

# Einführung in grünen Wasserstoff für Nicht-Techniker

Piotr Rudyszyn

13. November 2025 | Lübbenau



# Qualifizierungsverbund in der Lausitz für Erneuerbare Energien



# Kursinhalte

1. Einführung: Warum grüner Wasserstoff wichtig ist
2. Grundlagen: Was ist Wasserstoff? Farbenlehre
3. Erzeugung: Elektrolyse einfach erklärt
4. Grundlagen der Wasserstoffspeicherung
5. Transport und Verteilung
6. Einsatzgebiete von grünem Wasserstoff
7. Beispiele aus der Lausitz
8. Politische & wirtschaftliche Rahmenbedingungen
9. Chancen, Risiken, Mythen
10. Ausblick: Zukunft des grünen Wasserstoffs
11. Abschluss & Feedback



# 1. Warum grüner Wasserstoff wichtig ist



# Warum ist grüner Wasserstoff wichtig?



## Die Rolle im Energiesystem

- Grüner Wasserstoff ergänzt die direkte Elektrifizierung; er ist dort entscheidend, wo direkte Nutzung erneuerbarer Energie technisch oder wirtschaftlich nicht ausreicht.
- **Beitrag zur Energiewende:** Er ermöglicht die Sektorkopplung zwischen Strom, Wärme, Industrie und Verkehr und macht erneuerbare Energie in schwer zu elektrifizierenden Bereichen nutzbar.
- **Bedeutung für den Klimaschutz:** Grüner Wasserstoff kann fossile Brennstoffe ersetzen und dadurch direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen in Industrie, Verkehr und Wärme maßgeblich reduzieren.
- **Energieversorgungssicherheit:** Als speicherbarer und transportabler Energieträger hilft H<sub>2</sub>, Schwankungen von Wind- und Solarstrom auszugleichen und die Versorgung in Dunkelflauten zu stabilisieren.
- **Ressourceneffizienz beachten:** Direkte Nutzung von Ökostrom bleibt meist effizienter; Wasserstoff ist strategisch dort einzusetzen, wo Effizienzverluste akzeptabel sind oder keine Alternative besteht.

- Die globale Erderwärmung schreitet voran, verursacht durch Treibhausgase wie CO<sub>2</sub> aus fossilen Energieträgern.
- Die Energiewende ist notwendig, um Klimaziele zu erreichen und die Abhängigkeit von Öl, Gas und Kohle zu reduzieren.
- Erneuerbare Energien wie Wind und Sonne sind zentrale Bausteine, aber sie brauchen ergänzende Speicher- und Transportlösungen.
- Grüner Wasserstoff gilt als Schlüsseltechnologie, um erneuerbare Energie speicherbar und vielseitig nutzbar zu machen.

# ⚡ Wasserstoff als vielseitiger Energieträger

- Wasserstoff ist ein chemisches Element (H<sub>2</sub>) mit hoher Energiedichte.
- Er kann gespeichert, transportiert und in verschiedenen Sektoren eingesetzt werden:

 **Mobilität:** Brennstoffzellenfahrzeuge, Schwerlastverkehr

 **Industrie:** Stahlproduktion, Chemieprozesse

 **Energie:** Langzeitspeicherung, Rückverstromung

- Wasserstoff kann andere fossile Energieträger ersetzen, direkt oder als Basis für synthetische Kraftstoffe.

## ● Fokus auf „grünen“ Wasserstoff: klimaneutral & zukunftsfähig



- Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse aus Wasser gewonnen – mit Strom aus erneuerbaren Quellen.
- Dabei entstehen keine CO<sub>2</sub>-Emissionen – im Gegensatz zu grauem oder blauem Wasserstoff.
- **Vorteile:**
  - Klimaneutral & nachhaltig
  - Unabhängig von fossilen Rohstoffen
  - Langfristig skalierbar für verschiedene Anwendungen
- Herausforderung: Noch teuer & energieintensiv – aber mit wachsender Nachfrage sinken die Kosten.

## 2. Grundlagen: Was ist Wasserstoff?

### Eigenschaften von Wasserstoff





## Was ist Wasserstoff?

- Element  $H_2$ : leichtestes Gas, energiereich
- Wasserstoff ist das erste Element im Periodensystem – mit nur einem Proton und einem Elektron.
- In seiner molekularen Form ( $H_2$ ) besteht er aus zwei Wasserstoffatomen.
- Es ist das leichteste aller Gase und besitzt eine hohe Energiedichte pro Kilogramm, etwa dreimal so viel wie Benzin.
- Diese Eigenschaft macht ihn besonders interessant als Energieträger.



## Was ist Wasserstoff?

- Eigenschaften: farblos, geruchlos, nicht giftig
- Wasserstoff ist farblos und geruchlos, man kann ihn weder sehen noch riechen.
- Er ist nicht giftig und reagiert unter normalen Bedingungen nicht mit dem menschlichen Körper.
- Allerdings ist er leicht entzündlich und muss sicher gehandhabt werden, ähnlich wie andere Energieträger wie Erdgas oder Benzin.



## Was ist Wasserstoff?

- In der Natur kommt Wasserstoff nicht in reiner Form vor, er ist immer an andere Elemente gebunden, z. B. in Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) oder organischen Verbindungen.
- Um ihn als Energieträger zu nutzen, muss er durch technische Prozesse hergestellt werden:
  - Elektrolyse (aus Wasser)
  - Dampfreformierung (aus Erdgas)
- Die Art der Herstellung entscheidet über die Klimabilanz, daher ist „grüner“ Wasserstoff besonders relevant.

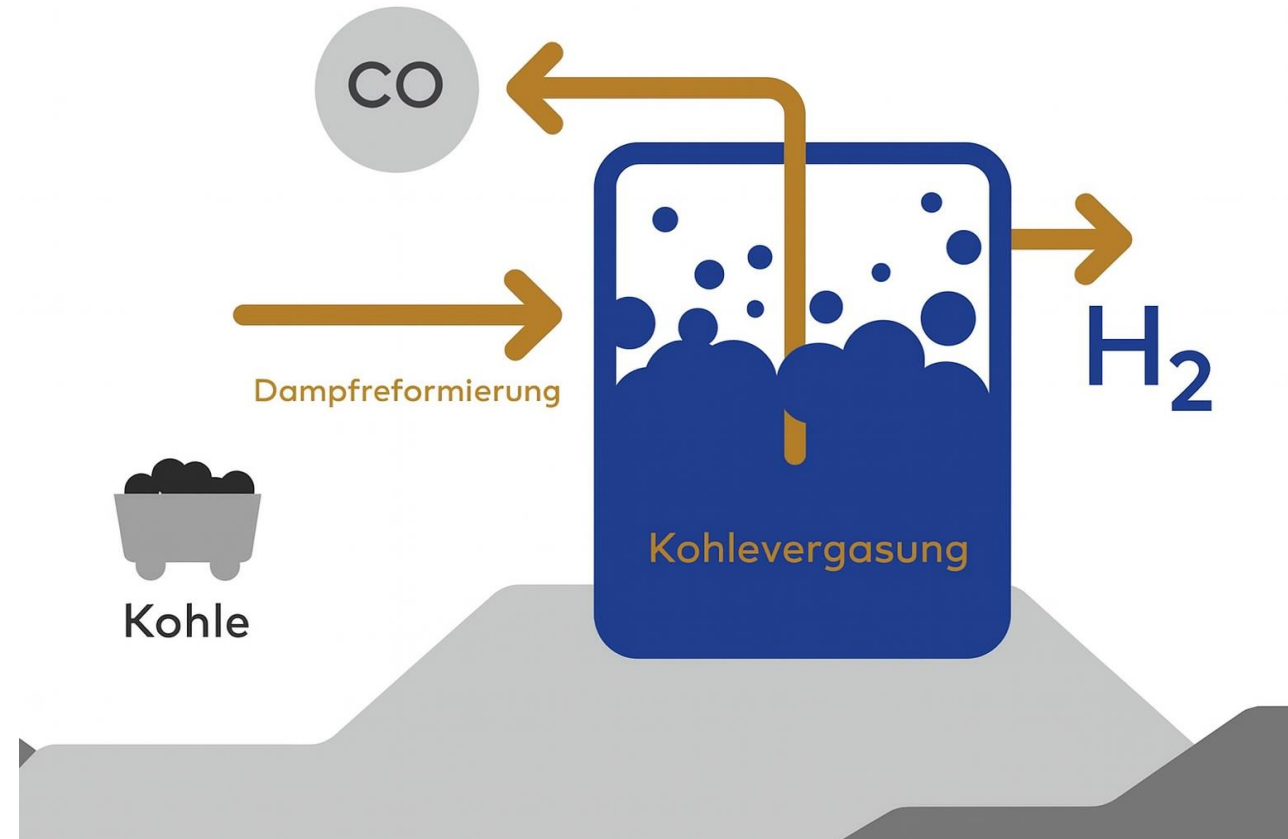
## 2. Grundlagen: Was ist Wasserstoff?

### Die Farbenlehre des Wasserstoffs



# ● Schwarzer/Brauner Wasserstoff

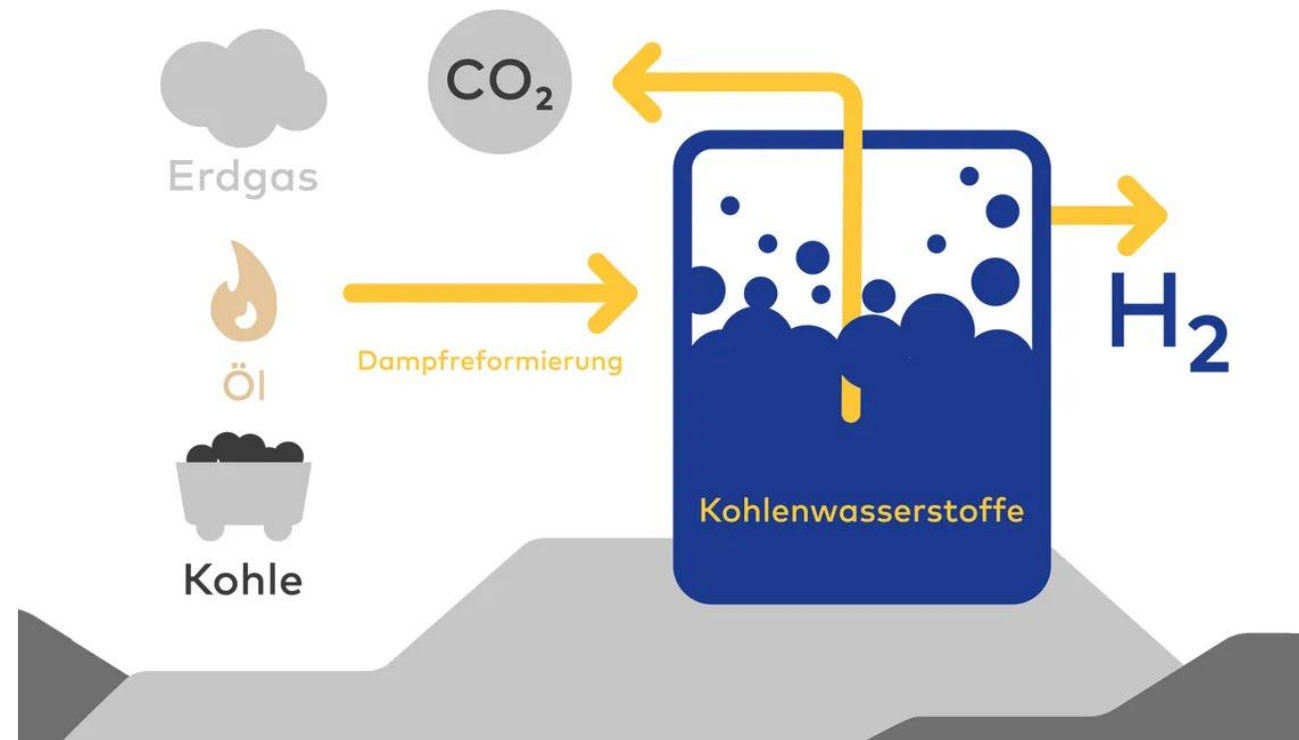
- **Herstellung:** Kohlevergasung – entweder aus Braunkohle (braun) oder Steinkohle (schwarz)
- **CO<sub>2</sub>-Bilanz:** Extrem hoch – bei der Umwandlung entstehen große Mengen CO<sub>2</sub>, die ungenutzt freigesetzt werden
- **Status:** Veraltet – kaum noch relevant für moderne Wasserstoffstrategien
- **Nachteil:** Höchst klimaschädlich, nicht mit Zielen der Energiewende vereinbar



Quelle: KI-generiertes Bild; Copilot

# ● Grauer Wasserstoff

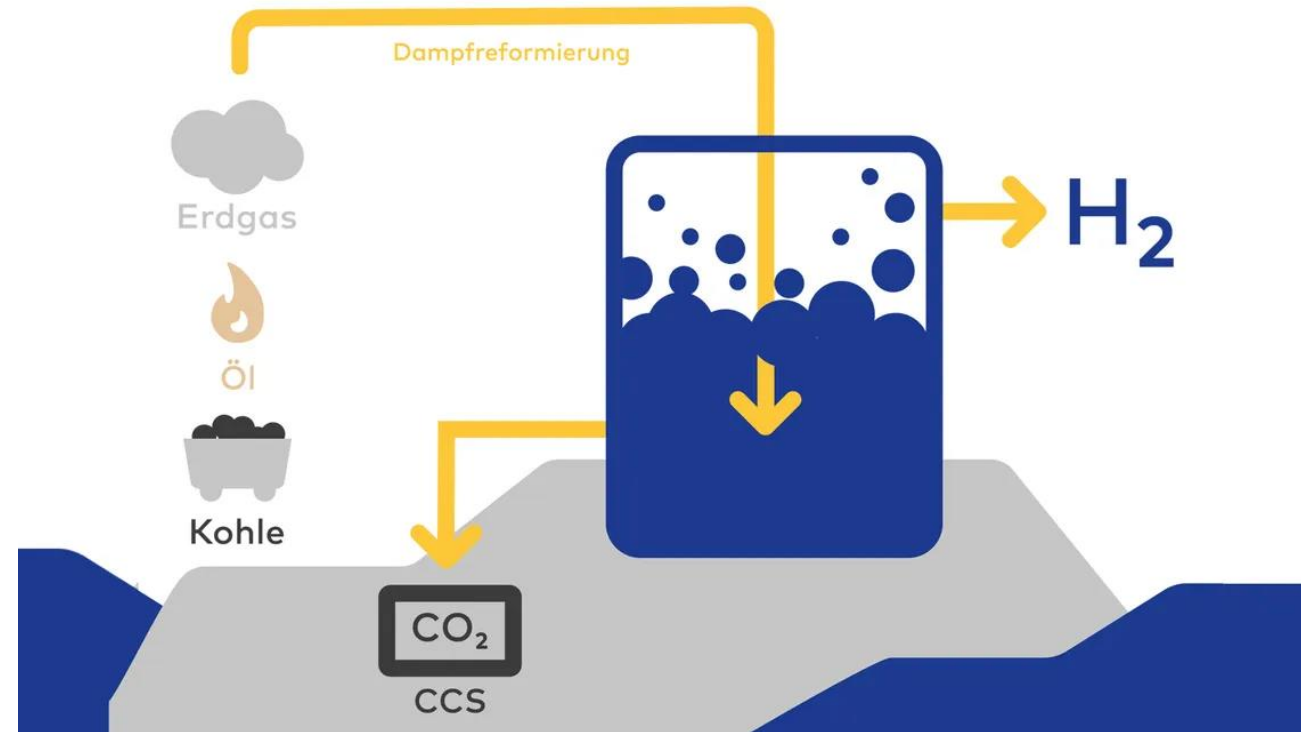
- **Herstellung:** Dampfreformierung aus fossilem Erdgas
- **CO<sub>2</sub>-Bilanz:** Sehr hoch – das entstehende CO<sub>2</sub> wird direkt in die Atmosphäre abgegeben
- **Status:** Derzeit häufigste Produktionsform weltweit
- **Nachteil:** Klimaschädlich, nicht nachhaltig



Quelle: [Die Wasserstoff-Farben – was bedeuten sie? | EnBW](#)

# ● Blauer Wasserstoff

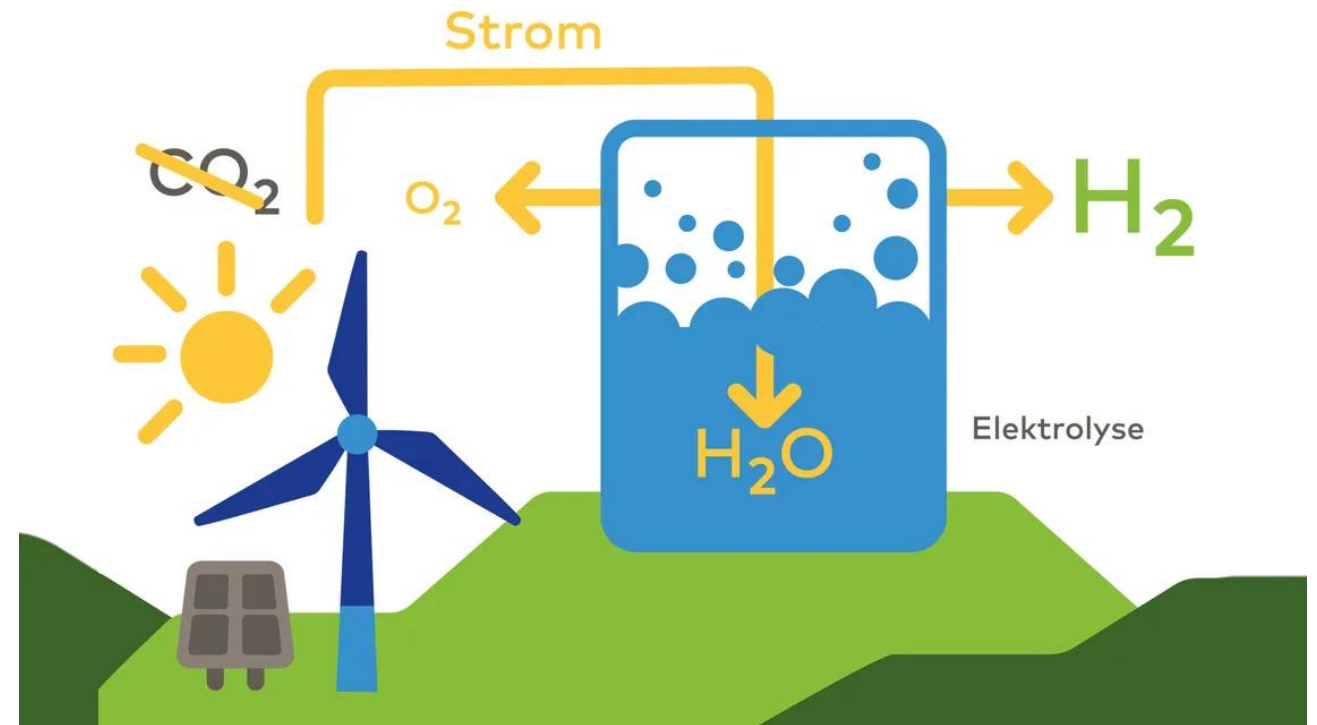
- **Herstellung:** Wie grauer Wasserstoff, aber mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung (Carbon Capture and Storage – CCS)
- **CO<sub>2</sub>-Bilanz:** Reduziert – das CO<sub>2</sub> wird teilweise aufgefangen und gespeichert
- **Status:** Übergangstechnologie
- **Nachteil:** CCS ist teuer und technisch anspruchsvoll



Quelle: [Die Wasserstoff-Farben – was bedeuten sie? | EnBW](#)

# ● Grüner Wasserstoff

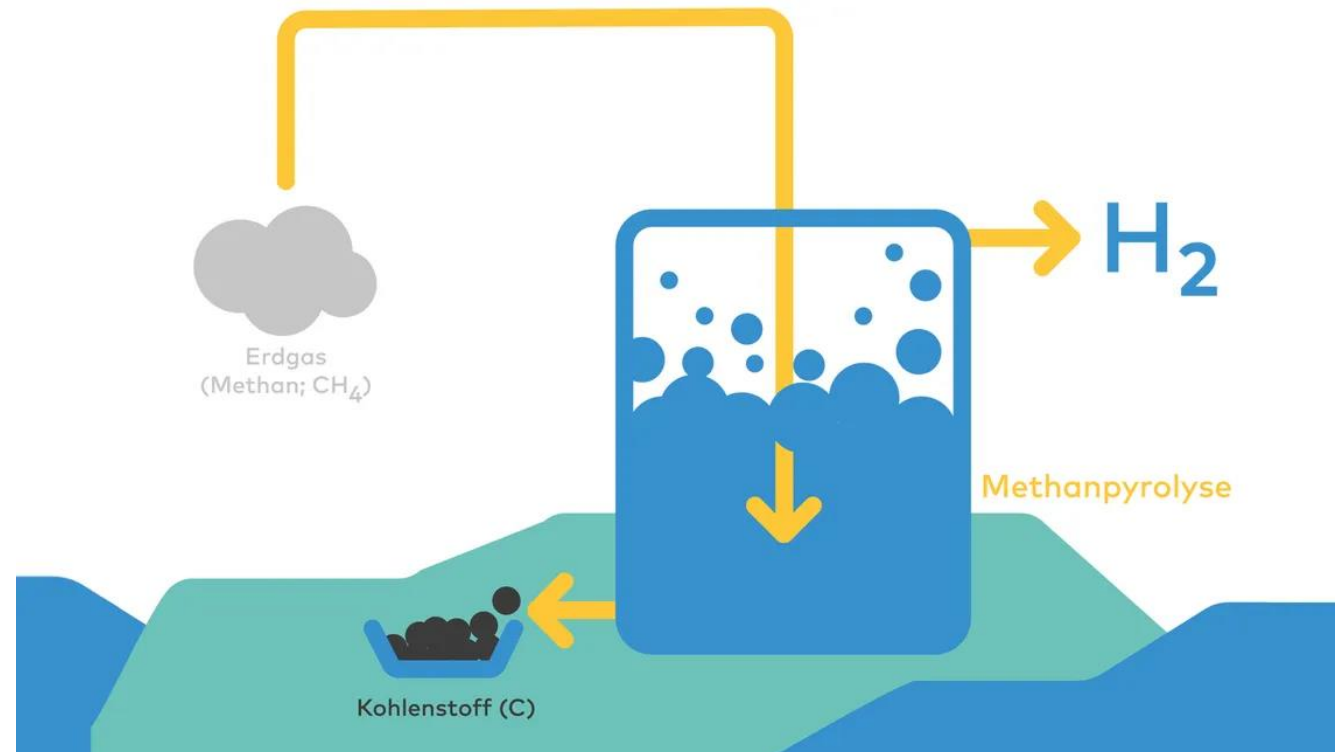
- **Herstellung:** Elektrolyse von Wasser mit Strom aus erneuerbaren Energien (Windkraft, Sonnenenergie, Wasserkraft)
- **CO<sub>2</sub>-Bilanz:** Klimaneutral – keine Emissionen bei der Herstellung
- **Status:** Zieltechnologie der Energiewende
- **Nachteil:** Nachhaltig, zukunftsfähig



Quelle: [Die Wasserstoff-Farben – was bedeuten sie? | EnBW](#)

# Türkiser Wasserstoff

- **Herstellung:** Methanpyrolyse – Spaltung von Methan in Wasserstoff und festen Kohlenstoff
- **CO<sub>2</sub>-Bilanz:** Potenziell klimafreundlich – kein gasförmiges CO<sub>2</sub> entsteht
- **Voraussetzung:** Nutzung erneuerbarer Energie für Prozesswärme
- **Status:** Noch in Entwicklung



Quelle: [Die Wasserstoff-Farben – was bedeuten sie? | EnBW](#)



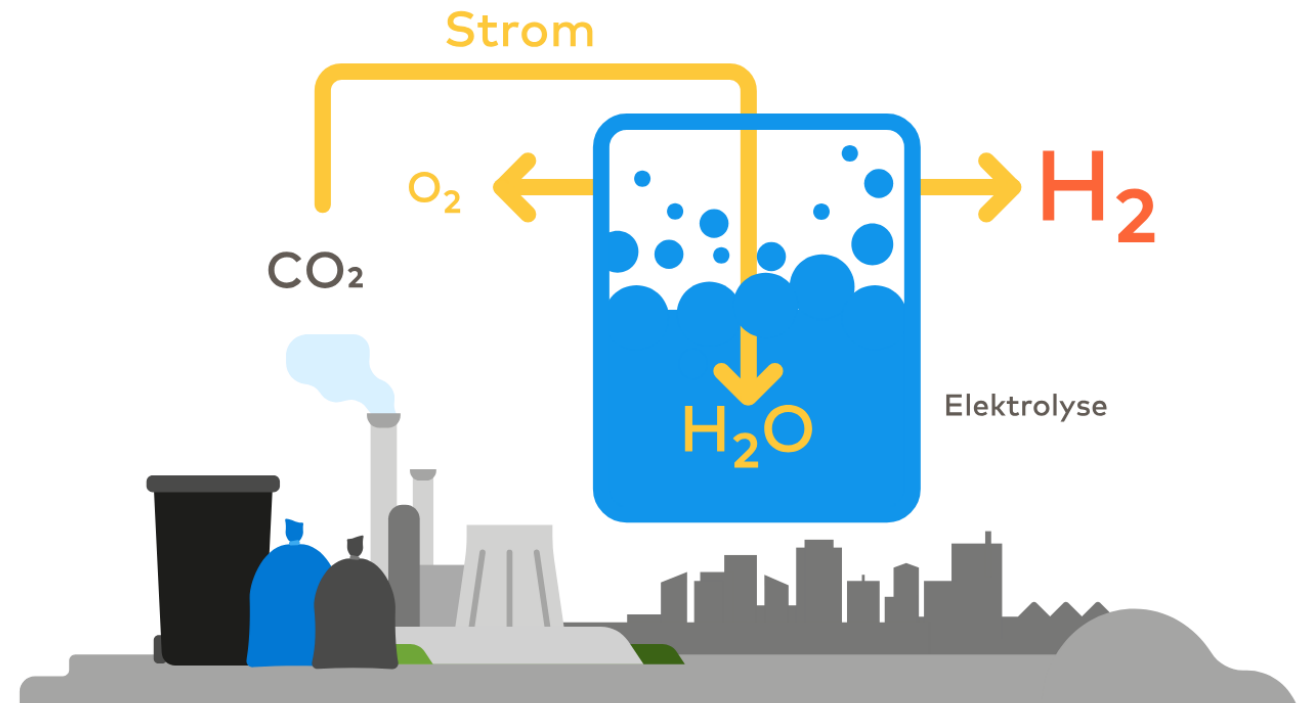
# Oranger Wasserstoff

**Herstellung:** Vergasung oder Vergärung von Biomasse bzw. organischen Abfällen; alternativ Elektrolyse mit Strom aus Biogas- oder Abfallanlagen

**CO<sub>2</sub>-Bilanz:** Variabel; oft besser als fossile Methoden, hängt stark von Input und Prozess ab  
**Status:** Nischen- und Pilotprojekte; relevant für Kommunen und Kreislaufwirtschaft

**Vorteil:** Verwertet Abfälle, reduziert Deponie-/Verbrennungsbedarf, ermöglicht lokale Wertschöpfung

**Nachteil:** Nachhaltigkeit und Effizienz sind fallabhängig; nicht automatisch klimaneutral



Quelle: [Die Wasserstoff-Farben – was bedeuten sie? | EnBW](#)

# Gelber Wasserstoff

- **Herstellung:** Elektrolyse mit Strom aus dem allgemeinen Strommix
- **CO<sub>2</sub>-Bilanz:** Variabel – abhängig vom Anteil fossiler und erneuerbarer Energien im Strommix
- **Status:** Übergangslösung
- **Nachteil:** Nicht eindeutig klimaneutral

# ○ Weißer Wasserstoff



- Wird auch natürlicher Wasserstoff oder geogener Wasserstoff genannt
- **Herstellung:** Natürlich vorkommender Wasserstoff in geologischen Lagerstätten
- **CO<sub>2</sub>-Bilanz:** Unbekannt – kaum erforscht
- **Status:** Forschung läuft – potenziell interessante Quelle
- **Besonderheit:** Keine technische Herstellung nötig

## FAZIT

- Für das langfristige Ziel einer nachhaltigen Energieversorgung ist nur **grüner Wasserstoff** geeignet!
- **Türkiser Wasserstoff** kann eine Rolle spielen, wenn das Recycling des Kohlenstoffs und anderer Reststoffe gelingt.
- In der Einführungsphase kann für den schnellen Aufbau einer Wasserstoff-Wirtschaft **blauer** oder **grauer** Wasserstoff zum Einsatz kommen.  
**ABER:** nur so viel, wie nötig und so wenig, wie möglich!

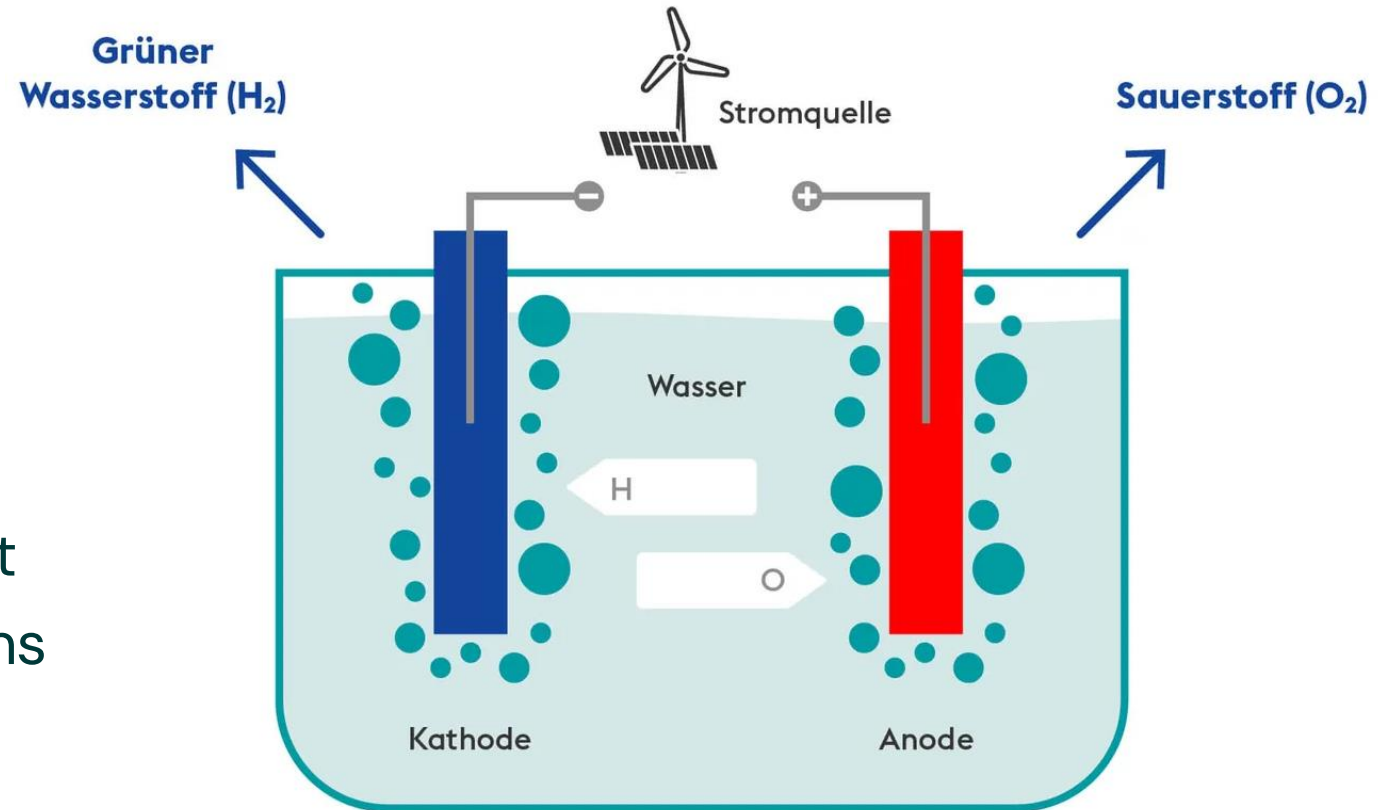
# 3. Erzeugung von grünem Wasserstoff:



Elektrolyse einfach erklärt

# 3. Herstellung von grünem Wasserstoff: Elektrolyse einfach erklärt

- Elektrolyse ist ein chemischer Prozess
- Bei diesem Prozess wird durch elektrischen Strom eine **Redoxreaktion** erzwungen und die elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt
- Wasser ( $H_2O$ ) wird mittels Stroms in Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O$ ) gespalten.



Quelle: <https://www.enercity.de/magazin/unsere-welt/gruener-wasserstoff>

# 3. Herstellung von grünem Wasserstoff



Elektrolyseur mit Reinigungs- und Trocknungsanlage der Power-to-Gas-Anlage der EnBW in Grenzach-Wyhlen (Foto: EnBW) | Quelle: <https://www.enbw.com/unternehmen/themen/wasserstoff/gruener-wasserstoff.html>

# 4. Grundlagen der Wasserstoffspeicherung



- Warum speichern?
- Speicherformen im Überblick



# Warum speichern?

- Wasserstoff wird oft nicht direkt verbraucht, sondern zwischengespeichert
- Batteriesysteme für Langzeitspeicher sind begrenzt und teils ungeeignet
- Wasserstoff macht als ein idealer chemischer Energiespeicher Erneuerbare Energien grundlastfähig!
- Wasserstoff ist vor allem für großvolumige, saisonale Speicherung und als Systempuffer sinnvoll



# Speicherformen im Überblick:

## Druckspeicher:

- Wasserstoff wird bei 200–700 bar in Tanks gespeichert
- Einsatz z. B. in Fahrzeugen und Industrie

## Flüssigwasserstoff:

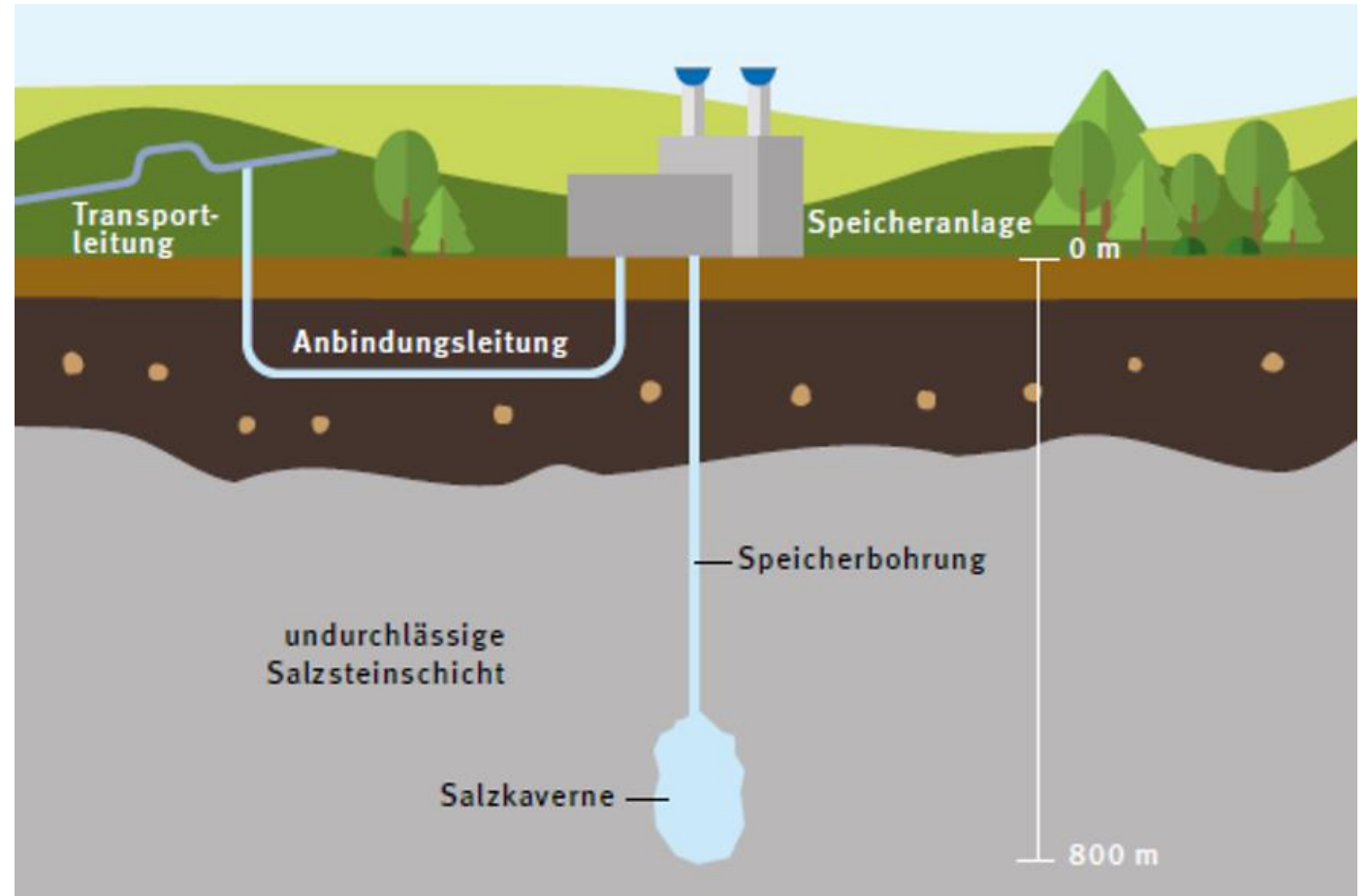
- Speicherung bei  $-253\text{ °C}$
- Hohe Energiedichte, aber energieintensive Kühlung



# Speicherformen im Überblick:

## Salzkavernen:

- Definition: Künstlich geschaffene Hohlräume im Salzgestein durch Bergbau.
- Vorteile: Sehr schnelle Ein- und Ausspeicherraten. Besonders geeignet für kurzfristige Speicherbedarfsdeckung. Hohe geologische Sicherheit.
- Einsatzbereiche: Weltweit etabliert zur Erdgasspeicherung.
- Erste erfolgreiche Pilotprojekte zur Wasserstoffspeicherung.



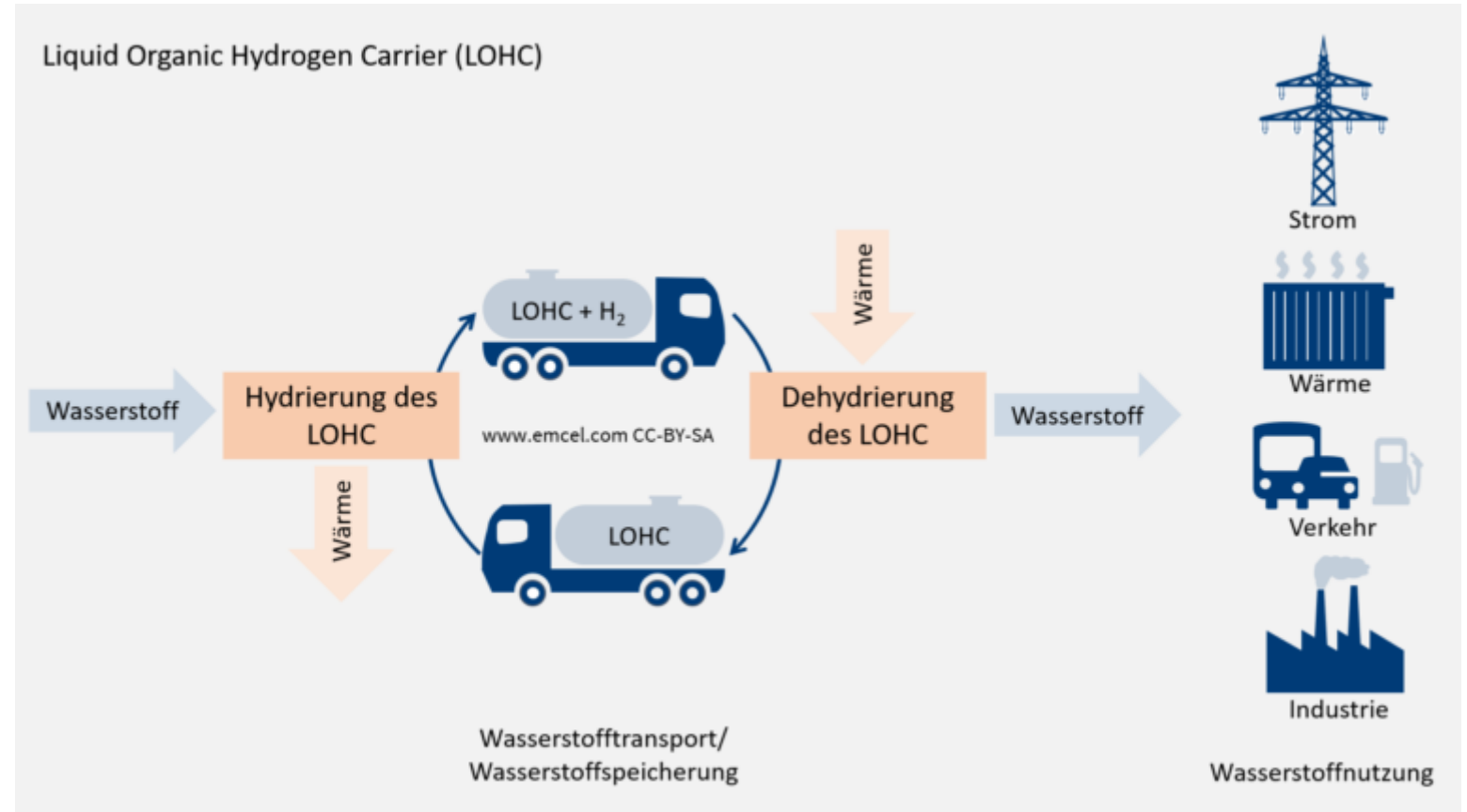
© farbsalon



# Speicherformen im Überblick:

## LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers):

- Flüssige Trägersubstanz, in der Wasserstoff chemisch gebunden und sicher transportiert werden kann.
- Vorteil: keine Hochdruck- oder Tieftemperaturtechnik nötig
- Sicher und verlustarm, aber komplexe Rückgewinnung



Quelle: <https://emcel.com/de/lohc-wasserstoffspeicher/>



## Speicherung: Herausforderungen



### Technische Herausforderungen:

- Hoher Energieaufwand bei Verflüssigung und Rückverstromung → beeinflusst die Wirtschaftlichkeit
- Materialanforderungen bei Druck und Reinheit
- Geologische Voraussetzungen für Kavernen nicht überall gegeben, Transportkosten für entfernte Standorte hoch

### Sicherheitsaspekte:

- Wasserstoff ist leicht entzündlich und damit eine Gefahrenquelle
- Dichte und Leckagen müssen überwacht werden (Leckprävention)
- Normen und Standards sind im Aufbau

### Skalierung & Zeitplanung:

- Langfristiger Ausbau erfordert frühzeitige Planung und Finanzierungsmodelle



## Speicherung: Lösungen / Handlungsansätze



- **Technologie-Mix:** Kombination von Kurzzeit-Speichern (Batterien) und Langzeitspeichern (H<sub>2</sub>-Kavernen/LOHC) je nach Bedarf
- Standardisierte Speichermodule und modulare Konzepte zur Senkung der Kosten und Beschleunigung des Ausbaus
- Forschung an Effizienzsteigerungen (Elektrolyse, Kompression, Verflüssigung, Rückverstromung) fördern
- Sicherheitskonzepte und Reinheitsstandards national/EU-weit vereinheitlichen und durch Monitoring absichern
- Regionale Speicher-Hubs planen, um Logistikketten zu verkürzen und Synergien mit Industrie anzubinden

# 5. Transport und Verteilung



© Malp, Adobestock



# Transport von Wasserstoff

## **Pipelines:**

- Für große Mengen und kurze bis mittlere Distanzen die effizienteste Lösung
- Bestehende Erdgasleitungen können teilweise umgerüstet werden
- Geplantes Wasserstoff-Kernnetz in Deutschland: ca. 9.700 km bis 2032

## **Lkw-Transport:**

- Flexibel für kleinere Mengen und dezentrale Versorgung
- Druckgas-Trailer (200–700 bar) oder Flüssigwasserstoff-Tanks ( $-253\text{ °C}$ )
- Einsatz z. B. für Tankstellen, Forschungseinrichtungen, Pilotprojekte

Genehmigtes  
Wasserstoffkernnetz  
22. Oktober 2024



Quelle:  
<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/Kernnetz/start.html>



# Transport von Wasserstoff

## Schiffstransport:

- Für internationale Importe aus sonnenreichen Ländern wie Namibia, Chile oder Australien
- Transport als verflüssigter Wasserstoff, Ammoniak oder Methanol
- Erfordert spezielle Hafeninfrastuktur und Rückumwandlungstechnologien



© HySTRA – Susio Frontier

## LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier):

- Wasserstoff wird chemisch gebunden und wie Flüssigkeit transportiert
- Vorteil: keine Hochdruck- oder Tieftemperaturtechnik nötig
- Nachteil: Energieaufwand für Rückgewinnung



# Verteilung & Infrastruktur



## Regionale Netze:

- Anbindung von Industrie, Mobilität und Rückverstromung
- Verteilnetze müssen mit Strom- und Gasnetzen koordiniert werden

## Tankstellen & Endverbraucher:

- Aufbau von H<sub>2</sub>-Tankstellen für Busse, Lkw und Pkw
- Integration in bestehende Logistiksysteme und Ladeinfrastruktur



Wasserstofftankstelle in Erlangen © H2 MOBILITY Deutschland



# Verteilung & Infrastruktur



## Rechtliche Rahmenbedingungen:

- Nationale und EU-weite Standards für Sicherheit, Qualität und Zertifizierung
- Informationspflichten, Netzanschlussregeln und Herkunftsnachweise sind im Aufbau

## Internationale Kooperation:

- Importstrategie Deutschlands setzt auf Partnerschaften mit Exportländern
- Ziel: Versorgungssicherheit und Diversifizierung der Bezugsquellen  
[bundeswirtschaftsministerium.de](https://www.bundeswirtschaftsministerium.de)

# ! Herausforderungen beim Wasserstofftransport QLEE

- **Fehlende Infrastruktur:** Aktuell gibt es nur wenige Wasserstoffleitungen und kaum flächendeckende Transportnetze. Der Aufbau eines Wasserstoff-Kernnetzes ist noch in Planung.
- **Kostenintensiver Ausbau:** Der Bau neuer Pipelines oder die Umrüstung bestehender Erdgasleitungen ist teuer und technisch anspruchsvoll. Auch Tankfahrzeuge und Hafenanlagen müssen angepasst werden.
- **Technische Anforderungen:** Wasserstoff ist das kleinste Molekül und diffundiert leicht durch Materialien. Das stellt hohe Anforderungen an Dichtungen, Werkstoffe und Sicherheitstechnik.

# ! Herausforderungen beim Wasserstofftransport QLEE

- **Energieaufwand bei Verflüssigung:** Flüssigwasserstoff muss auf  $-253\text{ °C}$  gekühlt werden – das kostet viel Energie und macht den Transport aufwendig.
- **Fehlende Standards & Zertifikate:** Einheitliche Regeln für Qualität, Sicherheit und Herkunftsnachweise fehlen teilweise noch – besonders bei internationalen Transporten.
- **Importabhängigkeit & Logistik:** Deutschland wird langfristig auf Importe angewiesen sein. Dafür braucht es globale Lieferketten, sichere Häfen und Rückverwandlungstechnologien (z. B. bei Ammoniak).

# ✓ Lösungsansätze für sicheren und effizienten QLEE Transport

- **Wasserstoff-Kernnetz aufbauen:** Die Bundesnetzagentur plant ein überregionales Leitungsnetz mit rund 9.700 km bis 2032. Es soll Industriezentren, Speicher und Importpunkte verbinden.
- **Bestehende Gasleitungen umrüsten:** Viele Erdgasleitungen können technisch für Wasserstoff angepasst werden – das spart Zeit und Kosten.
- **Technologie-Mix nutzen:** Je nach Bedarf: Pipelines für Großmengen, Lkw für dezentrale Versorgung, Schiffe für internationale Importe, LOHC für sichere Flüssigtransporte.

# ✓ Lösungsansätze für sicheren und effizienten QLEE Transport

- **Internationale Partnerschaften stärken:** Kooperationen mit Exportländern wie Namibia, Chile oder Australien sichern langfristige Versorgung und fördern gemeinsame Standards.
- **Forschung & Innovation fördern:** Neue Materialien, effizientere Verflüssigungstechniken und sichere Speicherlösungen werden entwickelt – z. B. durch IPCEI Hydrogen und den EU-Innovationsfonds.
- **Regulatorik harmonisieren:** Einheitliche Sicherheits-, Qualitäts- und Zertifizierungsstandards auf EU-Ebene schaffen Vertrauen und erleichtern den grenzüberschreitenden Handel.

# 6. Einsatzgebiete von grünem Wasserstoff



**Mobilität**



**Industrie**



**Energieversorgung**



**Fernwärme**



**Ammoniak**



## Welche Rolle kann Wasserstoff im Verkehr spielen?



- **Kernidee:** Wasserstoff als klimaneutraler Energieträger für Verkehrsanwendungen, in denen Batterieelektrik begrenzt ist.
- **Straßenverkehr:** Sinnvoll für schwere Nutzfahrzeuge und Busse mit langen Reichweiten und schnellen Betankungsanforderungen.
- **Schiene:** Potenzial für nicht-elektrifizierte Bahnstrecken als Alternative zu Diesel-Loks.
- **Schifffahrt:** Einsatz für Kurz- und Binnenschifffahrt sowie perspektivisch für größere Schiffe als Energiespeicher/Antrieb.
- **Luftfahrt:** Primär nicht als volumeneffizienter Flugtreibstoff direkt geeignet; relevant als Ausgangsstoff für synthetische Flugtreibstoffe (e-Kerosin).
- **Synthetische Kraftstoffe:** H<sub>2</sub> dient als Rohstoff zur Herstellung von e-Fuels, wenn direkte Elektrifizierung nicht möglich ist.
- **Kernaussage:** Ergänzt Batterieelektrik; besonders relevant für Anwendungen mit hoher Energiedichte-Anforderung oder langer Reichweite.



# Welche Rolle kann Wasserstoff im Verkehr spielen?



QLEE

## Vorteile, Grenzen und Infrastrukturbedarf

- **Vorteile:** Schnelle Betankung, hohe Reichweiten, geringes Fahrzeuggewichtsvorteil gegenüber Batteriesystemen bei Langstreckenlasten.
- **Grenzen:** Geringere Well-to-Wheel-Effizienz als Batterieelektrik; Volumen- und Platzbedarf bei Tanks und bei flüssigen/komprimierten Formen.
- **Technische Herausforderungen:** Tanksysteme, Brennstoffzellentechnik, Sicherheit bei Lagerung und Betankung sowie Lebenszyklusanalyse für Klimabilanz.
- **Infrastruktur:** Ausbau von Produktion (grüner H<sub>2</sub>), Verteilnetz, Tankstellen und Logistik ist erforderlich; Koordination von Energie- und Verkehrsplanung nötig.
- **Politik & Markt:** Förderrahmen, THG-Quoten und Investitionssicherheit sind entscheidend für Skalierung und Markthochlauf.
- **Sinnvolle Strategie:** Priorität für Batterieelektrik im PKW-Segment; H<sub>2</sub>-Fokus auf Schwerverkehr, Schifffahrt, nicht-elektrifizierte Schienen und e-Fuels-Produktion.



## Welche Rolle spielt Wasserstoff in der Industrie?



- **Kernfunktion:** Erneuerbarer Rohstoff und Brennstoff für Prozesse, die sich nicht effizient direkt elektrifizieren lassen
- **Schlüsselbranchen:** Stahl- und Chemieindustrie; Teile der Glas-, Zement- und Prozessindustrie
- **Prozessumstellung:** Ersatz fossiler Reduktionsmittel (z. B. Kohle/Erdgas) durch H<sub>2</sub>-basierte Direktreduktion ermöglicht deutliche CO<sub>2</sub>-Reduktion
- **Rohstoffnutzung:** H<sub>2</sub> als Ausgangsstoff für Synthesen (z. B. Ammoniak, Methanol, e-Kraftstoffe) statt fossiler Feedstocks
- **Einsatz als Brennstoff:** In Hochtemperaturprozessen, wo elektrische Alternativen technisch oder wirtschaftlich begrenzt sind



## Welche Rolle spielt Wasserstoff in der Industrie?



- **Ergänzung zur Elektrifizierung:** Erneuerbarer Strom vorrangig direkt nutzen; H<sub>2</sub> gezielt dort verwenden, wo Direktnutzung nicht praktikabel ist
- **Flexibilität & Versorgungssicherheit:** H<sub>2</sub> kann als Langzeitspeicher und Puffer dienen, um Produktion in Dunkelflauten zu sichern
- **Technologische Übergänge:** Kurz- bis mittelfristig Mischformen (Erdgas + H<sub>2</sub>, blau/ türkise Ansätze) möglich; langfristig Ziel: grüner H<sub>2</sub>-Betrieb
- **Wirtschaftliche Voraussetzung:** Ausbau von Elektrolysekapazitäten, Infrastruktur und klare Rahmenbedingungen zur Steuerung von Investitionen



## Branchen mit frühem Umstieg:

- **Stahlindustrie:** Grüner Wasserstoff ersetzt Kohle in Direktreduktion
- **Chemieindustrie:** Einsatz als Grundstoff für Ammoniak, Methanol, E-Fuels
- **Schwerlastverkehr & Luftfahrt:** Alternative zu fossilen Kraftstoffen
- **Raffinerien & Glasindustrie:** Prozesswärme und Dekarbonisierung

## Preisentwicklung:

- Aktuell: **4,8–13,2 €/kg** je nach Region und Infrastruktur
- Wirtschaftlich attraktiv ab **~2–3 €/kg**, voraussichtlich ab **2035+**
- Einflussfaktoren: Strompreis, Netzanbindung, Skaleneffekte



## Nutzung von grünem Wasserstoff in der Energieversorgung?



QLEE

### **Einsatzbereiche:**

- Rückverstromung in Gaskraftwerken zur Netzstabilisierung bei Dunkelflauten
- Langzeitspeicher für erneuerbare Energien (z. B. Windüberschuss im Sommer, Nutzung im Winter)
- Ergänzung zur Batterie- und Pumpspeichertechnik

### **Vorteile:**

- CO<sub>2</sub>-freie Stromerzeugung bei Nutzung von grünem Wasserstoff
- Versorgungssicherheit bei wetterabhängiger Stromerzeugung
- Flexibel einsetzbar in bestehenden Kraftwerksstrukturen

### **Beispiel:**

- Umrüstung von Erdgas-Kraftwerken auf H<sub>2</sub>-Betrieb (z. B. Projekte in Hamburg oder Leipzig)

**Kernaussage:** Grüner Wasserstoff macht das Stromsystem resilient und ergänzt andere Speicherformen – besonders für saisonale Engpässe.

- **Rückverstromung:** H<sub>2</sub> kann in Gasturbinen, Gaskraftwerken, Brennstoffzellen oder in konzipierten H<sub>2</sub>-Oxyfuel-Anlagen wieder zu Strom gemacht werden.
- **Systemrolle:** Bereitstellung von Netzreserve, Spitzenlast und schneller Leistungsbereitstellung zur Sicherung der Versorgungssicherheit.
- **Wirkungsgrad:** Kombination Elektrolyse → Speicherung → Rückverstromung führt zu deutlichen Umwandlungsverlusten; deshalb gezielter Einsatz für saisonalen Bedarf und Systemdienstleistungen.
- **Kombination mit anderen Speichern:** Ergänzt Batterien und Pumpspeicher; wirtschaftliche Sinnhaftigkeit hängt von Dauer, Menge und zeitlicher Lage des Speicherbedarfs ab.
- **Forschung & Demonstration:** Laufende Projekte untersuchen effiziente Verbrennungs- und Gasturbinentechniken sowie H<sub>2</sub>-Oxyfuel-Konzepte für höhere Effizienz und geringe Emissionen.



# Wasserstoff in der Fernwärmeversorgung



QLEE

## Einsatzmöglichkeiten:

- Beimischung von Wasserstoff in bestehende Wärmenetze
- Nutzung in KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung) zur gleichzeitigen Strom- und Wärmeerzeugung
- Dekarbonisierung von Fernwärme in Städten mit hohem Wärmebedarf

## Vorteile:

- Reduktion fossiler Brennstoffe in der Wärmeversorgung
- Nutzung bestehender Infrastruktur (Leitungen, Wärmespeicher)
- Beitrag zur kommunalen Klimastrategie

## Beispiel:

- Pilotprojekte in Berlin und Essen zur H<sub>2</sub>-Einspeisung in Fernwärmenetze;  
Versuchsanlage in Zittau vereint Elektrolyseur und Wärmepumpe

**Kernaussage:** Wasserstoff kann Fernwärme klimafreundlich machen – besonders in dicht besiedelten Regionen mit hohem Wärmebedarf.

# NH<sub>3</sub> Grüner Wasserstoff als Ausgangsstoff für Ammoniak



## Hintergrund:

- Ammoniak (NH<sub>3</sub>) wird weltweit in großen Mengen für Düngemittel und Industrie produziert
- Bisher meist mit „grauem“ Wasserstoff aus Erdgas – hoher CO<sub>2</sub>-Ausstoß

## Grüner Weg:

- Nutzung von grünem Wasserstoff in der Haber-Bosch-Synthese
- CO<sub>2</sub>-freie Ammoniakproduktion für Landwirtschaft und Industrie

## Vorteile:

- Dekarbonisierung eines der größten industriellen Chemieprozesse
- Potenzial für klimafreundliche Düngemittel und synthetische Kraftstoffe
- Ammoniak als Transportmedium für Wasserstoff (leicht verflüssigbar)

## Beispiele:

- Projekte in Norwegen, Australien und Niedersachsen zur grünen Ammoniakproduktion

**Kernaussage:** Grüner Wasserstoff macht Ammoniak klimaneutral – mit globaler Wirkung für Landwirtschaft und Energieexport.

## 7. Beispiele aus der Lausitz

- GreenHyBB
- LEAG – GigawattFactory
- RefLau



## **GreenHyBB – Grüner Wasserstoff für Brandenburg**

- **Projektpartner:** EnBW, VNG, ONTRAS
- **Ziel:** Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft in der Lausitz
- **Fokus:** Erzeugung mit erneuerbarem Strom, Netzanbindung, industrielle Nutzung
- **Besonderheit:** Kombination aus Infrastrukturplanung und Standortentwicklung
- Quelle: <https://www.enbw.com/greenhybb/>

## **LEAG – GigawattFactory & Wasserstoffstrategie**

- **Standort:** Industriepark Schwarze Pumpe
- **Ziel:** Produktion und Speicherung von grünem Wasserstoff im Gigawattmaßstab
- Nutzung: Strommarkt, Industrie, Mobilität
- **Langfristige Vision:** Aufbau einer vollständigen Wertschöpfungskette
- Quelle: <https://www.leag.de/de/gigawattfactory/wasserstoff/>

## **RefLau – Referenzkraftwerk Lausitz**

**Ziel:** RefLau soll zeigen, wie grüner Wasserstoff als Langzeitspeicher für erneuerbare Energien genutzt werden kann und gleichzeitig Strom, Wärme, Industrie und Verkehr miteinander koppelt.

**Standort:** Industriepark Schwarze Pumpe (Spremberg), im Grenzgebiet zwischen Brandenburg und Sachsen

**Projektpartner:** Fraunhofer IEG, ENERTRAG, Energiequelle GmbH, Zweckverband Industriepark Schwarze Pumpe

**Förderung:** 28,5 Mio. € vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen der Reallabore der Energiewende

### **Technologischer Fokus:**

- Erzeugung von grünem Wasserstoff aus Wind- und Solarstrom
- Nutzung als Speicher und zur Rückverstromung
- Integration in Wärmeversorgung und industrielle Prozesse
- Demonstration der Sektorkopplung in einem realen Kraftwerksbetrieb

**Besonderheit:** RefLau dient als Modell für die Umstellung konventioneller Kraftwerksstandorte auf klimaneutrale Technologien und soll neue Wertschöpfungspotenziale für die Lausitz erschließen

<https://www.reflau.com/>

## 8. Politische & wirtschaftliche Rahmenbedingungen



- **Nationale Strategie & Gesetzgebung**
  - Wirtschaftliche Instrumente
  - Infrastrukturplanung
- **Rahmenbedingungen auf EU-Ebene**
  - Europäische Wasserstoff-Strategie
  - Grenzüberschreitende Kooperationen
  - EU-Förderung und Marktmechanismen
  - Regulatorische Entwicklungen

## **Nationale Wasserstoffstrategie (2020, aktualisiert 2023):**

- Ziel: Klimaneutralität bis 2045, Wasserstoff als Schlüsseltechnologie
- Fortschreibung 2023: Ausbau der Elektrolysekapazität auf 10 GW bis 2030
- Fokus: Industrie, Schwerverkehr, Energieversorgung, internationale Importe

## **Wasserstoff-Beschleunigungsgesetz (2025):**

- Vereinfachung von Genehmigungsverfahren
- Digitalisierung von Zulassungsprozessen
- Fokus auf gesamte Lieferkette: Erzeugung, Transport, Nutzung

## Wirtschaftliche Instrumente

- **Förderprogramme:**
  - **IPCEI** – EU-Förderinstrument für strategische Großprojekte mit grenzüberschreitender Bedeutung
  - **H<sub>2</sub>Global** – Deutsches Förderprogramm für den internationalen Handel mit grünem Wasserstoff
  - Klimaschutzverträge
  - Investitionszuschüsse für Elektrolyseure, Infrastruktur und Industrieanwendungen

## Wirtschaftliche Instrumente

- **Marktregulierung:**
  - **CCfD** = Fördervertrag, der Unternehmen für vermiedene CO<sub>2</sub>-Emissionen einen garantierten Preis zusichert
  - **THG-Quote** = Carbon Contracts for Difference – Treibhausgas-Minderungsquote: Verpflichtung für Kraftstoffanbieter zur Minderung von Treibhausgasemissionen

→ **Ziel: Investitionssicherheit und Markthochlauf**

## Infrastrukturplanung – Wasserstoff-Kernnetz (BNetzA):

- Geplantes Netz: ca. 9.700 km bis 2032
- Anbindung von Industriezentren und Importkorridoren

## Europäische Wasserstoffstrategie (2020)

- Ziel: 40 GW Elektrolyseleistung bis 2030 in der EU
- Fokus auf grünen Wasserstoff für Industrie, Verkehr und Energieversorgung

## **Grenzüberschreitende Kooperation Clean Industrial Deal (CID):**

- Der CID ist eine politische Initiative zur Förderung klimaneutraler Industrieprozesse in Europa. Ziel: gemeinsame Standards, Zertifikate, Infrastruktur und Marktregeln für grünen Wasserstoff.
- Gemeinsame Infrastrukturprojekte (z. B. mit Belgien, Niederlande)

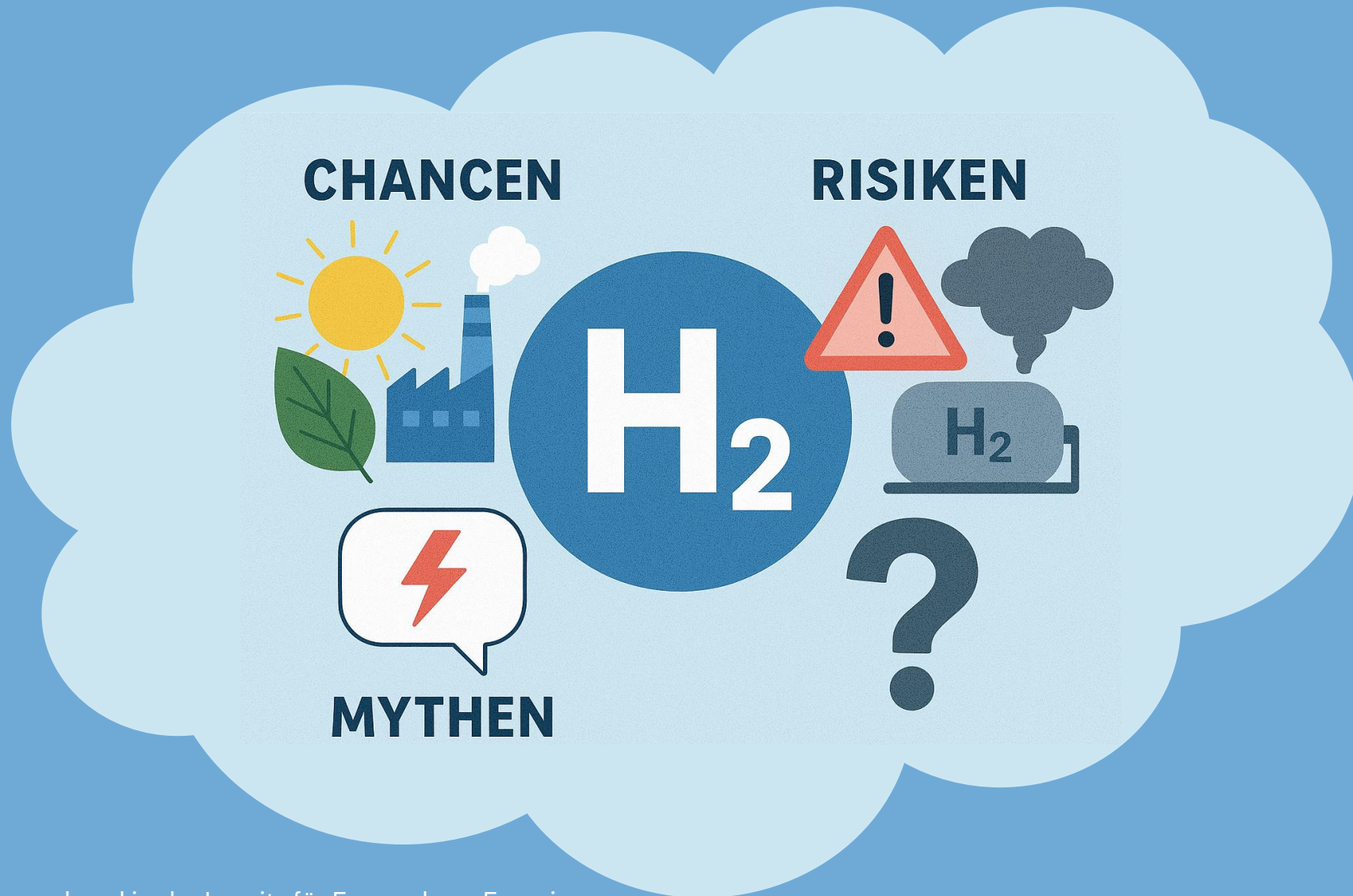
## EU-Förderung & Marktmechanismen Innovation Fund, IPCEI Hydrogen, REPowerEU:

- Finanzierung von Großprojekten und Forschung
- Aufbau eines europäischen Wasserstoffmarkts mit klaren Regeln
- **IPCEI** – *Important Project of Common European Interest* → EU-Instrument zur Förderung strategischer Großprojekte, z. B. für Wasserstoffinfrastruktur und Elektrolyseure. Ermöglicht staatliche Beihilfen über normale Grenzen hinaus.

## Regulatorische Entwicklungen Delegierte Rechtsakte (RED II, Gasmarktpaket):

- Definition von „grünem Wasserstoff“
- Integration in EU-Energiemarkt und Emissionshandelssystem
- **RED II** = EU-Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energien; regelt u. a. die Definition von grünem Wasserstoff

# 9. Chancen, Risiken, Mythen





# Chancen: Nachhaltigkeit & Systemnutzen



QLEE

- **Klimaschutz:** Grüner Wasserstoff kann fossile Brennstoffe in Industrie, Verkehr und Energieversorgung ersetzen und so CO<sub>2</sub>-Emissionen drastisch senken.
- **Sektorkopplung:** H<sub>2</sub> verbindet Strom-, Wärme- und Mobilitätssektor – wichtig für ein integriertes Energiesystem.
- **Langzeitspeicherung:** Wasserstoff ermöglicht saisonale Energiespeicherung und Versorgungssicherheit bei schwankender erneuerbarer Erzeugung.
- **Wirtschaftliche Impulse:** Neue Märkte, Technologien und Arbeitsplätze entstehen – insbesondere in strukturschwachen Regionen wie der Lausitz.
- **Internationale Partnerschaften:** Wasserstoffimporte fördern Kooperation mit sonnenreichen Ländern und stärken geopolitische Resilienz.

# Risiken & Herausforderungen

- **Energieverluste:** Die Umwandlung von Strom in Wasserstoff und zurück ist energieintensiv – direkte Elektrifizierung bleibt effizienter.
- **Kosten & Infrastruktur:** Grüner Wasserstoff ist derzeit teurer als fossile Alternativen; es fehlen Transportnetze, Speicher und Tankstellen.
- **Rohstoffbedarf:** Elektrolyseure benötigen seltene Materialien (z. B. Platin), deren Abbau ökologische und soziale Risiken birgt.
- **Sicherheitsaspekte:** Wasserstoff ist leicht entzündlich und erfordert spezielle Handhabung – Sicherheitsstandards sind essenziell.
- **Grauer Wasserstoff:** Derzeit stammt ein Großteil des eingesetzten Wasserstoffs noch aus fossilen Quellen (z. B. Erdgas), was die Klimabilanz belastet.



## Mythen & Missverständnisse



QLEE

**„Wasserstoff ist gefährlich“:** Moderne Technik macht H<sub>2</sub> handhabbar – Sicherheitsstandards sind mit Erdgas vergleichbar.

**„Wasserstoff ist ineffizient“:** Zwar sind Umwandlungsverluste hoch, aber H<sub>2</sub> ist dort sinnvoll, wo Elektrifizierung nicht praktikabel ist (z. B. Stahl, Luftfahrt).

**„Wasserstoff ist nur ein Hype“:** Zahlreiche Länder investieren Milliarden in H<sub>2</sub> – es ist ein zentraler Baustein der globalen Energiewende.

**„Wasserstoff ist nur für Autos“:** Tatsächlich ist der größte Nutzen in Industrie, Schwerlastverkehr, Schifffahrt und als Speichertechnologie zu erwarten.

# 10. Ausblick: Zukunft des grünen Wasserstoff



# Ausblick: Zukunft des grünen Wasserstoffs



## Potenziale

- **Klimaneutralität:** Grüner Wasserstoff kann fossile Energieträger in Industrie, Verkehr und Energieversorgung ersetzen
- **Systemintegration:** Ermöglicht Sektorkopplung und saisonale Energiespeicherung
- **Wirtschaftlicher Impuls:** Neue Märkte, Technologien und Arbeitsplätze – besonders in Strukturwandelregionen
- **Geopolitische Resilienz:** Diversifizierung durch internationale Partnerschaften und Importe

## Innovationen

- **Flexible Elektrolyseure:** Anpassbar an volatile Stromerzeugung und Netzanforderungen
- **Neue Speicherformen:** LOHC, Feststoffspeicher, Hochtemperaturverfahren
- **Digitale Steuerungssysteme:** Echtzeitoptimierung von Erzeugung, Transport und Nutzung
- **Internationale H<sub>2</sub>-Hubs:** Exportländer wie Namibia, Chile oder Australien entwickeln Großprojekte für grünen Wasserstoff und Ammoniak

# Wasserstoffverbrauch: Aktuell & Prognose



## Aktueller Verbrauch (2025):

- ca. **55 TWh/Jahr**, überwiegend fossiler („grauer“) Wasserstoff

## Prognose bis 2030:

- **95–130 TWh/Jahr** laut BMWK
- Bedarf steigt durch Dekarbonisierung der Industrie und Mobilität

## Langfristige Prognose bis 2045:

- Bandbreite: **422–1.288 TWh/Jahr** je nach Szenario
- Importanteil wird entscheidend – Deutschland kann Bedarf nicht allein decken

# Weiterführende Quellen



## Grundlagen und Farbenlehre

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/wasserstoff-schluesel-im-kuenftigen-energiesystem#Rolle>

[https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2021/01/IKEM\\_Kurzstudie\\_Wasserstoff\\_Farbenlehre.pdf](https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2021/01/IKEM_Kurzstudie_Wasserstoff_Farbenlehre.pdf)

<https://www.enbw.com/unternehmen/themen/wasserstoff/wasserstoff-farben.html>

<https://energiewende.bundeswirtschaftsministerium.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2020/07/Meldung/direkt-erklaert.html>

[https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-04-01\\_NWR-Grundlagenpapier\\_Farbenlehre.pdf](https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-04-01_NWR-Grundlagenpapier_Farbenlehre.pdf)

## Erzeugung

<https://www.enbw.com/unternehmen/themen/wasserstoff/gruener-wasserstoff.html>

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/wasserstoff-schluesel-im-kuenftigen-energiesystem#herstellung>

<https://gas-h2.de/wasserstoff/herstellung-wasserstoff/#c21708>

## Speicher

<https://www.dlr.de/de/aktuelles/nachrichten/2024/speichern-von-wasserstoff-in-salzkavernen-funktioniert>

<https://emcel.com/de/lohc-wasserstoffspeicher/>

## Transport

<https://www.enbw.com/unternehmen/themen/wasserstoff/wasserstofftransport.html>

[https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2021/2021-07-02\\_NWR-Grundlagenpapier\\_Wasserstofftransport.pdf](https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2021/2021-07-02_NWR-Grundlagenpapier_Wasserstofftransport.pdf)

# Weiterführende Quellen



## **Einsatzgebiete**

<https://www.energiezukunft.eu/erneuerbare-energien/wasserstoff/erstmal-abwaerme-aus-wasserstofferzeugung-als-fernwaerme-nutzbar>

[https://www.greenpeace.de/publikationen/251014\\_Studie\\_Heizen\\_mit\\_Wasserstoff\\_20251013.pdf](https://www.greenpeace.de/publikationen/251014_Studie_Heizen_mit_Wasserstoff_20251013.pdf)

<https://nachrichten.idw-online.de/2025/10/06/wasserstoff-in-der-waermewende-chancen-und-grenzen-im-fokus>

<https://www.fz-juelich.de/de/aktuelles/news/pressemitteilungen/2025/neue-perspektiven-fuer-gruenen-ammoniak>

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/dokumente/uba\\_kurzeinschaetzung\\_von\\_ammoniak\\_als\\_energietraeger\\_und\\_transportmedium\\_fuer\\_wasserstoff.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/dokumente/uba_kurzeinschaetzung_von_ammoniak_als_energietraeger_und_transportmedium_fuer_wasserstoff.pdf)

[https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user\\_upload/Studien/Kurzberichte/PDF/2023/IW-Kurzbericht\\_2023-Gr%C3%BCnes-Ammoniak.pdf](https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Kurzberichte/PDF/2023/IW-Kurzbericht_2023-Gr%C3%BCnes-Ammoniak.pdf)

<https://www.hypos-germany.de/wp-content/uploads/2024/12/HYPOS-Positionspapier-Mobilitaet.pdf>

[4,8 bis 13,2 Euro pro Kilogramm: Studie ermittelt zukünftigen Preis von grünem Wasserstoff  
Geplante Grüngasquote bremst den Wasserstoffeinsatz in der Industrie](#)

## **Politische & wirtschaftliche Rahmenbedingungen**

<https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2025/kw45-de-wasserstoff-1116818>

<https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Artikel/Service/Gesetzesvorhaben/entwurf-eines-gesetzes-zur-beschleunigung-der-verfuegbarkeit-von-wasserstoff.html>

<https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-2024/Fokus-Nr.-475-November-2024-Wasserstoff.pdf>

<https://www.wasserstoffrat.de/aktuelles/pressemitteilung-vom-25022025>

<https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Artikel/Service/Gesetzesvorhaben/entwurf-eines-gesetzes-zur-beschleunigung-der-verfuegbarkeit-von-wasserstoff.html>

<https://www.wasserstoffrat.de/aktuelles/pressemitteilung-vom-25022025>

[https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/hydrogen/key-actions-eu-hydrogen-strategy\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/hydrogen/key-actions-eu-hydrogen-strategy_en)

[https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/clean-industrial-deal\\_en](https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/clean-industrial-deal_en)

<https://hydrogeneurope.eu/clean-industrial-deal-puts-lead-markets-centre-stage/>

[One-Stop-Shop - Wasserstoff | Die Nationale Wasserstoffstrategie](#)

[230726-fortschreibung-nws.pdf](#)

# Weiterführende Quellen



## Chancen und Risiken

<https://niiu.de/wasserstoffwirtschaft-chancen-risiken-nachhaltige-energie-zukunft/>

<https://commercial.allianz.com/content/dam/onemarketing/commercial/commercial/reports/commercial-hydrogen-report-2025-de.pdf>

## Mythen und Missverständnisse

<https://blog.academy.fraunhofer.de/blogbeitraege/die-groessten-wasserstoffmythen/>

<https://www.forum-csr.net/News/23804/WasserstoffMythenFaktenundPotenziale.html>

## Ausblick

<https://www.pv-magazine.de/2025/10/28/eu-kriterien-fuer-gruenen-wasserstoff-verteuern-erzeugung-um-bis-zu-20-prozent/>

<https://www.bee-ev.de/service/pressemitteilungen/beitrag/gruener-wasserstoff-ist-zentral-fuer-die-energiewende-und-wirtschaftliche-zukunft-deutschlands-bee-widerspricht-darstellung-des-bundesrechnungshofs>

<https://www.bmz.de/de/themen/wasserstoff>

<https://www.bdew.de/energie/erneuerbare-energien/wasserstoff-energieerzeugung/>

<https://www.dlr.de/de/forschung-und-transfer/themen/wasserstoff-energietraeger-der-zukunft>

[BMW Newsletter Energiewende | Bedarf an klimafreundlichem Wasserstoff steigt deutlich  
Hochlauf der grünen Wasserstoffwirtschaft – wo steht Deutschland?](#)

# 11. Abschluss und Feedback



## Ihre Meinung zählt!

Scannen Sie den QR-Code und helfen Sie uns, noch besser zu werden.



## Jetzt Feedback abgeben!





**Bleiben Sie immer  
auf dem Laufenden!**

Abonnieren Sie den  
QLEE-Newsletter und  
erhalten Sie exklusive  
Einblicke, spannende  
Updates und wertvolle  
Tipps direkt in Ihr  
Postfach.



**Jetzt Newsletter  
abonnieren!**



# Qualifizierungsverbund in der Lausitz für Erneuerbare Energien



[info@qlee.eu](mailto:info@qlee.eu)



<https://qlee.eu>



**QLEE**

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Initiators:

