Herzlich Willkommen zur Themenworkshop-Reihe "Elektrolyse made in Baden-Württemberg"

WORKSHOP 1 - 4: Rahmeninformationen für Wasserstoff-Erzeugungsanlagen

Stuttgart, 10/11.2020















## **Andreas Brinner**

## // Rahmeninformationen für Wasserstoff-Erzeugungsanlagen













## // Rahmeninformationen für Wasserstoff-Erzeugungsanlagen

- Rahmenbedingungen
  - ✓ Politik
  - ✓ Herausforderungen
  - √ Chancen
- Wirtschaftlicher Anlagenbetrieb
  - ✓ Wirtschaftlichkeit
  - ✓ Kostenstruktur
  - ✓ Kostensenkungspotenziale
- Elektrolysesysteme
  - ✓ Moderne Aufbaukonzepte
  - ✓ Neuartige Sicherheitskonzepte
- Zulassung von Anlagen und Betrieb
  - ✓ Systemzertifizierung (CE)
  - ✓ Errichtungs- & Betriebszulassung (BImSchG)
  - ✓ Abnahme vor Inbetriebnahme und wiederkehrende Prüfung (BetrSichV)











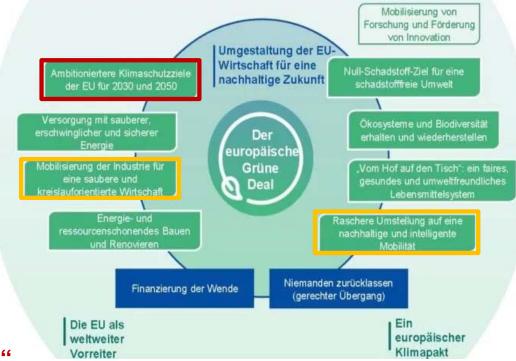


## // Ambitionsniveau der neuen EU-Kommission und Wasserstoff-Strategie der Bundesregierung

"Dazu gehört das erste europäische Klimagesetz, mit dem das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 gesetzlich verankert werden soll…"



"..., die Emissionen [bis 2030] um mindestens 50 Prozent zu senken – oder noch besser sogar um 55 Prozent"





"Wir wollen, dass Deutschland bei den Wasserstofftechnologien Nr. 1 in der Welt wird!" (Peter Altmaier, 5.11.2019)



Ohne grünen Wasserstoff und seine synthetischen Folgeprodukte sind weder die Klimaziele im Verkehrssektor noch das Ziel der klimaneutralen Produktion in der Industrie erreichbar, selbst wenn die Klimaziele <u>nicht</u> verschärft werden!













Die Nationale

Wasserstoffstrategie

## // Nationale Wasserstoff-Strategie vom 10. Juni 2020 Eckpunkte (Auswahl)

- Erhöhung des Mindestanteils erneuerbarer Energie am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors in 2030 signifikant mindestens 14% über die EU-Vorgaben.
- Befreiung des Stroms für grünen Wasserstoff von der EEG-Umlage wird angestrebt.
- Ergänzenden Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen u. a. im ÖPNV (Busse, Züge), in Teilen des Straßenschwerlastverkehrs (LKW), bei Nutzfahrzeugen ....zur batterieelektrische Mobilität....

  Auch in bestimmten Bereichen bei PKWs kann der Einsatz von Wasserstoff eine Alternative sein.
- Zusätzlich sieht das Zukunftspaket des Koalitionsausschusses vom 3. Juni 2020 die Bereitstellung von weiteren 7 Mrd. Euro für den Markthochlauf von H2-Technologien in Deutschland und weitere 2 Mrd. Euro für internationale Partnerschaften vor.
- Prüfung einer Beimischungsquote für synthetische Kraftstoffe zu Flugbenzin sowie Vorgaben für den Einsatz von grünem Stahl.
- Zur Förderung von Anlagen zur Erzeugung strombasierter Kraftstoffe, insbesondere zur Erzeugung von strombasiertem Kerosin, werden bis 2023 1,1 Mrd. € bereitgestellt.
- Zügiges Voranbringen der Zusammenarbeit mit Partnerländern weltweit entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Schaffung einer deutschen Positionierungsplattform für Auslandsmärkte.













Wasserstoffstrategie

## // Wasserstoff-Strategie der EU vom 8. Juli 2020

# Wasserstoff-Strategie der EU: Eine Million Tonnen bis 2024

08. Juli 2020 , aktualisiert 08. Juli 2020, 14:19 Uhr



Mit öffentlicher Unterstützung sollen bis 2024 die Kapazitäten auf eine Million Tonnen Wasserstoff aus erneuerbaren Energien wachsen. Bild: doa

#### Europäische Wasserstoff-Strategie vom 8. Juli 2020)

- ".. the first phase (2020-24) ... relies on the installation of at least 6 Gigawatt of renewable hydrogen electrolysers in the EU...
- In the second phase (2024-30) ... to install at least 40 Gigawatt of renewable hydrogen electrolysers..."

Quelle: Wirtschaftswoche, 8. Juli 2020

"Die Wasserstoff-Strategie soll Investitionen voranbringen und dafür öffentliche und private Gelder mobilisieren. Nach Angaben der Kommission sind **bis 2030 für den Bau von Elektrolyseanlagen 24 bis 42 Mrd. Euro** nötig. Zum Aufbau von 80 - 120 GW Sonnen- und Windkraftanlagen zur Energieversorgung bräuchte es zusätzlich noch 220 - 340 Mrd. Euro. Die öffentliche Unterstützung könnte aus mehreren EU-Töpfen kommen, auch aus dem Hunderte Milliarden Euro schweren Corona-Wiederaufbauplan, über den die EU-Staaten derzeit verhandeln."













## // Analyse potenzieller Absatzmärkte für "grünen Wasserstoff" aus Elektrolyse



Welt als Lieferanten von Wasserstoff für Deutschland/ Baden-Württemberg



Baden-Württemberg als Technologielieferant für die Welt



- Der weltweite Wasserstoffverbrauch liegt aktuell bei ca. 70 Mio. t/a (ca. 140 Mrd. €/a bei 2 €/kg).
- Der Energiebedarf entspricht 1,4% des Weltenergiebedarfs.
- Die Erzeugung erfolgt zu > 99% aus fossilen Quellen (ca. 95%) und Chlor-Alkali Elektrolyse (ca. 4%).

INDUSTRIE- SEKTOR	HAUPTANWENDUNG	ANTEIL AN DER GLOBALEN H <sub>2</sub> - NACHFRAGE	WASSERSTOFF- QUELLEN	
Chemische Industrie	⇒ Ammoniak (Düngemittel) ⇒ Polymere (Kunststoffe) ⇒ Harze	65 %	4%	
Raffinerien	<ul><li>⇒ Hydrocracking</li><li>⇒ Hydrotreating</li></ul>	25 %	18 % 30 %	
Stahl- produktion	⇒ Tempern/Härten ⇒ Schutzgas ⇒ Formiergas	10 %		
Industrie allgemein	⇒ Halbleiter     ⇒ Lebensmittelproduktion     ⇒ Hydrierung von Fetten     ⇒ Glasproduktion     ⇒ Generatorkühlung	10%	Erdgas Öl Kohle Elektrolyse (Chlor-Alkali)	





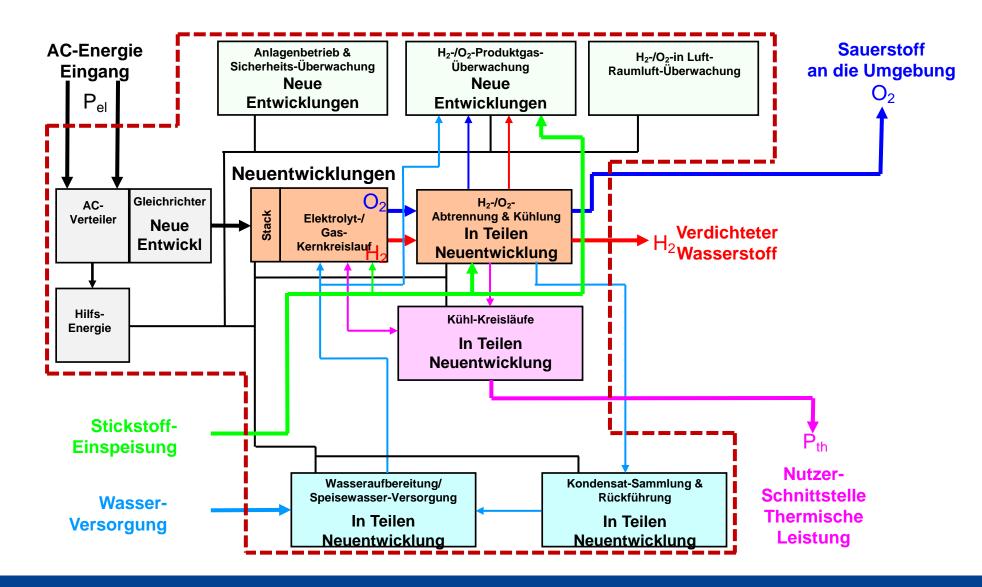








## // Druckelektrolysesysteme Potenziale für Systemverbesserungen/ Neuentwicklungen









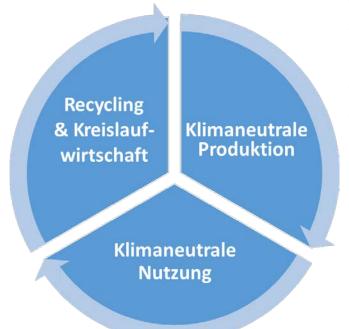






## // Chancen für Wertschöpfung & gute Arbeit sind vorhanden, jetzt erschließen

- Recyclingfähigkeit kurzlebige Elemente/ Komponenten
- Langlebigkeit durch geeignete Auslegung, Berücksichtigung der Überlastfähigkeit, Zyklenfestigkeit, präventive Wartung,



- Materialauswahl
- Nutzung von recycelten Rohstoffen
- Fertigungsprozess-Anpassung
- Prozessbetrieb CO<sub>2</sub>-neutral

nach Quelle:

- Anlagenbetrieb konsequent CO<sub>2</sub>-neutral
- Betriebsprozess-Anpassung
- Prozess-Effizienz optimieren
- Nebenprodukte nutzbar machen







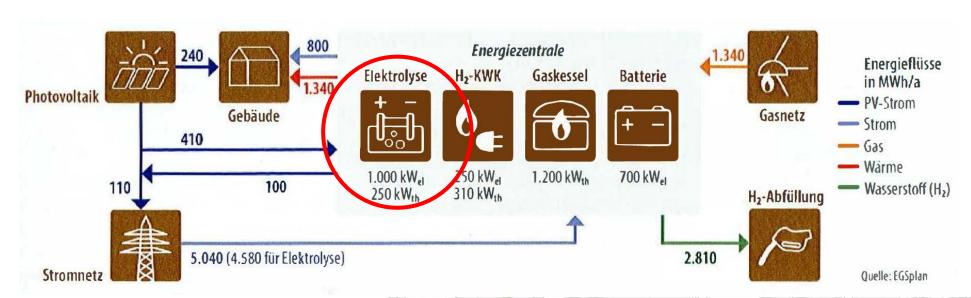






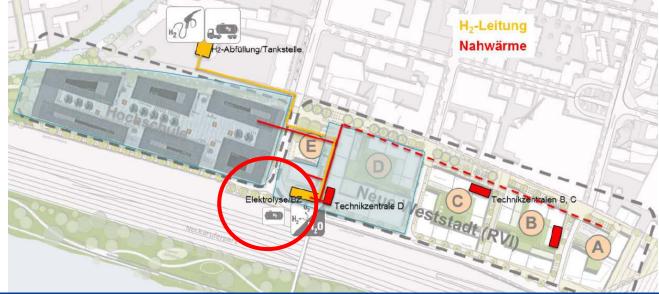


## // Chancen der Technologienutzung Beispiel: Energieversorgung moderner Stadtquartiere



- Bereitstellung 50% Wärmebedarf des Quartiers Neue Weststadt Esslingen aus Elektrolyse-Abwärme
- Bilanzielle Senkung des CO<sub>2</sub>Fußabdrucks unter eine Tonne
  CO<sub>2</sub> pro Jahr und Person für
  Mobilität und Wohnen.

Quelle: PV magazine, März 2020







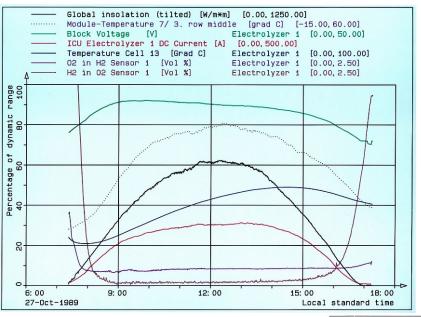


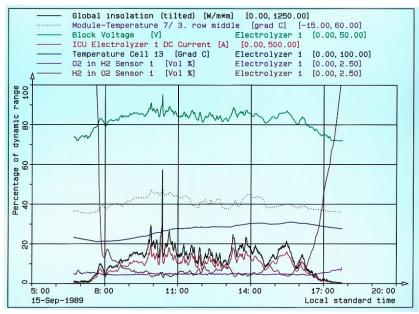






## // Chancen der Technologienutzung Dynamischer, vorhersehbarer PV-Elektrolysebetrieb





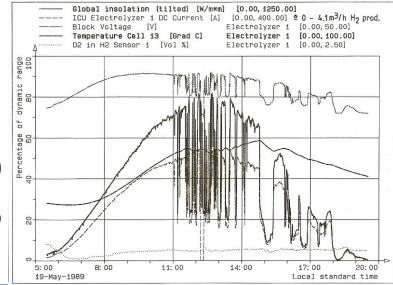
27.10.89

Optimaler Betrieb

19.05.89

Dynamischer Betrieb

Quelle: A. Brinner, DLR-TT, Stuttgart



19.09.89

**Minimalbetrieb** 

Messungen im Rahmen des Deutsch – Saudi Arabischen HYSOLAR-Projekts





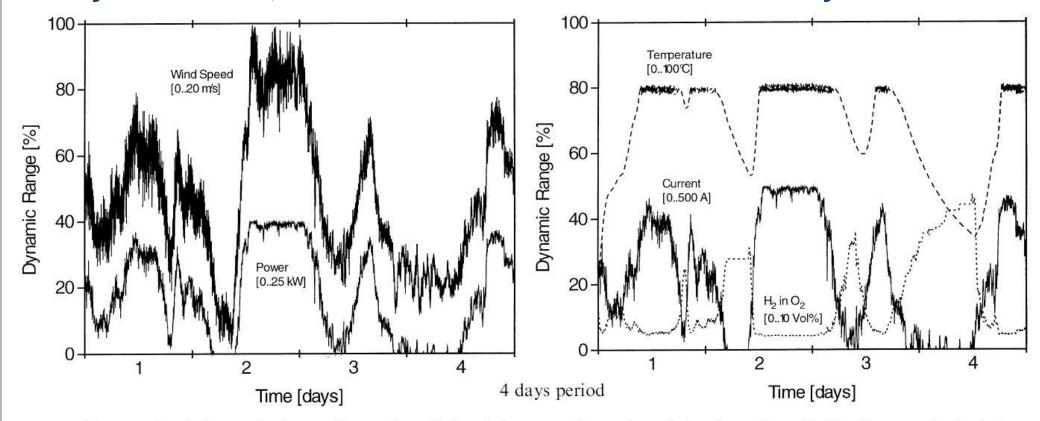








## // Chancen der Technologienutzung Dynamischer, nicht vorhersehbarer Wind-Elektrolysebetrieb



Measured wind speed time series and typical wind power time series (rated power 10 kW).

Operation of the electrolyser HE2 using the wind power time series — current, stack temperature, gas impurity level of hydrogen in oxygen.

1996

Windanlagen-Testbetrieb

Quelle: W. Hug, H. Dienhart, DLR-TT, Stuttgart

1997

Dynamischer Elektrolysebetrieb





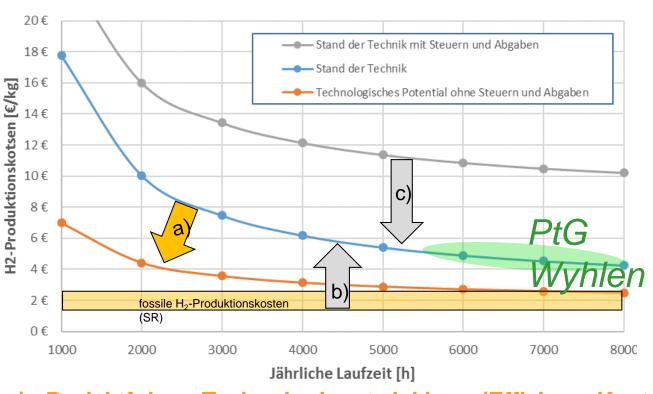








#### Hebel für die Wirtschaftlichkeit von strombasiertem Wasserstoff



#### **Annahmen**

Technologie: AEL, 1MW

H<sub>2</sub>-Abgabe: 200 bar, Qualität 5.0

Strombezugspreis 35 €/MWh

Abgaben und Steuern 90 €/MWh

Nutzungsdauer 20 Jahre

- a) Projektfokus: Technologieentwicklung (Effizienz, Kosten, Scale-up)
- b) Fossile Energie zu billig → Schaffung Märkte für grünen Wasserstoff
- c) Anpassung ordnungsrechtlicher Rahmen → Ermöglichung Systemkopplung







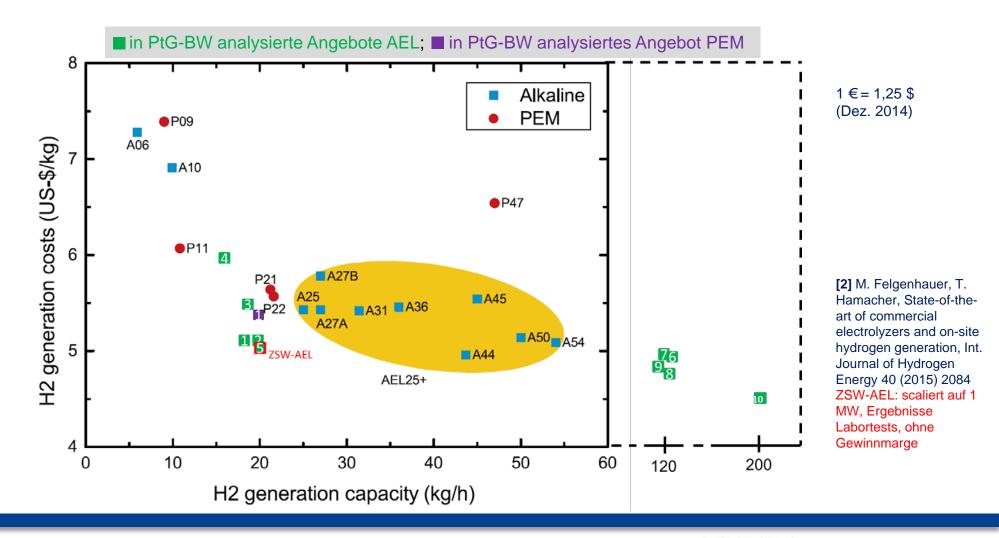






## // Leuchtturmprojekt "PtG-BW" Einschätzung Elektrolysetechnologien

Vergleichbarkeit: H<sub>2</sub>-Gestehungskosten PtG-BW vs. BMW-Veröffentlichung<sup>[2]</sup>







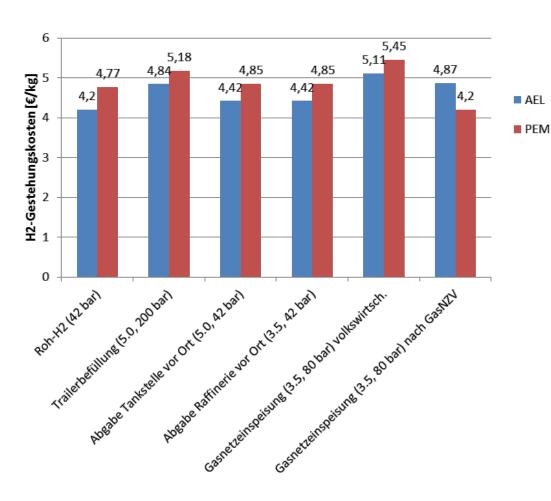








## Überblick geschäftsmodellspezifische H<sub>2</sub>-Gestehungskosten



Beispiel: Pfad Trailer-Abfüllung (AEL / PEM), heutiger Technologiestand

Randbedingungen (exemplarisch!)

Abschreibungszeitraum: 20 Jahre Zinssatz: 5 %

Α

Strombezug Elektrolyse: 1 MW (AC)

Wirkungsgrad Gleichrichter: 96 %

Spez. Energieverbrauch Elektrolyse: 4,6 kWh/Nm³H<sub>2</sub>

Strombezugskosten: exemplarisch 0,03 €/kWh

jährliche Volllaststunden: 4.000 h/a

vollautomatisierter Betrieb

H<sub>2</sub>-Abgabedruck: 200 bar (AEL 16 bar)

H<sub>2</sub>-Qualität: 5.0





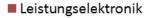








## Kostensenkungspotenziale



■ Elektrolyseblock

■ Kompression

H2-Aufbereitung

Prozessleitsystem

SonstigeAnlagenkomponenten

Automatisierung / Betriebspersonal

> Kostensenkungspotenziale

#### Beispiel: kommerzielles 1 MW AEL-System

H<sub>2</sub>-Gestehungskosten mit heutigem Technologiestand exemplarisch:

1 MW, Druck-AEL

i jährliche Volllaststunden: 4.000 h

Strombezugskosten: 0,03 €/kWh

Abschreibungszeitraum: 20 Jahre

■ H<sub>2</sub>-Abgabe: 200 bar | Qualität 5.0

vollüberwachter Betrieb

potenziell verbleibende H₂-Gestehungskosten = 4,84 €





3,1%

1,6%

1,6%\_

2,3%

14,2%

14,1%

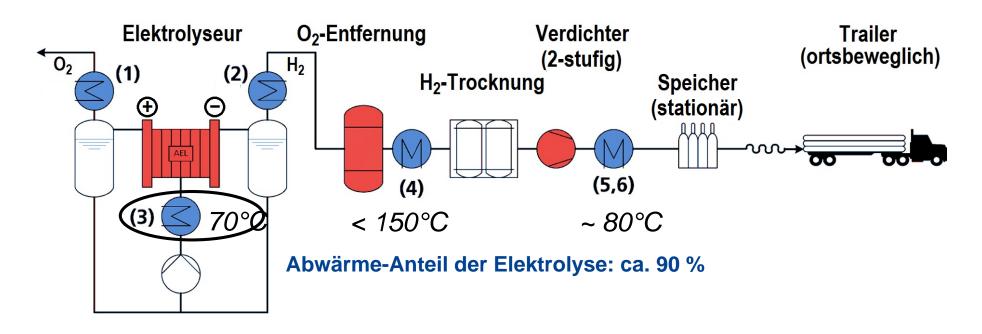








## Analyse von Abwärmepotenzialen einer 1 MW-Elektrolyseanlage



#### Abzuführende Thermoleistungen durch die Wärmeübertrager

(1)	(2)	(3)	(4)	(5,6)
2,6 kW	4,8 kW	(158,2 kW)	9,0 kW	7,0 kW

Nach Quelle: Institut für solare Energiesysteme, FhG, Freiburg, 2016





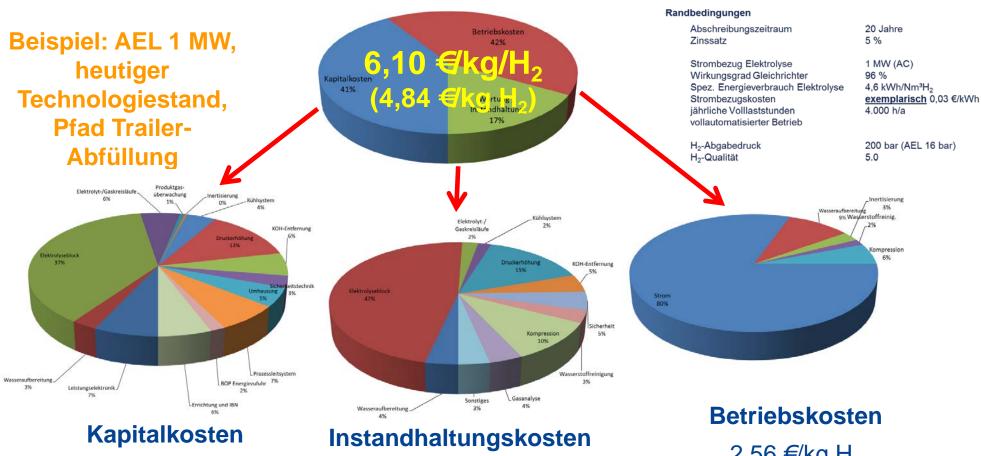








### Kostenstrukturanalyse



2,50 €/kg H<sub>2</sub> (1,99 €/kg H<sub>2</sub>)

1,04 €/kg H<sub>2</sub> (0,82 €/kg H<sub>2</sub>) 2,56 €/kg H<sub>2</sub> (2,03 €/kg H<sub>2</sub>)





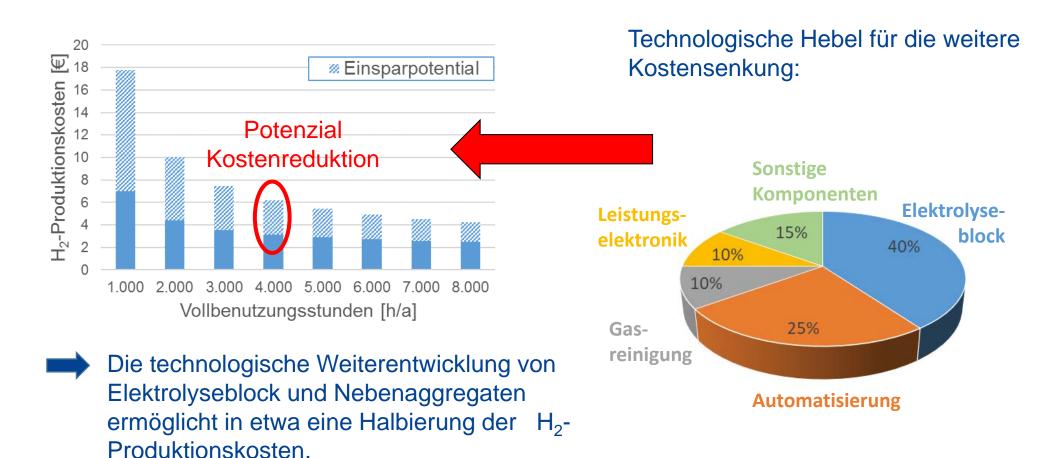








## Kostenreduktionspotenziale Gesamtsystem





Leistungsklasse1-5 MW, Beispiel AEL, H2-Abgabe: 200 bar, Qualität 5.0 Strombezugspreis 35 €/MWh, ohne Abgaben und Steuern, Nutzungsdauer 20 Jahre













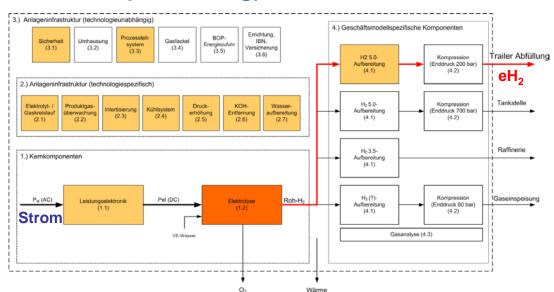




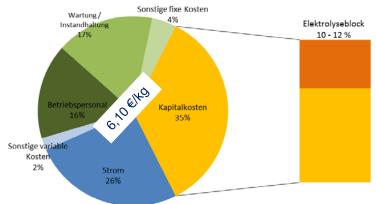
## Beispiel, Technische Informationen: Elektrolysestack (1.2)

#### Aufgaben, Schnittstellen, Kostenrelevanz

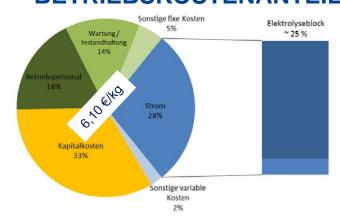
- Elektrochem. Reaktor zur H<sub>2</sub>-Herstellung und damit die zentrale Komponente
- Zw. Leistungselektronik und H<sub>2</sub>-Aufbereitung
- Teuerste Komponente im PtG-System
- H<sub>2</sub>-GESAMTKOSTENRELEVANZ:
  - ~ 37 % (~ 2,26 **€**kg)\*



## KAPITALKOSTENANTEIL



#### **BETRIEBSKOSTENANTEIL**



<sup>\*</sup> Pfad Trailer-Abfüllung, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb











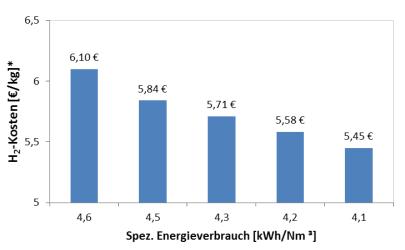


## Beispiel, Technische Informationen: Elektrolysestack (1.2)

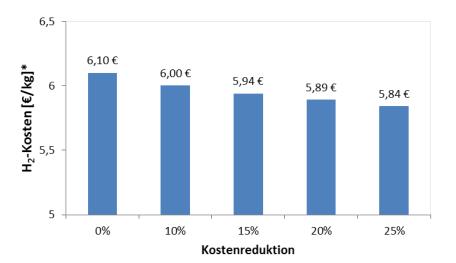
#### Herausforderungen

- Hoher Wirkungsgrad für geringe H<sub>2</sub>-Herstellungskosten (erhöht aber CAPEX)
- Lebensdauer bei PEMEL und Stromdichte bei der AEL sollten erhöht werden,
- Druckfestigkeit zur Senkung Aufwand bei allen weiteren PtG-Komponenten
- Hohes technologisches Kostensenkungspotenzial

#### Mögliche H₂-Kosteneffekte ~ 1 €kg\*



<sup>\*</sup> Pfad Trailer-Abfüllung, 4.000 h/a, 0,03 €/kWh, überwachter Betrieb















## Beispiel, Diskussion: PEM-Elektrolysestack (1.2)

### Technische Spezifikationen

- Wesentliche Kenngrößen
- Stand der Technik
- Verbesserungspotenziale
- Technologiesprünge?

#### Kosten

- Stand der Technik
- Degressionspotenziale
- Stückzahleffekte
- Mögliche Synergieeffekte mit anderen Technologien

PtH 1 MW	heute	Potenzial	Effekt H2-Kosten
Wirkungsgrad (HHV)	65 - 80 %	> 90 %	~ 25 ct/kg
Lebensdauer	20-80 Tsd h	Bis 100 Tsd h	
Herstellkosten (10er Stk.)			
Herstellkosten (100er Stk.)			
Herstellkosten (1000er Stk.)			
Technologien Synergieeffekte			

Informationen müssen teilweise noch mit Herstellern erarbeitet werden













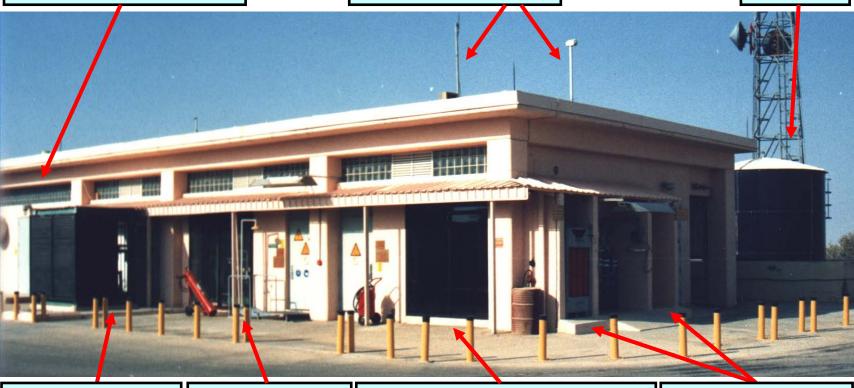
## // HYSOLAR 350/ 500 kW PV-Elektrolyseanlage in Saudi Arabien

## Übersicht über das Gesamtanlagengebäude

PV-Feldkontrolle & Leistungsanpassung

Wasserstoff- & Sauerstoffauslass

Wasser-Tank



Kontrollraum & Kühlsysteme

Elektrolyse-Betriebsraum Wasserstoff-Reinigung & Kompression Wasserstoff-Speichersystem







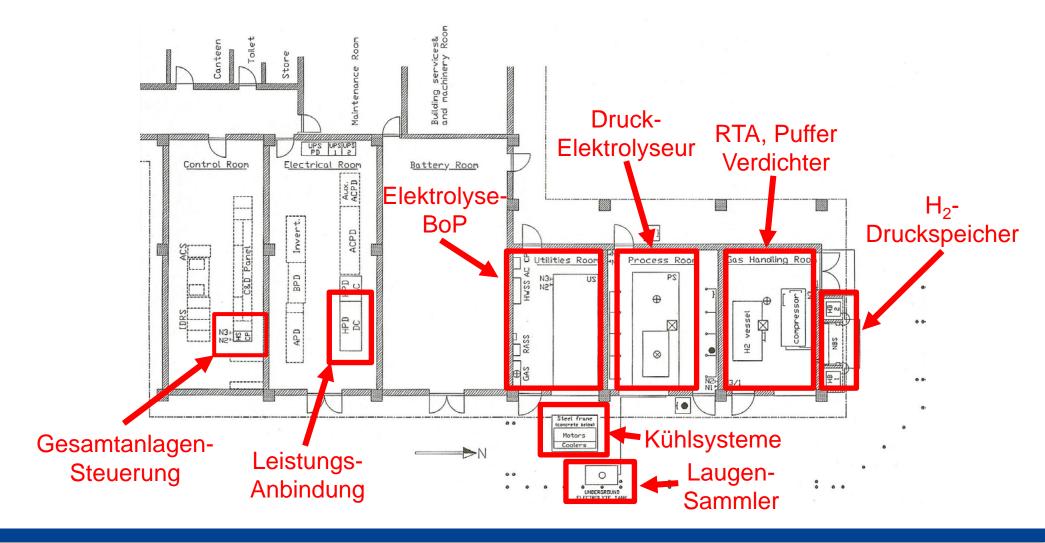






## // HYSOLAR 350/ 500 kW PV-Elektrolyseanlage in Saudi Arabien

## Aufstellungskonzept der Versuchsanlage









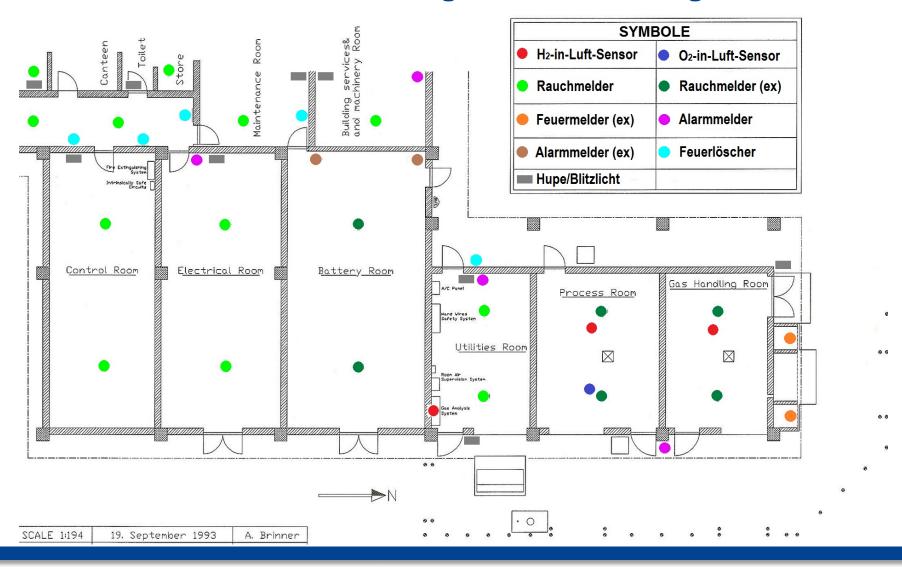






## // HYSOLAR 350/ 500 kW PV-Elektrolyseanlage in Saudi Arabien

## Sicherheitsausstattung der Gesamtanlage







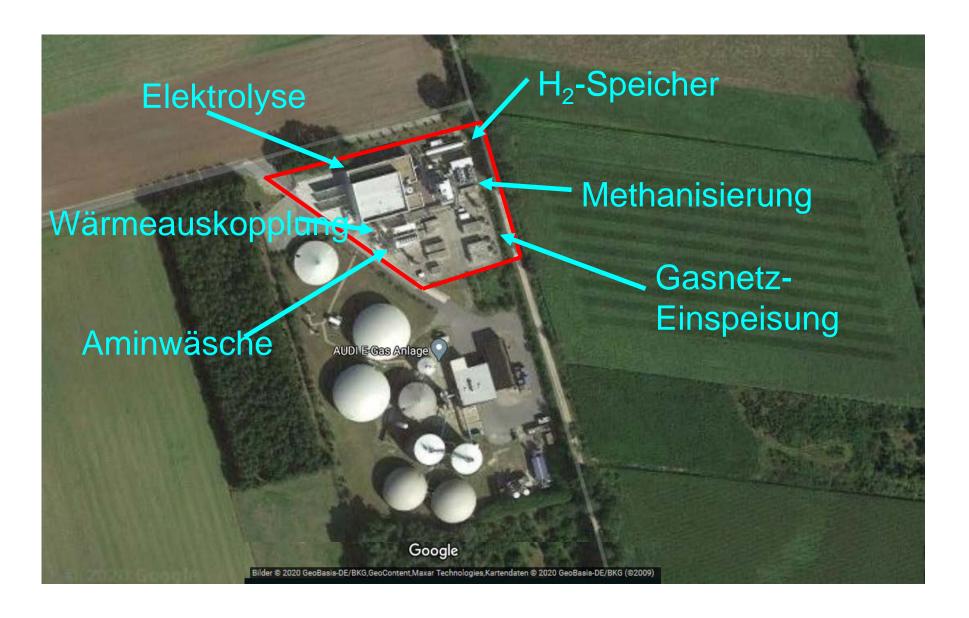








## // Die Audi 6 MW e-gas-Anlage, 2020







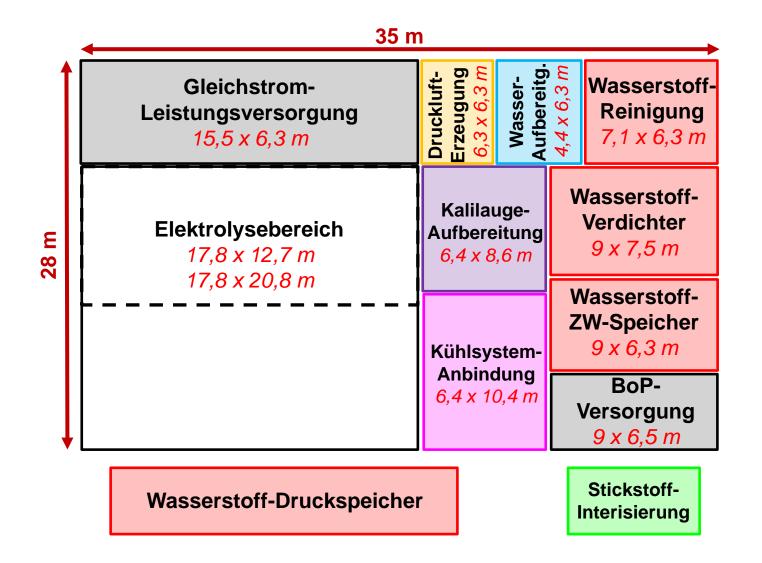








## // Footprint einer 6 MW-Wasserstofferzeugungsanlage mit Balance-of-Plant







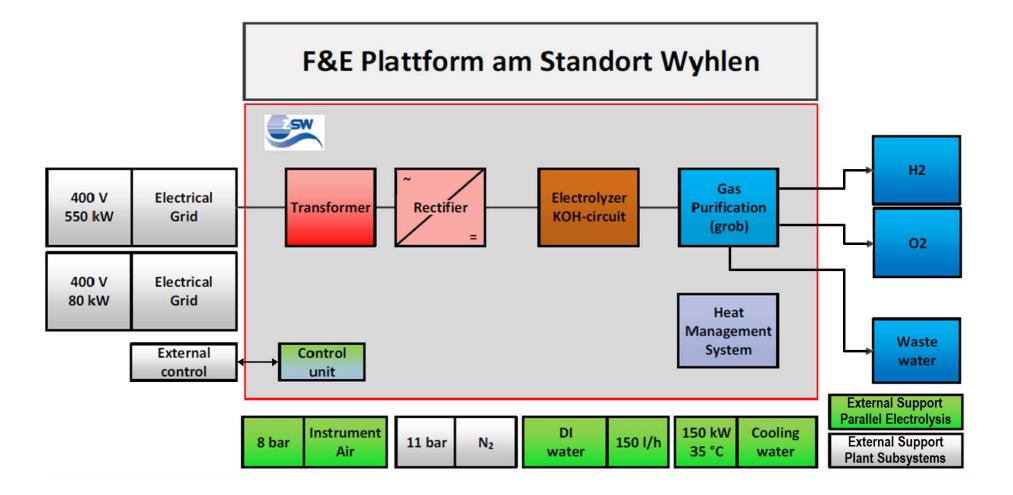








## Standort- bzw. Anlagenkonzept









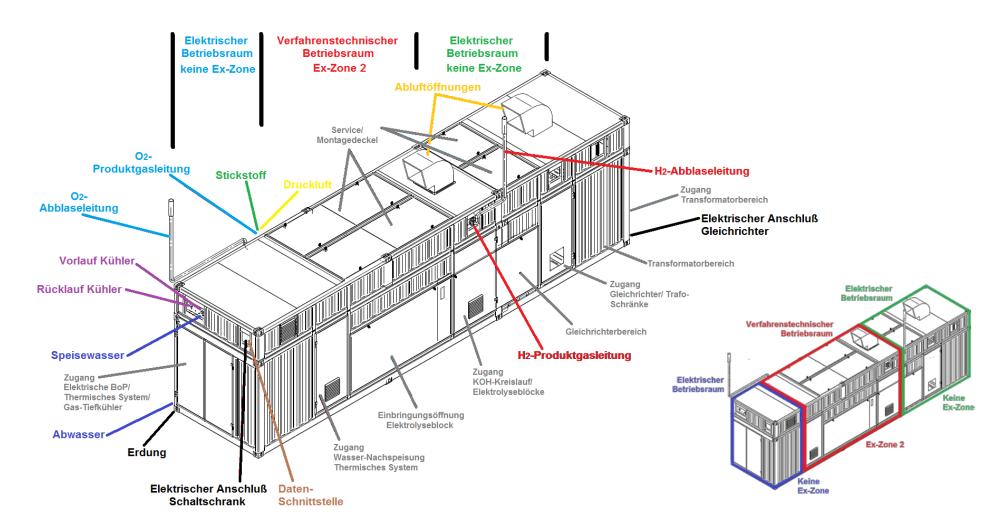






## // Beispiel Alkalische Druckelektrolyse

### ZSW-Systemaufbau: Betriebsbereich-/ Anschlusskonzept









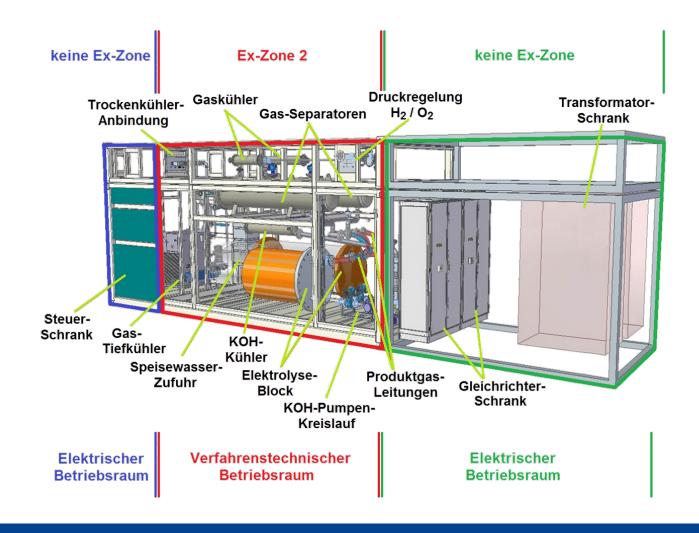






## // Beispiel Alkalische Druckelektrolyse

### ZSW-Systemaufbau: Subsysteme und Baugruppen







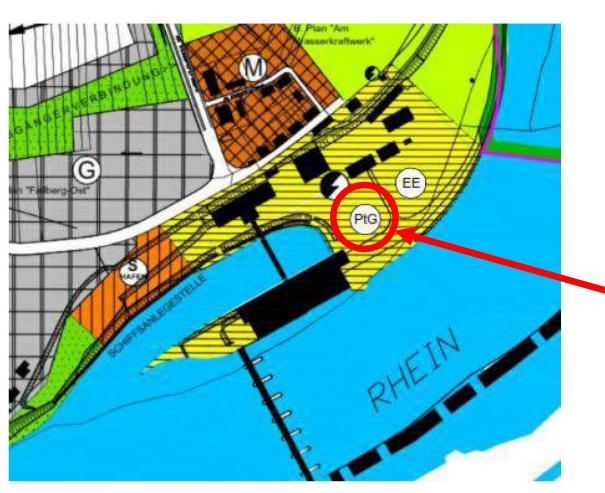








## Flächennutzungsplan für eine Power-to-Gas-Anlage



## Vorhabenbezogener Bebauungsplan:

Ausschnitt aus dem Deckblatt zur 1. Änderung des Flächennutzungsplans mit zusätzlichen Zweckbestimmungen (Stand: Offenlage Juni 2017)

PtG: Power-to-Gas-Anlage

Quelle: Gemeinde Grenzach-Wyhlen, vorhabenbezogener Bebauungsplan





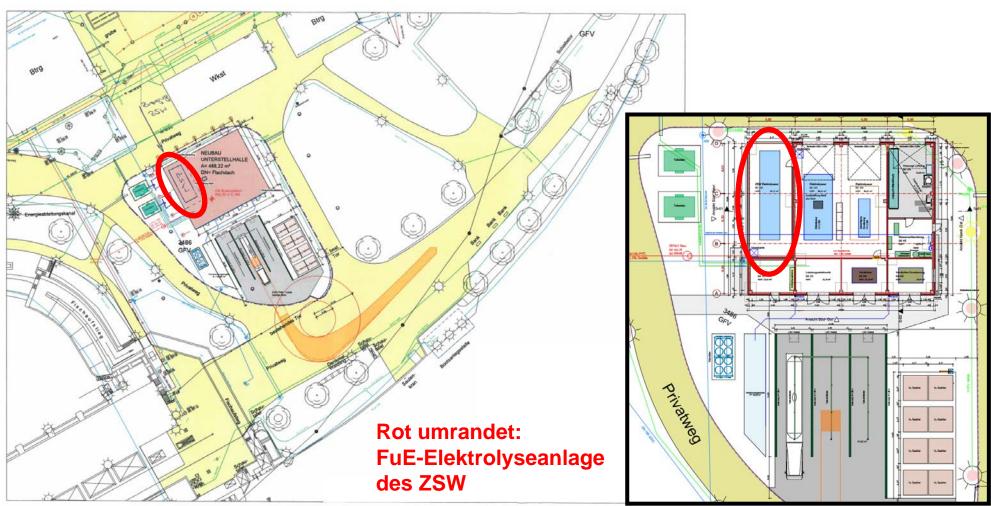








## **Standortplanung**



Quelle: Gemeinde Grenzach-Wyhlen, vorhabenbezogener Bebauungsplan





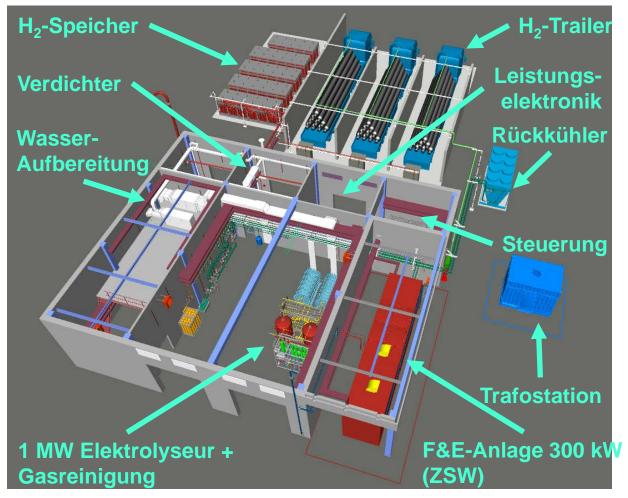








## PtG-Anlage in Wyhlen, Einbauplanung



Quelle: Energiedienst / Haas Engineering





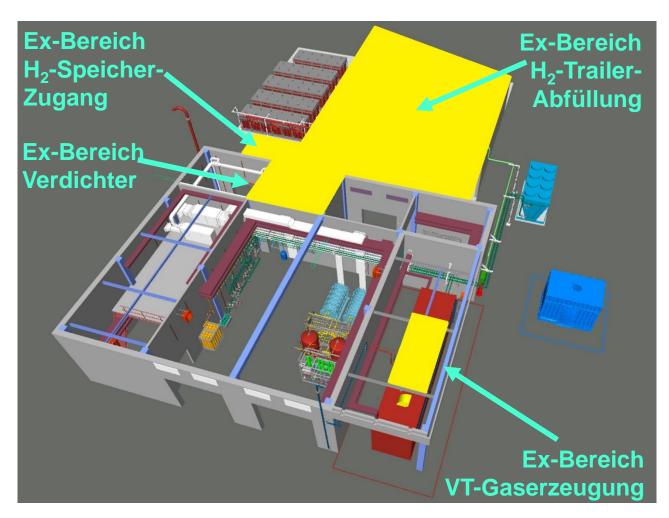








### PtG-Anlage in Wyhlen, Ex-Bereiche



Quelle: Energiedienst / Haas Engineering













## **Technische Umsetzung**















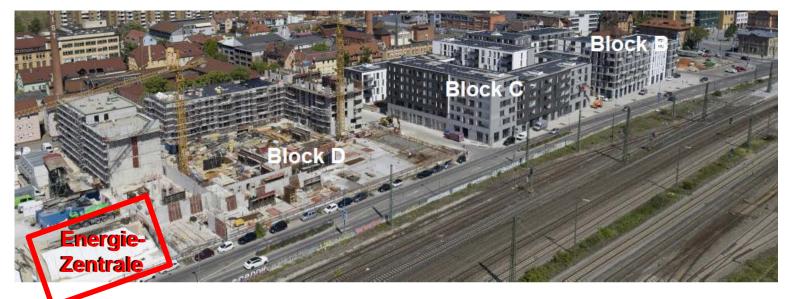


## // Moderne Aufbaukonzepte

## Lage der Energiezentrale im Stadtquartier Weststadt Esslingen



Quelle: BINE, Projektinfo, Neue Weststadt ES, 2018



Quelle: SIZ Energieplus, Grüner Wasserstoff real, 2020













## // Formalia für den Betrieb von Wasserstoffanlagen

#### 1. Systementwicklung/ System-Zertifizierung

- ✓ Norm-/ Vorschriftenfestlegung, nach denen konzipiert/ gebaut wird
- ✓ Festlegung, nach welchen Normen zertifiziert wird
- ✓ Festlegung / Durchführung der Zertifizierungsprozeduren/ Durchführung des Konformitätsverfahrens

### 2. Beantragung einer Errichtungs- & Betriebserlaubnis nach Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV)

- ✓ Vorlage von Gesamtanlagen-, Aufbau-, Betriebs-, Sicherheitskonzept
- ✓ Umgang mit Edukten / Produkten / Hilfsstoffen / Wertstoffen / Abfallstoffen
- ✓ Vorlage von Konzepten zu Schutz von Mensch und Umwelt

#### 3. Feststellung der Betriebsgelände-Eignung / Bauleitplanung

- ✓ Flächennutzungsplan
- ✓ Bebauungsplan

### 4. Prüfung vor Erlaubnis zur Inbetriebnahme nach Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)

- ✓ Einordnung der Anlage oder Teile davon als überwachungsbedürftige/ erlaubnisbedürftige Anlagen
- ✓ Sicherer Betrieb innerhalb der festgelegten Betriebsgrenzen
- ✓ Sichere Reaktion außerhalb der festgelegten Betriebsgrenzen
- ✓ Ausführung aller sicherheitskritischen Komponenten gemäß Planung
- ✓ Vorführung im betriebsbereiten Zustand

### 5. Festlegung der Betriebsüberwachung

- ✓ Festlegung der regelmäßigen Vorlage von Betriebsunterlagen
- ✓ Festlegung von regelmäßig wiederkehrenden Prüfungen













# // VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

