



Jubiläumsfachtagung - 80 Jahre Ramseyer

## **Wasserstoff als Energieträger - Eine (oder DIE) Chance?**

Dr. David Wenger

27.08.2024

- public -

## Strompreise in (fast) ganz Europa negativ – 25.08.2024



- Erneuerbare Energien führen zu Produktionsspitzen und Angebotsdefizit („Dunkelflaute“)
- Frage: Was können wir tun?

# Antwort: Wasserstoff produzieren...oder?



- Studien und die Medien befinden sich gerade in einer selbst erfüllenden Prophezeiung (?)
- Der Hydrogen Council spricht von 1,418 Projekten im Wert von 570 Milliarden USD...

## Wer ist David Wenger?

- Aufgewachsen in Reinach/BL
- dipl. Ing. ETH, Dr.-Ing. (TU München)
- Wasserstoff seit 2004 (Daimler)
- Wenger Engineering GmbH, Ulm, seit 2007
- Wasserstoff-Infrastruktur seit 2008
- Fahrer von Mercedes-Benz F-Cell, Toyota Mirai II, Hyundai Nexo, Tesla Model S, Tesla Model Y.
- Wärmepumpen- und PV-Anlagenbesitzer seit 2019
- Mission Hydrogen GmbH seit 2020 (Wasserstoff-Marketing)
- Wenger Hydrogen GmbH seit 2021 (Wasserstoff EPC)
- Mehr als 500 Wasserstoffprojekte weltweit
  - Wasserstofftankstellen seit 2008
  - Power to Gas-Anlagen seit 2014
  - Trailer-Abfüllstationen
  - Brennstoffzellenfahrzeuge und -flugzeuge
  - Wasserstoffspeicherung (CH<sub>2</sub>, LH<sub>2</sub>, LOHC, MeH, ...)
  - Elektrolyse, Brennstoffzellensysteme, Komponenten
  - Wasserstoffsicherheit
  - Normungsarbeit (insbesondere SAE, CSA, ISO, etc.) seit 2008
  - Wasserstoff-Strategie-Workshops mit C-Level
  - Etc.
- Mehr als 300 Projekte in anderen Technologien (Batterien, Windkraft, Photovoltaik, Leistungselektronik, Energieeffizienz, Luft- und Raumfahrt, Kraftwerke, Raffinerien, Medizin usw.)



➤ Wenger Engineering entwickelt mit rund 45 “Hydrogen Navy SEALs” die notwendige Technologie für die Wasserstoffindustrie auf sechs Kontinenten.

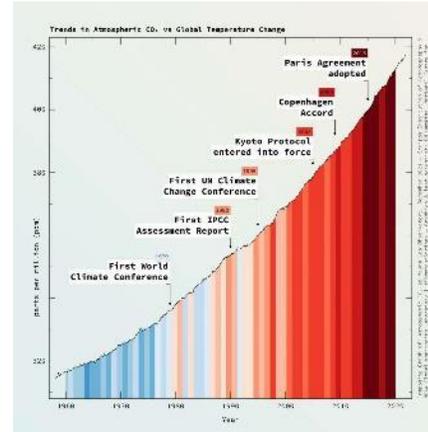
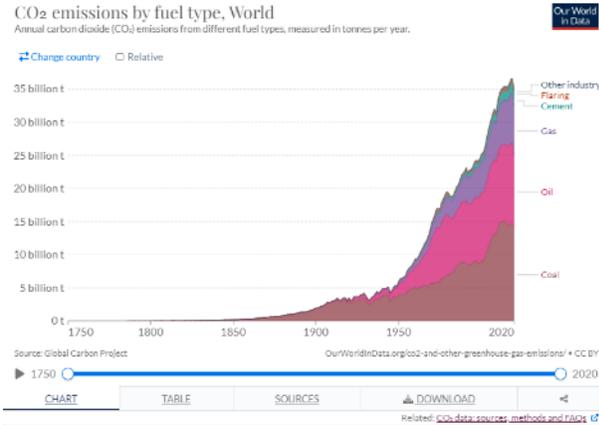
# Mission Hydrogen (Schwesterfirma von Wenger Engineering)



- Mission Hydrogen organisiert wöchentliche Wasserstoffwebinare mit ca. 1'500 Teilnehmern aus ~100 Ländern pro Woche
- Mission Hydrogen organisiert die zwei weltgrössten Wasserstoffkonferenzen (online)
- Produkte:
  - Wasserstoffwissen für Ihre Mitarbeiter (Webinar Library, € 97 pro Monat)
  - Reichweite, Content Marketing und Branding für Ihre Firma

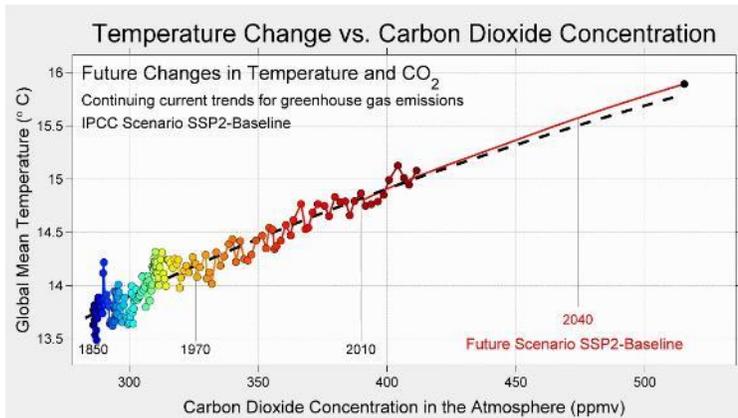
➤ Anmeldung: [www.mission-hydrogen.com](http://www.mission-hydrogen.com) (kostenlos)

# CO2-Emissionen als Ursache des Klimawandels



- Weltweite CO<sub>2</sub>-Emissionen: ca. 50 Milliarden Tonnen
- Emissionen Schweiz:
  - ~13,7 t/Person/Jahr (konsumbasiert)
  - ~ 4,1 t/Person/Jahr (Inland)

Quelle: OurWorldInData



*On the Influence of Carbonic Acid  
in the Air upon the Temperature of  
the Ground*

Svante Arrhenius

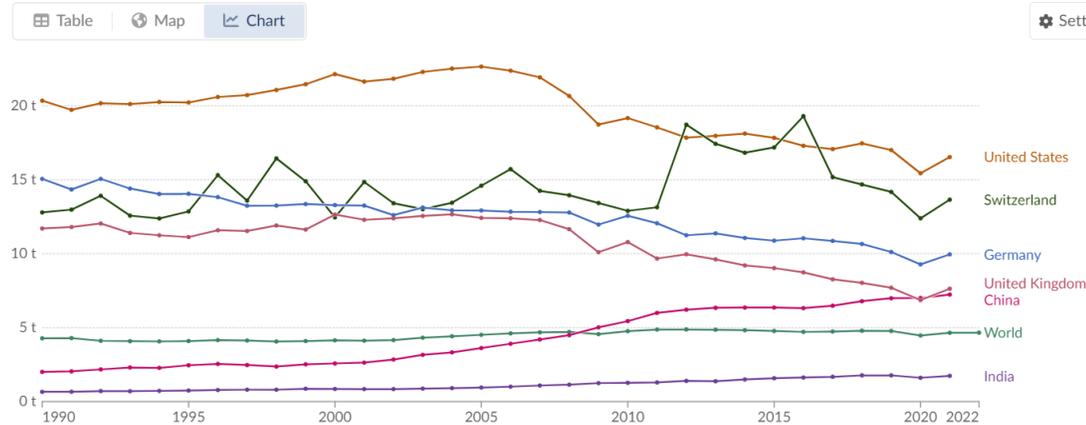
Philosophical Magazine and Journal of Science  
Series 5, Volume 41, April 1896, pages 237-276.

➤ Es gibt einen direkten und theoretisch herleitbaren Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre und dem Treibhauseffekt, der zum Klimawandel führt.

# Die konsumbasierten CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf sind entscheidend

## Per capita consumption-based CO<sub>2</sub> emissions

Consumption-based emissions are national emissions that have been adjusted for trade. It's production-based emissions minus emissions embedded in exports, plus emissions embedded in imports.



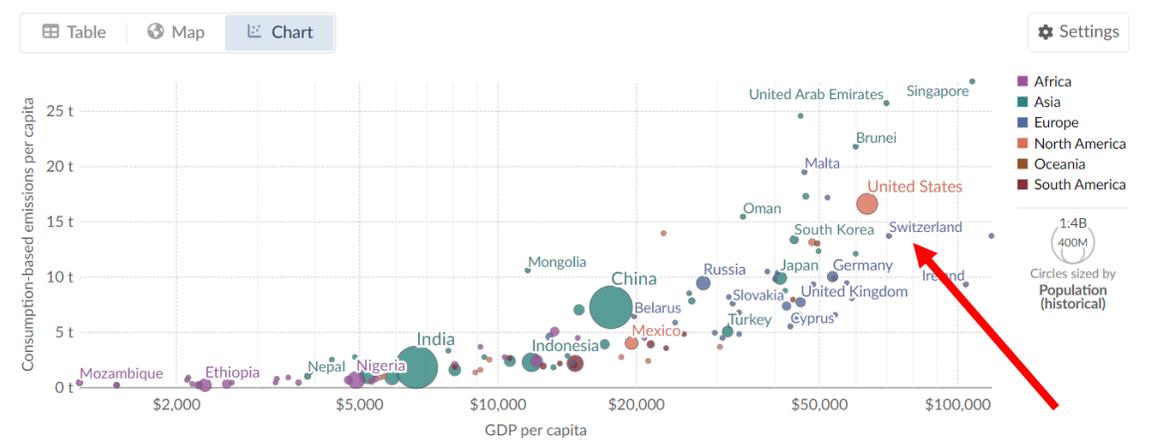
Our World in Data

Settings

## Consumption-based CO<sub>2</sub> emissions per capita vs. GDP per capita, 2021

Consumption-based emissions are measured in tonnes per person. They are territorial emissions minus emissions embedded in exports, plus emissions embedded in imports. GDP per capita is adjusted for price differences between countries (PPP) and over time (inflation).

Our World in Data



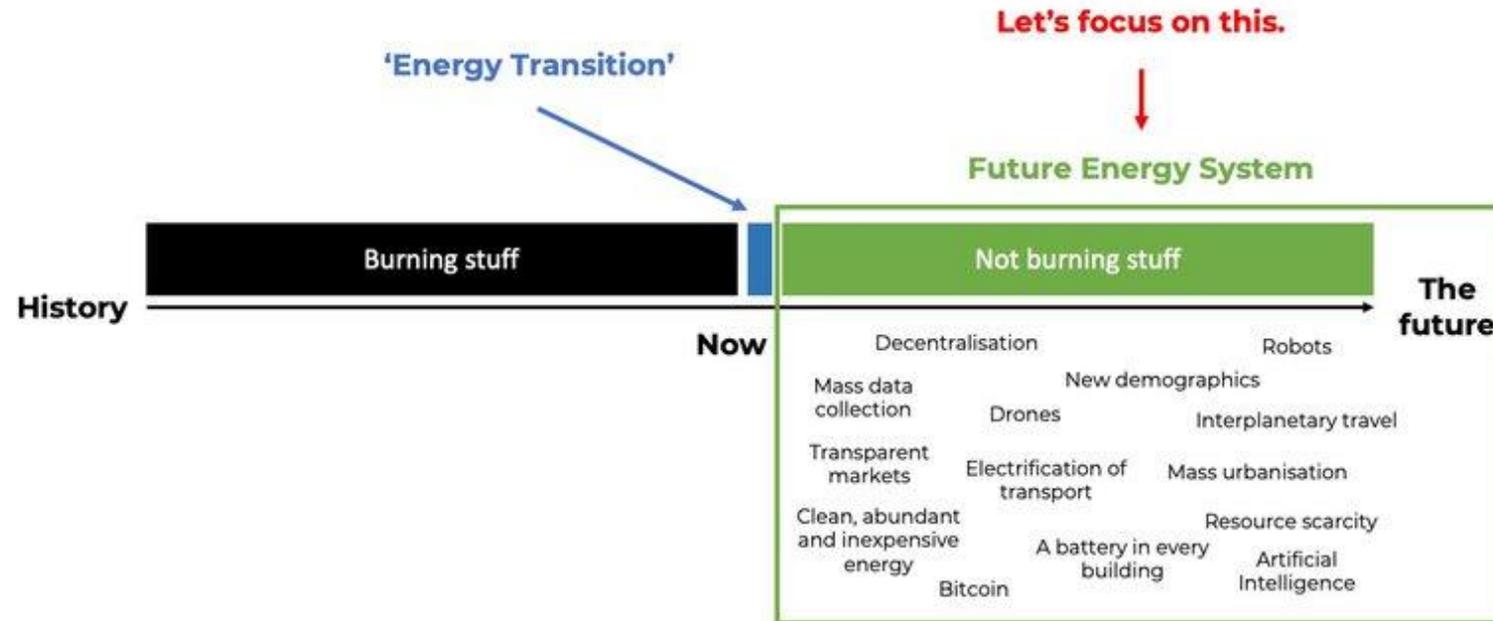
Settings

Settings

- Faustregel: „Je höher der Wohlstand, desto höher der CO<sub>2</sub>-Ausstoss.“
- Es ist aber auch möglich, diese Werte zu entkoppeln (→ Mehr dazu: [Our World in Data](#))

# Die Energiewende in Kurzfassung

## The energy transition is not the point



- Die Energiewende ist der Übergang von „Burning Stuff“ zu „Not Burning Stuff“
- Wenn wir uns an langfristigen Szenarien orientieren würden, hätten wir andere Ergebnisse

## Es gibt viele Skeptiker und Gegner der Energiewende

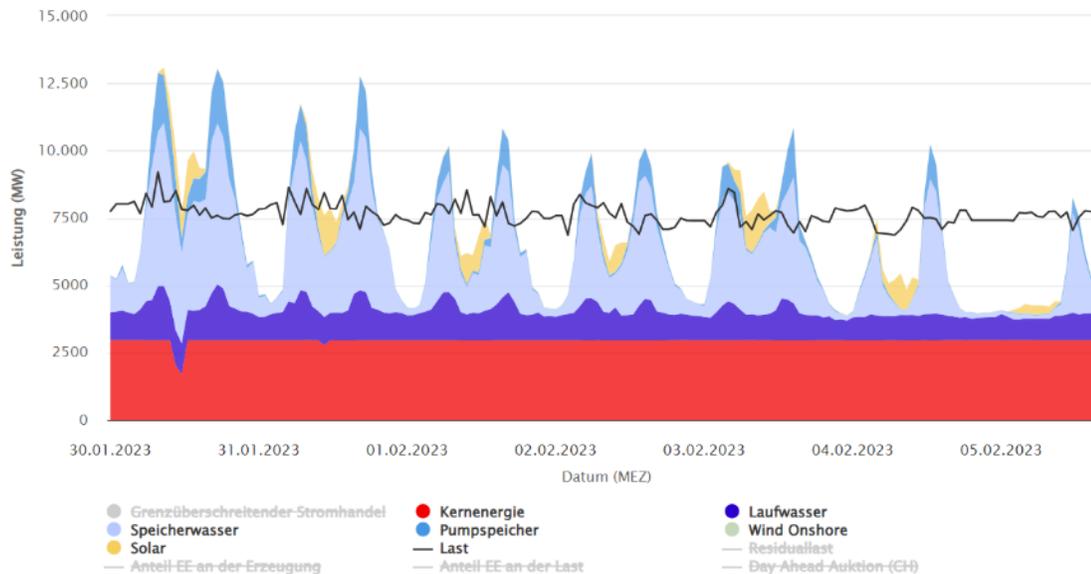


- Meine Meinung: jede selbst produzierte (statt importierte/gekaufte) Kilowattstunde ist eine gute Kilowattstunde. Speicher gibt es in der Schweiz schon viele (Pumpspeicher).

# Hat die Schweiz genug Strom?

Nettostromerzeugung in der Schweiz in Woche 5 2023

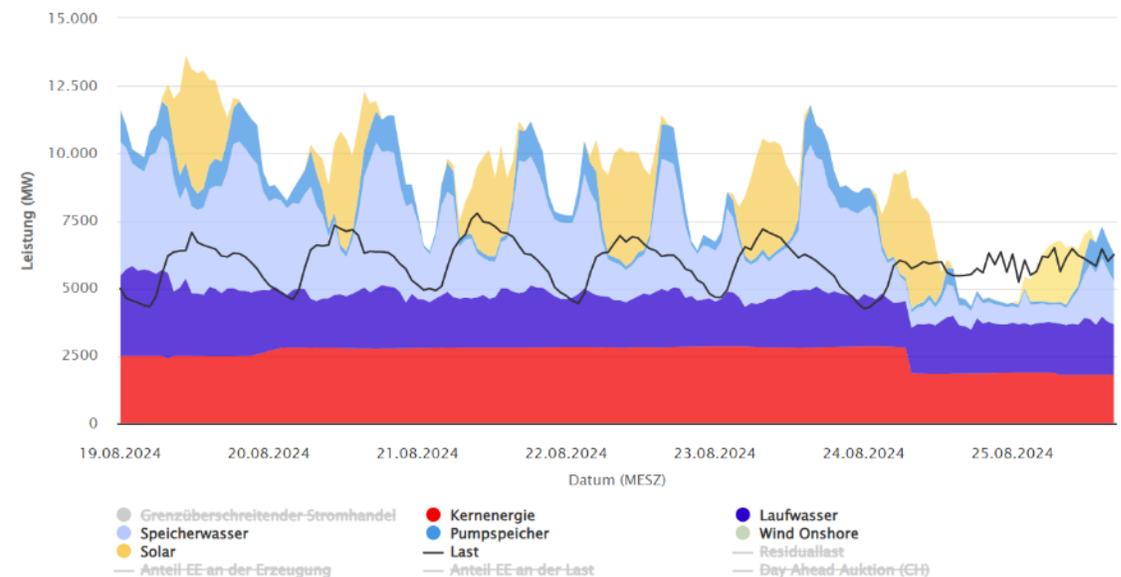
Energetisch korrigierte Werte



Energy-Charts.info - letztes Update: 27.06.2024, 17:50 MESZ

Nettostromerzeugung in der Schweiz in Woche 34 2024

Energetisch korrigierte Werte



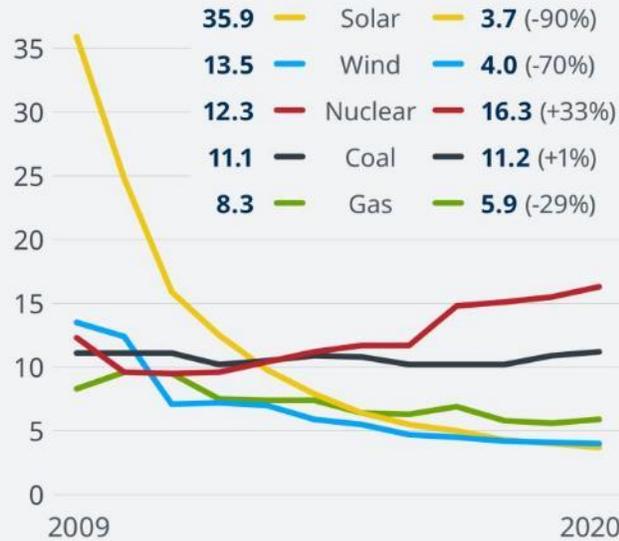
Energy-Charts.info - letztes Update: 26.08.2024, 10:44 MESZ

- Die Schweiz hat im Winter teilweise ein Stromdefizit (wetterabhängig → Wasserkraft)
- Im Sommer hat die Schweiz meistens einen Stromüberschuss
- Lösungsmöglichkeiten: a. Handel, b. Sektorkopplung (Wärme/Verkehr), c. Speicherung
- Merke: Die Schweiz hat eine „Winterstromlücke“, aber eine „**Ganzjahres-Öl-und-Gas-Lücke.**“

# PV ist weltweit die günstigste Art, Energie bereitzustellen

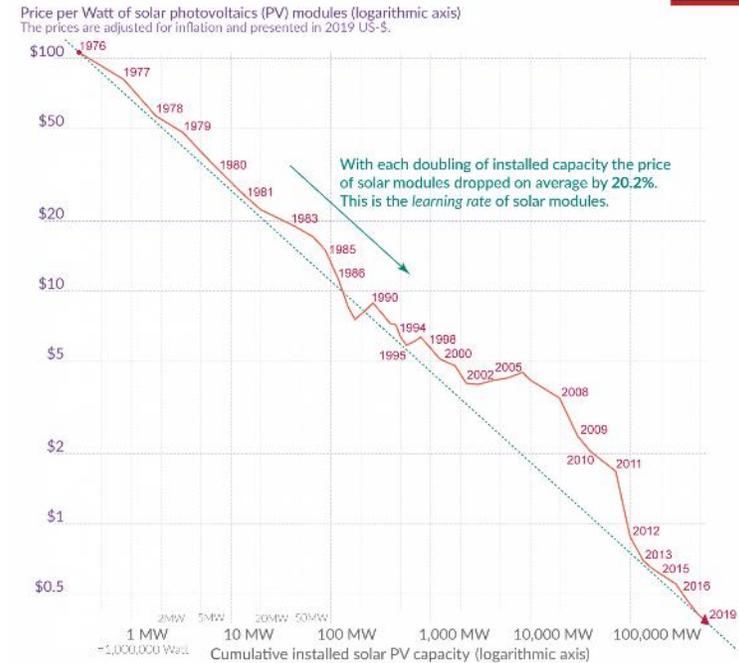
## Worldwide energy prices over the last decade

Generation costs in cents (US\$)



Source: WNISR, Lazard

## The price of solar modules declined by 99.6% since 1976



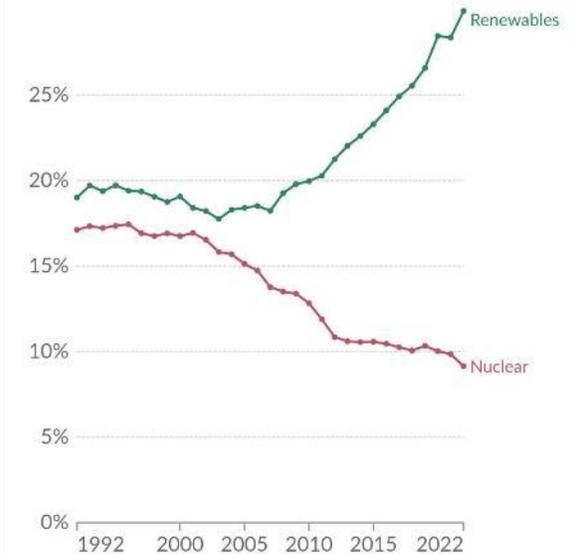
Data: Lafond et al. (2017) and IRENA Database; the reported learning rate is an average over several studies reported by de La Tour et al (2013) in Energy. The rate has remained very similar since then.  
OurWorldInData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC-BY by the author Max Roser

## The share of nuclear and renewables in total electricity production, World

'Renewables' includes hydropower, biomass, wind, solar, geothermal, and marine production. It does not include traditional biomass.

Change country or region

All together



Source: Ember's Yearly Electricity Data; Ember's European Electricity Review; Energy Institute Statistical Review of World Energy  
OurWorldInData.org/energy • CC BY

- Früher waren Kohle und Erdgas die günstigsten Energiequellen
- Heute sind es PV und Wind. Die Speicherung und Netzstabilität bleiben als Aufgabe.

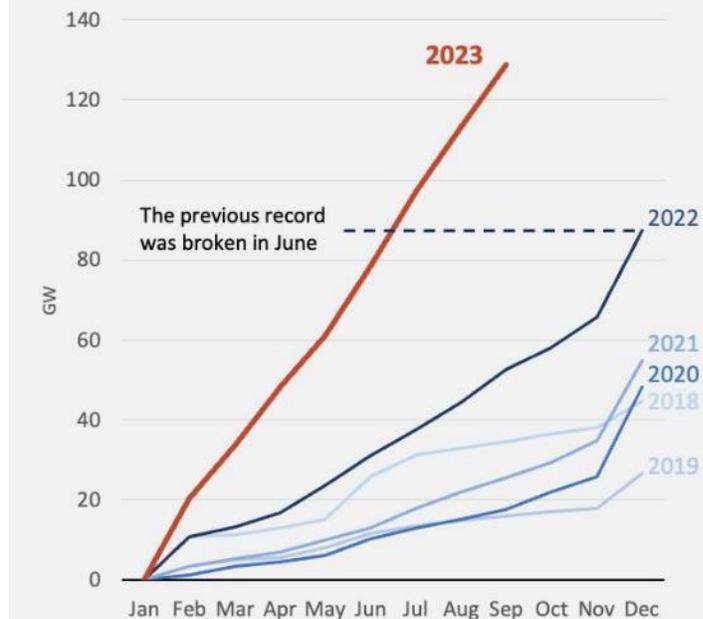
# Installierte PV-Kapazität in China

Expected capacity additions in 2023 and added annual generation

Source	GW	Average utilisation	TWh
Solar	210	13.6%	251
Wind	65	23.0%	130
Nuclear	3	83.4%	21
Hydro	7	36.7%	21
Total	284	17.0%	423

## Solar installations in China are breaking all records

New capacity is being installed 2.5x faster than any previous year

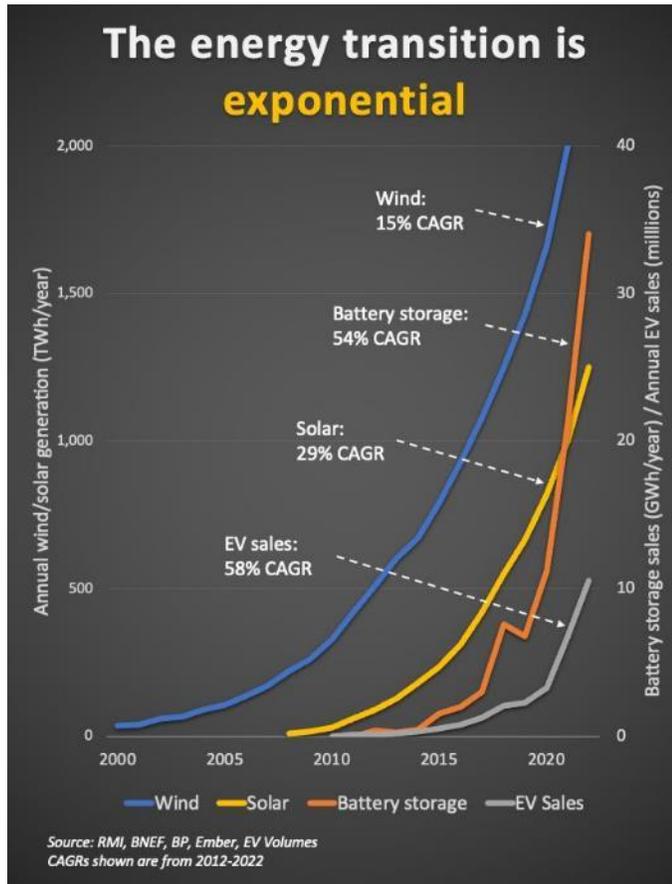


Sources: Carbon Brief, Taiyang News

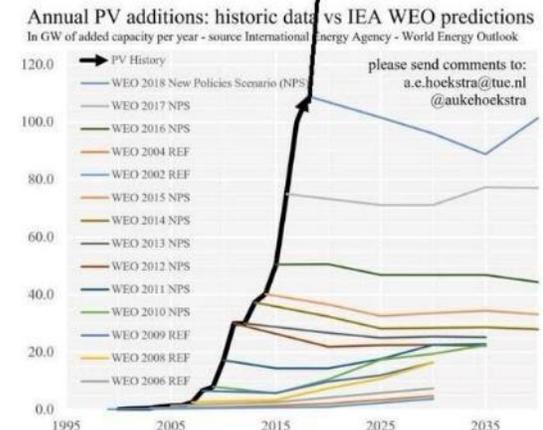
@gavinmooney

- China hat im 2. Halbjahr 2023 so viel PV installiert wie Deutschland in den letzten 20 Jahren
- Einige Studien gehen davon aus, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoß in China in den nächsten Jahren sinkt

## Die Energiewende ist exponentiell

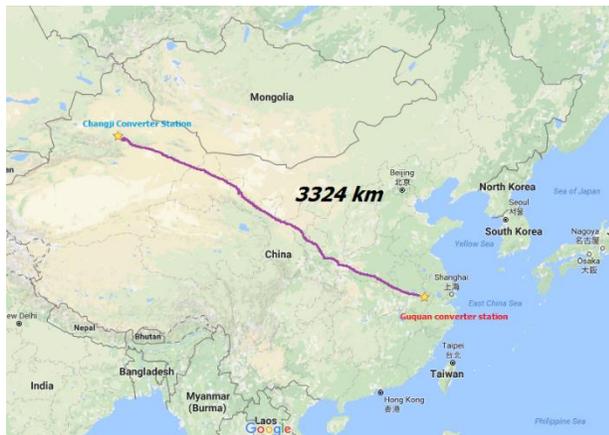


2022  
268 GW



- Seit ca. 5-10 Jahren wachsen alle Erneuerbaren exponentiell
- Die „Experten“ (z.B. IEA) unterschätzen die Wachstumsraten mit erstaunlicher Regelmäßigkeit

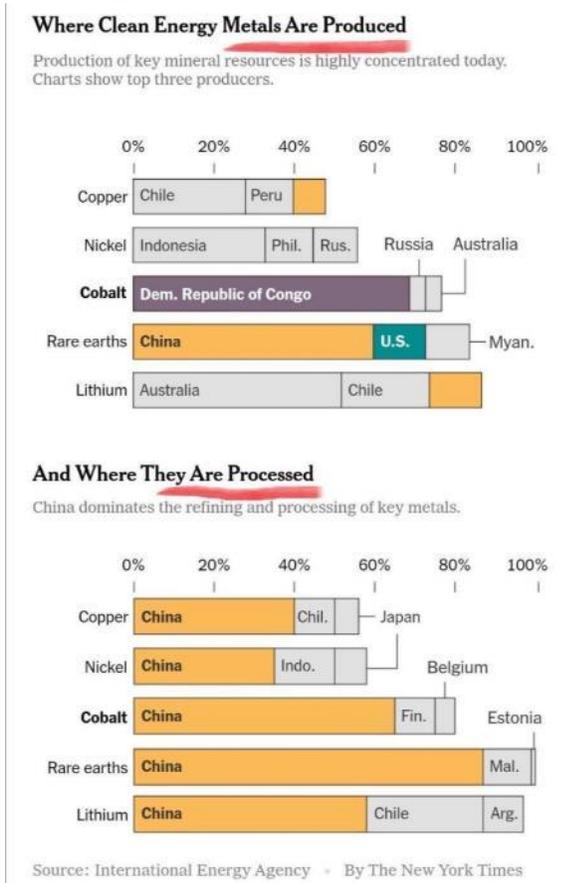
## Das Problem der Übertragung von Strom



- Wir:
  - SuedLink als größtes Infrastrukturprojekt der Energiewende in Deutschland
  - Planung seit 2012, IBN ca. 2028
  - Länge ca. 700 km
  - „Mehr als 525 kV geht nicht“
  - „Mehr als 4 GW geht nicht“
  - Kosten ca. 10 Milliarden Euro
- China:
  - Changji-Guquan
  - Baubeginn 01/2016, IBN 12/2018
  - Länge ca. 3.300 km
  - 1100 kV
  - 12 GW
  - Kosten ca. 5,9 Milliarden USD

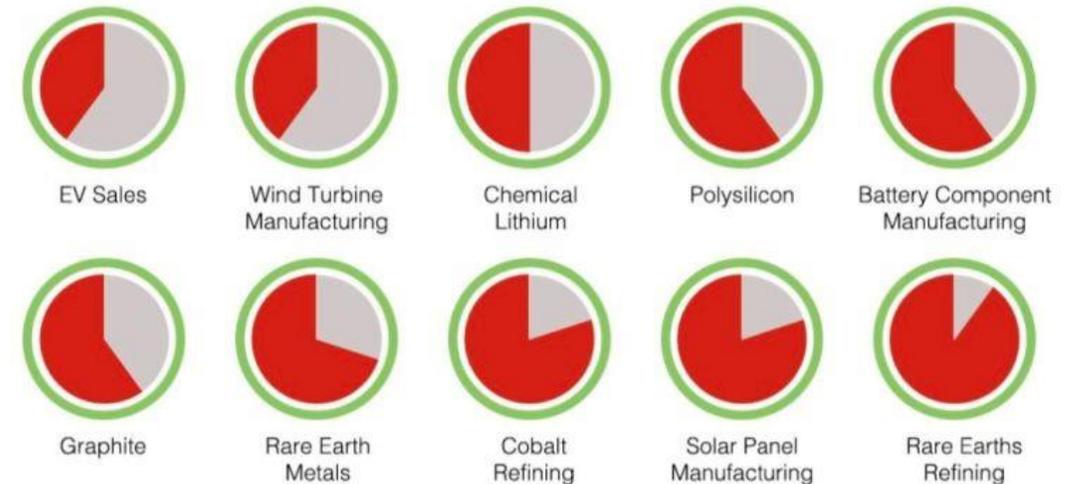
- DC-Kabel wären optimal, um Strom über große Distanzen verlustarm zu transportieren
- ABER: In Europa schwer umsetzbar (Kosten, Einsparungen, Bürgerinitiativen...)

# Verarbeitungs- und Produktionskapazität für die Energiewende



## Today's Green Energy is Red

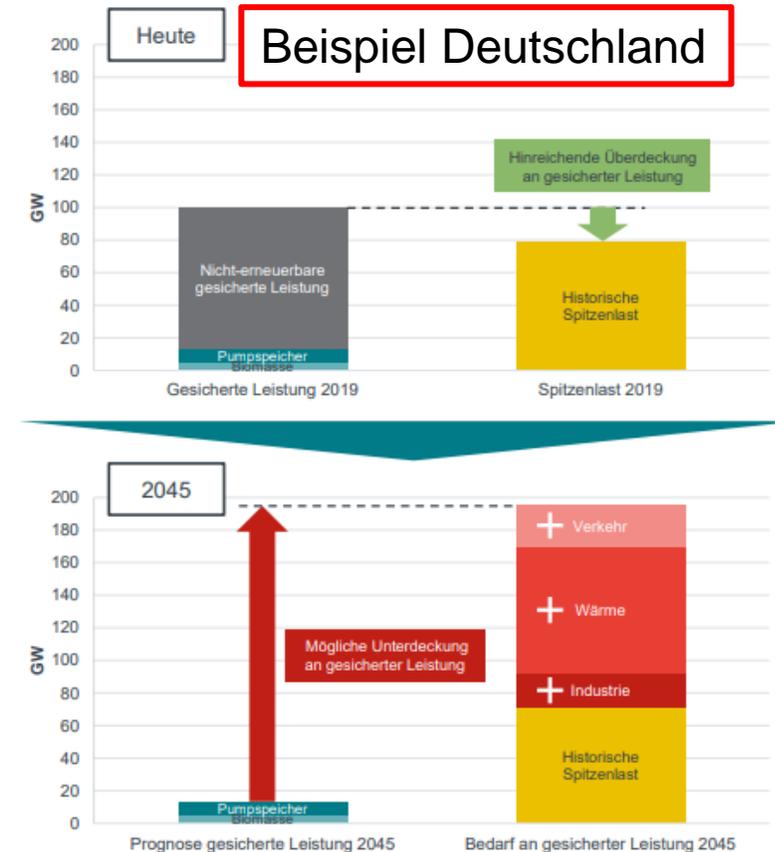
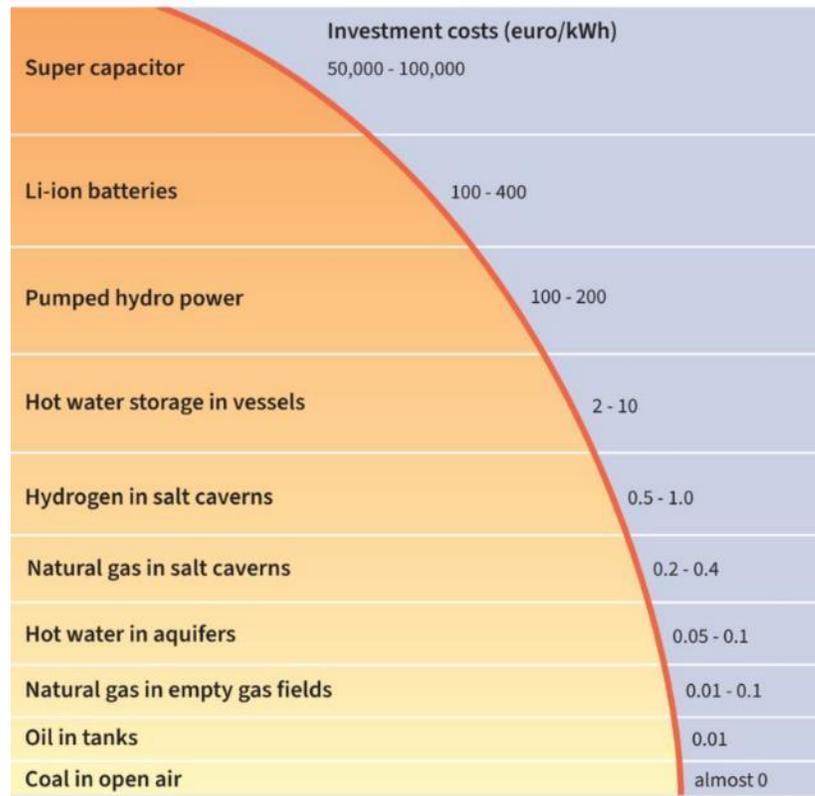
China dominates key links of the green energy supply chain



- China beherrscht einen Großteil der relevanten Supply Chain für die Energiewende
- Hoffnung der Politiker: „Beim Wasserstoff wird alles anders“

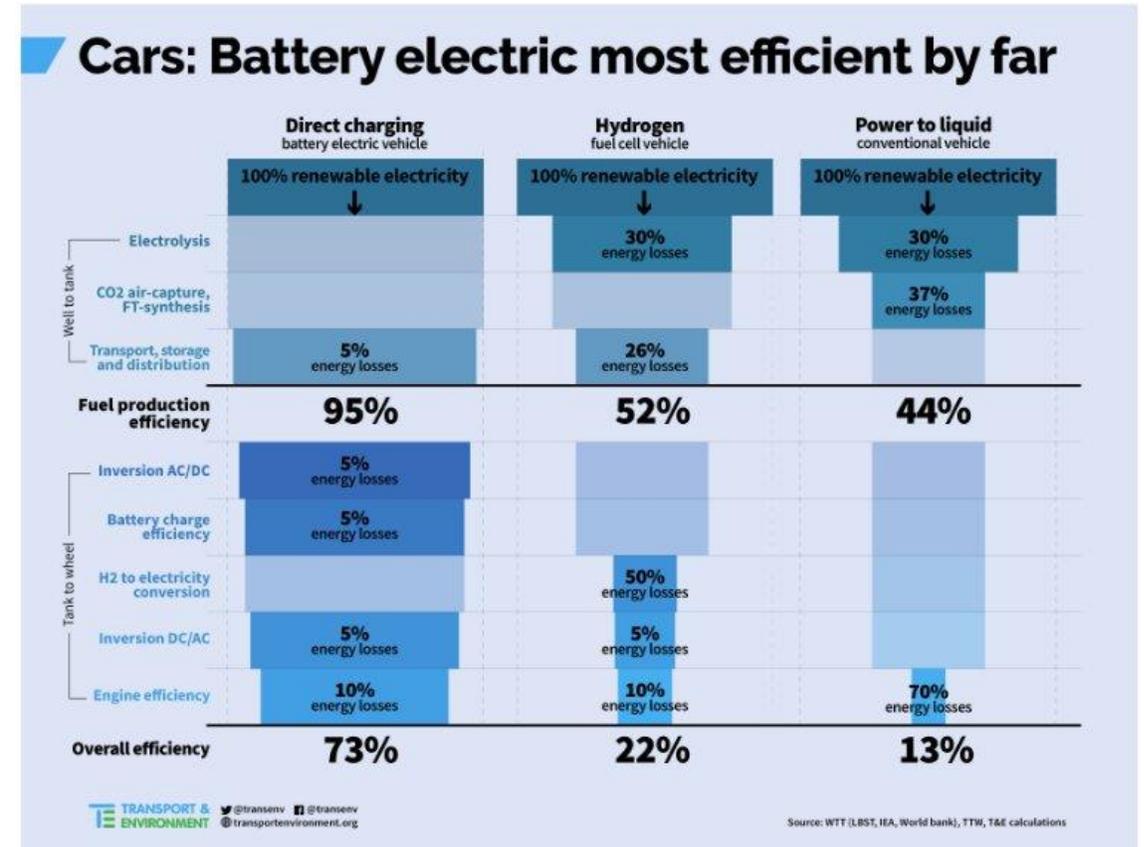
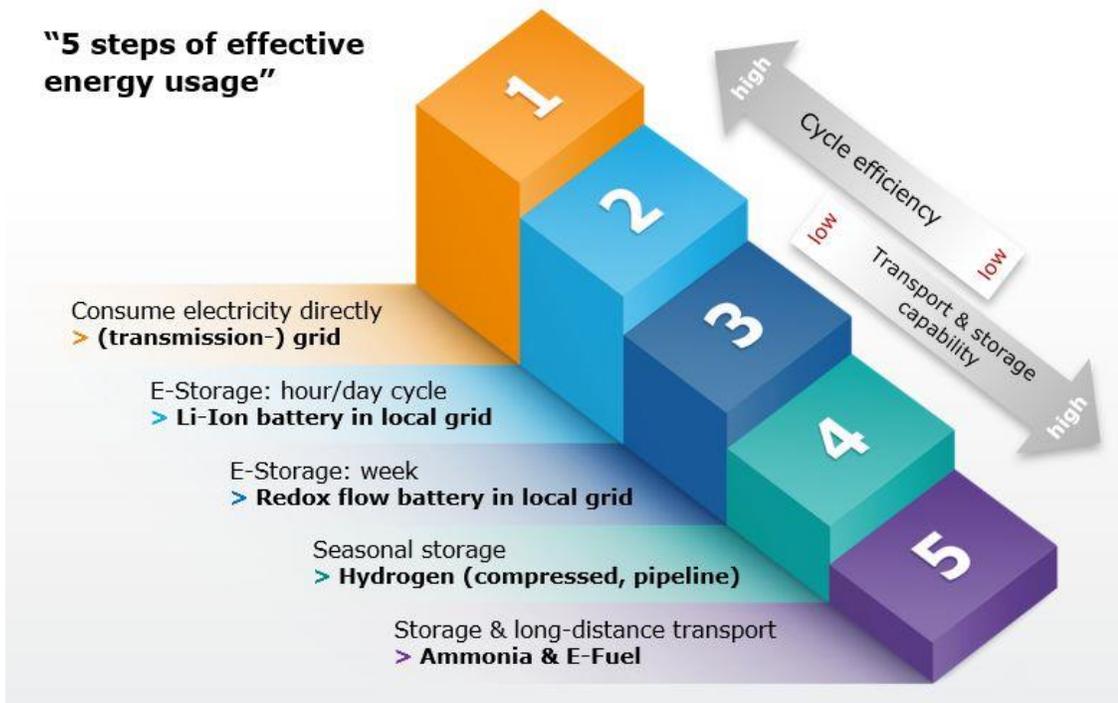
# Das Problem von Speicherung und „gesicherter Leistung“

## Energy storage Investment Costs



- Der Bedarf an Strom und „gesicherter Leistung“ wird sich in den nächsten 20 Jahren verdoppeln
- Speicher aller Art sind notwendig – und der Schlüssel zur Energiewende

# Die „richtige“ Reihenfolge der Problemlösung



- Wasserstoff ist nicht die richtige Antwort auf viele Fragen (wir müssen das akzeptieren)
- Erst wenn Lösung 1-3 nicht funktionieren, kommt Wasserstoff zum Zug

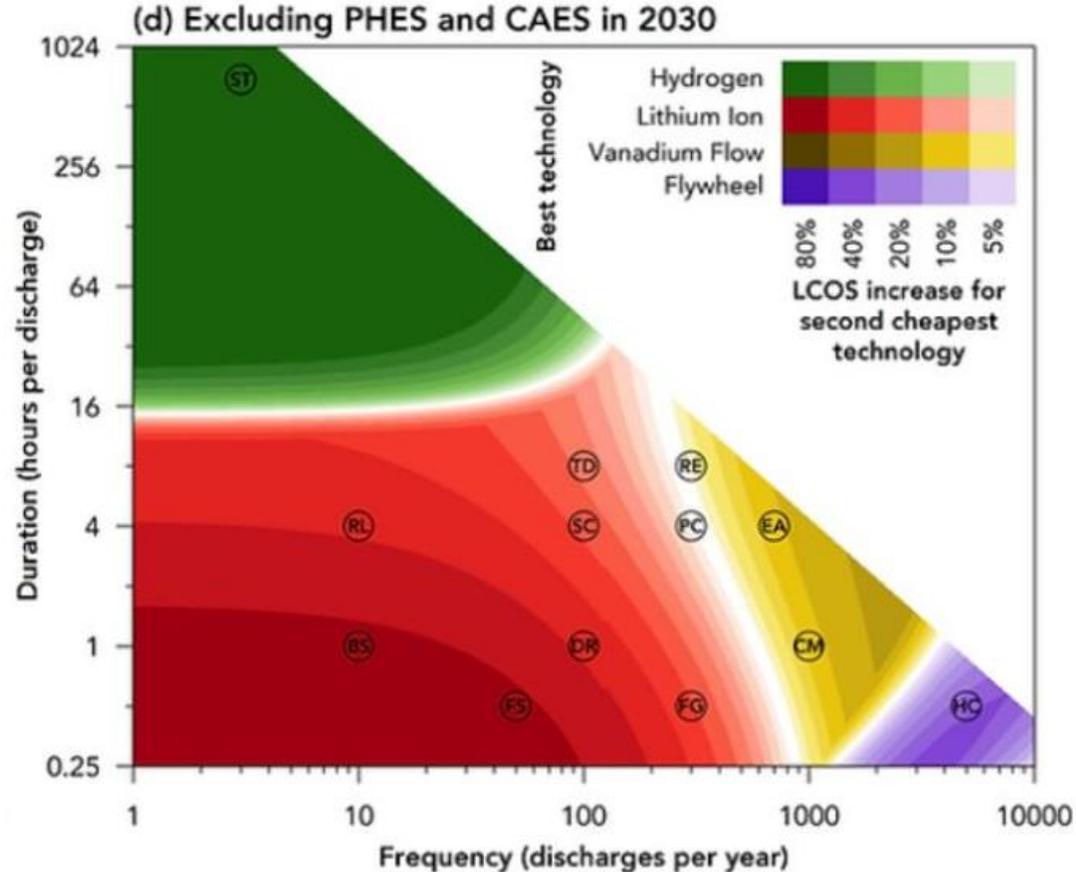
## Wasserstoff in der Mobilität



- Wir waren lange eine „Hydrogen Only“ Familie
- Links: Hyundai Nexo
- Rechts: Toyota Mirai
- Beide Autos fahren mit Wasserstoff und Brennstoffzellen-Antrieb
- Tankstelle: 7 Minuten von uns zu Hause
- Tankdauer: ca. 3 Minuten

- Wird sich Wasserstoff als Kraftstoff im PKW durchsetzen? Eher nein.
- Wird sich Wasserstoff als Kraftstoff für LKW durchsetzen? Antwort: Ein klares „vielleicht“.

## Levelized Cost of Storage

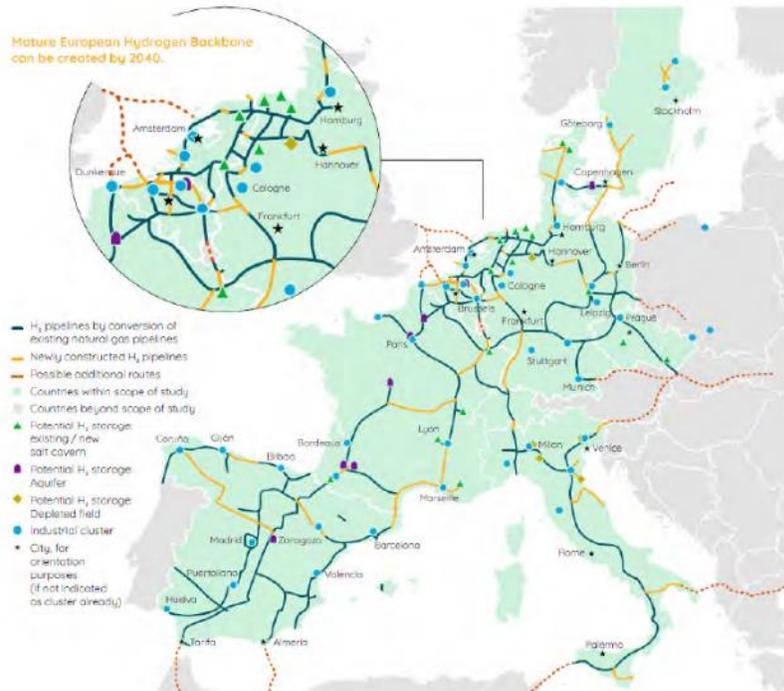


- Studie von Schmidt et al.:
  - „Wie teuer ist welche Speicheroption für welche Technologie?“
- Ergebnis hängt von den Annahmen ab...
- Kernaussagen:
  - „Für häufiges Einspeichern/Ausspeichern mit kurzer Dauer sind Batterien die beste Lösung.“
  - „Für wenige, dafür lange Ausspeichervorgänge ist Wasserstoff die günstigste Lösung.“
- (Begründung: Batterien sind wesentlich teurer in der Anschaffung als Wasserstoffspeicher, dafür ist die Kette ‚Strom-Speicher-Strom‘ effizienter.)

- Langfristig wird sich Wasserstoff nur dort durchsetzen, wo er Kostenvorteile hat.
- Beispiel: Saisonspeicher, Dunkelflaute, Backup-Energie etc. und als Grundstoff der Chemie.

# Übersicht European Hydrogen Backbone

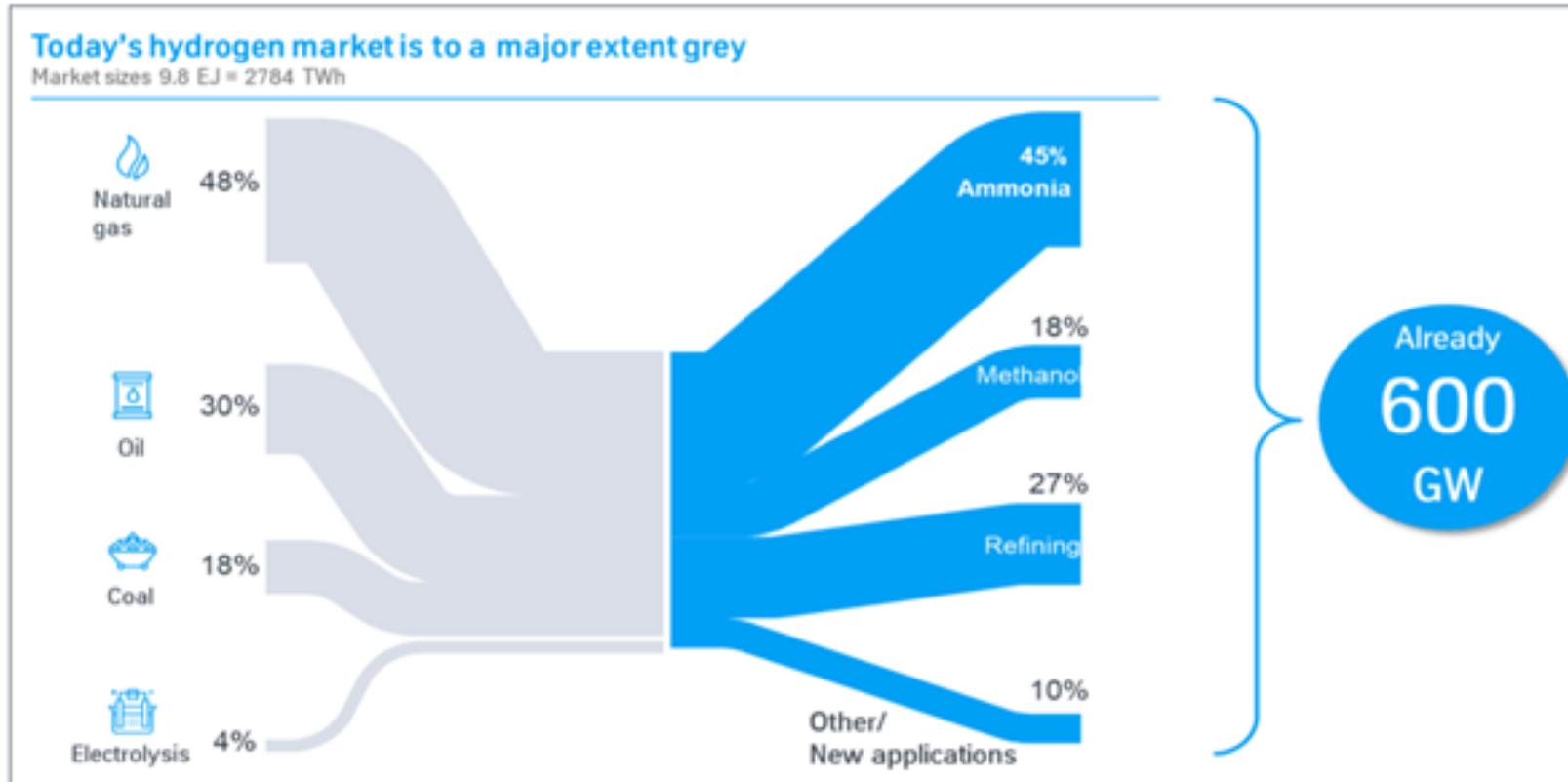
## „European Hydrogen Backbone“ - kostengünstiger H<sub>2</sub>-Ferntransport ist möglich



- Wasserstoff-Transportinfrastruktur, die Angebot und Nachfrage in Nord-Süd- und West-Ost-Richtung miteinander verbindet
- 2030: 6.800 km Leitungsnetz verbindet Wasserstoffcluster miteinander
- 2040: Netz erstreckt sich in alle Richtungen mit einer Länge ca. **23.000 km**
- Backbone erfordert bis **2040** geschätzte Gesamtinvestitionen von **27-64 Mrd. €** (75% umgestellte CH<sub>4</sub>-Leitungen, 25% neue H<sub>2</sub>-Leitungen)
- Transportkosten: **0,09-0,17 €/kg pro 1.000 km** - kosteneffizienter Ferntransport in Europa

- Der EHB wird ein Schlüsselement der Energiewende
- Idee: Produktion von H<sub>2</sub> in Spanien, Norwegen etc. und Transport nach Mitteleuropa

## Der „gesicherte“ Wasserstoffmarkt



- Der Markt, der von „grau“ nach „grün“ umgebaut werden muss, benötigt 600 GW Elektrolyse. Das entspricht geschätzten 1'000 Jahren Vollausslastung für Ramseyer. ;-)

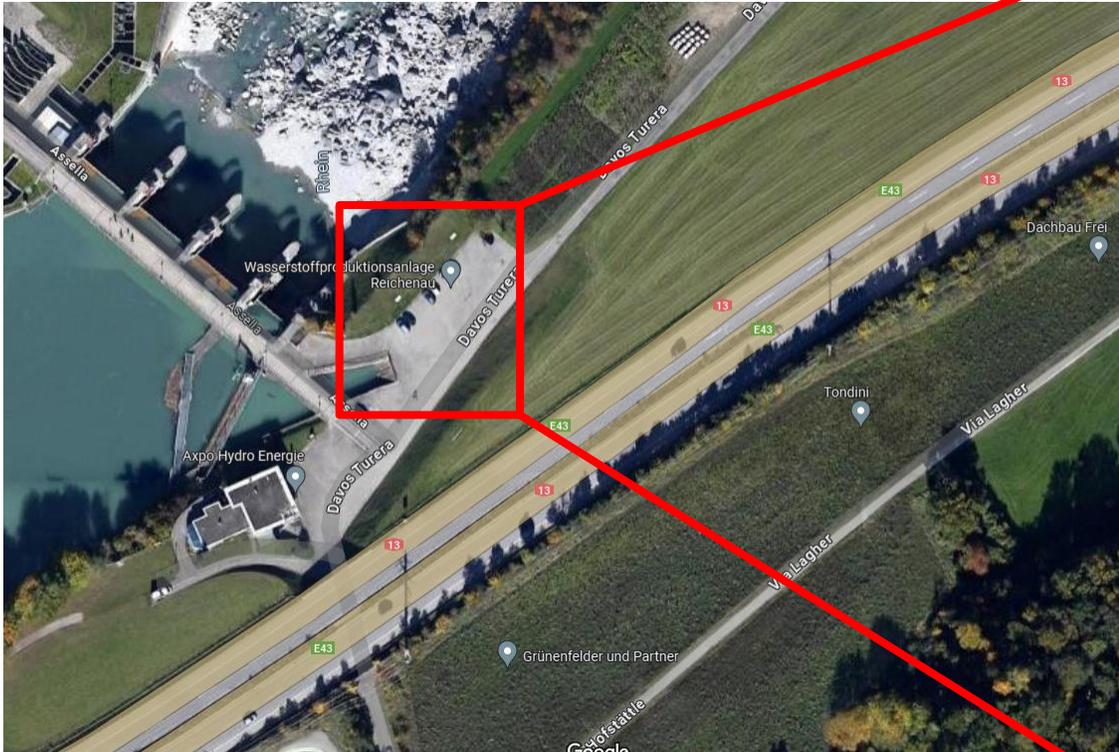
## So stellen sich viele Leute die Umsetzung von Wasserstoffprojekten vor



Bild: Lego

- Regel Nr. 1: "Verwende niemals das Wort 'einfach' und das Wort 'Wasserstoff' im gleichen Satz."
- Aber: Wasserstoffprojekte sind machbar. Man muss es aber richtig machen.

## Wie es wirklich ist (Beispiel: 2,5 MW Elektrolyse, Axpo Reichenau GR)



- Die Langfassung der Spezifikation: 480 Seiten, geschrieben von Leuten, die normalerweise Kernkraftwerke und grosse Wasserkraftwerke bauen und betreiben... ;-)



## Das grösste Elektrolyseur-Testzentrum der Welt



- Kunde: Fraunhofer IWES
- Zielsetzung: Planung und Bau des weltweit grössten Testzentrums für MW-Elektrolyse und Brennstoffzellen
  - 1 MW PEM-Elektrolyseur
  - 1,3 MW Alkalische Elektrolyseur
  - 200 kW Brennstoffzelle
  - 260 kW H2 BHKW
  - 3x 500-bar-Kompressoren
  - Vier Trailer-Füllstationen
  - Meerwasserentsalzung
- Rolle: Generalunternehmer (EPC)
- Verwendete Wenger-Produkte:
  - Trailer-Füllstationen
  - Gas-Management-System
  - Energiemanagementsystem

- Wenger Engineering hat als GU für Fraunhofer das grösste Elektrolyseur-Testzentrum gebaut
- Natürlich spielt Sicherheit hier auch eine zentrale Rolle

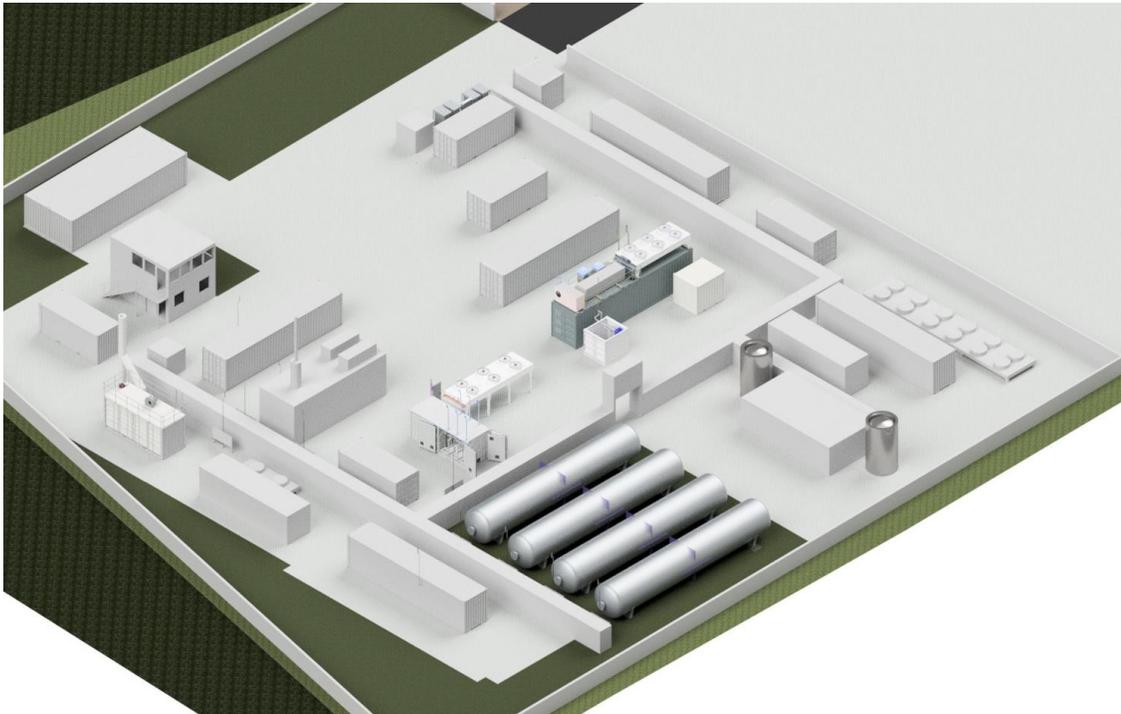
## Beispiel: Integriertes Energiemanagement mit Batterie und Tankstelle



- Planung und Bau einer Power-to-Gas-Anlage mit Wasserstofftankstelle für PKWs und LKWs
- Rolle: Generalunternehmer
- Umfang: PEM-Elektrolyse, Niederdruckspeicher, Kompressor, Hochdruckspeicher, Zapfsäule etc.
- Inbetriebnahme abgeschlossen
- Erweiterung für 2024 geplant

➤ Der Kunde entwickelt ein integriertes Energiemanagementsystem mit Ladesäulen (für Mitarbeiter), die Gebäude und Wasserstoff als Langzeit-Speicher

## Beispiel: Forschungszentrum für „Energieeffizienz in der Produktion“



- Planung eines Wasserstoff-Testzentrums für die Universität Stuttgart
- Ort: Freudenstadt (Schwarzwald)
- Rolle: Generalplaner
- Ziel: Erforschung von Möglichkeiten, die Energieeffizienz von produzierenden Firmen zu erhöhen
- Umfang: PEM-Elektrolyse, alkalische Elektrolyse, Brennstoffzellensystem, H2-BHKW, H2-Brenner, PV-System, Batteriespeicher, DC-Microgrid, Wärmepumpe, Wärmenetz, Schichtspeicher, Leitwarte, Automatisierung usw.
- Projektvolumen: 20 Millionen Euro
- Baufortschritt aktuell (leider) verzögert aufgrund von Altlastensanierung

➤ In Zukunft werden viele Firmen selbst Energie erzeugen (v.a. PV) – die Frage nach der Speicherung und der Maximierung des Eigenverbrauchs ist die logische Konsequenz

## Bürokratie #MadelnGermany



### Ablauf bei der Genehmigung einer Wasserstoffanlage in Deutschland:

1. Die Arbeit erledigen
2. Herausfinden, dass die Behörde für Genehmigungsanträge eine bestimmte Software vorschreibt
3. Alles von Hand eintippen, weil die Software keine elektronische Schnittstelle hat
4. Herausfinden, dass die zweite Behörde die vorgeschriebene Software nicht nutzt
5. Die Software ausdrucken, in Ordner abheften (hier: 12.000 Seiten), einen LKW mieten und Ordner hinbringen
6. 11 Monate auf Rückmeldung warten
7. Sicherstellen, dass du nicht durchdrehst

- “Pragmatismus” ist keine deutsche Tugend
- Die Rettung der Welt scheitert bisher daran, dass wir dafür 12.000 Seiten Antrag brauchen...

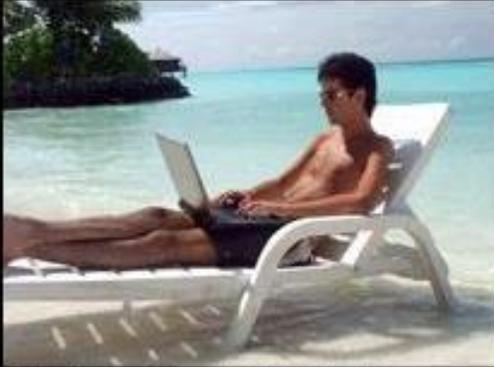
## So sieht die Axpo-Anlage jetzt aus (Kraftwerk Reichenau GR)



1. Leistungselektronik
2. Elektrolyseur (2,5 MW)
3. Pufferspeicher
4. Kompressor (500 bar), Kühlung und Automatisierung
5. 4 Trailer-Füllstationen
6. 4 Tore
7. Transformator für Hilfseinrichtungen
8. Wasserkraftwerk (20 MW) und Rhein
9. Schöne Schweizer Berge (nicht Teil des Projekts)

- Wenger ist bereit, weitere dieser Anlagen zu planen und zu bauen... Mit Ihnen?
- Ein grosses DANKESCHÖN an die Axpo für die gute Zusammenarbeit bei diesem Projekt!

## Zusammenfassung: Arbeiten in der Wasserstoffindustrie



Was meine Frau denkt, was ich tue



Was meine Kunden denken, was ich tue



Wie ich mir die Arbeit in der Wasserstoffindustrie vorgestellt habe



Wie ich mir die Automatisierung von Elektrolyseuren vorgestellt habe



Wie ich mir meine Konzepte vorgestellt habe



Wie das Lieferantenmanagement in der Wasserstoffindustrie wirklich ist

# RAMSEYER - To Do bis 2030



PRODUKTE BRANCHEN SERVICE SEMINARE ÜBER UNS KONTAKT

## MEILENSTEINE



Ramseyer Broschüren über die Jahre

### EINIGE MEILENSTEINE VON RAMSEYER

2024 - Beginn der Partnerschaft mit ChemValve-Schmid AG und dem Vertrieb der Chemline Produkte (PTFE Absperrventile).

2023 - Beginn als neuer SISTO Stützpunkt-Partner in der Schweiz. Membranventile, Industrie- wie auch Aseptikventile von höchster Qualität und schnellster Verfügbarkeit.

2018  
Zertifizierung als Servicepartner KITO-KARE für die Schweiz

**2030 - Lieferung der tausendsten Sicherheits- und Absperrarmatur für Wasserstoffanlagen**

- Ich wünsche Ihnen viel Erfolg für die nächsten 80 Jahre!
- (Und beim nächsten Jubiläum will ich einen Wasserstoff-Meilenstein sehen. ;- )

## Mission Hydrogen (Schwesterfirma von Wenger Engineering)



- Mission Hydrogen organisiert wöchentliche Wasserstoffwebinare mit ca. 1'500 Teilnehmern aus ~100 Ländern pro Woche
- Mission Hydrogen organisiert die zwei weltgrössten Wasserstoffkonferenzen (online)
- Produkte:
  - Wasserstoffwissen für Ihre Mitarbeiter (Webinar Library, € 97 pro Monat)
  - Reichweite, Content Marketing und Branding für Ihre Firma

➤ Anmeldung: [www.mission-hydrogen.com](http://www.mission-hydrogen.com) (kostenlos)



TECHNOLOGY FOR PIONEERS.

[www.wenger-engineering.com](http://www.wenger-engineering.com)