



# Kläranlagen als Standort einer H<sub>2</sub>-Erzeugung - Potenziale und Synergien-

---

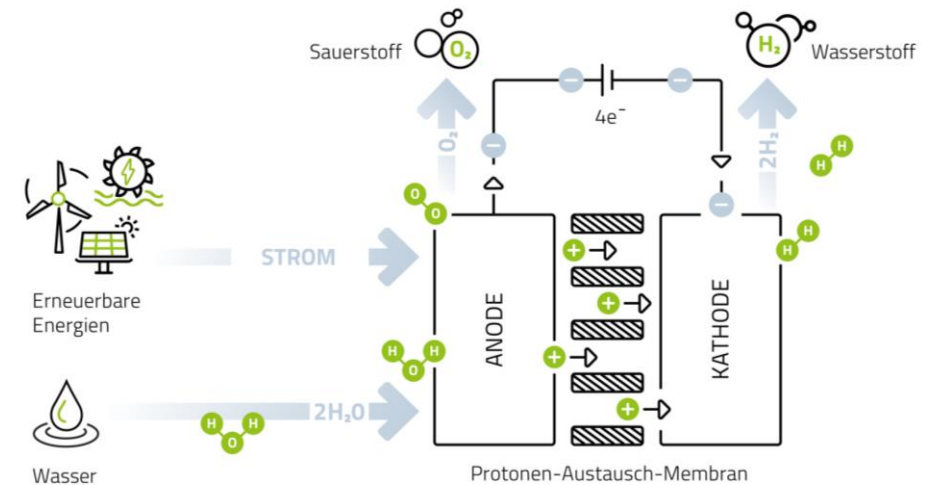
Yannick Taudien

## Kläranlagen als Standort einer H<sub>2</sub>-Erzeugung

- (1) Motivation und Hintergrund
- (2) Synergien und Potenziale
- (3) Beispielprojekte
- (4) Potenzial beim Wupperverband

## Herstellung von Wasserstoff (H<sub>2</sub>)

- Bisher „grauer“ Wasserstoff aus fossilem Erdgas (Dampfreforming), zukünftig „grüner“ Wasserstoff aus erneuerbaren Energien
- In PEM\*-Elektrolyseuren wird Wasserstoff durch die Spaltung von H<sub>2</sub>O mit Einsatz von Strom (EE) erzeugt (\*Protonen-Austausch-Membran)
- Vorteile der PEM-Elektrolyse sind u.a. ein guter Teillastbetrieb und ein hoher Druck an der Membran (weniger Verdichtung notwendig)
- Es gibt bereits viele Hersteller, die serienmäßig Elektrolyseure anbieten
- Definition von „grünem“ H<sub>2</sub> gemäß EU RED II DA (13.02.2023) aber noch mit „Einschränkungen“



Quelle: <https://www.h-tec.com/wasserstoff/>



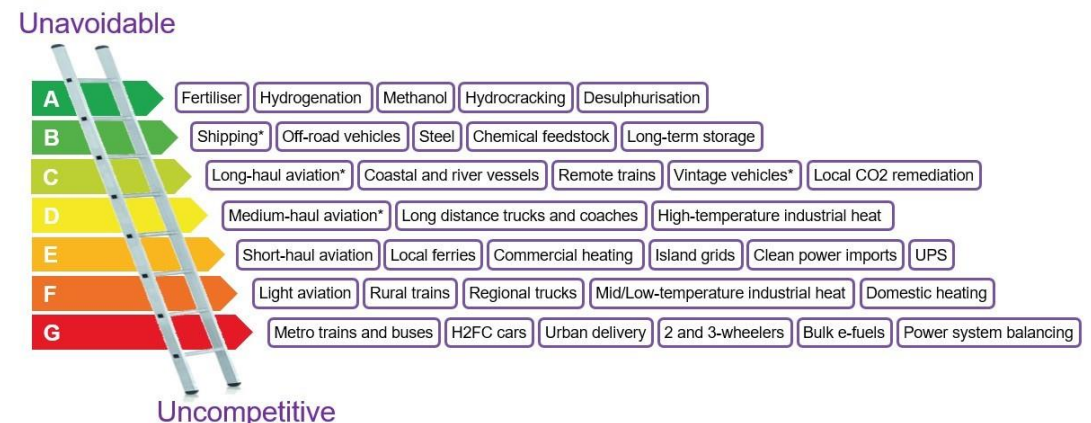
Quelle: AWG Wuppertal

## Nutzung von Wasserstoff

- Wasserstoff hat **viele Nutzungsmöglichkeiten** (Treibstoff, Brennstoff, Grundstoff)
- In vielen Sektoren ist **ohne grünen Wasserstoff keine Decarbonisierung** möglich
- Der **Wirkungsgrad der H<sub>2</sub>-Erzeugung** liegt bei ca. **70%**, weitere Verluste bei Nutzung oder Rückverstromung
- Daher ist eine **direkte Stromnutzung** (BEV, Wärmepumpe ..) **dort wo es geht effizienter**
- Aber **Wasserstoff ist ein guter Energieträger für EE-Überschüsse** und sollte sinnvoll genutzt werden (Industrie, Schwerlastverkehr ÖPNV ..)



Quelle: Plankenbühler et al, 2021



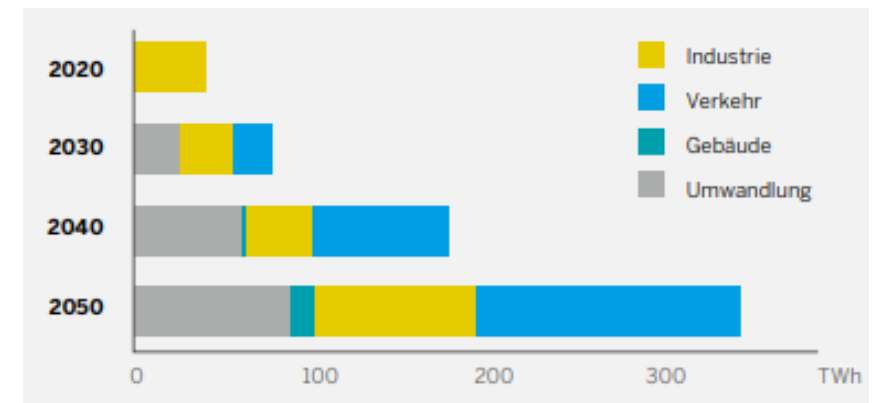
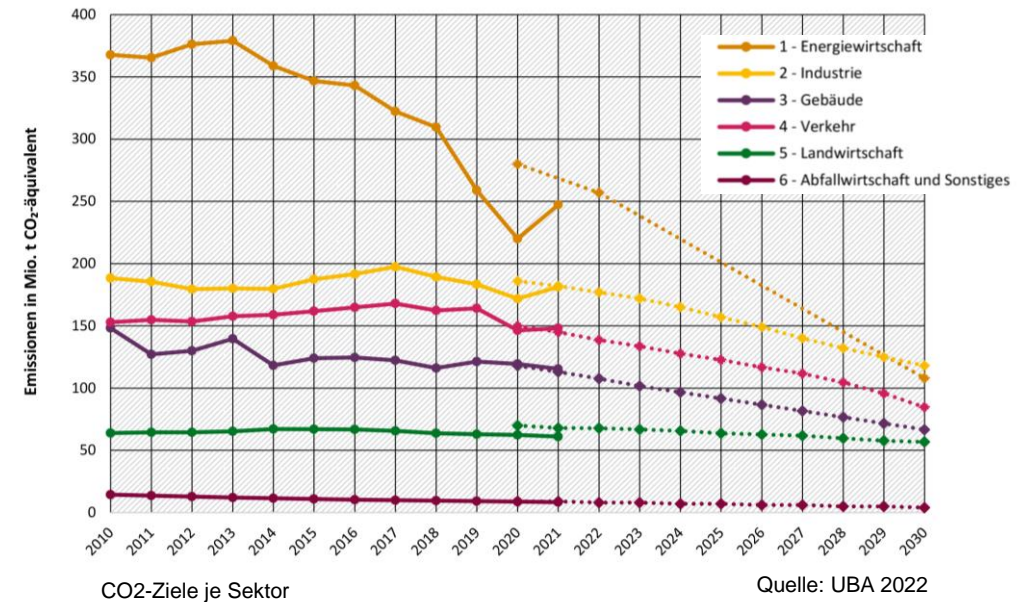
\* Via ammonia or e-fuel rather than H<sub>2</sub> gas or liquid

Source: Liebreich Associates (concept credit: Adrian Hiel/Energy Cities)

Quelle: <https://www.linkedin.com/pulse/clean-hydrogen-ladder-v40-michael-liebreich>

## Bedarf an Wasserstoff

- Um die **CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele der Energiewende** auch in den Bereichen Industrie, Verkehr und Gebäude zu erreichen, ist eine Sektorenkopplung erforderlich
- Die **Sektorenkopplung kann über Wasserstoff realisiert werden (P2G, Power-to-gas)**
- Aus diesem Grund wird weltweit - und insbesondere auch in NRW - ein **stark steigender Bedarf an (grünem) Wasserstoff** prognostiziert
- Die **Prognose des Wasserstoffbedarfs** für Deutschland liegt bei > 300 TWh/a bis 2050



## Zukünftige Anforderungen der Wasserwirtschaft

### ■ Reduktion von Spurenstoffen / Mikroschadstoffen aus dem Abwasser

- Kläranlagen > 100.000 E sollen bis 2030 mit einer 4. RS ausgestattet sein
- Kläranlagen > 10.000 bis 100.000 E bis 2040, mit 4. RS wenn Risiko für Mensch und Umwelt

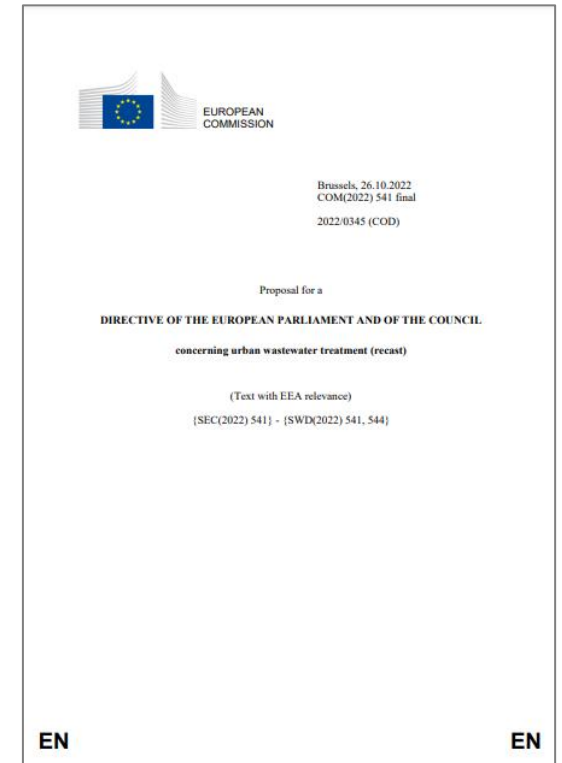
⇒ **Zusätzliche Reinigungsstufe mit Aktivkohle und/oder Ozoneinsatz**

### ■ Energieneutralität für den Sektor der Abwasserbehandlung

- Kläranlagen > 100.000 E sollen bis 2030 energieneutral sein
- Kläranlagen > 10.000 E sollen bis 2040 energieneutral sein
- Ab 2025 bzw. 2030 Energieaudits verpflichtend

⇒ **Senkung Energieverbrauch/Steigerung Energieerzeugung und Energieeffizienz**

novellierte Kommunalabwasserrichtlinie  
Entwurf der EU-Kommission vom 26.10.2022

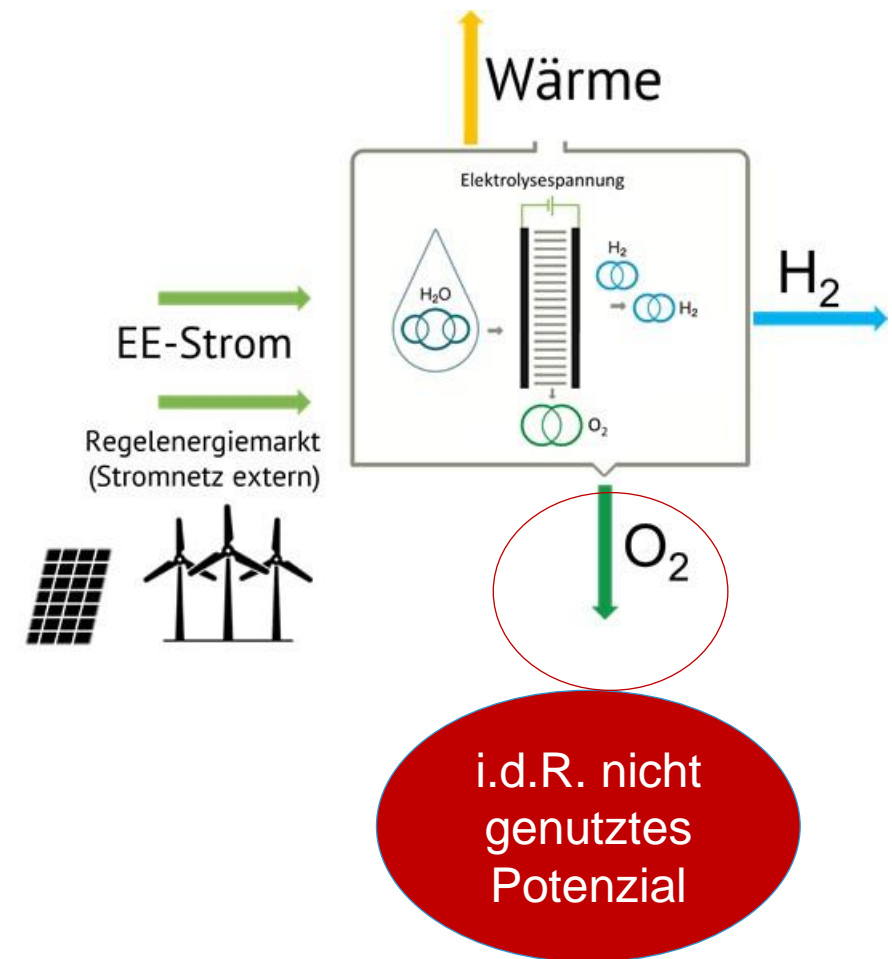


Quelle: <https://environment.ec.europa.eu/>



## Nutzung der Neben-/Koppelprodukte der H<sub>2</sub>-Erzeugung

- Bei PEM-Elektrolyseuren fällt als Nebenprodukt **Sauerstoff** an, der häufig in die Atmosphäre abgelassen wird, da Abnehmer fehlen.
- Bei Kläranlagen kann der **Sauerstoff für die biologische Abwasserreinigung** eingesetzt werden (und ersetzt Druckluft).
- Oder der **Sauerstoff wird auf Kläranlagen für die Erzeugung des Oxidationsgases Ozon (O<sub>3</sub>)** verwendet, mit dem eine weitergehende Reinigung möglich ist (Spurenstoffe)



Kläranlage?

(Quelle: Gretzschel, Taudien, Kihm, 2022)

## Belüftung auf Kläranlagen

- Zur **Belüftung der biologischen Abwasserreinigung** wird **Druckluft hergestellt** (Sauerstoffgehalt etwa  $300 \text{ g/m}^3$ )
- Die **Bereitstellung der Luft erfolgt mit großen Kompressoren** (Luftverdichtern)
- Die **Belüftung ist der größte Stromverbraucher der Abwasserreinigung** (ca. 30 - 50% Anteil am Gesamtstrombedarf)
- Der **Stromeinsatz der Druckluftherzeugung** liegt bei etwa  $0,05 - 0,12 \text{ kWh/kgO}_2$  (Näherungswert, der von vielen Faktoren abhängt!)



Luftleitung und belüftetes Becken, KA Buchenhofen (Wupperverband)



Turboverdichter KA Buchenhofen (Wupperverband)



## Spurenstoffelimination

- Anthropogene **Spurenstoffe** werden in der bestehenden **Abwasserbehandlung nicht vollständig eliminiert**
- Die **gezielte Reduktion** ist u.a. über den Einsatz von **Ozon möglich**, aber Ozon kann nicht gespeichert werden und muss vor Ort erzeugt werden
- Bei der Ozonproduktion werden **pro kg Ozon etwa 10 kg Reinsauerstoff** benötigt
- Der **Sauerstoff** wird als **Flüssigsauerstoff (LOX)** bereitgestellt und aus Luftzerlegeanlagen angeliefert
- Der **Energieverbrauch** für die Erzeugung des **Flüssigsauerstoffs** beträgt etwa **1,4 kWh/kg** (inklusive Allokation nach Ecoinvent, 2021)

## anthropogene Spurenstoffe im Abwasser

Industrie-chemikalien	Pharmaka	Pestizide / PSM	Sonstige
<b>Flammschutzmittel</b> TCPP, TCEP, ...	<b>Antiepileptika</b> Carbamazepin, ...	<b>Herbizide</b> Glyphosat, Mecoprop, ...	<b>Körperpflege</b> Moschusduftstoffe, ...
<b>Komplexbildner</b> Benzotriazol, EDTA, DTPA, ...	<b>Antibiotika</b> Ciprofloxacin, Sulfamethoxazol, ...	<b>Fungizide</b> Carbendazim, ...	<b>Kosmetika</b> Konservierungsmittel, ...
<b>Weichmacher/Phenole</b> Phthalate (DEHP), BPA, ...	<b>Antirheumatika</b> Diclofenac, ...	<b>Insektizide</b> DEET, ...	<b>Haushaltschemikalien</b> Tenside, Aufheller, Desinfektion, ...
<b>Korrosionsschutzmittel</b> Nonylphenol, ...	<b>Lipidsenker</b> Bezafibrat, ...	<b>Algizide</b> Terbutryn, ...	<b>Nahrungsergänzung</b> Coffein, Acelsufam, ...
<b>Tenside / Sonstige</b> PFT, PFOS ...	<b>Oestrogene</b> 17-alpha-Ethinylestradiol 17-beta-Estradiol		
	<b>Diaagnostika</b> Amidoltrizoensäure, Iopamidol, ...		
	<b>Betablocker</b> Metoprolol, Sotalol ...		



Bild: transdisciplinarity.ch

## Potenzial Elektrolysesauerstoff auf Kläranlagen

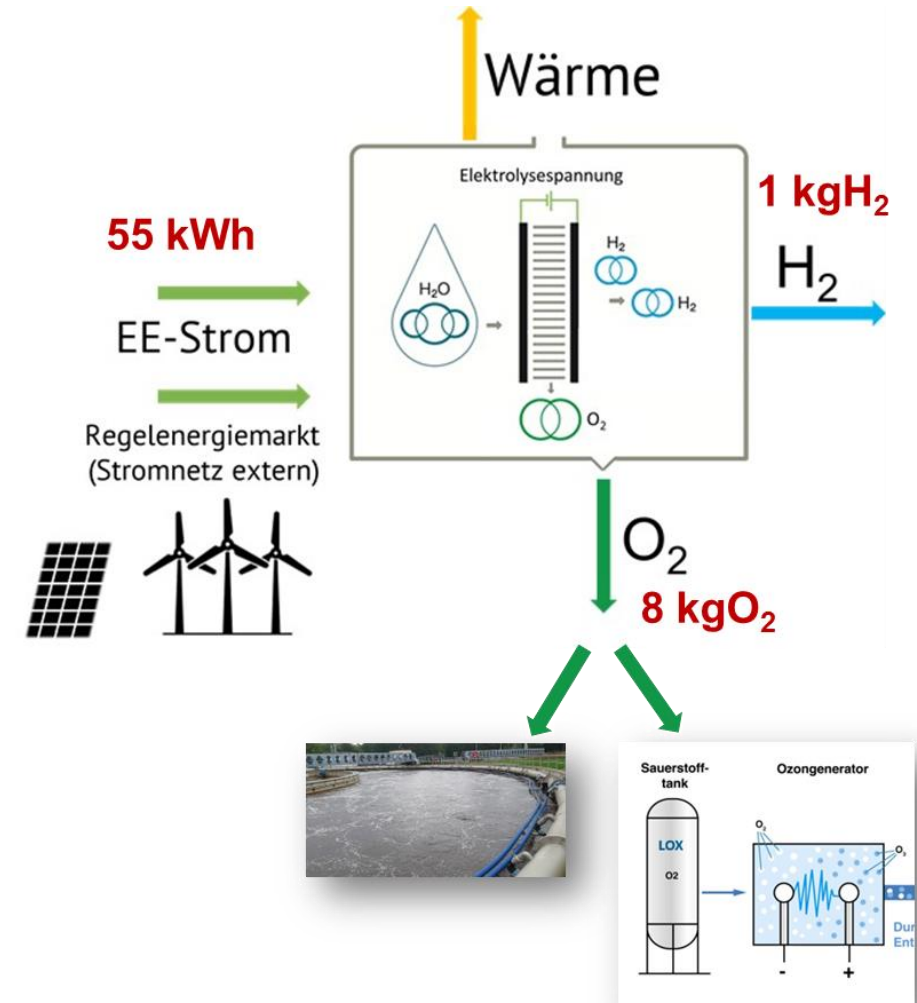
- pro kg H<sub>2</sub> fallen etwa 8 kg O<sub>2</sub> als Reinsauerstoff an

### Nutzung statt Druckluft

- Einsparung 8 kgO<sub>2</sub> x 0,08 kWh<sub>el</sub>/kgO<sub>2</sub>  
= **0,64 kWh/kgH<sub>2</sub> produziert**
- Niedrige spezifische Einsparung,  
aber sehr hoher Bedarf bei Kläranlagen

### Nutzung statt LOX (Liquid Oxygen)

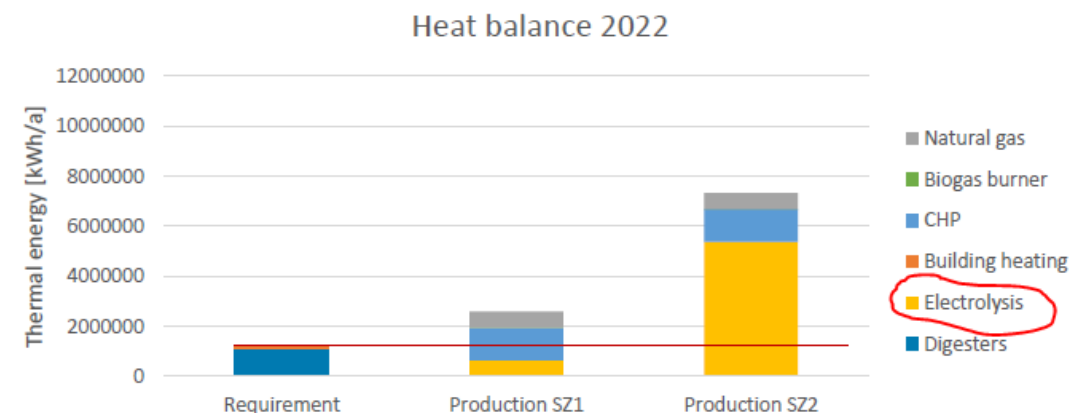
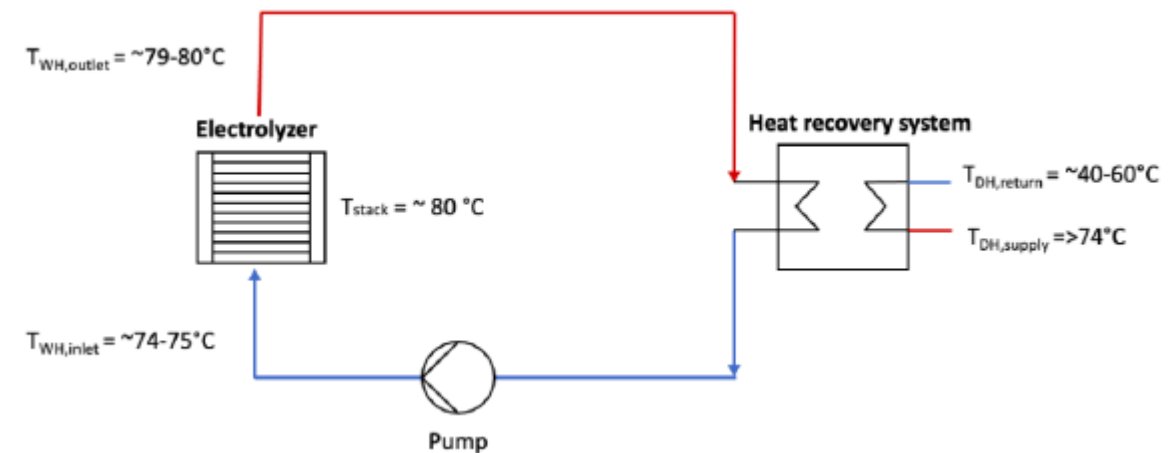
- Einsparung 8 kgO<sub>2</sub> x 1,42 kWh<sub>el</sub>/kgO<sub>2</sub>  
= **11,36 kWh/kgH<sub>2</sub>**
- Hohe spezifische Einsparung,  
aber in der Menge limitierter Bedarf



(Quelle: Gretzschel, Taudien, Kihm, 2022)

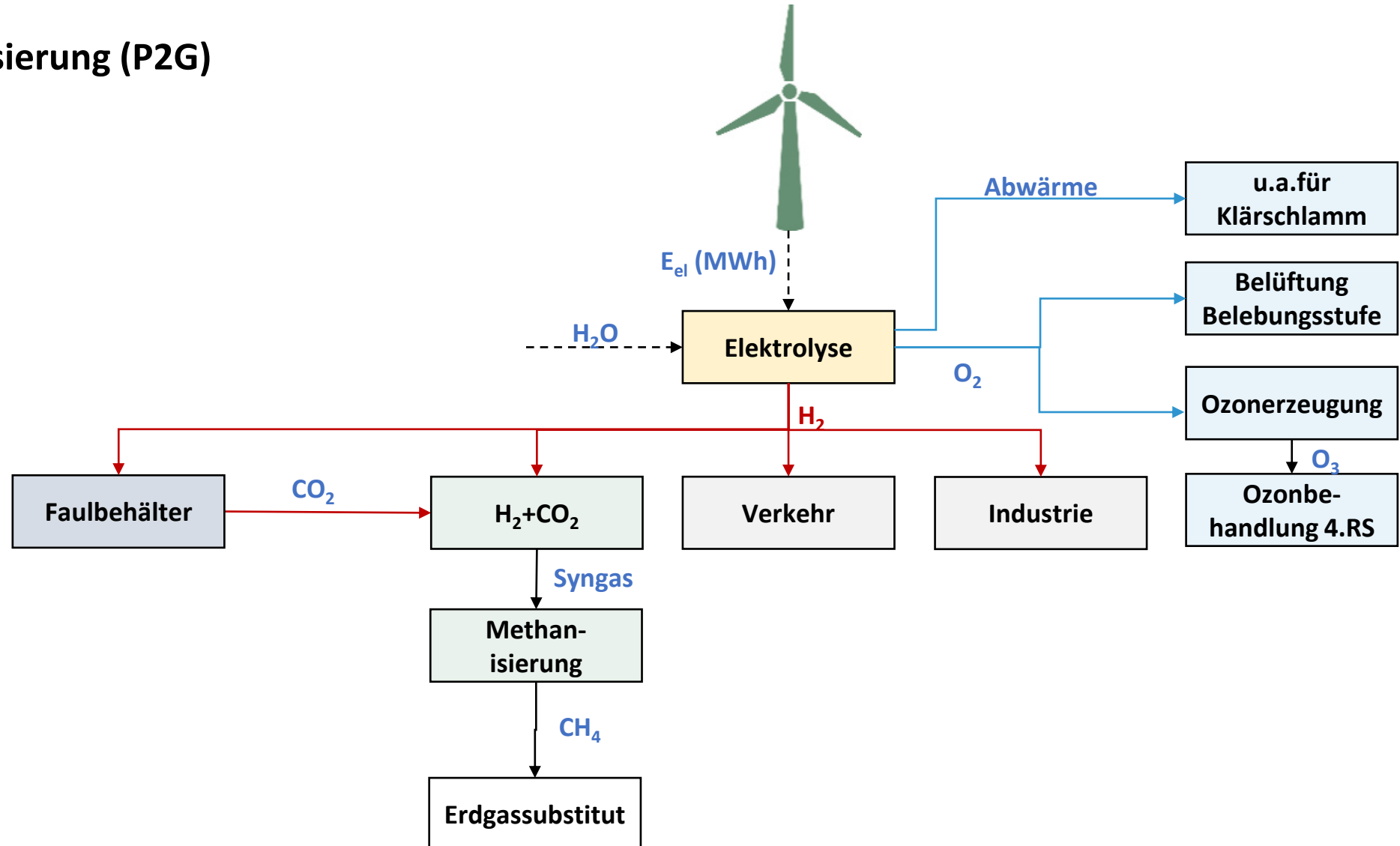
## Potenzial Nutzung Abwärme der Elektrolyseure

- Bei PEM-Elektrolyseuren entsteht aus etwa **20% der eingesetzten elektrischen Energie Abwärme**
- Die Abwärme steht **im Temperaturbereich 50 – 80°C** zur Verfügung (Niedertemperatur)
- Durch Nutzung **kann der Gesamtwirkungsgrad auf bis zu ca. 95% gesteigert** werden.
- Je nach Größe des Elektrolyseurs reicht die Wärme zur Abdeckung des lokalen Bedarfs (**Schlammaufheizung**) oder Mehrbedarf (**Schlamm-trocknung**).
- Alternativ Wärmeabgabe in **lokale Nahwärmenetze**

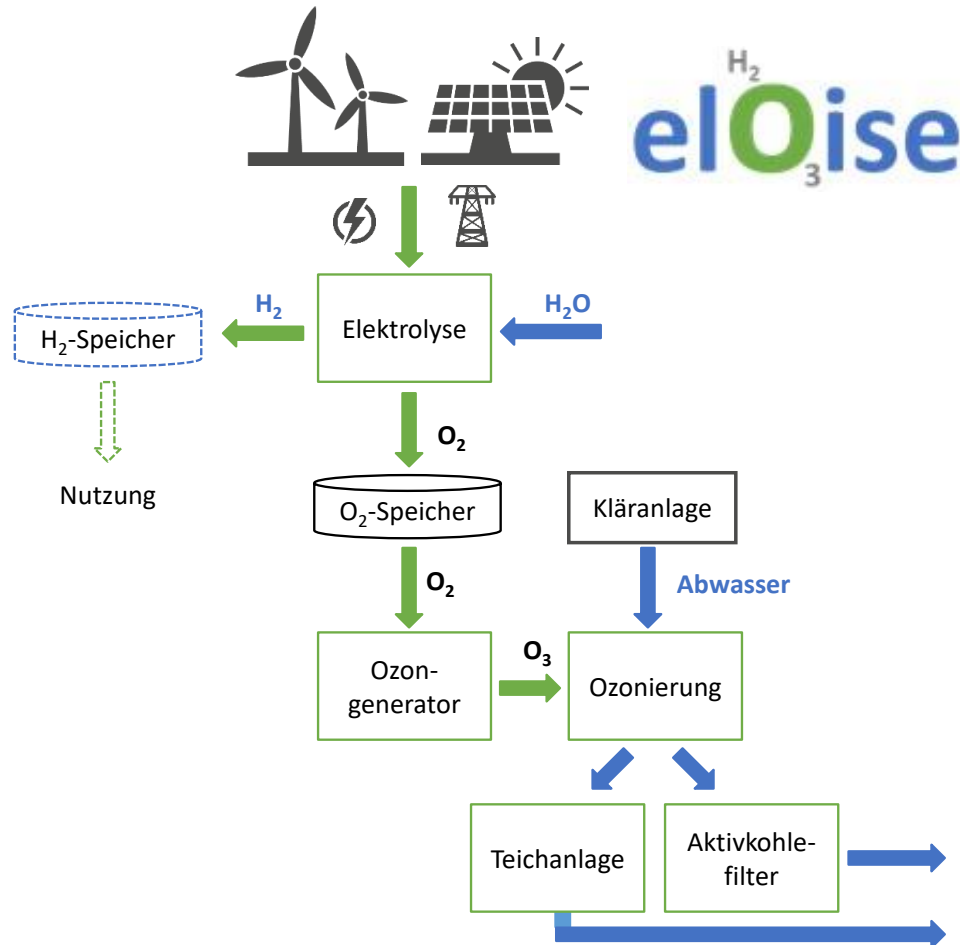


(Quelle: STEP, 2022 / concept study for the use of regenerative energy at wwtp Bettembourg (2022))

## Potenzial Methanisierung (P2G)



## BMBF Forschungsprojekt eloise



GEFÖRDERT VOM

 Bundesministerium für Bildung und Forschung

 **FONA**  
Förderung für Nachhaltige Entwicklung  
BMBF

 **KMU-innovativ Mittelstand**

WiW  
Wuppertal-Verbandsgemeinschaft für integrative Wasserwirtschaft mbH

 **ANLEG**  
Advanced Technology

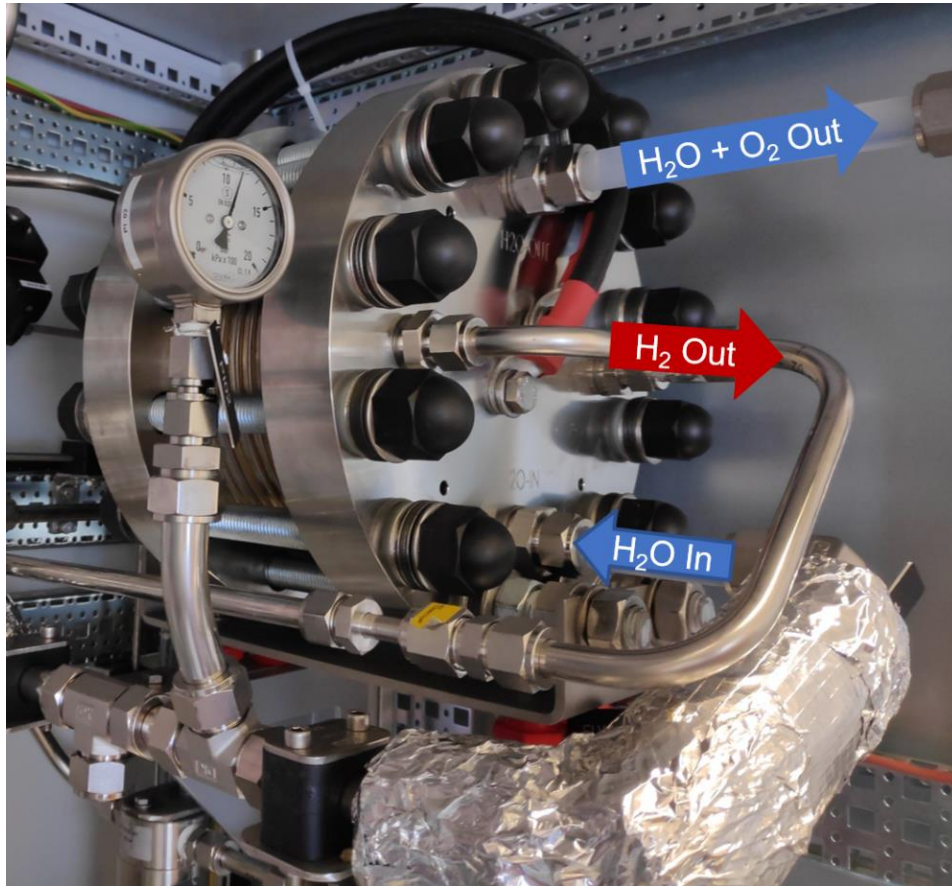
 **KAUFMANN**  
THE OZONE HOUSE

 **DBI GUT**  
Gas- und Umwelttechnik GmbH

 **TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN**  
Wissenschaftliche Fakultät



## BMBF Forschungsprojekt eloise



Elektrolyse



Ozonerzeuger



Ozonreaktor

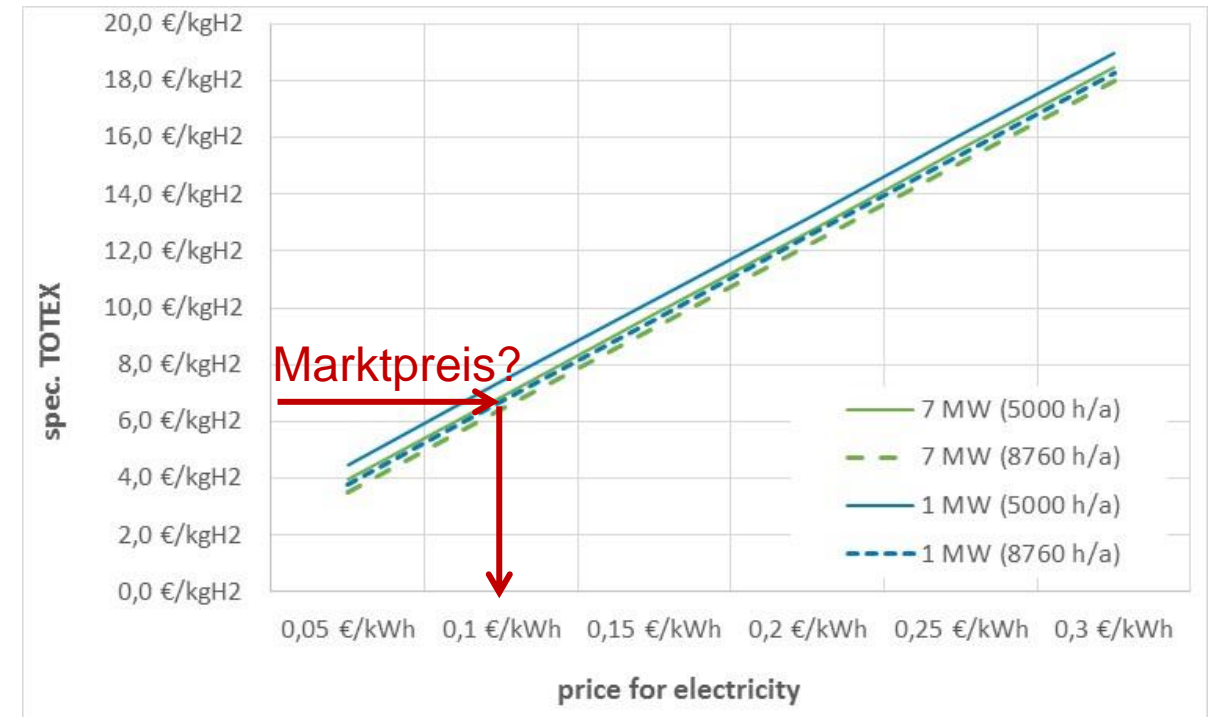
## Konzeptstudie zur Nutzung regenerativer Energie auf der Kläranlage Bettembourg

- **Zweitgrößte Kläranlage Luxemburgs** (Ausbau auf 160.000 EW geplant)
- **Wasserstoffstrategie Luxemburg vorhanden** (Hoher Bedarf insbesondere bei Industrie)
- **Theoretisch 7 MW Elektrolyseur erforderlich** für Abdeckung 60% O<sub>2</sub>-Bedarf Biologie und 100% Bedarf Ozonbehandlung
- **Potenzial Methanisierung vorhanden**, aber rechnerisch nur 10% des H<sub>2</sub> können mit CO<sub>2</sub> aus Faulgas methanisiert werden



## Konzeptstudie zur Nutzung regenerativer Energie auf der Kläranlage Bettembourg

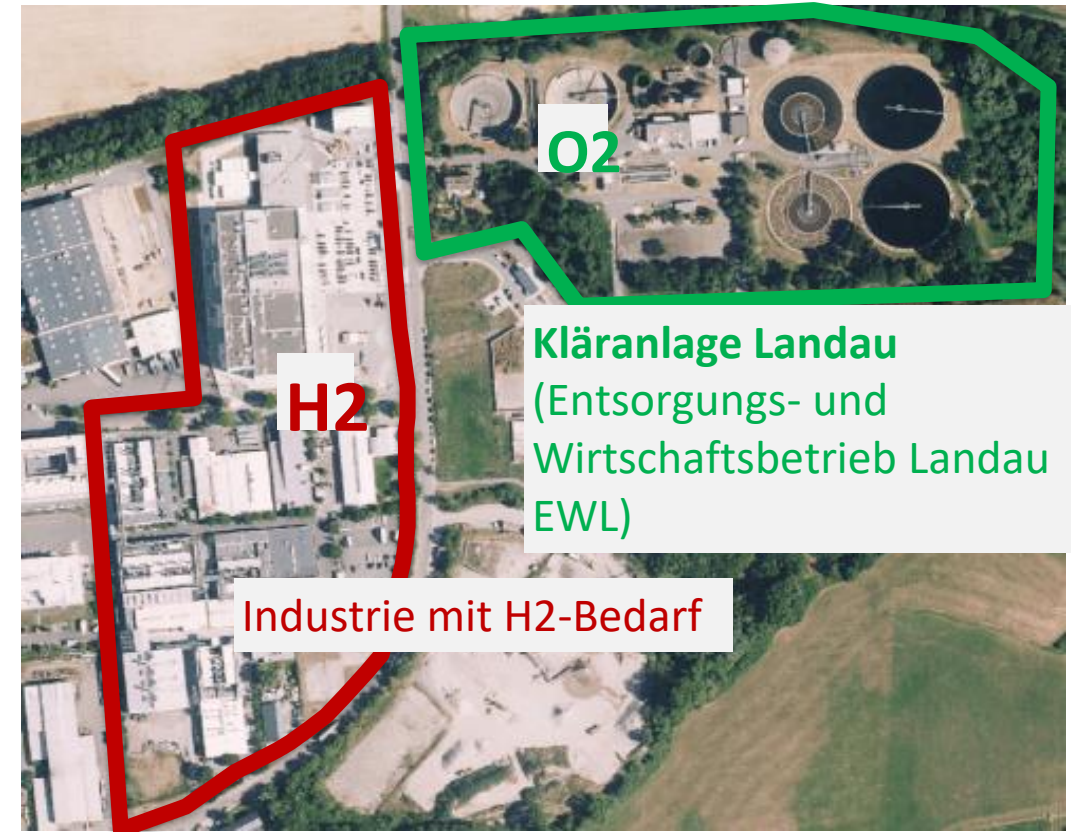
- realistische **Marktpreise für Abgabe H<sub>2</sub>** (ohne Transport) etwa 6 €/kg
- Dazu sind **Stromgestehungskosten von maximal 0,1 €/kWh** erforderlich
- Enthalten ist Anteil **Einsparung durch O<sub>2</sub>-Nutzung** 5 bis 10% der TOTEX





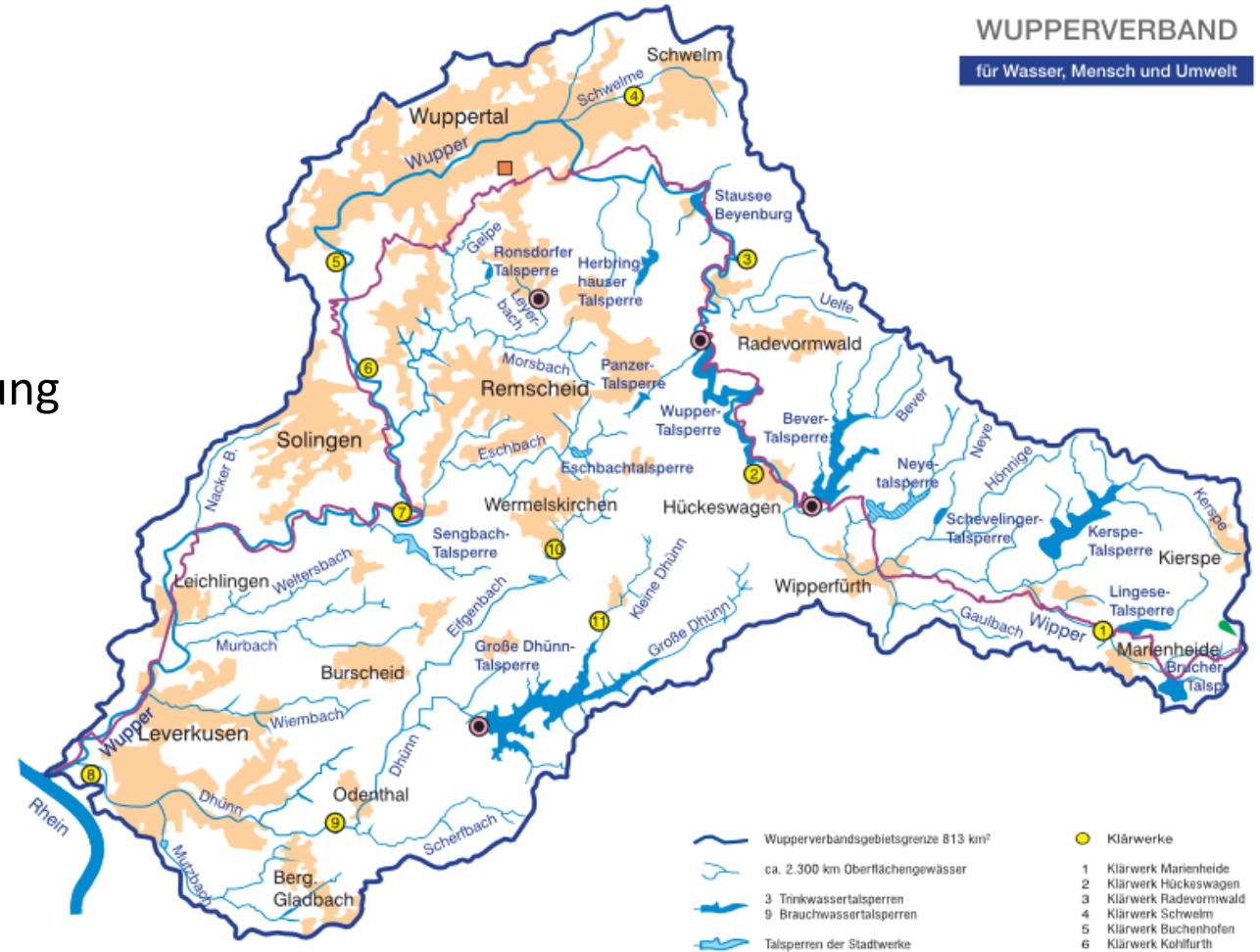
## Machbarkeitsstudie Landau

- Kläranlagengröße **80.000 EW**
- Industriebetrieb mit **H<sub>2</sub>-Bedarf in direkter Nähe**
- **2,5 MW Elektrolyseur** für Abdeckung Bedarf
- Herausforderung hier lange O<sub>2</sub>-Leitung und Fehlender Einfluss auf Betrieb des Elektrolyseurs (Backup wichtig)
- Einsparung **174.000 kWh/a** Belüftungsenergie
- Einsparung **35% CO<sub>2</sub>-Emissionen** inkl Berücksichtigung O<sub>2</sub> für Ozonbehandlung statt LOX



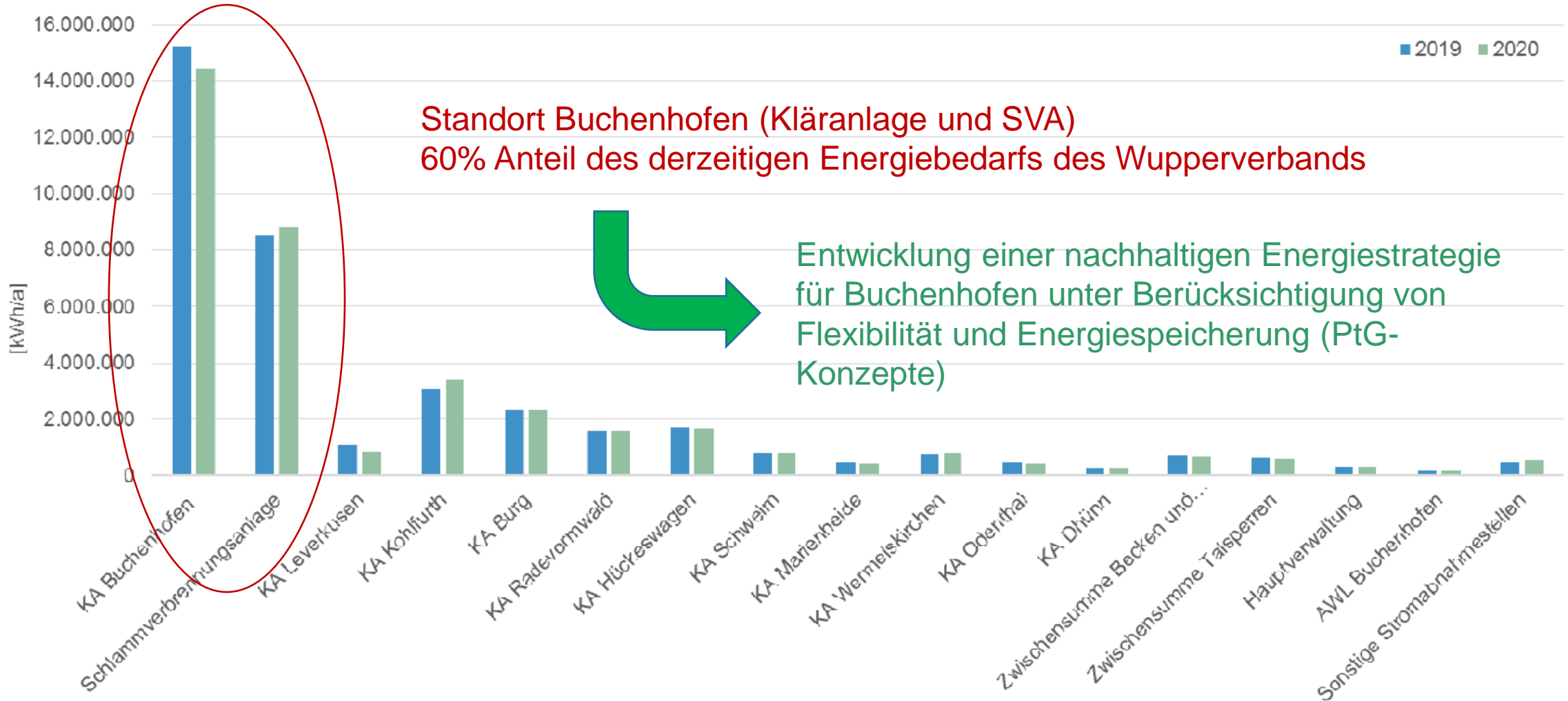
## Zusammenfassung Potenzial einer H<sub>2</sub>-Erzeugung bei Kläranlagen

- Wasserstoff für lokale Sektorenkopplung
- Einsparung Belüftungsenergie bei Kläranlagen
- Ersatz von Flüssigsauerstoff (falls Ozonbehandlung umgesetzt wird)
- Nutzung Abwärme der Elektrolyseure z.B. bei der Schlammbehandlung
- Lokale Wasserstoffnutzung als Energiespeicher (Lastmanagement Kläranlagen, um Überschüsse speicherbar zu machen)



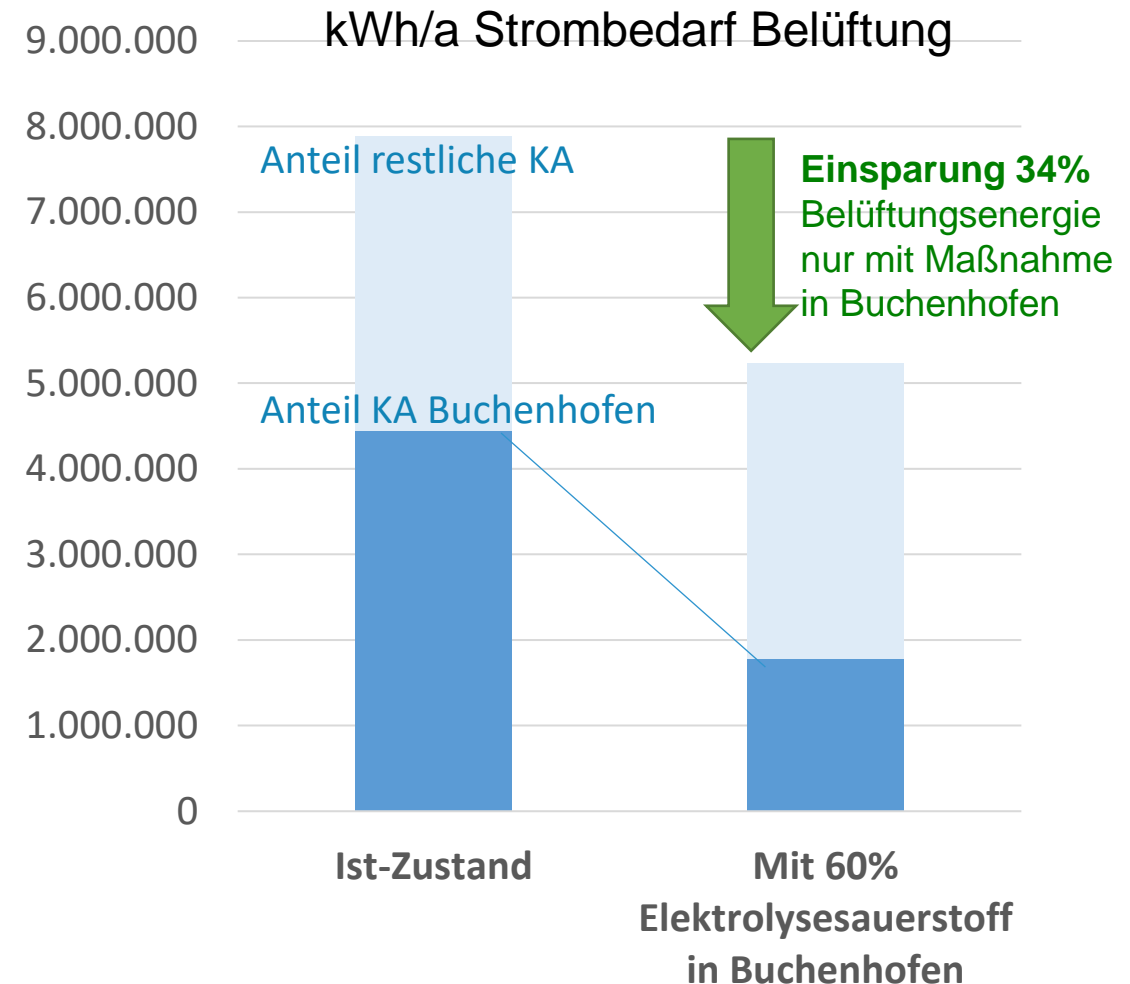


# Potenzial beim Wupperverband (2/4)



## Stromeinsparung durch Maßnahme bei KA Buchenhofen (Nutzung Elektrolysesauerstoff)

- Der Energieverbrauch der Belüftung der biologischen Reinigungsstufen des WV beträgt insgesamt etwa **8,7 Mio. kWh/a** <sup>1)</sup>
- Davon könnten nur mit einer Maßnahme in Buchenhofen (Abdeckung 60% O<sub>2</sub>-Bedarf durch Elektrolyseur) insgesamt **34% = 3,0 Mio kWh/a eingespart werden**
- Der Elektrolyseur müsste etwa **15 MW<sub>el</sub>** <sup>2)</sup> Leistung haben und könnte damit bis zu **2.300 tH<sub>2</sub>/a** produzieren was für 280 Busse (bei 9 kgH<sub>2</sub>/100km und Umlauflänge 250km/d)



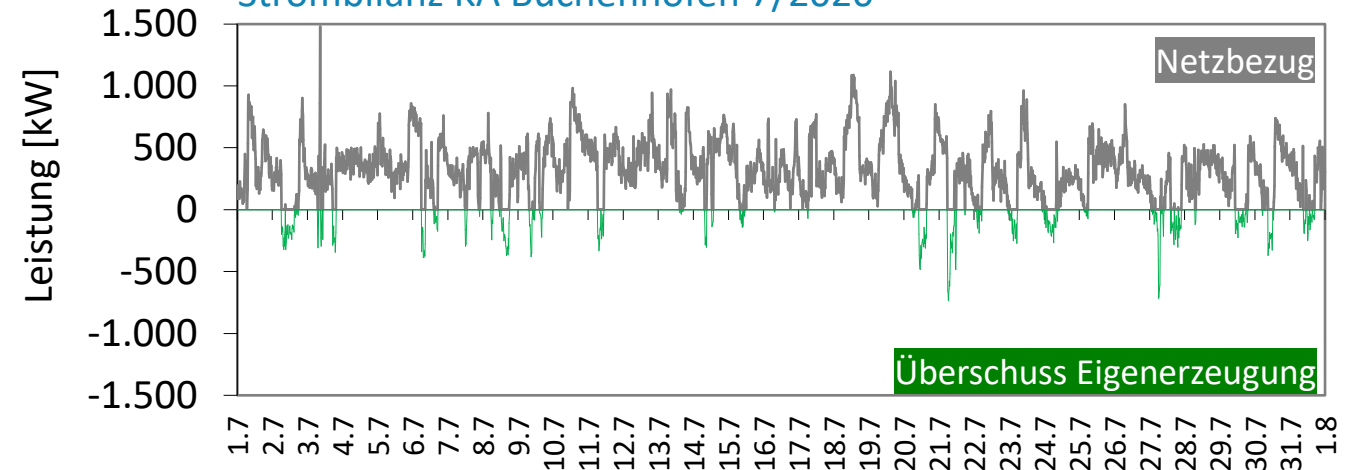
1) Rechenwert: 12 kWh/E/a x 726.000 EW<sub>CSB, Mittel</sub> ohne KA Leverkusen,

2) Abschätzung über mittleren Sauerstoffbedarf gemäß DWA A131, bei 405.0000. EW<sub>MW,CSB-Nges</sub> mit SSOTR = 24 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/m und α=0,75

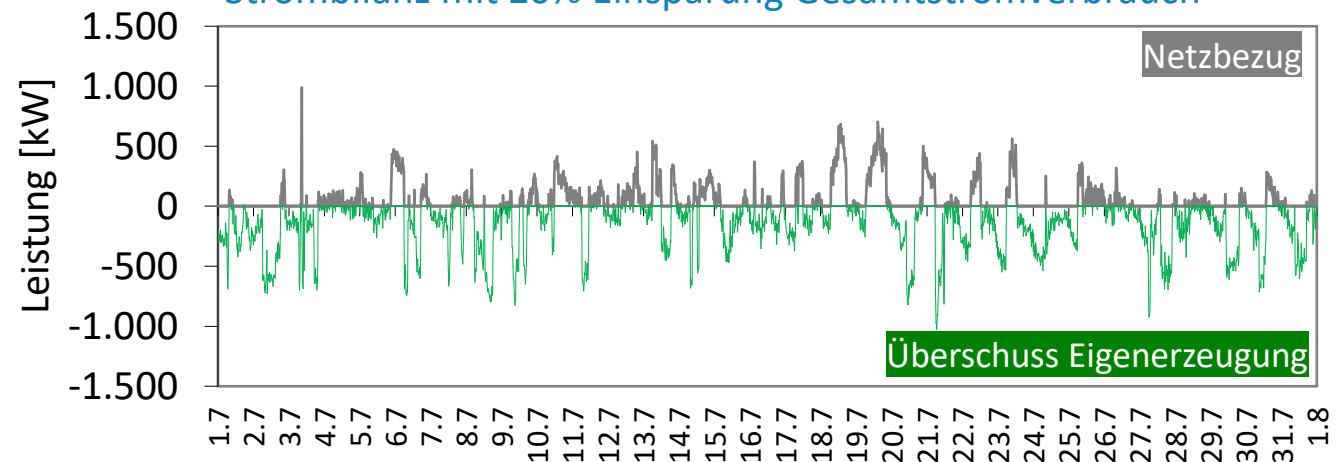
## Auswirkung einer Stromeinsparung durch Nutzung Elektrolysesauerstoff für Belüftung

- Deutlich **mehr Zeiten mit Energieüberschuss** durch Eigenerzeugung
- Dadurch wird **Lastmanagement / Zwischenspeicherung sinnvoller** (ggf. auch über Rückverstromung Wasserstoff)
- Für ein **intelligentes Lastmanagement** ist die **Vorhersage des Stromverbrauchs** notwendig

Strombilanz KA Buchenhofen 7/2020



Strombilanz mit 20% Einsparung Gesamtstromverbrauch



WiW

Wupperverbandsgesellschaft für  
integrale Wasserwirtschaft mbH



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

---

Yannick Taudien

ytn@wupperverband.de

[www.wiwmbh.de](http://www.wiwmbh.de)