CHEM|ampere Infoday and Kickoff Meeting

Stuttgart

12. November 2020

"Scale-up of electrolysers"

Andreas Brinner, Dr. Marc-Simon Löffler, Philip Spieth
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
Baden-Württemberg (ZSW)
Regenerative Energieträger und Verfahren (REG)
Meitnerstr. 1, D-70563 Stuttgart

Contents:

- Short Overview about ZSW
- Manufacturing of Alkaline Electrolysis
- Component & Subsystem Development
- Operation Allowance & Certification
- Dynamic Plant Operation
- Development Needs

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

1988: ZSW was established as a non-profit foundation under the civil code.

2019: 275 employees work at 3 locations in the State of Baden-Württemberg (Turnover 2019: 48 m. EUR)

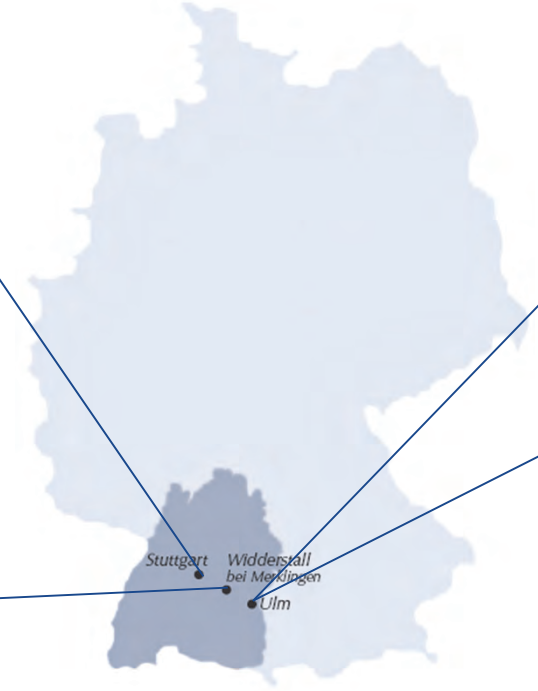
Goal of the foundation:

Industry-oriented research and technology transfer in the field of renewable energies.

ZSW Locations

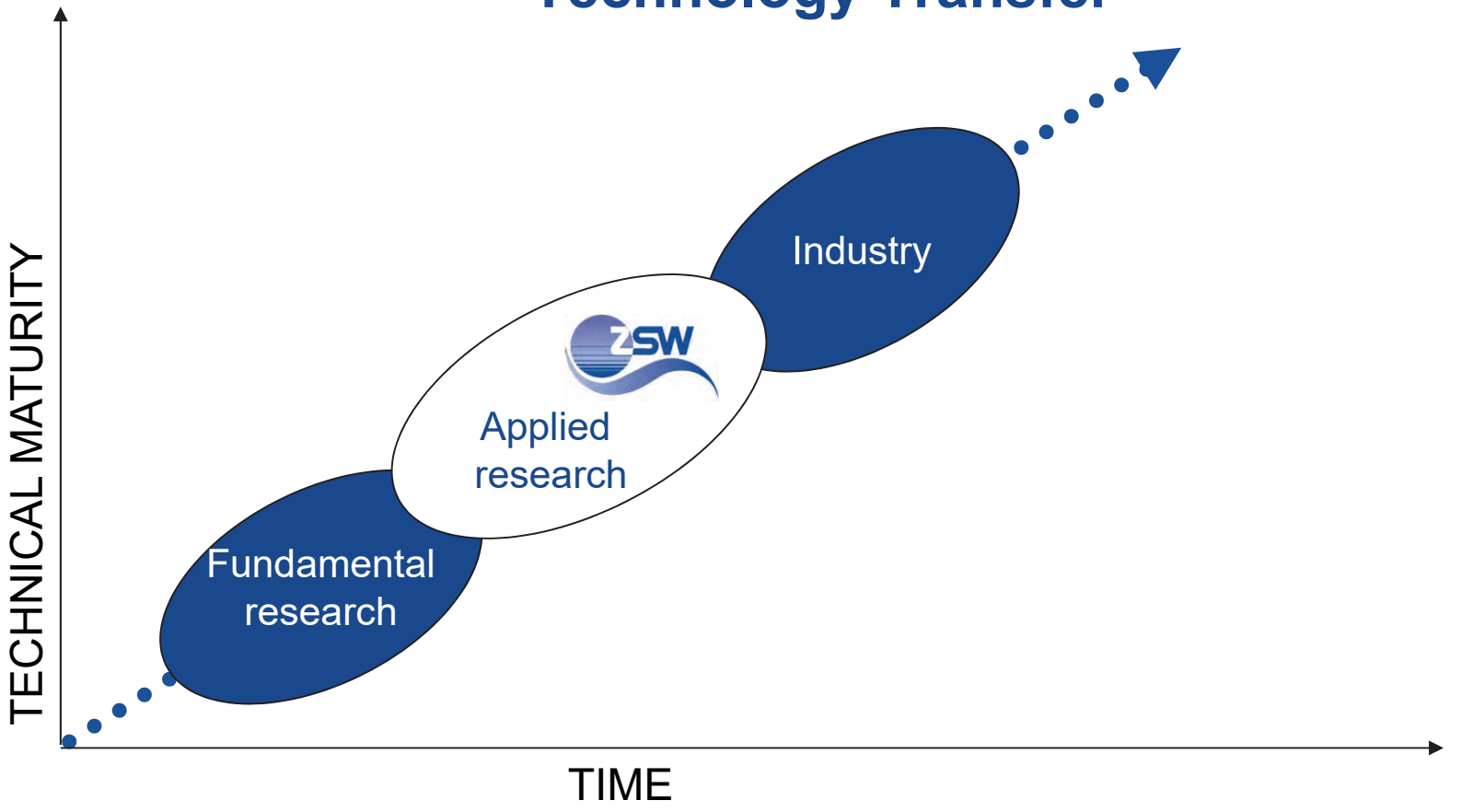
Stuttgart:
Photovoltaics (with Solab), Energy Policy & Energy Carriers, Central Division Finance, IT, Human Resources and Legal

Widderstall: Solar Test Facility

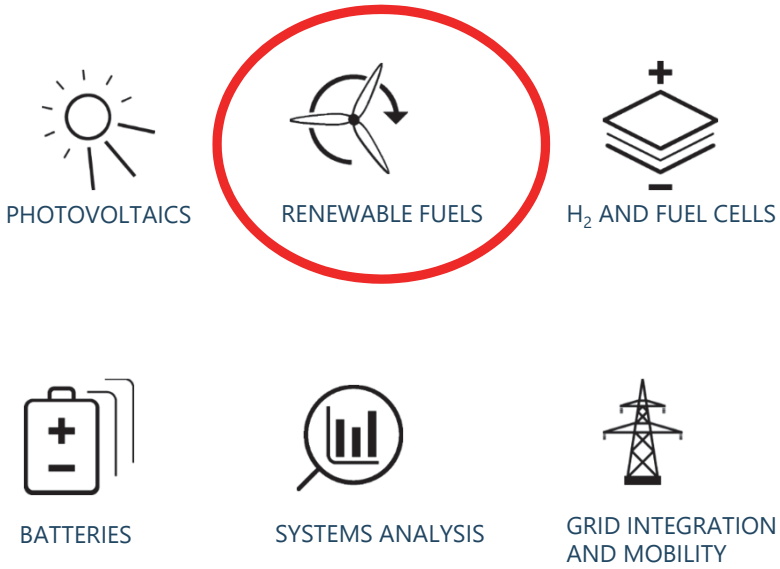


Ulm:
Electrochemical Energy Technologies with ZSW Laboratory Battery Technologies (eLaB)

Technology Transfer



Research Topics



Renewable Fuels

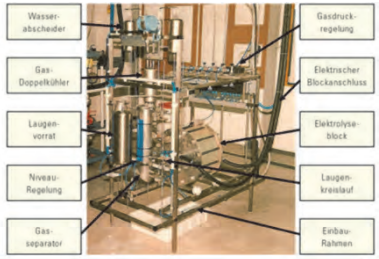
- P_2X electrolysis
- CO_2 generation from biomass and air
- P2X on-site support
- Carbon from residues
- Raw material recycling in fluidized bed processes

Hydrogen Production from Renewable Energies

Water Electrolysis – from Cell to System

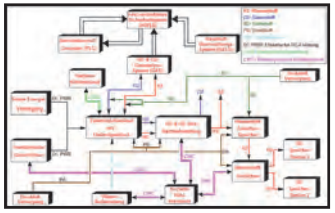
Cell → **Stack**

Hydrogen Plant ← **Electrolyzer**



Quelle: Eigene Darstellung nach Wenske 2010

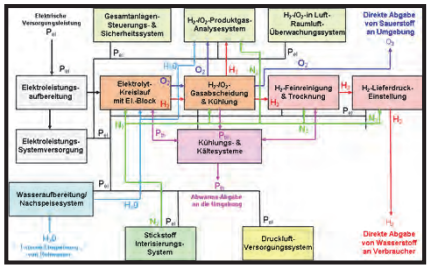
Further Development of H_2-Generation with Electrolysis - From Single Plant Construction to Series Production -



Today
Contract specific plant construction

Big Plants

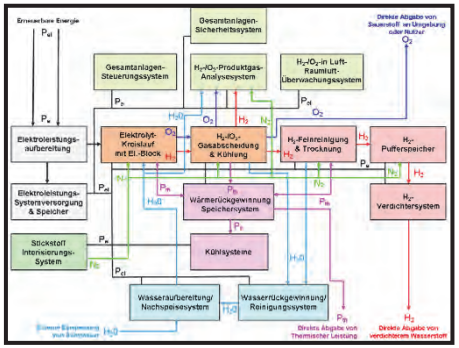
6 MW Audi e-gas Plant



H_2-Production Units

6 MW Uniper PtG-Pilot Plant

Transient
Manufactory construction



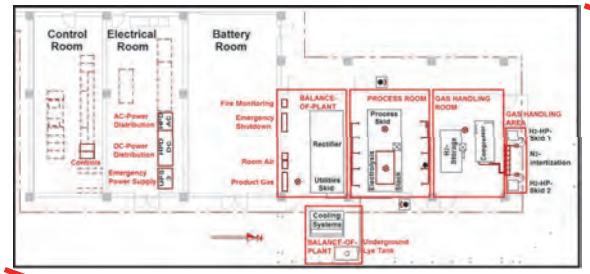
Tomorrow
Industrialized series production

To be established

Project „Electrolysis made in Baden-Württemberg“

Further Development of H_2-Generation with Electrolysis - Cost Optimization -

→ Cost optimization with compact plant structure, strict modularization, series production

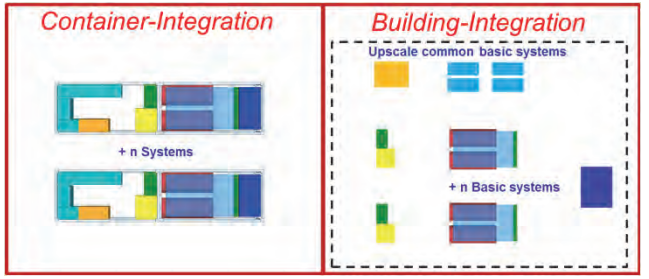


Process plant assembled from pre-fab. main systems in a specially designed plant building

Today

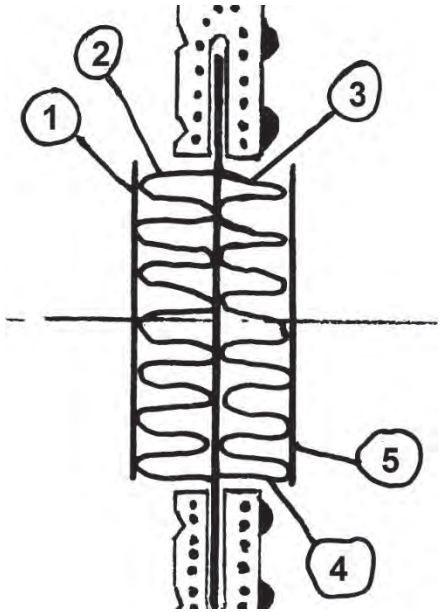
Tomorrow

Series of turnkey systems made from prefabricated subsystem modules and housings



Electrode coating development using industrial processes

Electrode package typically consisting of:



1. Anodic working-electrode
2. Current collector
3. Bipolar separator
4. Current collector
5. Cathodic working-electrode

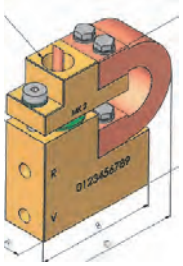
Coating ideal after assembly and
separately for both sides
also possible with different processes

Stable connection between
the components
by
Spot / drawn arc / stud welding or
similar processes

Electrode Package & Catalytically Active Coating

- Anew electrode package concept was developed, implemented in small series on a scale of 2715 cm^2 and with cathodic coating.
- All necessary small series tools for package production were developed in-house.

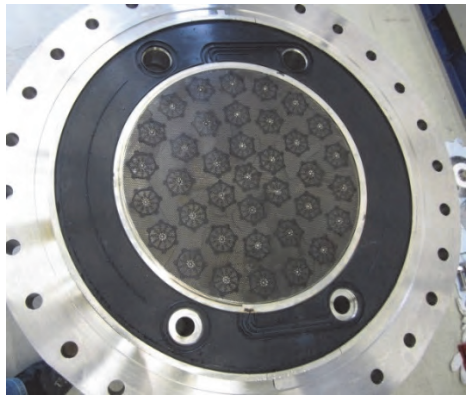
Projekt P2G-Elektrolyse
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

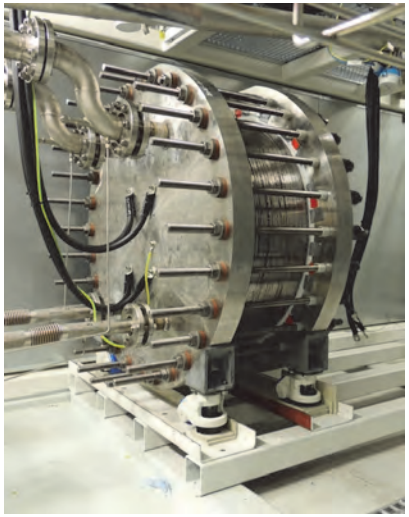


Electrolysis Stack, Cell Frame

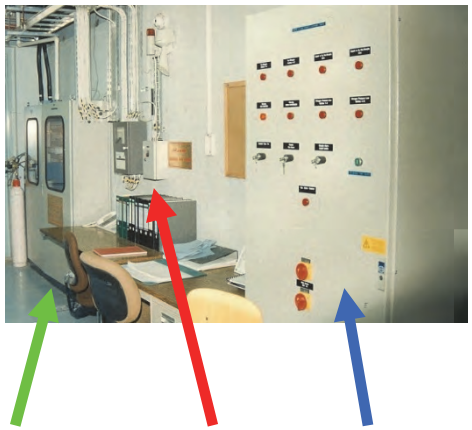
- Within the project a new and innovative AEL cell frame and stack concept was developed and successfully implementing as a 5, 24 and 63 cell stack in several stages of development and approving it for operation.
- All necessary tools for cell frame production were developed in the project frame.

Projekt P2G-Elektrolyse
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages





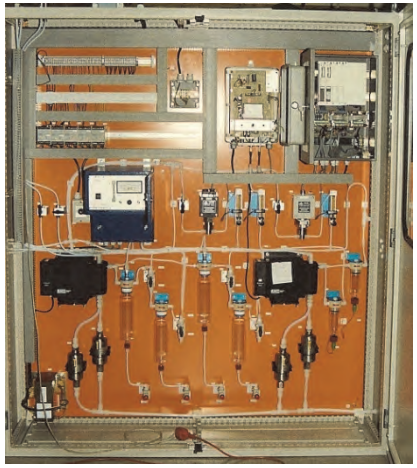
Development of standards for on-line product gas supervision and analysis and room air monitoring



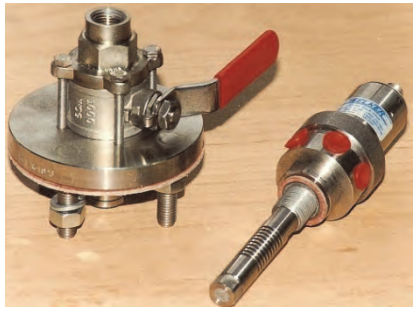
All safety devices for operation concentrated in one place (from left to right):

- **Gas Analysis**
- **Indoor Air Monitoring**
- **Operational Safety Limitation**

Permanently functional gas analysis device for alkaline media is complex for longevity and trouble-free function



Gas sampling is a complexe and separate topic



Approved Product Gas & Room Air Monitoring

Projekt P2G-Elektrolyse
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

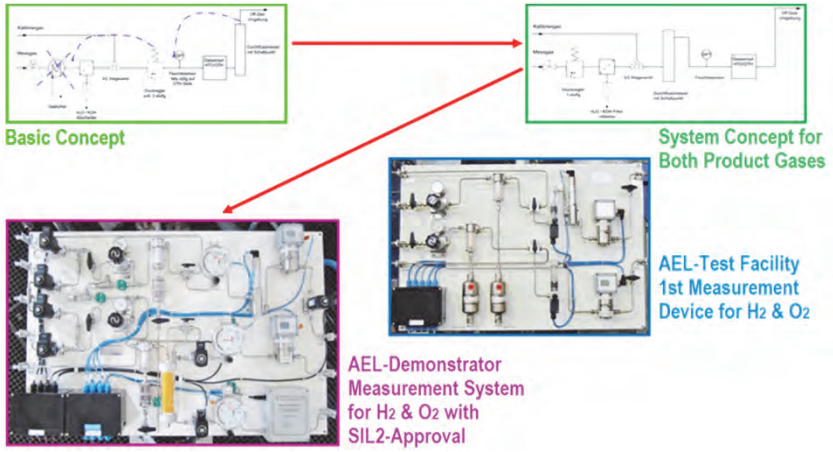
A simple SIL2-capable room air monitoring system was identified and implemented.

The development of a SIL2-compatible product gas monitoring system was successful, some operation restrictions are still existing.

Room Air Monitoring
1 MW Demonstrator

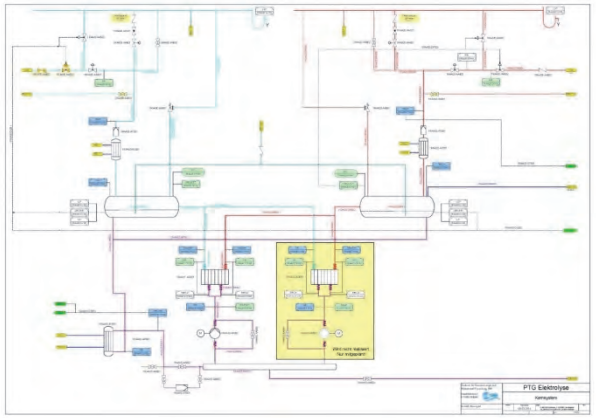
H_2- & O_2-transmitter integrated and operable in the AEL-demonstrator facility

Produkt Gas Monitoring
100 kW Test Facility & 1 MW Demonstrator

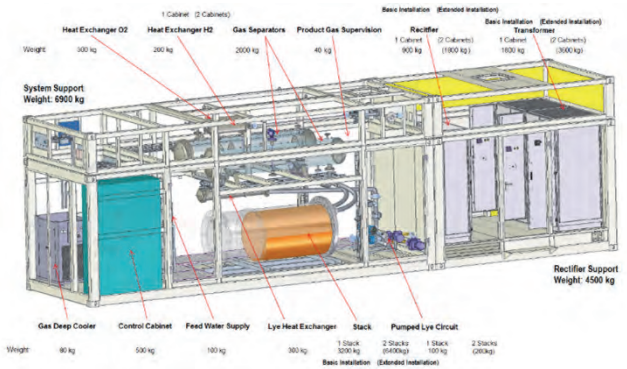


1MW AEL-Electrolysis Core System System Concept

P&I-Concept

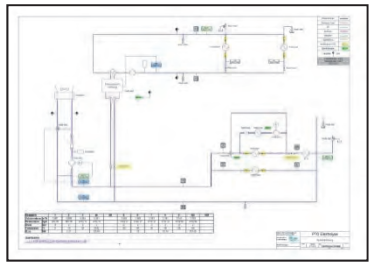


Container-Integration

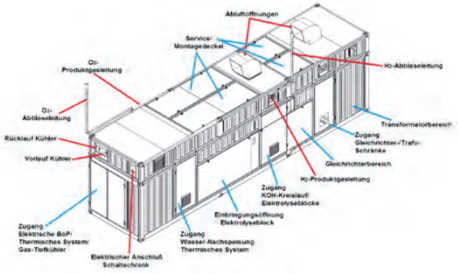


Projekt P2G-Elektrolyse
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gas & Liquid Circuits



Installation & Interconnection Concept



Cooling Circuits

1MW AEL-Electrolysis Core System
System installation completed in July 2016

Projekt P2G-Elektrolyse
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Control Room

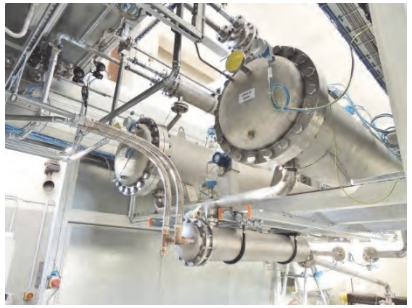
•Controls
•Pow-Distrib:

•Gas-Cooler
•Cooling Circuit

Rectifier Cabinet

Transformer

System Room



•Separator,
•Cooler,
•KOH-Circuit,
•Water-Feed

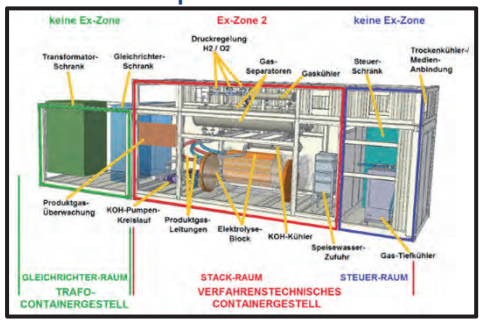
Elektrolysis Stack

Rectifier

1MW AEL-Electrolysis Core System
System Realization completed within 31 months

Projekt P2G-Elektrolyse
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

From basic idea to system concept in 9 months



From system concept to installation start in 6 months

From installation start to system startup in 16 months

Summary:
Reduce realization time from design to startup at operation location

Safe Plant Operation

An independent safety concept for the 1 MW demonstration system was developed, tested as part of a multi-stage, moderated HAZOP process and implemented with a safety-related PCS7 control.

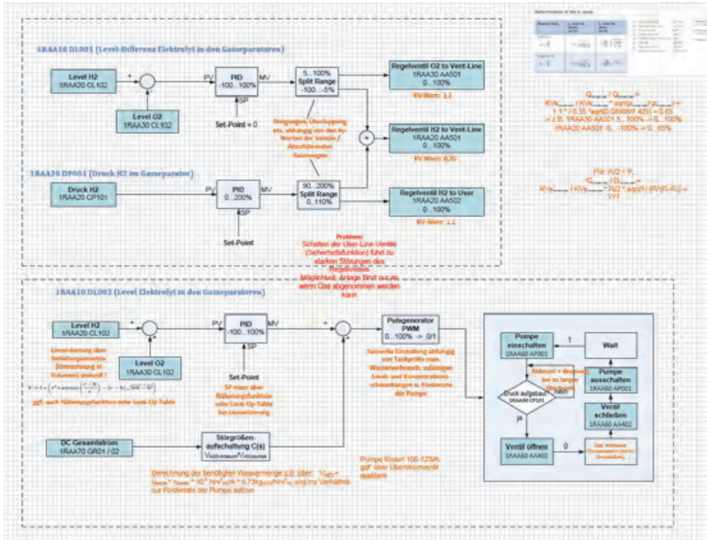
Projekt P2G-Elektrolyse
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Security matrix for the independent shutdown of system operation

S = speichernde Verknüpfung
N = nichtspeichernde Verknüpfung

Bemerkungen	nur in bestimten Betriebszustand	über Sicherheits-Steuerung	Messtellen-Tag	Cause	Zellstack 1 Spannungsfrei	Zellstack 2 Spannungsfrei	O2-Notabblaseventil öffnen	O2-Absperrventil schließen	H2-Notabblaseventil öffnen	H2-Absperrventil schließen	Ventil H2O schließen	Pumpe 1 abschalten	Pumpe 2 abschalten	Ventilator Vollast	Abschalten AG 1
				Abschaltfunktionen (Effect): Aktion	Produktionsstop		Not-Entspannung bis 0 barg								
				über Sicherheits-Steuerung	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	ja
				Tag			1RAA30 A401	1RAA30 A402	1RAA20 A401	1RAA20 A402					
				Überwachungsfunktionen (Cause)											
		ja	1RAA80 CH001	EMS (Nothalt)	S	S	S		S		S	S	S		S
		ja	1RAA30 CL101	Level min H2 Gasseperator	S	S	S	S	S	S		S	S		
		ja	1RAA30 CL103	Level max H2 Gasseperator	S	S	S	S	S	S		S	S		
		ja	1RAA20 CL101	Level min O2 Gasseperator	S	S	S	S	S	S		S	S		
		ja	1RAA20 CL103	Level max O2 Gasseperator	S	S	S	S	S	S		S	S		
		ja	1RAA30 CP101	Druck max O2 Gasseperator	S	S	S		S			S	S		
		ja	1RAA30 CP101	Druck min O2 Gasseperator	S	S	S		S			S	S		
Undichtikeiten zwischen Gas-Kreis und KW-Kreis werden somit erkannt		ja	1RAA50 CP101	Druck max HT-KW	S	S	S		S			S	S		
		ja	1RAA51 CP101	Druck max NT-KW	S	S	S		S			S	S		
		ja	1RAA80 CP102	Druck min Druckluft	S	S	S	S	S	S		S	S		
		ja	1RAA20 CT101	Temp. max Stack 1	S										
		ja	1RAA20 CT102	Temp. max Stack 2		S									
	Betrieb	ggf.		Durchfluss KOH Stack 1	S										
	Betrieb	ggf.		Durchfluss KOH Stack 2		S									
		ja	1RAA80 CQ102	O2 in Umgebungsluft	S	S	S		S			S	S	N	
		ja	1RAA80 CQ101	H2 in Umgebungsluft	S	S	S		S			S	S	N	
	Betrieb	ja	1RAA80 CQ103	O2 in H2 max	S	S	S		S						
	Betrieb	ja	1RAA80 CQ104	H2 in O2 max	S	S	S		S						
	Betrieb	ggf.	1RAA80 CF101	no flow to O2 in H2-analizer	S	S									
	Betrieb	ggf.	1RAA80 CF102	no flow to H2 in O2-analizer	S	S									
	Betrieb	ggf.		Feuchtigkeit in Gas-Analizer	S	S									
		ja	1RAA80CL101	Level in Trip-Tray	S	S	S		S		S	S	S		

Coordinated control loops for the automated system operation



HAZOP: Hazard and Operability Analysis

CE-Certification

Examples of the CE-Conformity Procedure of ZSW's 300 kW R&D-Facility

Preliminary calc. check of an AEL-pressure electrolysis stack

Prüfbericht IS-DDB-MAN – 666/15

Nachrechnung eines Elektrolyseblocks

Auftraggeber: Zentrum für Sonnenenergie Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Industriestraße 9, 70565 Stuttgart

Prüfgegenstand: Elektrolyseblock

Prüfgrundlagen: AD 2000-Merkblätter

Betriebsdaten: zul. Betriebsüberdruck: 16 bar; zul. Betriebstemperatur: 100 °C; Prüfdruck: 25 bar

Werkstoff: Platten und Zylinderring: 1.4404 oder 1.4301, DIN EN 10028-7, AD-W2, APZ 3.1 (≤ 30 mm), sonst APZ 3.2; DIN EN 10222-5, AD-W2, APZ 3.1; Schrauben: 8.8, DIN 267 T.13, AD-W7, Stempel

Prüfergebnisse:

Die Bauteile wurden für die angegebenen Betriebsdaten nach AD 2000-Regelwerk nachgerechnet. Die vorgesehenen Abmessungen sind ausreichend dimensioniert.
Für den Einbau der Schrauben ist ein Anzugsmoment von mindestens 279 Nm erforderlich.
Die eingereichten Unterlagen wurden unter der Nummer 666/15 gestempelt.

Filderstadt, 2015-08-04
IS-DDB-MAN - Kieck
Abteilung Druckbehälter
Dipl.-Ing. U. Kieck

TÜV

Static load calculation 300 kW AEL demonstrator

Projekt : CARU Containers B.V. Datum : 05/2016
Beschreibung: ZSW 4000x2640x3400
Autor : Grna

Projekt : CARU Containers B.V. Datum : 06/2016
Beschreibung: ZSW 7625x2640x3400
Autor : Grna

Hinweis

Beim Containerheben mittels des Kranes müssen die Lägen von 4 Anhängeseilen so eingestellt werden,dass die beide Teilen von Container in der Waagerechtlage gehoben wird.
Die Höhe der Aufhängung auf dem Kranhaken beträgt 3300mm vom Dach.

Schlussbemerkung

Die Statik der vorgeschlagenen Stäbe der Tragkonstruktion und der dünnwandige Bleche entspricht den angegebenen Normen. Die Berechnung wurde nach Kombination der Belastunge Gewicht (Stahlelemente, Trapezbleche, Isolation) +Technologische Einrichtungen +Fläschenlast +Schnee + Wind vorgenommen.

1. Transportszustand
   Keine Flächenlast auf dem Boden und keiner Schnee auf dem Dach.

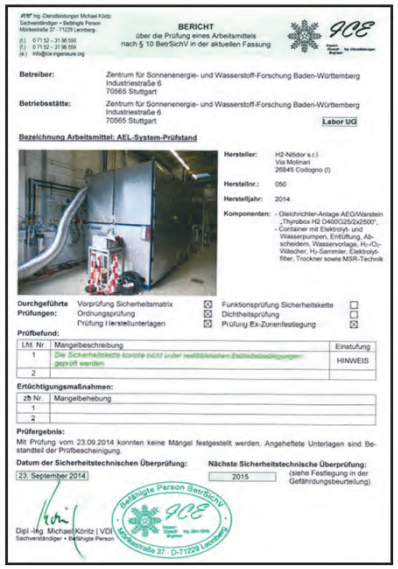
2. Gebrauchszustand
   Der Container entwurfen für diese Belastungen :

   - Technologische Einrichtungen
   - Fläschenlast $q = 2.5\ kN/m^2$ Boden
   - Schnee $s_k = 0.873\ kN/m^2$
   - Wind $v_b = 22.5\ m/s$, Geländekategorie II

Application for Installation and Operation Permission within the Regulations of the German Federal Emission Control Act

Operating license for the 100 kW AEL test bench

Operating license
since 09/23/2014,
processing time: 6 months



BERICHT
über die Prüfung eines Arbeitsmittels
nach § 10 BetrSichV in der aktuellen Fassung

Betreiber: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg
Industriestraße 6
70565 Stuttgart

Betriebsstätte: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg
Industriestraße 6
70565 Stuttgart
Labor UG

Bezeichnung Arbeitsmittel: AEL-System-Prüfstand

Hersteller: H2-Nitidor s.r.l.
Via Molinari
26845 Codogno (I)
Herstellnr.: 050
Herstelljahr: 2014
Komponenten: - Gleichrichter-Anlage AEG/Warstein „Thyrobox H2 D400/25/0x2/500"
- Container mit Elektrolyt- und Wasserpumpen, Entlüftung, Abscheidern, Wasservorlage, H_2-/O_2-Wäscher, H_2-Sammler, Elektrolytfilter, Trockner sowie MSR-Technik

Durchgeführte Prüfungen: Vorprüfung Sicherheitsmatrix ☒, Ordnungsprüfung ☒, Prüfung Herstellunterlagen ☒, Funktionsprüfung Sicherheitskette ☐, Dichtheitsprüfung ☐, Prüfung Ex-Zonenfestlegung ☒

Prüfbefund:

Lfd. Nr.	Mangelbeschreibung	Einstufung
1	Die Sicherheitskette konnte nicht unter realitätsnahen Betriebsbedingungen geprüft werden	HINWEIS
2		

Ertüchtigungsmaßnahmen:

zu Nr.	Mangelbehebung
1	
2	

Prüfergebnis:
Mit Prüfung vom 23.09.2014 konnten keine Mängel festgestellt werden. Angeheftete Unterlagen sind Bestandteil der Prüfbescheinigung.

Datum der Sicherheitstechnischen Überprüfung: 23. September 2014
Nächste Sicherheitstechnische Überprüfung: 2015 (siehe Festlegung in der Gefährdungsbeurteilung)

Dipl.-Ing. Michael Köritz | VDI
Sachverständiger • Befähigte Person
Befähigte Person BetrSichV

Operating license for the 1 MW AEL demo plant

Construction permit &
operating license
since 08/20/2014,
processing time: 1 year

Landeshauptstadt Stuttgart
Amt für Umweltschutz
Immissionsschutzbehörde

STUTTGART

Gegen Zustellungsnachweis

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW)
Industriestr. 6
70565 Stuttgart

20. August 2014

ENTSCHEIDUNG

I. Rechtsgrundlagen

Nachfolgende Entscheidung ergeht aufgrund der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung vom 05.04.2012 sowie der Entscheidung vom 28.01.2014 i. V. m. §§ 4, 10 und 16 BImSchG (Abkürzungs- und Fundstellenverzeichnis siehe Anhang) i. V. m. §§ 1, 2 und Anhang Ziffer 4.1.12 der 4. BImSchV.

II. Immissionsschutzrechtliche Genehmigung

1. Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) erhält auf seinen Antrag vom 03.03.2014, zuletzt ergänzt mit Unterlagen vom 22.04.2014, die

Immissionsschutzrechtliche Genehmigung
(Änderungsgenehmigung)

für die Erweiterung der Versuchsanlage zur Herstellung von Methan aus Wasserstoff und Kohlendioxid sowie den unbefristeten Betrieb der Anlage auf dem Grundstück Industriestr. 42, 70565 Stuttgart.

Die immissionsschutzrechtliche Genehmigung schließt nach § 13 BImSchG die Baugenehmigung für das Vorhaben gemäß § 49 LBO mit ein. Von folgenden Vorschriften des Bebauungsplans werden Befreiungen (B) erteilt:
- der neue Zaun verläuft teilweise auf p21/pb-Fläche
- Fassadengestaltung (FG1)

2. Antragsgegenstand

Im Rahmen eines Forschungsprojektes beabsichtigt das ZSW, einen weiteren (zusätzlichen) Versuchsstand für einen Elektrolyse-Stack mit max. 370 kW_e Anschlussleistung und max. 60 m³/h Wasserstoff in der Süd-West-Ecke des Gebäudes Industriestr. 42 aufzustellen und beide Versuchsstände unbefristet zu betreiben. Geplant ist ein dynamischer Versuchsbetrieb mit unterschiedlichen Last-, Ein-/Aus-Zeiten. Der erzeugte Wasserstoff wird über die bestehende Feuerungsanlage verbrannt.

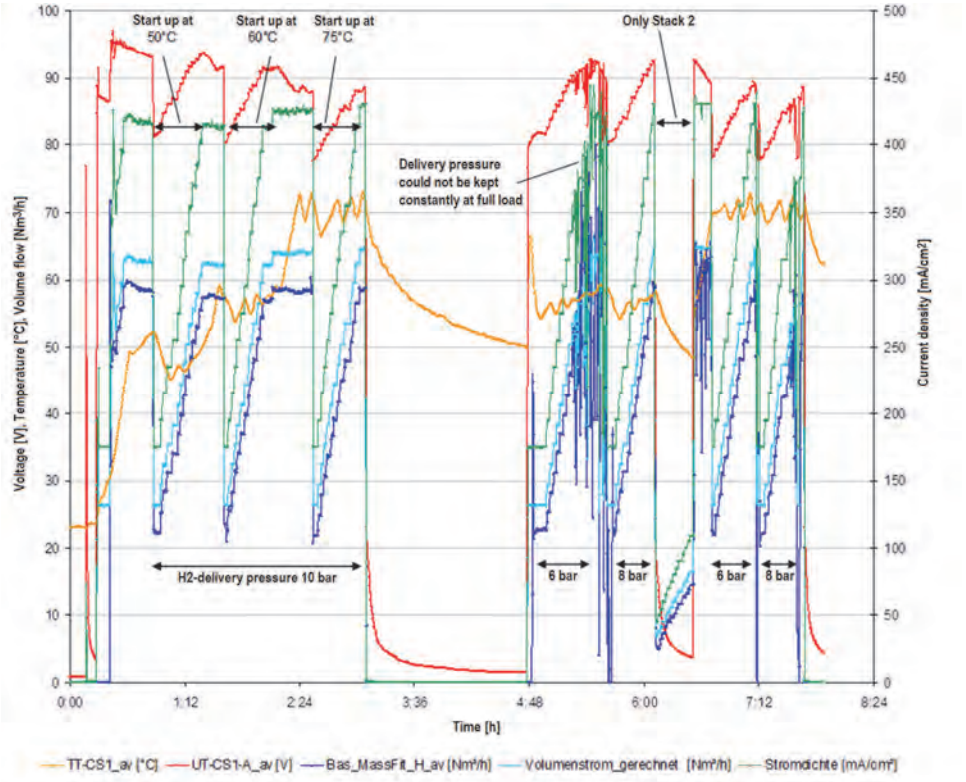
The Electrolysis Development continues with the Follow-Up Project „BW-Electrolysis“ since April 2020

- **Further Development of Critical Electrolysis Components**

Bipolar Plate Micro Sensors	Hahn Schickard	Membrane Re-inforced PBI	DITF
APS/ VPS - Electrode Coating	DLR	Electrode Package Cell Frame Design	ZSW

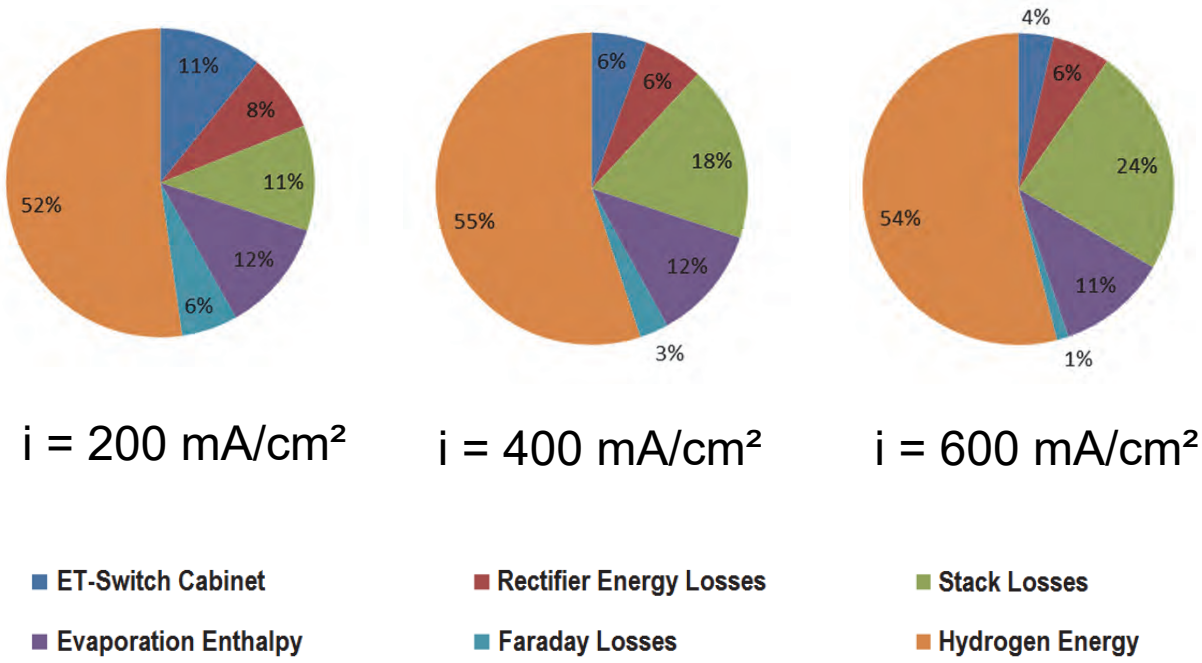
- **Industrialization of Components, Subsystem, Plant Assembly**

Dynamic Electrolysis Operation with Different Starting Temperatures and Delivery Pressure Levels



Results of operating tests

Energy consumption at 10 bar_g



Industrially Available Electrolysis Plant

- Container/ building integration concept of all subsystems,
- Plant installation and interconnection concept,
- Approved safety concept,
- Operating license easily accessible,
- Operating, maintenance, degradation experience,
- User insight into process control,
- User parameterization of process control.

Advanced Electrolysis Plant

Catalog of measures:
Electrochemistry, energy recovery, subsystem / component development, operational management

- Activated electrodes,
- Subsystem modularization,
- Minimization of external subsystems,
- Energy saving through efficient components, subsystems, subsystem shutdown in standby,
- Integration of electrical & thermal storage,
- Provision of thermal power to external users
- Modularization of operation control program parts under common approved common user interface.

Intermittently Operable Electrolysis System

Catalog of measures:
Mechanics, use of residual energy, operational management

- Material pairing in the block & circuits,
- Minimization of cell block components,
- Performance pressure adjustment,
- Minimization of flushing processes,
- Maintenance of operating temperature,
- Operation transition scenarios with dynamic operation, automatic standby transition/ restart, long-term standby, standby mode, etc.

Efficient Electrolysis System

Catalog of measures:
electrochemistry, connection technology, process engineering,
efficient components / subsystems

- Shut-off-proof, activated electrodes, advanced membrane with optimized ion resistance, high mechanical and high differential pressure resistance,
- Optimization of the electrical contact resistance by optimization of the electrode package incl., working electrodes, bipolar plate, current transformer,
- Maintaining of the alkali concentration, water / alkali recovery,
- Internally regenerable water treatment and gas cleaning systems.

Specifically Usable Electrolysis Plant Concepts

Catalog of measures:

System modularization, operating results largely autonomous operation (energetic, automatic manufacturing, automatic regeneration cycles)

- Maintenance minimization (long-lasting subsystem development, automatic regeneration)
- Subsystem modularization (standardization of interfaces, serial producibility of performance / quantity-independent subsystems, scalability of subsystems)
- Plant concept for cost-optimized hydrogen production (minimal concept)
- Plant concept for largely autonomous operation (energetic, automatic manufacturing operation, automatic regeneration cycles)
- Minimization of maintenance work (long-life development, automatic regeneration), quantity-independent subsystems, subsystem scalability)
- Modularization of the plant subsystems (interface standardization, series producibility, subsystem scalability)

Areas of R&D

EFFICIENCY ***Improved materials in the area: frame, membrane, electrodes***

- Operating temperature increase up to 150 °C
- Pressure increase up to over 30 bar
- Minimization of ionic resistance and electrochemical energy consumption
- Increasing the differential pressure resistance

CAPEX ***Simplification of the process engineering system periphery***

- Use of plastics
- Simplification, summary, minimization of subsystems
- Reduction of the number of components and functional integration

APPLICATION ***Operating areas, product gas quality, operating fluid tolerance***

- intermittent operation (start / stop operation from cold and standby mode)
- dynamic operation (optimal use of a fluctuating range of services)
- Increase in product gas quality in dynamic operation
- Increase tolerance towards raw water quality (use of salt water, brackish water, polluted water)

AUTONOMY ***Optimization of plant operation***

- Plant operation completely from the primary energy supply (grid independence)
- Minimization of the overall system energy consumption

OPEX ***Operational automation & maintenance cost optimization***

AVAILABILITY ***Industrialization of results***

// THANK YOU FOR YOUR ATTENTION!

ANY QUESTIONS LEFT ?


Stuttgart


Widderstall


Ulm


Ulm eLaB

Dipl.-Ing. Andreas Brinner

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

Regenerative Energieträger und Verfahren

Meitnerstr. 1, D-70563 Stuttgart

Tel: ++49 (0)711 7870-338, Email: andreas.brinner@zsw-bw.de