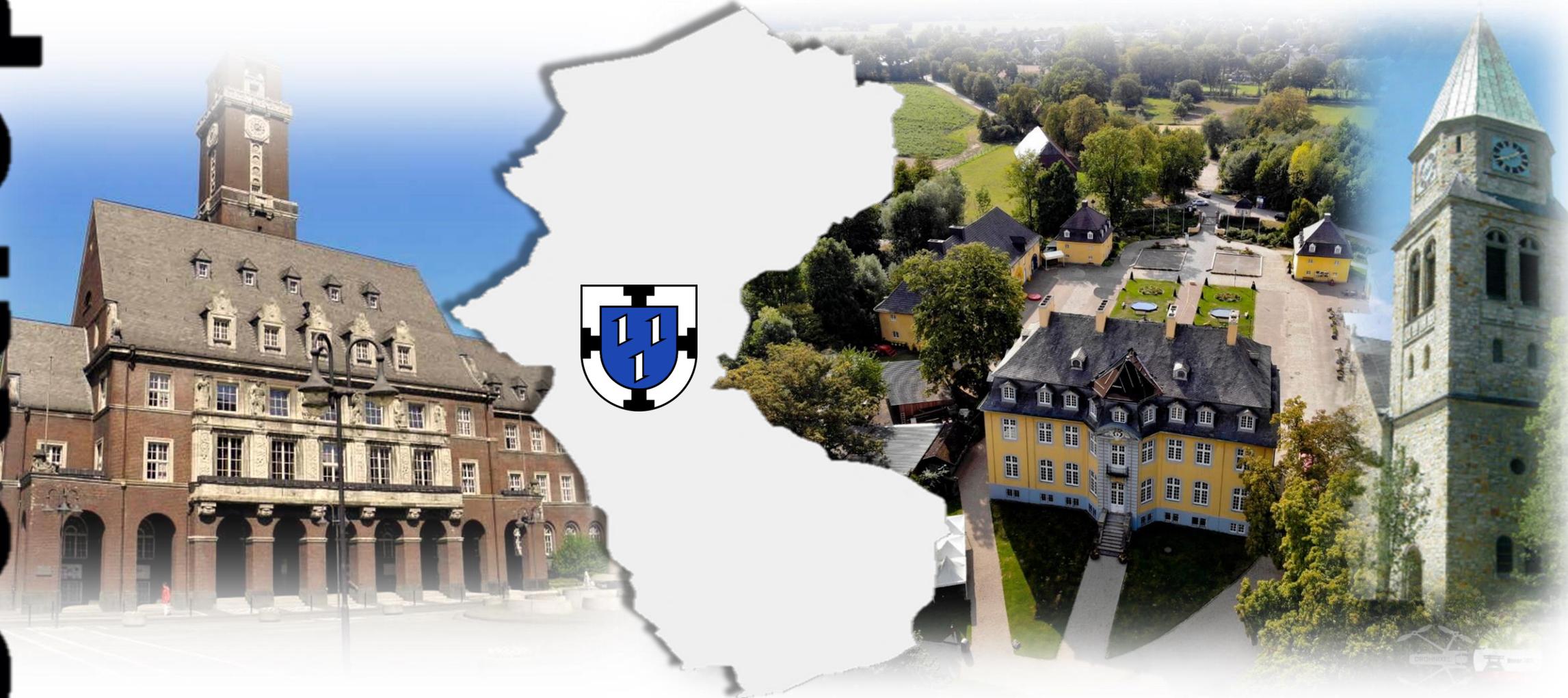


Wasserstoff und Energiewende

bottrop



Gliederung:

- Energiewende
- Wasserstoff
- Elektrolyseur - Brennstoffzelle
- Wasserstoff als Wirtschaftsfaktor
- Chancen mit Wasserstoff
- Mythen über Wasserstoff



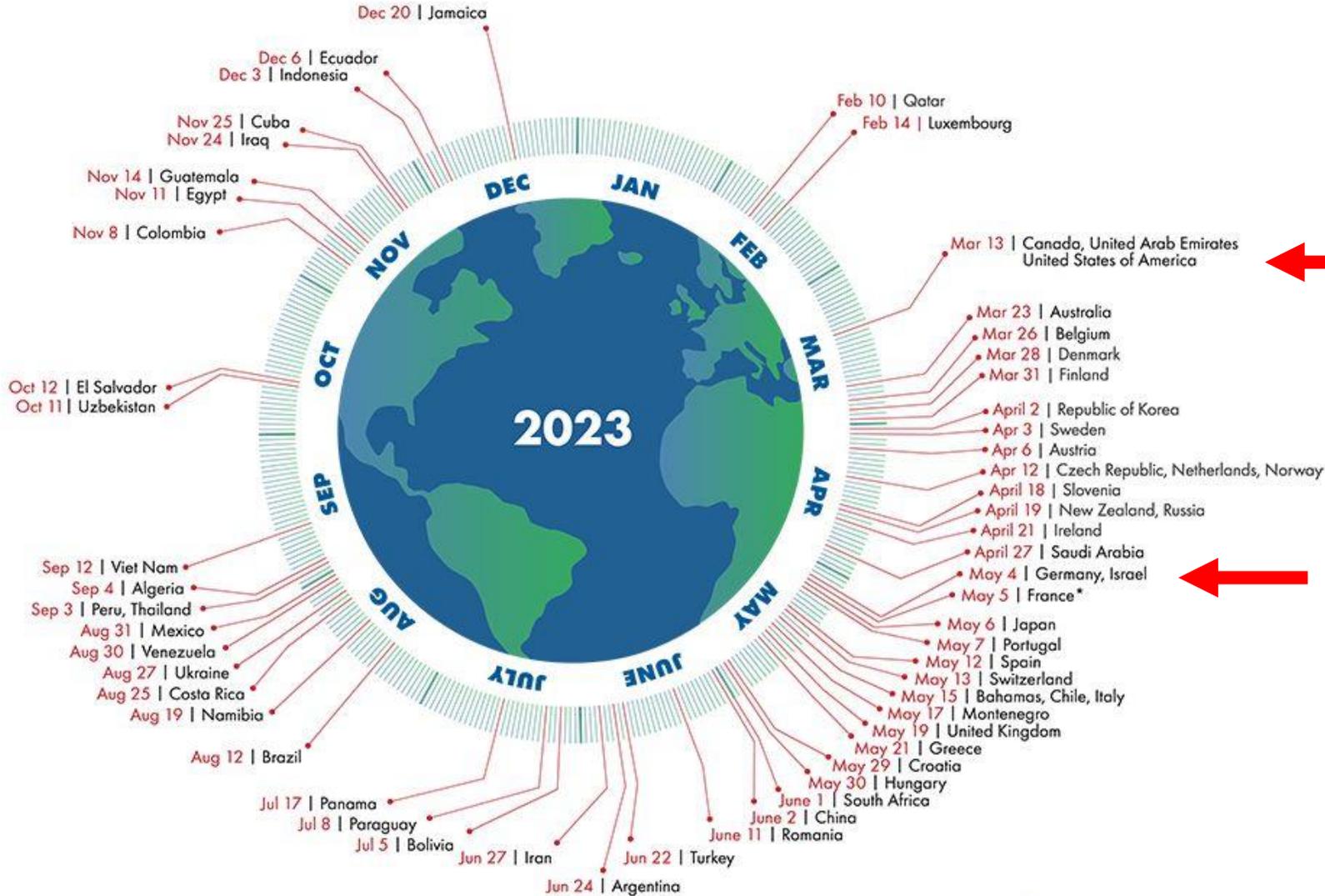


Die Energiewende



Country Overshoot Days 2023

When would Earth Overshoot Day land if the world's population lived like...



Die USA benötigen neun Erden.

Seit 2018 hat D den overshoot day nur um 2 Tage nach hinten schieben können.



Warum Wasserstoff?



Die EU schätzt die jährlichen Schadenskosten durch den Klimawandel auf ca. 20 Milliarden EUR in den 2020er Jahren, 90 – 150 Milliarden EUR in den 2050er Jahren und zwischen 600 und 2.500 Milliarden EUR in den 2080er Jahren, je nach der zukünftigen Entwicklung der Treibhausgasemissionen.

(climatecost.cc)

Die Hitzewelle 2010 in Europa tötete 55.000 Menschen.

(Stern Report)

=> Warten ist teuer als Handeln!



Was kostet der Klimawandel?

**Klimaschäden bis 2050:
zwischen 280 und bis zu 900 Mrd. Euro!**

Während in der Regel bei der Berechnung von Folgeschäden des Klimawandels vor allem Zerstörungen etwa durch Überflutungen berücksichtigt werden, nimmt das aktuelle vom [Wirtschaftsministerium](#) in Auftrag gegebene Papier dem »Handelsblatt« zufolge auch Schäden über reine Wiederaufbaukosten hinaus in den Blick. So berücksichtigten die Autoren etwa zusätzliche Belastungen durch eingeschränkte Produktionsmöglichkeiten oder unterbrochene Lieferketten.

#KlimaFakten

So bedroht der Klimawandel unseren Wohlstand

145 Mrd. Euro kosten die Folgen der Extremwetterereignisse in Deutschland seit 2000.



© Bundesregierung | Illustration: Toywork/Shutterstock



Der Wasserstoff



Energie

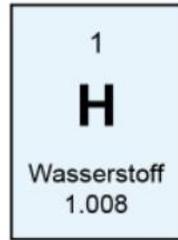
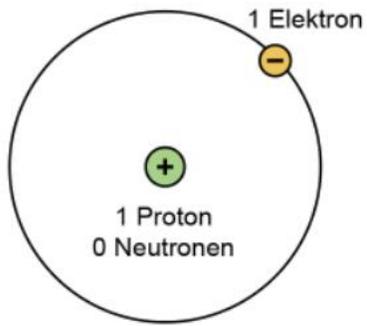
Moleküle machen 80 % des
Energieverbrauchs in
Deutschland aus

20% Strom
(Elektronen)

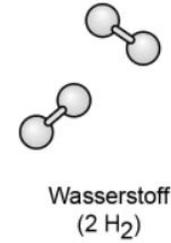


Wasserstoff hat das Potential, die
molekularen Energieträger zu
defossilisieren.

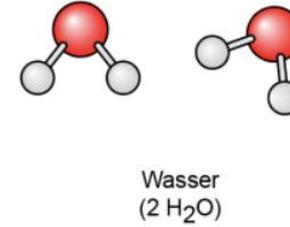




+



exotherm



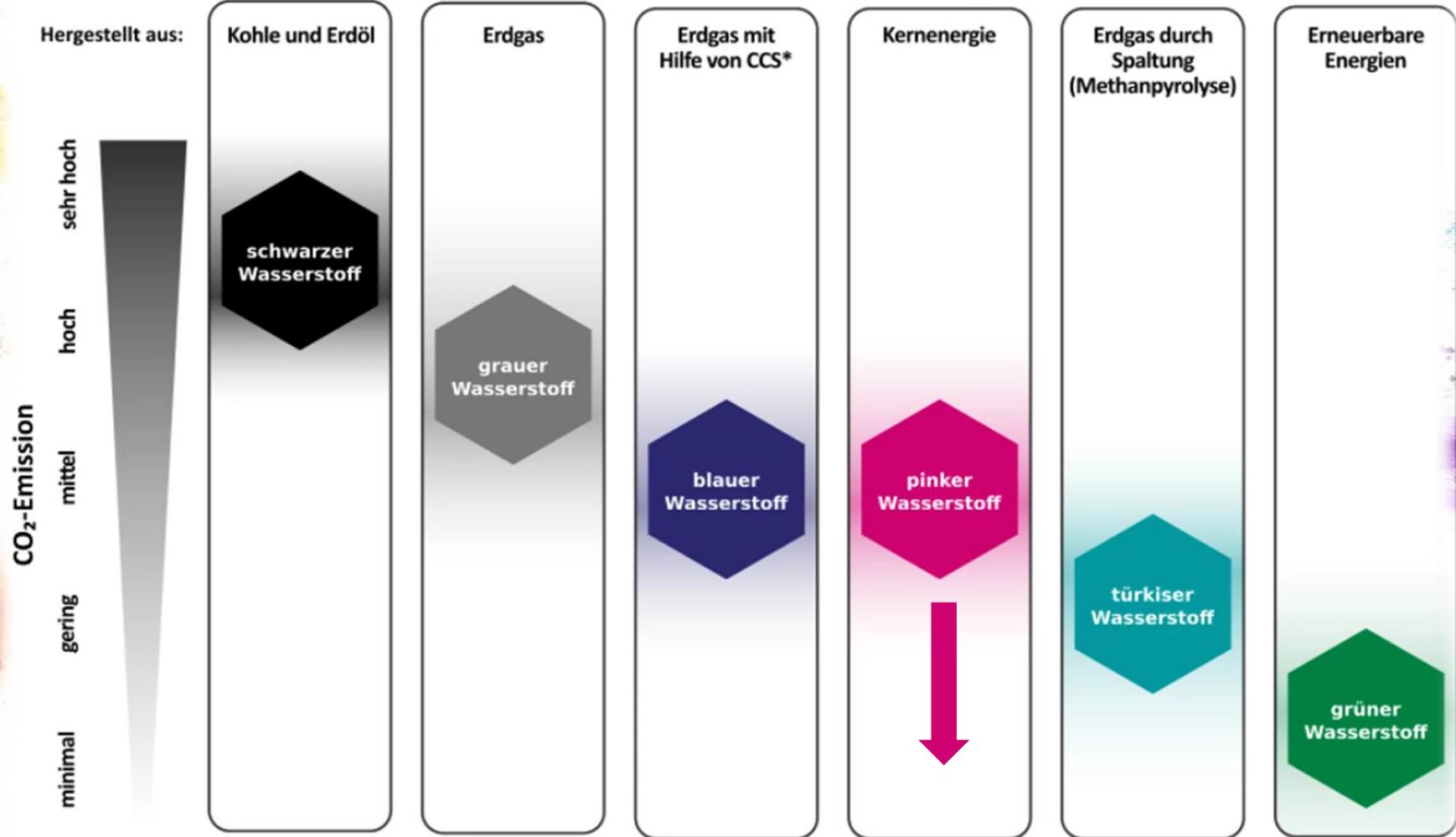
Knallgasreaktion

Welche Eigenschaften hat das Wasserstoffmolekül?

- Wasserstoff ist das am weitesten verbreitete Element im All.
- Wasserstoff ist das einfachste chemische Element und war das erste Atom, das sich gebildet hat.
- Wasserstoff verbrennt zu Wasser (hydro-gen).
- Wasserstoff ist ungiftig, geruchlos und durchsichtig.
- Wasserstoff ist bei Umgebungstemperatur gasförmig und wird erst bei -253° flüssig (Erdgas -163°)
- Wasserstoff ist leichter als Luft und sehr flüchtig.
- **Wasserstoff hat mit 33,33 kWh/kg die mit Abstand höchste massenbezogene Energiedichte heute verwendeter Energieträger (Methan: 13,9 kWh/kg, Benzin: ca. 11 kWh/kg).**
- Wasserstoff ist sehr reaktionsfreudig und deshalb fast nur gebunden vorhanden.
- Die bekanntesten Verbindungen sind Wasser H₂O und Methan CH₄.

Farbenlehre

Die Wasserstoff-Farbpalette





#WDW2023

#ZahlderWoche

800

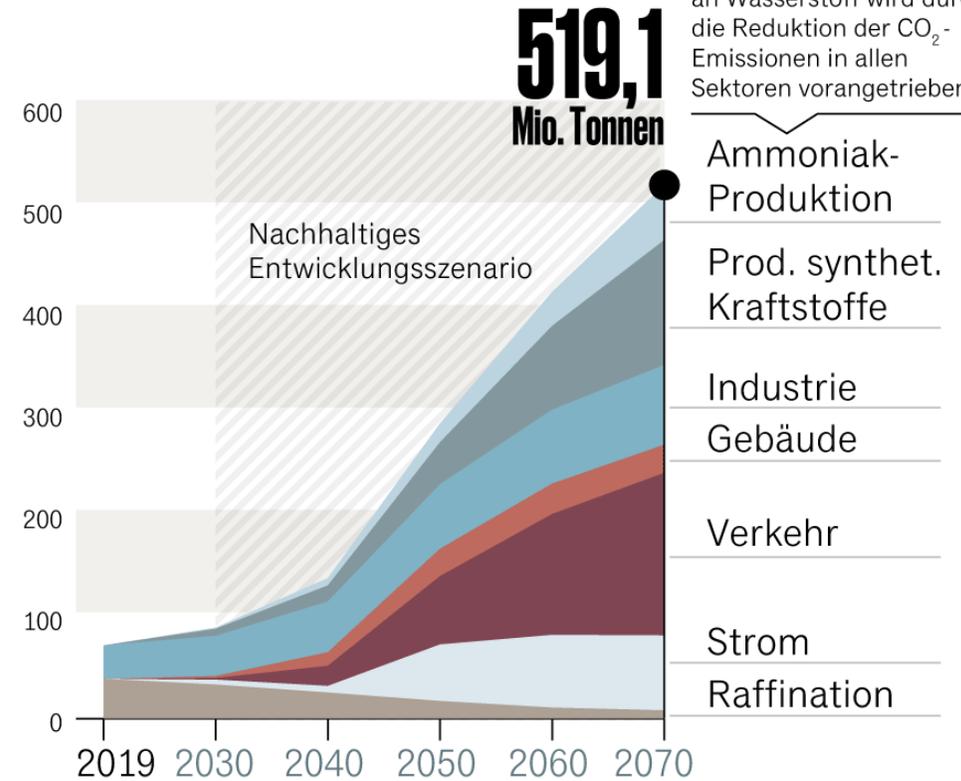
Deutschland hat einen Wasserstoffbedarf von 800 TWh im Jahr 2050.

Quelle: Deloitte

Energieversorgung

Wasserstoff gewinnt an Bedeutung

Globale Nachfrage nach Wasserstoff in Mio. Tonnen pro Jahr



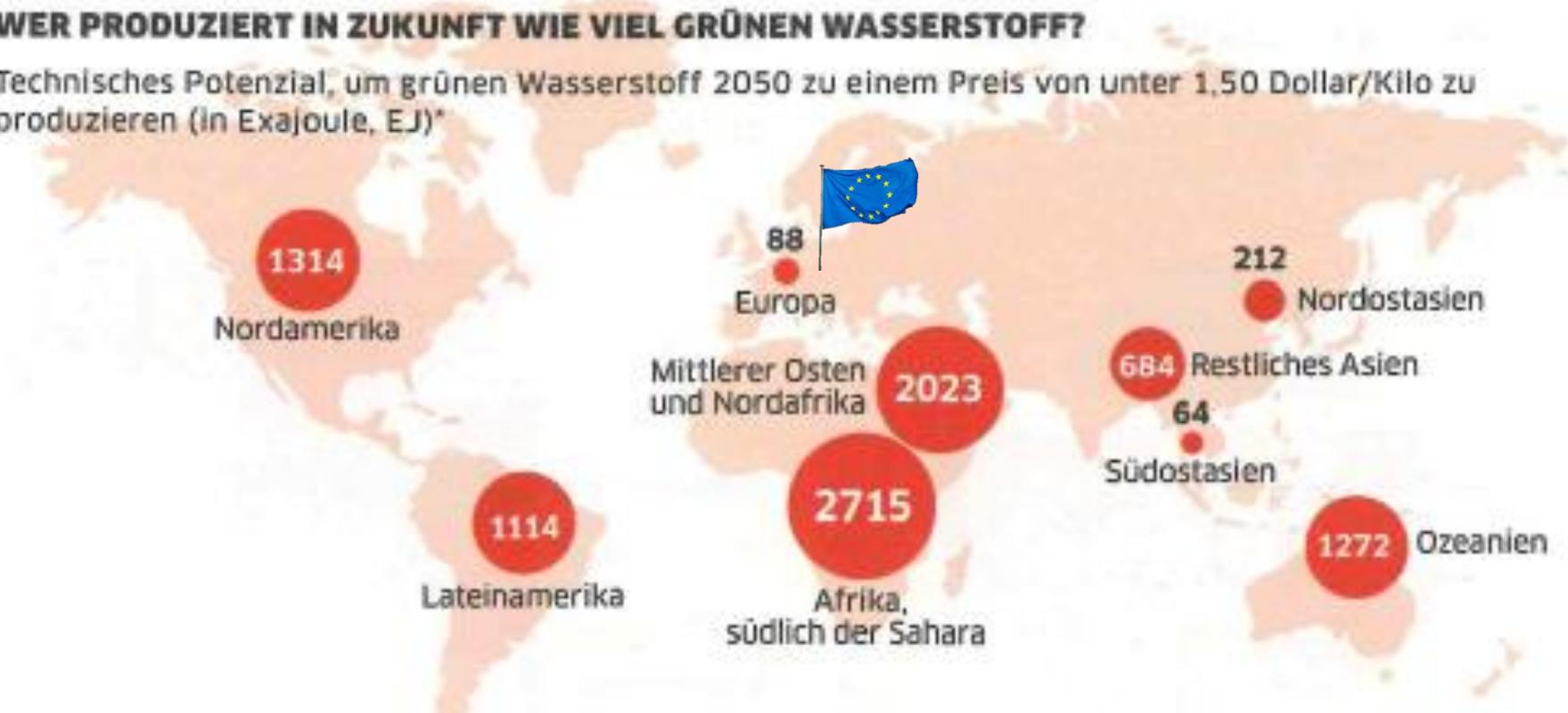
HANDELSBLATT-GRAFIK

Quelle: IEA

Verfügbarkeit und Bedarf

WER PRODUZIERT IN ZUKUNFT WIE VIEL GRÜNEN WASSERSTOFF?

Technisches Potenzial, um grünen Wasserstoff 2050 zu einem Preis von unter 1,50 Dollar/Kilo zu produzieren (in Exajoule, EJ)*



* Energieeinheit: 1 EJ = 1 Trillion Joule; **Quelle:** Internationale Organisation für Erneuerbare Energien (Irena)

Joule ist die Einheit für Arbeit, Wärme und Energie. 1 EJ = 10^{18} J.

Der Primärenergiebedarf der Menschheit betrug 2004 430 EJ (Exajoules)

1 EJ = 277,8 TWh

Produktionsvolumen und Invest

■ Geplantes Produktionsvolumen von Wasserstoff 2030

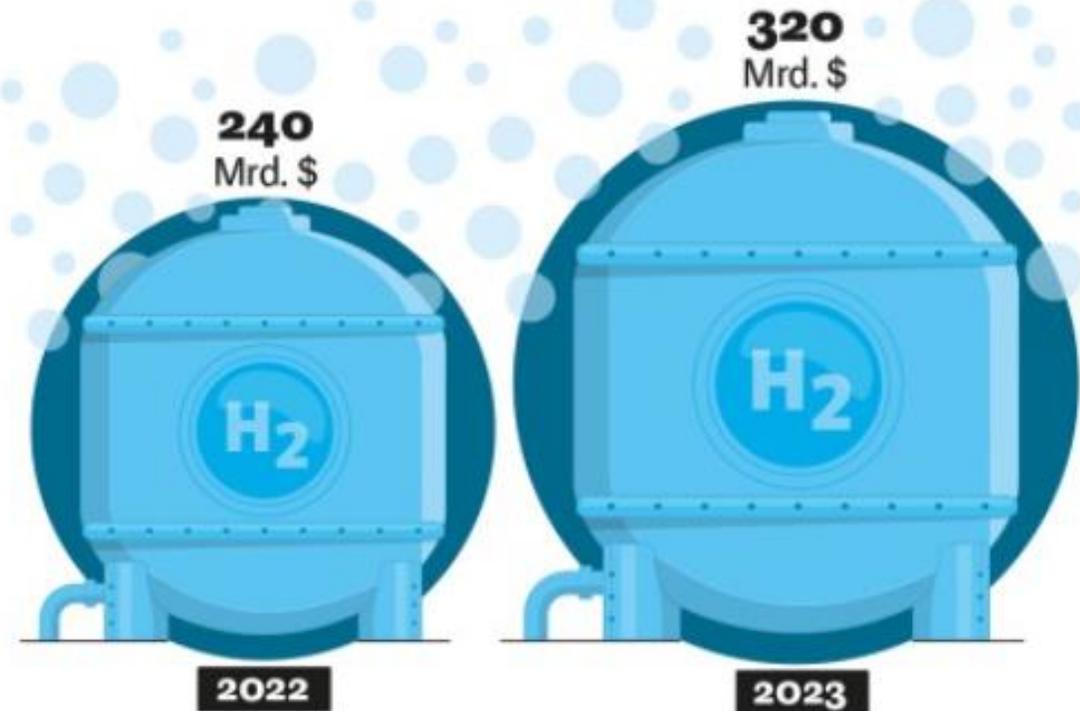
in Mio. Tonnen



Europäische Wasserstoffstrategie:
bis 2030 10 Mio. t grüner H₂
zzgl. 10 Mio. t aus Importen

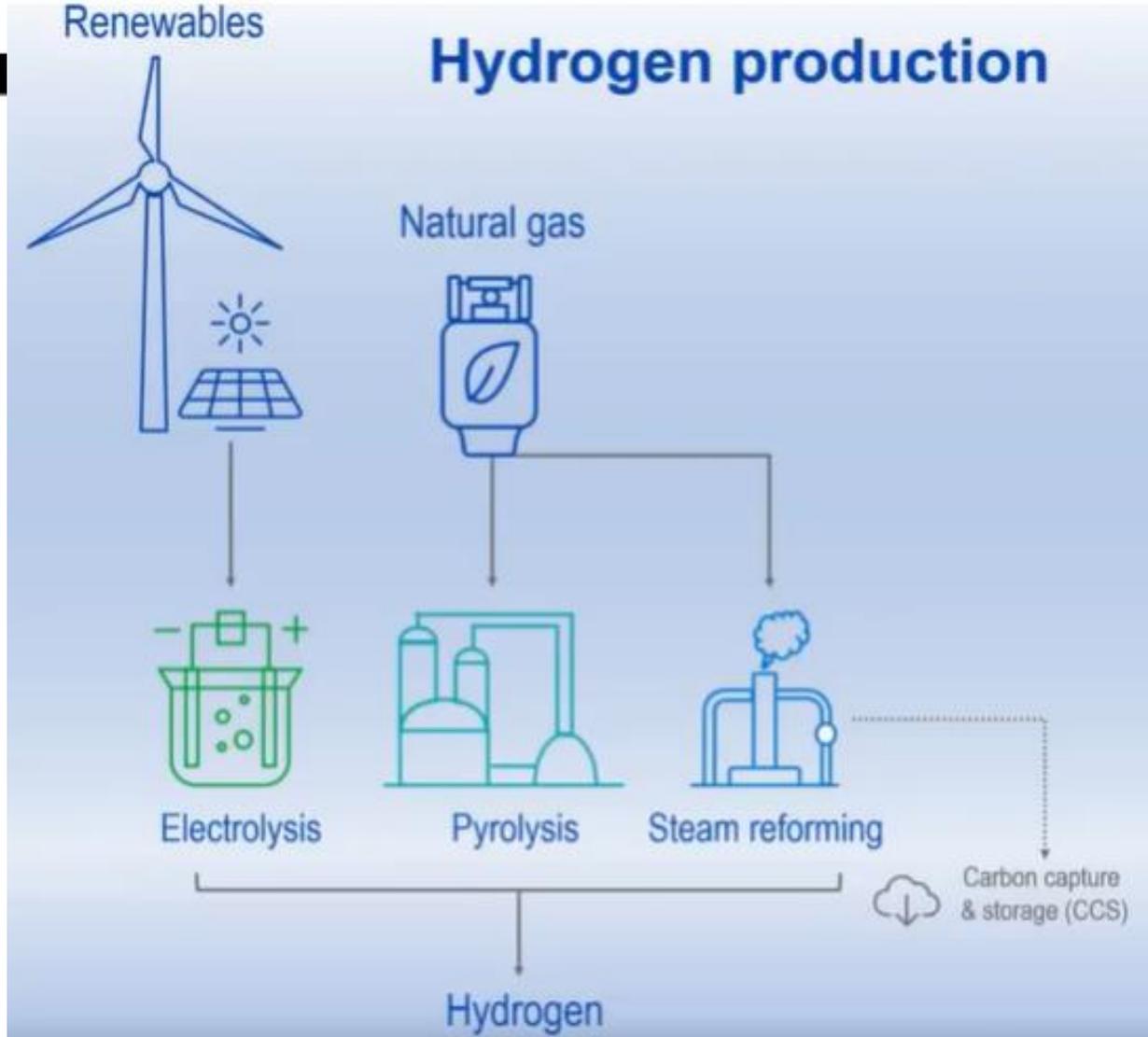
Quelle: Hydrogen Council, McKinsey

Weltweit geplante Investitionen in Wasserstoffprojekte*



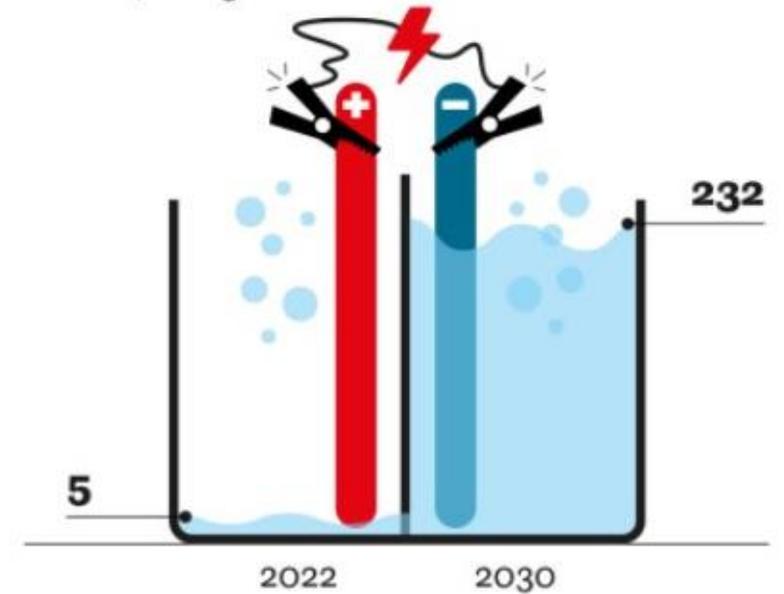
* Investitionen, die für die Entwicklung der bis 2030 angekündigten Projekte erforderlich sind; **Quelle:** Hydrogen Council, McKinsey

Methoden der Wasserstoffherstellung



■ Geplante Elektrolysekapazität weltweit, in Gigawatt

weltweit, in Gigawatt



Mehr als 230 Gigawatt an Elektrolyseanlagen sind bis zum Jahr 2030 angekündigt worden. Ein gewaltiges Ziel: 2021 waren gerade einmal 0,55 Gigawatt weltweit in Betrieb

Quelle: Hydrogen Council, McKinsey

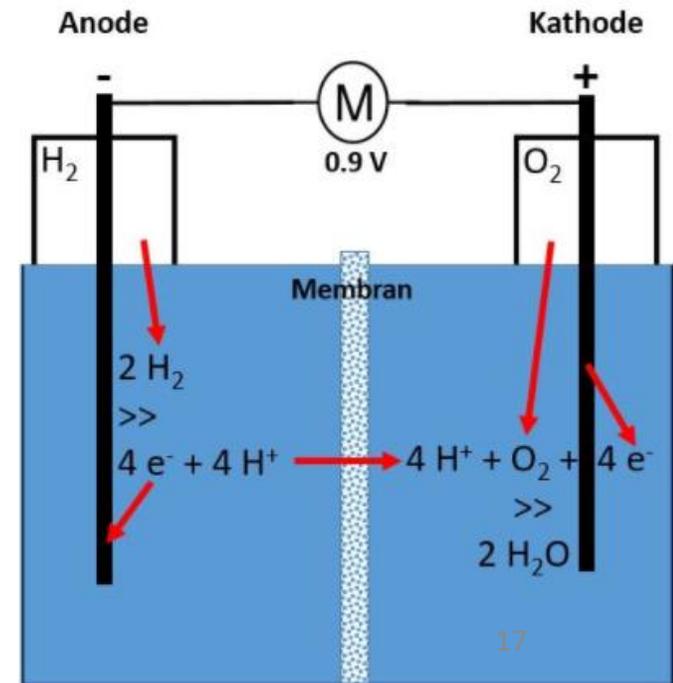
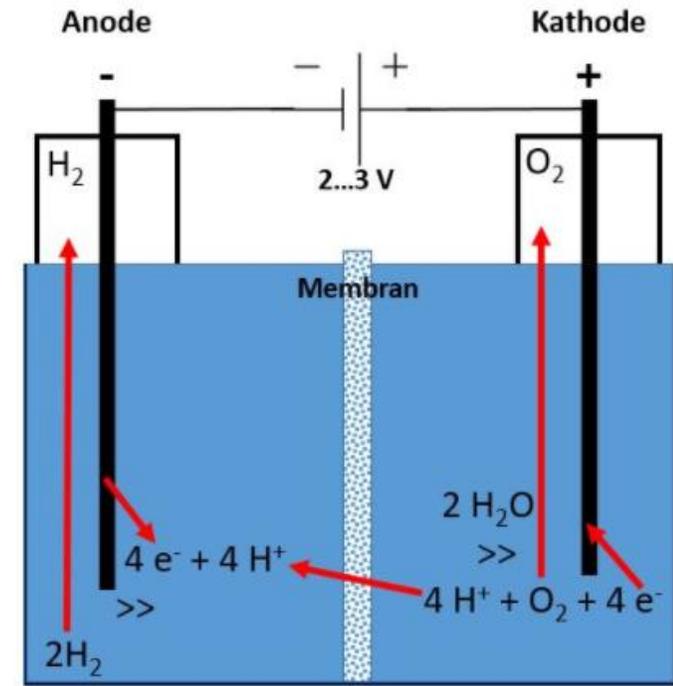


Elektrolyseur – Brennstoffzelle



Wie funktioniert die Speicherung und die Nutzung von Energie mit Wasserstoff?

- Ein **Elektrolyseur** spaltet mithilfe von Strom Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff.
- Eine **Brennstoffzelle** erzeugt mithilfe von Wasserstoff und Sauerstoff Strom.
- Wasserstoff ist (hier) keine Energiequelle sondern ein Energiespeicher
- Anders als Batterien kann Wasserstoff bei richtiger Lagerung (z.B. Kavernenspeicher, wie wir sie vom Erdgas kennen), über sehr lange Zeiträume Energie speichern.



Elektrolyseurarten

- **AEL - Alkalische Elektrolyse**

Die **Alkalische Elektrolyse** (Kurz: AEL) nutzt als **Elektrolyt eine Kalilauge** und eine **durchlässige Membran**, das sogenannte Diaphragma, welche die beiden **Elektroden voneinander trennt**. Die Elektroden werden in eine alkalische wässrige Lösung eingetaucht.

Legt man nun eine **Spannung** an, entsteht an der **Anode Sauerstoff** und an der **Kathode Wasserstoff**.

Der **große Vorteil** dieser Form der Elektrolyse liegt darin, dass die Technologie eine **hohe Langzeitstabilität** und **geringe Investitionskosten** aufweist. Der Wirkungsgrad bei der Alkalischen Elektrolyse liegt aktuell bei ca. 65% und es können bis zu **90.000 Betriebsstunden** erreicht werden. Die Elektrolyseanlagen können im Leistungsbereich von bis zu 130 Megawatt liegen und sind bereits weltweit im Einsatz.

Elektrolyseurarten

- **PEM - Proton-Exchange-Membran-Elektrolyse**

Die Proton-Austausch-Membran Elektrolyse (engl. **Proton-Exchange-Membrane**, kurz: PEM) oder auch **Polymer-Elektrolyt- Membran Elektrolyse** genannt, nutzt als **Elektrolyt eine dünne Membran aus thermoplastischem Kunststoff (Ionomer)**. Anode und Kathode werden durch diese gasdichte Membran getrennt, nur positive Wasserstoffionen können die Membran passieren. Auf Grund der **Ionenwanderung** gehört dieses Verfahren der Elektrolyse zu den **sauren Verfahren**. Dadurch wird der **Einsatz von Edelmetallen** für die Katalysatoren notwendig, um **Korrosion zu vermeiden**.

Der **Vorteil** dieser Technologie ist das **gute Lastwechselverhalten**. Sie **kann schnell auf Schwankungen der zugeführten Energie reagieren** und problemlos in Teillast betrieben werden. Der Wirkungsgrad der PEM-Elektrolyse liegt aktuell bei ca. 63% und ist somit leicht geringer als bei der alkalischen Elektrolyse. Da die Technologie noch relativ neu ist, sind die **Investitionskosten** wesentlich **höher** als bei der alkalischen Elektrolyse. Der Leistungsbereich der Anlagen erreicht Werte bis zu 6 Megawatt.

Elektrolyseurarten

- **SOE - Festoxid-Elektrolyse**

Die Feststoffoxid Elektrolyse (engl. **Solid Oxide Electrolysis**, kurz: SOE) nutzt als **Elektrolyt einen festen keramischen Werkstoff**, welcher die beiden Halbzellen trennt. Das Wasser wird in Form von Wasserdampf den Reaktionskammern zugeführt. Diese Art der Elektrolyse befindet sich aktuell **im Übergang von Forschung zur industriellen Anwendung**.

Diese Technologie zählt zu der **Hochtemperaturelektrolyse**, wird bei **Temperaturen von 600-900 °C** betrieben und kann einen sehr **hohen Wirkungsgrad von über 80%** erreichen.

Die Investitionskosten liegen ungefähr auf dem Niveau der PEM Elektrolyse. Vor kurzem wurde von der Firma Sunfire GmbH der **größte SOE Elektrolyseur der Welt** mit einer **Leistung von 250 kW** in Betrieb genommen.

Elektrolyseurarten

- **AEM – Alkalische Elektrolyse mit Membran (Evonik)**

Durch die Integration von **DURAION**[®] in einen AEM-Elektrolyseur können die Investitions- und Betriebskosten der Wasserstoffherzeugung im Vergleich zum heutigen Benchmark, der PEM-Wasserelektrolyse, gesenkt werden.

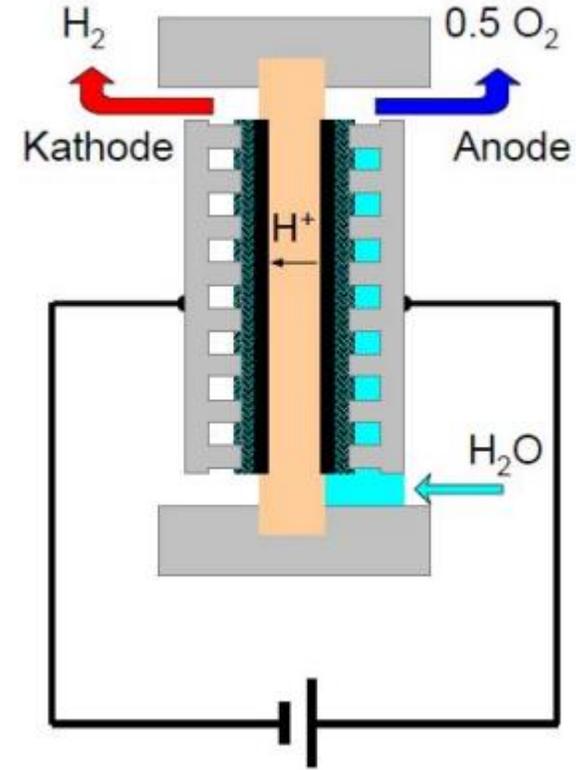
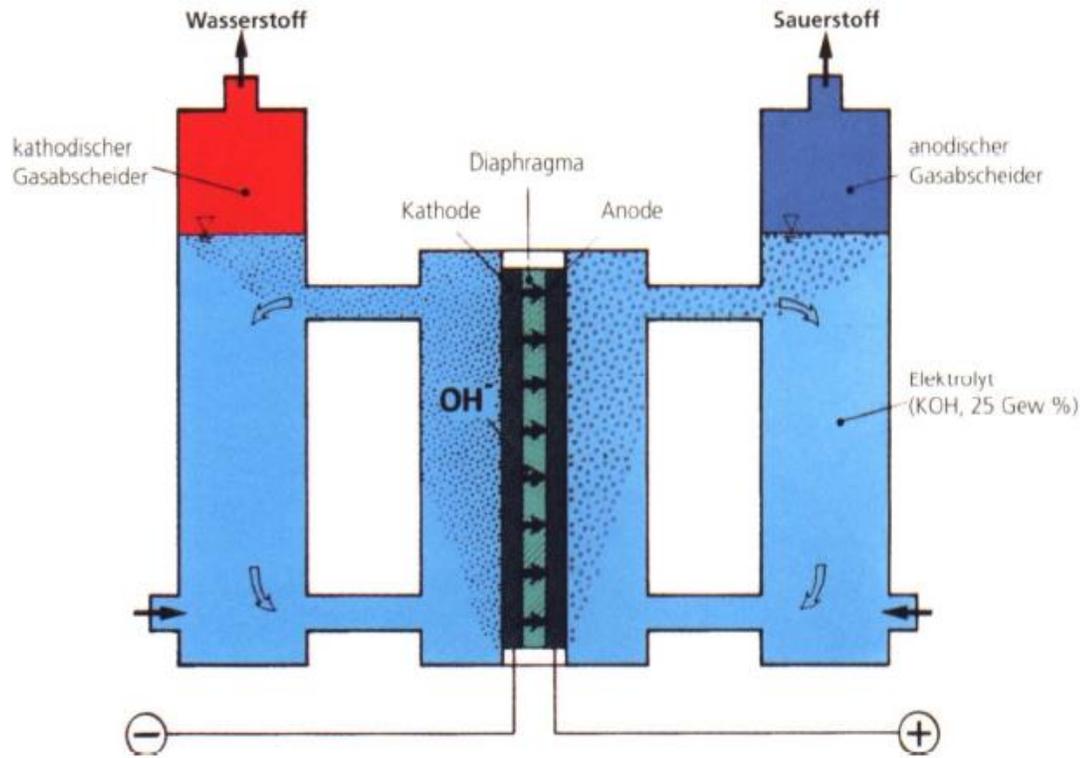
Da der Betrieb der AEM-Elektrolyse unter leicht alkalischen Bedingungen stattfindet, können edelmetallfreie Katalysatoren für die Elektroden und preiswerte Werkstoffe für die Zellen eingesetzt werden. Im Gegensatz zur AEL kann die AEM-Elektrolyse bei höheren Stromdichten betrieben und dynamisch an- sowie abgefahren werden.

Aufbau

AEM

-

PEM



Vor-/Nachteile PEM im Vergleich zur AEM

Vorteile

- Keine heiße und hochkonzentrierte Alkalikreisläufe; Elektrolyt ist Feststoffmembran
- Kompakte Bauweise, einfacher Systemaufbau
- Hohe Stromdichte/Leistungsdichte/Zellwirkungsgrad
- Erzeugung hochreinen Wasserstoffs (99,999%) ohne aufwändige Nachreinigung
- Stufenloser Betrieb von 0-100% Last; schnelle Reaktion im Sekundenbereich auf Lastanforderungen (gut koppelbar mit erneuerbarer Energie)

Nachteile

- Junge Technologie, technisch nicht so ausgereift wie alkalische Elektrolyse
- Anlagengröße bisher auf etwa 100 kW beschränkt
- Höhere Kosten

ELEKTROLYSETECHNOLOGIEN

	Alkalische Elektrolyse	PEM-Elektrolyse	AEM-Elektrolyse
Flexibilität	●	●	●
Investitionskosten	●	●	●
H ₂ -Druck	●	●	●
Betriebskosten	●	●	●

Quelle: Evonik

Chancen mit Wasserstoff



Wasserstoff als Chance

- Erreichung der Klimaziele / Energiewende
- Steigerung der Lebensqualität
- Erhalt von Arbeitsplätzen
- Schaffung zukunftssicherer Arbeitsplätze
- Wertschöpfung in der Region
- Wirtschaftliche Unabhängigkeit von volatilen Märkten / Erdgassubstitution
- In der Metropole Ruhr können wir die Transformation zu einer klimaneutralen Produktion schneller und preisgünstiger gestalten als in anderen Regionen.



Alle reden
über nachhaltige
Energie. **Wir
stellen sie her.**

Die Wasserstoffregion in NRW: Emscher-Lippe.

Ob Forschung & Entwicklung, Infrastruktur oder Produktion und
Zulieferer - die Region Emscher-Lippe bietet perfekte Bedingungen
für die Wasserstoffwirtschaft. Mehr dazu auf www.h2el.eu



Atmung:
Sauerstoff-
aufnahme ist
erhöht. Auch wenn
wir in die andere
Richtung schauen
wollen.

H₂EL
WASSERSTOFFREGION
Emscher-Lippe in NRW
H₂IER ENTSTEHT ZUKUNFT.

Früher wurde hier
Kohle gefördert.
Heute die Zukunft.

Die Wasserstoffregion in NRW: Emscher-Lippe.

Ob Forschung & Entwicklung, Infrastruktur oder Produktion und
Zulieferer - die Region Emscher-Lippe bietet perfekte Bedingungen
für die Wasserstoffwirtschaft. Mehr dazu auf www.h2el.eu



H₂EL
WASSERSTOFFREGION
Emscher-Lippe in NRW
H₂IER ENTSTEHT ZUKUNFT.

Europa macht sich
bereit fürs
Wasserstoffzeitalter.
Wir sind es schon.

Die Wasserstoffregion in NRW: Emscher-Lippe.

Ob Forschung & Entwicklung, Infrastruktur oder Produktion und
Zulieferer - die Region Emscher-Lippe bietet perfekte Bedingungen
für die Wasserstoffwirtschaft. Mehr dazu auf www.h2el.eu



H₂EL
WASSERSTOFFREGION
Emscher-Lippe in NRW
H₂IER ENTSTEHT ZUKUNFT.

Unser Ziel:
**eine CO₂-Bilanz,
mit der selbst
Greta zufrieden ist.**

Die Wasserstoffregion in NRW: Emscher-Lippe.

Ob Forschung & Entwicklung, Infrastruktur oder Produktion und
Zulieferer - die Region Emscher-Lippe bietet perfekte Bedingungen
für die Wasserstoffwirtschaft. Mehr dazu auf www.h2el.eu



H₂EL
WASSERSTOFFREGION
Emscher-Lippe in NRW

Der Wasserstoff als Wirtschaftsfaktor



Wasserstoff in allen Bereichen



Wasserstoff für die Industrie

Wasserstoff als Energieträger kann fossile Brennstoffe in der Industrie ersetzen und so energieintensive Industrien nachhaltiger und unabhängiger machen.



Wasserstoff für den Verkehr

Wasserstoff kann zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe im Schwerlast- oder Schiffsverkehr und zur Herstellung von grünem Kerosin im Luftverkehr dienen.



Wasserstoff für den Gebäudesektor

Mit Wasserstoff können die Sektoren Strom und Wärme enger verzahnt und sowohl zum Heizen als auch für die Brennstofftechnologie genutzt werden.



Wasserstoff für die Energiegewinnung

Für die Herstellung von grünem Wasserstoff durch Elektrolyse kann Strom aus erneuerbaren Energien wie Wind und Sonne verwendet werden (Power-to-X).

Jobmotor erneuerbare Energien

Allein durch einen stärkeren Ausbau der erneuerbaren Energien im Strombereich, der mit einer 65%igen Emissionsreduktion vereinbar ist, ergeben sich knapp 60.000 zusätzliche Erwerbstätige im Jahr 2030 gegenüber dem bisherigen Zielpfad einer 55%igen Emissionsreduktion.
(Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung)

Wirtschaftsfaktor Erneuerbare Energien

2017 wurden in Deutschland 15,7 Mrd. € in die Errichtung von Erneuerbare-Energien-Anlagen investiert.

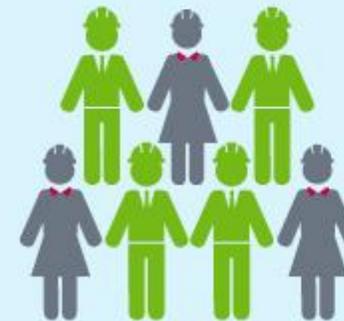
Angabe in Milliarden Euro



Mehr Erneuerbare, mehr Jobs weltweit

Die Erneuerbaren Energien sorgten 2015 für 8,1 Mio. Jobs weltweit – ein Plus von fünf Prozent.

2014: **7,7 Mio.**



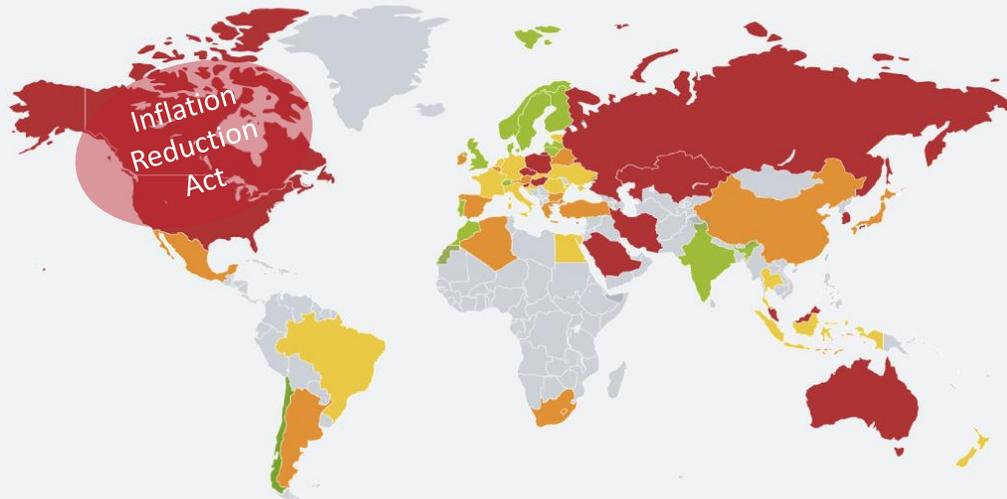
2015: **8,1 Mio.**



Was tut sich?

Welche Staaten kommen voran?

Klimaschutz-Index 2021



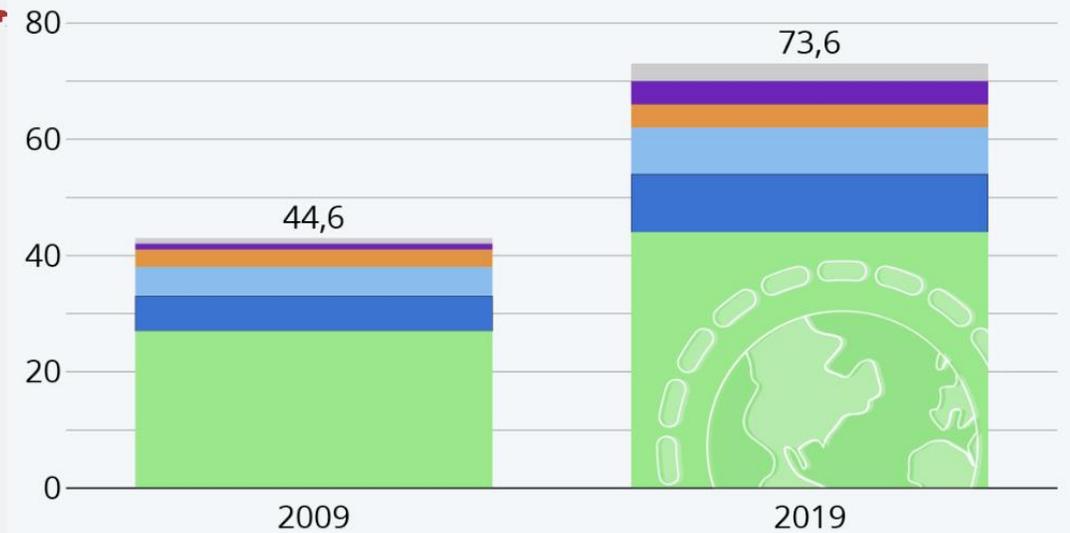
- Sehr gut
- Mäßig
- Sehr schlecht
- Gut
- Schlecht
- Nicht bewertet

Quelle: Germanwatch / NewClimate Institute

Wirtschaftsfaktor Klimaschutz

Umsatz mit Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz in Deutschland (in Mrd. Euro)

- Klimaschutz
- Gewässerschutz
- Luftreinhaltung
- Abfallwirtschaft
- Lärmbekämpfung
- Sonstige



Quelle: Statistisches Bundesamt



statista

Mythen über Wasserstoff

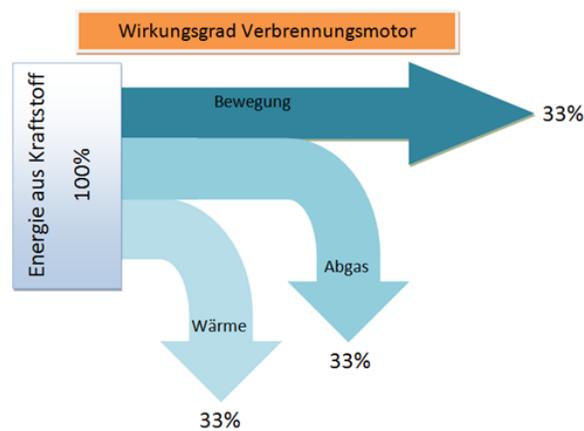


Aktueller Unsinn

- 1. Wasserstoff ist nicht wirtschaftlich!**
Mit CO₂-Bepreisung ist H₂ schon heute wirtschaftlich und:

Die EU schätzt die jährlichen Schadenskosten durch den Klimawandel auf ca. 20 Milliarden EUR in den 2020er Jahren, 90 – 150 Milliarden EUR in den 2050er Jahren und zwischen 600 und 2.500 Milliarden EUR in den 2080er Jahren, je nach der zukünftigen Entwicklung der Treibhausgasemissionen. (climatecost.cc)

- 2. Wasserstoffmobilität hat schlechten Wirkungsgrad!**



Der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle im Auto liegt bei etwa 60 Prozent. Dazu muß man noch einen Anteil abziehen, der bei der Umwandlung von Strom in H₂ verloren geht. Über alle Prozesse erreicht man einen Wirkungsgrad von ca. 35%.

- 3. Es gibt unendlich viel Ressourcen an fossilen Brennstoffen!**
2,5 Milliarden Dinosaurier haben im Laufe des Zeitalters der Dinosaurier gelebt.
Öl und Gas sind endlich!



- 4. Wasserstoff ist gefährlich!**

Wasserstoff ist – wie Erdgas auch - brennbar. Damit Wasserstoff überhaupt explodiert, braucht es ein ganz spezielles Verhältnis von Druck, Sauerstoff sowie eine Zündquelle. Das alles trifft auch auf Erdgas zu.

- 5. Wasserstoff hat eine zu geringe Energiedichte!**

Wasserstoff besitzt eine hohe massenbezogene Energiedichte: 1 kg enthält fast soviel Energie wie 3 kg Benzin (33,33 kWh/kg Wasserstoff).



Vielen Dank!

Kontakt

Dr. Klaus F. Rammert-Bentlage
- Wasserstoffkoordination -

Stadt Bottrop

*Fachbereich Umwelt und Grün (FB68)
- Umweltplanung 68/2 -
Verwaltungsgebäude Brakerstraße
Brakerstr. 74 / Raum 2.14
46238 Bottrop*

*Tel.: +49 (0)2041-70-3429
Mobil: +49 (0)151 72172335
Fax: +49 (0)2041 70-53429
E-Mail: Klaus.Rammert-Bentlage@bottrop.de*