Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-
Forschung Baden-Württemberg

Elektrolytische Wasserstofferzeugung

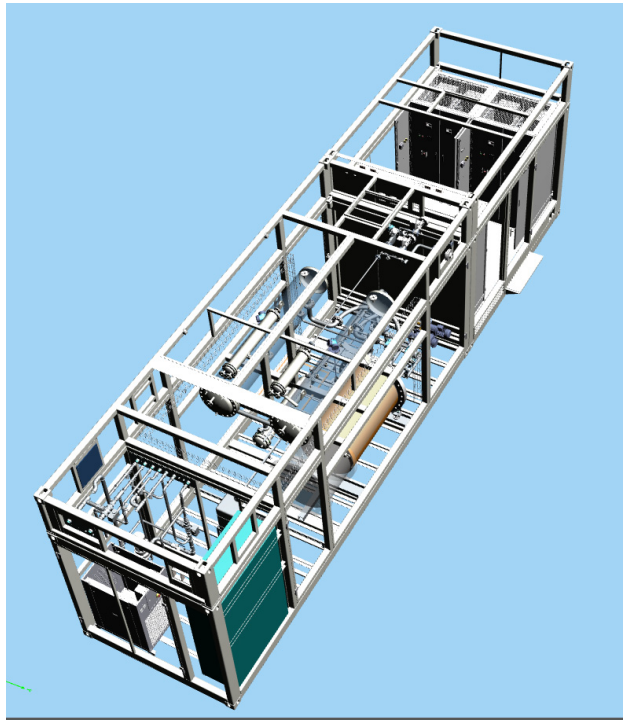
Andreas Brinner

Webinarmodul "Neue Antriebe/Energiebereitstellung“, 04. Mai 2021

42. Ulmer Gespräch Forum für Oberflächentechnik Funktionselement Oberfläche

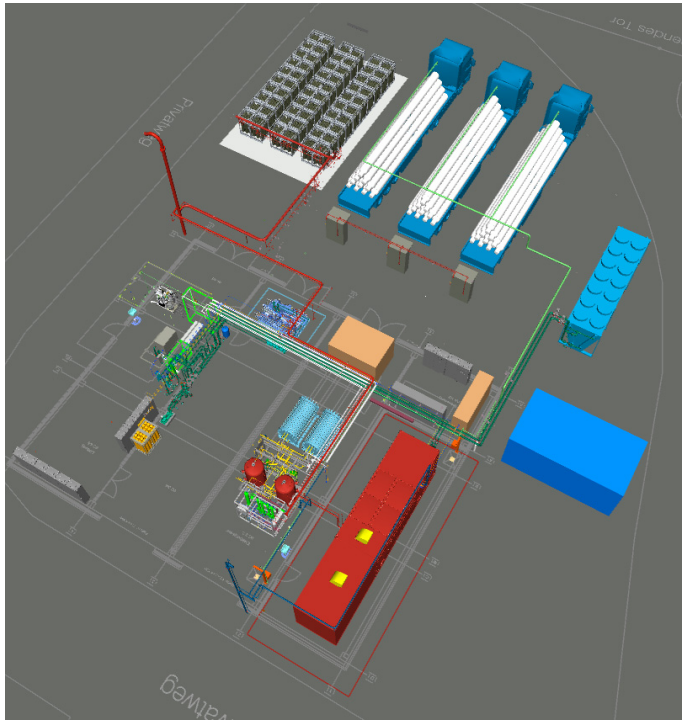
der Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V.

Wasserstofferzeugung mit Elektrolyse



Elektrolyseanlage

Wasserstoff-Fabrik



Agenda

I. ZSW-Kurzvorstellung
II. Warum elektrolytische Wasserstofferzeugung? Wasserstoffstrategien - Deutschland , Europa
III. Einführung in den Wasserstoff
IV. Elektrolyse – Von der Wasserstofferzeugungsanlage zur Blockkomponente
V. Spezielle Rahmenbedingungen bei Wasserstoffanwendungen
VI. Komponentenbeispiele aus dem Blockbereich
VII. Bekannte Fehlerbilder mit speziellen Oberflächen
VIII. Fazit

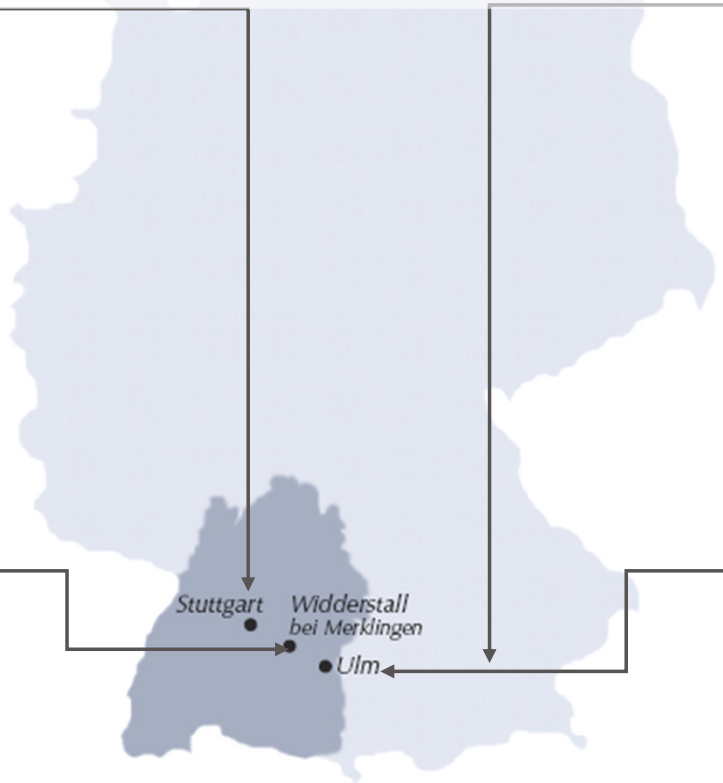
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

Stiftungszweck:
Industrienahe Forschung und Technologietransfer zu erneuerbaren Energien.

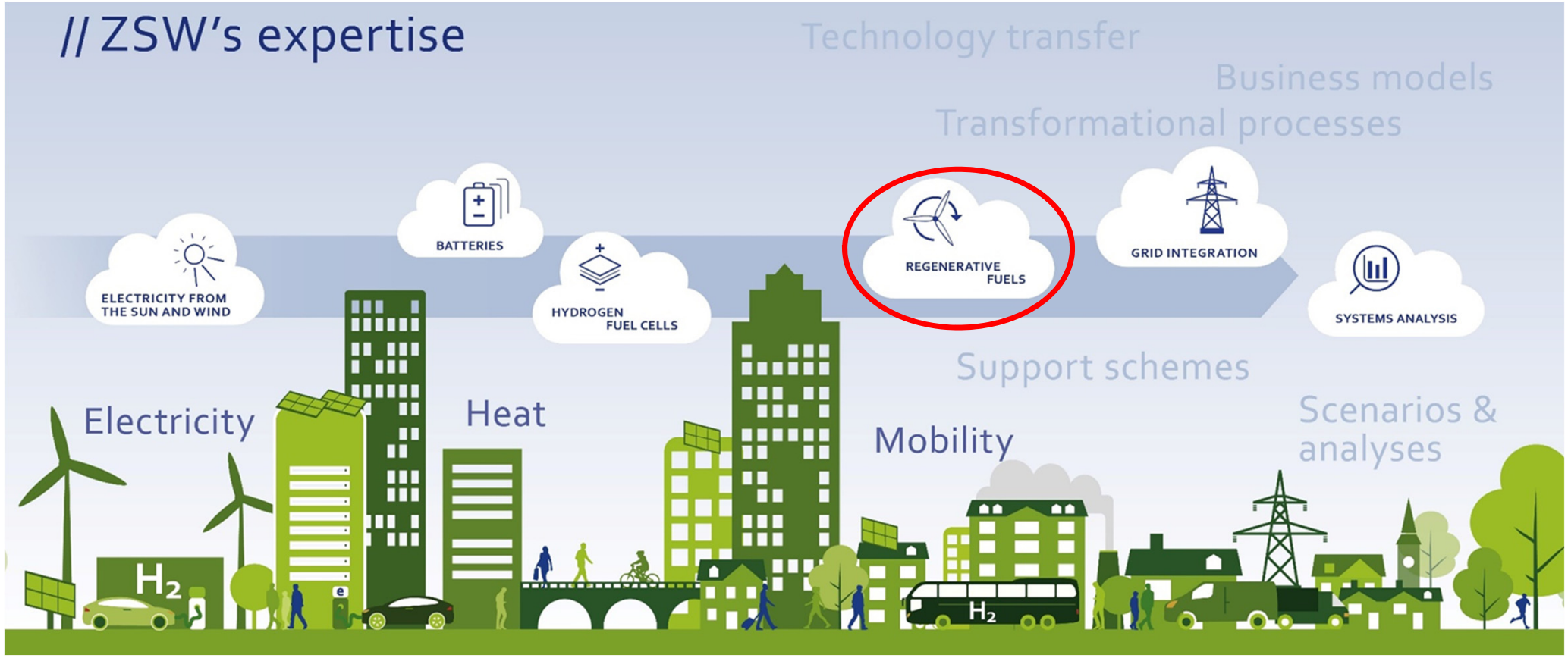
Stuttgart:
Photovoltaik mit Solab, Energiepolitik und Energieträger, Zentralbereich Finanzen, IT, Personal & Recht

Ulm:
Elektrochemische Energie Technologien und ZSW Labor für Batterietechnologien (eLaB)

Widderstall: Solar-Testfeld



Forschungsthemen



Warum Elektrolyseanwendungen in Deutschland?
→ Nationale Wasserstoff-Strategie seit Juni 2020

Ausgewählte Eckpunkte:

- **Erhöhung des Mindestanteils erneuerbarer Energie am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors in 2030 signifikant mindestens 14% über die EU-Vorgaben.**
- **Aufbau von H_2-Erzeugungsanlagen von bis zu 5 Gigawatt Gesamtleistung bis 2030** einschließlich regenerativen Stromerzeugung (≙ 20 TWh Strom & H_2-Verbrauchsanteil von ca. 20%).
- **Befreiung des Stroms für grünen Wasserstoff von der EEG-Umlage** wird angestrebt.
- **Förderung von Anlagen zur Erzeugung strombasierter Kraftstoffe** mit 1,1 Mrd. € bis 2023 insbesondere zur Erzeugung von strombasiertem Kerosin.
- **Zusätzlich weitere 7 Mrd. Euro für den Markthochlauf von H_2-Technologien** in Deutschland und weitere 2 Mrd. Euro für internationale Partnerschaften.
- **Zusammenarbeit mit Partnerländern weltweit** entlang der gesamten Wertschöpfungskette.
- **Ergänzenden Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen** u. a. im ÖPNV (Busse, Züge), in Teilen des Straßenschwerlastverkehrs (LKW), bei Nutzfahrzeugen und in bestimmten Bereichen bei PKWs.
- **Beimischungsquoten-Prüfung für synthetische Kraftstoffe** zu Flugbenzin sowie für grünem Stahl.

Warum Elektrolyseanwendungen in Europa?
→ Europäische Wasserstoff-Strategie seit 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: dpa

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**…“*

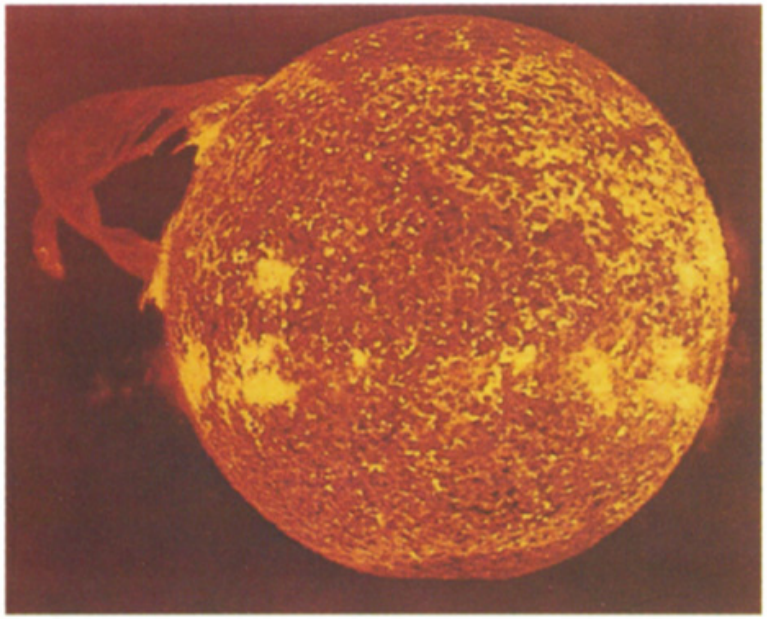
Quelle: Wirtschaftswoche, 8. Juli 2020

„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 €** 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 Corona-Wiederaufbauplan, über den die EU-Staaten derzeit verhandeln.“

Wasserstoff

Wasserstoff ist das häufigste Element im Kosmos

Das Universum besteht zu 75 % aus Wasserstoff und zu 23 % aus Helium. Alle anderen Elemente sind aus Wasserstoff und Helium entstanden: durch die Verschmelzung von Atomkernen im Inneren der Sterne. Alle auf der Erde vorkommenden Elemente wurden so vor Jahrmilliarden in Sternen gebildet.

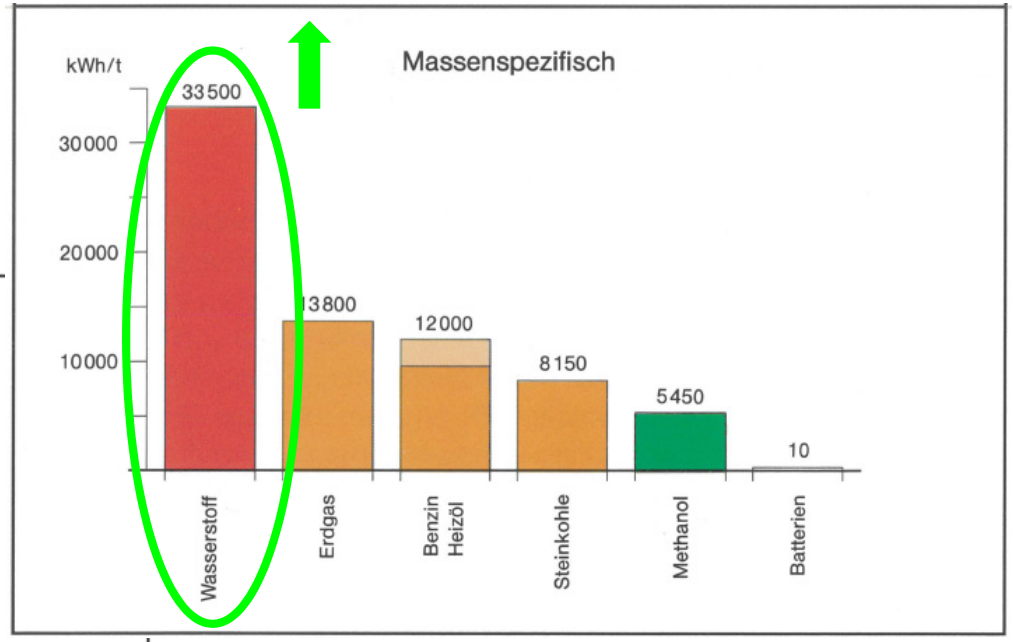


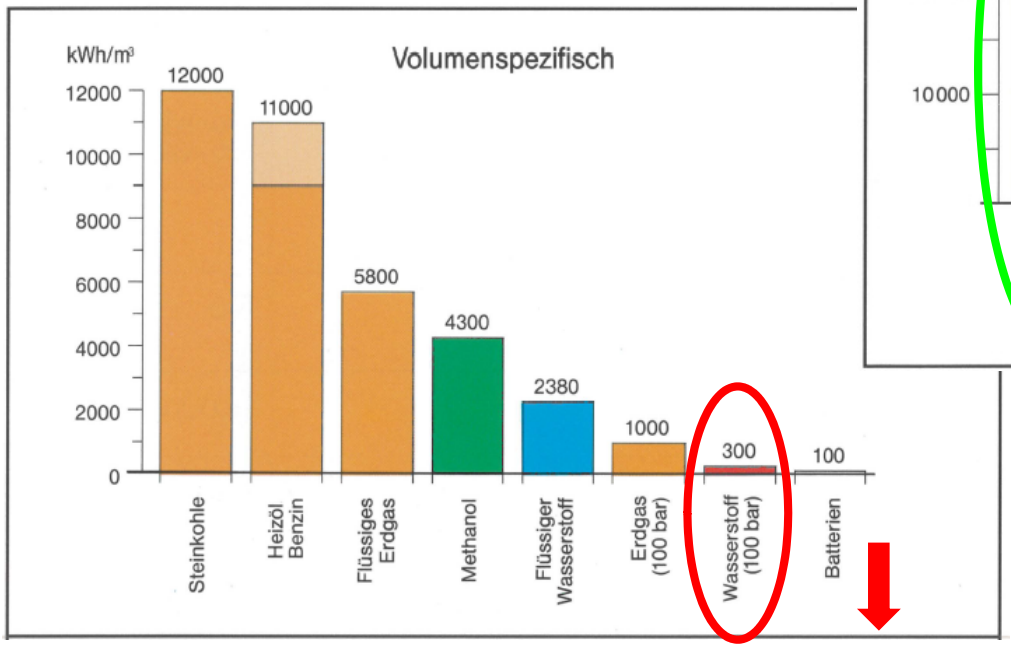
Protuberanz der Sonne *Foto: NASA*

Quelle:DLR-Broschüre „Solarer Wasserstoff -Energieträger der Zukunft“, 1.Aufl., 1988

Warum Wasserstoff ?

Vergleich der Energieinhalte von Energieträgern

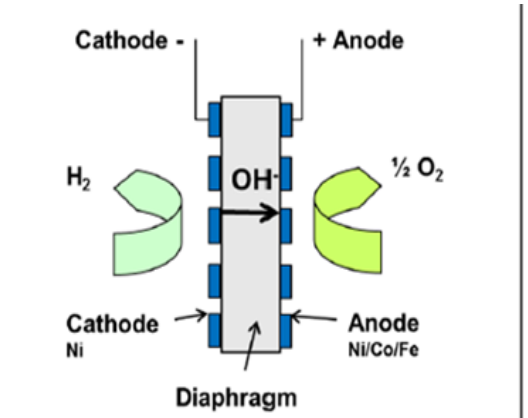




Quelle: Solarer Wasserstoff – ein möglicher Energieträger der Zukunft, 5. Auflage, 1992, WiMi BaWü, DLR, ZSW

Konventionelle Prinzipien der Wasserelektrolyse

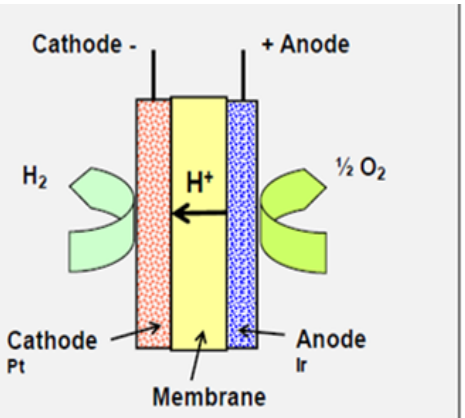
In diesem Vortrag Beispiel alkalische Elektrolyse



Wasserzugabe auf der Kathodenseite

$2OH^- \rightarrow ½ O_2 + H_2O + 2e^-$		Anode
$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$		Cathode
$H_2O \rightarrow H_2 + ½ O_2$		Total reaction

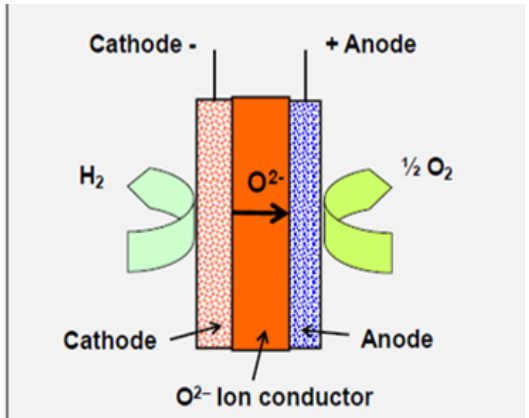
Source: ELT



Wasserzugabe auf der Anodenseite

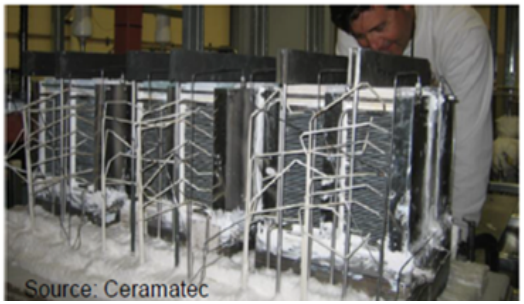
$H_2O \rightarrow 2H^+ + ½ O_2 + 2e^-$		Anode
$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$		Cathode
$H_2O \rightarrow H_2 + ½ O_2$		Total reaction

Source: Proton OnSite



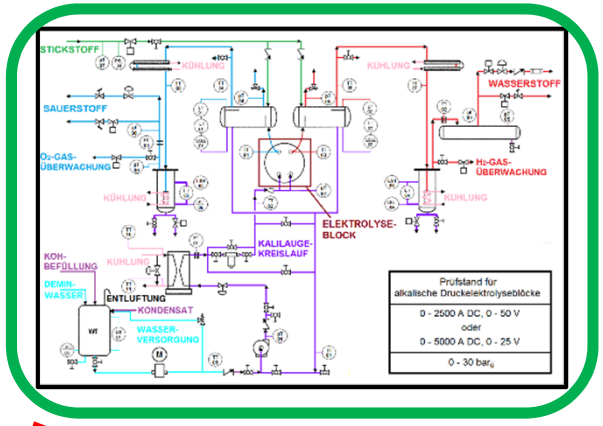
Wasserzugabe auf der Kathodenseite

$O^{2-} \rightarrow ½ O_2 + 2e^-$		Anode
$H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + O^{2-}$		Cathode
$H_2O \rightarrow H_2 + ½ O_2$		Total reaction

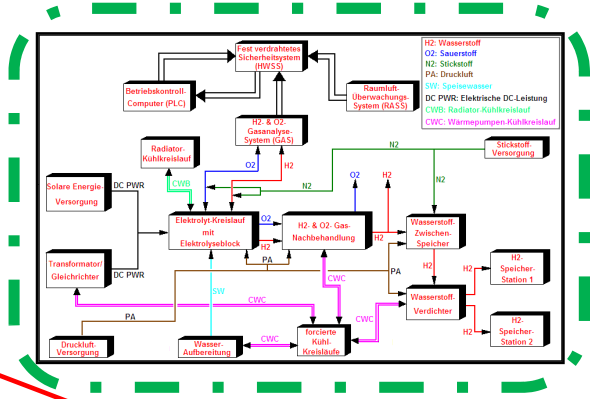

Source: Ceramatec

Weiterentwicklung H_2-Erzeugung mittels Elektrolyse

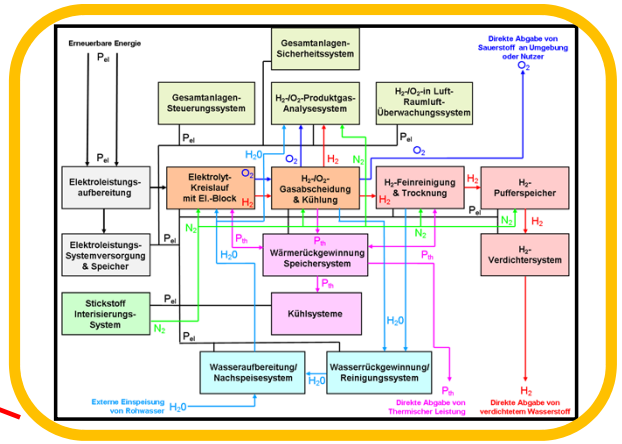
Vom Einzelanlagenbau zur Serienfertigung



Heute
Verfahrenstechnischer Anlagenbau



Übergang
Manufaktur-Bauweise

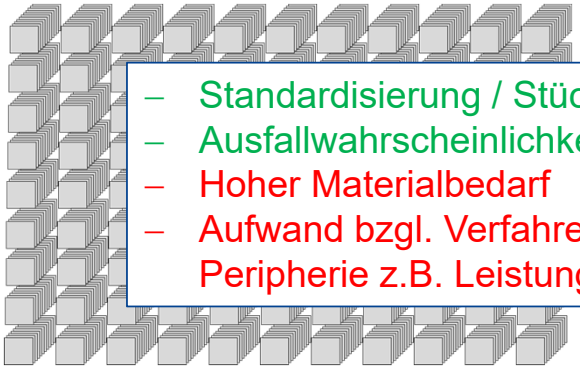


Morgen
Industrieller Serienbau

Skalierung der Elektrolysetechnologie

Der Weg von der H_2-Erzeugungsanlage (MW) zur H_2-Fabrik (GW)

H_2-Erzeugungsanlage 1 MW → H_2-Fabrik >> 100 MW

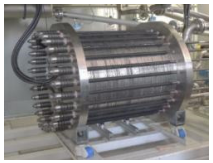


- Standardisierung / Stückzahleffekte
- Ausfallwahrscheinlichkeit
- Hoher Materialbedarf
- Aufwand bzgl. Verfahrenstechnik und Peripherie z.B. Leistungselektronik

100 x 1 MW

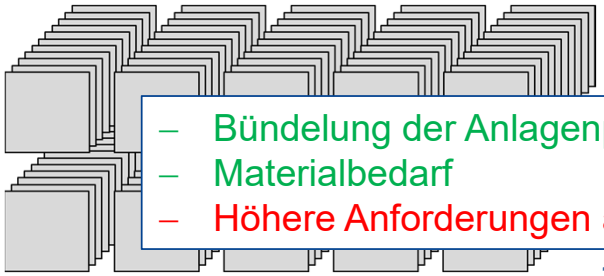
Skalierung in der Stückzahl

Manufaktur → Automatisierte Fertigungsprozesse



1 x 1 MW

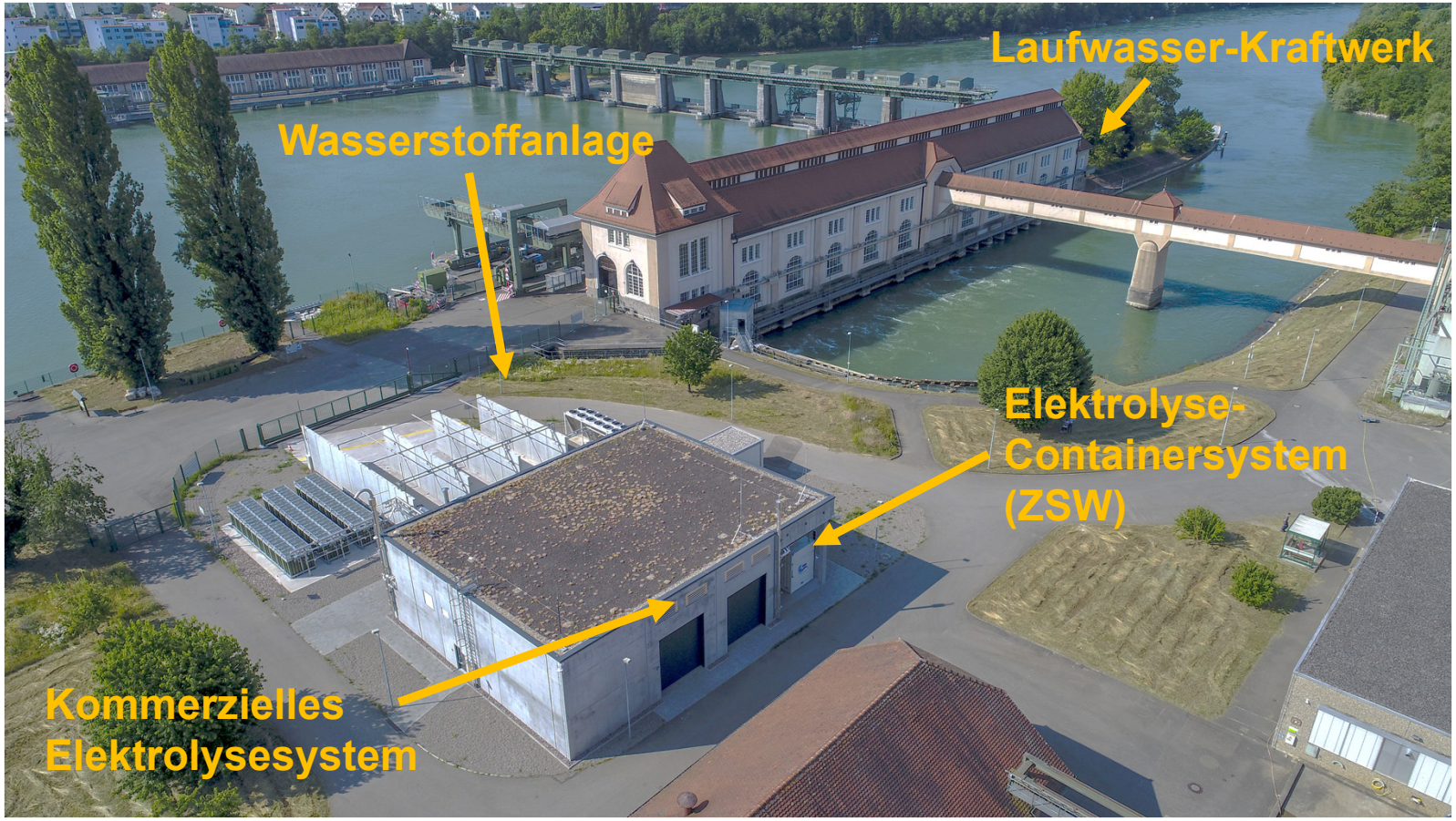
Skalierung in der Zellfläche



- Bündelung der Anlagenperipherie
- Materialbedarf
- Höhere Anforderungen an Material und Maschinen

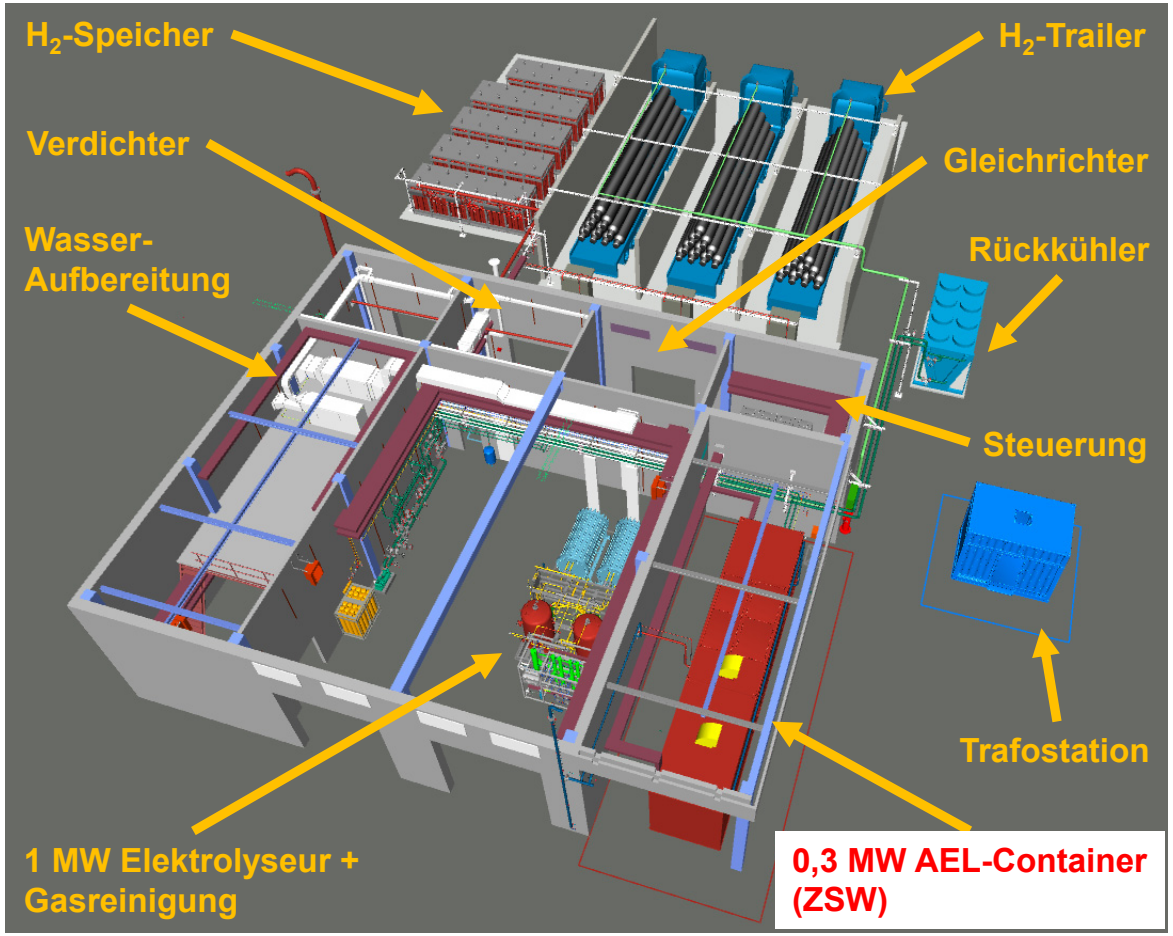
10 x 10 MW

1,3 MW PtG-Anlage am Wasserkraftwerk Grenzach-Wyhlen des P2G-Leuchtturmprojekts Baden-Württemberg



Leuchtturmprojekt PtG-BW

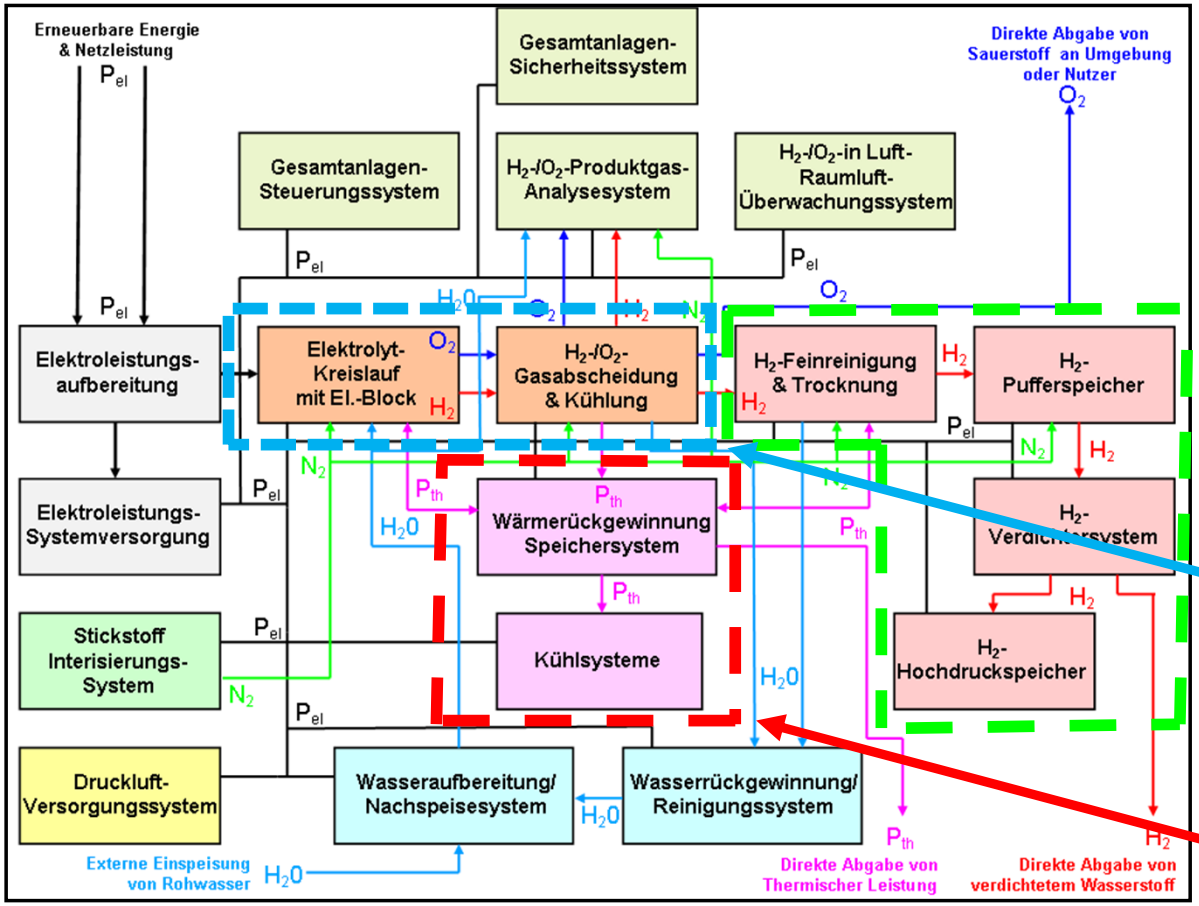
Wasserstoffanlage in Grenzach-Wyhlen, Einbauplanung

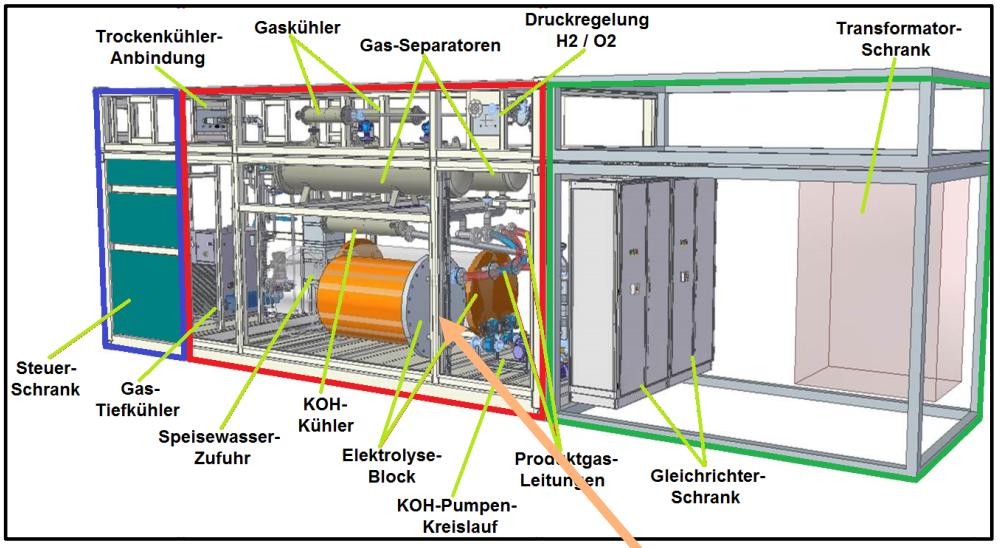


Nach Quelle: Energiedienst / Haas Engineering

Wasserstoff-Erzeugungsanlage mit alkalischer Elektrolyse (AEL)

Vom Blockschaltbild zum Elektrolyse-Containersystem





Elektrolyse-Kernsystem

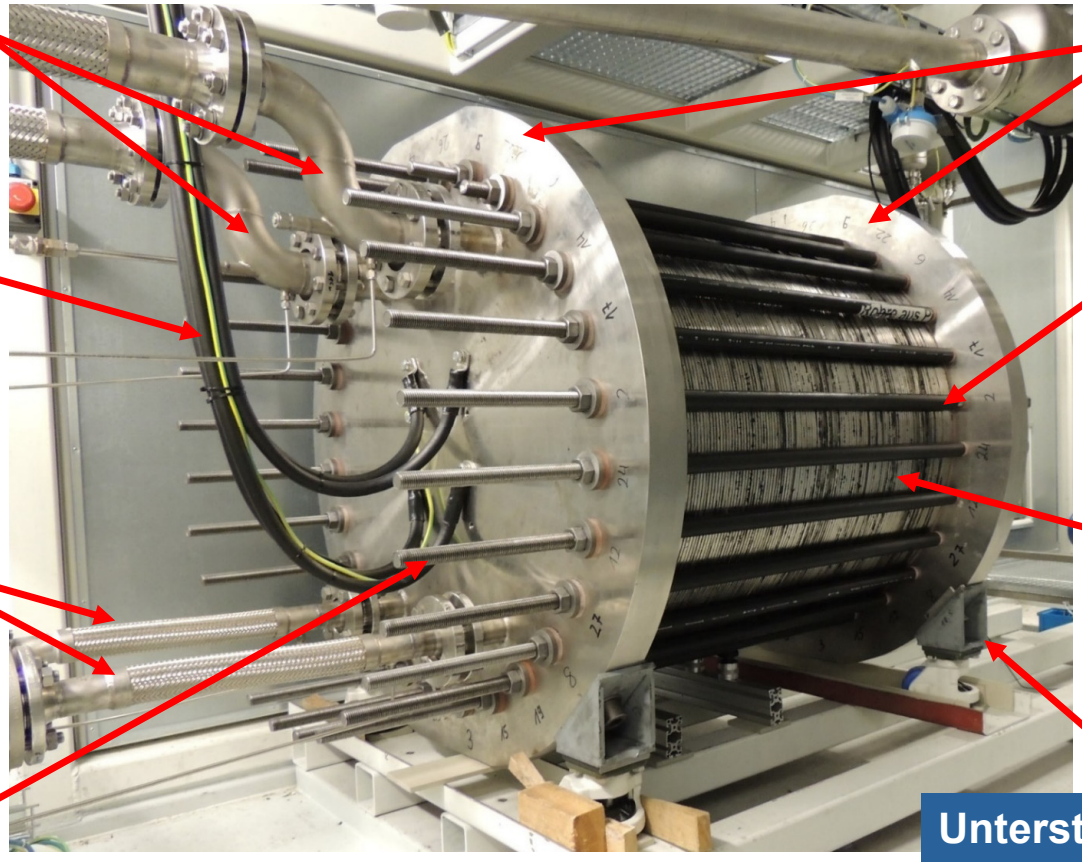
Elektrolyse-Block

Wasserstoff-Bereitstellung

Thermoleistungs-Abgabe

Kernkomponente Elektrolyse-Block

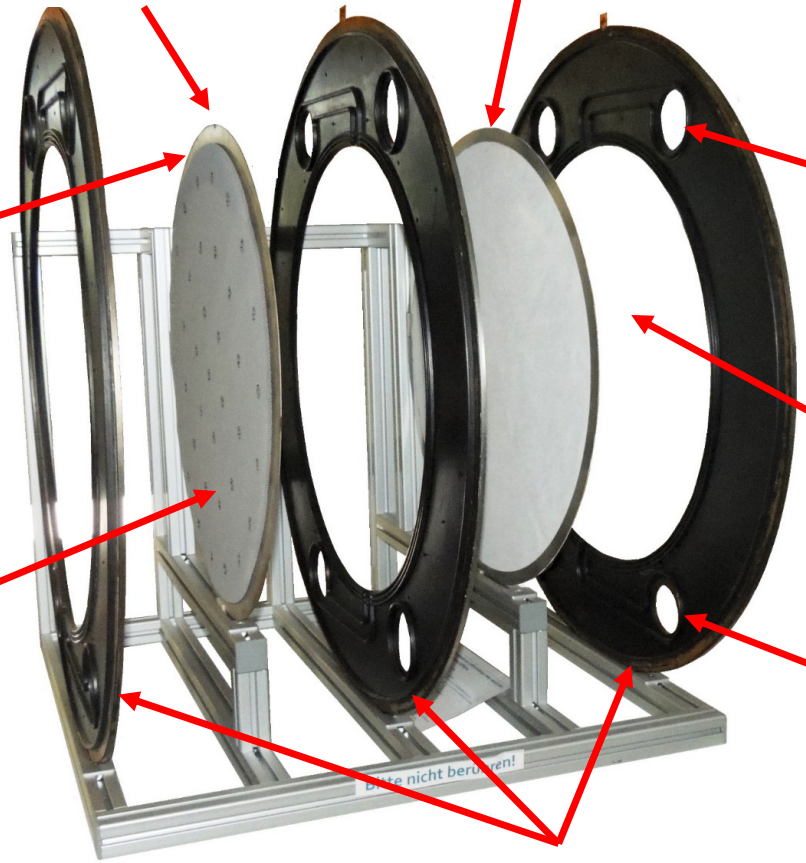
Alkalischer Elektrolyseblock des ZSW



Kernkomponente Elektrolyse-Block

Bauelemente einer alkalischen Druckelektrolysezelle

Elektrolysezelle in Nullabstands-Konfiguration



Beispiele für Komponenten im Elektrolyseblock

mit Beschichtungsbedarf

- **Endplatten** → Korrosionsschutz vor aggressiven Medien, Gasen
- **Zellrahmen** → Korrosionsschutz vor aggressiven Medien, Gasen
- **Druckmantelringe** → Korrosionsschutz vor aggressiven Medien, Gasen
- **Elektroden-Schutzbeschichtungen** → Korrosionsschutz & Langlebigkeit
- **Elektrochemisch aktive Beschichtungen** → Senkung des Energieverbrauchs zur Gaserzeugung

Beispiele für Entwicklungsperspektiven bei Elektrolysesystemen

durch Beiträge der Galvano- und Oberflächentechnik

- **Funktionskomponenten** → Schutz- & Gleitbeschichtungen in Baugruppen
  Steuerung, Regelung, Sicherheitsabschaltung → Sicherer Betrieb, Langlebigkeit, Korrosionsschutz
- **Behälter, Verrohrungen** → Korrosionsschutz vor aggressiven Medien, Gasen
  Nutzung einfacherer Werkstoffe → Kostenreduktion, optimale Nutzung spezifischer Eigenschaften mit Materialmix
- **Elektroden-Schutzbeschichtungen** → Korrosionsschutz & Langlebigkeit
  Nutzung einfacherer Werkstoffe → Revisionskostensenkung, Wiederverwendbarkeit/ Bauteil-Recyclierbarkeit
- **Elektrochemisch aktive Beschichtungen** → Gasreinigung
  Kostenreduktion für Katalysatoren, dünne Beschichtung → Ressourcenschonung, Beschichtungs-Recyclierbarkeit
- **Oberflächenvergütung** → Harte, dichte Oberflächen zur Abdichtung
  Sicherheit gegen Flüssigkeits-/ Gasaustritt → Erhöhung der Sicherheit im Betrieb
- **Verbesserte Kühlmedien / Kreisläufe** → Elektr. Iso.-Schicht / Therm. Leitschicht
  Gute Isolationseigenschaften → direkte Blockkühlung → Reduktion der Komponenten / Subsysteme
- **Bauteilherstellung** → Komplexe dünne Bauteile auf Unterstrukturen
  Materialkostenreduktion, gezielte Eigenschafts-Einstellung → deutliche Kostenreduktion, “Plan B” bei Kostensteigerungen

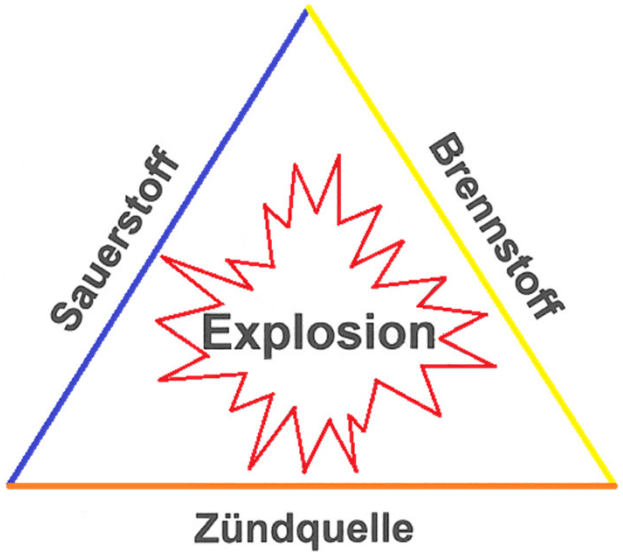
Nutzung von Beschichtungen im Explosionsbereich

Explosionsgefahr durch explosionsfähige Stoffe

DEKRA

Eine Explosion ist eine plötzliche Oxidations- oder Zerfallsreaktion mit Anstieg der Temperatur, des Druckes oder beides gleichzeitig.

Das Explosionsdreieck



Brennstoff

- Brennbare Gase, z.B. **Wasserstoff**
- Brennbare Flüssigkeiten
- Stäube brennbarer Stoffe

Es müssen alle drei Voraussetzungen, Vorhandensein von Brennstoff, Sauerstoff und Zündquelle, gegeben sein, damit es zur Explosion kommen kann.

Nach Quelle: Dr. J Hübner, Dekra-Exam GmbH, Sicherheitstechnische Kenngrößen für den Explosionsschutz

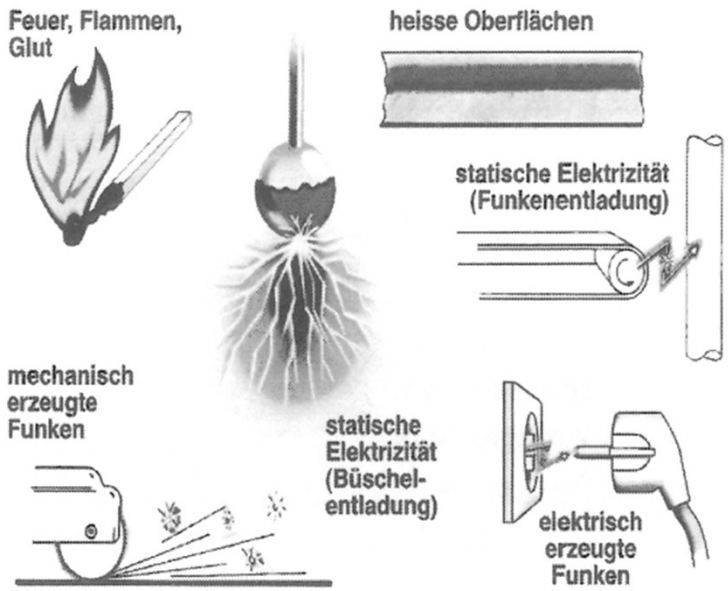
Wirksame Zündquellen

bei ungeeignetem Materialmix

DEKRA

Einige häufige Zündquellenarten (Auswahl aus 13 Arten nach DIN EN 1127-1)

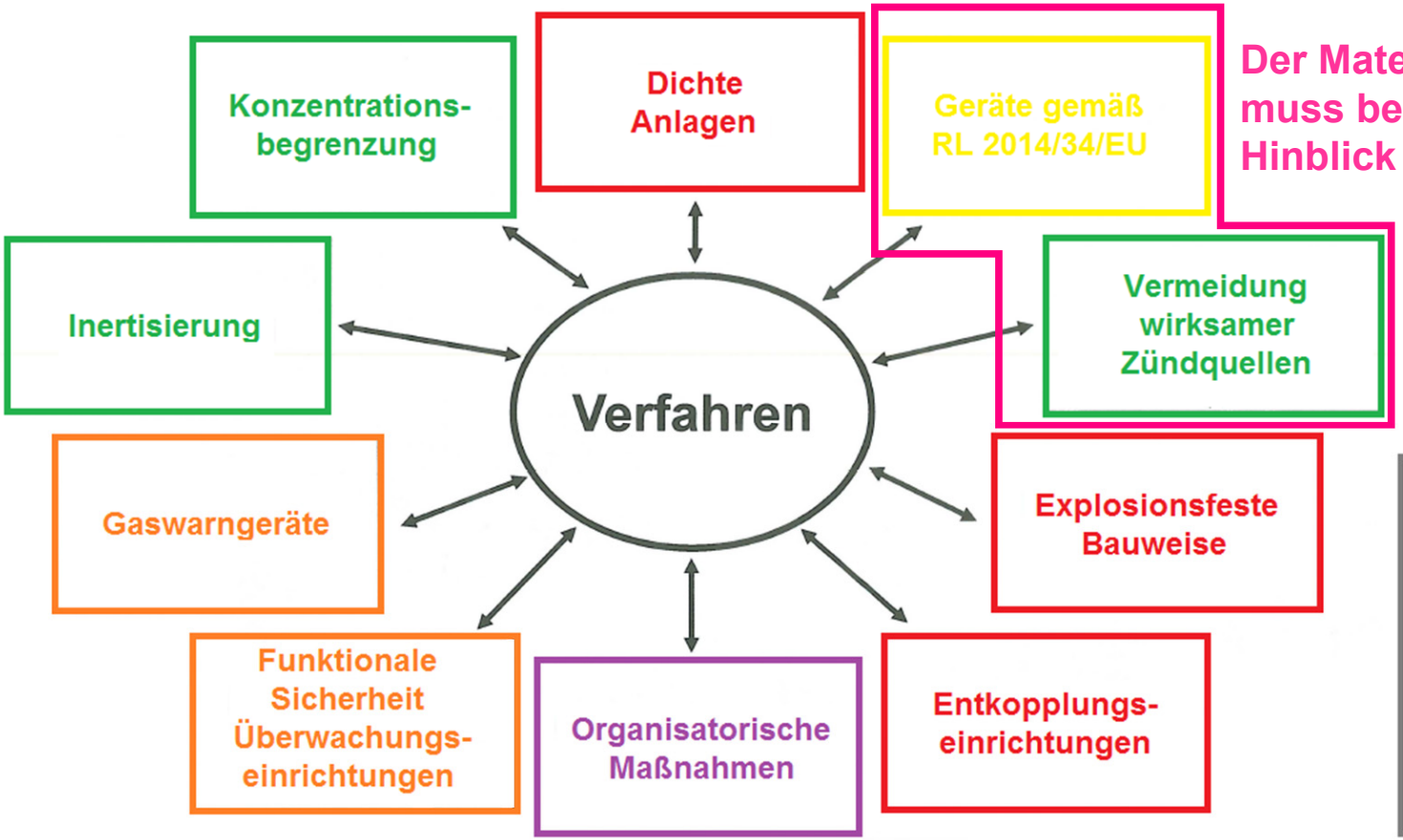
- Heiße Oberflächen
- Elektrische Anlagen
- Statische Elektrizität
- Ausgleichsströme
- Flammen und heiße Gase
- Mechanisch erzeugte Funken
- Blitzschlag
- Exotherme Reaktionen



Nach Quelle: Dr. J Hübner, Dekra-Exam GmbH, Beurteilung von Explosionsgefährdungen

Maßnahmen des Explosionsschutzes

Berücksichtigung von Beschichtungen



Der Materialeinfluss von Beschichtungen muss berücksichtigt werden, z.B. im Hinblick auf:

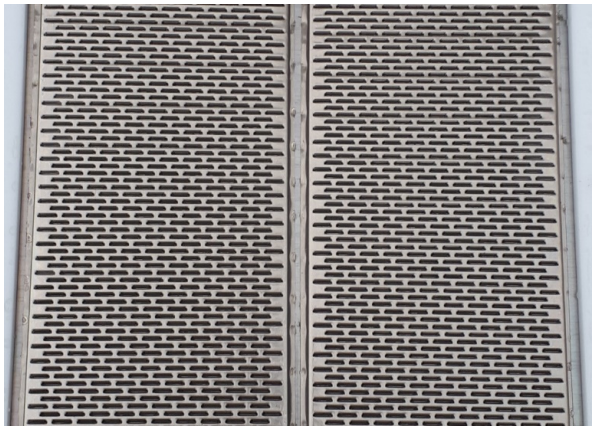
- **katalytische Wirkung**
- **Materialmix**
- **Querleitfähigkeit**
- **Ablösungen, usw.**

Nach Quelle: Dr. J Hübner, Dekra-Exam GmbH, Maßnahmen zur Verhinderung eine geA

Elektrodenbeschichtungen, Beispiele

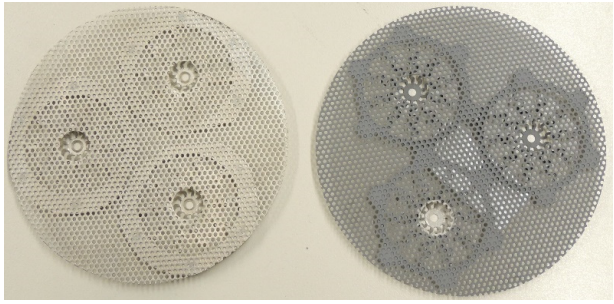
Galvanisch beschichtet oder Mix-Beschichtungen zus. mit anderen Verfahren

Dichte galvanische Vernickelung komplexer Strukturen, 1500 cm^2



Elektrodenpackage aus vernickelten und Raney-Ni-beschichteten Blechen, 2700 cm^2

Beschichtungsproben, 200 cm^2
li: Ni-Beschichtung,
re: Raney-Ni-Beschichtung



Elektrodenpackagebeschichtungen, industrielle Beispiele

Galvanisch beschichtet oder Mix-Beschichtungen zus. mit anderen Verfahren

Bipolarplatten aus vernickelten Stahlblech 30.000 cm^2

Elektrodenbleche 5800 cm^2, vernickelt und plasma-beschichtet

- korrosiven Medien ausgesetzt,
- H^+- OH^--Ionen und H_2/ O_2 ausgesetzt
- Fluid-Strömungen, 2-Phasen-Strömungen ausgesetzt

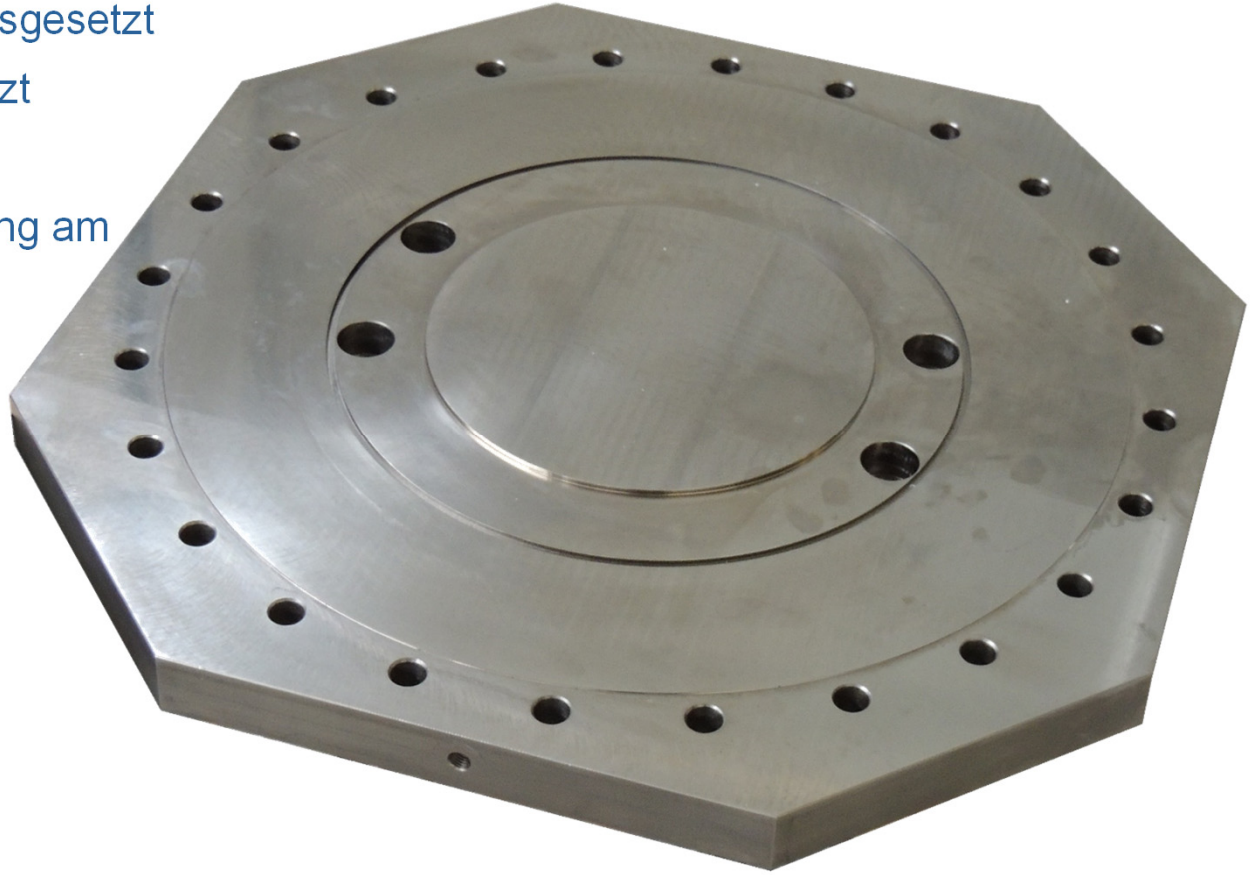
Zellrahmen

Galvanisch schutz-beschichtet

Zellbock-Endplatte

Galvanisch schutz-beschichtet oder aus hoch-legierten Stählen

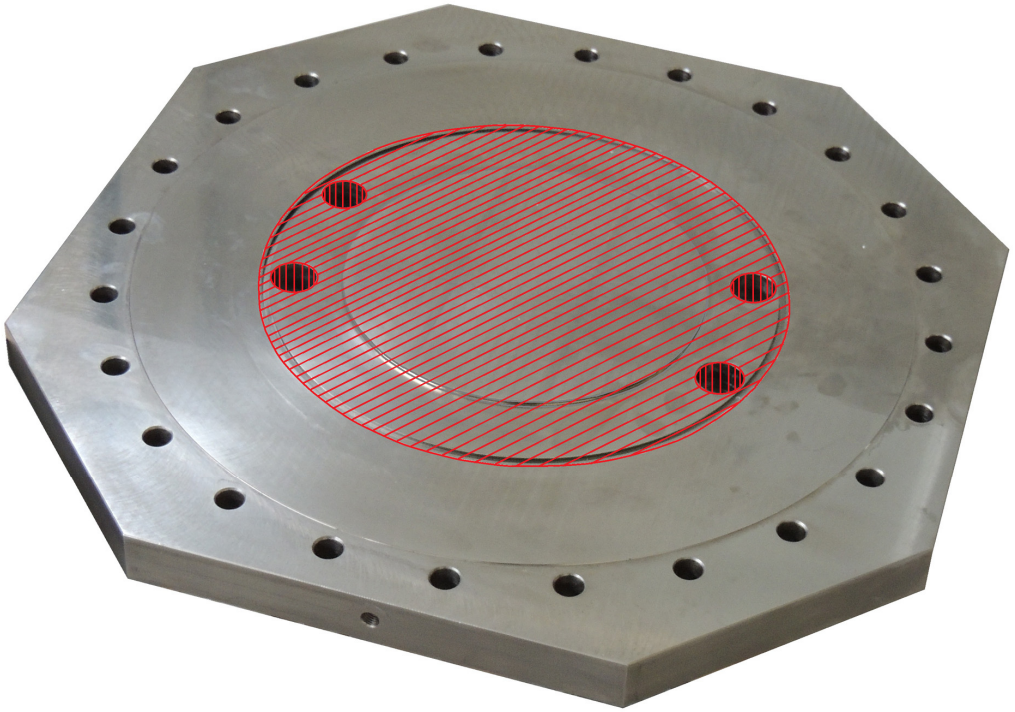
- Innenseite korrosiven Medien ausgesetzt
- Innenseite Wasserstoff ausgesetzt
- Bauteil Innendruck-belastet
- Bauteil mit hoher Flächenpressung am Rand belastet



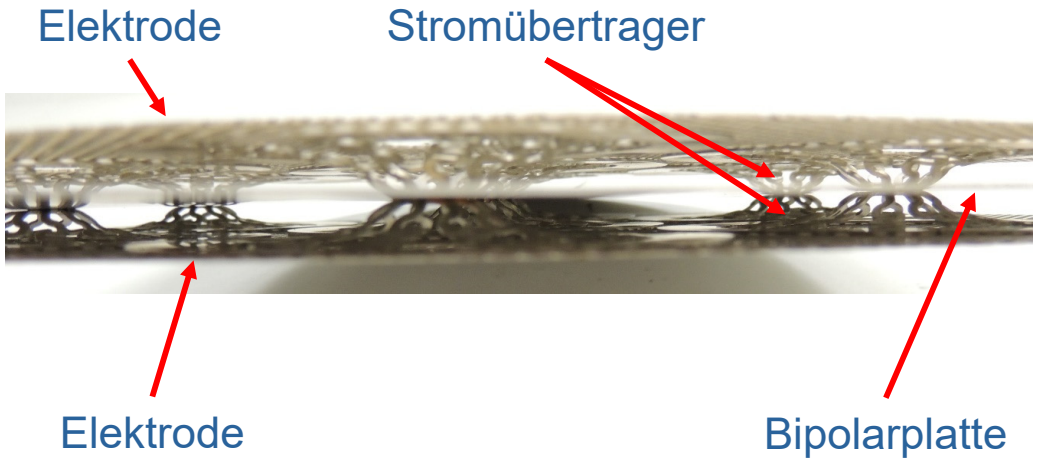
Galvanoforming

Bauteil-Beispiele aus preiswerten Materialien mit eigenstabilen Beschichtungsauflagen, z.B. aus Ni

Nur rot schraffierte Bereiche benötigen Ni-Auflage



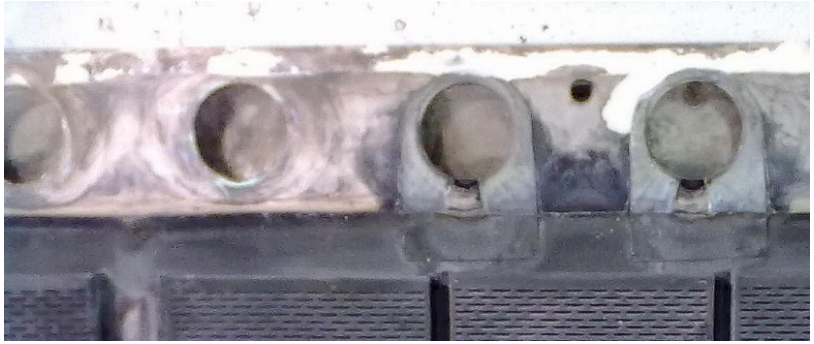
Elektrodenpackages mit komplexen 3-D-Formen
Einfache St-Bauteile mit dicker Ni-Auflage zur Dicken-Reduktion des Gesamtbauteils
Stichwort: besser Stromleitfähigkeit von Ni



Galvanisch beschichtete Bauteile

Galvanisch beschichtet, typische Fehlerbilder durch Betrieb

Bipolarplatte mit Lochfrass im Gaskanalbereich, abgedeckt mit Verschleißblechen



Bipolarplatte mit ungleichmäßiger Schichtabtragung über die Elektrodenfläche, ca. 1 m^2

Galvanisch beschichtete Bauteile

Galvanisch beschichtet, typische Fehlerbilder durch Betrieb

Korrodierte Sauerstoff-Elektrode, Ni-beschichtet bei geringen Ni-Schichtdicken-Unterschieden

Korrodierte Druckringe als Membranhalter, obwohl geeignetes Edelstall-Vollmaterial 1 mm stark

Fazit

- Wasserstoff (H_2) ist der Schlüssel der Energiewende – in allen Energiesektoren nutzbar
- Der Markthochlauf von Elektrolyseanlagen beginnt jetzt
- Trotz neuer Technologie sind viele Komponenten / Subsysteme vorhanden bzw. können angepasst werden

→ Positionieren Sie sich – Steigen Sie in die Wasserstoff-Technologie ein!

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!
NOCH FRAGEN?

Andreas Brinner

E-Mail: andreas.brinner@zsw-bw.de