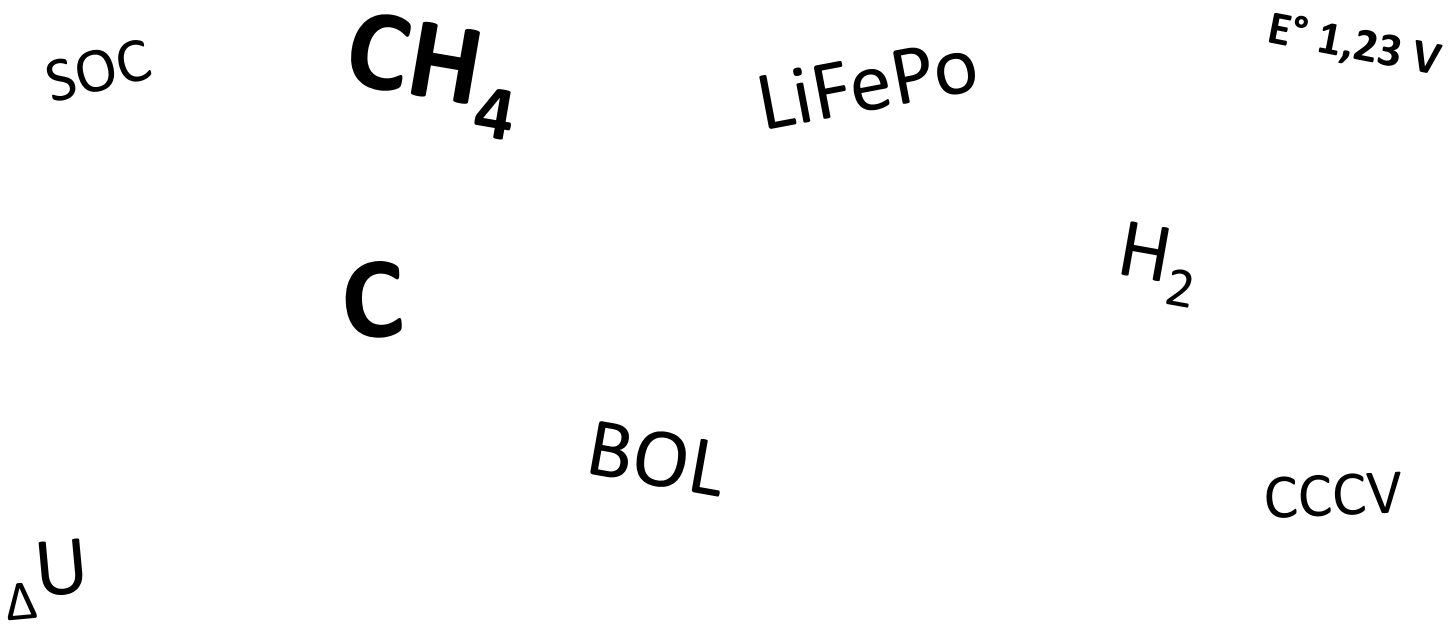


Grundlagenseminar Wasserstofftechnologie

23.10.2026, HyLab Backnang

Ralph Schanz

Programm

09:30 - 10:45 Theoretische Grundlagen Energiespeicher

10:45 – 11:00 Pause

11:00 - 12:30 Wasserstoffproduktion

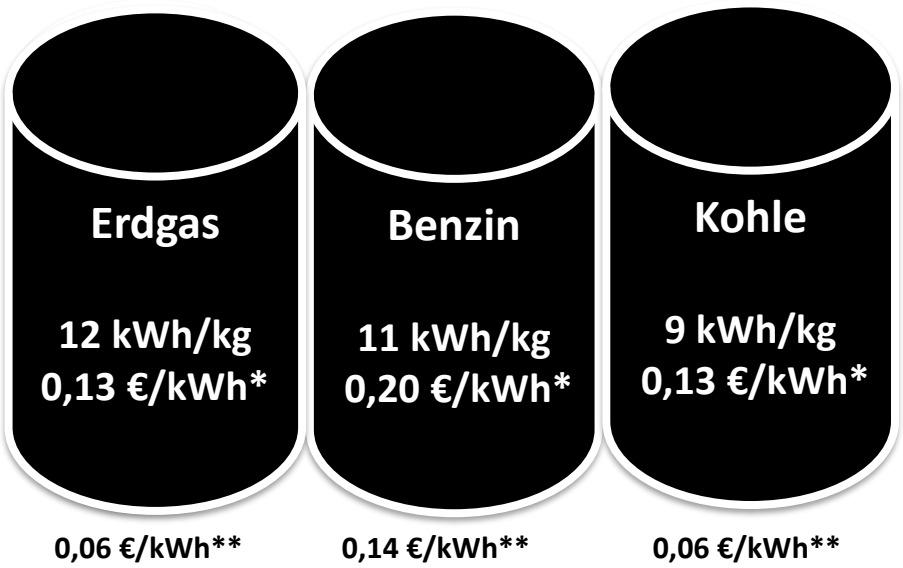
- ***Grundlagen der Elektrolyse/Wasserstoffproduktion***
- ***Wasserstoffgeneratoren in der Anwendung***
- ***Wasserstoffspeicherung***

12:30 – 13:00 Mittagspause

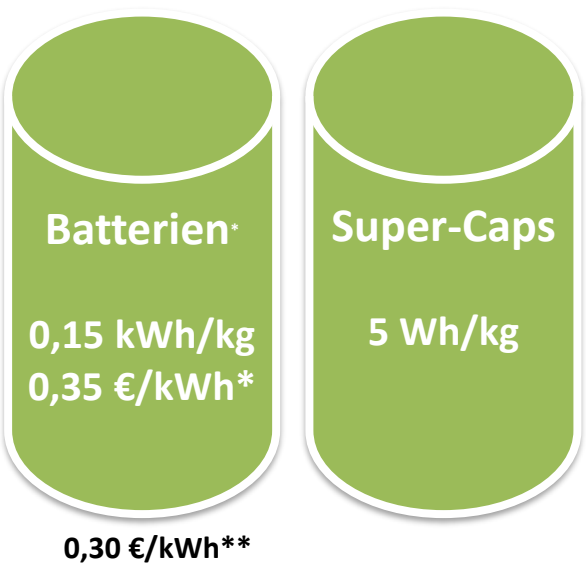
13:00 - 15:30 Brennstoffzellentechnologie

- ***Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie***
- ***Brennstoffzellensysteme in der Anwendung***

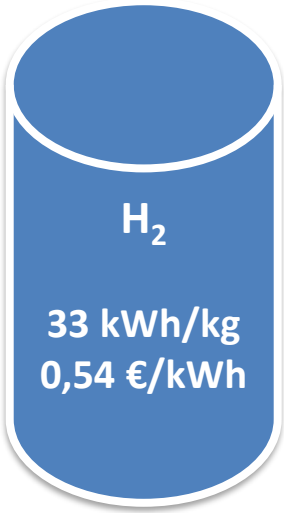
Energiespeicher



Fossile Brennstoffe



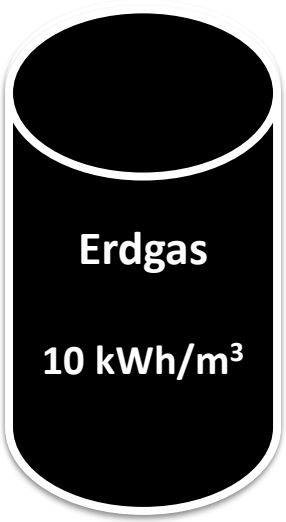
Elektrische Speicher



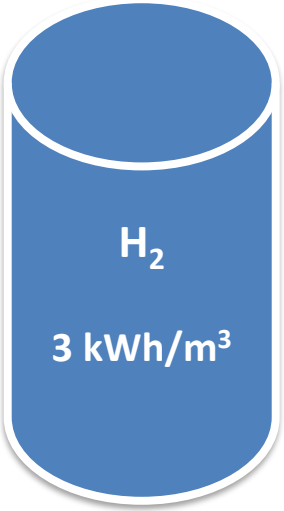
Wasserstoff

* Preise 2026
**Preise 2013

Energiespeicher



Fossile Brennstoffe

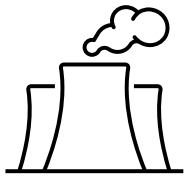


Wasserstoff

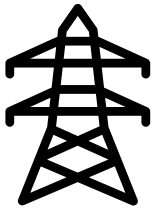
konv. Stromproduktion



Erdgas
Kohle
0,06 €/kWh

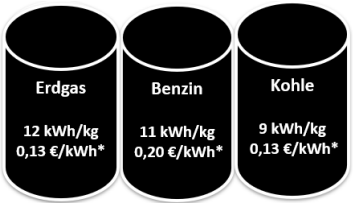


Kraftwerk

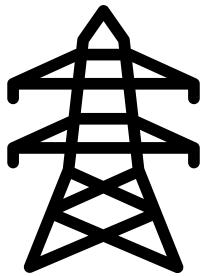


Strom

0,35 €/kWh



Primärenergie



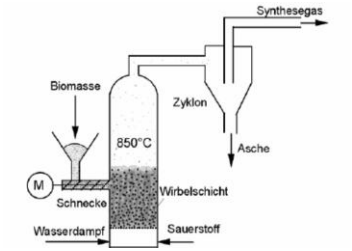
Sekundärenergie

Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Deutsche_Energiewirtschaft

Wasserstoffproduktion



Erdgas



Reformer

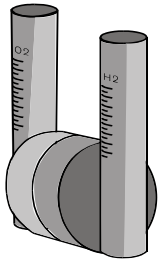
H_2

20. Jahrhundert

21. Jahrhundert



Strom

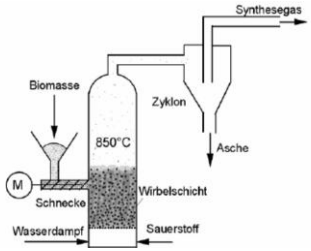


Elektrolyseur

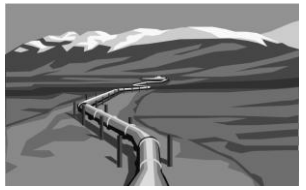
H_2



Biomasse

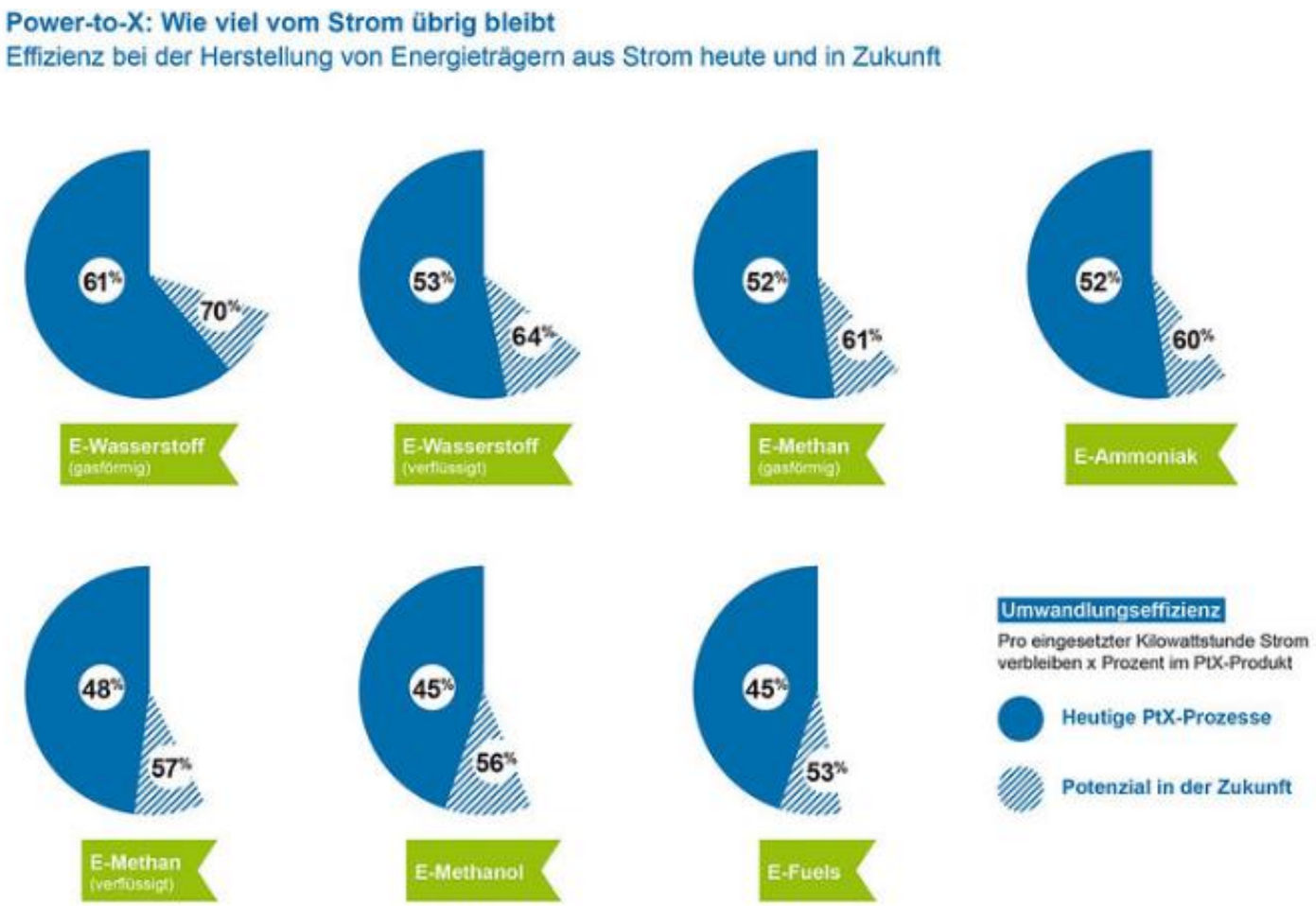


Reformer



Erdgas

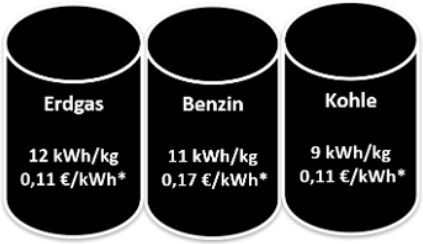
Energiespeicher



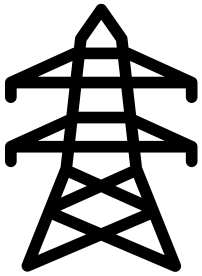
* Öko Institut e.V. Power-to-X

Gasproduktion 20xx





Primärenergie

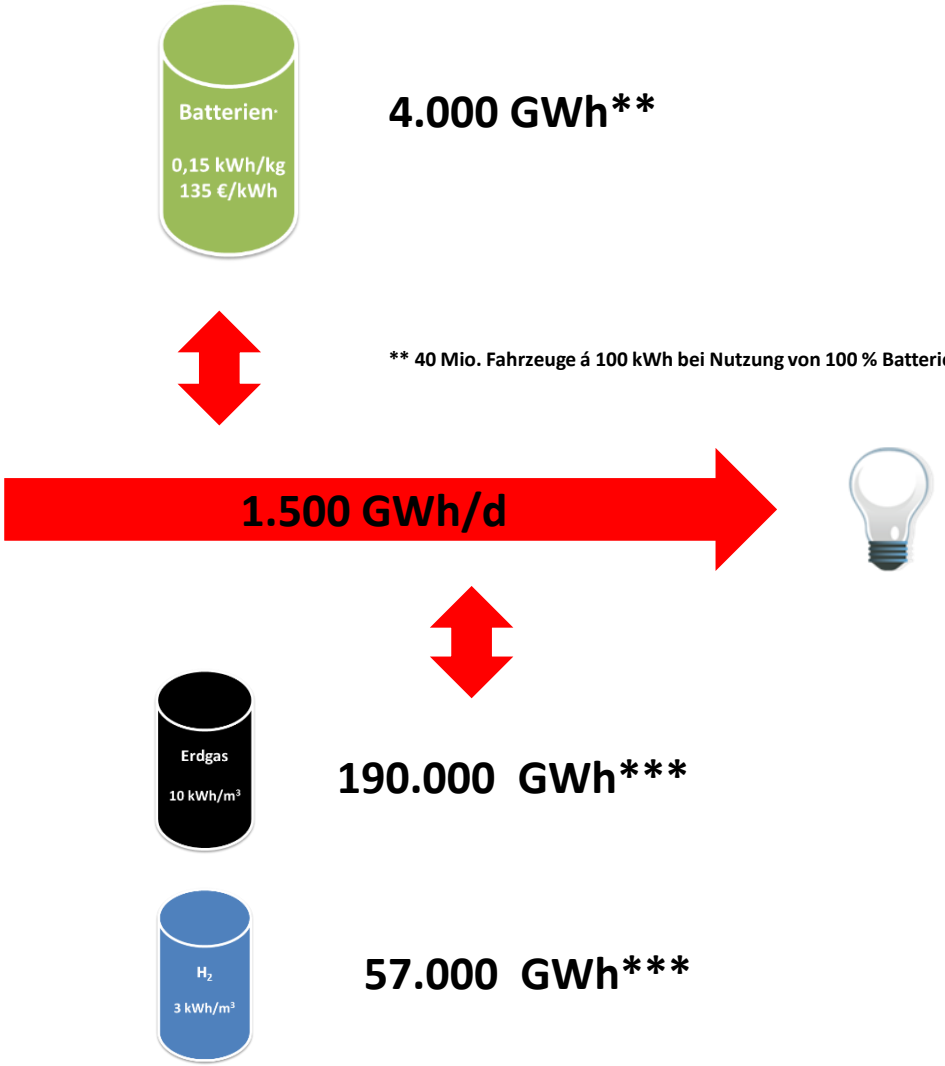


Sekundärenergie

Speicherkapazität







***19 Mrd. m^3 Erdgasspeicher in Deutschland

Speicherkapazität



Speicherkapazität: 2 x 7.000 Tonnen H_2 (2 x 231 GWh)
Projektrealisierung: 2025-2034 (2032 erste Kaverne)

* salthy.de

Systembetrachtung Auto

Konventioneller Antrieb

Tank
- 60 l
- t= 3 min.
- 850 km



Verbrennungsmotor (€ 50/kW)
- 100 kW

Brennstoffzellen Antrieb

Tank
- 5,6 kg
- t= 3 min.
- 600 km



Elektromotor
- 100 kW

Brennstoffzellensystem
- 100 kW

Elektromobilität

Batterien
- 70 kWh
- t= 1,5 h*
- 500 km

* Tesla Supercharger

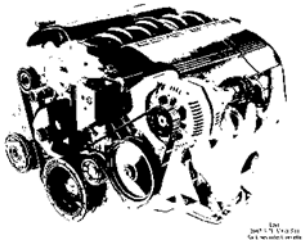


Elektromotor
- 100 kW

Systembetrachtung Auto



77 kWh / 100 km



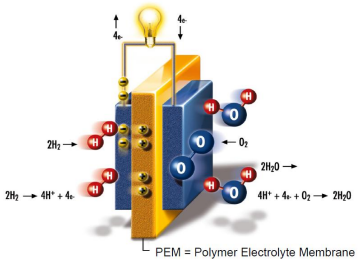
€ 50 /kW

η= 20 %

15 kWh / 100 km



30 kWh / 100 km

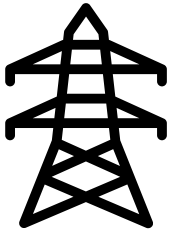


€ 180 /kW

η= 50 %

15 kWh / 100 km





17 kWh / 100 km



€ 135 /kWh

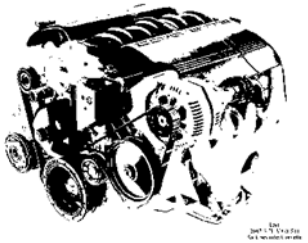
η= 90 %

15 kWh / 100 km

Systembetrachtung Auto



77 kWh / 100 km



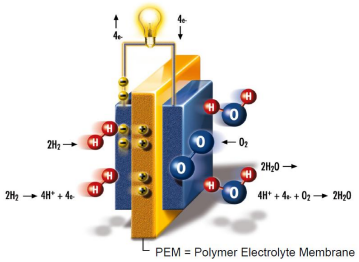
€ 50 /kW

η= 20 %

15 kWh / 100 km



30 kWh / 100 km

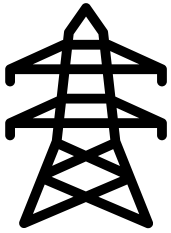


€ 180 /kW

η= 50 %

15 kWh / 100 km





17 kWh / 100 km



€ 135 /kWh

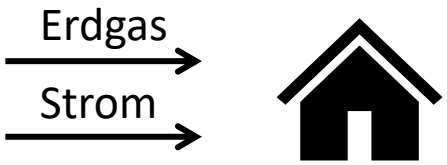
η= 90 %

15 kWh / 100 km

Systembetrachtung Auto



Erdgasversorgung



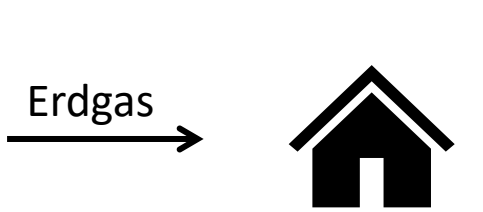
Erfahrungswerte (JS):
Mehrkosten ca. **€ 5.000.-**

Laufzeit: 16.000 h
produzierter Strom: 12.000 kWh
Einsparung:

Preis kWh: 0,13 € / $0,8_{(\eta = 80\,\%)}$ = 0,16 €
Strompreis: 0,35 €
12.000 kWh * (€ 0,35/kWh – 0,16 €/kWh)= **€ 2.280.-**

Systembetrachtung Haus

PV-Elektrolyse-System

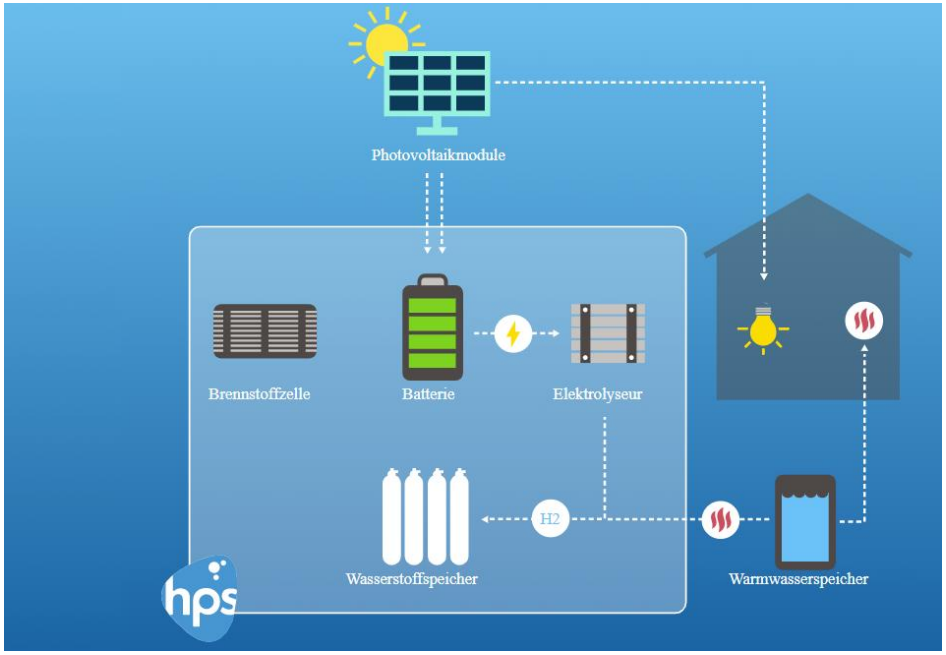


picea-Komplett-System*

- H_2-Generator
- H_2-Speicher
- Batteriespeicher
- Brennstoffzellensystem

* HPS-System Picea ohne PV-Anlage



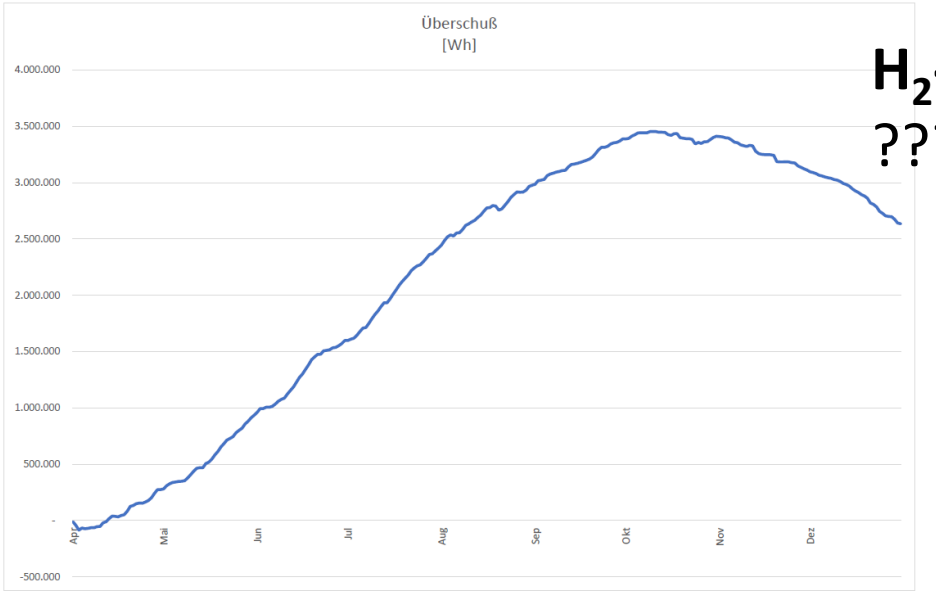




* Quelle HPS-Solutions

Systembetrachtung Haus

PV-System: 8 kW_{peak}
Verbrauch: 4.800 kWh
Überschussenergie$_{el.}$: 3.500 kWh
Rückspeisevergütung: € 245.-
Speicherung: ?



Batteriesystem:
3.500 kWh * € 150/kWh = € 525.000.-

H_2-System:
???

Systembetrachtung Haus

PV-Elektrolyse-System

Kosten Anlage:
Batteriespeicher: 20 kWh
H2-Generator: 2,3 kW
Brennstoffzelle: 1,5 kW
H_2-Speicher: 300 $kWh_{el.}$ (600 kWh_{brutto})
- 18 kg H_2 (18 x 50 Literflaschen)

€ 125.000.-

Überschussenergie:
3.500 kwh *0,8 (η Elektrolyse)= 2.800 kWh

Benötigte Speicherkapazität:
2.800 kWh/ 600 kWh = 4,67 Einheiten

➔ 4 weitere H2-Speichereinheiten
4x € 5.000.- = € 20.000

Gesamtkosten
€ 145.000.-

* Quelle HPS-Solutions

TECHNISCHES DATENBLATT hps picea

ELEKTRISCH		
Netzersatz- und Netzparallelbetrieb:		
- Nennspannung	V	3~ 400
- Nennfrequenz	Hz	50
- Nennleistung[1]	kW	7,2
- Brennstoffzellenleistung[2]	kW_{el}	1,5
- Wasserstofferzeugungsleistung[2]	kW_{el}	2,3
- Ausgangsscheinleistung im Netzersatzbetrieb[1]	kVA	9,0
- Ausgangsschein- und Einspeiseleistung im Netzparallelbetrieb[1]	kVA	7,5
- Energie Batterie (Kurzzeitspeicher, Kapazität brutto / netto)[3]	kWh_{el}	36 / 20
- Elektrische Energie Wasserstoffspeicher (saisonal)[2]	kWh_{el}	300 (erweiterbar bis zu 1500)
DC-Anschluss an Photovoltaik[4]:		
- Anzahl der unabhängigen MPPT-Eingänge / Strings		3
- max. umsetzbare Generatorleistung pro MPPT	kW	5,8
- max. Eingangsspannung (offene Klemmspannung) pro MPPT	V_{OC}	250
AC-Anschluss an externen PV-Wechselrichter[4]:		
- Spannung / Frequenz / max. Ladeleistung der picea Batterie	V / Hz / kW	3~ 400 / 50 / 5,7
THERMISCH		
Verfügbare Abwärme[5]	kWh	ca. 3.000
Temperaturniveau der Sommerwärmeauskopplung	°C	max. 55
Lüftungsgerät:		
- Maximale Luftmenge (bei 100 Pa)	m³/h	350
- Wärmerückgewinnungsgrad	%	bis zu 87
- Schallleistungspegel der Gehäuseabstrahlung im Nennbetrieb[6]	dB (A)	58
- Schallleistungspegel der Kanalanschlüsse mit Schalldämpfer im Nennbetrieb[6]	dB (A)	37
- Lüftungsanschluss	DN	180
- Maße der 4 Luftfilterboxen inkl. Reduzierstücken (Abmaße BxHxT)	mm	jeweils 470 x 427 x 330
- Kombinierbar mit raumluftunabhängigen Feuerstätten		ja (optional)
- Filterboxen: Außenluft mit ISO Coarse 60% (G4) und ISO ePM_1 ≥ 50% (F7), Hausabluft mit ISO ePM_1 ≥ 50% (F7), Umluft mit ISO Coarse 60% (G4)		
Hydraulische Anschlüsse:		
- Vorlauf-/Rücklaufanschluss zum Warmwasser-Pufferspeicher		G ¾" AG / G ½" AG
- Frischwasser-/Abwasserschlauch		DN ¼" / 10x15 mm flexibel
Heizstab:		
- Thermische Leistung	kW	3-stufig bis zu 4,5
- Einbaulänge	mm	450
- Gewinde		G 1½" AG
Kommunikation mit Wärmeerzeugern		SG Ready (für Wärmepumpen), kombinierbar mit allen gängigen Wärmeerzeugern
HAUPTKOMPONENTEN		
Energiezentrale (Innensystem)[7]:	Gewicht	Maße B x H x T
- bestehend aus System- und Batterieschrank	ca. 2,2 t	1,5 x 1,85 x 1,0 m
- elektrische Unterverteilung zum Anschluss von picea	ca. 45 kg	0,55 x 1,1 x 0,22 m
- Aufstellung innerhalb der thermischen Hülle des Hauses, T>15°C		
- Min. Raumhöhe für das Innensystem: 2,0 m; Lage: max. 1000 m über Meeresspiegel		
Wasserstoffspeicher (Außensystem)[8]:	Gewicht	Maße B x H x T
- Kompaktverdichtereinheit	ca. 0,6 t	0,75 x 2,0 x 1,0 m
- Druckgasflaschenbündel XL (300 kWh elektrisch nutzbar)	ca. 1,8 t	1,0 x 2,0 x 1,0 m
- Schallleistungspegel ohne Schalldämpfer im Nennbetrieb[9]	dB (A)	58
- Schallleistungspegel mit Schalldämpfer im Nennbetrieb[9]	dB (A)	55
- Schalldruckpegel ohne Schalldämpfer im Nennbetrieb im Sichtabstand von 3m[9]	dB (A)	49
- Betriebsdruck Druckgasflaschenbündel	bar	max. 300

Systembetrachtung Fahrrad



E-Bike
Kosten: € 1.700
Ladezeit: ca. 6 h
Kapazität: 560 Wh
Leistung E-Motor: max. 600 W

Wasserstoff
Kosten: € 3.000 + € 310 + € 2.500
Ladezeit: ca. 5 h (Wasserstoffgenerator)
Kapazität: 200 Wh
Leistung BZ: 150 W
Leistung E-Motor: 150 W

Systembetrachtung Kleingeräte





Quelle: Horizon Education



Quelle: eZelleron

Ladeoptionen

Powerbank
Kosten: ca. € 20
Ladezeit: 1-3 h (Stromanschluß)
Kapazität: ca. 10 Wh

Wasserstoff
Kosten: ca. € 50 + € 150 + € 1.300
Ladezeit: ca. 3 h (Wasserstoffgenerator)
Kapazität: ca. 10 Wh

Feuerzeuggas
Kosten: ca. € 140
Ladezeit: ca. 15 Sekunden
Kapazität: ca. 10 Wh

Programm

09:30 - 10:45 Theoretische Grundlagen Energiespeicher

10:45 – 11:00 Pause

11:00 - 12:30 Wasserstoffproduktion

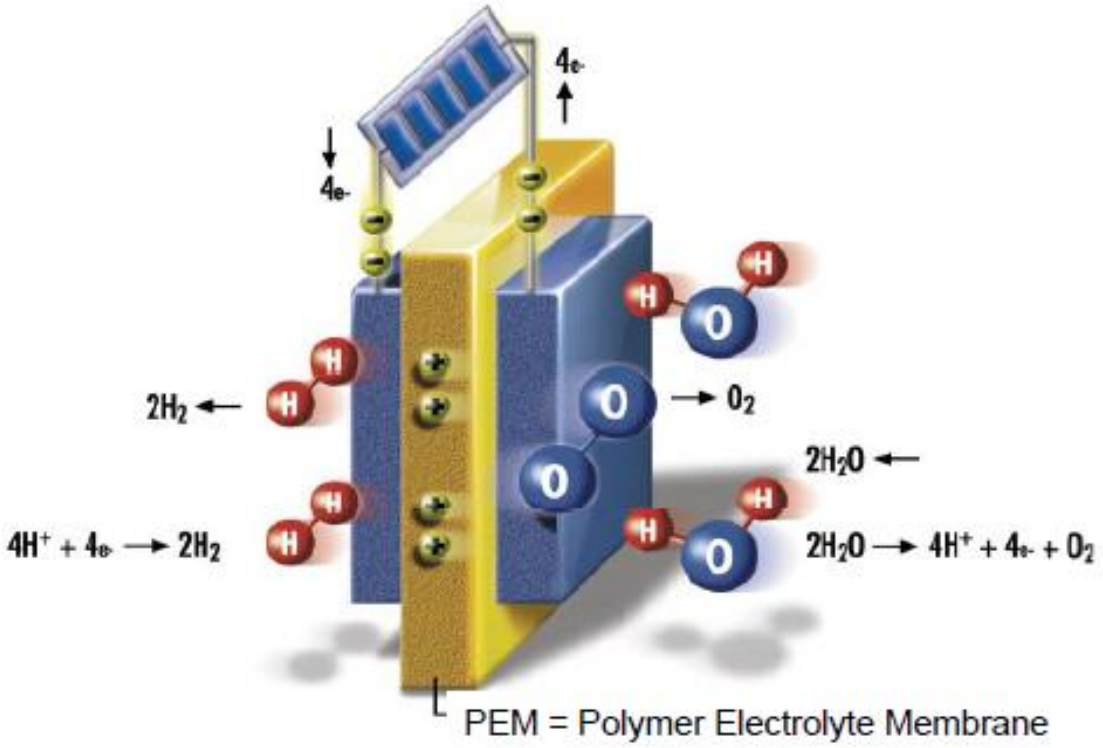
- **Grundlagen der Elektrolyse/Wasserstoffproduktion**
- **Wasserstoffgeneratoren in der Anwendung**
- **Wasserstoffspeicherung**

12:30 – 13:00 Mittagspause

13:00 - 15:30 Brennstoffzellentechnologie

- **Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie**
- **Brennstoffzellensysteme in der Anwendung**

Elektrolyse

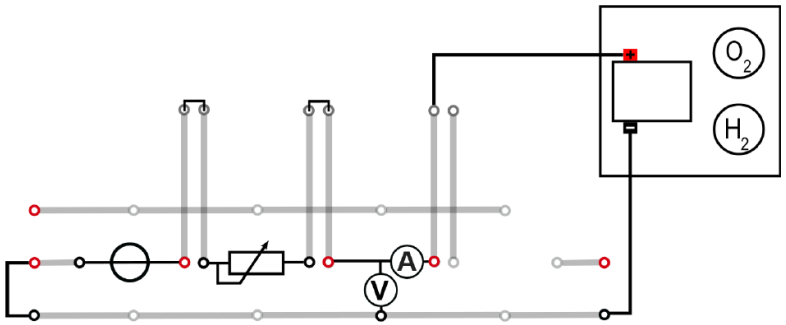


Standardpotential H2/O2

E° 1,23 V

Grundfunktion Elektrolyseur

Aufbau





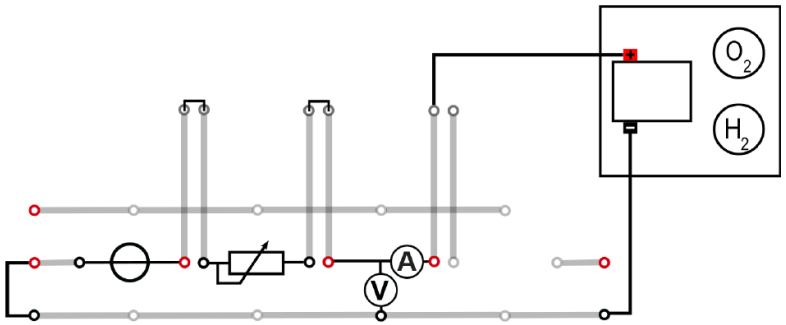
Standardpotential H2/O2

E° 1,23 V

1. **Wasserstoff-/ Sauerstoffproduktion**
2. **Spannungsmessung (Anzahl der Zellen)**
3. **Speicherfunktion**
4. **Dichtigkeit**

I-U-Kennlinie Elektrolyseur

Aufbau



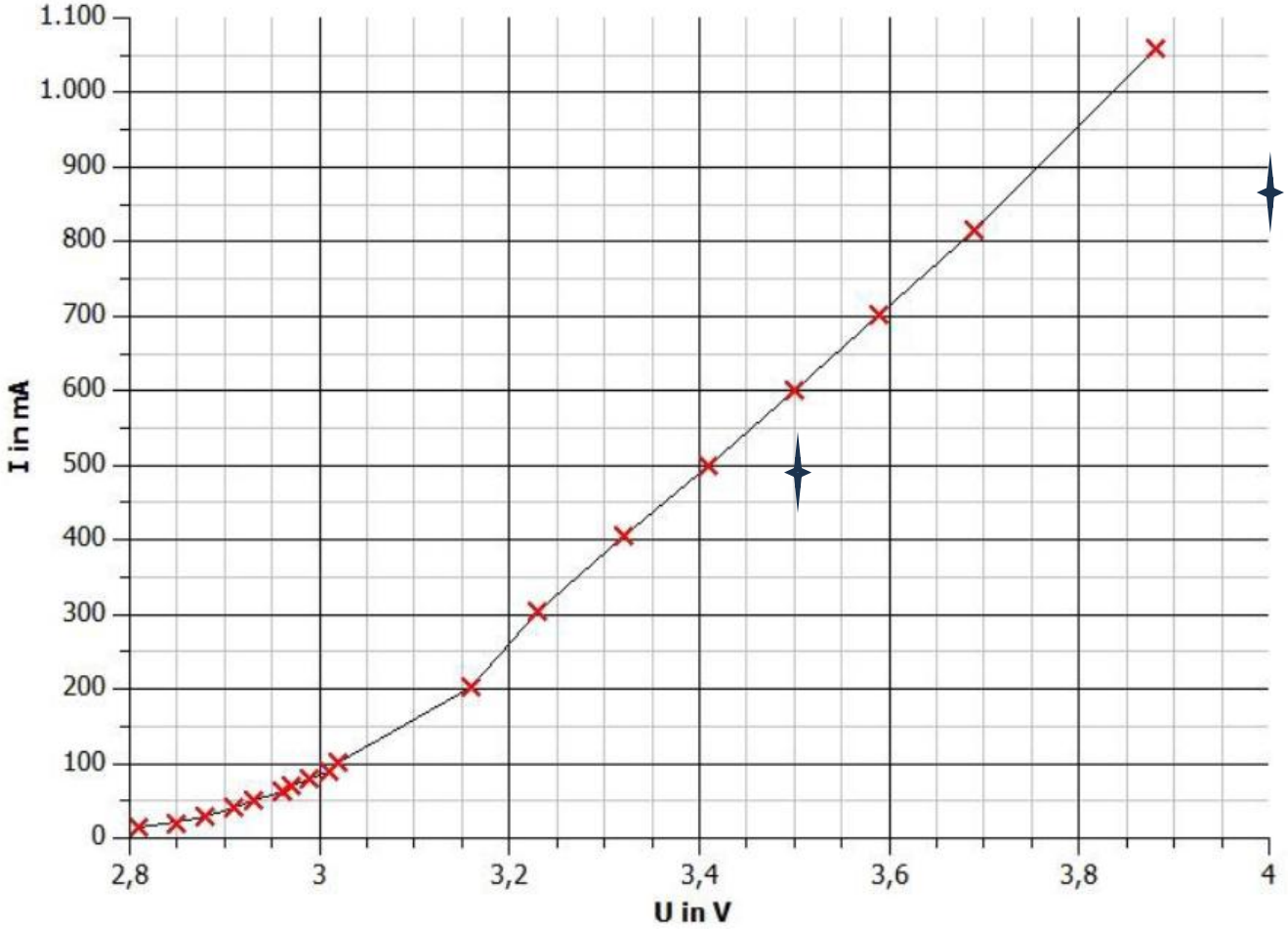


Standardpotential H2/O2

E° 1,23 V

Strom [mA]	50	100	250	500	1000
Spannung [V]					

I-U-Kennlinie Elektrolyseur



H_2-Produktion

Strom [mA]	500	1000
Spannung [V]		
t [sec] 14 ml H_2		



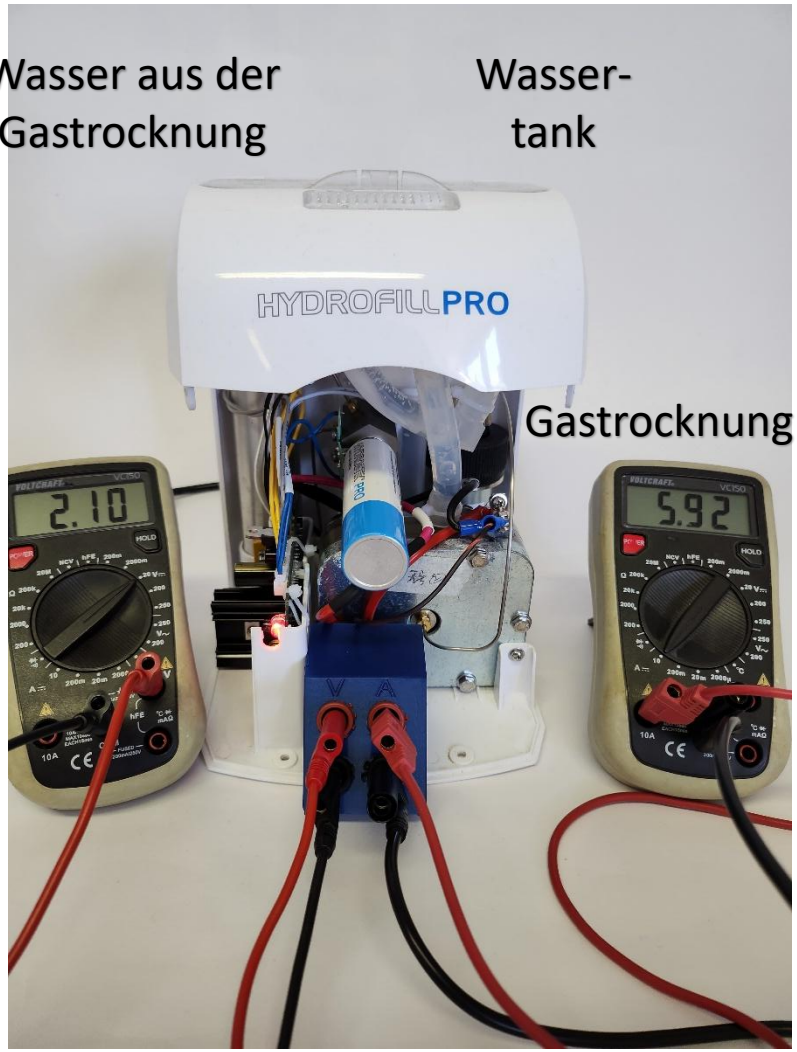
theoretische H2-Produktion

7,0 ml/min @ 1 A (pro Zelle)

Wirkungsgrad

$\eta = \eta_{(U)} = \frac{2{,}46V}{3{,}50V}$ **= 70 % (bei 500 mA)**

H_2-Produktion

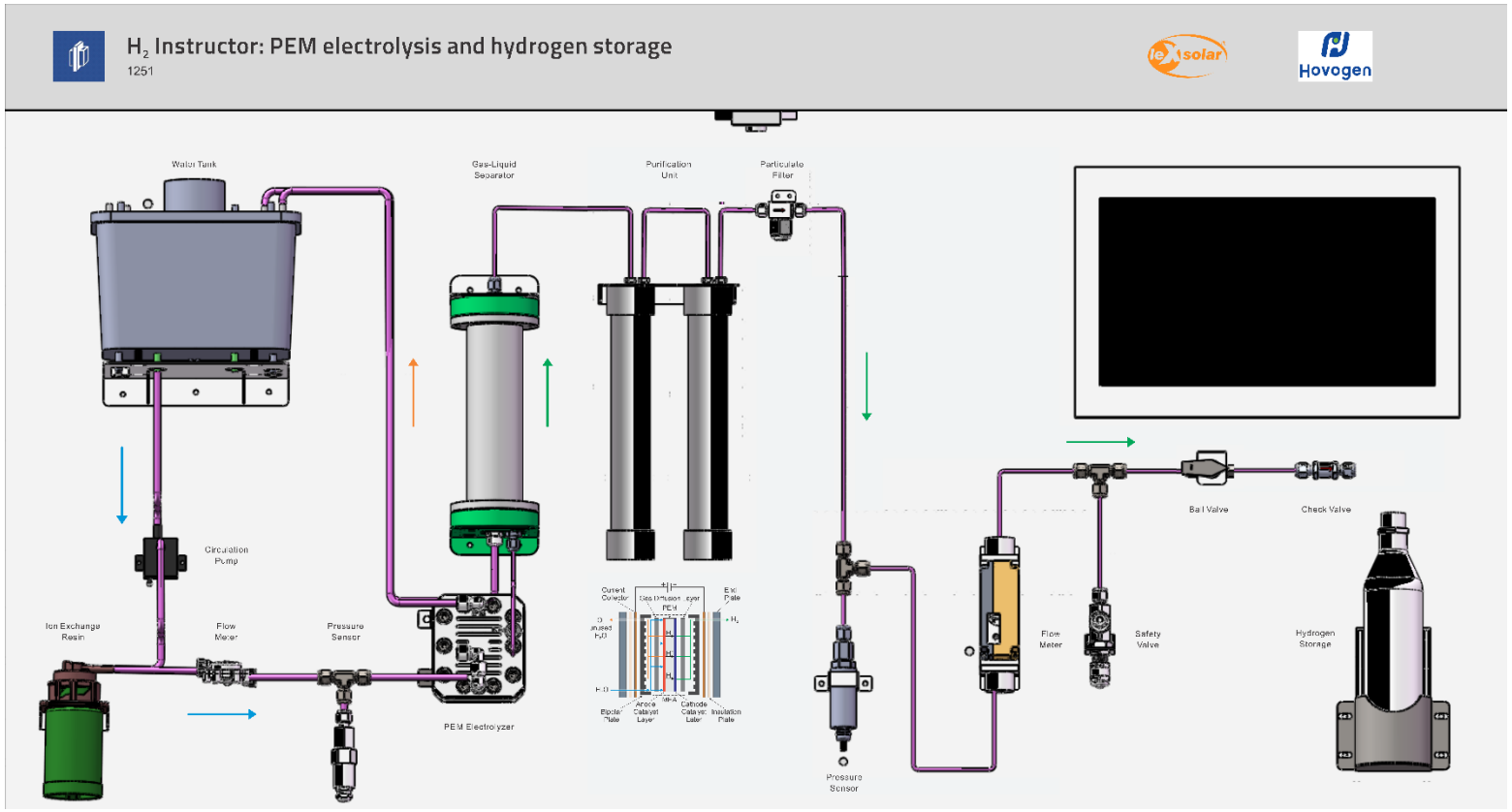


H_2-Produktion





H_2-Produktion



H_2-Speicherung

insite education

Druckgasflaschen

Druckbereich:
10 bar-700 bar



Flüssiggas Speicher

Temperatur:
< -253°C



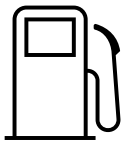
Metallhydridspeicher

Druckbereich:
3 bar - 30 bar



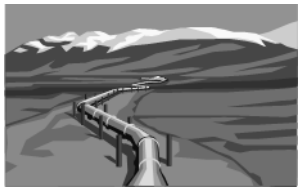
Synthetische Brennstoffe

Erdgas, Methanol, Krosin…



Salzkavernen, Gasleitungen

- geringe Investitionskosten



Programm

09:30 - 10:45 Theoretische Grundlagen Energiespeicher

10:45 – 11:00 Pause

11:00 - 12:30 Wasserstoffproduktion
- *Grundlagen der Elektrolyse/Wasserstoffproduktion*
- *Wasserstoffgeneratoren in der Anwendung*
- *Wasserstoffspeicherung*

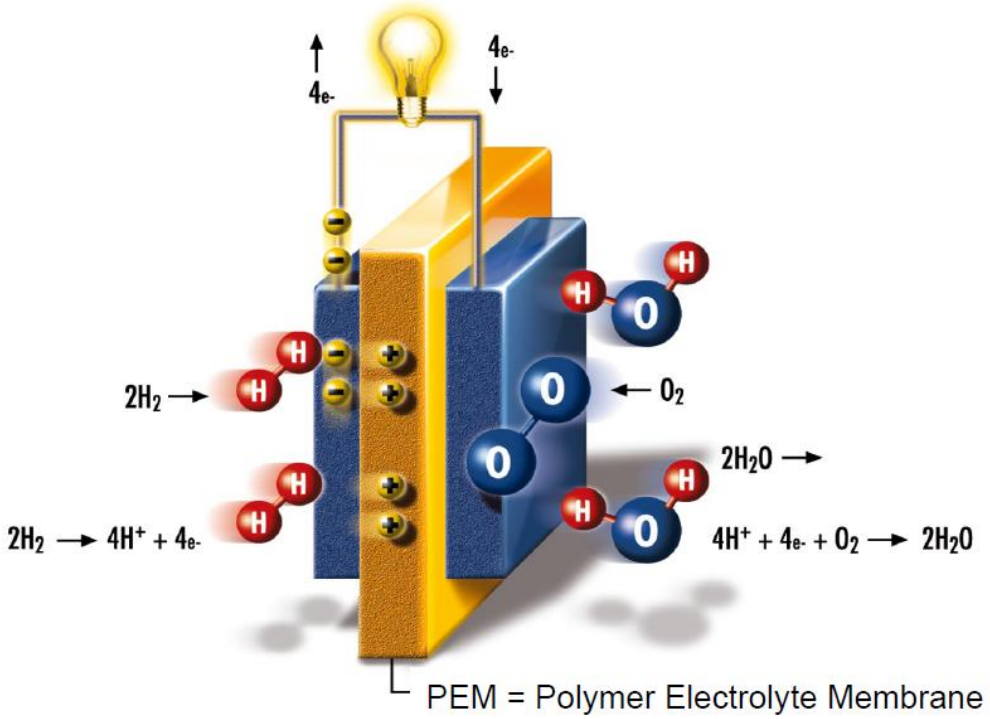
12:30 – 13:00 Mittagspause

13:00 - 15:30 Brennstoffzellentechnologie
- **Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie**
- **Brennstoffzellensysteme in der Anwendung**

Brennstoffzelle

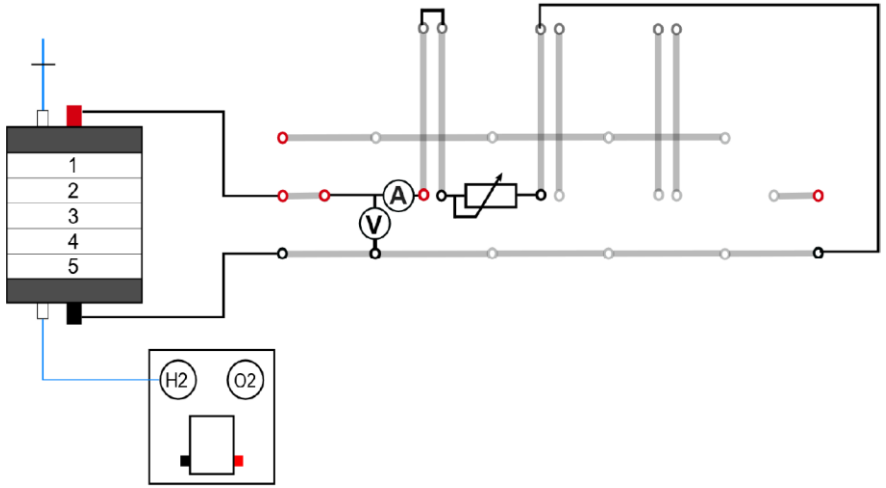
Standardpotential H2/O2

E° 1,23 V



Grundfunktionen Brennstoffzelle

Aufbau



Standardpotential H2/O2

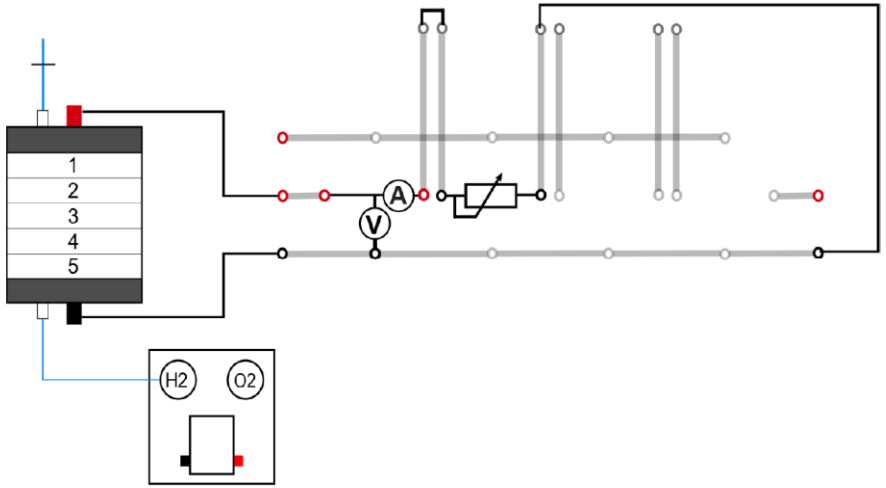
E° 1,23 V



1. **Dichtigkeit**
2. **Leerlaufspannung (> 4V)**
3. **Motor (Spannung > 3 V)**
4. **Kurzschluss-Strom (> 400 mA)**

U-I-Kennlinie Brennstoffzelle

Aufbau



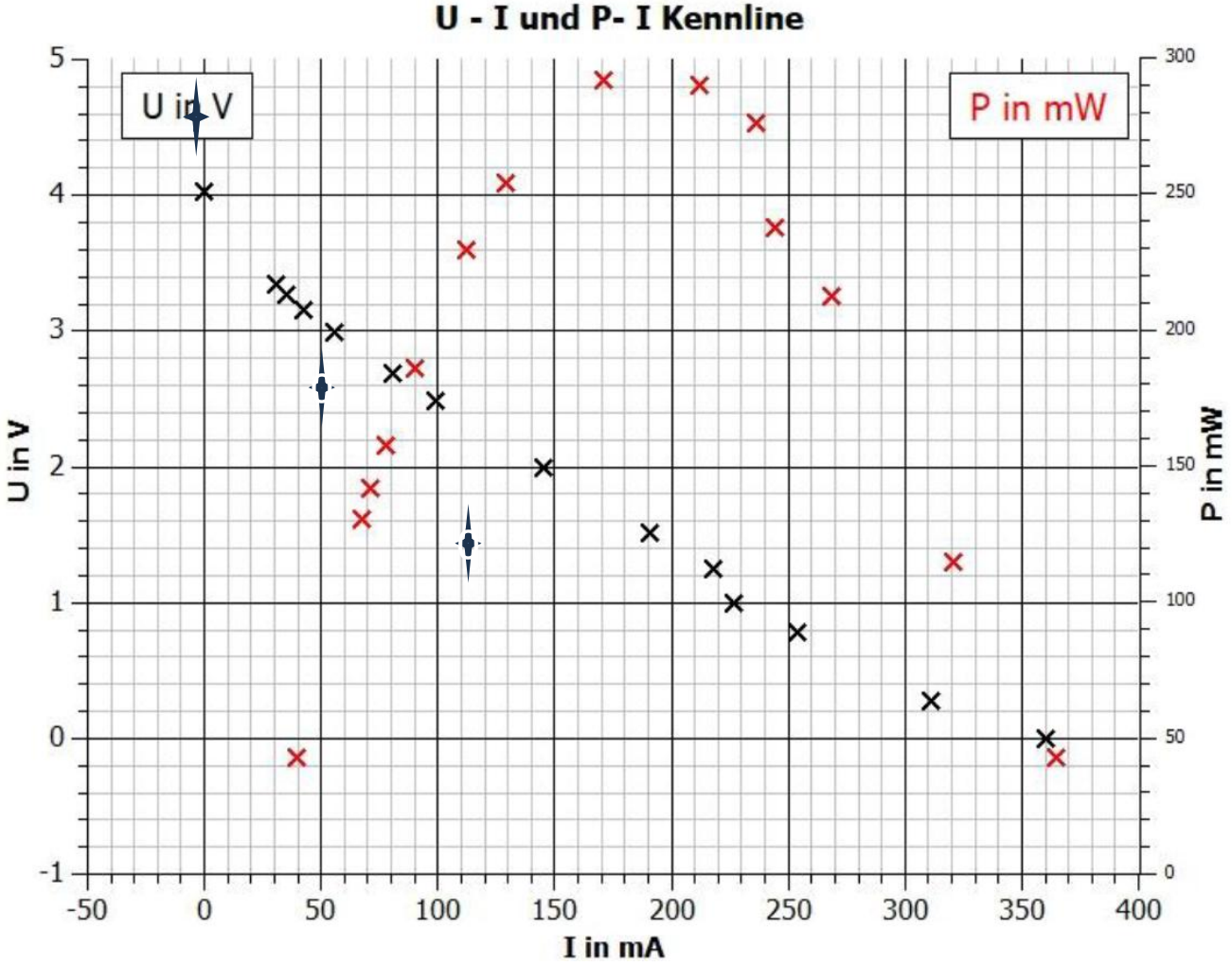
Standardpotential H2/O2

E° 1,23 V

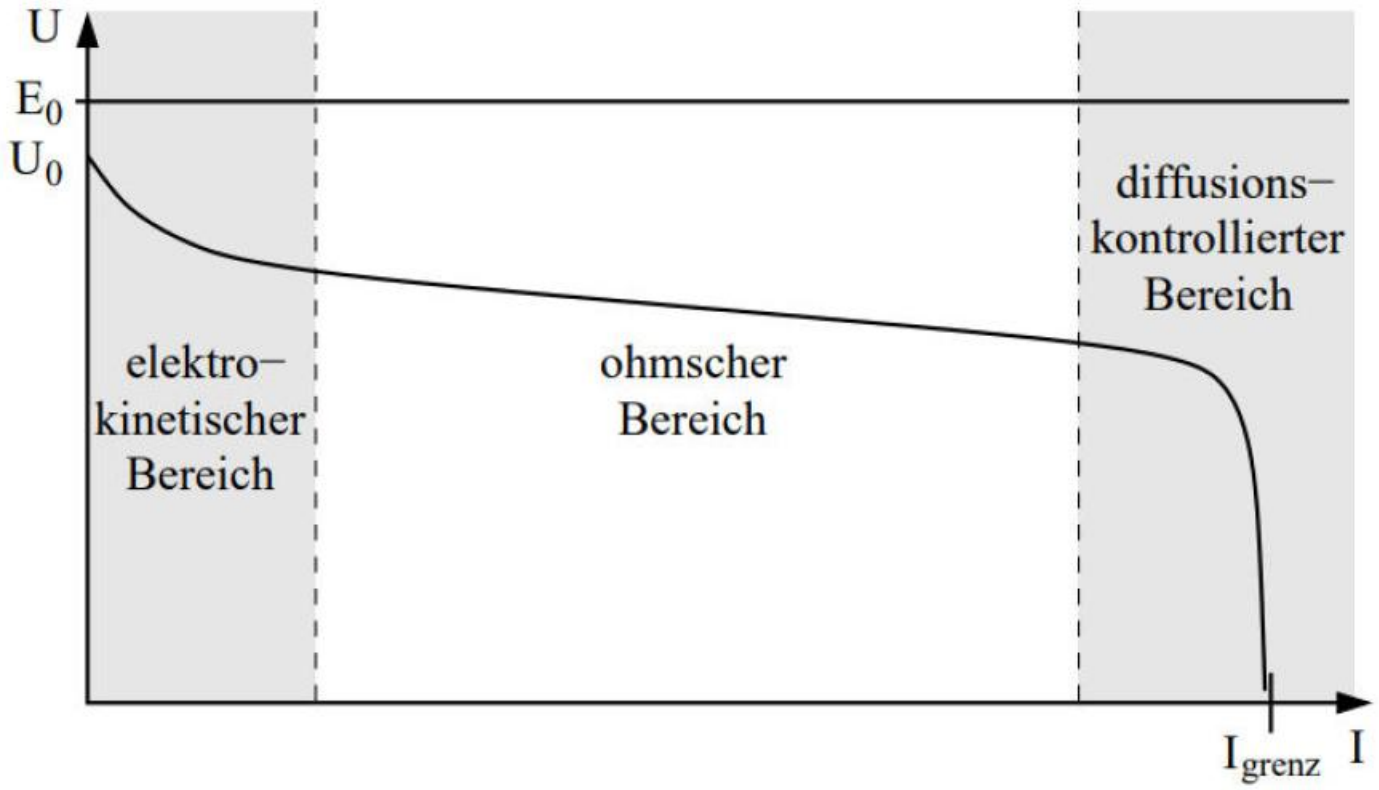


Strom [mA]	0	50	100	200	300	400
Spannung [V]						

U-I-Kennlinie Brennstoffzelle



U-I-Kennlinie Brennstoffzelle



H_2-Verbrauch Brennstoffzelle

Strom [mA]	125	250
Spannung [V]		
t [sec] 15 ml H_2		



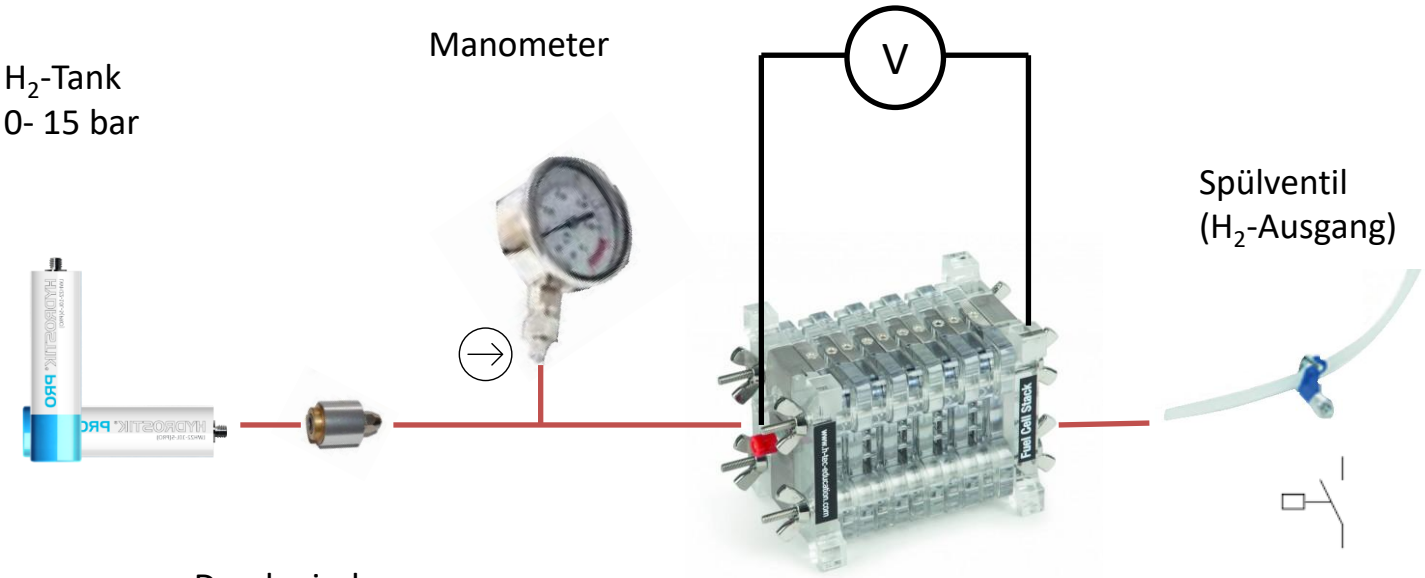
theoretischer H_2-Verbrauch

7,0 ml/min @ 1 A (pro Zelle)

Wirkungsgrad

$$\eta = \eta_{(U)} = \frac{2{,}75\ V}{6{,}14\ V} = 45\ \%$$ **(bei 125 mA)**

Brennstoffzellensystem



- **Wassermanagement!**
- **Dichtigkeitsprüfung!**

Brennstoffzelle / Sauerstoffversorgung

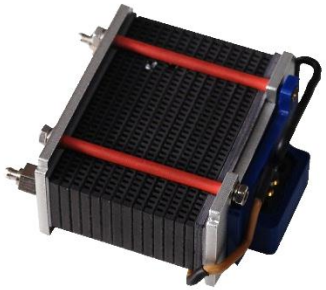




Strom [mA]	350
Spannung [V] passiv horizontal	
Spannung [V] passiv vertikal	
Spannung [V] aktiv horizontal	

Brennstoffzellensystem Übersicht









H_2-Versorgung

- Wasserstoffspeicher
- Druckminderer
- Drucksensor
- Eingangsventil
- Ausgangsventil

Brennstoffzellen-Stack

- Brennstoffzellenstack
  - Stromanschlüsse
  - Wasserstoffanschlüsse
  - Sauerstoff-versorgung
  - Kühlung

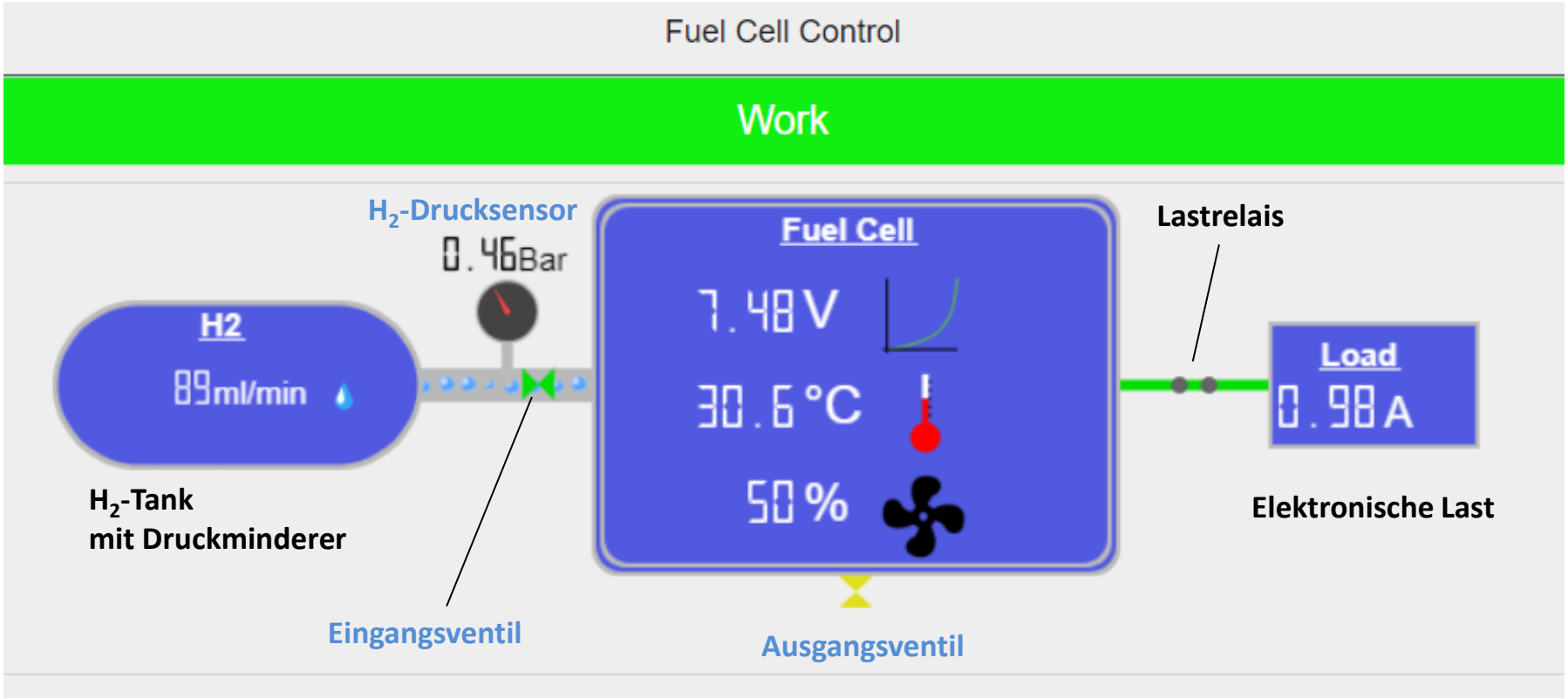
Brennstoffzellen-Steuerung

- Spannung/Strom
- H_2-Druck
- Temperatur/ Sauerstoffversorgung
- Magnetventile
- Last

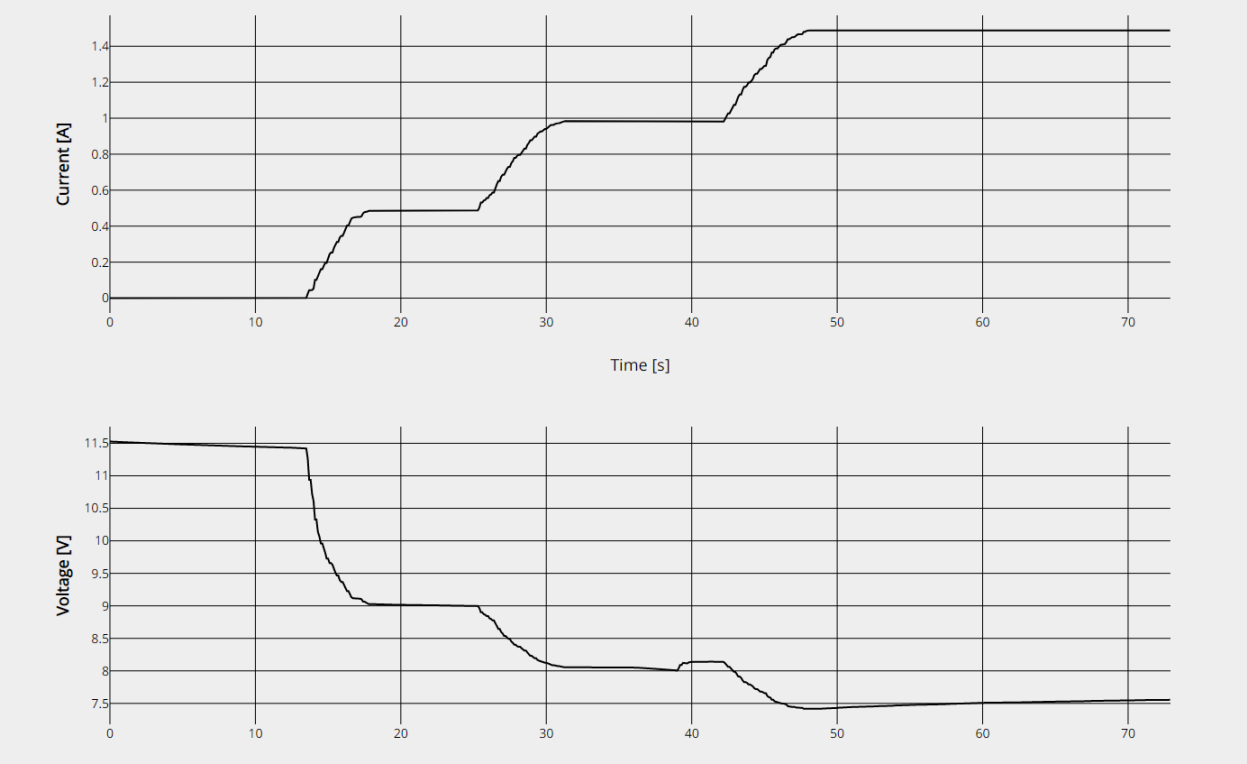
Leistungselektronik

- DC/DC-Wandler

Brennstoffzellensystem Übersicht



BZ- Qualitative Erstbetrachtung



Standby:
- Eingangsventil
- Ausgangsventil

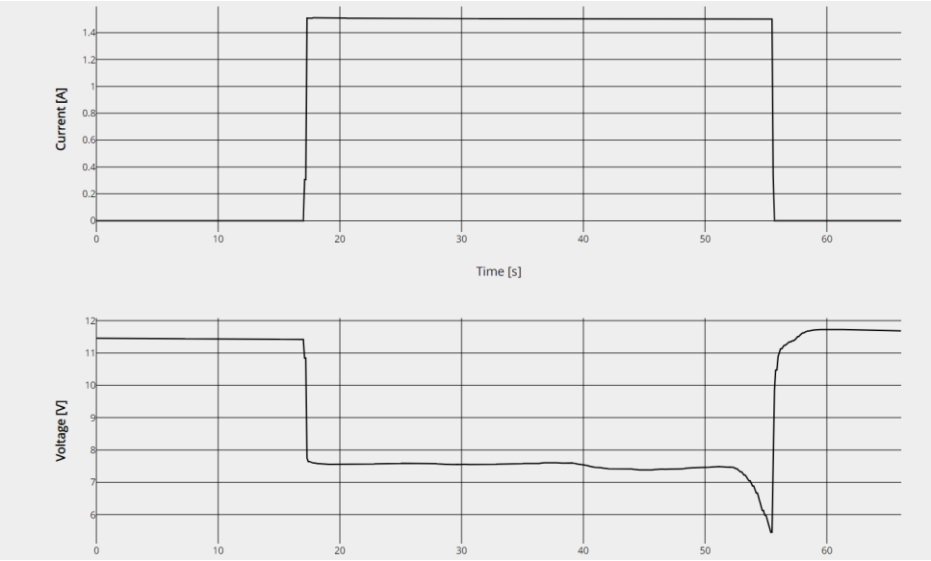
Leerlaufspannung:
11,5 V (13 Einzelzellen)

Start:
- Lastrelais
- undichtigkeit Brennstoffzelle

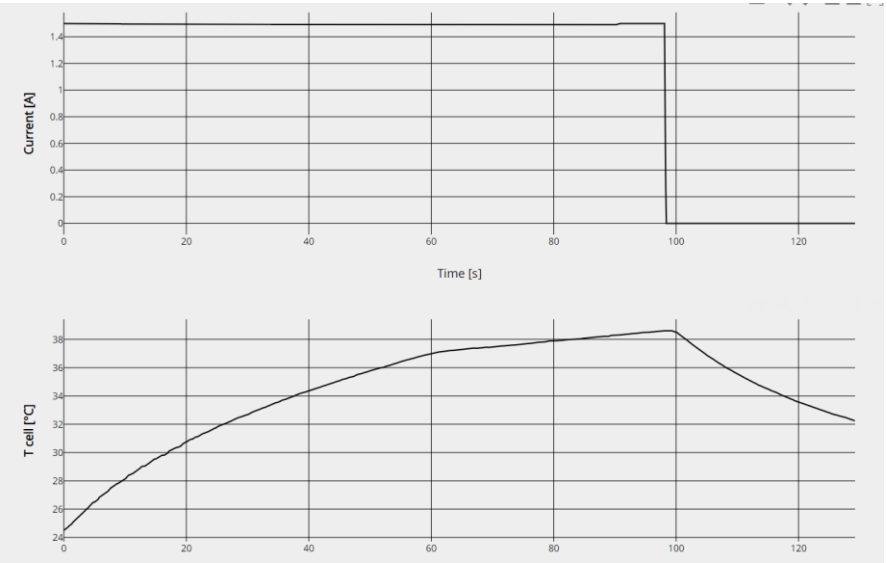
Strom vs. Spannung:
Mit steigendem Strom, sinkt die Spannung.

Strom vs. H_2-Verbrauch:
Der H_2-Verbrauch ist proportional zum Strom!!!

BZ- Qualitative Erstbetrachtung



Sauerstoffversorgung:
Λ>=1
Leistungseinfluss



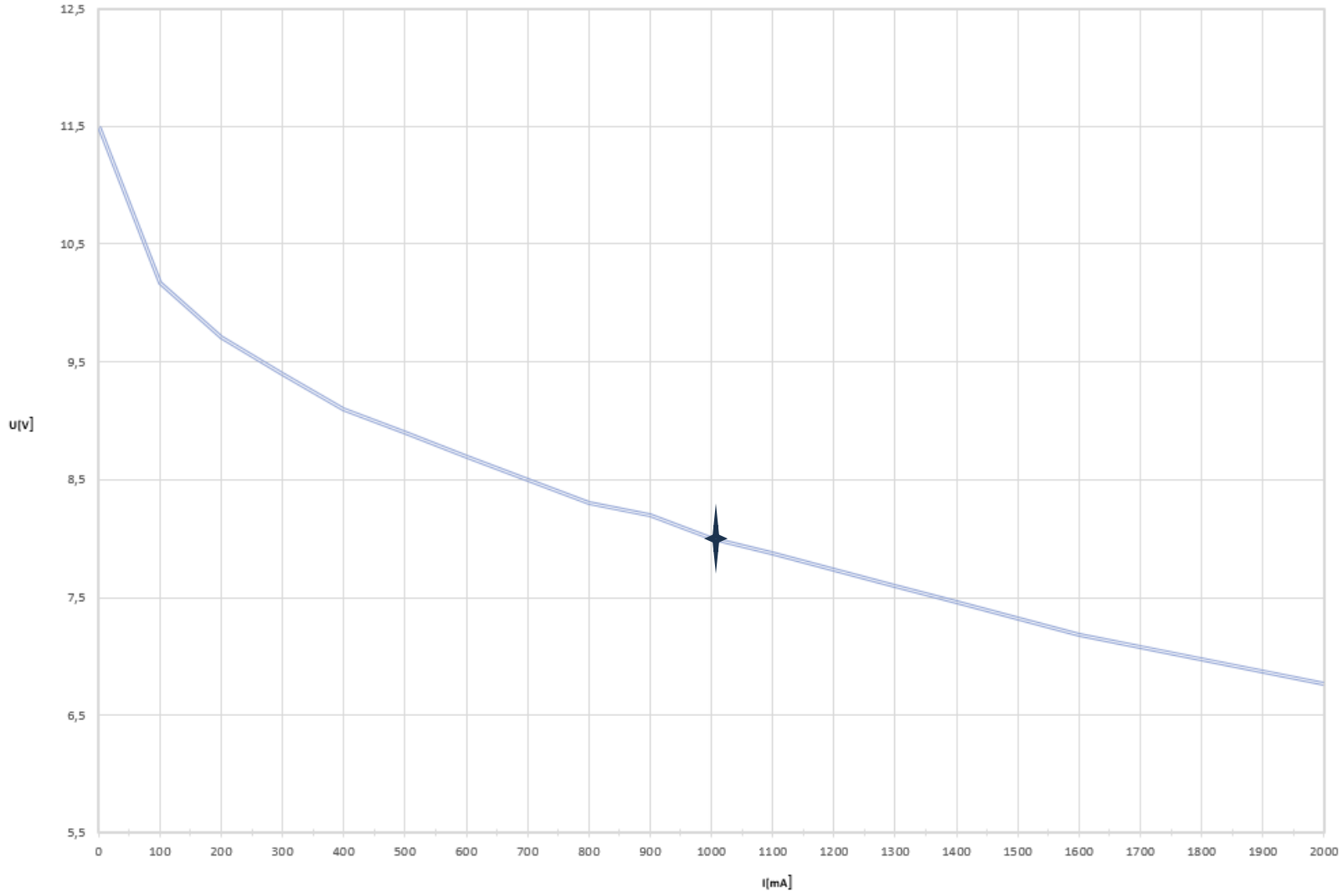
Temperaturbereich:
0°C – 45°C

BZ- UI-Kennlinie

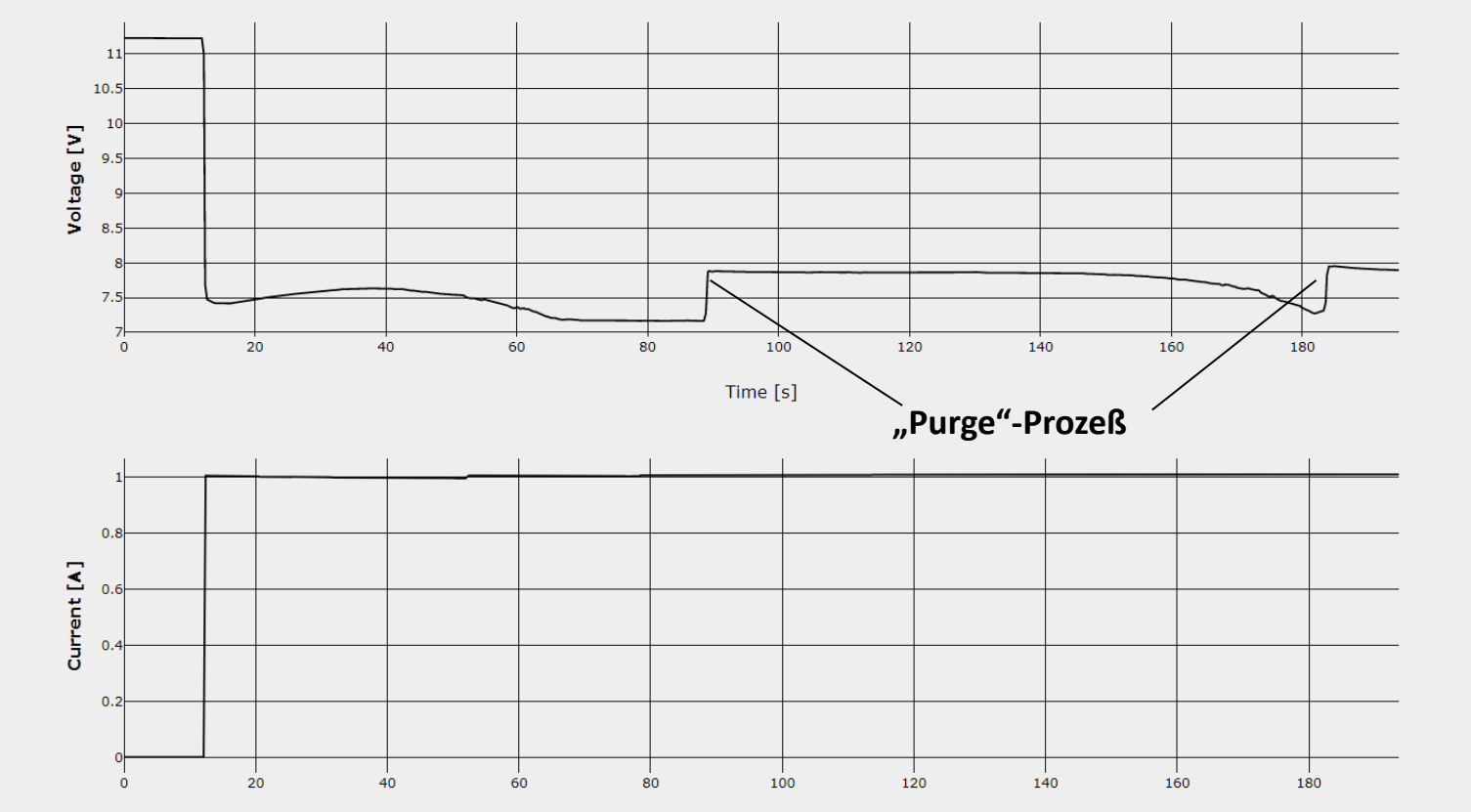
$\eta_{el} = \frac{U}{U_{theor}}$

I [mA]	0	50	100	200	400	800	1600	2000
U [V]								
η_{el} [%]								

BZ- UI-Kennlinie



BZ- Wassermanagement



BZ- Sicherheitsmanagement

Abschaltkriterien

Brennstoffzellenspannung:
< 6,0 V Warnung
< 5,5 V Abschaltung

Brennstoffzellenstrom:
> 3,0 A Abschaltung

Brennstoffzellentemperatur:
> 45°C Abschaltung

H2-Eingangsdruck:
< 350 mbar Abschaltung

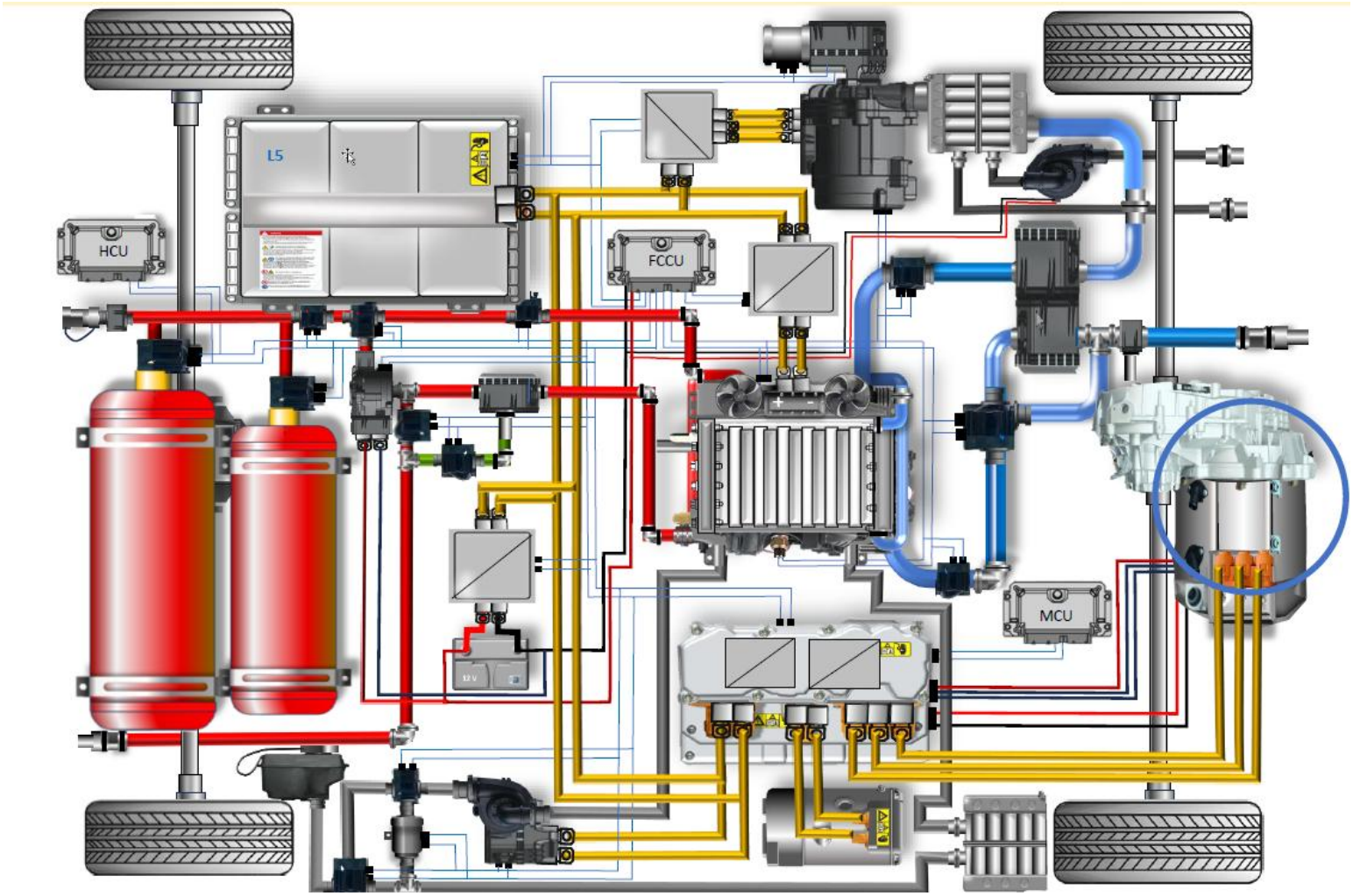
Temperatur:
Abschaltung bei T > 45°C

Brennstoffzellenmanagement

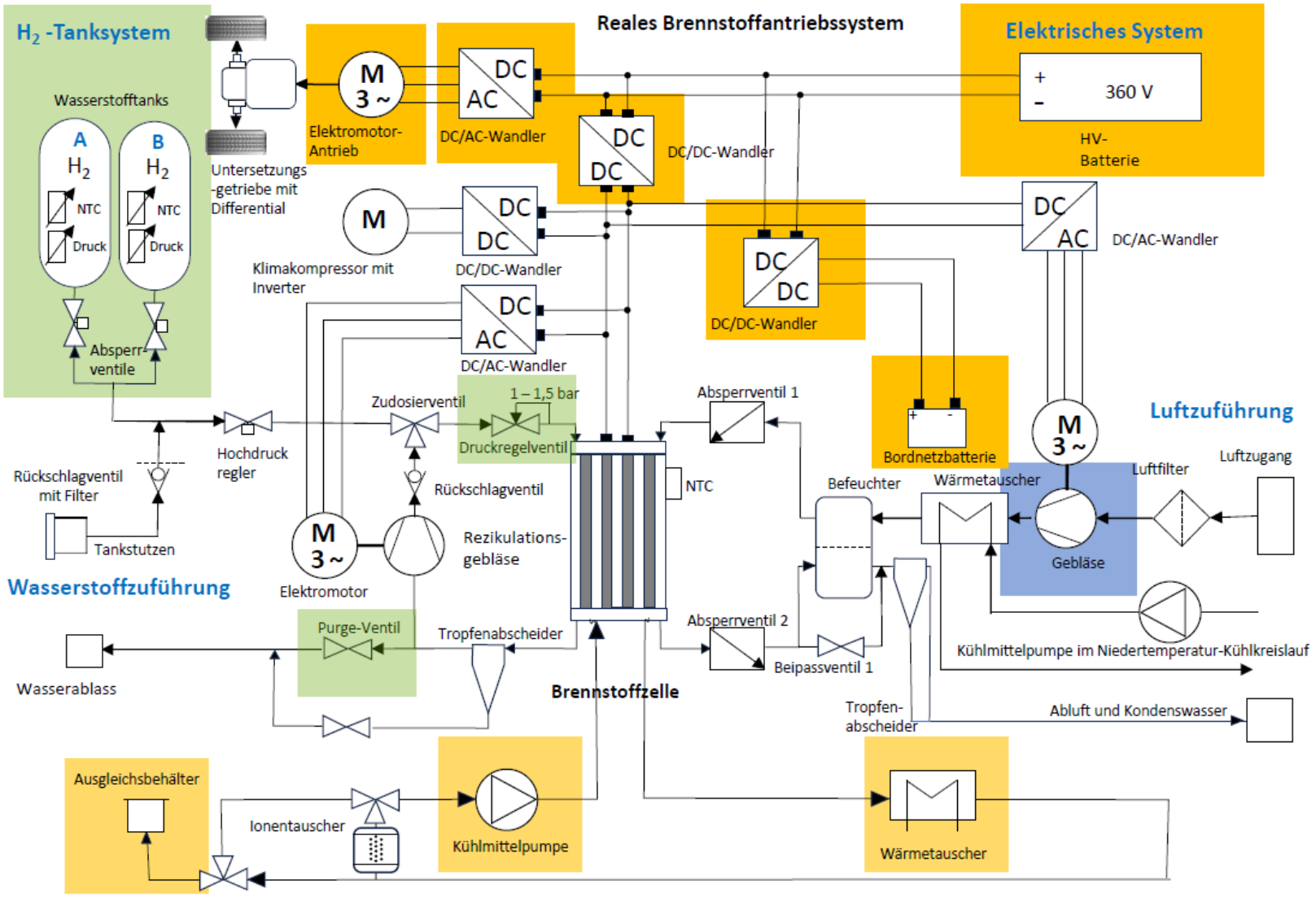
Purgeprozeß/Wassermanagement:
Der Purge-Prozeß/ das Wassermanagement der Brennstoffzelle wird über drei Kriterien gesteuert:
Zeit: 180 Sekunden
H_2-Verbrauch: 95 ml
manuell: Tastendruck

Wenn das System beim Purge-Prozeß keinen signifikanten Druckabfall misst, erscheint ein Warnhinweis. Dieser kann mit Stop einfach bestätigt werden, oder erlischt mit dem nächsten "korrekten" Purge-Vorgang.

100 W wassergekühltes BZ-System

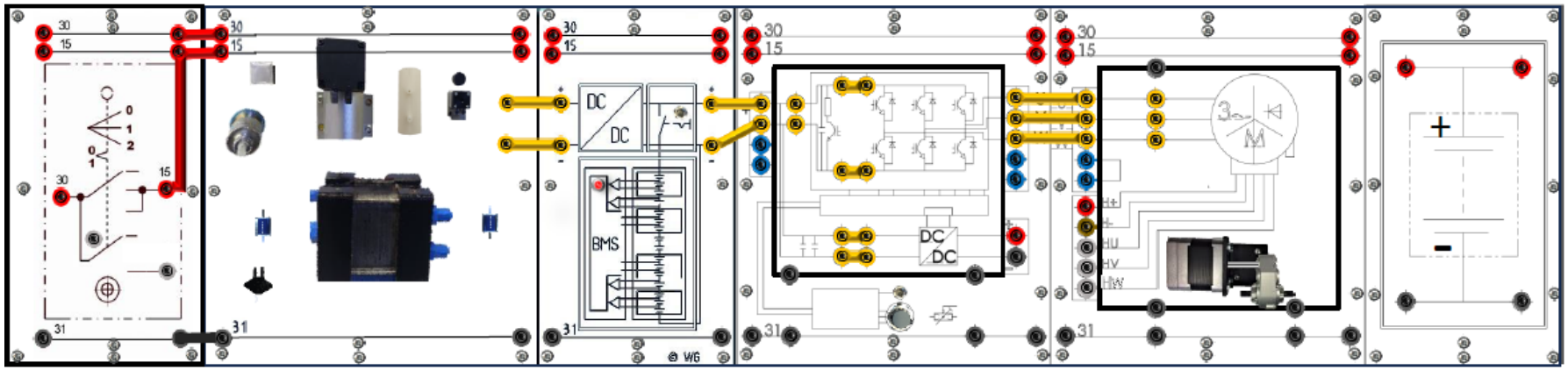


100 W wassergekühltes BZ-System



100 W wassergekühltes BZ-System

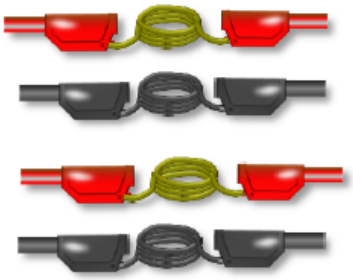
Platte Fahrtschalter | Platte Brennstoffzelle | Platte DC/DC-Wandler | Platte Leistungselektronik | Platte E-Maschine mit Getriebe | Platte Bordnetzbatterie



Platte Metallhydridspeicher

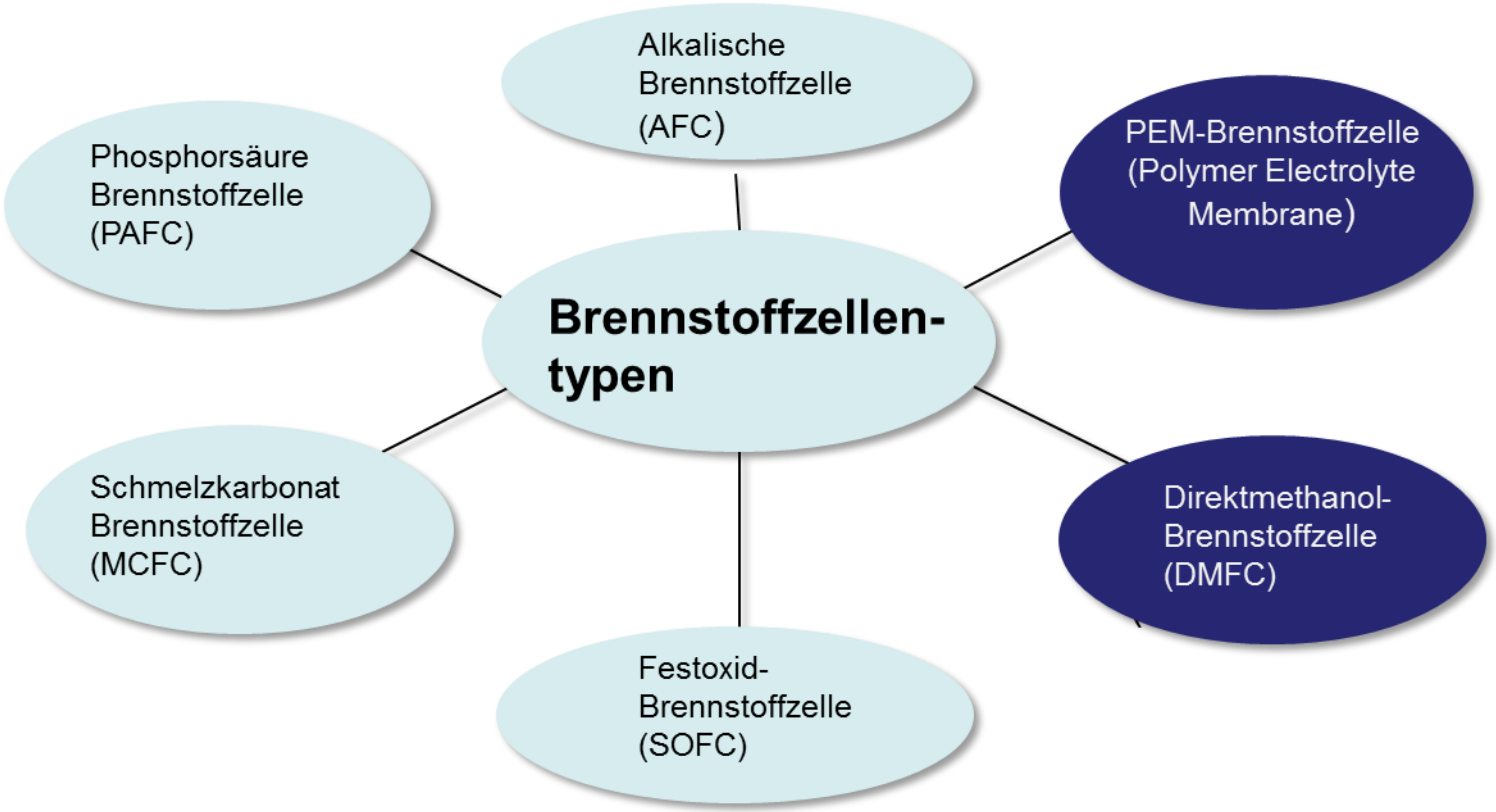


Anschlussleitungen



HINWEIS:
Kontrollieren Sie den Ladezustand der Bordnetzbatterie. Der Spannungswert zwischen dem Plus- und Minuspol muss > 11,5 V sein.

Brennstoffzellentypen



Anwendung DMFC



Preis: € 4.750.-

2.3.2 Leistungsdaten[1] 24 V

	EFOY 80	EFOY 150
Max. Ausgangsleistung	40 W	75 W
Ausgangsleistung[2] nach 3000 Betriebsstunden	21 W	43 W
Max. Ladestrom @ 21,0 V	1,9 A	3,6 A
Empfohlene minimale Batteriekapazität Blei-Batterien	20 Ah	30 Ah
Maximal einstellbare Batteriekapazität Blei-Batterien	400 Ah	
Empfohlene minimale Batteriekapazität LiFePO4-Batterien	10 Ah	15 Ah
Maximal einstellbare Batteriekapazität LiFePO4-Batterien	300 Ah	
Ruhestromverbrauch	25 mA	

* Quelle Conrad Onlineshop EFOY 150 BT

Anwendung SOFC



BG-15

Anwendungsbereiche	Elektrischer Energieerzeuger mit Wärmerückgewinnung für Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, Unternehmen, öffentliche und gewerbliche Gebäude
Betriebsmodus	Ganzjährig (durchschn. 8.700 Stunden)
Monitoring	Jederzeit Zugriffsmöglichkeiten auf Anlagendaten durch Web-Applikation und mobile App (Internet / Smartphone)
Brennstoff	Erdgas, Erdgas mit bis zu 20 % Wasserstoffbeimischung, Biomethan, synthetisches Methan
Brennstoffzellentyp	Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)
Gesamtwirkungsgrad	Bis zu 89 %
Elektrischer Wirkungsgrad	Bis zu 57 %
Elektrische Leistung	0,5 bis 1,5 kW
Thermische Leistung	Bis zu 0,85 kW
Elektrische Energieproduktion / Jahr	Bis zu 13.000 kWh
Gewicht	250 kg
Maße (HxBxT)	1.200 mm x 550 mm x 1014 mm
Geräuschpegel	47db (A)
Service-Intervall	12 Monate

Die technischen Daten und Angaben in dieser Broschüre können abweichen.
Inhalt urheberrechtlich geschützt.
Kopien und anderweitige Nutzung nur mit vorheriger Zustimmung.
Änderungen vorbehalten.

* Quelle Bluegen.eu Bluegen BG-15