

# „Wasserstoff - Warum? Wasserstoff - Darum!“

---

Prof. Dr. Markus Hölzle

ZSW-Vorstandsmitglied und Leiter des Geschäftsbereich Elektrochemische Energietechnologien  
Vorsitzender des Beirats Grüner Wasserstoff am Umweltministerium Baden-Württemberg

Wasserstoff und dessen Rolle in der Energiewende  
Reutlingen, 21. November 2023



# Kurzbiografie Prof. Dr. Markus Hölzle



1996	Promotion in Elektrochemie – Universität Ulm
1996	F&E bei BASF - Brennstoffzellen
2002	Business Manager Katalysatoren, BASF
2005	Business Manager BASF Corp., Houston, TX, USA
2009	General Manager BASF - Batteriematerialien
2012	Manager Kathodenmaterialien BASF Japan, Tokio
2016	BASF F&E – Leiter Entwicklung Kathodenmaterialien
2020	Seit Oktober – Leiter des ZSW in Ulm

# Das ZSW – Auf einen Blick

**Stiftung des Landes Baden-Württemberg - 300 Mitarbeitende - 85% Fremdfinanzierung**  
**Angewandte Forschung & Entwicklung zu neuen Energietechnologien seit 35 Jahren:**

- Batterien & Superkondensatoren: Materialien, Produktionstechnologien, Systeme, Qualifizierung
- Brennstoffzellen: Technologie, Systeme, Produktionstechnologien, Testzentrum
- Photovoltaik: Dünnschichttechnologien (CIGS) & Anwendungssysteme
- Erneuerbare Brennstoffe: Power-to-Gas, Biomassevergasung, Wasserelektrolyse
- Energiepolitik & -wirtschaft, Windenergie

WINDENERGIE



PHOTOVOLTAIK



BATTERIEN



WASSERSTOFF



BRENNSTOFFZELLEN



POLITIKBERATUNG





# ZSW Standorte



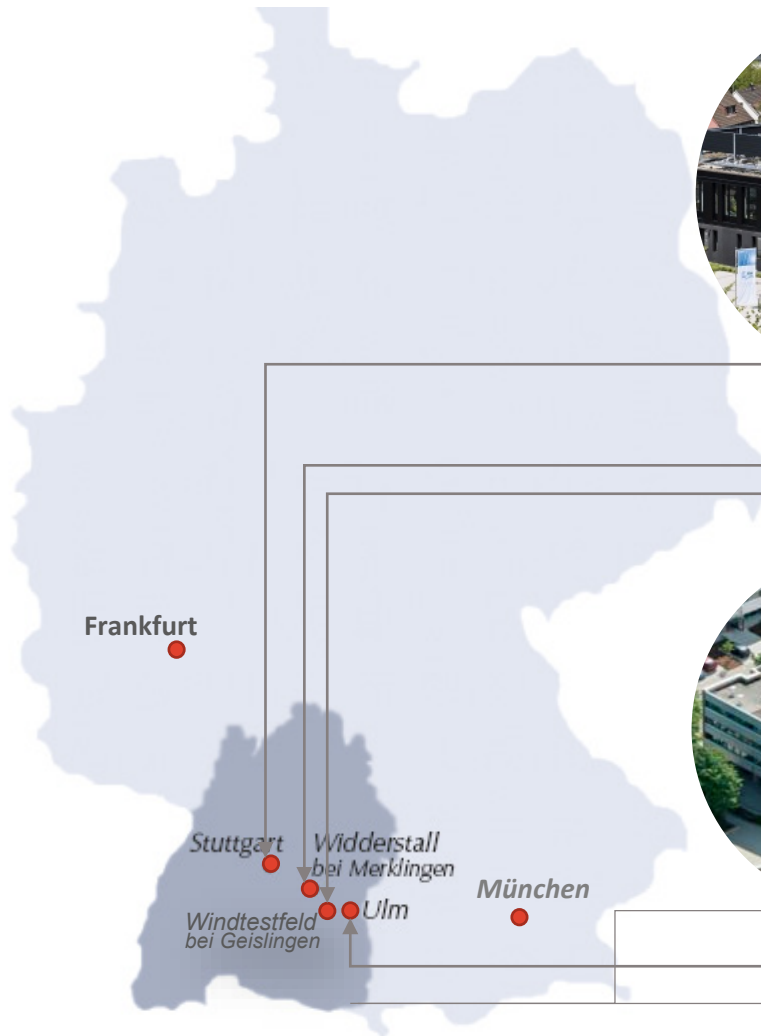
## Stuttgart:

Photovoltaik, Energiepolitik und Energieträger, Finanzen, IT, Personal, Recht; Solar-Testfeld in Widderstall & Windtestfeld Stötten (Schwäbische Alb)



## Ulm:

Elektrochemische Energietechnologien mit Labor für Batterietechnologie (eLaB) & Forschungsfabrik für Wasserstoff und Brennstoffzellen (HyFaB)



# Das ZSW in Ulm im Jahr 2023

Wissenschaftliche Themen:

Batterien / Wasserstoff und Brennstoffzellen

Forschungsförderung:

15 Mio. € Förderprojekte; 19 Mio. € Industriaufträge

Investitionen:

42 Mio. €; anteilig 6 Mio. € vom ZSW

Mitarbeitende:

> 200

## Helmholtzstraße (seit 1993)

- Brennstoffzellen- und Batterieforschung
- Materialentwicklung für Lithium-Ionen-Batterien
- Grundlagenforschung & Analytik
- Werkstätten



## eLaB (seit 2012)

- Batterieaktivitäten mit Fokus auf Zellbau
- Forschungsproduktionslinie für automobiler Batterien (FPL)
- Batteriesicherheitstechnik



## HyFaB (seit 2022)

- Brennstoffzellen-Forschungsfabrik für die PEM-Stacks
- Größtes unabhängiges Brennstoffzellentestfeld in Europa
- Wasserstofflabor HyLaB





# Das HyFaB Brennstoffzellentestzentrum mit Gaselager, Lise-Meitner-Straße 24 in Ulm







HyFaB: Blick in das Brennstoffzellentestzentrum





EUROPÄISCHE UNION  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



Investitionen in die Zukunft.



Baden-Württemberg

# HyFaB Gebäudekomplex des ZSW in Ulm – August, 2023



Wasser  
Elektrolyse  
Anlage  
ab 2025





©The Linde Group

# DIE ENERGIEWENDE IN BADEN- WÜRTTEMBERG



# Klimaziele und Sektorenziele in Baden-Württemberg

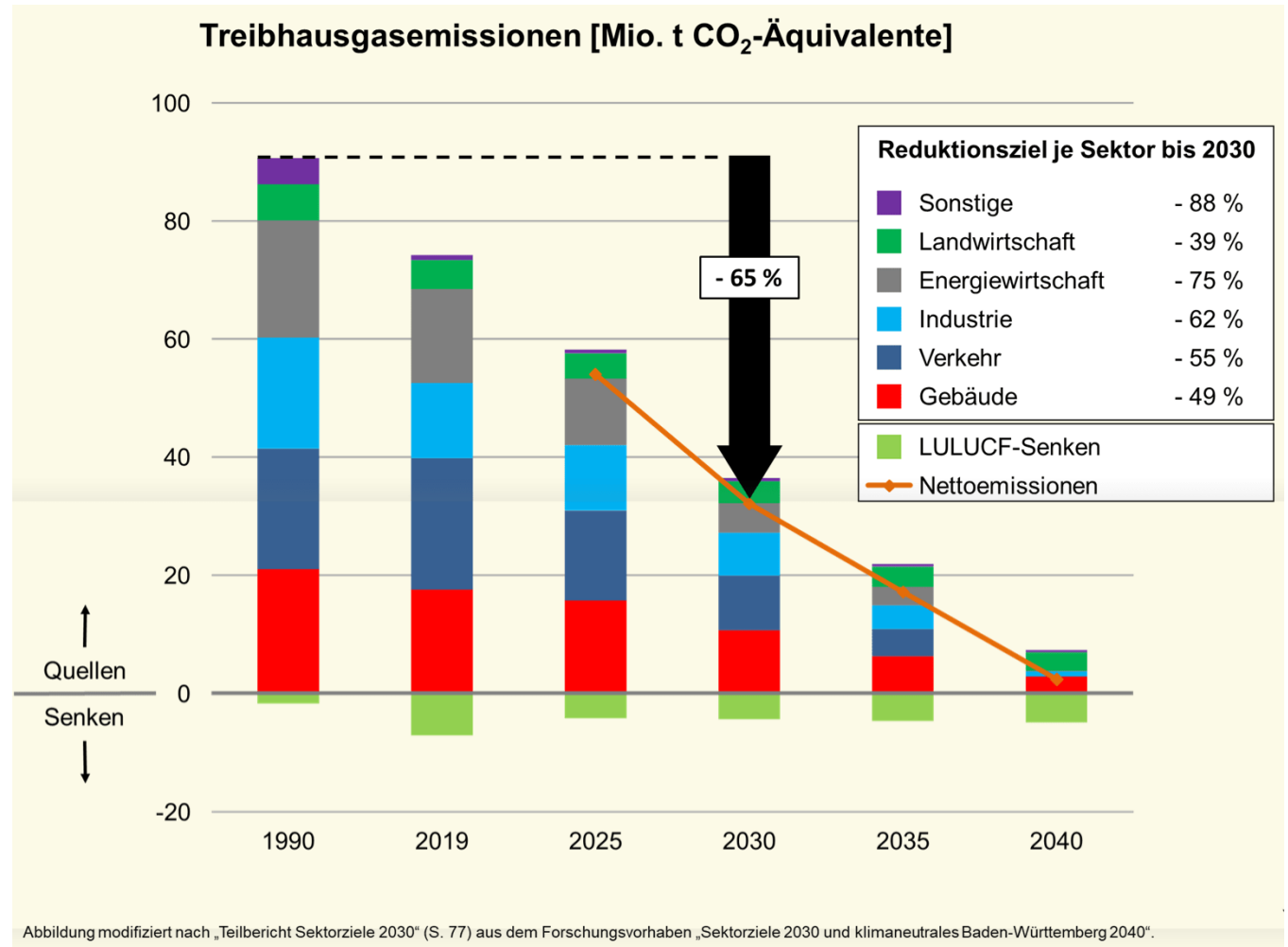


Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Das **Klimaschutzgesetz BW** von 2021 gibt Klimaziele für Einzelsegmente in Baden-Württemberg vor:

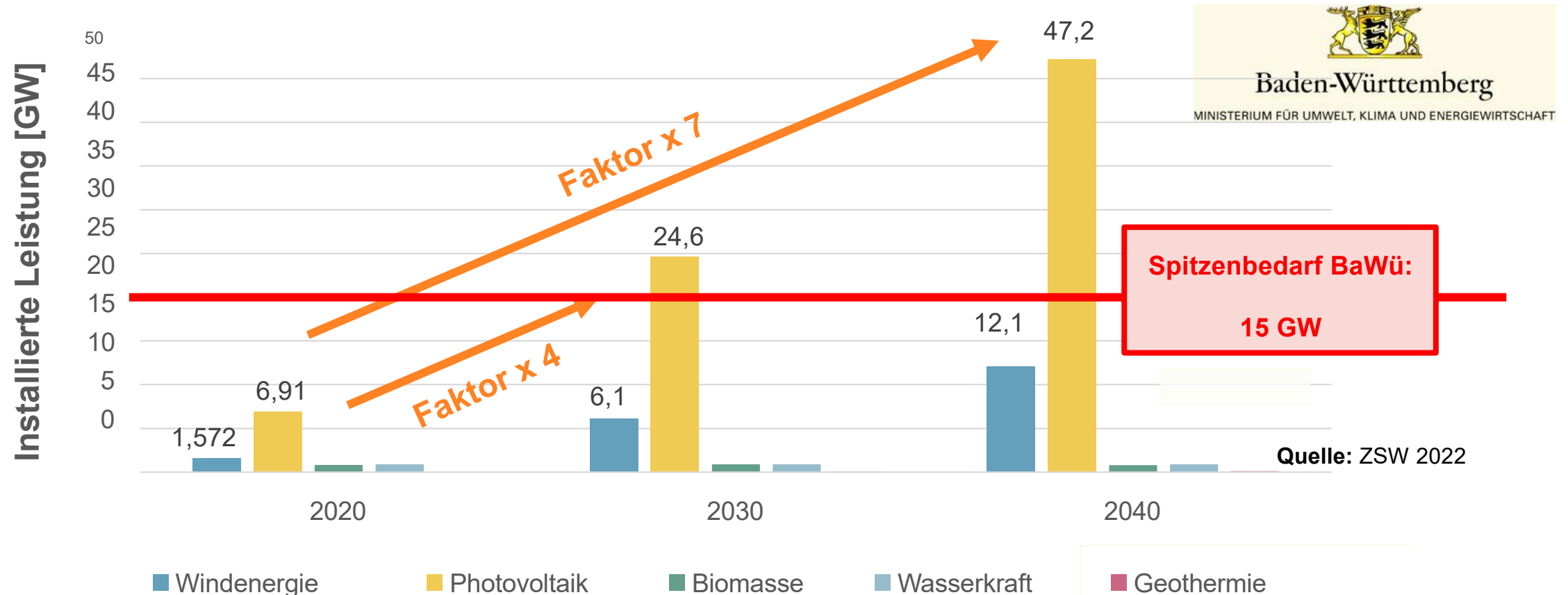
- **Klimaneutralität bis 2040.**  
(Bund: 2045, EU: 2050)
- Reduktion der Treibhausgasemissionen um 65% bis 2030.  
Bund: 65%, EU 55%





# Ausbauziele erneuerbare Energien in Baden-Württemberg

Geplanter Ausbau wird notwendige Energiebedarfe decken



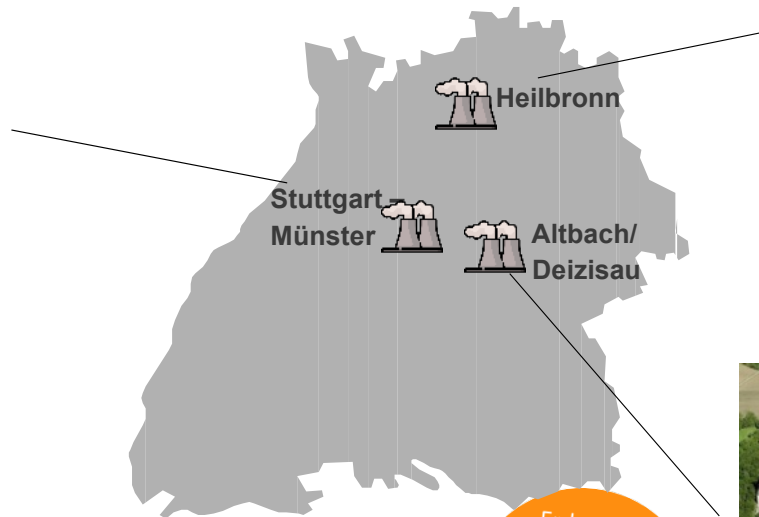


# Stromerzeugung in Baden-Württemberg: Kohle - Gas - Wasserstoff

## Fuel Switch Maßnahmen der EnBW



**Gasturbinenanlage mit 124 MW<sub>el</sub>** und Abhitzedampferzeuger. Stilllegung Kohlekessel und Gasturbinen.



**GuD-Anlage mit 675 MW<sub>el</sub>** und bis zu 190 MW Wärmeauskopplung. Stilllegung Kohleblock HLB7 mit 778 MW<sub>el</sub>.



**GuD-Anlage mit 665 MW<sub>el</sub>** und bis zu 180 MW Wärmeauskopplung. Stilllegung Kombiblock HKW 2 mit 401 MW<sub>el</sub>.

Erdgas als Übergangsbrennstoff; Perspektive: 100% grüner Wasserstoff



Der Fuel Switch (von Kohle auf Gas) trägt zu einem ausgewogenen Portfolio aus Erneuerbaren und disponibler Leistung bei und steht in Einklang mit dem EnBW-Klimaneutralitätsziel 2035

Quelle:  EnBW





# Wasserstoff: Rückgrat und Bindeglied der Energieversorgung

...und gleicht das wechselnde Angebot an grünem Strom aus - frei von CO<sub>2</sub> Emissionen



Tomasz Wyszoamirski, Getty Images/iStockphoto



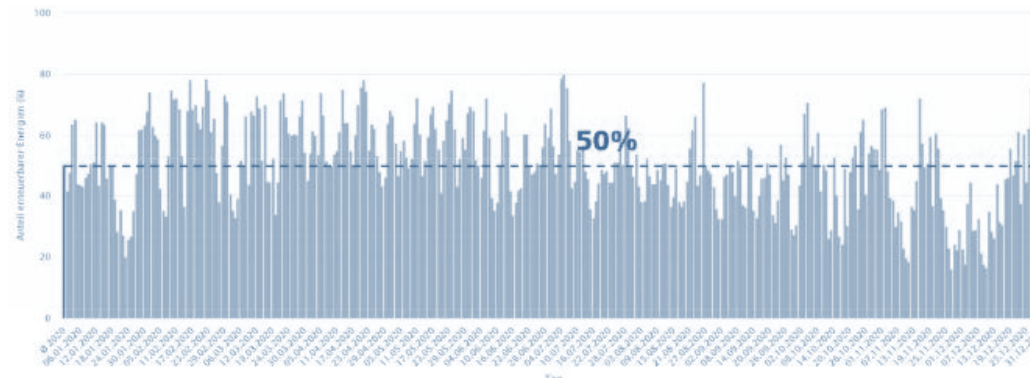
Quelle: Focus online



Quelle: biogasanlagen-info.de

## Wasserstoff

### Täglicher Anteil erneuerbarer Energien an der öffentlichen Nettostromerzeugung, Jahr 2020

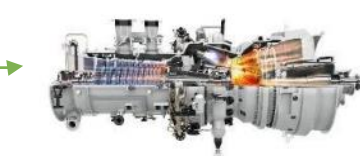


Der tägliche Anteil erneuerbarer Energien an der Nettostromerzeugung lag 2020 zwischen 16,5% am 10.12.2020 und 79,9% am 05.07.2020.

Grafik: B. Burger, Fraunhofer ISE; Quelle: [https://energy-charts.info/charts/renewable\\_share/chart.htm](https://energy-charts.info/charts/renewable_share/chart.htm)

18  
© Fraunhofer ISE  
FHS-IG: JSF-INTERNAL

Fraunhofer ISE



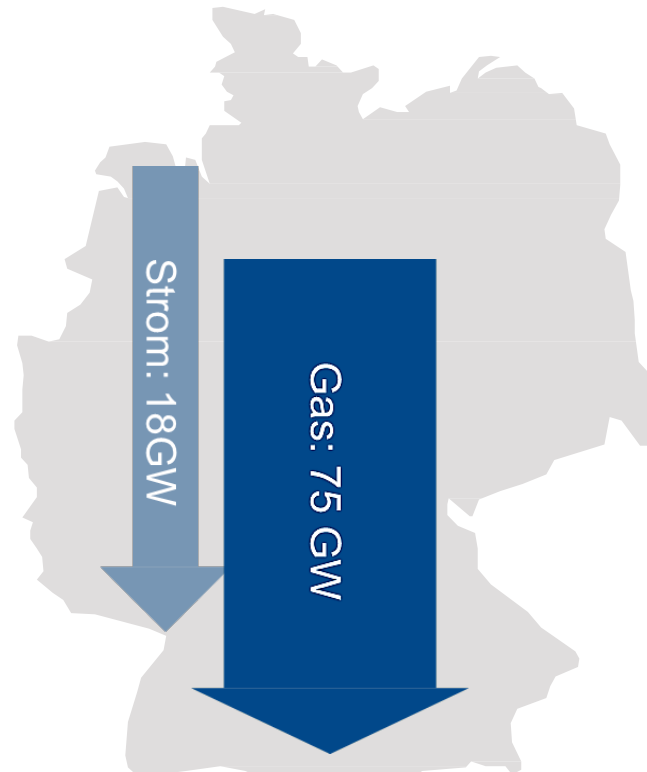
Quellen: Viessmann / Feudenberg / Imago Images / Pixabay / Pixabay / Siemens

# Transportleistung von Hochspannungsleitungen weit unter der von Pipelines – Speicherung von Strom aktuell vernachlässigbar

- ✓ Eine Gaspipeline transportiert soviel Energie wie acht Hochspannungsleitungen



- ✓ Riesige Nord-Süd-Transportkapazitäten im deutschen Gasnetz bereits vorhanden



Quelle: Frontier Economics, Grober Vergleich der bestehenden Strom- und Gastransportkapazitäten von Nord- nach Süddeutschland

- ✓ Deutsche Gas-Speicherkapazitäten drei Monate



- ✓ Strom 36 Minuten



Quelle: DVGW





©The Linde Group

# WASSERSTOFF – WARUM / DARUM

# Wasserstoff – Einige Fakten zum Einstieg

---

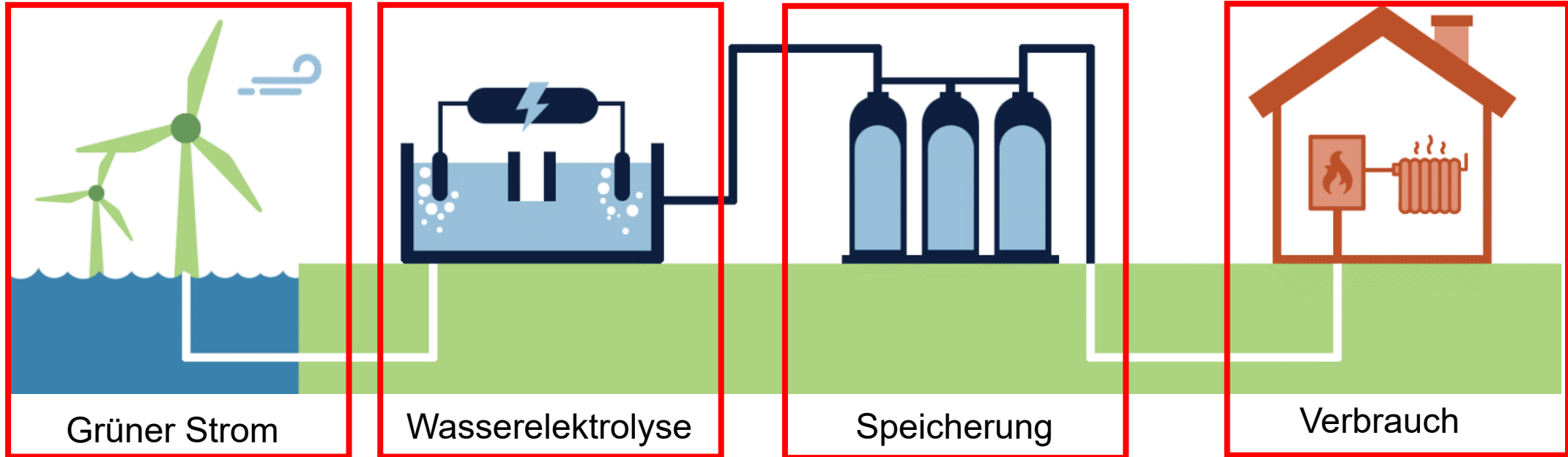
- Wasserstoff ist **gasförmig, farblos** und das **häufigste Element** des Universums
- Wasserstoff **kommt auf der Erde nicht als solches vor** sondern wird „on-purpose“ hergestellt:
  - Die Herstellung erfolgt heute fast ausschließlich aus Erdgas und Erdöl
  - Bei dieser Art der Herstellung entstehen große Mengen an CO<sub>2</sub>
  - Die Herstellung zukünftig durch Spaltung von Wasser mittels grünem Strom erfolgen
- Wasserstoff ist die **volumenmäßig größte Chemikalie** weltweit:
  - Ohne Wasserstoff keine Düngemittel
  - Ohne Wasserstoff kein Benzin / Diesel
  - Ohne Wasserstoff keine Chemikalien, Kunststoffe, Arzneimittel...
- Wasserstoff wird in der Regel **dort produziert, wo er auch verbraucht wird**, deshalb bleibt er für den Normalbürger eine große Unbekannte
- **Wasserstoff und elektrischer Strom** werden das Rückgrat unserer zukünftigen, CO<sub>2</sub>-freien Energieversorgung darstellen



# Wasserstoff ist in vielen Sektoren anwendbar und kann Sektoren koppeln



# (Grüner) Wasserstoff aus grünem) Strom und Waser: Die Wasserelektrolyse

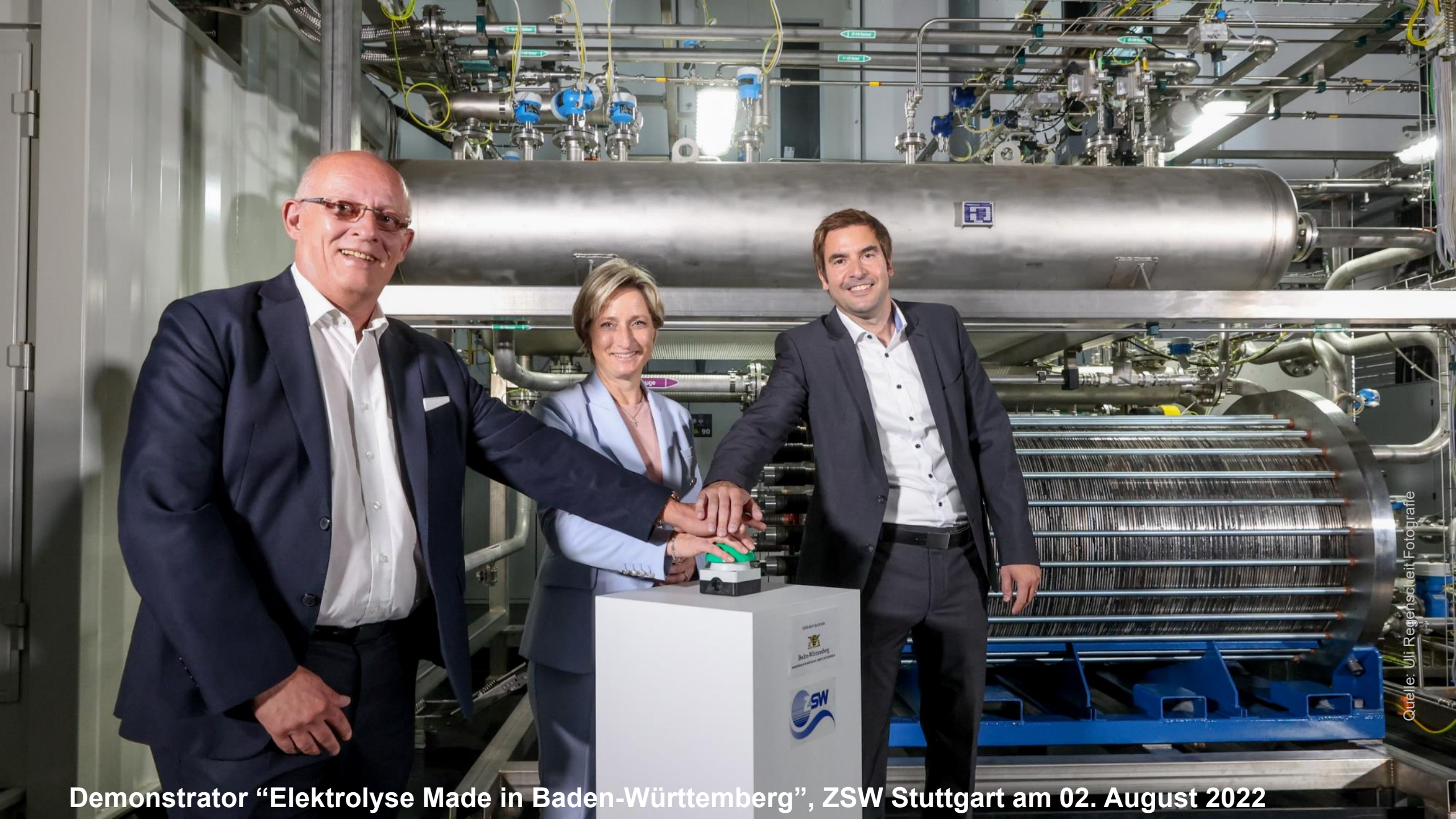


Beispielbilder  
für Elektrolyseure



Quellen: ZSW, H-Tec, Thyssen, Siemens-Energy





Quelle: Uli Regenschneit Fotografie

Demonstrator "Elektrolyse Made in Baden-Württemberg", ZSW Stuttgart am 02. August 2022



# Haben wir genug Wasser in Deutschland für grünen Wasserstoff?

**Input:** Studie von „European Hydrogen Backbone“  
Vorrang für Strom in allen Anwendungen, Projektjahre 2030/40 und 2050

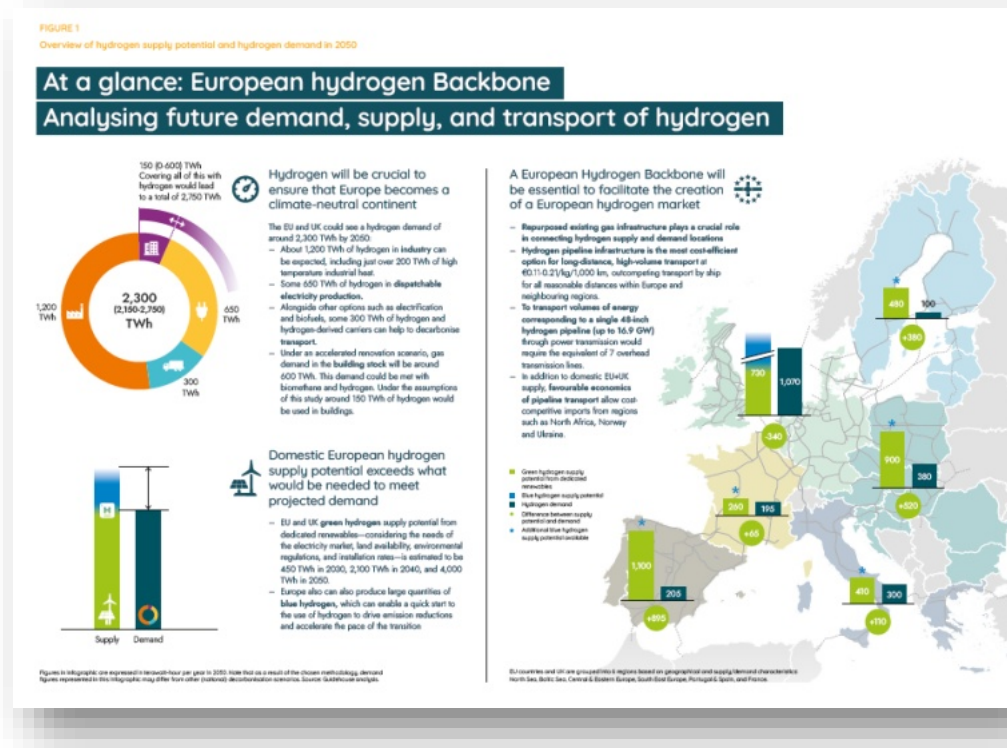
**Input:**  
10 kg Wasser je Kilogramm Wasserstoff

**Ergebnis:**

Deutschland 2040:  
182 TWh Energie aus Wasserstoff pro Jahr  
(entspricht 30% des Stroms heute)

182 TWh Wasserstoff =  
**50 Mio. Kubikmeter Wasser pro Jahr**

➤ Das entspricht ca. **2 Liter Wasser** pro  
Bundesbürger und Tag.





# Einige Beispiele für 50 Mio. Kubikmeter Wasser pro Jahr

## Wasserversorgung Großraum Stuttgart



100 Mio.  
Kubikmeter/Jahr



130 Mio.  
Kubikmeter/Jahr



Blautopf:  
60 Mio. Kubikmeter/Jahr



Flutung Kohlegrube Garzweiler:  
50 Mio. Kubikmeter/Jahr für 40-50 Jahre



3 AKW Kühltürme

Bildquellen: Flickr, Blaubeuren Touristik, Rentokio



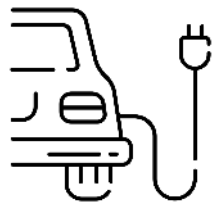


# WASSERSTOFF – VON GLOBAL NACH REGIONAL



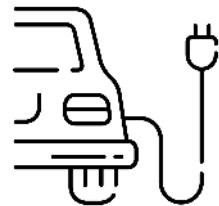
# Photovoltaik als hocheffiziente Form der Stromerzeugung

## Maisfeld/Biogasanlage



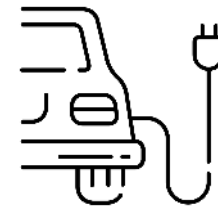
= 2 Pkw

## Agrophotovoltaik



= 200 Pkw

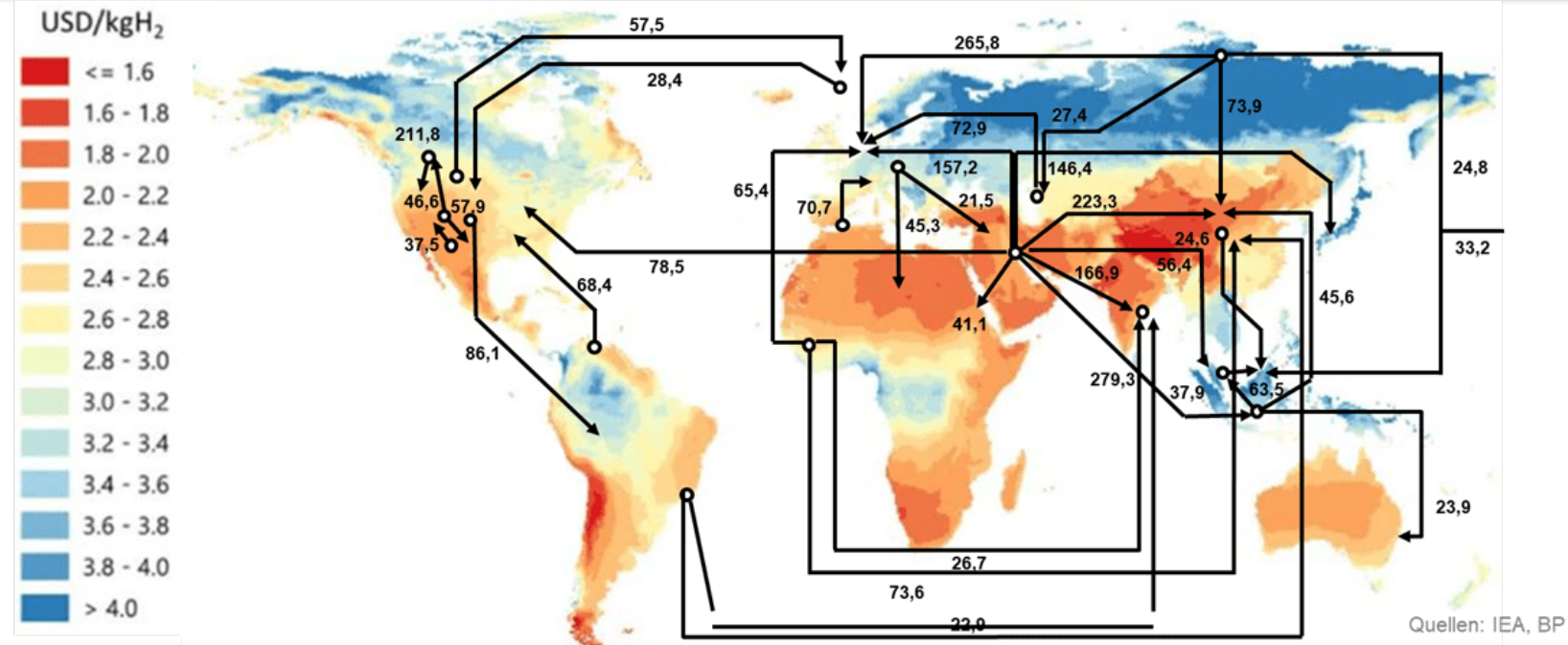
## Freiflächenphotovoltaik



= 320 Pkw

# Grüner Wasserstoff ist heute weltweit eine realistische und wirtschaftlich wettbewerbsfähige Option

Kosten für Erneuerbaren Wasserstoff Jahr 2021 (USD / kg)

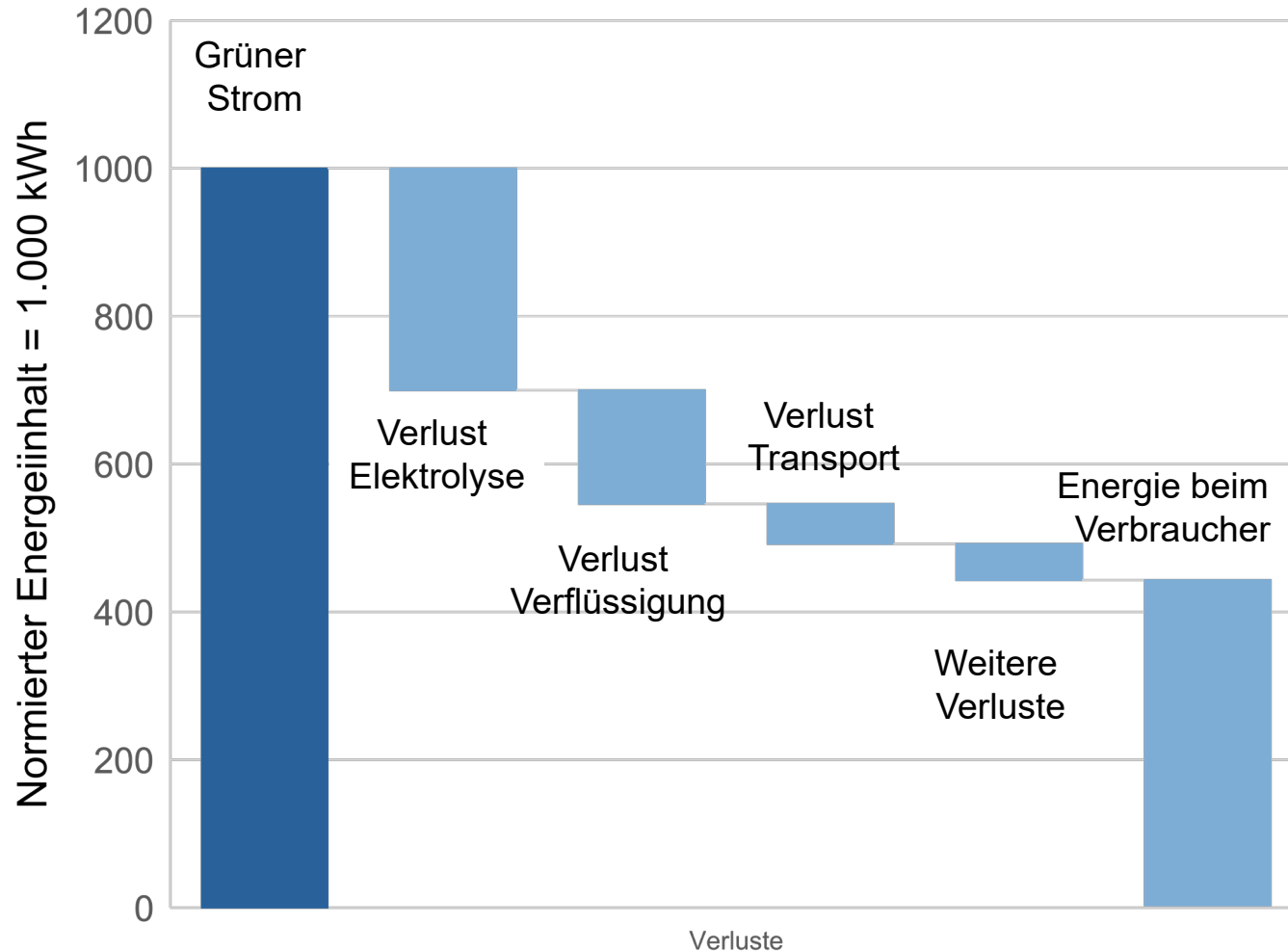


- Wettbewerbsfähige Kosten für grünen Wasserstoff können an sehr guten Wind- und/oder Solarstandorten erreicht werden - allerdings fehlt es noch an der notwendigen Transporthardware (Schiffe, Pipelines).
- Das bestehende Pipelinenetz muss neu ausgerichtet werden (z.B. 350.000 km Erdgasnetz in Deutschland).
- Chance für Deutschland: Der Aufbau von sicheren Lieferländern & Technologieexport.



# Wie teuer ist grüner Wasserstoff?

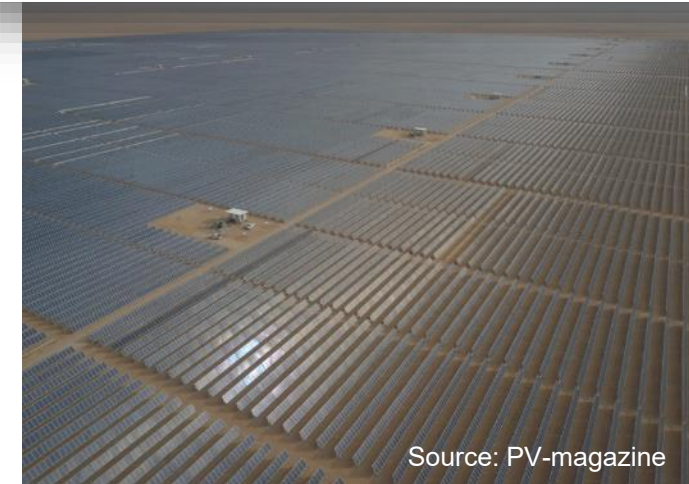
Modellrechnung einer globalen Versorgungskette für das Jahr 2022



## Lowest shortlisted bid in Saudi 1.47 GW tender was \$0.0161/kWh

The shortlisted developers are EDF, Total, ACWA Power, Masdar, First Solar, Marubeni, and Al Blagha Holding.

APRIL 3, 2020 EMILIANO BELLINI



Erzeugt aus PV-Strom im Mittleren Osten für **1 ct/kWh** würde uns grüner Wasserstoff mit ca. **2,5 ct/kWh** erreichen.

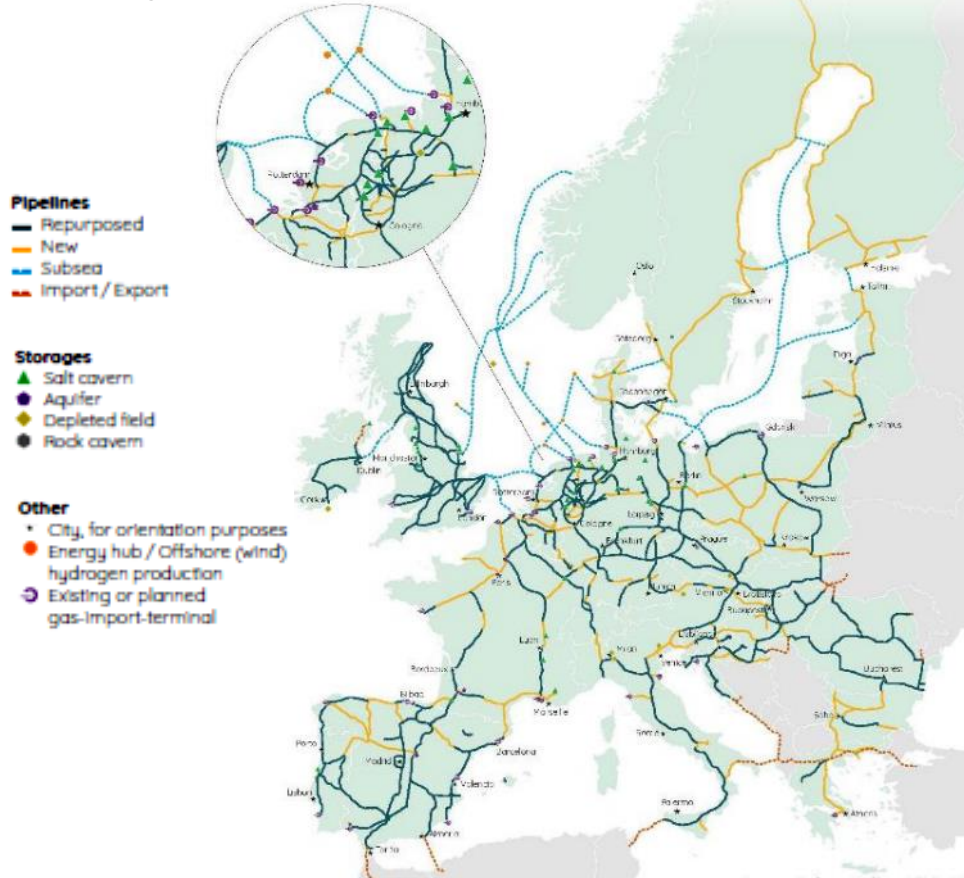
Dies entspricht **44 USD/Barrel Rohöl\***.

\* zuzüglich Kapitalkosten (+30%)

# „European Hydrogen Backbone“

## Kostengünstiger Wasserstoff-Ferntransport über Pipelinenetz

Bis 2040 soll sich eine leistungsfähige Infrastruktur in alle Richtungen erstrecken:



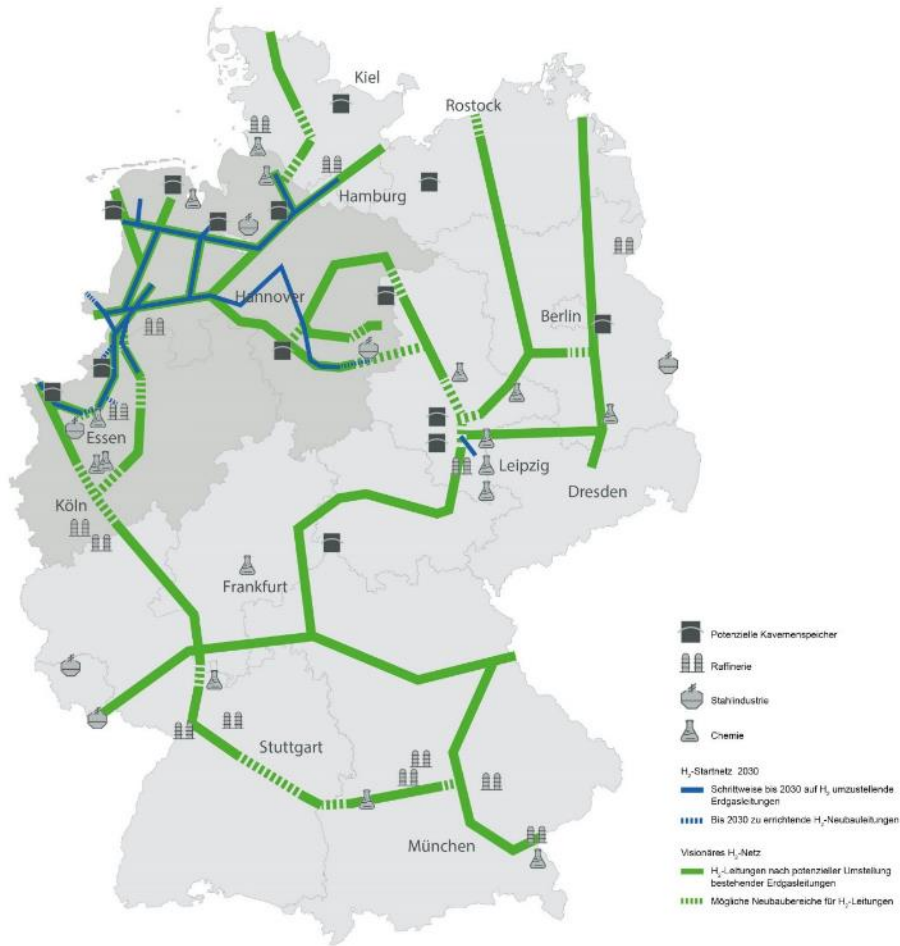
- **Wasserstoff-Transportinfrastruktur**, die Angebot und Nachfrage in Nord-Süd- & West-Ost-Richtung verbindet
- 2030: 28.000 km Leitungsnetz verbindet die Wasserstoffcluster - in Norddeutschland / NRW
- 2040: Netz erstreckt sich in alle Richtungen mit einer Länge **ca. 53.000 km**
- Backbone erfordert bis 2040 geschätzte Gesamtinvestitionen von **80 – 143 Mrd. €**
- 75% umgestellte Erdgasleitungen, 25% neu zu bauende Wasserstoffleitungen
- Transportkosten: **0,11-0,21\* €/kg pro 1.000 km** – kosteneffizienter Ferntransport in Europa

\*über Unterwasserpipelines: 0,17-0,32 €/ kg Wasserstoff pro 1.000 km Transportweg

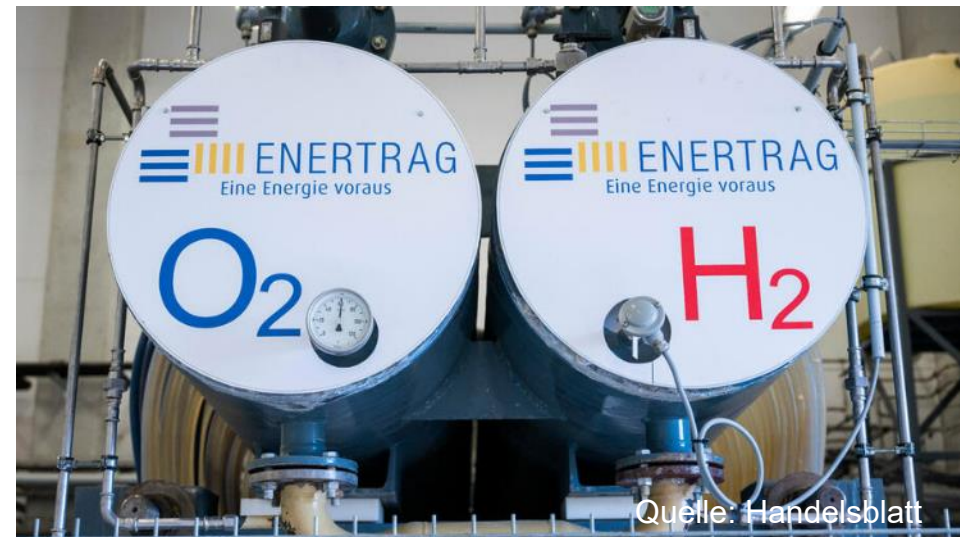
Quelle: European Hydrogen Backbone initiative 2022, supported by Guidehouse

Quelle: European Hydrogen Backbone, 2022

# Das Wasserstoff-Startnetz im Jahr 2030 (Veröffentlicht Juli 2023)



- Gesamtlänge 11.200 Kilometer
- Anschluss Baden-Württemberg über Knoten Lampertheim (Hessen)
- Baden-Württemberg: Hauptleitung SEL bis Deizisau; Verlängerung nach Bayern bereist planfestgestellt



**Disclaimer:** Bei der Karte handelt es sich um eine schematische Darstellung, die hinsichtlich der eingezeichneten Speicher und Abnehmer keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.



# Wasserstoff-Kernnetz: Die Rahmenbedingungen stehen fest!

## Bundeswirtschaftsminister Robert Habeck kündigte am 14.11.2023 an:

- Den Bau eines H<sub>2</sub>-Kernnetz mit insgesamt 9.700 km. Die geplante Ausspeisungskapazität liegt bei 270 Terawattstunden
- Fertigstellung bis 2032 - weniger als 50 % muss neu gebaut werden, 60 % des bestehenden Erdgasnetzes wird umgewidmet
- Baubeginn bereits 2024, bis 2025 soll erster Wasserstoff fließen
- Kosten: 19,8 Mrd. Euro (lt. Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber (FNB))
- Das Netz soll von der Privatwirtschaft errichtet werden – zentrale Rolle spielen dabei die jetzigen Gasfernnetzbetreiber. Der Staat sichert die Investitionen mit ab.
- Finanzieren sollen das Netz Entgelte der künftigen Nutzer
- 30 bis 50 % seines Wasserstoffbedarfs könne Deutschland produzieren, der Rest soll durch Importe über Pipelines oder in Form von Ammoniak per Schiff gedeckt werden. Derzeitige Importabhängigkeiten bei Öl, Gas und Steinkohle liegen bei fast 100 %

Quelle: <https://www.manager-magazin.de/politik/deutschland/robert-habeck-fragen-und-antworten-zum-wasserstoff-kernnetz-a-07d4ccab-93c7-4baf-a02b-128ab4dcc61a>

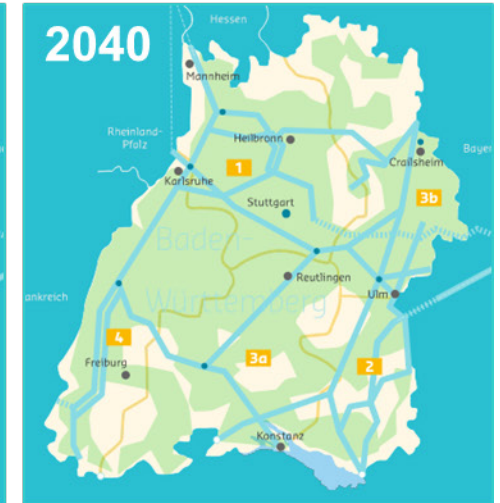


Das geplante H<sub>2</sub> Netz soll Häfen, Industrie, Speicher und Kraftwerke verbinden.

# Deckung des Wasserstoffbedarfs in Baden-Württemberg (I/II)

Pipeline-Erschließung in den Jahren 2030 / 2040 / 2050

Ab 2028/2030 per Pipeline über die genannten Projekte und Ausbaustufen:



— Wasserstofftransportleitungen

■ Versorgungsbereich der Wasserstoffpipeline (über Verteilnetz?)

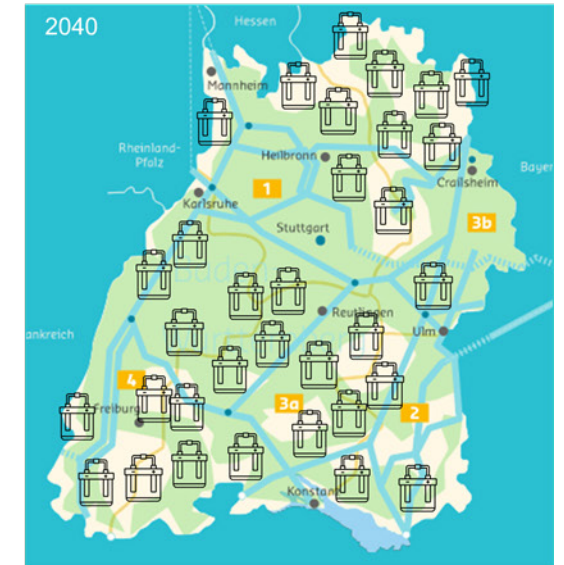
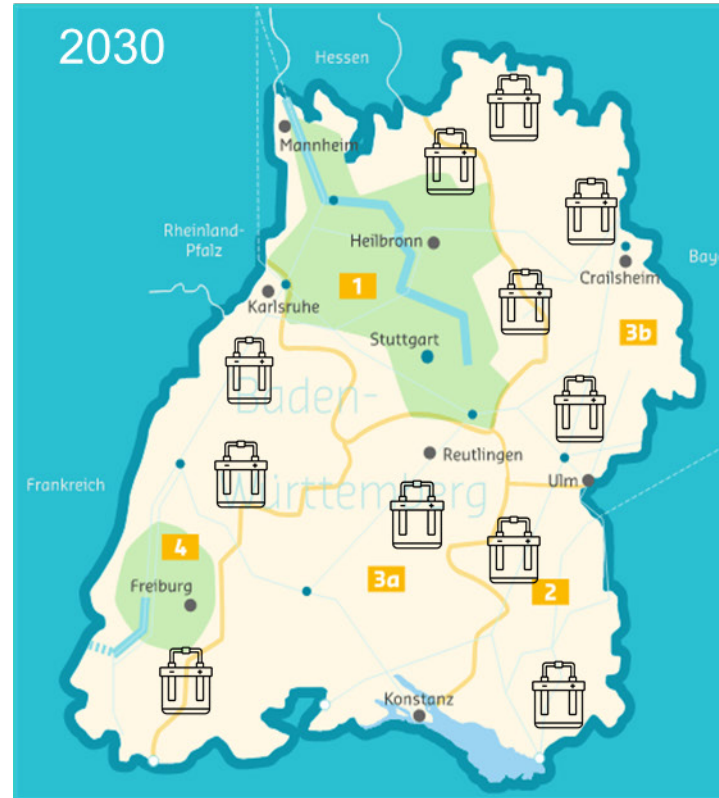
Quelle: <https://www.h2-fuer-bw.de/>



# Deckung des Wasserstoffbedarfs in Baden-Württemberg (II/II)

Pipeline-Transport + Vor-Ort-Erzeugung über Wasserelektrolyse als bevorzugte Option

- Dezentral über H<sub>2</sub>-Hubs mit Vor-Ort-Elektrolyse
- Entwicklung von lokalen Versorgungsstrukturen, die als Cluster starten und perspektivisch zu einer Gesamt-Infrastruktur entwickelt werden



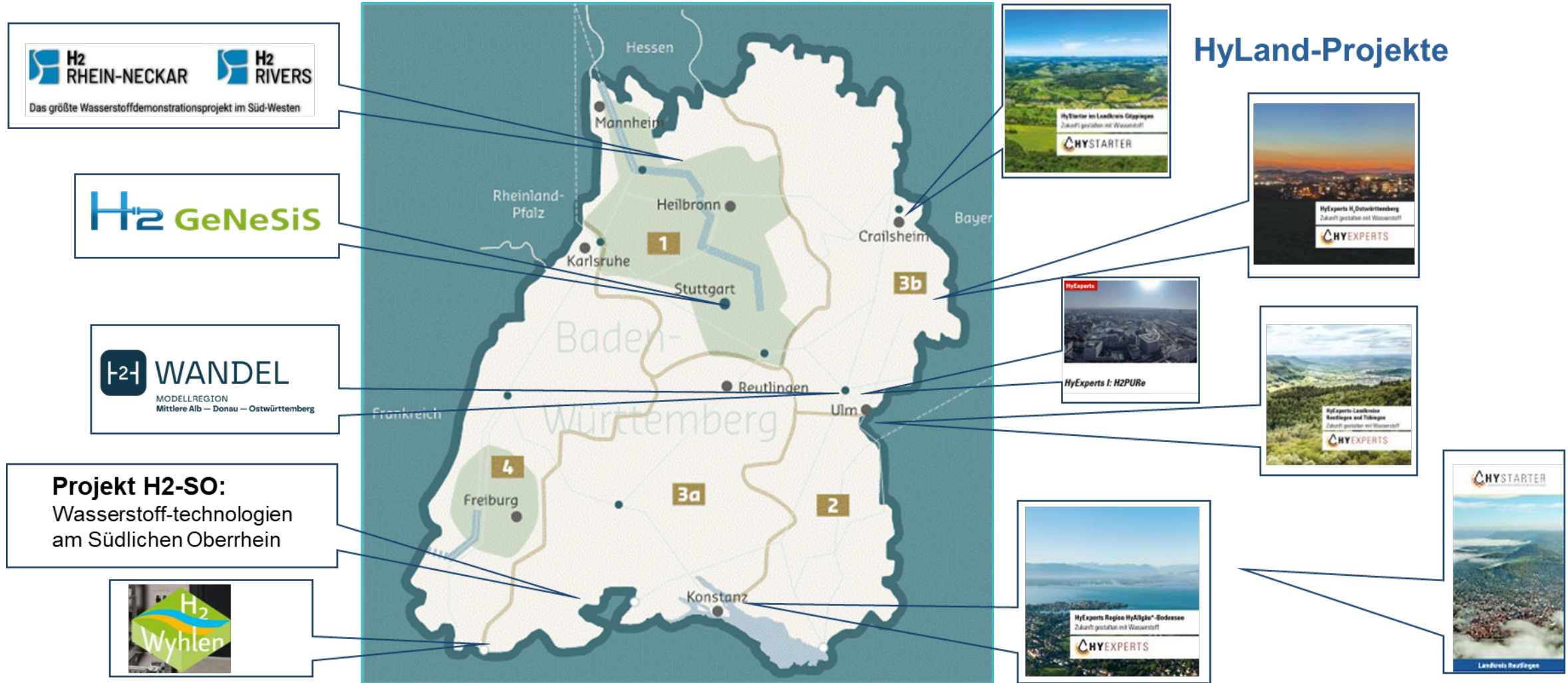
Wasserstofftransportleitungen

Versorgungsbereich der Wasserstoffpipeline (über Verteilnetz?)

Quelle: <https://www.h2-fuer-bw.de/>

# Zahlreiche Schaufensterprojekte Wasserstoff in Baden-Württemberg

Es geht jetzt darum, Technologie zu entwickeln und Akzeptanz zu schaffen





# Was ist mit einem 1 MW-Elektrolyseur bereits möglich?

Nachfrageszenario: Brennstoffzellen-LkW

## Erzeugung durch 1 MW Elektrolyse

- Wirkungsgrad 65 %
  - 6.000 h Volllaststunden p. a.
- 3.900 MWh H<sub>2</sub> pro Jahr  
→ 117 t pro Jahr bzw. 321 kg pro Tag

## Lkw-Flotte

- Verbrauch 8,00 kg / 100 km
  - Jahreslaufleistung von 120.000 km
- 9,6 t H<sub>2</sub> pro Jahr und 40 kg pro Tag (240 Tage) je Lkw  
→ **12 Lkw pro 1 MW Elektrolyse**



1 MW  
Elektrolyse

12 x



Quelle: ZSW-Ergebnisse aus dem Projekt „EcoLyzer“



Ministerium für Umwelt, Klima und  
Energiewirtschaft Baden-Württemberg



# ZUSAMMENFASSUNG



# Zusammenfassung: Wasserstoff in der Energiewende

---

- **Elektrische Energie und Wasserstoff** sind das Rückgrat der globalen Energiewende:
  - Wasserstoff ist die **regionale + globale Komponente** und wird zukünftig weltweit in ausreichenden Mengen verfügbar sein - kostengünstig und in transportfähiger Form.
  - Grüner Strom ist die **regionale Komponente** und wird in Europa über Photovoltaik und Windenergie erzeugt werden.
- **Wasserstoff** wird zukünftig die fluktuierende erneuerbare Energie ausgleichen
  - Tag-/Nacht-Schaukel und Sommer/Winter-Schaukel
  - Wasserstoff ist essentiell für die Industrie und lukrativ für Brennstoffzellen/Schwerlastverkehr
  - Es wird grüner Wasserstoff sein und Deutschland hat genug Wasser für dessen Herstellung
- Wasserstoff wird **ab 2030** in Baden-Württemberg verfügbar sein
  - Notwendig für die Stromerzeugung
  - Chance für den Schwerlastverkehr und die hier ansässige Brennstoffzellenindustrie
- **Modellprojekte** werden Wasserstoff für die Öffentlichkeit sichtbar machen
- **Klimaneutralität bis 2050 ist möglich – der Weg dahin jedoch steinig und kostenintensiv**

# VIELEN DANK FÜR IHR INTERESSE

Prof. Dr. Markus Hölzle

E-Mail: [markus.Hoelzle@zsw-bw.de](mailto:markus.Hoelzle@zsw-bw.de)



Stuttgart



Ulm



Ulm eLaB



Ulm HyFaB



Solartestfeld



Windtestfeld