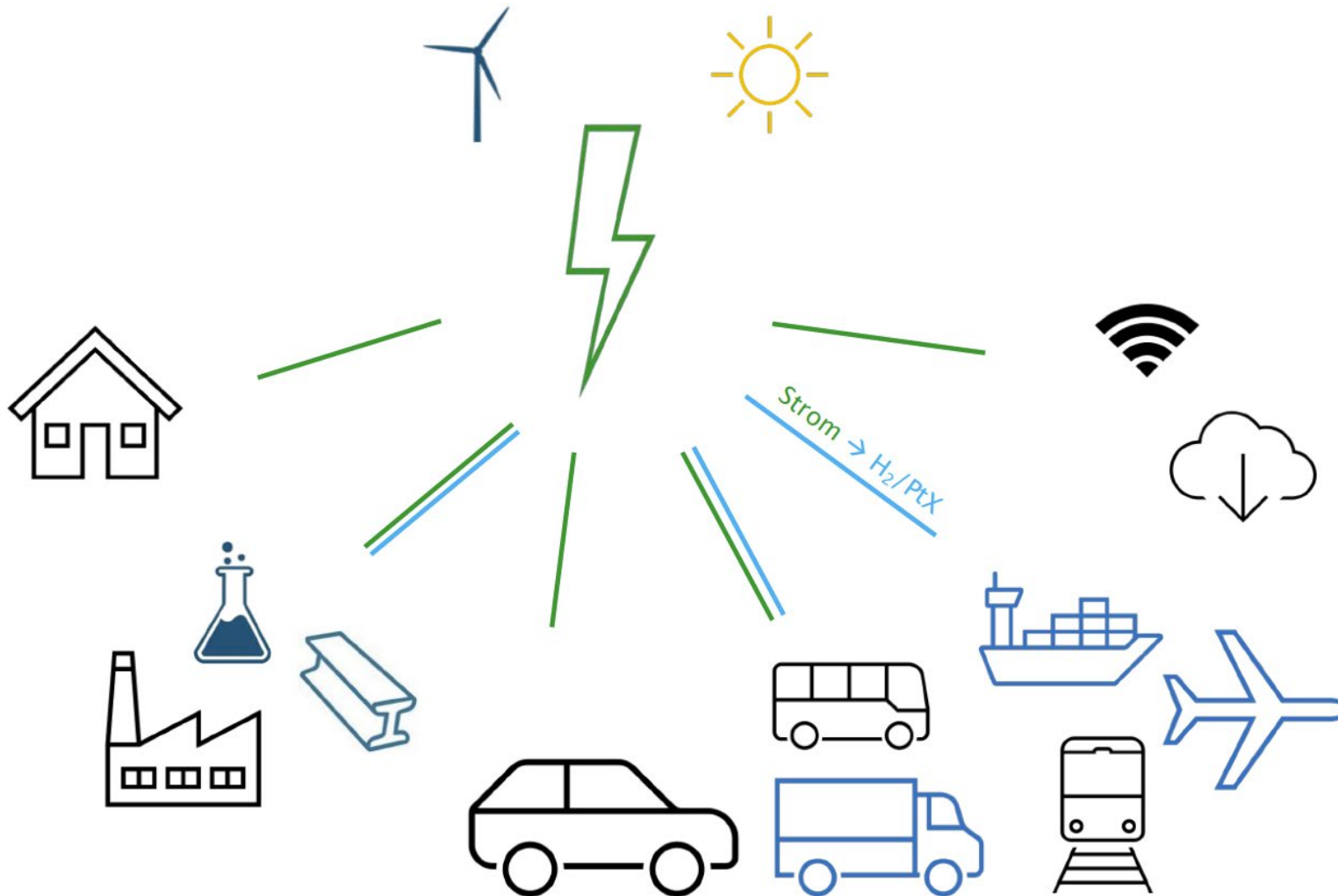


Elektrifizierung ist entscheidend für das Gelingen der Energiewende.

Viele Bereiche können elektrifiziert werden.

Energiewende

Power-to-X/Wasserstoff für nicht-elektrifizierbare Bereiche



Notwendigkeit Power-to-X/Wasserstoff:

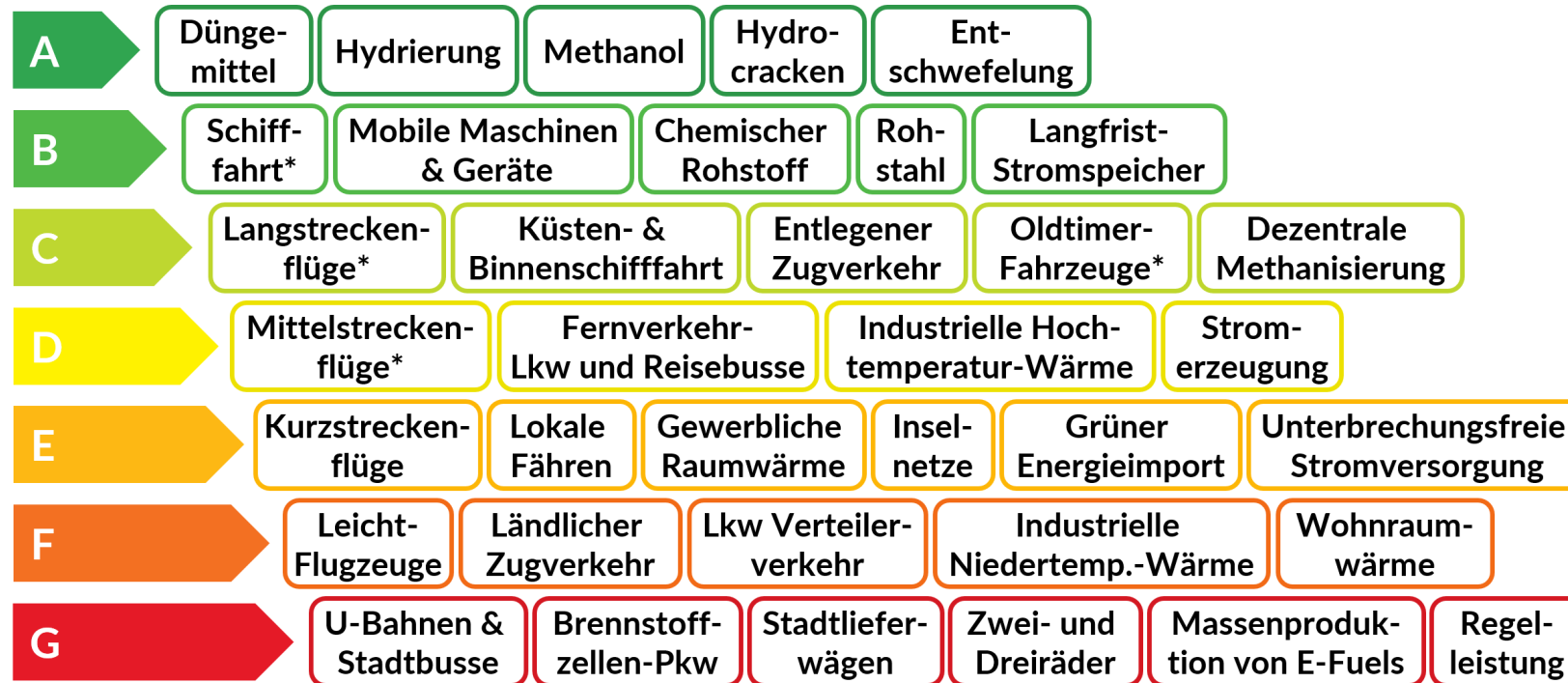
Viele Bereiche können
elektrifiziert werden.

Allerdings nicht alle.

Einsatzbereiche sauberen Wasserstoffs

(Schätzungen, nach Michael Liebreich, 2021)

Alternativlos



Unwirtschaftlich

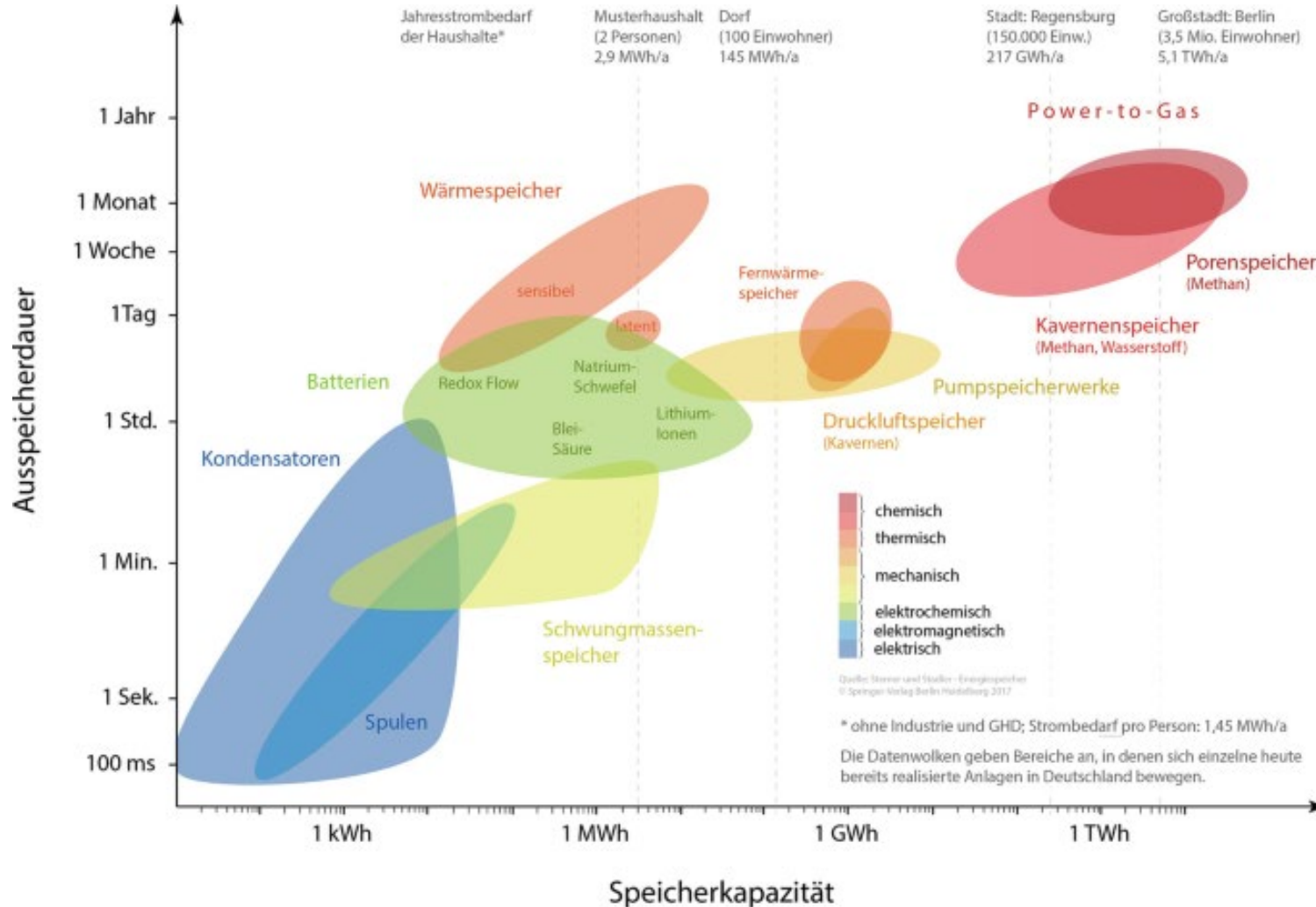
* Sehr wahrscheinlich in Form von mittels Wasserstoff erzeugten E-Fuels oder Ammoniak.



It's not very
effective...

Energiewende

Power-to-Gas



Power-to-Gas Speicher weisen die höchste Speicherkapazität und Ausspeicherdauer auf

Kurzzeitspeicher:
Stunden, Tage

Langzeitspeicher:
Wochen, Monate

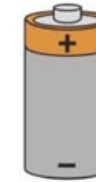
Energiewende

Power-to-Gas



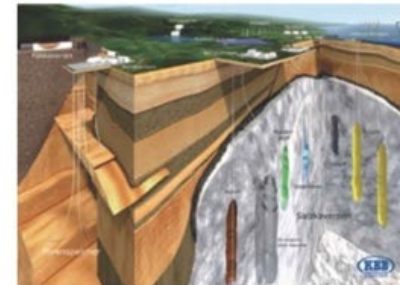
Kurzzeitspeicher
→
Stunden, Tage

Pumpspeicher, Batterien



Langzeitspeicher
→
Wochen, Monate

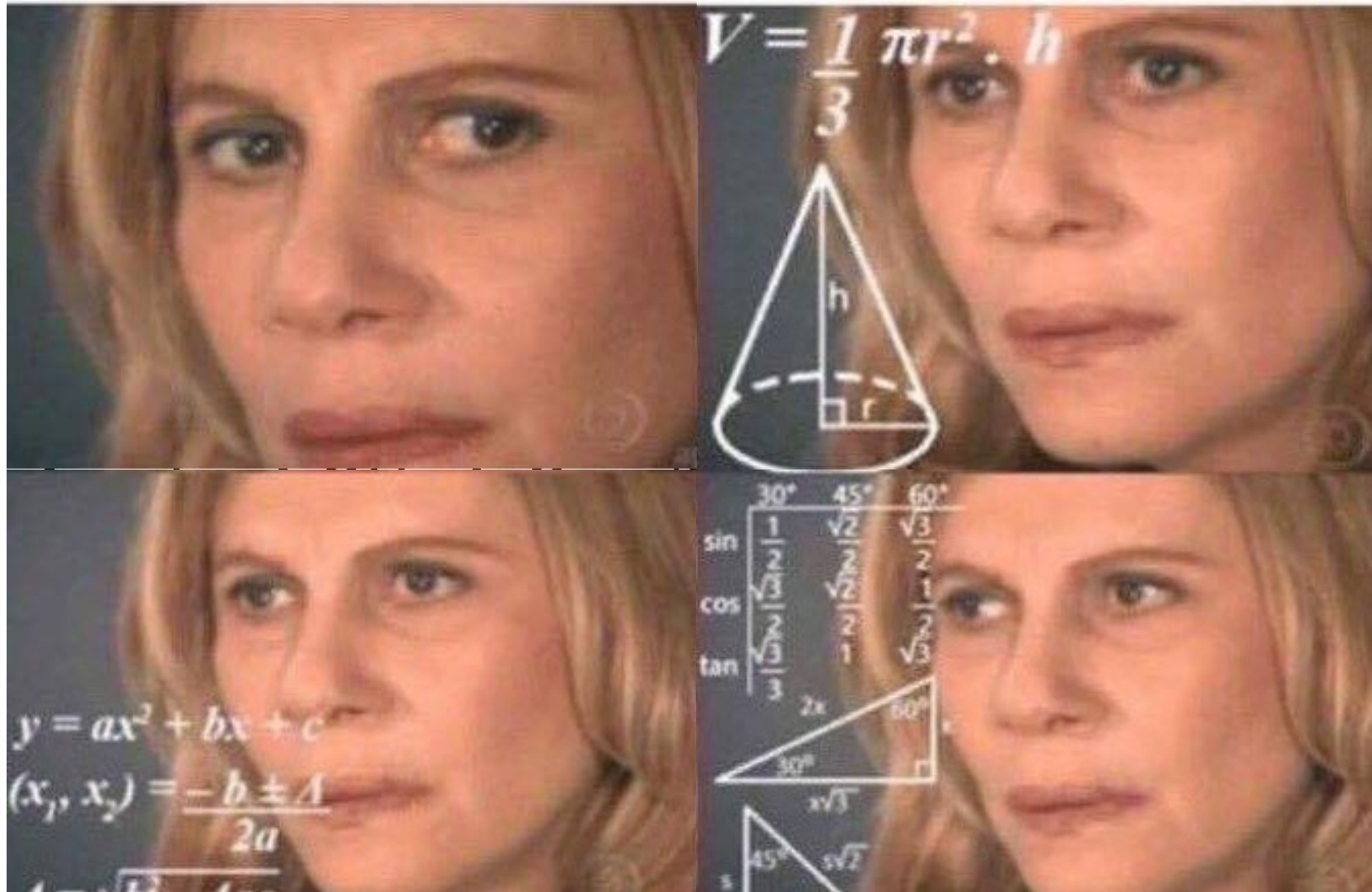
Power-to-Gas, Wasserstoff



Quelle: Sterner et al, FENES OTH Regensburg, 2021

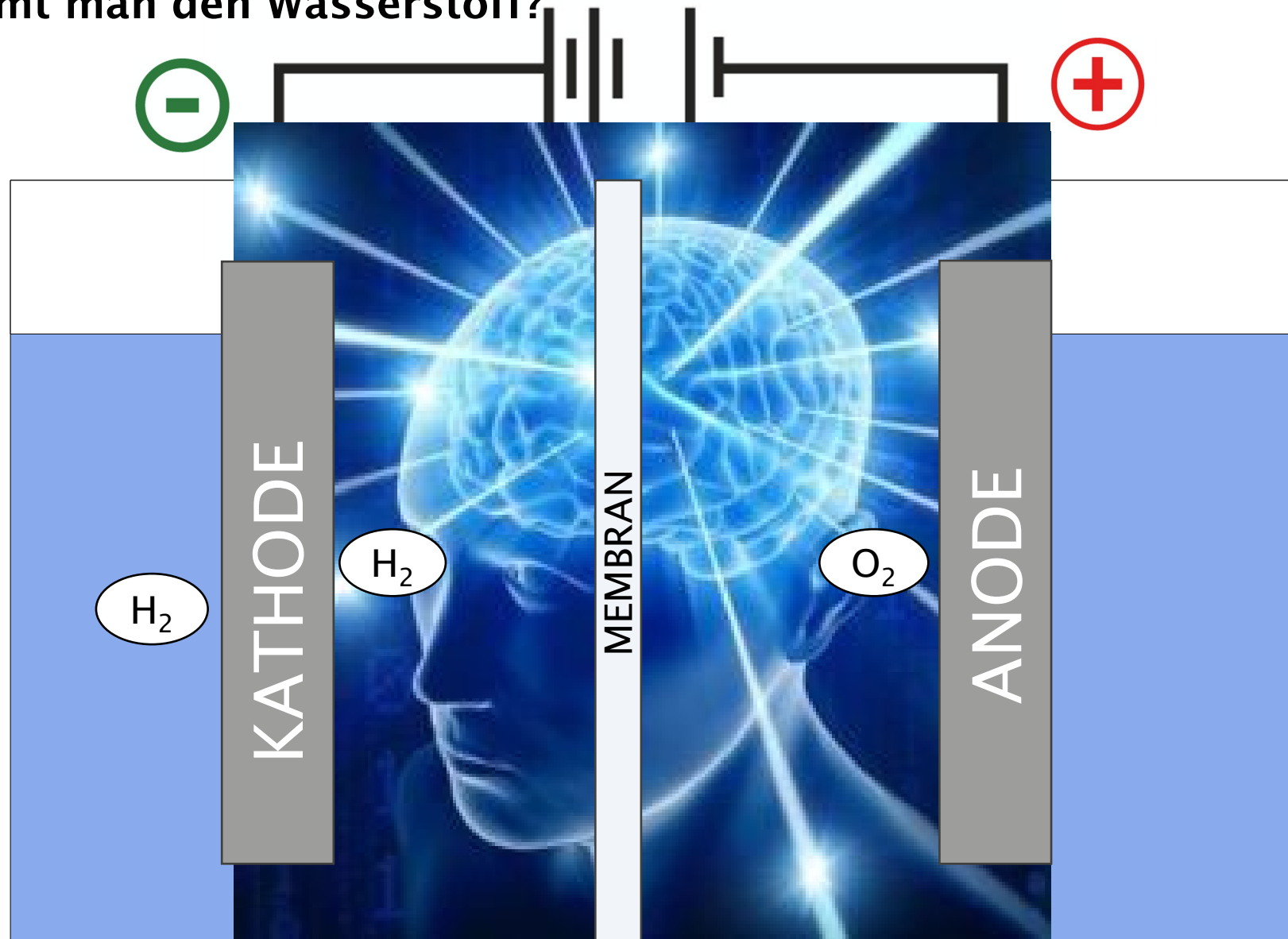
Energiewende

Wie bekommt man den Wasserstoff?



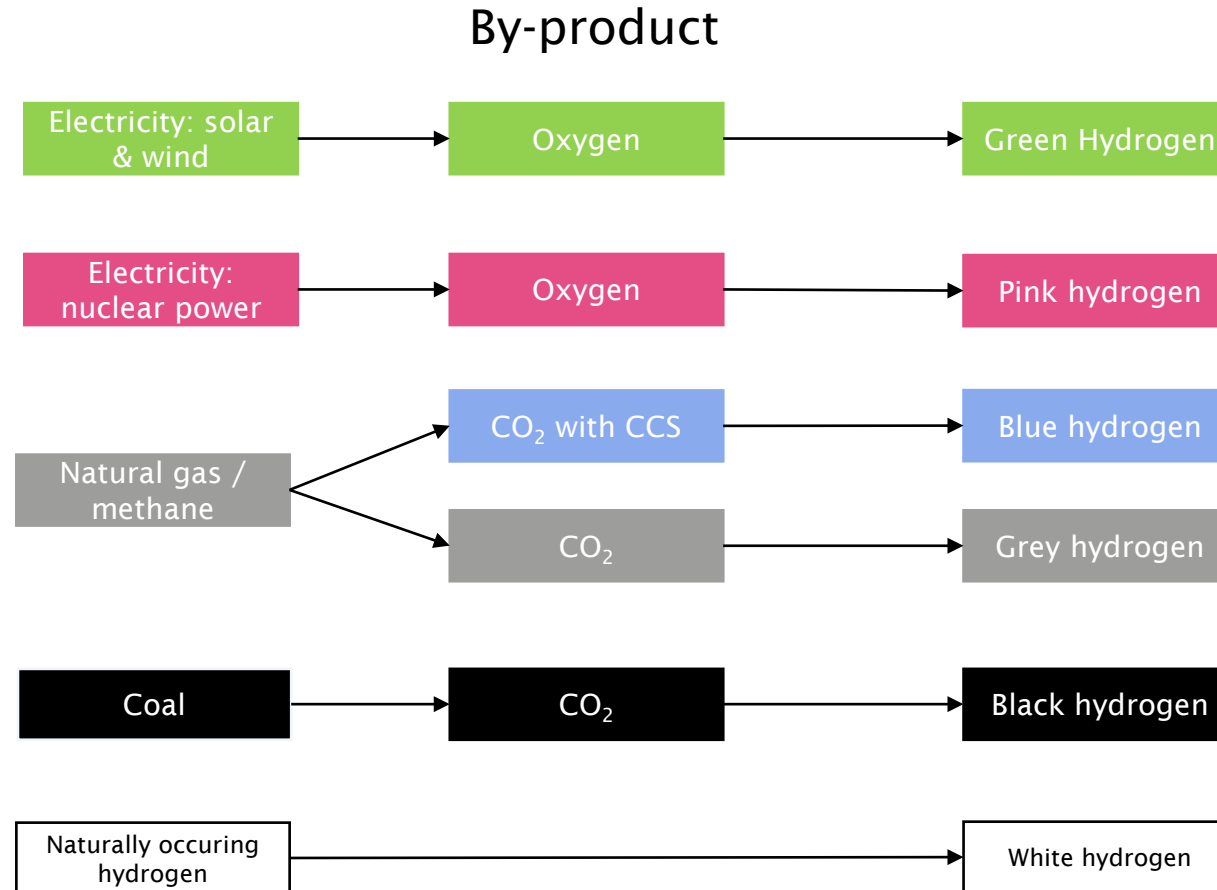
Energiewende

Wie bekommt man den Wasserstoff?



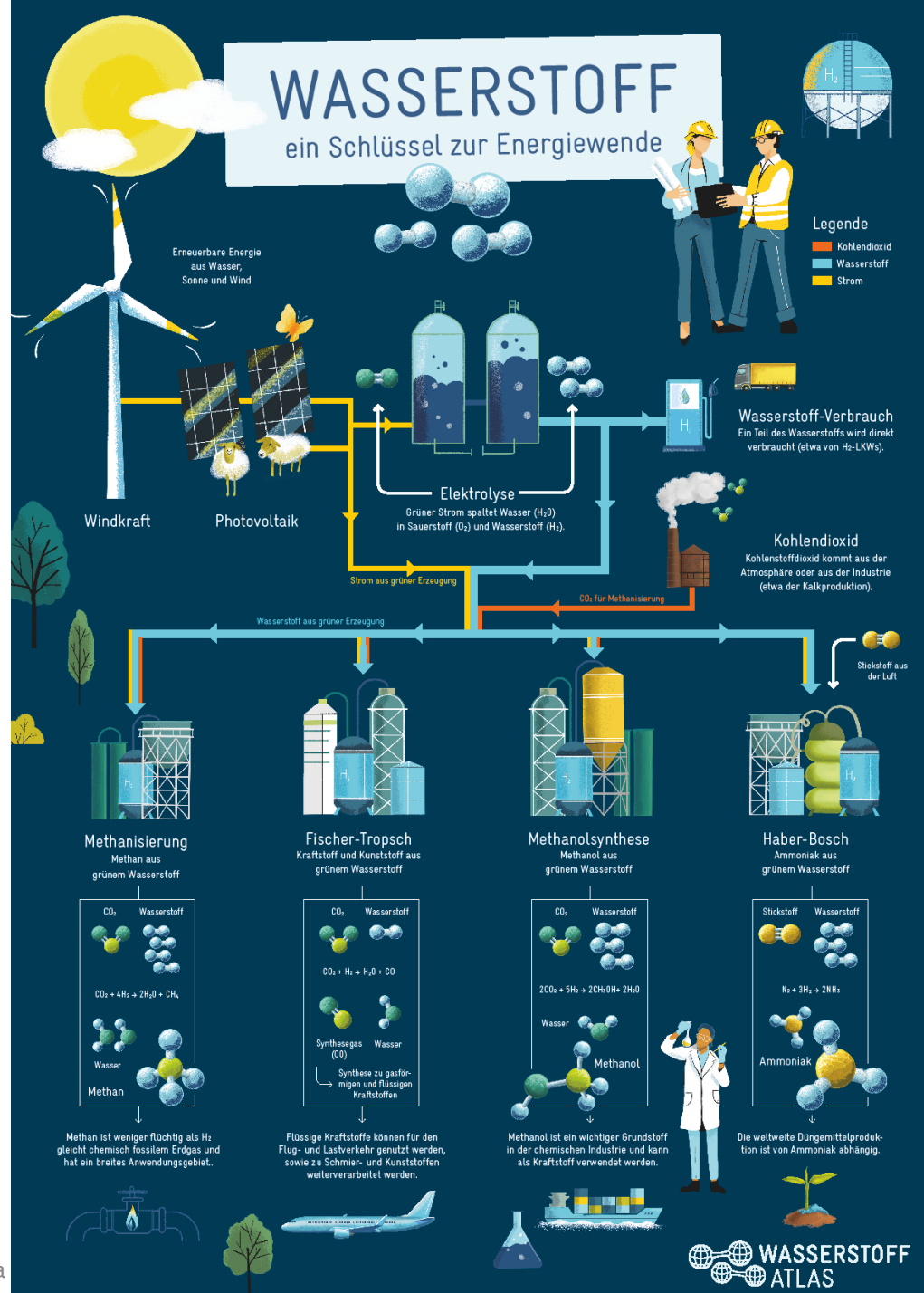
Energiewende

Was ist Grüner Wasserstoff?



Energiewende

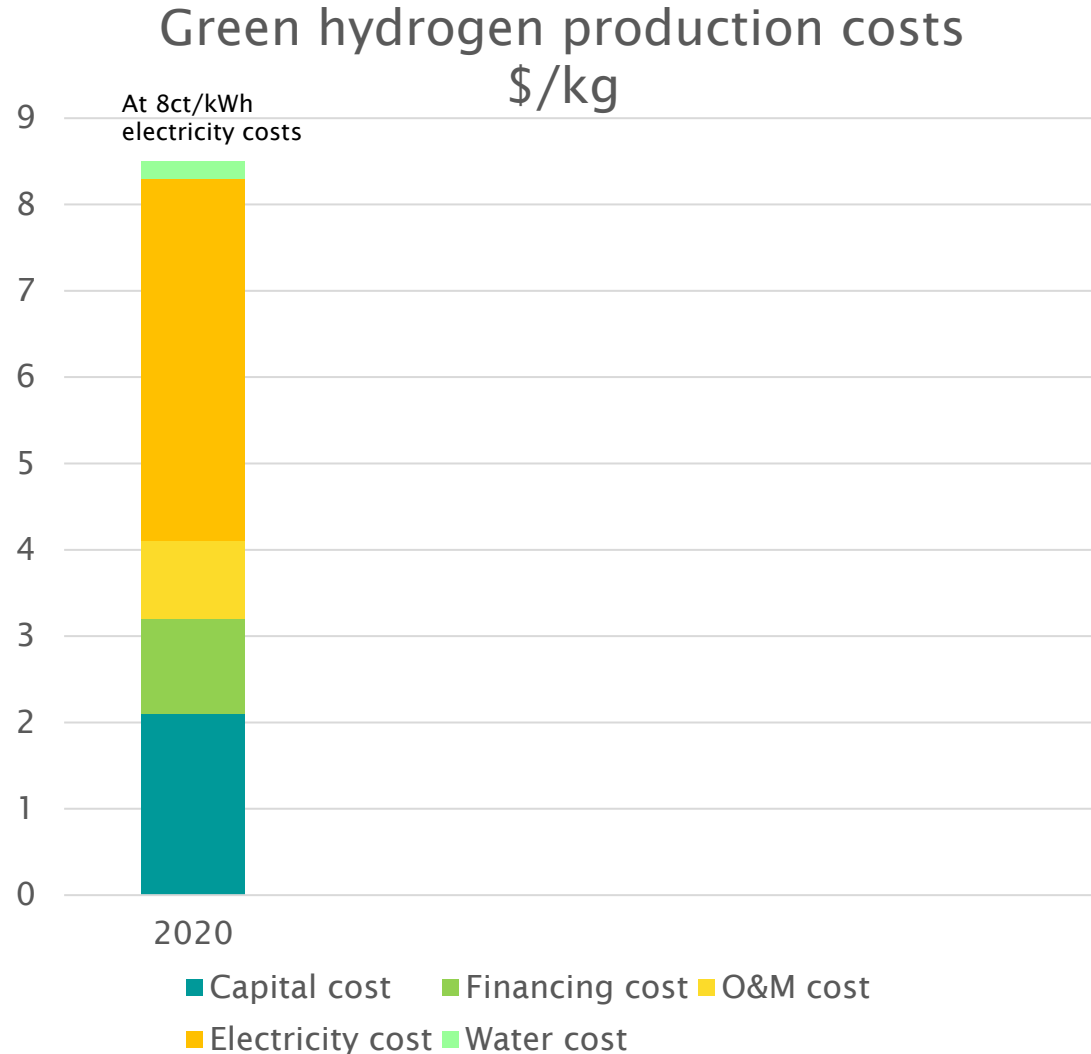
Was ist Power-to-X?





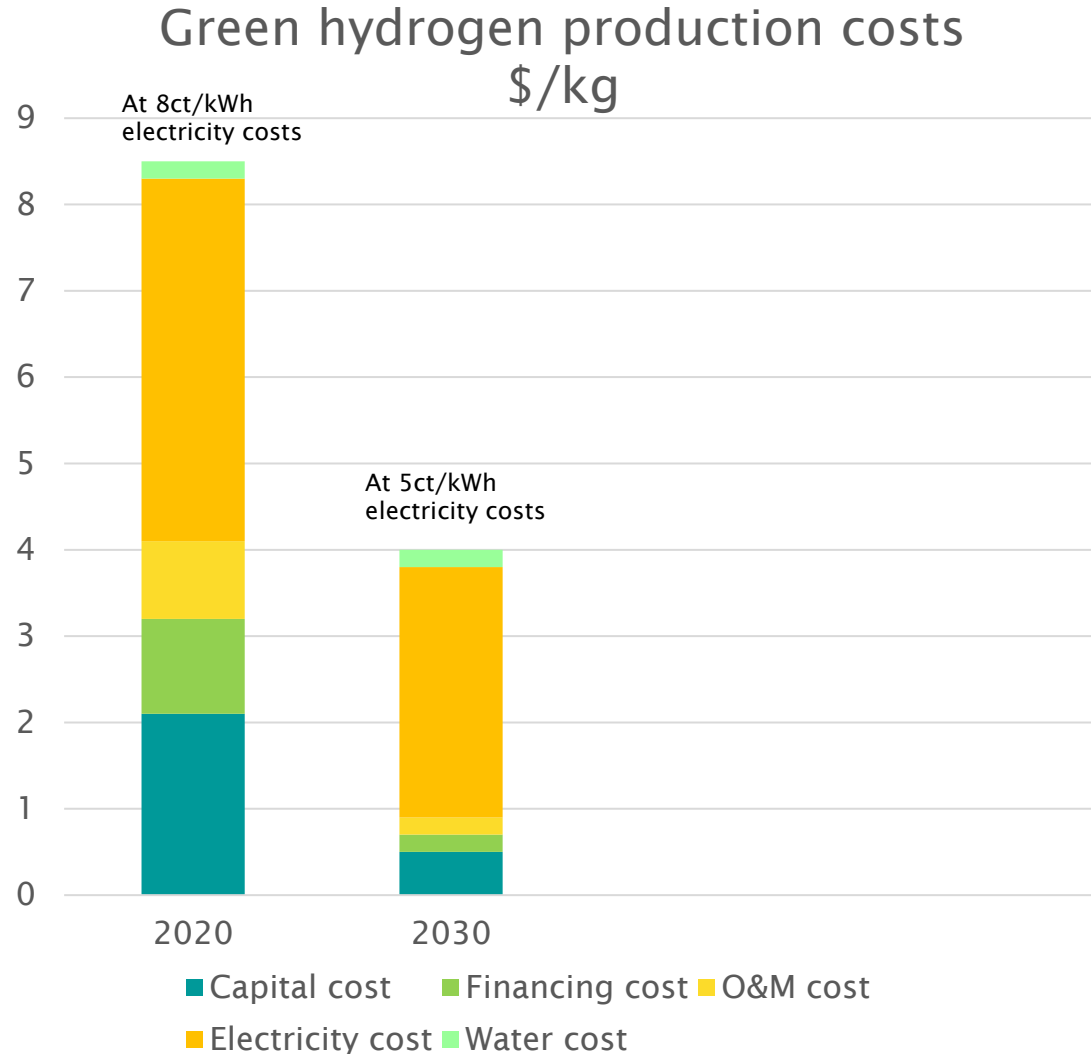
WIRTSCHAFTLICHKEIT VON GH2 UND PTX

Was kostet es grünen Wasserstoff zu produzieren?



- **Capital cost:** capital expense (CAPEX) for the electrolyser (including the balance of plant)
- **Financing cost:** Interest rates depend on financing mechanism and perceived risk of project
- **O&M cost:** Operation and maintenance is often paid as a Service-Level Agreement (SLA) or warranties → deferred capex costs for replacements of stacks or other parts (1-3% of capex annually)
- **Electricity cost:** (either as part of project (CAPEX) or as purchase agreement (OPEX; incl. Taxes. Levies, surcharges...))
- **Water cost:** are mostly minor

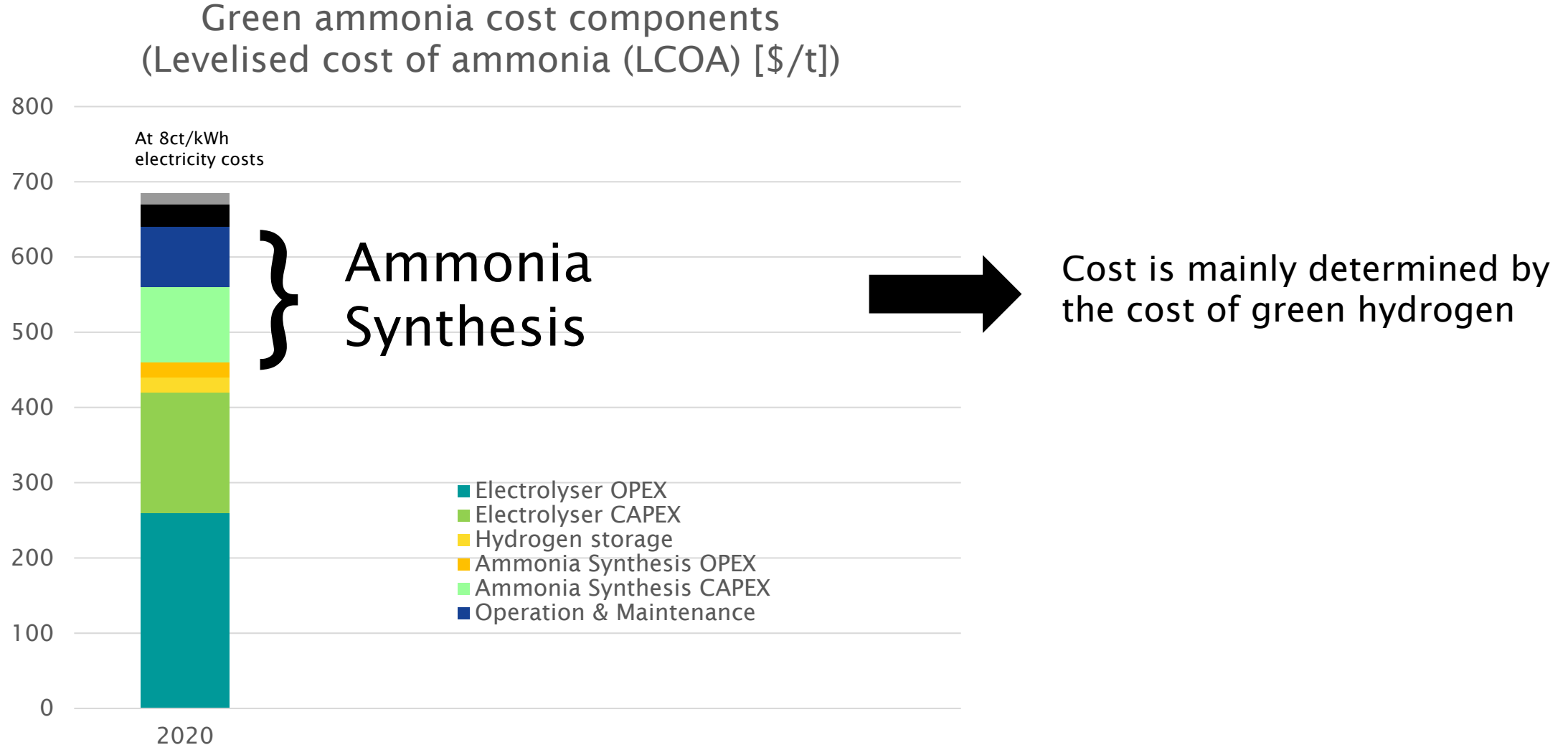
Wie sind die Potentiale der Einsparung bei grünem Wasserstoff?



- Capital cost: capital expense (CAPEX) for the electrolyser (including the balance of plant)
- Financing cost: Interest rates depend on financing mechanism and perceived risk of project
- O&M cost: Operation and maintenance is often paid as a Service-Level Agreement (SLA) or warranties → deferred capex costs for replacements of stacks or other parts (1-3% of capex annually)
- Electricity cost: (either as part of project (CAPEX) or as purchase agreement (OPEX; incl. Taxes, Levies, surcharges...))
- Water cost: are mostly minor

Energiewende

Was sind die Hauptkostentreiber von grünem Ammoniak?

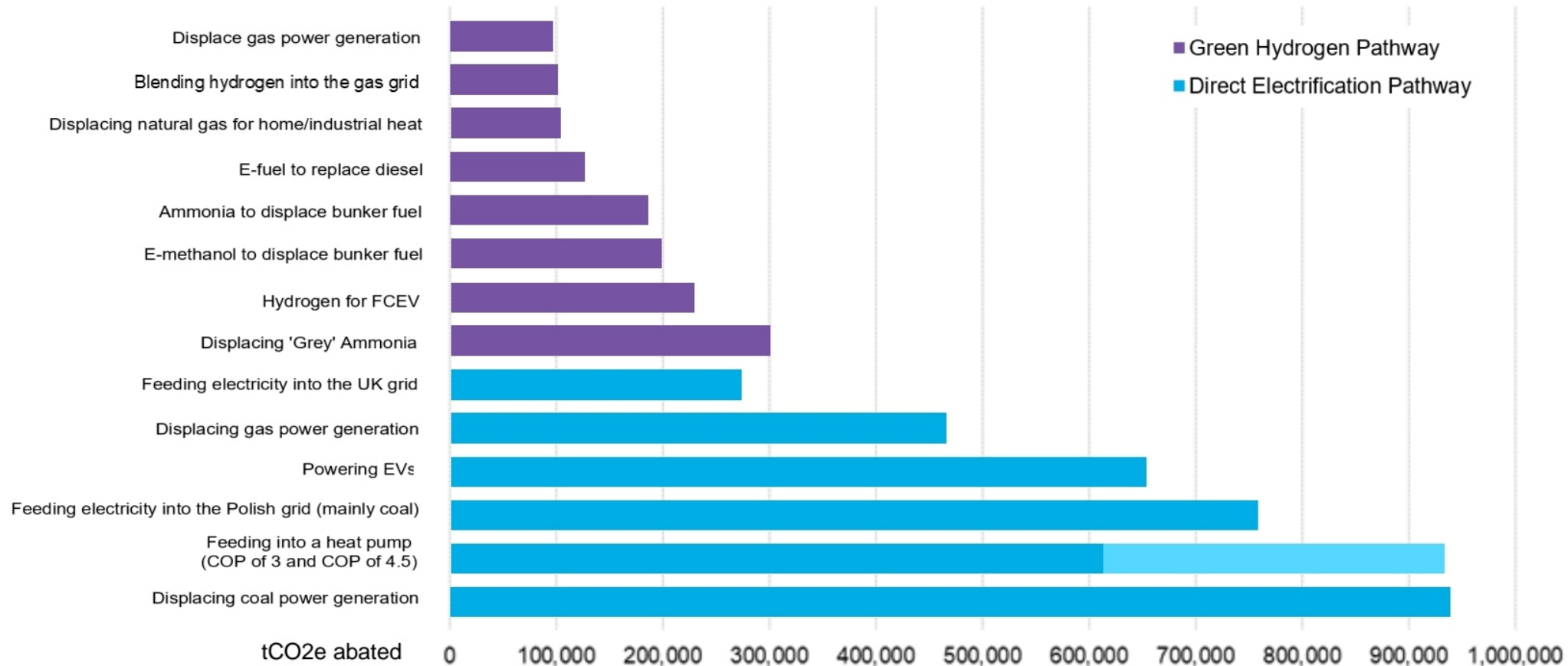


Quelle: Richard Michael Nayak-Luke & René Bañares-Alcántara Royal society of chemistry, Techno-economic viability of islanded green ammonia as a carbon-free energy vector and as a substitute for conventional production, 2020.

Energiewende

Energieeffizienz in allen Sektoren verbessern

Emissionsminderung durch 1 TWh erneuerbare Energie

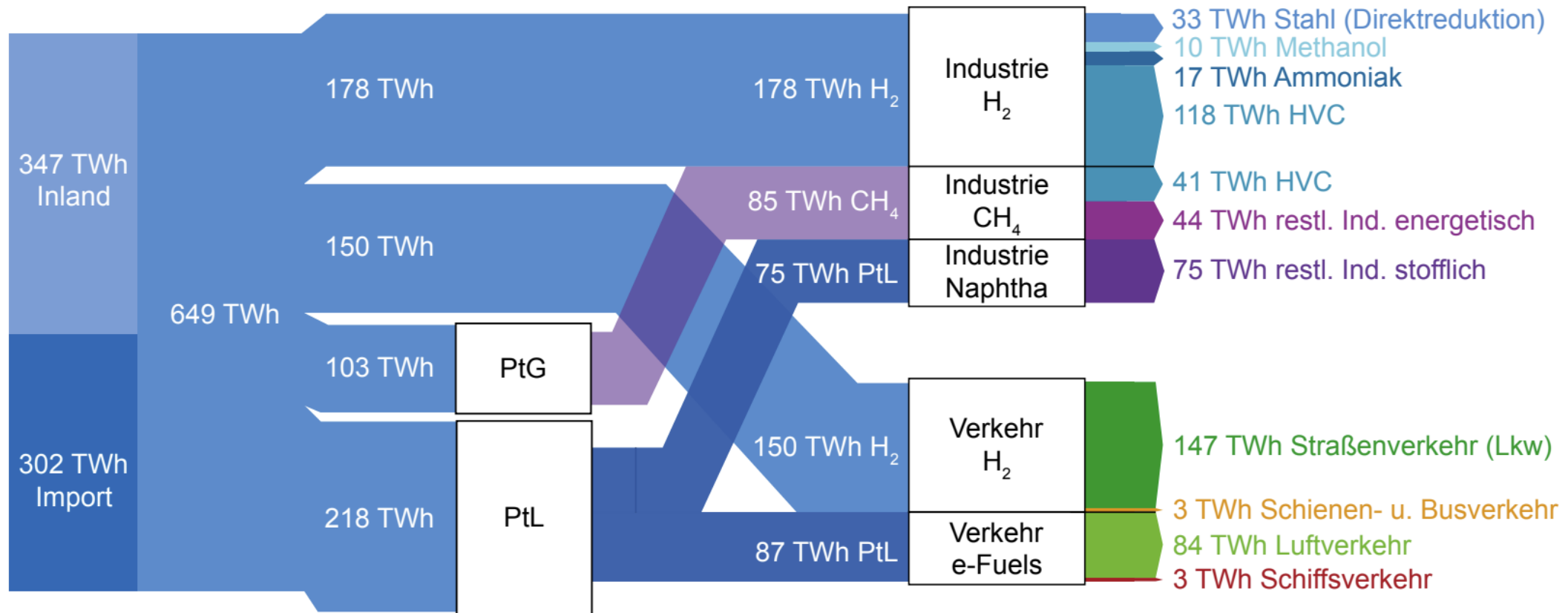


Source: CCC UK, IEA, Liebreich Associates, various

Energiewende

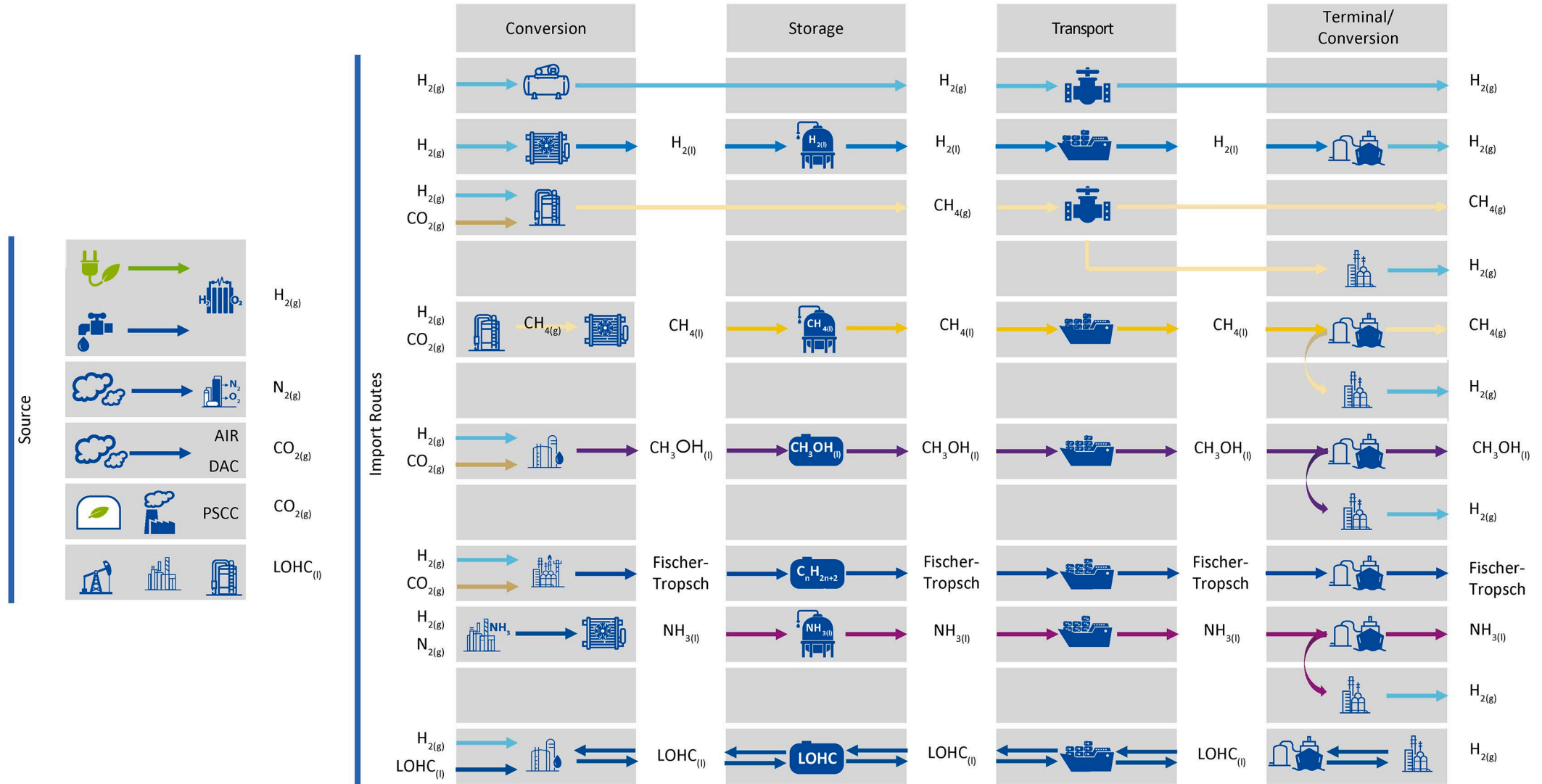
Power-to-X/Biomasse für nicht-elektrifizierbare Bereiche

Wasserstoff ist sehr kostbar: Verwendung nur für unausweichliche Prozesse.



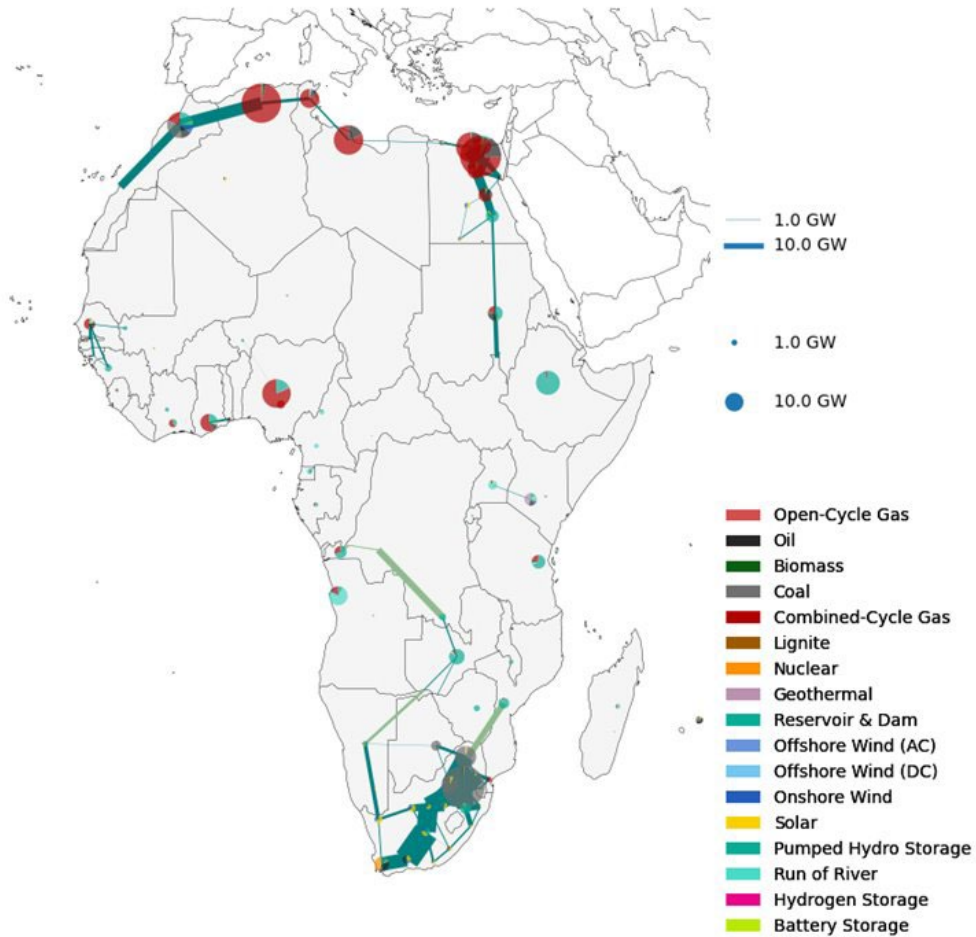
Energiewende

Power-to-X Importoptionen



Quelle: Sterner et al (2024)

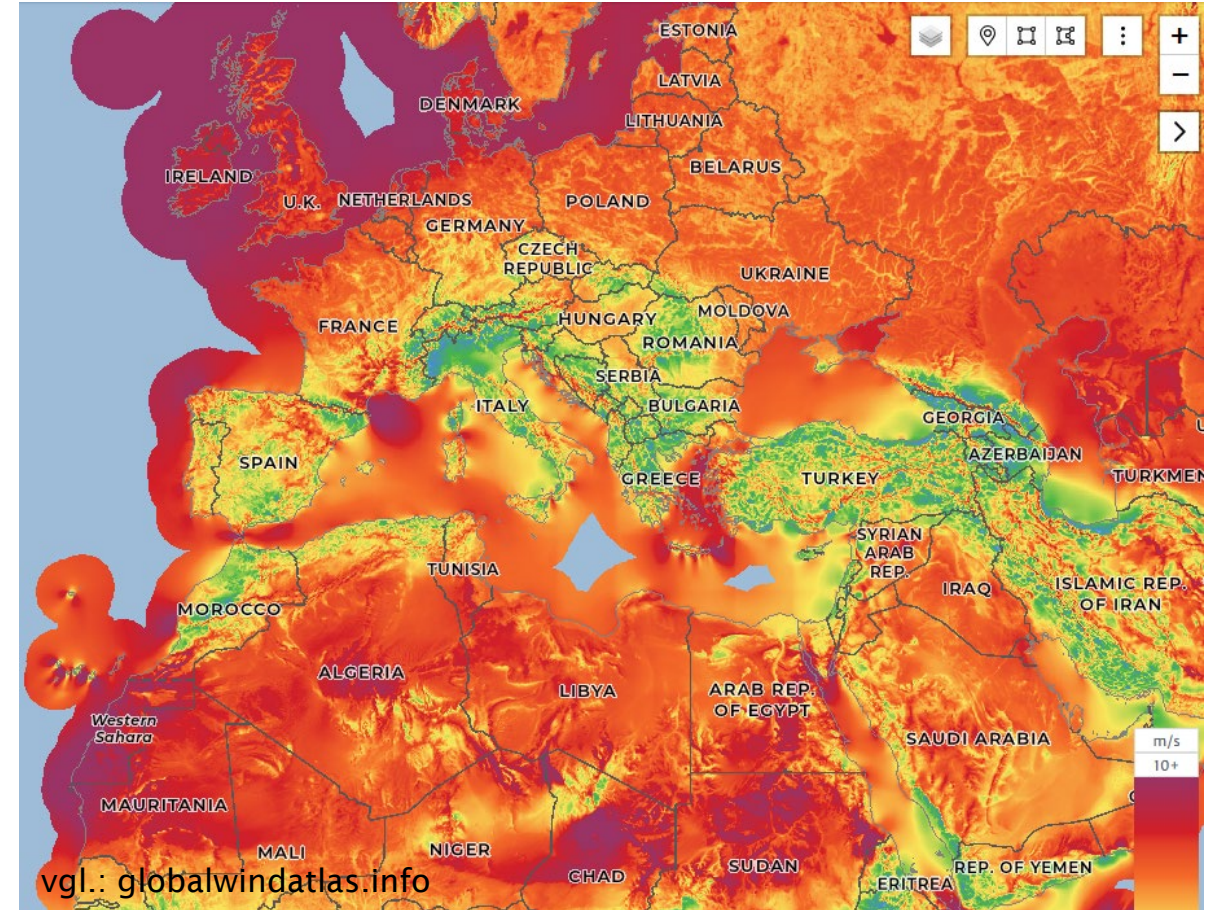
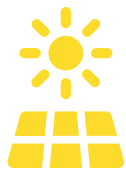
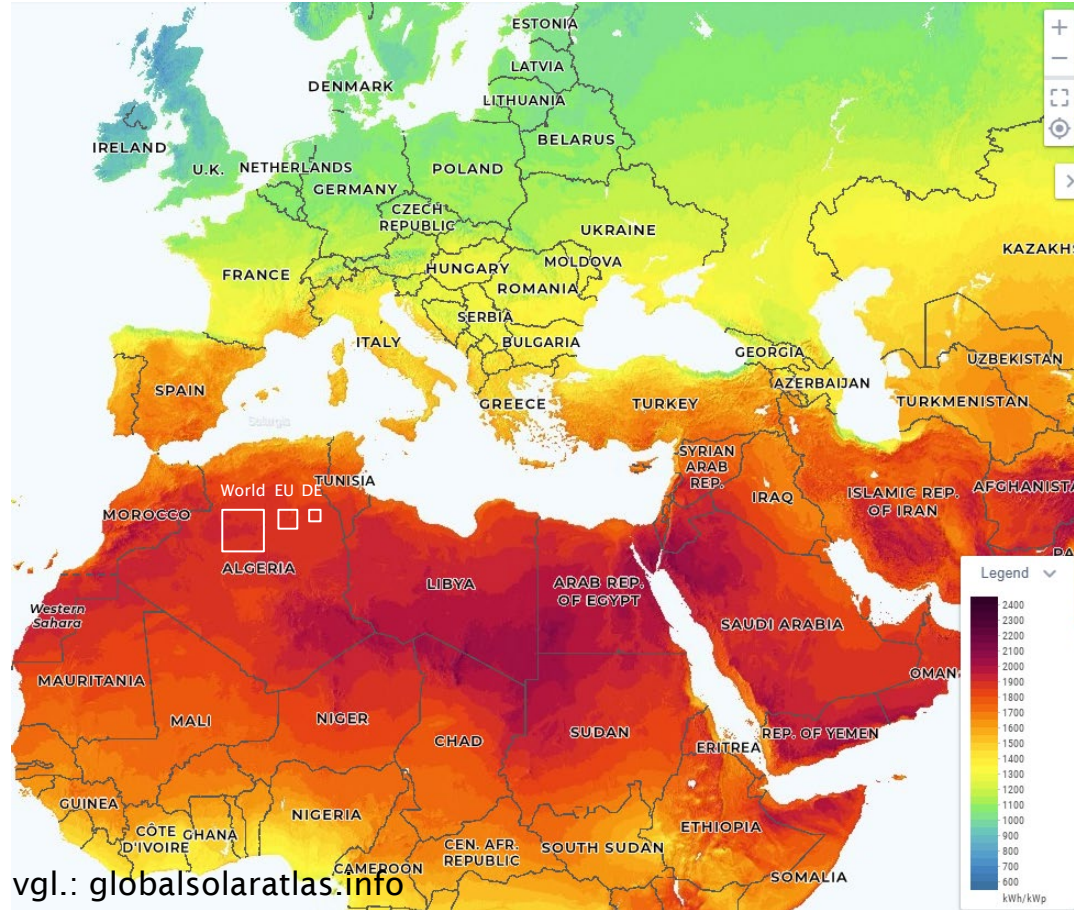
OTH Regensburg | Anton Achhammer | H2Global meets Africa



**PROBLEME, CHANCEN UND
HERAUSFORDERUNGEN FÜR GH2 UND
PTX IN AFRIKA – DAS PROJEKT
H2GLOBAL MEETS AFRICA**

Deutsch-Afrikanische Wasserstoffpartnerschaften

Potentiale



H2Global meets Africa

Key facts

- Period: 01.01.2023 – 30.06.2026
- Budget: 4.2 Millionen €
- Funded by the Federal Ministry of Education and Research

Project partners



Associated partners



Motivation



Energy and climate crisis:

illustrated importance of achieving climate targets and diversifying energy supply

→ for this, a ramp up of the international hydrogen economy is crucial



For this ramp up two factors are elementary:

- Stable international partnerships
- Stable legal and financial framework

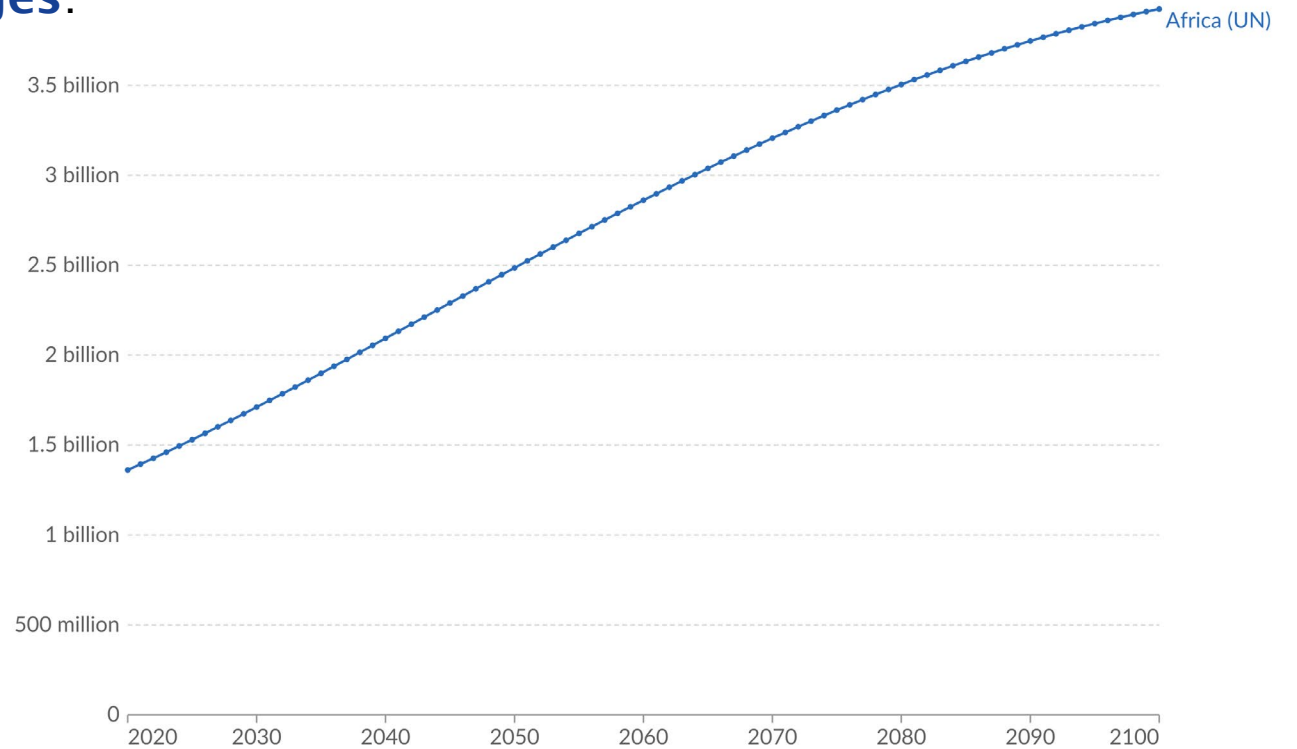
H2Global meets Africa

Motivation

Continent of Africa is facing major challenges:



Population doubles by 2050



Data source: United Nations, World Population Prospects (2022)

[CC BY](#)

H2Global meets Africa

Motivation

Continent of Africa is facing major challenges:



Population doubles by 2050



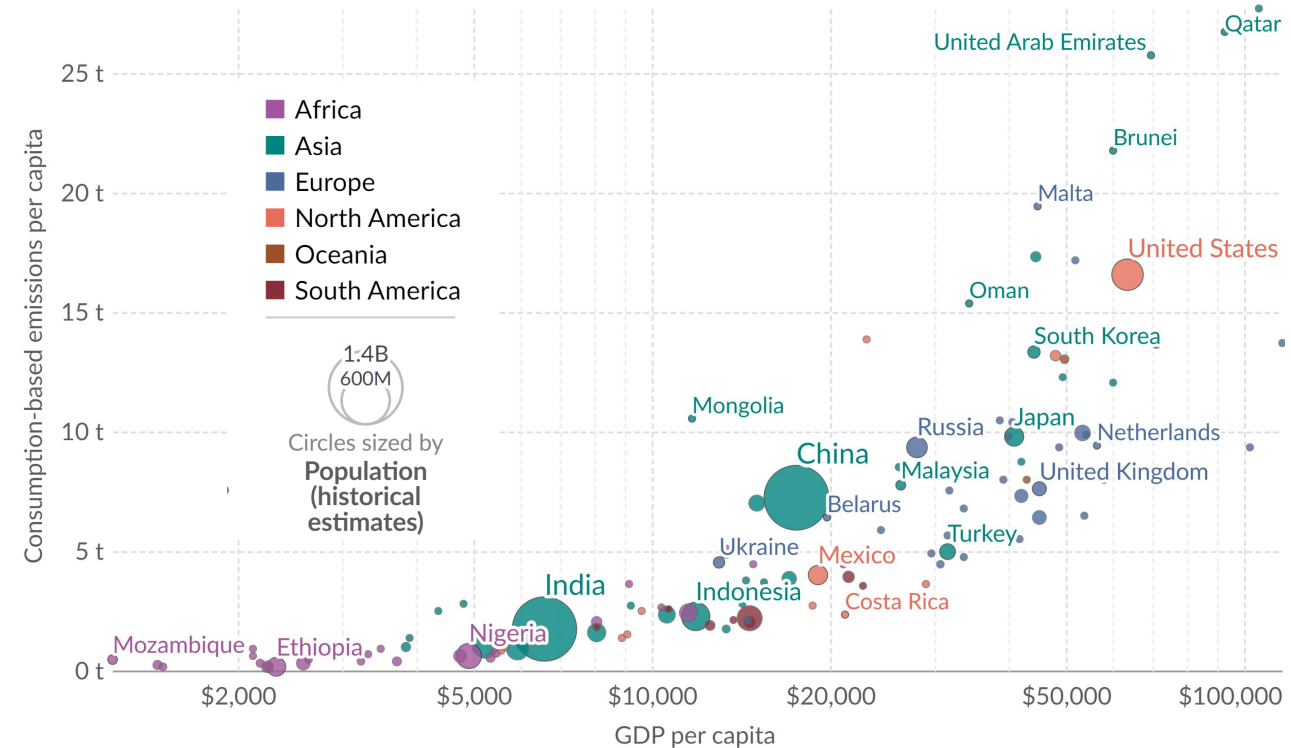
Average GDP of 2000\$ per capita
(global average: 10,500\$)



Average CO₂ per capita of 0.8 t
(advanced economies: 8 t)

The Final Question:

Not if net-zero by 2050 is possible, but how with tenfold economic growth.



Data source: Global Carbon Budget (2023); Population based on various sources (2023); World Bank (2023)
OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

H2Global meets Africa

Methodology

Goals:



Identify possible German-African green hydrogen partnerships



Evaluating specific H₂/PtX value and supply chains with energy system modelling



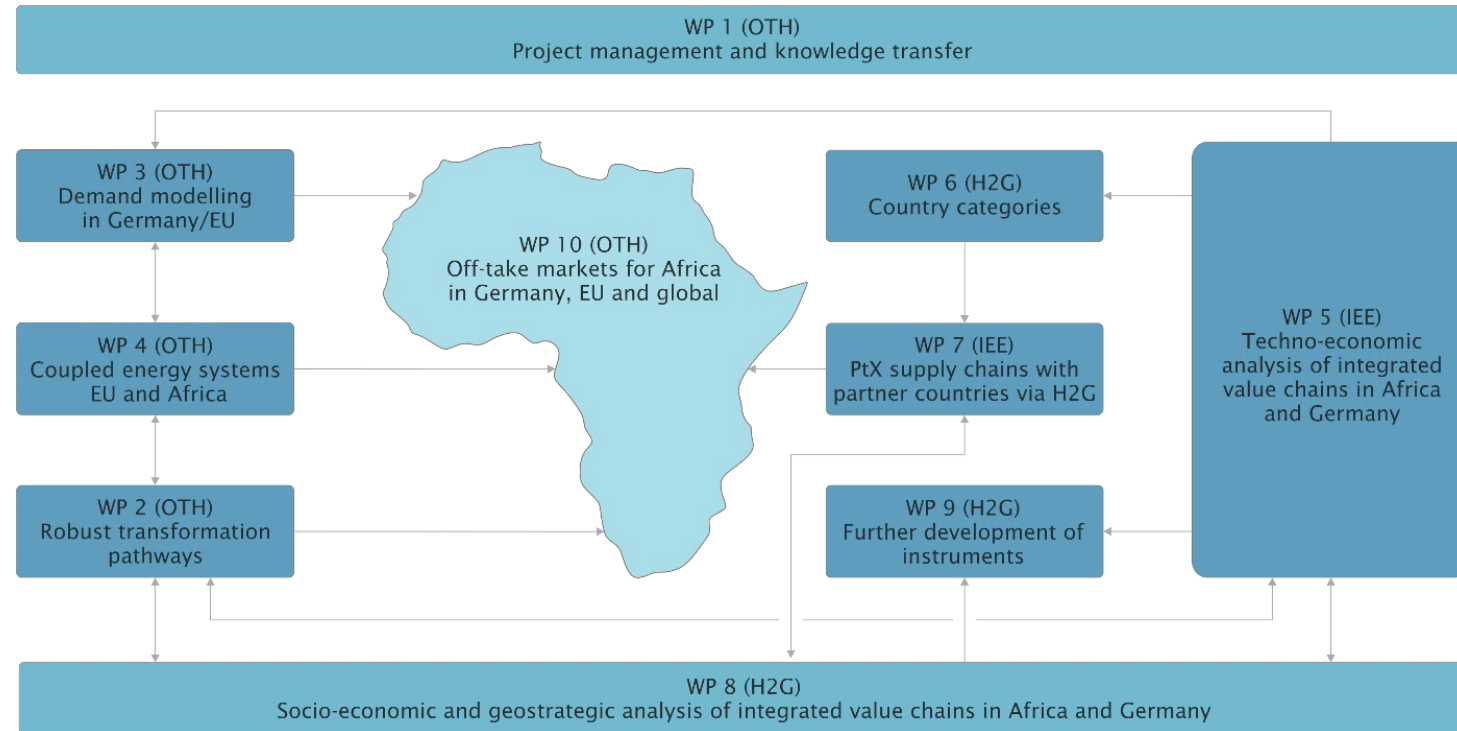
Bidirectional knowledge transfer



Develop measures to promote market ramp up



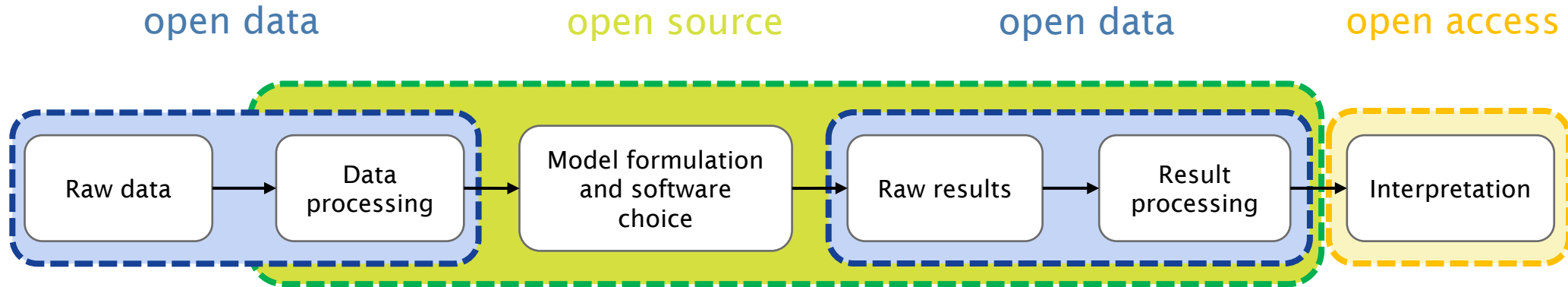
Key project results will be available open source



H2Global meets Africa

Following the Idea of Open Energy Modelling

The whole chain from raw data to modelling results should be open:



open data + free software → transparency + reproducibility

H2Global meets Africa

Energy Transformation Pathways

Main Models:

- PyPSA-Earth
- PyPSA-Earth-Sec
- PyPSA-Eur



PyPSA-Earth. A new global open energy system optimization model demonstrated in Africa

Maximilian Parzen^{a,*}, Hazem Abdel-Khalek^b, Ekaterina Fedotova^c, Matin Mahmood^d, Martha Maria Frysztacki^e, Johannes Hampf^d, Lukas Franken^a, Leon Schumm^{b,e}, Fabian Neumann^g, Davide Poli^f, Aristides Kiprakis^h, Davide Fioriti^{i,*}

^a University of Edinburgh, Institute for Energy Systems, EH9 3JW Edinburgh, United Kingdom
^b Fraunhofer Research Institution for Energy Infrastructures and Grids, CIGES, Germany
^c Kazanvskaya 25 265, 143006, Odintsovo, Moscow region, Russia
^d Aachen University, Center for International Development and Environmental Research, GIGEM, Germany
^e Karlsruhe Institute of Technology, Institute for Automation and Applied Informatics, 76344 Eggenstein-Leopoldsdorfer, Germany
^f University of Pisa, Department of Energy Systems, Territory and Construction Engineering, Largo Leonardo da Vinci, 56122 Pisa, Italy
^g Department of Digital Transformation in Energy Systems, Institute of Energy Technology, Technische Universität Berlin, Fachgebiet 10, Strausdorfer 25 (TA 8), 10587 Berlin, Germany
^h Research Center on Energy Transmission and Storage (FENIS), Faculty of Electrical and Information Technology, University of Applied Sciences (OTH) Regensburg, Goltzstrasse 2, 93053 Regensburg, Germany

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Dataset link: <https://github.com/pypsa-meets-earth-paer>

Keywords:
Macro-energy systems
Optimization
OpenStreetMap
Copernicus
openmod

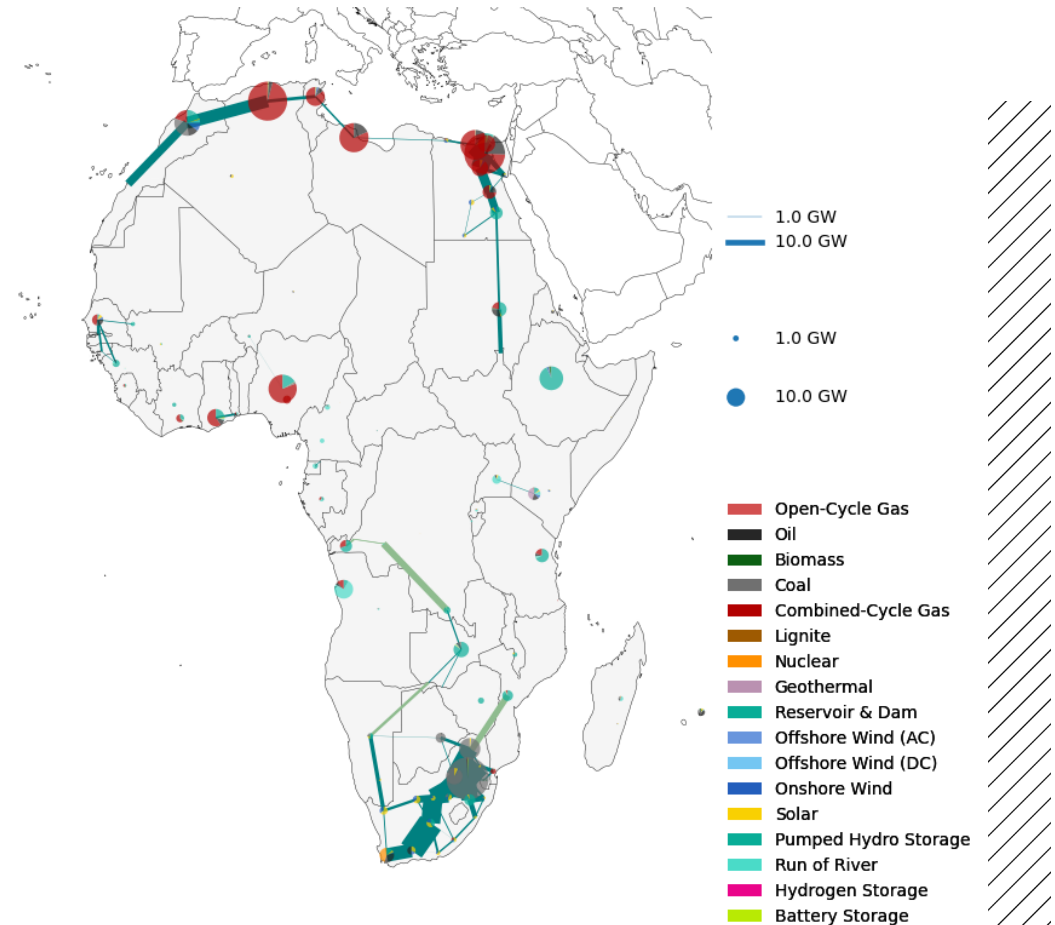
ABSTRACT

Macro-energy system modelling is used by decision-makers to steer the global energy transition towards an affordable, sustainable and reliable future. Closed-source models are the current standard for most policy and industry decisions. However, open models have proven to be competitive alternatives that promote science, robust technical analysis, collaboration and transparent policy decision-making. Yet, two issues slow the adoption: open models are often designed with particular geographic scope in mind, thus hindering synergies from collaborating, or are based on low spatially resolved data, limiting their use. Here we introduce PyPSA-Earth, an open-source global energy system model with data in high spatial and temporal resolution. It enables large-scale collaboration by providing a tool that can model the world's energy system or any subset of it. The model is suitable for operational as well as combined generation, storage and transmission expansion studies. In this study, the novel power system capabilities of PyPSA-Earth are highlighted and demonstrated. The model provides two main features: (1) customizable data extraction and preparation with global coverage and (2) a PyPSA-Earth modelling framework integration. The data includes electricity demand, generation

Check out
PyPSA-Earth here:



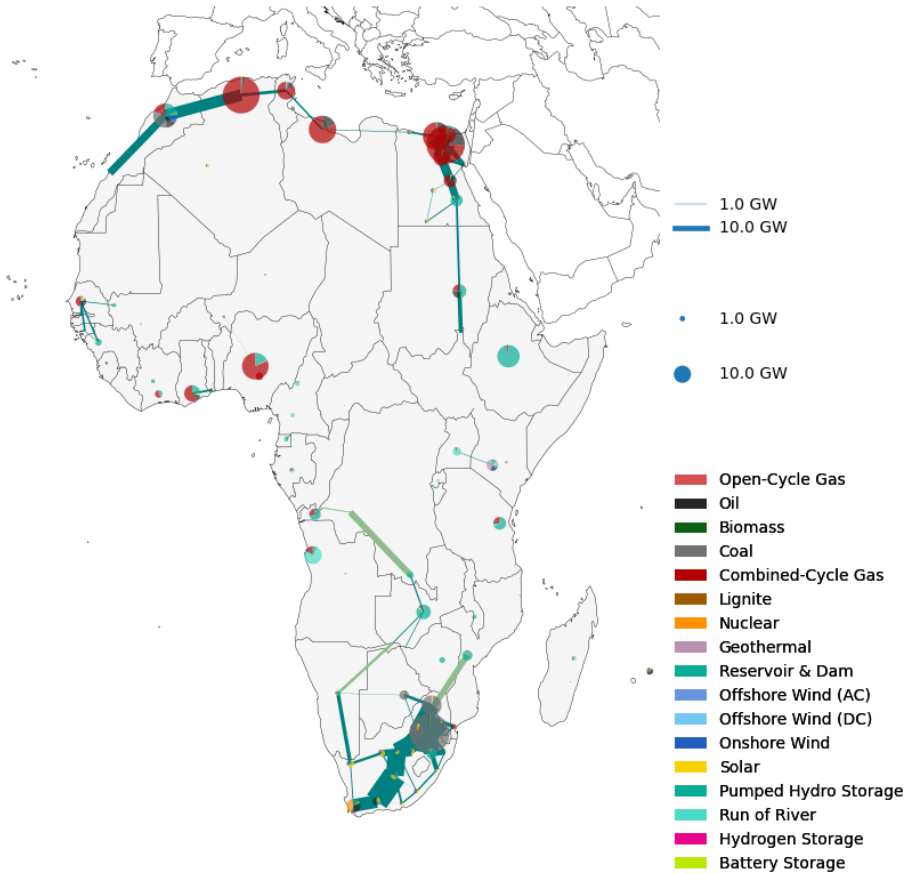
Check out
PyPSA-Earth-Sec here:



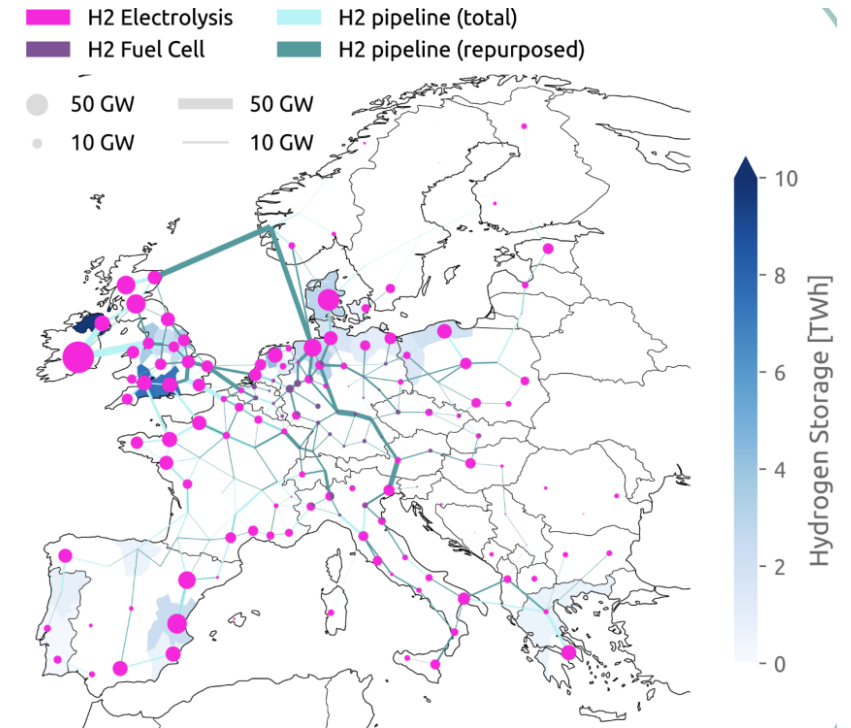
Quelle: Erstellt mit PyPSA-Earth und https://github.com/pypsa-meets-earth/documentation/blob/main/notebooks/viz/regional_transm_system_viz.ipynb

H2Global meets Africa

Model coupling Africa/Europe



Direct model coupling
↔
Common optimization of
selected countries



Quelle: Neumann, Fabian; Zeyen, Elisabeth; Victoria, Marta; Brown, Tom (2022): Benefits of a Hydrogen Network in Europe

Quelle: Erstellt mit PyPSA-Earth und https://github.com/pypsa-meets-earth/documentation/blob/main/notebooks/viz/regional_transm_system_viz.ipynb

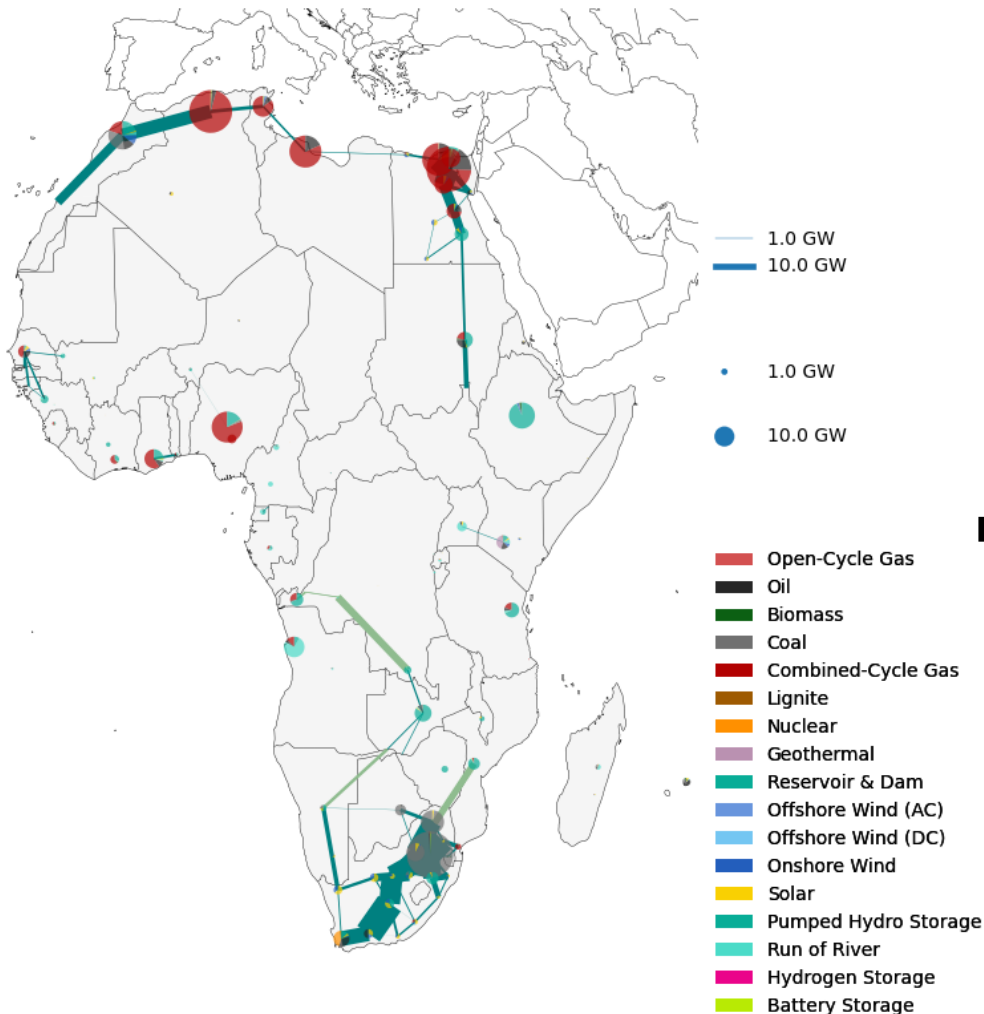
H2Global meets Africa

Results

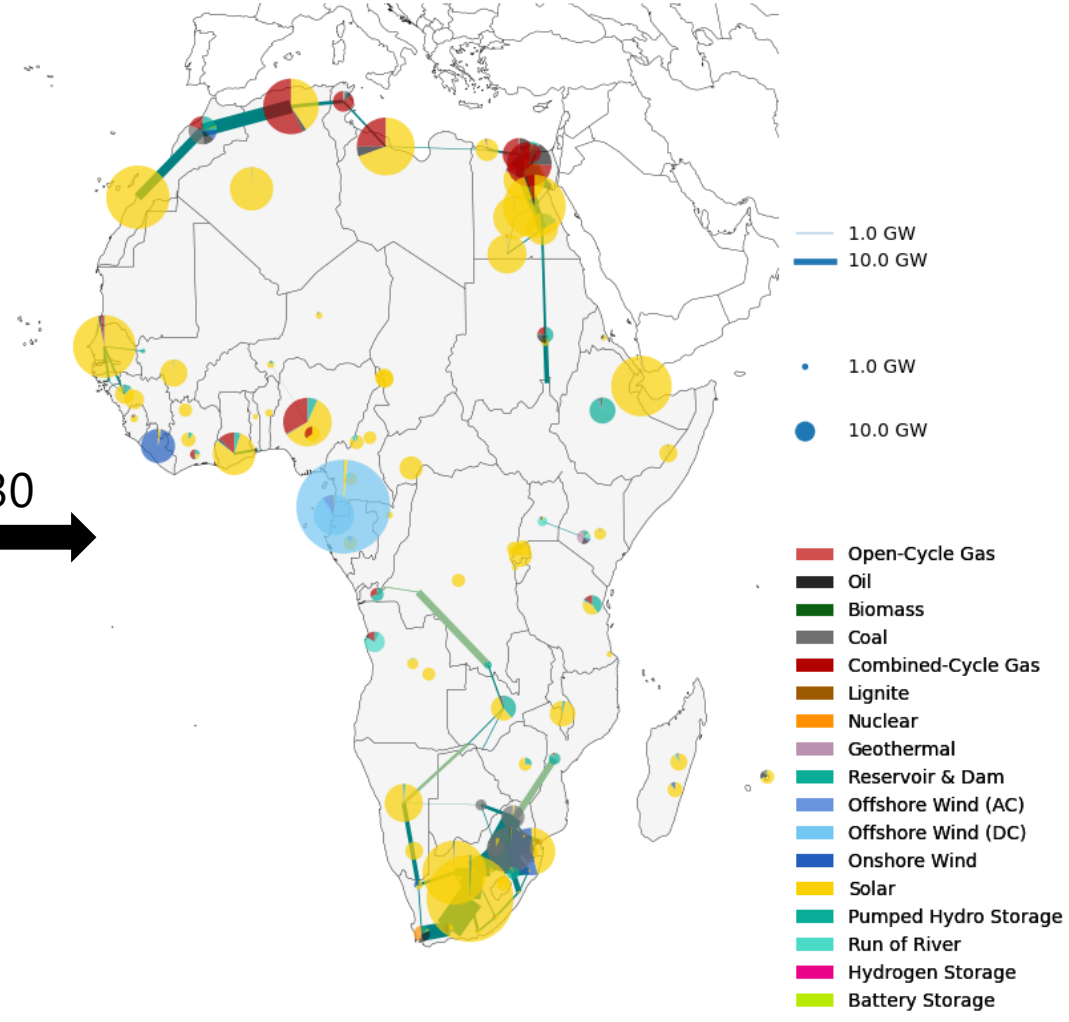
GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



2030

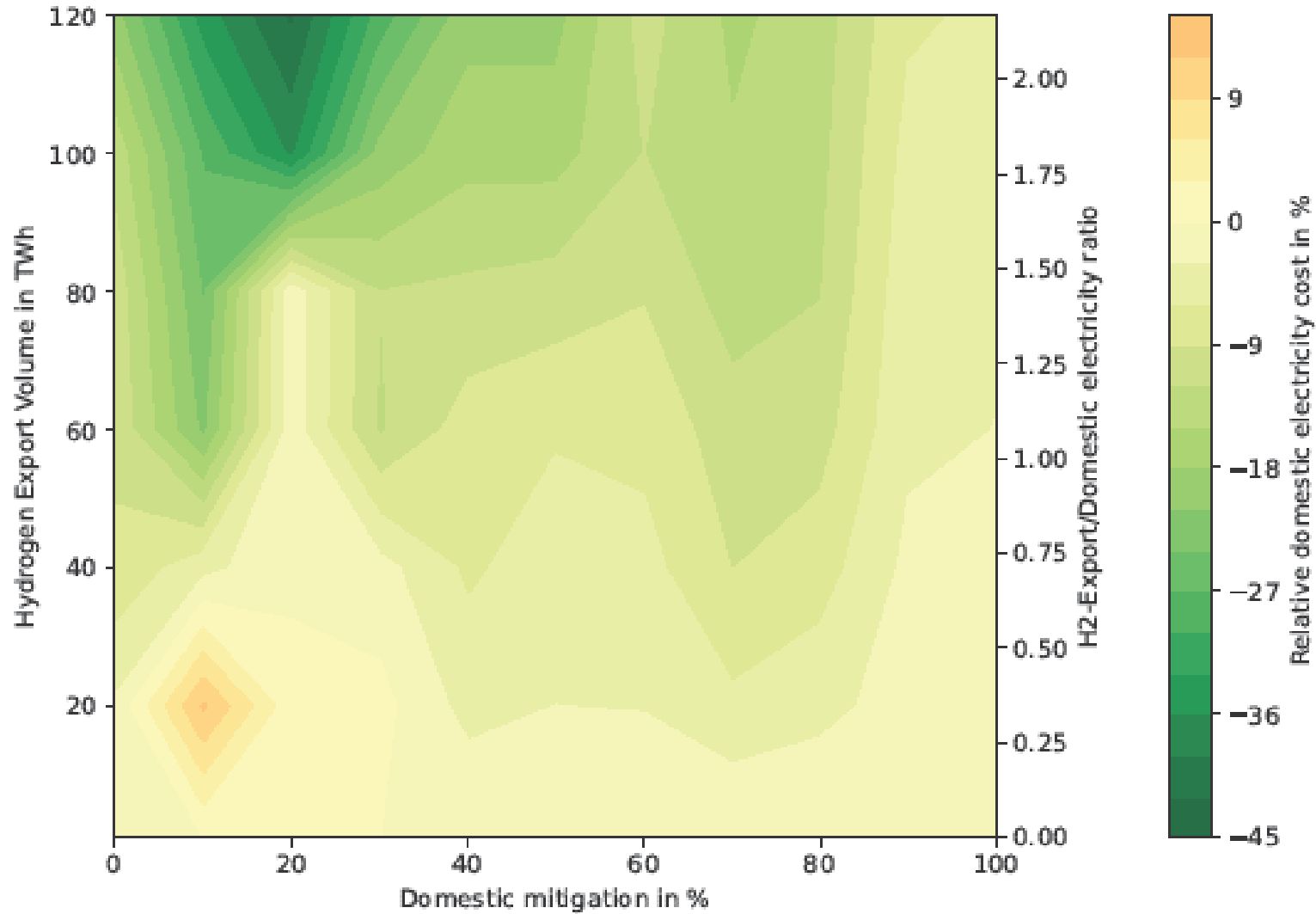


Check out
PyPSA-Earth here:



H2Global meets Africa

Results



Quelle: Schumm et al 2024

OTH Regensburg | Anton Achhammer | H2Global meets Africa

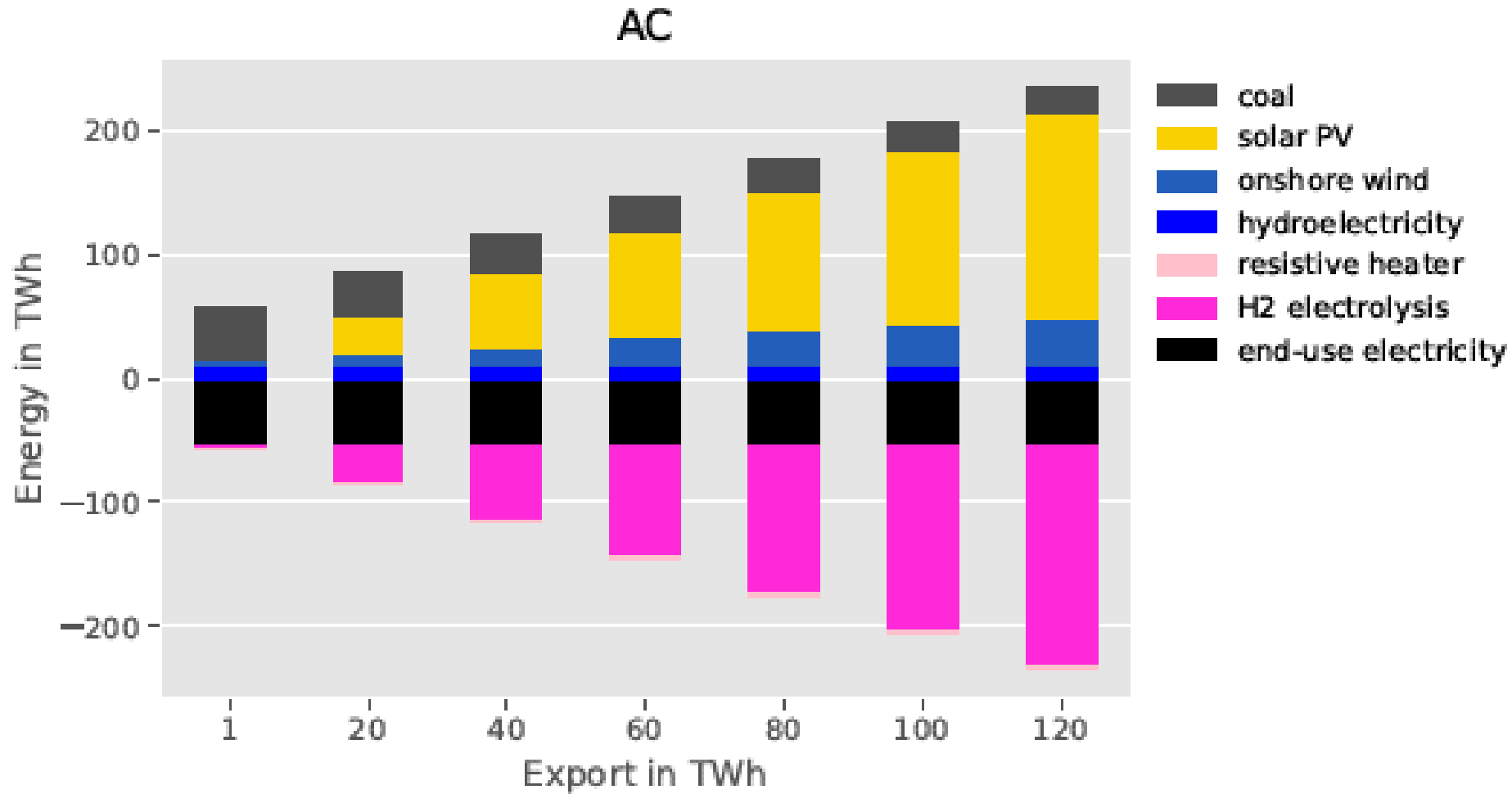
H2Global meets Africa

Results

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



H2 / PtX in Africa

Was passiert bereits in Namibia – Projektbesuch Hyphen

- Geplant 70 km entfernt von Lüderitz im Sperrgebiet – noch nicht in der Umsetzung, bisher nur Windmessungen – FID noch nicht erreicht
- Investitionsvolumen 10 Mrd USD → Namibias BIP: 12,5 Mrd USD
- Vollständig fertiggestellt: Export von 350.000t grünem Wasserstoff jährlich
- 15.000 Jobs während der Bauphase
- 3000 dauerhafte Jobs (90% davon lokal)



H2 / PtX in Africa

Was passiert bereits in Namibia – Projektbesuch Hyphen



H2 / PtX in Africa

Was passiert bereits in Namibia – Projektbesuch Cleanergy

- Pilotprojekt in Walvis Bay mit 5 MW Elektrolyse, betrieben durch PV Strom
- Wasserstofftankstelle am Projekt
- Erste LKWs und Traktoren bereits auf dual green H2-Diesel umgestellt
- H2-Academy am Projektstandort, um Personen auszubilden im Wasserstoffumfeld
- Zukünftig: Weiterer Standort (kein Pilotprojekt) mit Ammoniaksynthese, um Schiffe zu betreiben
- CMB.Tech ist außerdem auch noch im HyRail Projekt in Namibia dabei



H2 / PtX in Africa

Was passiert bereits in Namibia – Projektbesuch Cleanergy



H2 / PtX in Africa

Was passiert bereits in Namibia – Projektbesuch Daures Village

- Pilotprojekt / Dorf, welches zu 100% aus erneuerbaren betrieben wird und ein perfektes Beispiel für den Food – Water – Energy Nexus
- Pilotphase: 1 MW PV + Batteriespeicher, 0.25 MW Elektrolyse
- Wasserbereitstellung mit Reversosmose
- 18t H₂ + 100 t NH₃
- Grüne Düngerproduktion (Ammoniumsulfat)
- Tomaten, Paprika und Gurkenanbau in Gewächshäusern
- Nächste Phase: 2,5 GW Elektrolyse



H2 / PtX in Africa

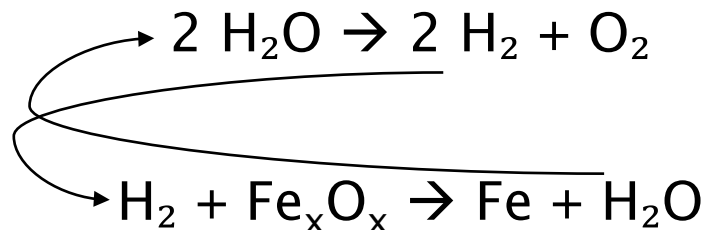
Was passiert bereits in Namibia – Projektbesuch Daures Village



H2 / PtX in Africa

Was passiert bereits in Namibia – Projektbesuch HyIron

- Pilotprojekt für die Produktion von grünem Eisenschwamm nahe Arandis
- Pilotphase: 25 MW PV, Batteriespeicher, Elektrolyse, DRI Produktion von 15.000t pro Jahr
- Nächste Phase: 1 Mt pro Jahr
- Besonderheit – Wasserkreislauf:



H2 / PtX in Africa

Was passiert bereits in Namibia – Projektbesuch Hylron



H2Global meets Africa

Contact

Anton Achhammer
anton.achhammer@oth-regensburg.de
Speaking: anton@achhammer.me
Slides: achhammer.me



CONTACT

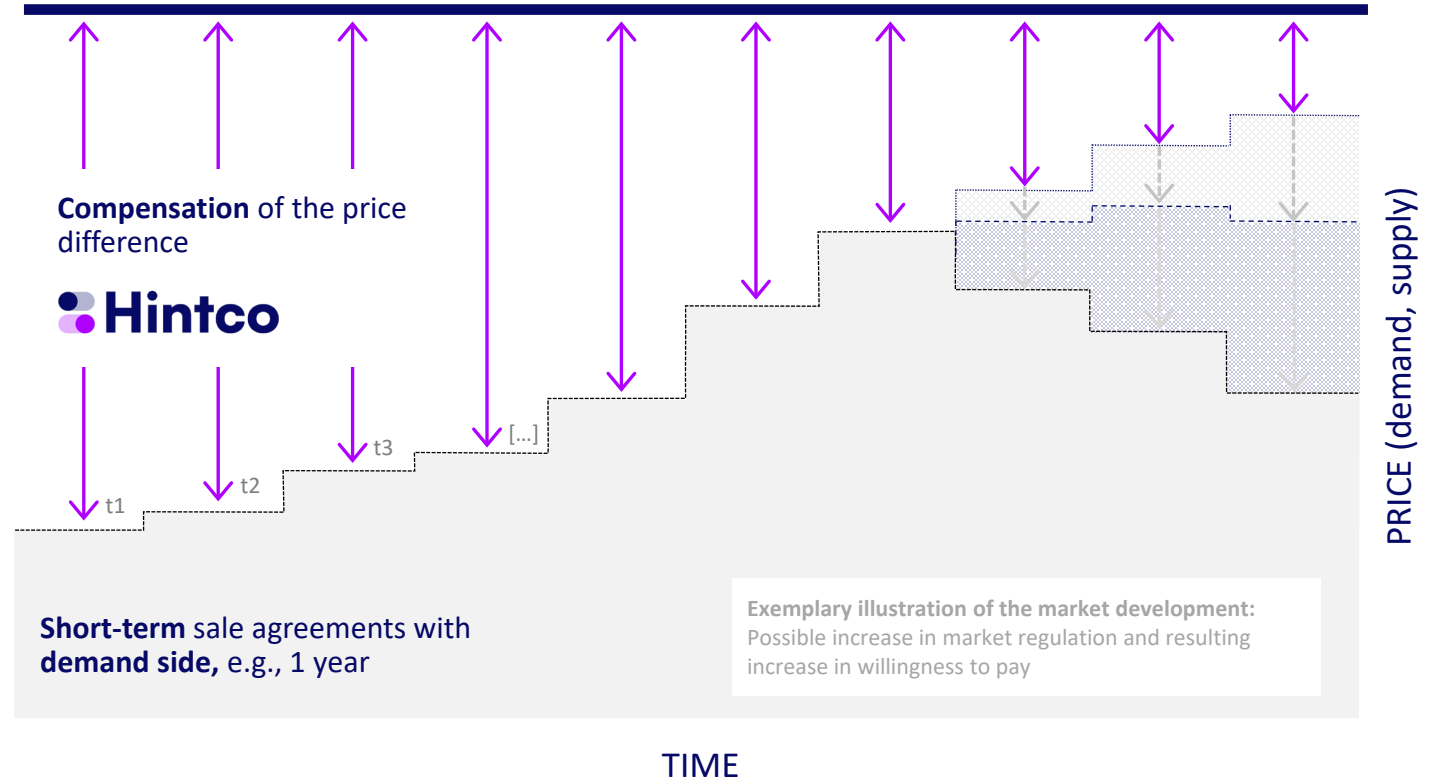


Core value of H2Globals auction design:

H2Global auctions **uncover supplier and offtake pricing dynamics.**

To create **liquidity** and support market development, **short-term** and **broad-based price signals** are **decisive.**

Long-term purchase agreement with **supply side**, multi-year fixed price and terms



Grundlagen Energiesysteme

Barnola, J.-M.; Raynaud, D.; Lorius, C.; Barkov, N. (2003): *Historical CO₂ record from the Vostok ice core.* In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

NOAA (2019): *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide.* Boulder. Online verfügbar unter <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>, zuletzt geprüft am 19.06.2019.

Petit, J. R., Raynaud, D; Lorius, C.; Jouzel, J.; Delaygue, G.; Barkov, N.I.; Kotlyakov, V.M. (2000): *Historical isotopic temperature record from the Vostok ice core.* In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A

IPCC (2013/2014): *Klimaänderung 2013/2014: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. Beiträge der drei Arbeitsgruppen zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC).* Deutsche Übersetzungen durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim, Bonn/Wien/Bern, 2016.

IPCC (2018a): *The Climate System: an Overview.* [A.P.M. Baede, E. Ahlonsou, Y. Ding, D. Schimel, B. Bolin, S. Polloniais]. 2 pp. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/TAR-01.pdf>, zuletzt geprüft am 15.04.2024.

Olivier, J.; Peters, J. (2018): *Trends in global CO₂ and total greenhouse gas emissions: 2018 Report.* PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.

Strogies, M.; Gniffke, P.; Günther, D.; Schiller, S.; Kludt, R.; Rimkus, D. et al. (2017): *Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2017. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2015.* Hg. v. UBA. Dessau-Roßlau.

Crawford (2004): Svante Arrhenius, Swedish chemist. Online verfügbar unter <https://www.britannica.com/science/electrochemistry>, zuletzt geprüft am 20.10.2024.

Hone (2020): From the Industrial Revolution to Climate Change: What Happened and Why?. Online verfügbar unter <https://2041foundation.org/climate-change-what-happened-and-why/>, zuletzt geprüft am 20.10.2024.

Sterner (2023): So retten wir das Klima – Energiewende einfach erklärt!. Online verfügbar unter https://michael-sterner.de/downloads/2023_Sterner_Klima_Retten_Energiewende_einfach_erklaert.pdf, zuletzt geprüft am 20.10.2024.

World Data Lab (2022): World Emissions Clock 2022. Online verfügbar unter <https://worldemissions.io/>, zuletzt geprüft am 20.10.2024.

IPCC (2023): IPCC AR6 Synthesis Report. Climate Change 2023. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>, zuletzt geprüft am 20.10.2024.

Perspective Media (2023): Current climate policy to ‘leave two billion exposed to dangerous heat by 2100’. Online verfügbar unter <https://www.perspectivemedia.com/current-climate-policy-to-leave-two-billion-exposed-to-dangerous-heat-by-2100/>, zuletzt geprüft am 20.10.2024.

NASA (2023): Video: Summer 2023 Record High Global Temperature. Online verfügbar unter <https://science.nasa.gov/resource/video-summer-2023-record-high-global-temperatures/>, zuletzt geprüft am 20.10.2024.

Sterner, M., & Specht, M. (2021): Power-to-gas and power-to-X—The history and results of developing a new storage concept. *Energies*, 14(20), 6594.

Grundlagen Energiesysteme

Umweltbundesamt (2024b): *Treibhausgas-Emissionen in Deutschland*. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung>, zuletzt geprüft am 15.04.2024.

Gaub, F. (2019): *Global trends to 2030. Challenges and choices for Europe*. European Strategy and Policy Analysis System.

IPCC (2018b): *Summary for Policymakers*. In: *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.

Warren, R.; Price, J.; VanDerWal, J.; Cornelius, S.; Sohl, H. (2018): *Wildlife in a Warming World. The effects of climate change on biodiversity in WWF's Priority Places*. WWF. o. O.

Staudt, A.; Shott, C.; Inkley, D.; Ricker, I. (2013): *Wildlife in a Warming World. Confirming the Climate Crisis*. Hg. v. National Wildlife Federation. Virginia.

Sterner, M.; Stadler, I. (2017): *Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration*. 2. korrigierte und ergänzte Auflage. Berlin: Springer Vieweg.

WBGU (2014): *Klimaschutz als Weltbürgerbewegung. Sondergutachten*. Berlin

Grundlagen Energiesysteme

Umweltbundesamt (2024a): *Primärenergieverbrauch*. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaerenergieverbrauch#definition-und-einflussfaktoren>, zuletzt geprüft am 20.10.2024.

Meisinger (2023): Auf dem Weg zu einer deutsch-französischen Energiewende: Ein kostenbasiertes sektorgekoppeltes Optimierungsmodell unter Berücksichtigung des Europäischen Green Deals. Masterarbeit, OTH Regensburg.

Liebreich (2023): Emission reduction using 1TWh of renewable energy. Online verfügbar unter <https://x.com/MLiebreich/status/1709834500270670045/photo/1>, zuletzt geprüft am 20.10.2024.

Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (2023): Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren 2022. Online verfügbar unter <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/treibhausgasemissionen-in-deutschland-nach-sektoren-2022>, zuletzt geprüft am 03.05.2024.

PtX Hub (2022): PtX.Sustainability. Dimensions and Concerns. Online verfügbar unter <https://ptx-hub.org/wp-content/uploads/2022/05/PtX-Hub-PtX.Sustainability-Dimensions-and-Concerns-Scoping-Paper.pdf>, zuletzt geprüft am 03.05.2024.

Ausfelder, F., & Du Tran, D. (Eds.) (2022): 4. Roadmap des Korpernikus-Projektes P2X Phase II: Optionen für ein nachhaltiges Energiesystem mit Power-to-X-Technologien: Transformation-Anwendungen-Potenziale. DECHEMA-Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie eV.

Liebreich (2021): Einsatzbereiche sauberen Wasserstoffs. Online verfügbar unter https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Einsatzbereiche_sauberen_Wasserstoff.png, zuletzt geprüft am 21.10.2024.