



ebi



www.dvgw.de

Gesamtwasserbedarf der Wasserelektrolyse

H₂ Lunch & Learn, 04.09.2024

Dr.-Ing. Florencia Saravia, Dr.-Ing. Stefan Gehrman



© Factsheet DVGW (2023)

- ➔ **Stöchiometrisch** werden 9 kg Reinstwasser pro kg H₂ benötigt
- ➔ **Real** werden 10-11 kg Reinstwasser pro kg H₂ benötigt
- ➔ **Wasseraufbereitung und Demineralisierung:** Der Weg zum Reinstwasser ist abhängig von der Zusammensetzung des Rohwassers. Es entstehen immer Wasserverluste in Form von Konzentraten.

Produktion von Reinstwasser

Vorbehandlung

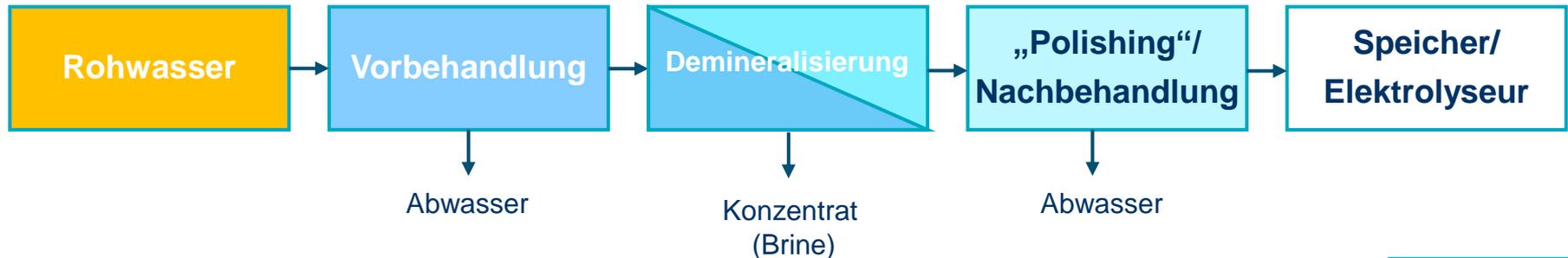
- ➔ Biologische Verfahren
- ➔ Flockung
- ➔ Mikro-/Ultrafiltration oder Sandfiltration
- ➔ Desinfektion; Chlorung/Entchlorung
- ➔ ...

Demineralisierung

- ➔ Umkehrosmose (RO)
- ➔ Elektrodialyse
- ➔ Membrandestillation
- ➔ Vakuumdestillation
- ➔ Multi-Effekt-Destillation (MED)
- ➔ ...

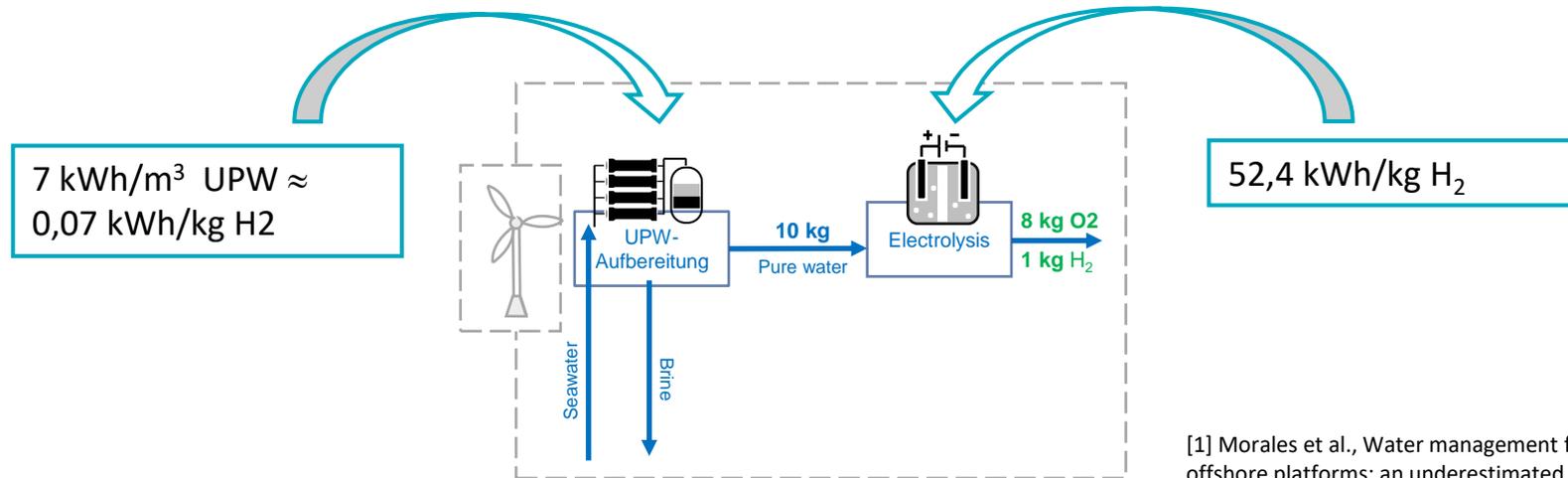
Nachbehandlung/ Polishing

- ➔ Entgasung
- ➔ Elektrodeionisation
- ➔ Ionenaustauscher
- ➔ UV
- ➔ ...



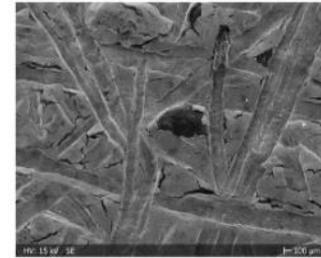
Produktion von Reinstwasser

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

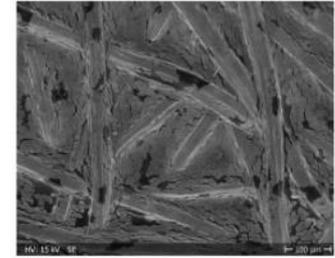


[1] Morales et al., Water management for Power-to-X offshore platforms: an underestimated item, Scientific Reports (2023)

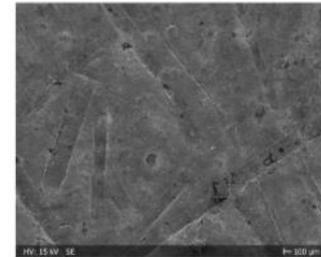
- ➔ Performance
- ➔ Lebenszeit
- Verunreinigungen aus der UPW-Aufbereitung
 - ✓ mehrwertige Ionen
 - ✓ Natrium
 - ✓ TOC (Biologie!)
 - ✓ Gase
- Verunreinigungen aus der Anlage



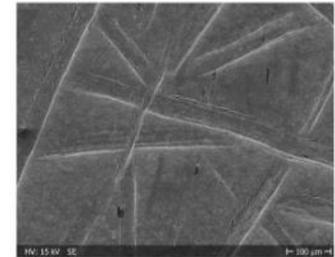
(a) Contaminated IrOx



(b) Contaminated Pt/C



(c) Reference IrOx

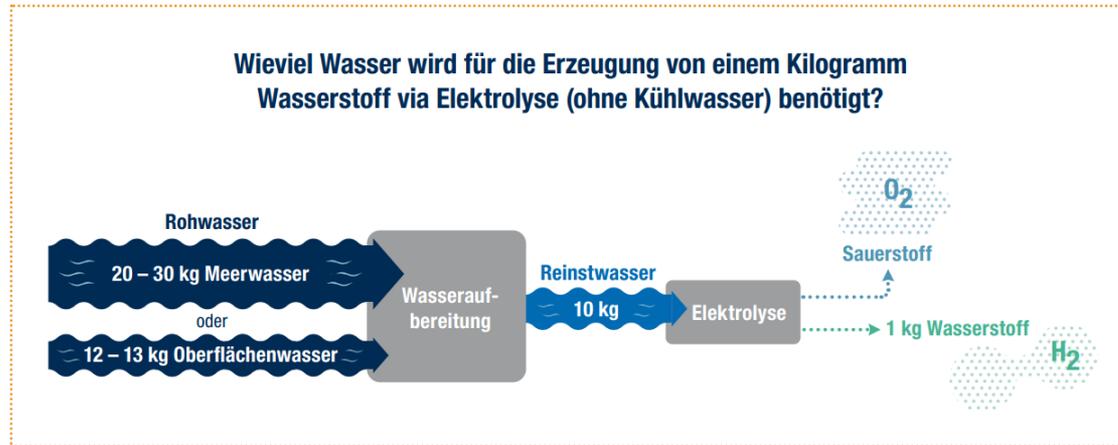


(d) Reference Pt/C

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

Was bisher geschah...

- ➔ Bei Verwendung von **Oberflächenwasser** ist von einem Wasserverbrauch von 12 – 13 kg pro kg H₂ auszugehen



© Factsheet DVGW (2023)

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

		10 GW	40 GW
Energiemenge (bei 5.000 Volllaststunden)	GWh	50.000	200.000
H ₂	Mt	1,2 – 1,5	5 - 6
Wasser (UPW)	Mio. m ³	12 - 14	46 - 54
Wasser (aus Süßwasser, Ausbeute 80 %)	Mio. m ³	15 – 17,5	57,5 - 68

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

		10 GW	40 GW
Energiemenge (bei 5.000 Volllaststunden)	GWh	50.000	200.000
H ₂	Mt	1,2 – 1,5	5 - 6
Wasser (UPW)	Mio. m ³	12 - 14	46 - 54
Wasser (aus Süßwasser, Ausbeute 80 %)	Mio. m ³	15 – 17,5	57,5 - 68
Wasser (aus Meerwasser-entsalzung, Ausbeute 40 %)	Mio. m ³	30 - 35	115 - 134

Einordnung der benötigten Wassermengen bei Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie

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

Nicht öffentliche Wasserversorgung

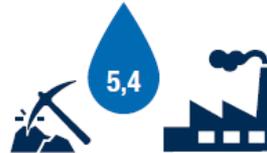
Energieversorgung

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



Bergbau und Gewerbe

Für Kühlzwecke und stoffliche Nutzung



Landwirtschaft

Beregnung und Bewässerung

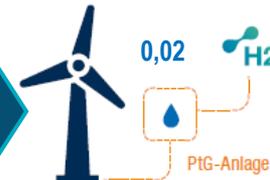


Öffentliche Wasserversorgung



Zum Vergleich:

Eine installierte Elektrolyseleistung von insgesamt 10 GW benötigt bei 5000 Vollaststunden unter 0,02 Mrd. m³ Süßwasser



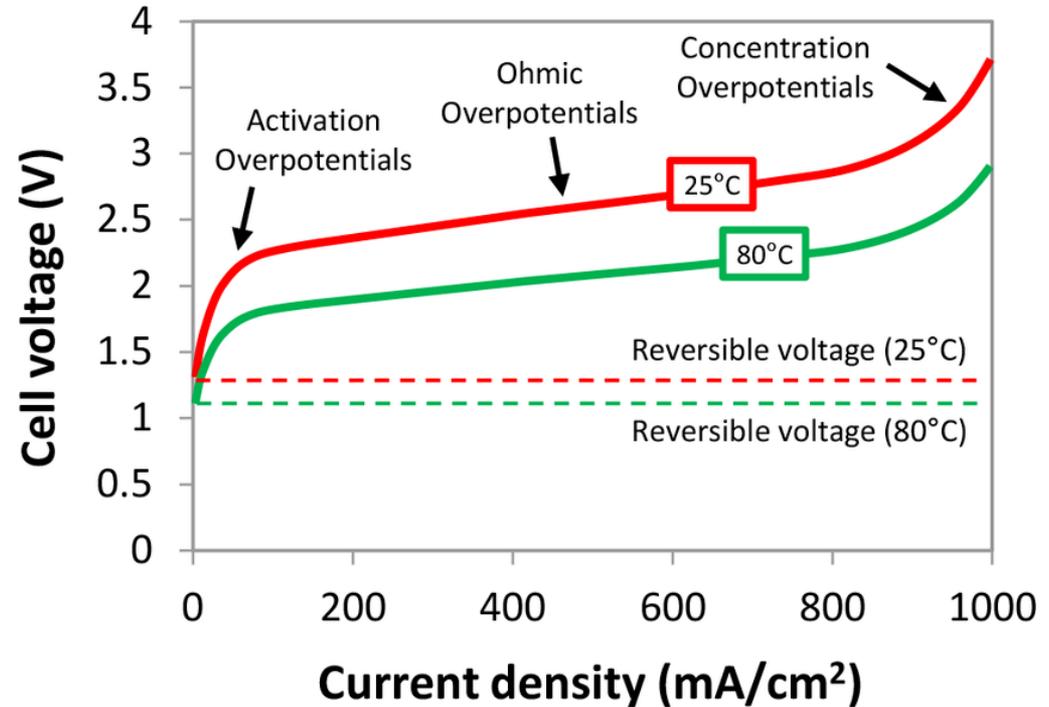
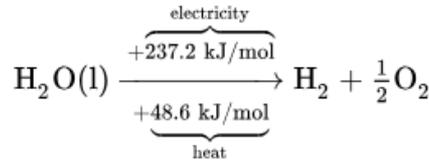
© - Modifiziert nach Factsheet DVGW (2023)

Quelle: DVGW basierend auf Daten des Umweltbundesamtes



- ➔ Factsheet betrachtet lediglich den Wasserverbrauch bezüglich des benötigten **Prozesswassers für den Elektrolyseprozess**
- ➔ Fragen nach **Gesamtwasserbedarf**, insbesondere unter Berücksichtigung von **Kühlwasser**
- ➔ Die Wasserelektrolyse ist eine **endotherme Reaktion...wieso Kühlwasser?**

Einleitung Factsheet II



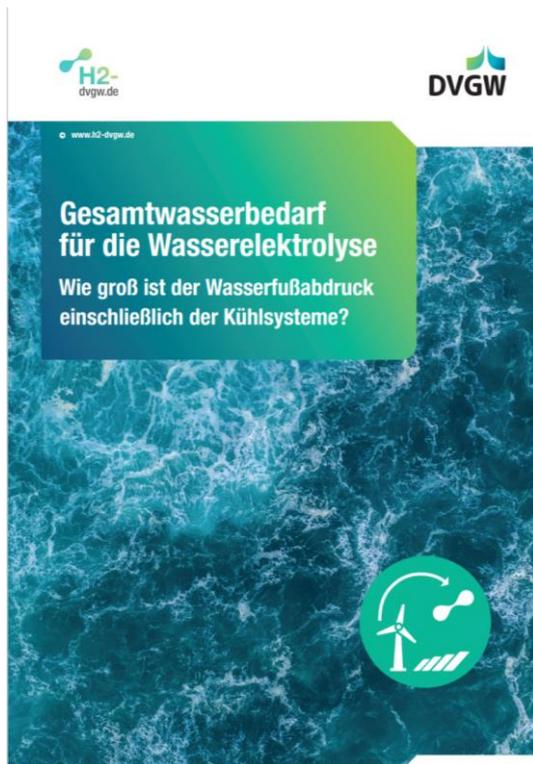
Verlauf der Zellspannung in Abhängigkeit von der Stromdichte bei alkalischen Elektrolysen. Amores et al. 2017



- ➔ Factsheet betrachtet lediglich den Wasserverbrauch bezüglich des benötigten **Prozesswassers für den Elektrolyseprozess**
- ➔ Fragen nach **Gesamtwasserbedarf**, insbesondere unter Berücksichtigung von **Kühlwasser**
- ➔ Die Wasserelektrolyse ist eine **endotherme Reaktion**...wieso Kühlwasser?
- ➔ Notwendige Spannung = theoretische Zersetzungsspannung + Überspannung (**Wärme**)
- ➔ Abwärme 10-30% von Gesamtstromverbrauch



Nachfolgestudie zur Betrachtung
des Gesamtwasserbedarfs
veröffentlicht im Juni 2024



Wichtige Unterscheidung

Wasserbedarf

Wie viel Wasser wird dem lokalen Kreislauf entzogen ohne Berücksichtigung, ob es wieder zurückgeführt wird oder nicht

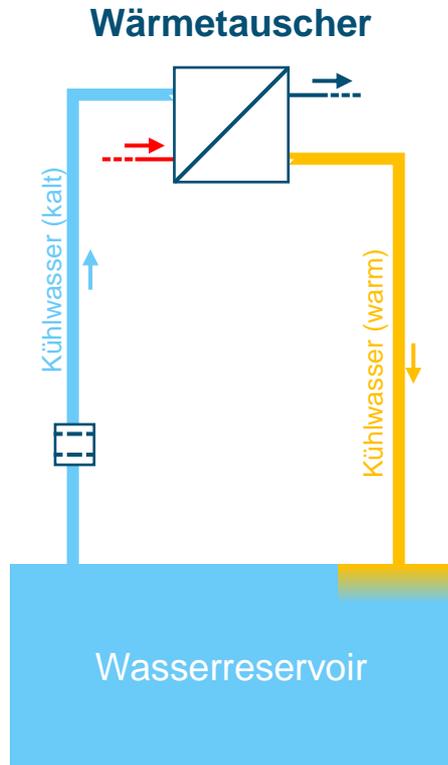
Wasserverbrauch

Wie viel Wasser dem lokalen Kreislauf entzogen und nicht wieder zurückgeführt

Wasserbedarf = Wassergebrauch + Wasserverbrauch

Prinzip der Kühlsysteme

Prinzip der Durchlaufkühlung



Das Wasser wird nach einmaligem Gebrauch aufgewärmt in das Wasserreservoir zurückgeleitet (*once through cooling*).

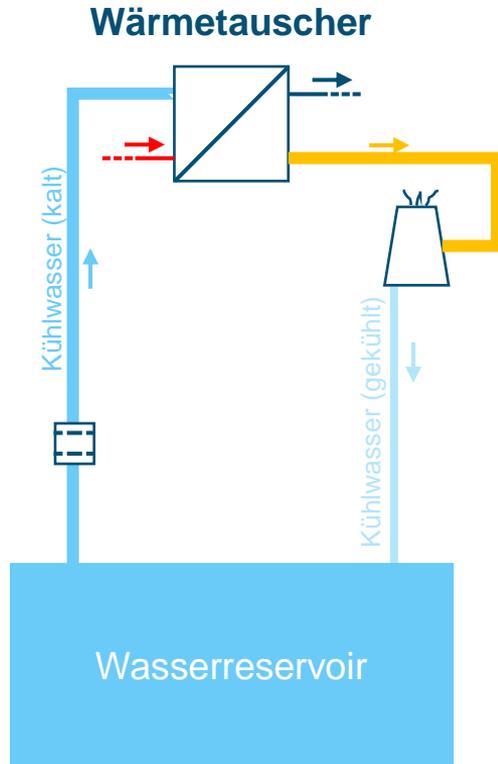
Vorteile

- Wenig Wasseraufbereitung nötig
- Quasi keine Wasserverluste
- Hohe Effizienz
- Einfaches und kostengünstiges System

Nachteile

- Großer Wasserbedarf und entsprechend große Systeme
- Standortvoraussetzungen
- Je nach Standort anfällig gegenüber Niedrigwasser
- Wärmeabgabe an das Ökosystem Wasser

Prinzip der Ablaufkühlung



Das Wasser wird nach einmaligem Gebrauch abgekühlt und in das Wasserreservoir zurückgeleitet.

Vorteile

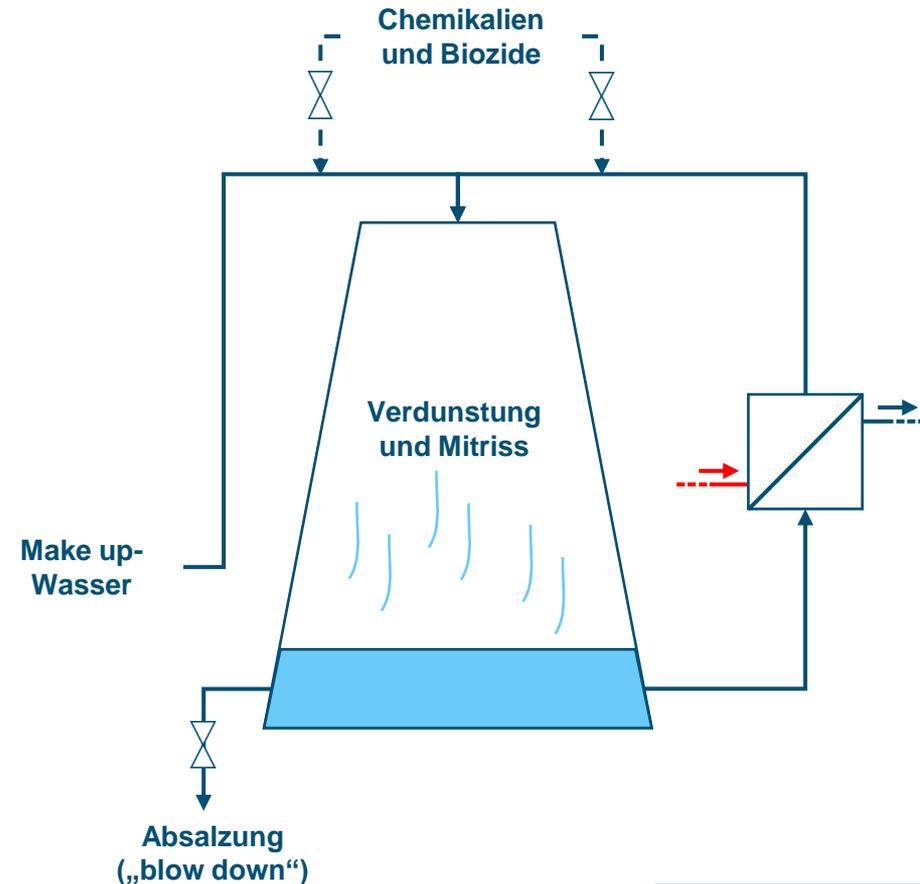
- Wenig Wasseraufbereitung nötig
- Geringe Wasserverluste (weitere Verringerung durch geschlossene Systeme möglich)
- Hohe Effizienz

Nachteile

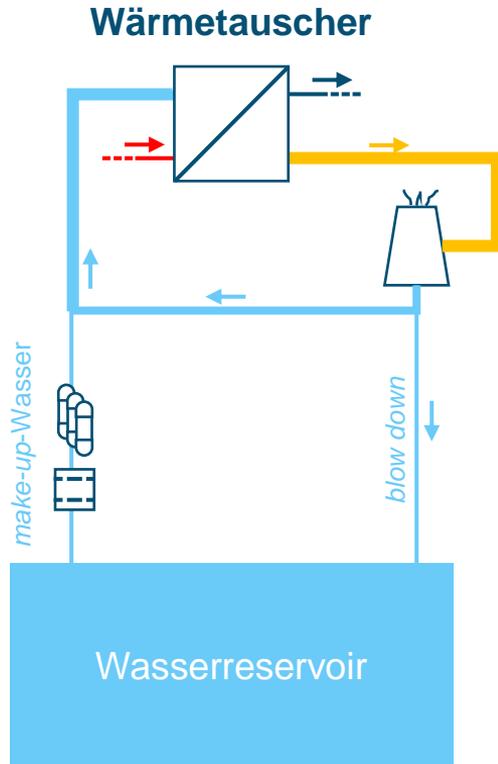
- Großer Wasserbedarf und entsprechend große Systeme
- Standortvoraussetzungen
- Je nach Standort anfällig gegenüber Niedrigwasser

Prinzip der Kreislaufkühlung

- ➔ Üblicherweise wird bei der Kreislaufkühlung eine offene oder geschlossene Verdunstungskühlung, meist über Kühltürme gewählt.
- ➔ Durch die Verdunstung kommt es zur Eindickung des Kühlwassers und damit im Laufe der Zeit zu Ablagerungen bspw. von Kalk, Korrosion und Biofilmbildung.
 - ➔ Absalzung („blow down“) eines gewissen Anteils
 - ➔ Zugabe von Chemikalien zur Verhinderung von Kalkablagerung, Korrosionen und Biozide
- ➔ Neben den offenen und geschlossenen Systemen gibt es auch Hybrid-Systeme mit charakteristischen Unterschieden



Prinzip der Kreislaufkühlung



Kühlwasser zirkuliert zwischen Wärmetauscher und Kühlturm. Wegen Verdunstung und Absatzung ist Frischwasserzufuhr nötig.

Vorteile

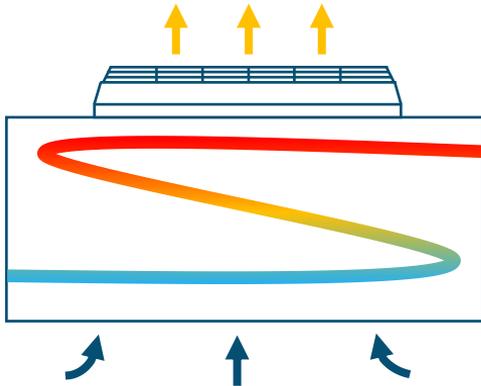
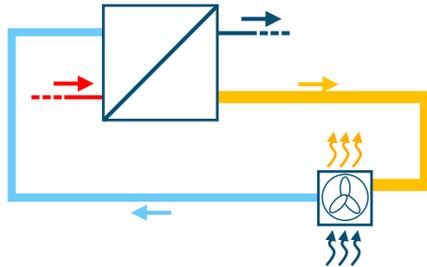
- Geringer Wasserbedarf
- Geringe Wasserverluste
- Schonung des Wasserreservoirs

Nachteile

- Aufwendigere Wasseraufbereitung ggf. inkl. Einsatz von Chemikalien
- Standortvoraussetzungen
- Höhere Kosten

Prinzip der Luftkühlung

Wärmetauscher



Umgebungsluft wird zur Kühlung einer Kühlflüssigkeit genutzt, die in einem geschlossenen System zirkuliert.

Vorteile

- Kein zusätzlicher Wasserbedarf
- Geringere Umweltauswirkungen
- Geringere Standortanforderungen

Nachteile

- Höhere Kapital- und Energiekosten
- Große Systeme
- Geräuschimmissionen
- Geringere Effizienz

Quantifizierung des Wasserbedarfs

Annahmen für die Quantifizierung

Betriebstemperatur des Elektrolyseurs: 65 – 80 °C

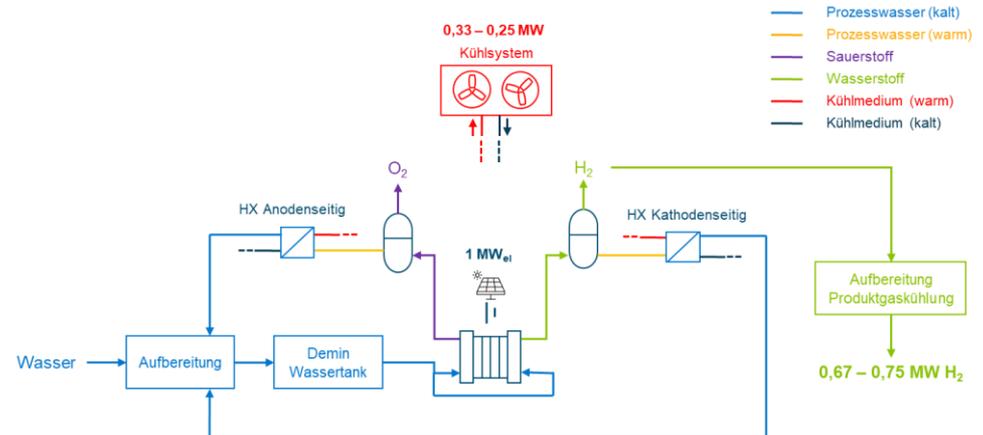
Wirkungsgrad der Elektrolyse: 67 – 75 %

ΔT Kühlwasser: 5 – 10 K

Rohwasser: Oberflächenwasser oder teilaufbereites Wasser

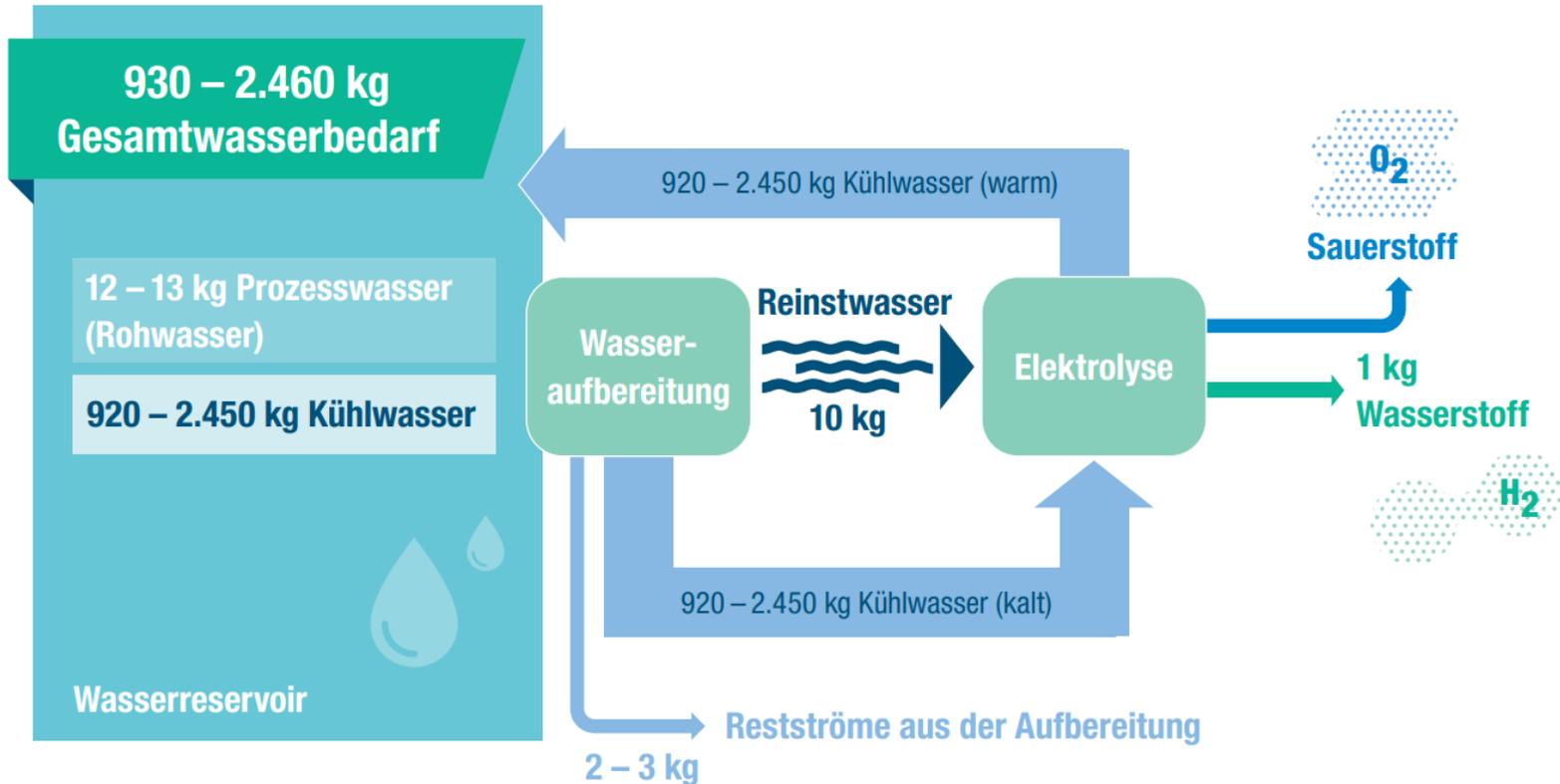
Übliche Betriebsweise des Kühlsystems und der Elektrolyse

Literaturstellen sind im Factsheet aufgelistet



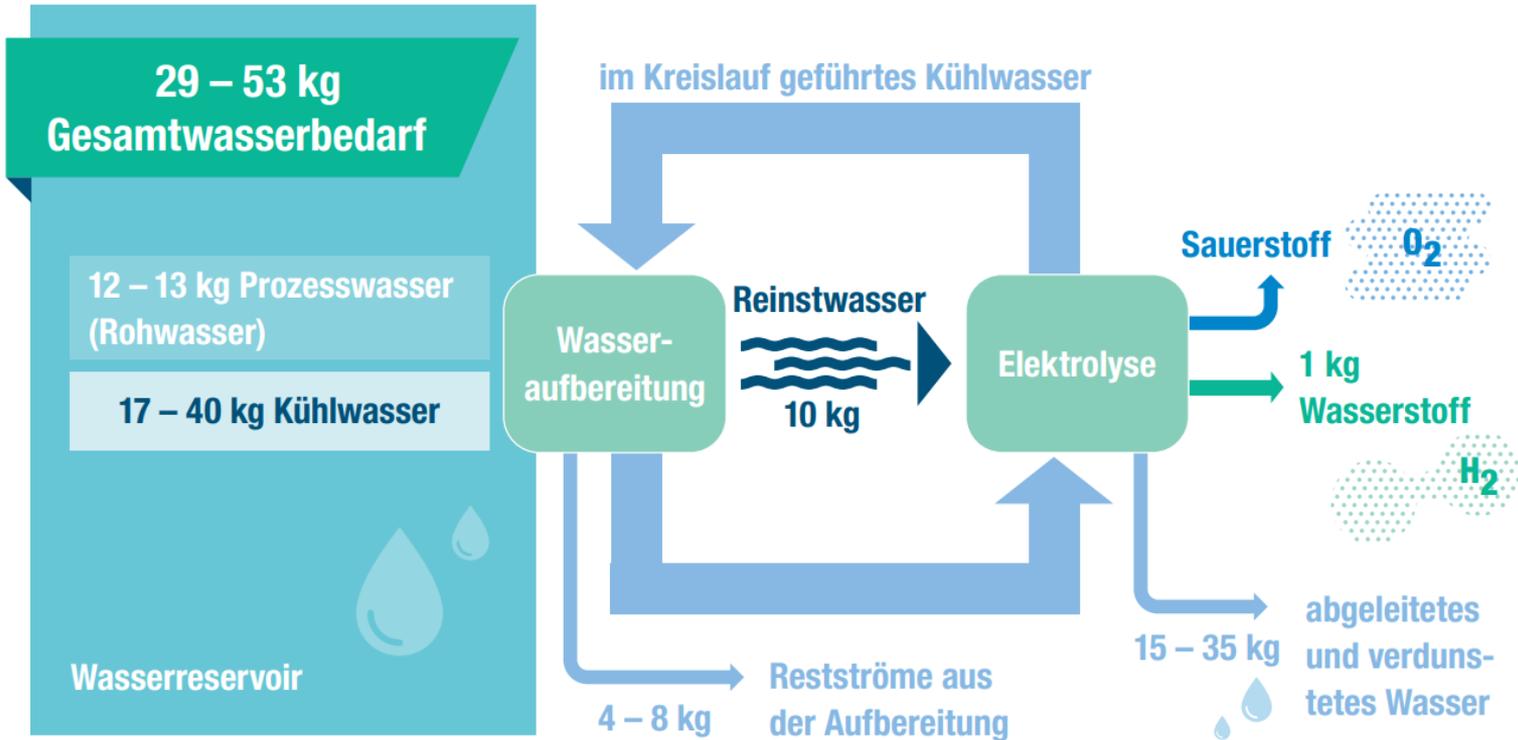
Durchlaufkühlung

Hoher Wasserbedarf bei minimalem Verbrauch



Kreislaufkühlung

Mehrfache Nutzung reduziert den Bedarf



Viele Faktoren entscheiden über den Gesamtwasserbedarf

➔ Kühlwasserbedarf von vielen Faktoren abhängig und nicht pauschal zu bestimmen



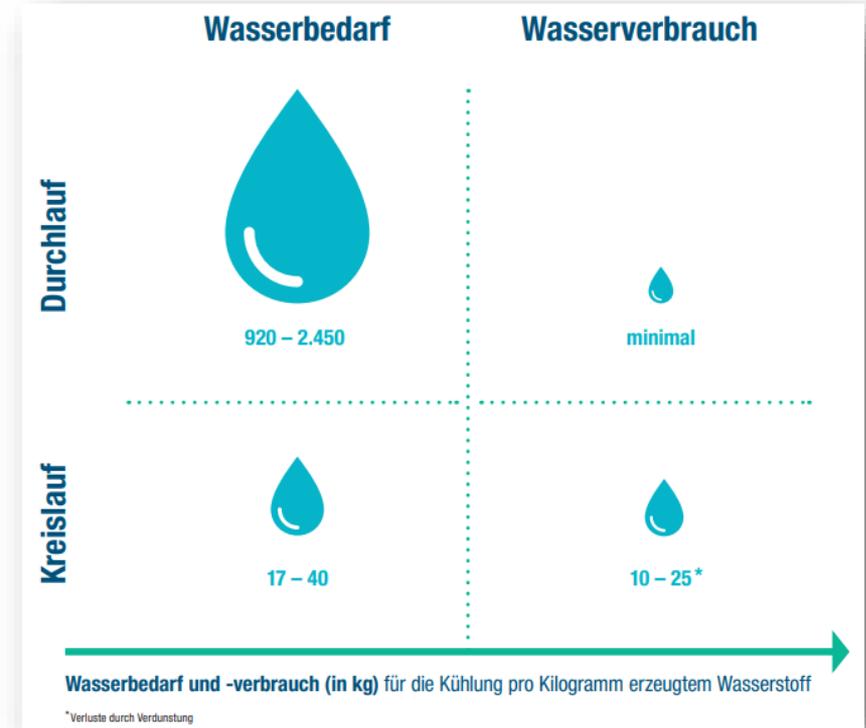
- Art und Alter des **Elektrolyseurs**
- Betriebsprofil

- Zusammensetzung des **Wassers**
- Wasserrechtliche Erlaubnis

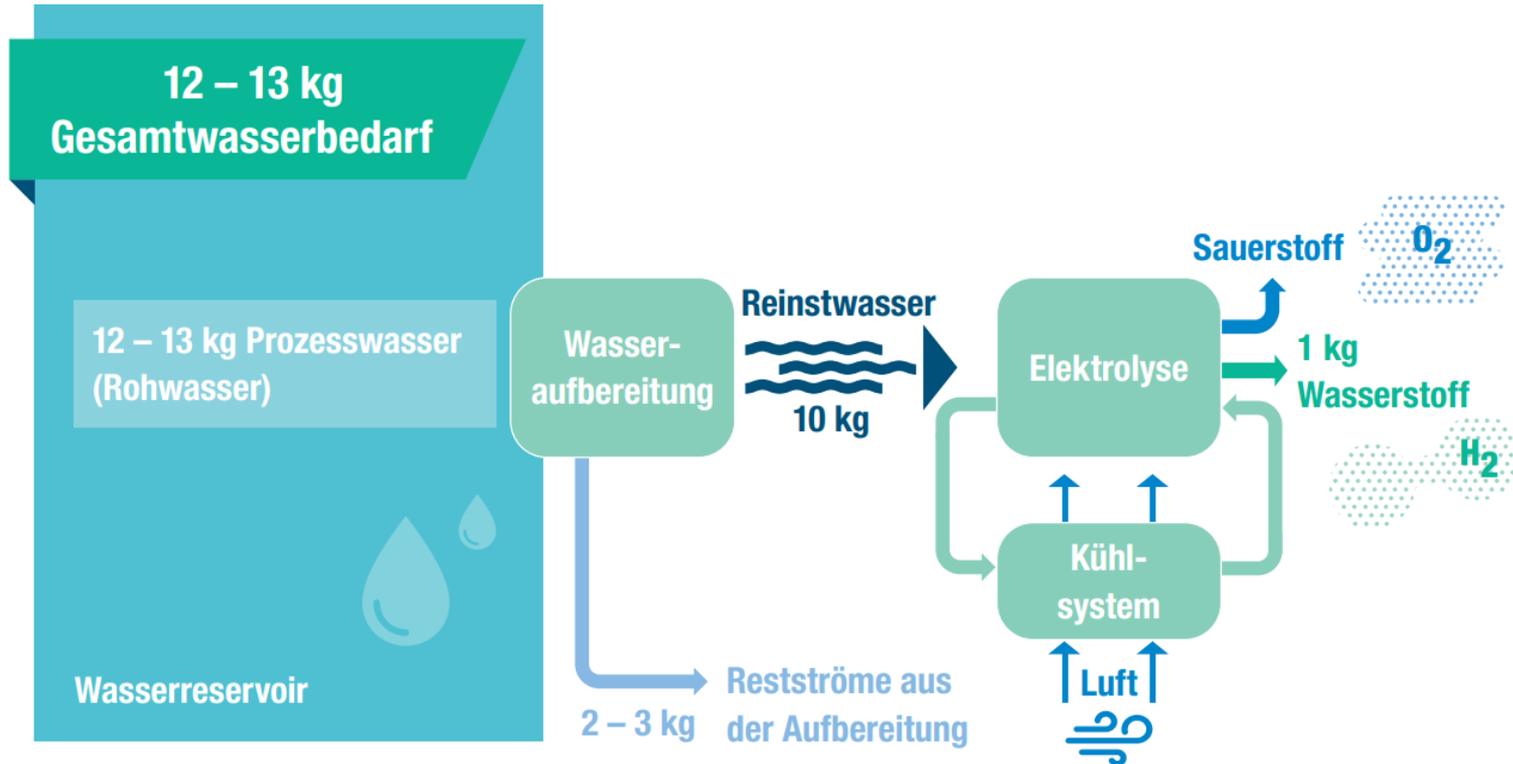


- Klimatische **Standortbedingungen** (Luftfeuchtigkeit, Temperatur)

- Betriebsweise des **Kühlsystems**
- Konzentrationszyklus

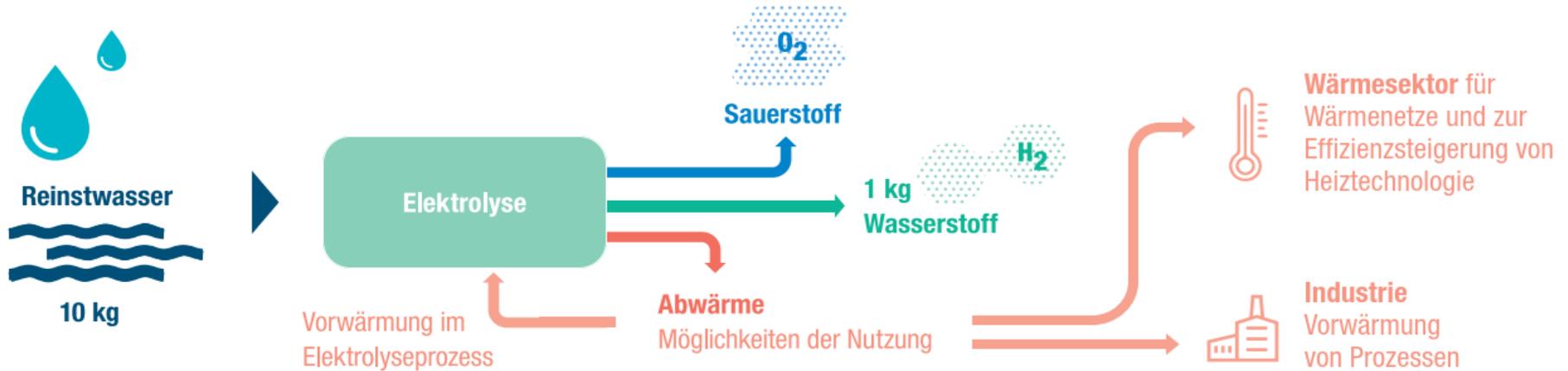


Luftkühlung Kein zusätzlicher Wasserbedarf



Abwärmennutzung als sinnvolle Alternative zu Kühlverfahren

Abwärmenutzung erhöht Wirkungsgrad der Elektrolyse und reduziert den Wasserbedarf



- **Temperaturniveau** der Abwärme liegt bei etwa **50 – 70 °C**
- **Nutzung der Abwärme** kann Gesamtwirkungsgrad der Elektrolyse auf über 90% steigern
- Erste Elektrolyseprojekte mit Wärmenutzung existieren, z.B.
 - Quartier **Neue Weststadt Esslingen** (1 MW_{el} Elektrolyseur, Abwärme wird genutzt im Nahwärmenetz des Quartiers; Green Hydrogen Esslingen; Polarstern Erzeugungs GmbH, Stadtwerke Esslingen)
 - **IntegrH2ate** (Betrieboptimierung zur Nutzung der Abwärme des Elektrolyseurs in Wärmenetzen in Verbindung mit einer Wärmepumpe; Linde, Fraunhofer IEG, Stadtwerke Zittau)

➤ **Der Kühlwasserbedarf ist keine pauschale Größe sondern ein Ergebnis der Projektplanung**

Der Rohwasserbedarf (= **Prozesswasser** der Elektrolyse) ist abhängig von der Zusammensetzung des Wassers relativ konstant. Der **Kühlwasserbedarf** dagegen ist abhängig von verschiedenen Faktoren und **Bedarf und Verbrauch** müssen unterschieden werden.

➤ **Abführung der Abwärme ist ein verfahrenstechnisches Thema**

Es stehen zahlreiche **industriell etablierte Verfahren** zum Umgang mit Abwärme zur Verfügung. Bei der Auswahl müssen **Standort- und Projekt-spezifische Gegebenheiten** berücksichtigt werden.

➤ **Eine Nutzung der Abwärme bietet eine Option, den Kühlwasserbedarf zu reduzieren und den Gesamtwirkungsgrad der Elektrolyse zu erhöhen**

Es sollte geprüft werden, ob eine Auskopplung der Abwärme mit anschließender Nutzung in häuslichem oder industriellem Umfeld möglich ist.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



Dr. Florencia Saravia

Bereichsleiterin Wasserchemie
und Wassertechnologie der
DVGW-Forschungsstelle am
Engler-Bunte-Institut des KIT



Dr. Stefan Gehrmann

Referent Energieforschung
Technologie und
Innovationsmanagement
DVGW e.V.