

Initiierung einer Elektrolyse- und Komponentenfertigung in Baden-Württemberg



Bastian Feigl

// Leistungselektronik: Gleichrichter & Trafo

// Inhalt

Gleichrichter

- 1. Elektrisches Verhalten Stack**
- 2. Auslegung Gleichrichter**
- 3. Gleichrichter-Stack-Verschaltung**
- 4. Netzanschluss**
- 5. Allgemeine Anforderungen**
- 6. Aufstellung**
- 7. Zusammenfassung**

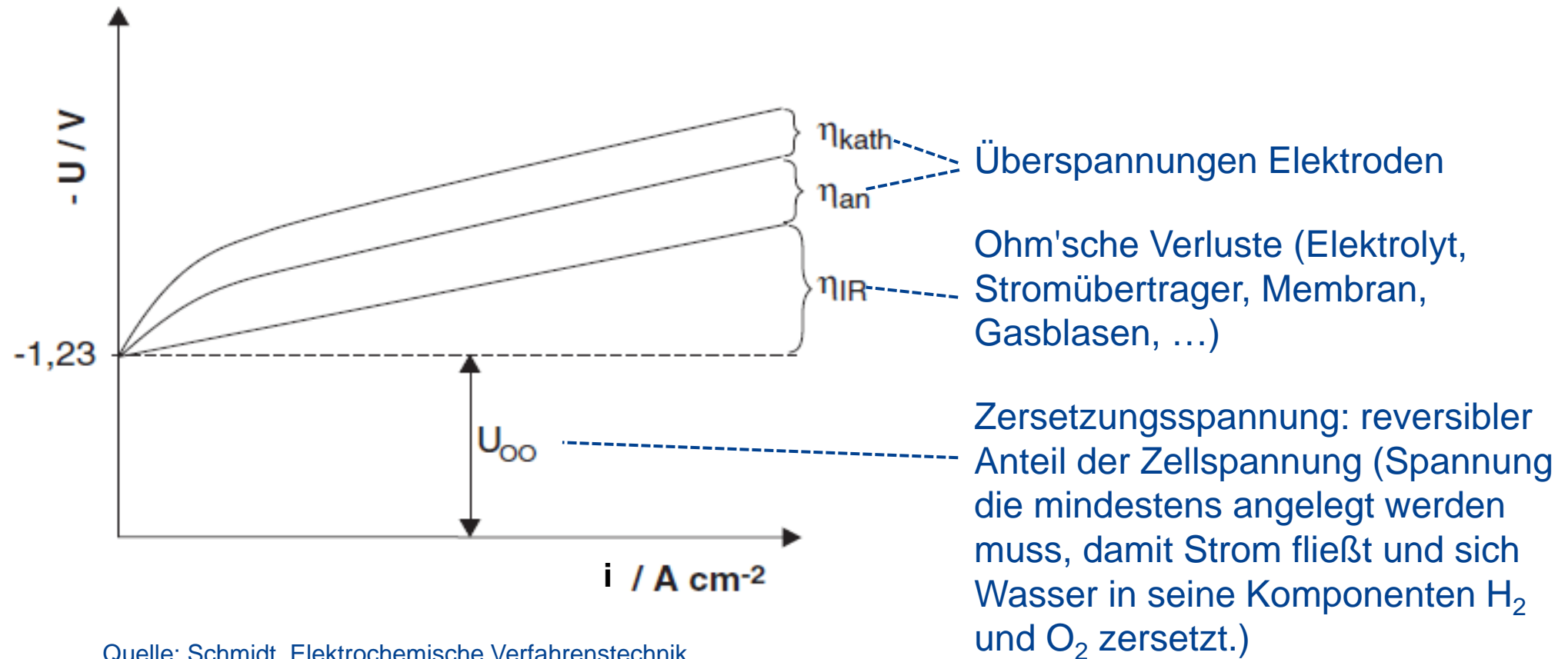


Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU



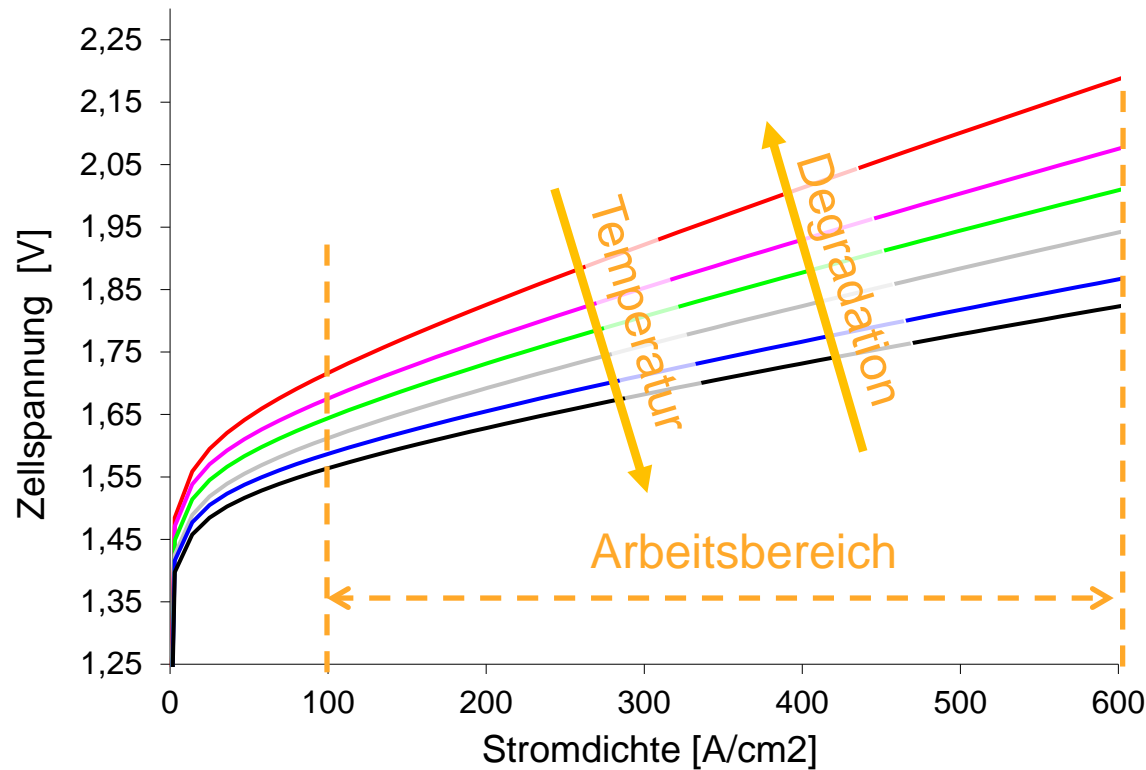
// Elektrolyse Zellspannung und ihre Anteile



Quelle: Schmidt, Elektrochemische Verfahrenstechnik



// Elektrolyse Einflüsse auf Zellspannung



Einflüsse auf Zellspannung

- Temperatur (kurzfristig)
- Degradation (langfristig)
- Elektroden-Material
- Elektroden-Design / Abstand
- Membran
- Elektrolyt (Konzentration)
- Druck / Gasblasenanteil

Arbeitsbereich

- Ziel: Betrieb im linearen Kennlinienbereich
- Min. Betriebspunkt maßgeblich durch Gasunreinheiten beschränkt (Diffusion)
- Max. Betriebspunkt abhängig von Konzept (Elektroden, Temperatur, etc.)



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU



// Elektrolyse

Block-Spannung / -Strom

Stack = elektrische Reihen-Schaltung von vielen Einzelzellen

- Einzelzellspannungen addieren sich zur Stack-Gesamtspannung $U_{Stack} = n U_{Zelle}$
- Strom fließt durch alle Zellen $I_{Stack} = I_{Zelle}$

Elektrolyseleistung

Die produzierte **Gasmenge** ist direkt linear abhängig vom Strom (Faraday-Gesetz)

- Gasmengenvariation durch Stromvariation (d.h. z.B. ein gealterter Stack (höhere Zellspannung) benötigt mehr elektrische Leistung bei gleicher Produktionsmenge)

Elektrische Verluste (neben Zellspannungsanteile)

- Shunt-Currents (Verlustströme an Zelle vorbei über Laugen- und Gaskanäle, ~1% des Gesamtstroms)

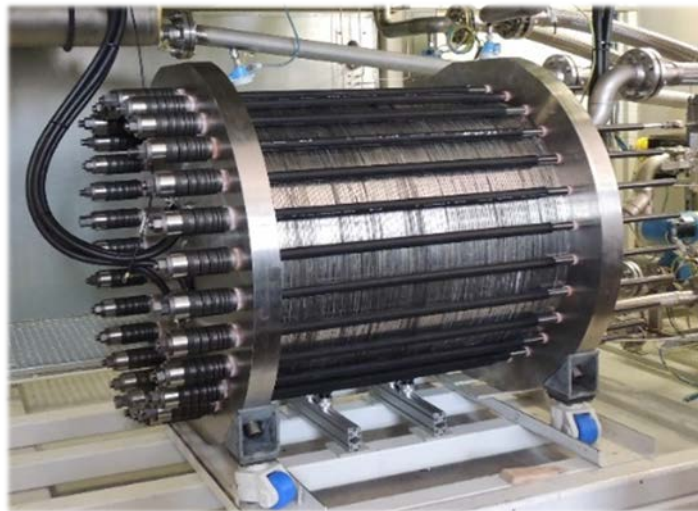


// Auslegung Ausgangsgrößen Gleichrichter

Gleichrichter muss zum Elektrolyse-Stack passen

Erforderliche Spannung abhängig von:

- Zellanzahl (konstruktiv begrenzt / KOH-Versorgung der Einzelzellen)
- Zellspannung (Elektroden-Material, Betriebs-Temperatur, Zelldesign, akzeptierte Degradation, ...)
- Verschaltungskonzept (Doppelblock, Reihenschaltung)



Erforderlicher Strom abhängig von:

- Zellfläche
- Stromdichte (Elektroden-Material, Zelldesign, Kühlung, etc.)

Stack-Design (ZSW)

- max. 120 Zelle pro Stack (ggf. 60 Zellen-Versuchs-Stack)
- Zellfläche: 2715 cm²
- Stromdichte: 100...600 (700) mA/ cm²
- Zellspannungen: 1,7...2,5 V



Gleichrichter-Auslegungsgrößen:

500 kW_{dc} mit U = 300 V_{dc} und I = 1800 A_{dc}



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU



innBW
INNOVATIONSALLIANZ
BADEN-WÜRTTEMBERG



Hahn
Schickard



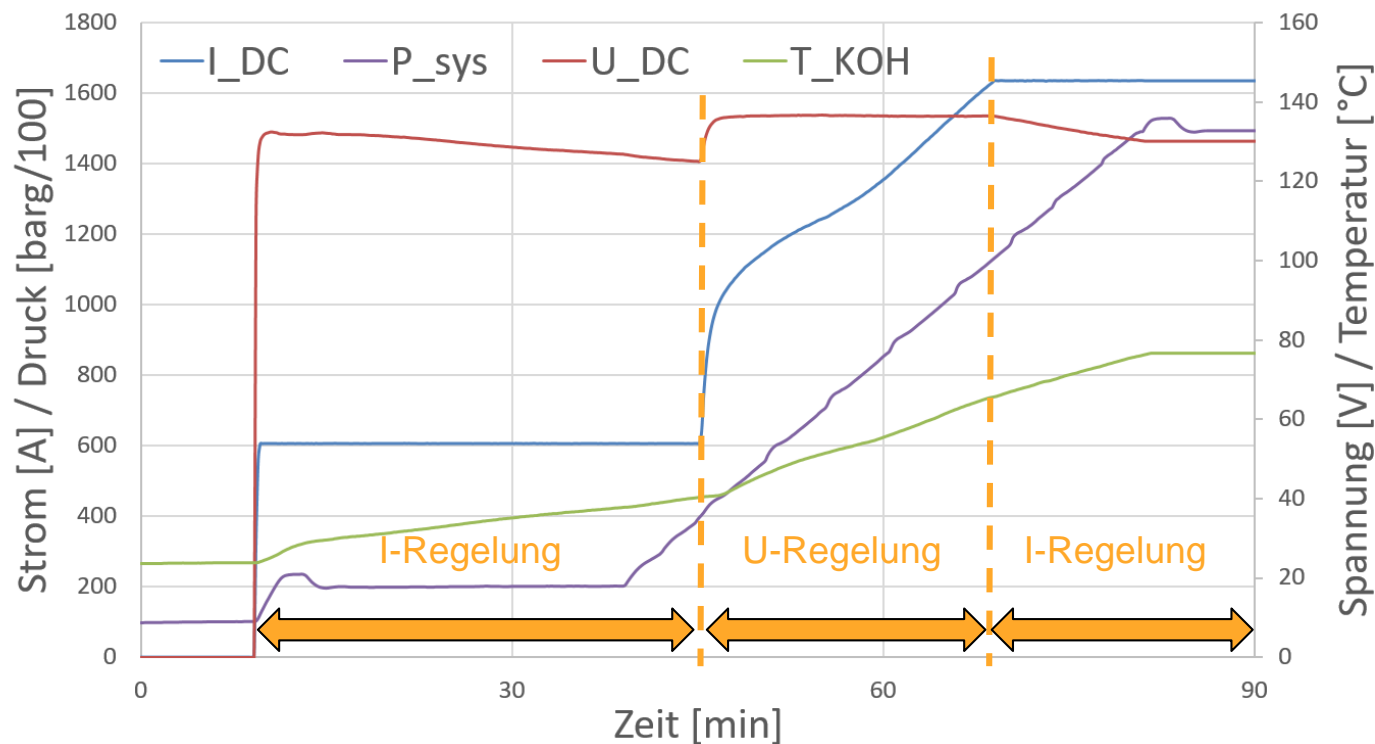
DLR



DEUTSCHE INSTITUTE FÜR
TEXTIL-+ FASERFORSCHUNG



// Regelung der Ausgangsgrößen im Betrieb



- U/I-Regelung (analog Labornetzgerät)
- In Normalbetrieb: I-Regelung (Regelung der Gasmenge)
- Spannungs-Begrenzung durch U-Regelung (z.B. Schutz Membran u. Elektroden)
- ggf. Leistungsregelung / -begrenzung
- Regelparameter/Grenzwerte anpassbar (bei Variation Stack / Trafoanzapfung etc.)



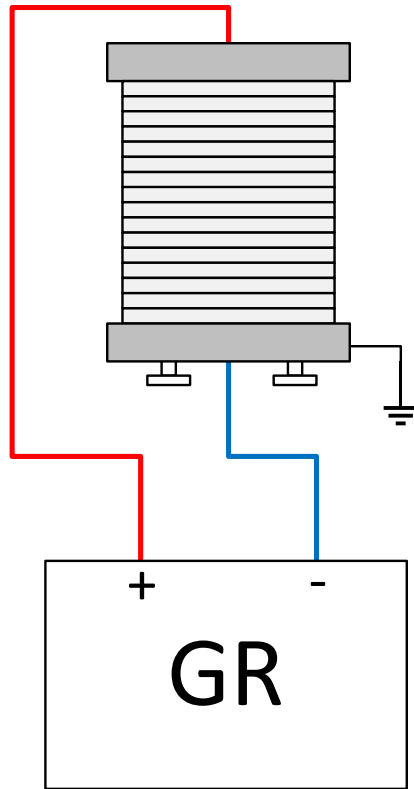
Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU

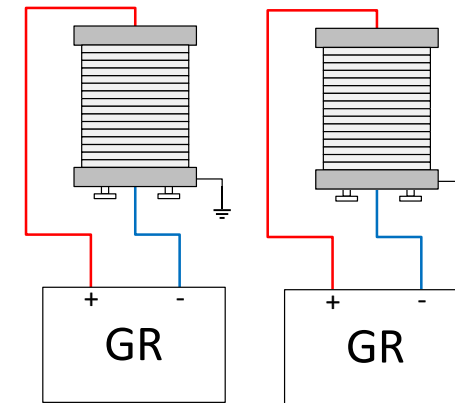


// GR-Stack-Verschaltung / Erdung

Einzelblock



- Erdung über Medienschlüsse / Medien
→ DC-Ausgang muss potentialfrei sein
- Zellenanzahl: 120
→ $300 V_{dc} / 1800 A_{dc} / 500 kW_{dc}$
- Verdopplung der Leistung ($1 MW_{dc}$):
→ 2 GR für einen Elektrolyse-Stack



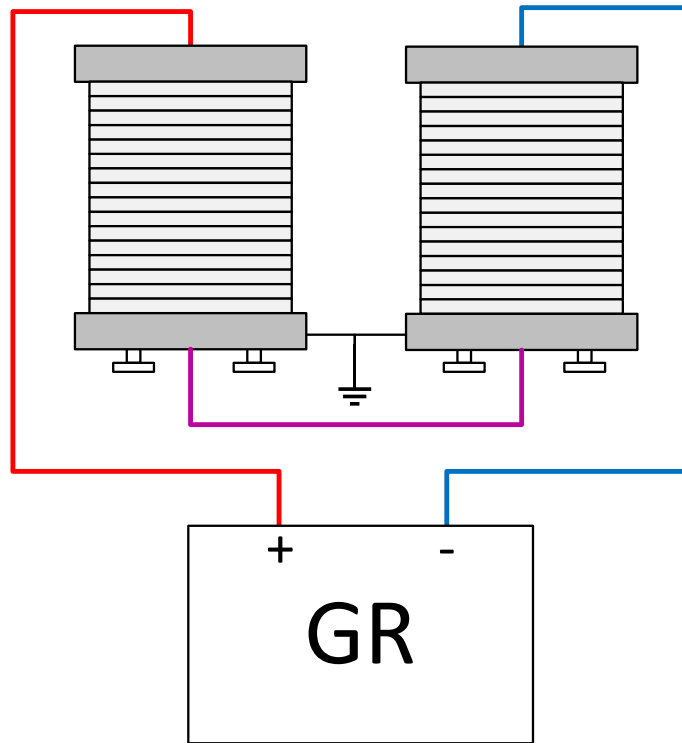
Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU



// GR-Stack-Verschaltung / Erdung

Doppelblock mit Mittelerdung



- Realisierung von 1 MW Elektrolyse (ZSW):
2 x 120 Zellen
- GR-Auslegung (ZSW): $\rightarrow 600 V_{dc}$, $1800 A_{dc}$
- Stacks elektrisch in Reihe, hydraulisch parallel
- Erdung über Medianschlüsse / Medien
 \rightarrow DC-Ausgang muss potentialfrei sein

Vorteile:

- nur 1 GR / Trafo \rightarrow reduzierte Investkosten
- ggf. besserer Wirkungsgrad (höhere Spg. bei gleichem Strom \rightarrow Halbleiterverluste abh. v. Strom)

Nachteile:

- ggf. ungleiche Spannungsverteilung auf die 2 Stacks (durch ungleiche Zellen & Degradation)
- ggf. Spannungsmessung gegen Erde (Einzelblock-Spgs.-Messung) erforderlich

// Netzanschluss

Netzanschluss:

- Niederspannungsanschluss (400 V / <1 kV) bis ca. 1 MW
- Mittelspannungsanschluss (10-20 kV) ab ca. 1 MW
- Netzurückwirkungen (Oberschwingungen, PF)
 - Niederspannung → Ziel möglichst geringe Rückwirkungen für Standort-unabhängigen Einsatz
 - Mindestforderung strikte Einhaltung der technischen Anschlussbed. (TAB)
 - Mittelspannung -> Anforderungen abhängig von lokalem Netz, Berücksichtigung Forderung des lokalen Netzbetreibers z. Bsp. kapazitive oder induktive Abweichung

Trafoauslegung / Trafovariation:

- Mehrfachanzapfung (primär oder sekundär) zur Anpassung an Stack-Degradation
- ggf. ein Mittelspannungs-Trafo für mehrere GR/Basis-Systeme
- Kühlung von Trafo (Lärm, ggf. Wärmenutzung, etc.)
- Wirkungsgrad und Wirtschaftlichkeit (capex vs. opex)
- für Demoanlage ggf. unterschiedliche Trafos für Einzel- und Doppelblock grundsätzlich möglich.



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU



// Allgemeine Anforderungen an Trafo und Gleichrichter

Sicherheitsabschaltung / Not-Halt

- Gasproduktion wird durch Abschalten des GR gestoppt
- SIL 2 (abhängig von Sicherheitskonzept) Anforderung an die GR-Abschaltung (Lastabwurf bei Nennleistung)
- ggf. Abbau von Restspannungen über Entladewiderstand
- Temperatur-Überwachung von Gleichrichter / Trafo

Kommunikation / Steuerung

- Profibus / Profinet
- Safety → hard-wired

Kühlkonzept

- Wasserkühlung für GR und ggf. Trafo
- Lärm / ggf. Wärmenutzung

Optionen

- Netzdienstleistungen (z.B. aktive Blindleistungskompensation)
- dynamischer Betrieb (z.B. negative primäre Regelleistung)

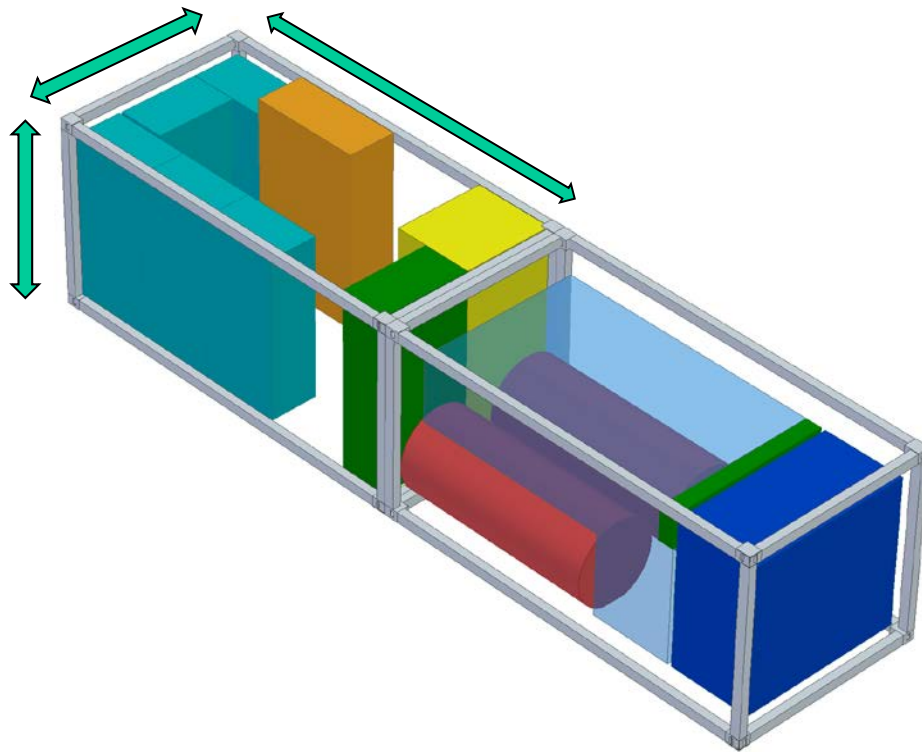
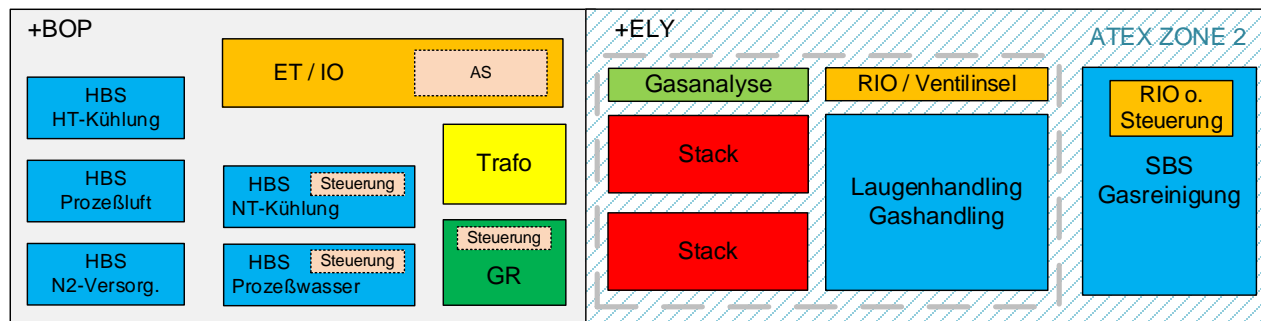


Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU



// Aufstellung Leistungselektronik



Aufstellungskonzept Container (Niederspannungsanschluss)

- Realisierung im Rahmen des Projekts
- Trafo und Gleichrichter zusammen mit BOP in separatem Raum / Container
- Lichte Containermaße ZSW-System:
 - Höhe: ~ 3,0 m
 - Breite: ~ 2,4 m
 - Länge: variabel

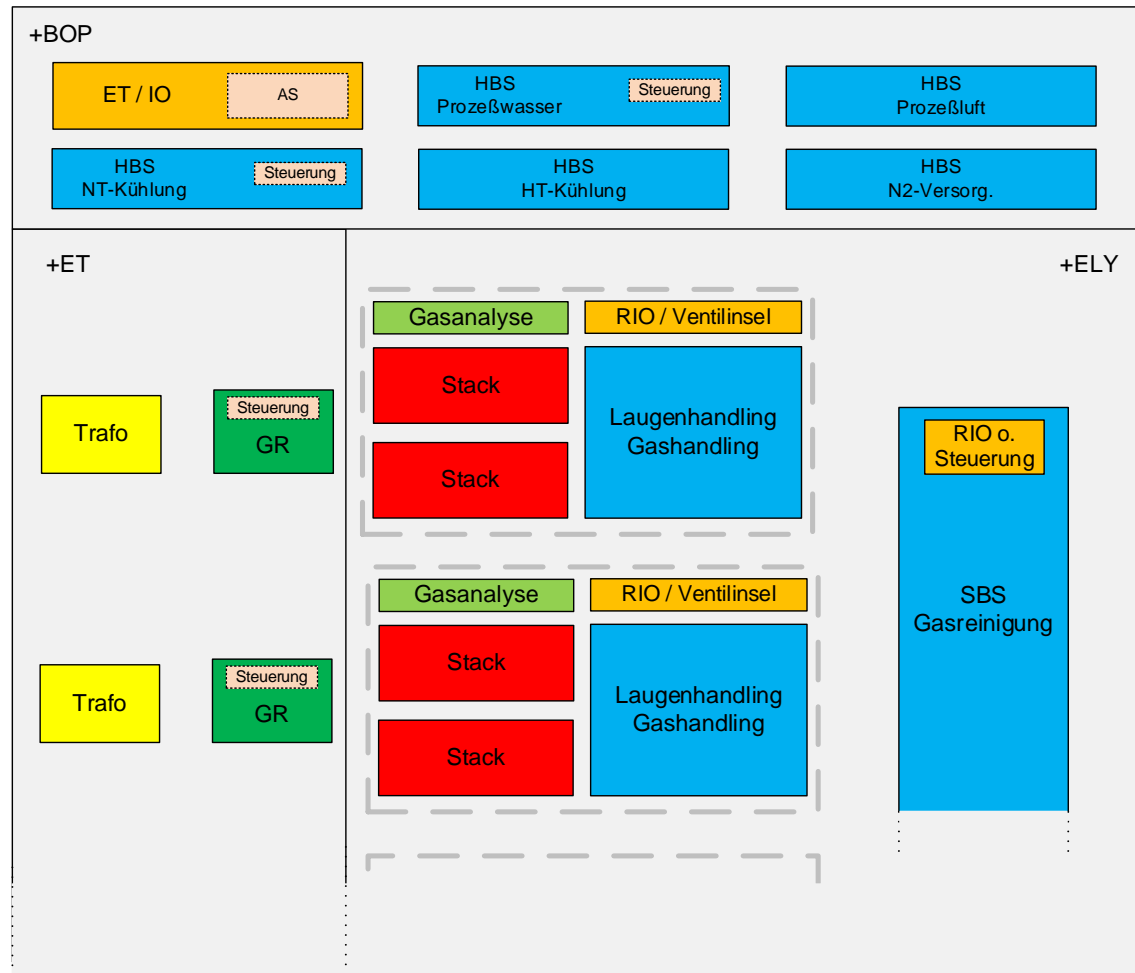


Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU



// Aufstellung Leistungselektronik



Aufstellungskonzept Halle (Mittelspannungsanschluss)

- mehreren Basis-Systemen mit jeweils eigenem GR
 - GR & Trafo in separatem ET-Raum
- Aufstellungsplan und Fläche abhängig von Gesamt-Anlagenkonzept

// Anlagenbeispiele

Container-integrierte Leistungselektronik



Industriedialog – „Elektrolyse made in Baden-Württemberg“ – Workshop

// Gleichrichter

Zusammenfassung & Fazit

- 1. Auslegung Gleichrichter – individuell für spezifische Elektrolysesysteme**
 - Zellfläche und zulässige Stromdichte bestimmen Zellstrom = Gesamtstrom
 - max. zulässige Zellspannung und Zellanzahl bestimmen Gesamtspannung

- 2. Anforderung an GR/ Trafo :**

- hoher Wirkungsgrad, flacher Wirkungsgradverlauf im Betriebsbereich
- geringe Netzurückwirkungen / hoher PF
- flexibler Netzanschluss / Spannungs-Anpassungs-Optionen
- U/I-Regelung
- sicherheitsgerichtete Abschaltung
- kompakte Bauweise für Containerintegration
- leiser Betrieb

→ **Standardisierung wünschenswert**



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU



Zeit für Fragen und Diskussion



// VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

