

Wasserbedarf für die Erzeugung von grünem Wasserstoff

DVGW Winterprogramm 2024 Themen Gas/Wasser

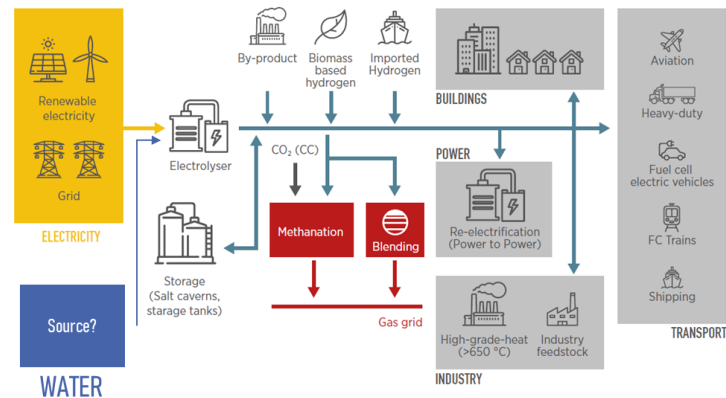
Florencia Saravia
Yair Morales

Hintergrund

1. Wasserkraftwerk
2. Geothermie
3. Kühlwasser
4. Ölförderung (Sekundäre Förderverfahren)
5. Wasser als Rohstoff

H₂-Erzeugung

- ☉ Strom
- ☉ Reinstwasser

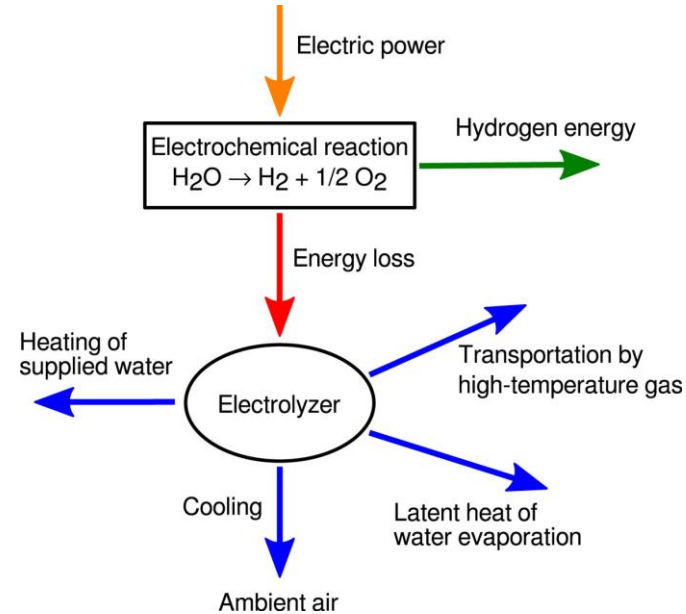


© IRENA (2018)
Hydrogen from Renewable power

→ Kein grüner Wasserstoff ohne Wasser

H₂-Erzeugung

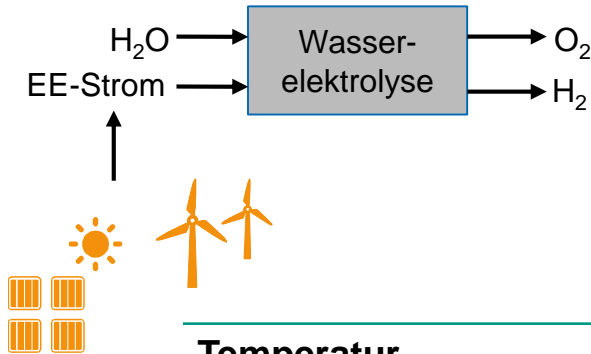
- ☉ Strom
- ☉ Reinstwasser
- ☉ Kühlwasser?



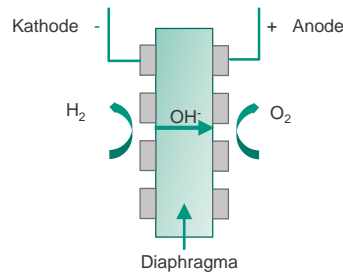
→ Kein grüner Wasserstoff ohne Wasser

Wasserqualität

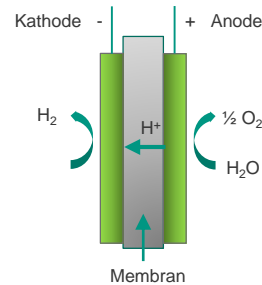
Wasser-Elektrolyse wurde in den letzten Jahren weiterentwickelt und ist „großtechnisch“ verfügbar



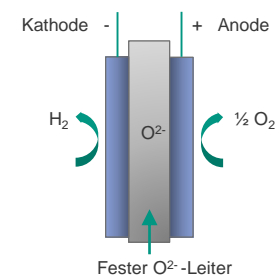
Alkalische Elektrolyse



PEM-Elektrolyse



Hochtemperatur-Elektrolyse



Temperatur	40 - 90 °C	50 - 100 °C	700 - 1000 °C
Elektrolyt	KOH	Polymermembran	Keramikmembran
TRL	9	9	8



**mehrere Großprojekte wurden gestartet
industrielle Massenfertigung läuft derzeit an**

Wasserqualität für die H₂-Produktion

- Für die Produktion von H₂ mittels H₂O-Elektrolyse wird Ultra-Pure-Water (UPW = Reinstwasser) verwendet.
- Angestrebt: Wasserqualität Typ I oder II.
- Anforderungen abhängig vom Elektrolyseur-Hersteller/Typ

Parameters	Type I	Type II	Type III	Type IV
Elek. Leitfähigkeit, max, $\mu\text{S}/\text{cm}$	0,056	1,0	0,25	5,0
pH	-	-	-	5,0 – 8,0
TOC, max, $\mu\text{g}/\text{L}$	50	50	200	k. A.
Na ⁺ , max, $\mu\text{g}/\text{L}$	1	5	10	50
Cl ⁻ , max, $\mu\text{g}/\text{L}$	1	5	10	50
Total Silizium, max, $\mu\text{g}/\text{L}$	3	3	500	No Limit

ASTM (2018).

Wasserqualität für die H₂-Produktion

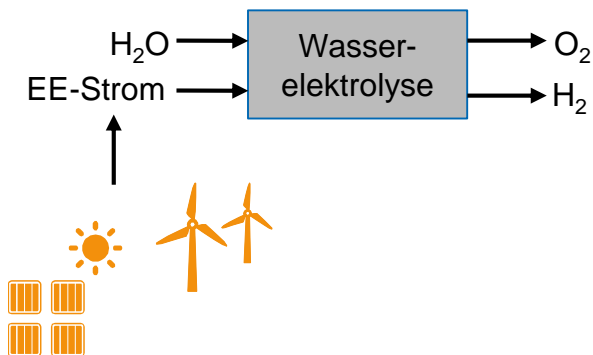
- Für die Produktion von H₂ mittels H₂O-Elektrolyse wird Ultra-Pure-Water (UPW = Reinstwasser) verwendet.
- Angestrebt: Wasserqualität Typ I oder II.
- Anforderungen abhängig vom Elektrolyseur-Hersteller/Typ

Parameters	Type I	Type II	KA-LW**	Nordsee
Elek. Leitfähigkeit, max, $\mu\text{S}/\text{cm}$	0,056	1,0	643	51.400
pH	-	-	7,1	7,9 -8,4
TOC, max, $\mu\text{g}/\text{L}$	50	50	850	1500
Na ⁺ , max, $\mu\text{g}/\text{L}$	1	5	12.700	10.556.000
Cl⁻, max, $\mu\text{g}/\text{L}$	1	5	25.800	18.980.000
Total Silizium, max, $\mu\text{g}/\text{L}$	3	3	5.600	800

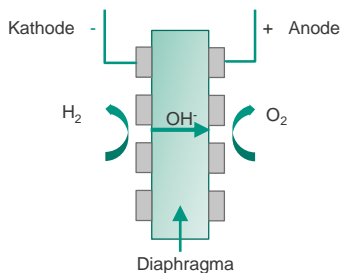
ASTM (2018)

** Jahresmittelwerte 2022.

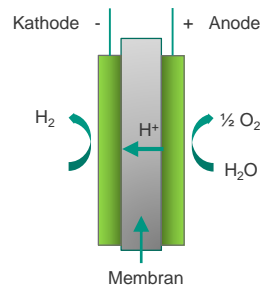
Wasserqualität für die H₂-Produktion



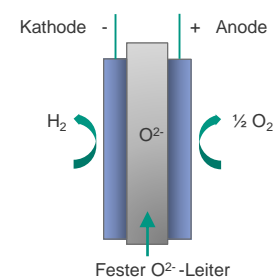
Alkalische Elektrolyse



PEM-Elektrolyse



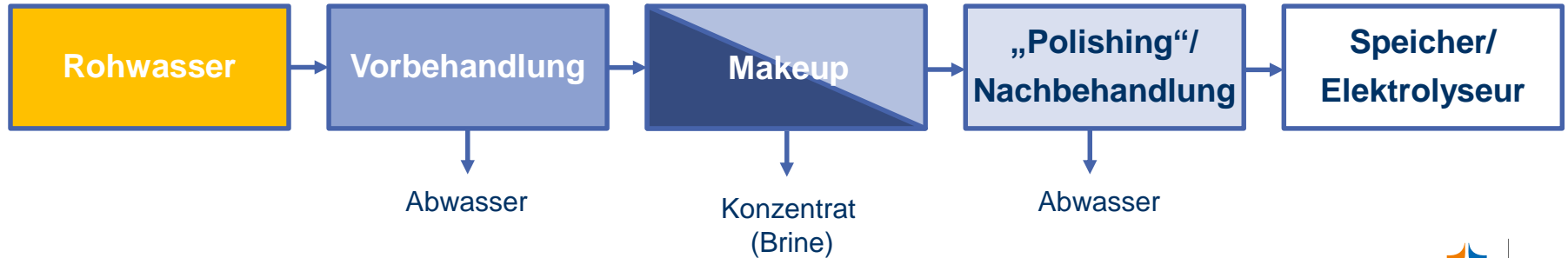
Hochtemperatur-Elektrolyse



Anforderungen Wasserqualität	<1 (5) $\mu\text{S/cm}$	<0,1 (1) $\mu\text{S/cm}$	< 0,1 $\mu\text{S/cm}$
Rezirkulation + Konti. Wasseraufbereitung	nein	ja (nein)	nein

Produktion von Reinstwasser

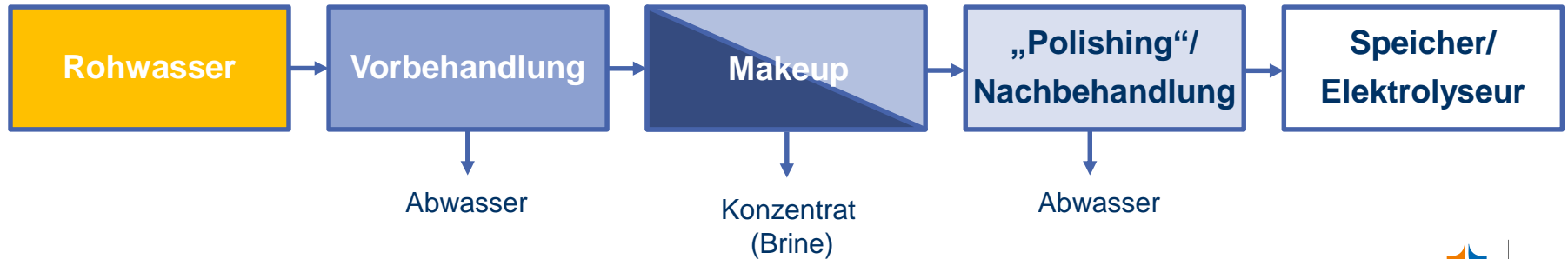
- Vorbehandlung:
 - Biologische Verfahren
 - Flockung
 - Mikro-/Ultrafiltration oder Sandfiltration
 - Desinfektion; Chlorung/Entchlorung
 - ...
- “Make up” (Entsalzung):
 - Umkehrosmose (RO)
 - Elektrodialyse
 - Membrandestillation
 - Vakuumdestillation
 - Multi-Effekt-Destillation (MED)
 - ...
- Nachbehandlung/Polishing:
 - Entgasung
 - Elektrodeionisation
 - Ionenaustauscher
 - UV
 - ...



*modifiziert nach Lee et al. 2021

Produktion von Reinstwasser

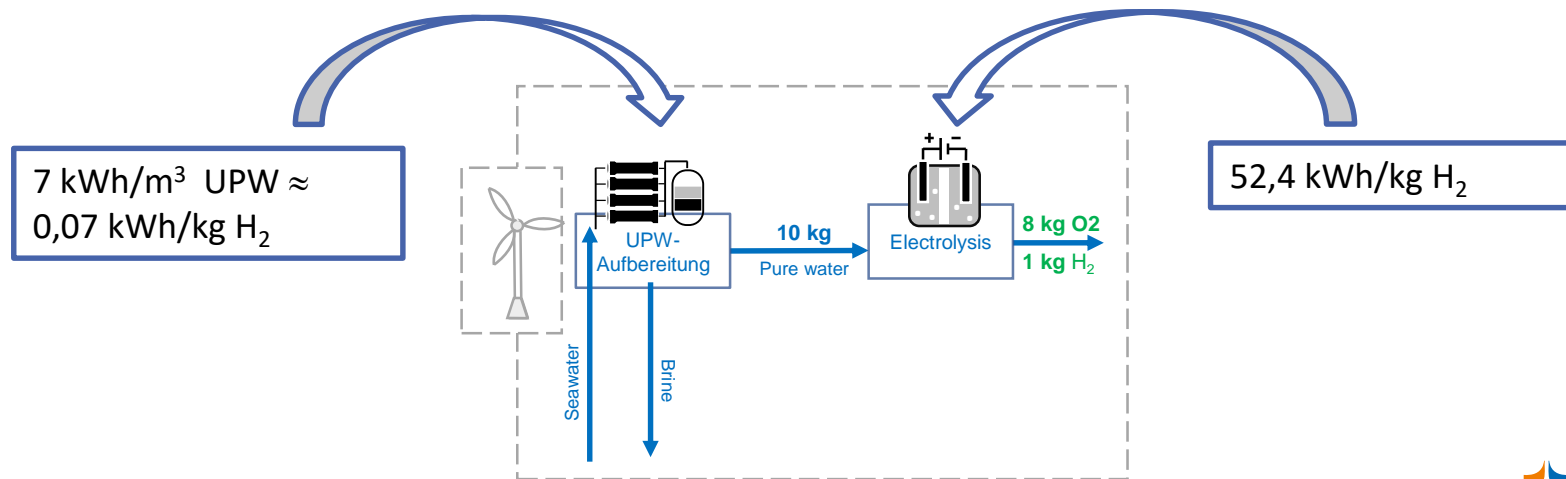
- Die Reinstwasseraufbereitung produziert neben dem Reinstwasser auch Abwasser/Konzentrat.
- Rohwasser: Meerwasser → ca. 40 % Ausbeute
Grundwasser → ca. 80 % Ausbeute



*modifiziert nach Lee et al. 2021

Produktion von Reinstwasser

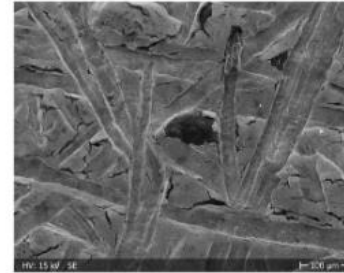
- Reinstwasser kann aus verschiedenen „Wässern“ produziert werden (Kosten Faktor, Verfahrensauswahl).
- Jedoch: Energie für die Produktion von Reinstwasser entspricht $< 1\%$ der Energieverbrauch für die Wasserstoffproduktion [2].



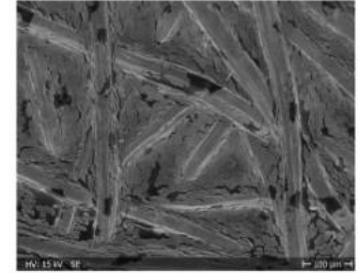
[2] Morales et al., Water management for Power-to-X offshore platforms: an underestimated item, Scientific Reports (2023)

Einfluss der Wasserzusammensetzung auf den Elektrolyseurbetrieb

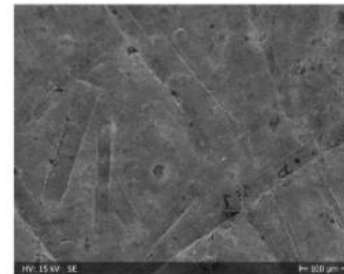
1. Performance
 2. Lebenszeit
- Verunreinigungen aus UPW-Aufbereitung
 - ✓ mehrwertige Ionen
 - ✓ Natrium
 - ✓ TOC (Biologie!)
 - ✓ Gase
 - oder Verunreinigungen aus Anlage



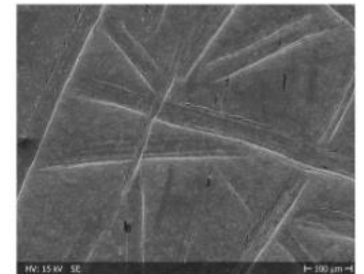
(a) Contaminated IrOx



(b) Contaminated Pt/C



(c) Reference IrOx



(d) Reference Pt/C

SEM images with 150x magnification of the sample surface of (a) the anode and (b) the cathode after the contamination test as well as (c) the anode and (d) the cathode after the reference experiment. Cl⁻ Concentration = 10 ppm. PEM-electrolyser. Kuhnert et al. 2023

Wassermengen

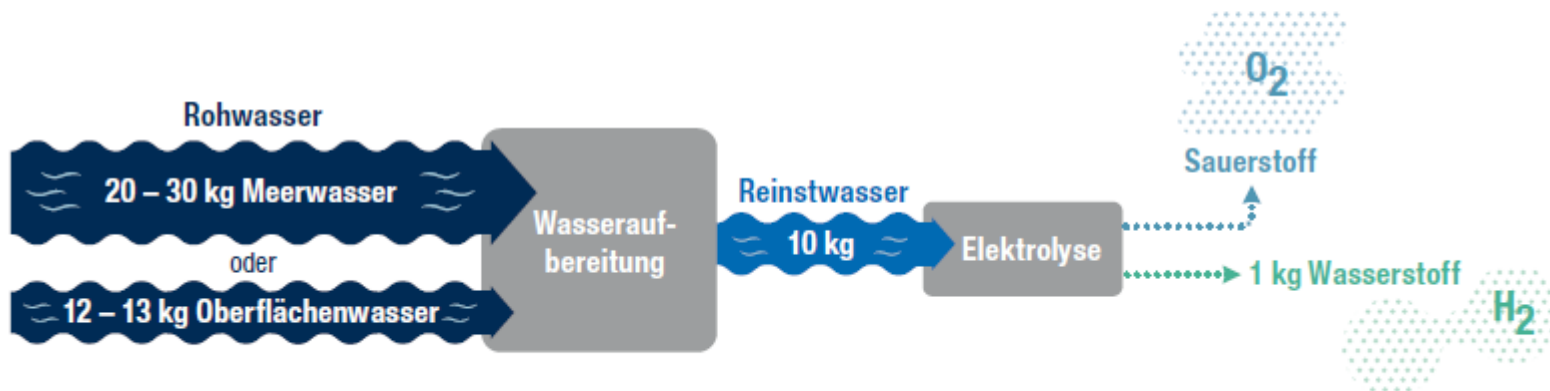
Wasser für die Erzeugung von H₂

Technologie	Wasserbedarf (L H ₂ O/kg H ₂)	Ely-Größe	Unternehmen
PEM	10,0	250-5.000 Nm ³ /h	Nel Hydrogen
AEL	11,1	150-20.000 Nm ³ /h	Nel Hydrogen
AEL	11,1	10-20 MW	Thyssenkrupp
PEM	10,0	100-2000 kg/h	Siemens Energy
PEM	10,0	0,2 -1 Nm ³ /h	Proton energy systems
AEL	10,0	30-90 Nm ³ /h	GreenHydrogen.dk
PEM	13,8*	1MW	H-TEC
PEM	15,6*	2-10 MW	H-TEC
SOEC	9,8	25 kg/h	FuelCell Energy

*Benötigte Qualität: TrinkwV2020/EU Richtlinien 2020

Wasser für die Erzeugung von H₂

Wieviel Wasser wird für die Erzeugung von einem Kilogramm Wasserstoff via Elektrolyse (ohne Kühlwasser) benötigt?



© Factsheet DVGW (2023)

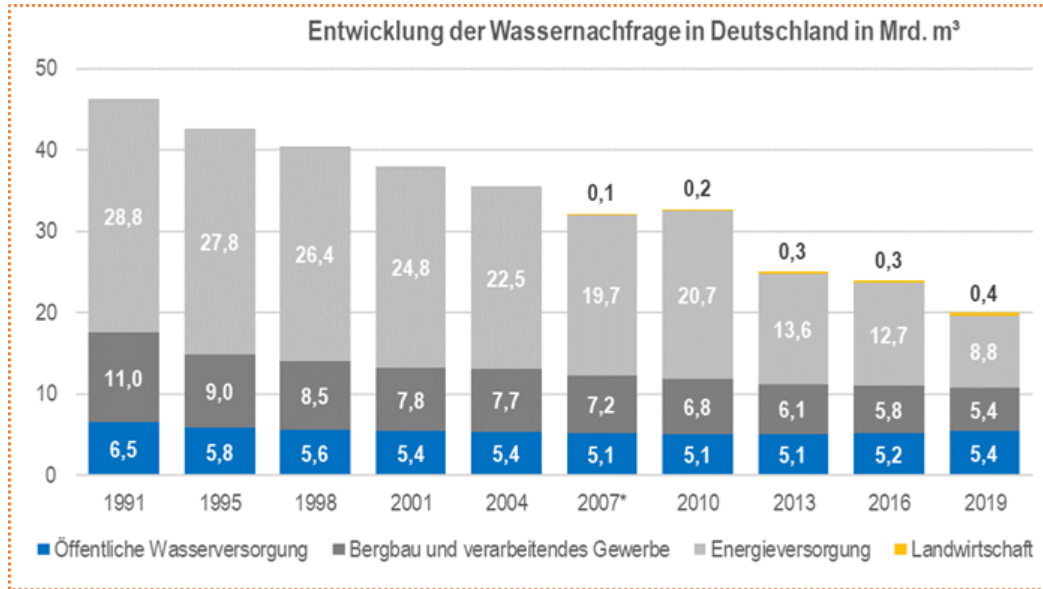
Jährlicher Wasserbedarf für die Elektrolyse in den Ausbauszenarien 10 GW und 40 GW

		10 GW	40 GW
Energiemenge (bei 2500 Volllaststunden, Wind, onshore)	GWh	25.000	100.000
H ₂	Mt	0,62 - 0,74	2,54 - 3
Wasser (UPW)	Mio. m ³	6 - 7	23 - 27
Wasser (aus Süßwasser, Ausbeute 80 %)	Mio. m ³	8 - 9	32 - 36
Wasser (aus Meerwasser- entsalzung, Ausbeute 40 %)	Mio. m ³	14 - 17	57 - 68

→ Offshore-Anlagen oder an der Küste

→ Kühlwassermengen?

Entwicklung der Wassernachfrage in Deutschland



© Umweltbundesamt

→ Größter Wasserbedarf → Energiebranche (Kühlwasser).

Wasserbedarf für die Elektrolyse im Vergleich

Wassernachfrage in den verschiedenen Sektoren Deutschlands in 2019 (Mrd. m³)

Nicht öffentliche Wasserversorgung

Energieversorgung

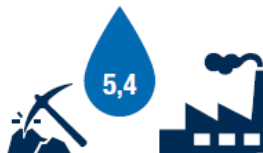
97 % sind Kühlwasser, das wieder in Flüsse und ins Grundwasser gelangt.



Ein Teil des Kühlwassers verdunstet.

Bergbau und Gewerbe

Für Kühlzwecke und stoffliche Nutzung



Landwirtschaft

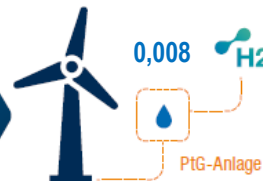
Beregnung und Bewässerung



Öffentliche Wasserversorgung



Zum Vergleich:
Eine installierte Elektrolyseleistung von insgesamt 10 GW benötigt bei 2500 Volllaststunden unter 0,01 Mrd. m³ Süßwasser.



© Factsheet DVGW (2023)

Quelle: DVGW basierend auf Daten des Umweltbundesamtes

Pipeline-Pläne zur Wasserversorgung

Bayerischer Durst auf den Bodensee

10. April 2023, 9:01 Uhr | Lesezeit: 3 min



Foto: Felix Kästle/dpa

Mit einer schwimmenden Plattform wird geprüft, ob Trinkwasser vom Grund des Bodensees entnommen werden kann.

<https://www.sueddeutsche.de/politik/bodensee-pipeline-bayern-franken-oberpfalz->

Versorgung

Wassernotstand? Hier?

10. April 2023, 9:47 Uhr | Lesezeit: 5 min



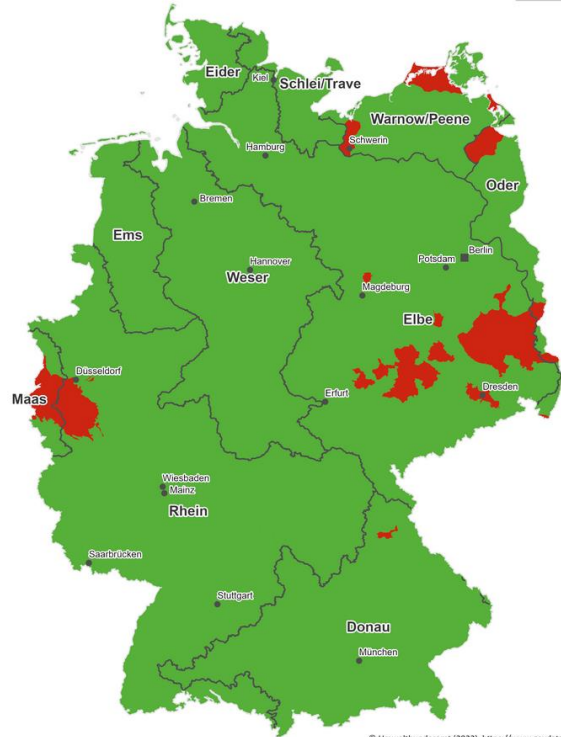
Foto: Horst Rudel/Imago

2018 gilt bislang als schlimmstes Jahr für Wasserversorger. Wie wird es 2023 im Sommer und Herbst? Der Stuttgarter Hochbehälter Hasenberg fasst 25 Millionen Liter.

<https://www.sueddeutsche.de/politik/trinkwasser-deutschland-wasserversorgung-klimawandel->

Mengenmäßiger Zustand der Grundwasserkörper in Deutschland 2021

Umwelt
Bundesamt



© Umweltbundesamt (2022), <https://www.govdata.de/dt-de/by-2-0>

gut
schlecht

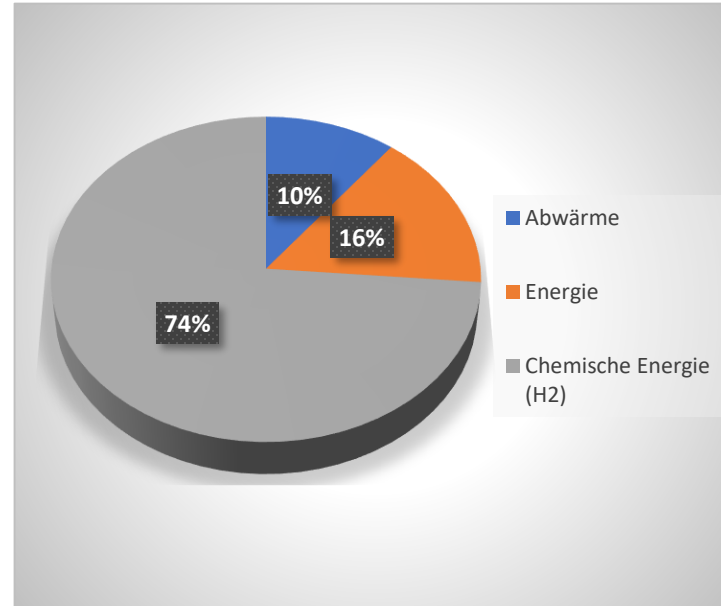
- ➔ 62 von 1291 (4,8 Prozent) Grundwasserkörpern verfehlen aktuell den guten mengenmäßigen Zustand
- ➔ Guter Zustand: natürliche Neubildung der verfügbaren Grundwasserressourcen darf **nicht** durch die langfristige Grundwasserentnahme überschritten werden

- Voraussetzungen für die Ansiedlung von Elektrolysekapazitäten (grüner Strom) sind regional stark unterschiedlich (Nord-Süd-Gefälle bei Windkraftanlagen)
- Verfügbarkeit und Qualität lokaler Wasserressourcen werden ein wichtiger Teil der Wasserstoffstrategie sein
- Nutzung von „alternativen Wasserquellen“ (z.B. Meerwasser und Kläranlagenablauf)
- Neue genehmigungsrechtliche Aspekte

- Kühlwasser

Kühlmanagement

- ➔ AEL/PEM-Temperatur 50-80 °C
- ➔ Temperatur im Stack soll weitgehend konstant bleiben
- ➔ Systemwirkungsgrad (55-75 %)
- ➔ Abwärme 10-30% von Gesamtstromverbrauch



Tiktak, 2019; Carmo et al. 2013, El-Shafie 2023

Einige Infos zur Kühlwassermengen

Abhängigkeiten

- ➔ Kühlsysteme
- ➔ Elektrolyseur (Art, Betrieb und Größe)
- ➔ Umweltbedingungen

- ➔ Wasserqualität



Factsheet DVGW (2023)

→ Wasser als Kühlmittel und nicht als Rohstoff

Möglichkeiten

- ➔ Vorwärmen der Prozesswassers
- ➔ Wasseraufbereitung (Entsalzung)
- ➔ Nutzung der Abwärme in der Kläranlage
- ➔ Fernwärme
- ➔ ...



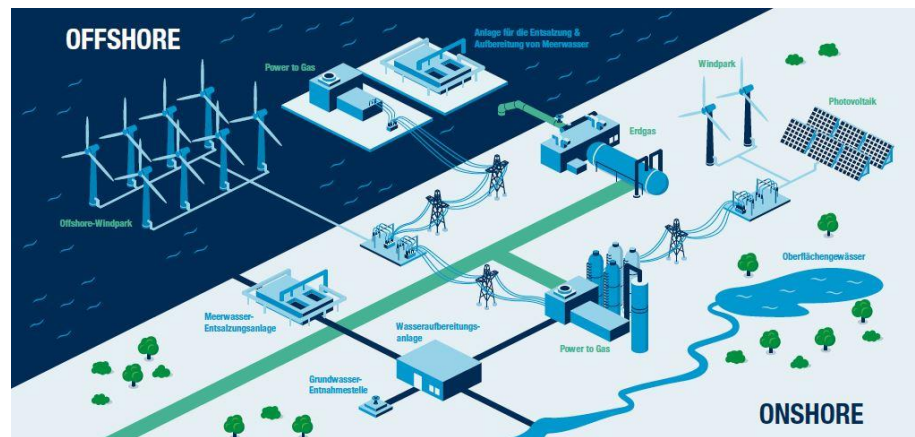
<https://www.veoliawatertechnologies.com/en/technologies/multiple-effect-distillation-med-mvc>

➔ **Kühlwassermanagement und Kühlsysteme : Abhängig von Weiternutzung des Restwärme**

Fazit

Wasser → Wasserstoff

- ☞ Das Wassermanagement muss integraler Bestandteil der Wasserstoffstrategie sein.
- ☞ Zum Wassermanagement gehört auch ein Management der Abwasserströme.
- ☞ Forschungsbedarf im Bereich Einfluss der Wasserzusammensetzung auf den Betrieb der Elektrolyse.
- ☞ Nutzung der Abwärme der Elektrolyseure → Kühlmanagement.



© Factsheet DVGW (2023)

Fragen?



Dr.-Ing. Florencia Saravia
Tel.: 0721 6084-7894
saravia@dvgw-ebi.de
www. dvgw-ebi.de



Yair Morales
Tel.: 0721 608-47051
morales@dvgw-ebi.de
www.dvgw-ebi.de