

SOC

CH_4

LiFePo

$E^\circ 1,23 \text{ V}$

C

H_2

BOL

CCCV

ΔU

Grundlagenseminar Batterie- und Wasserstofftechnologie

08.05.-09.05.2023, Kempten

Ralph Schanz

Montag, 08.05.2023

09:30 - 11:00

Theoretische Grundlagen Energiespeicher

11:15 - 12:30

Wasserstoffproduktion

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

13:00 - 15:30

Brennstoffzellentechnologie

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

Dienstag, 09.05.2023

09:30 - 12:30

Grundlagen Batterietechnologie 1

- *Zellspannung / SOC*
- *Innenwiderstand*
- *Entladeverhalten / Kapazitätsbestimmung*
- *Ladeverfahren*
- *Temperaturverhalten*

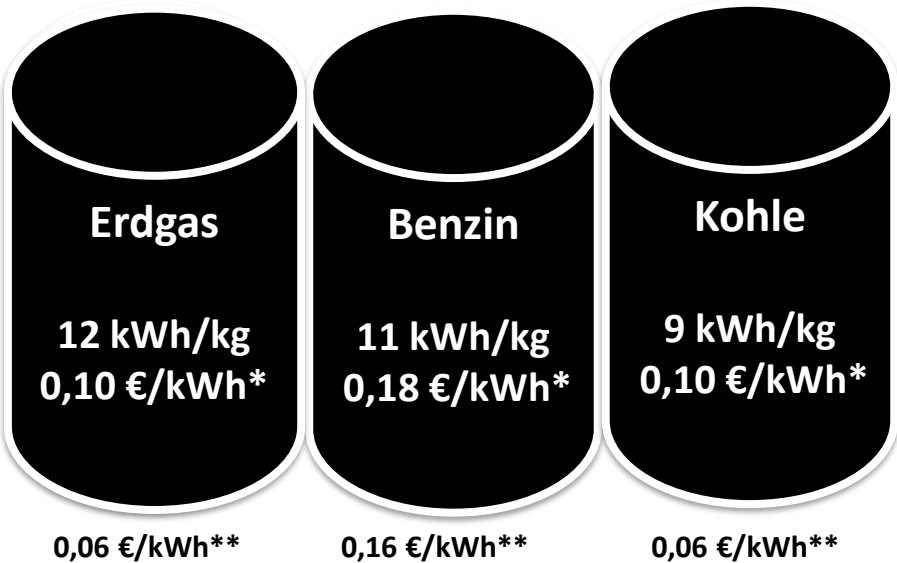
13:00 - 15:00

Grundlagen Batterietechnologie 2

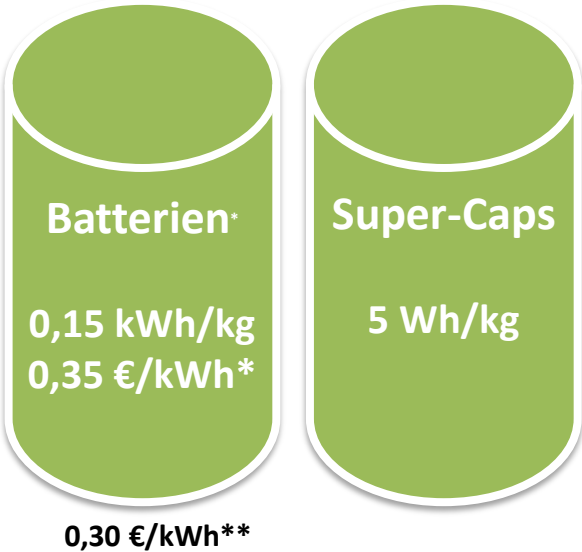
- *Batteriemanagement / Packaging*
- *Berechnungsbeispiele verschiedener Speichersysteme*

15:00 - 15:30

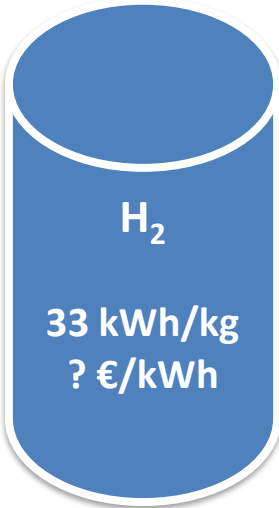
Abschlussdiskussion



Fossile Brennstoffe



Elektrische Speicher



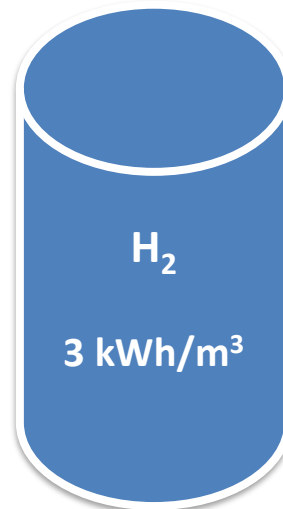
Wasserstoff

* Preise 2023

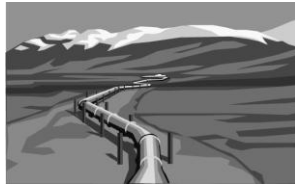
**Preise 2013



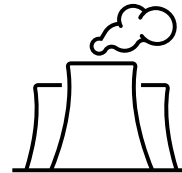
Fossile Brennstoffe



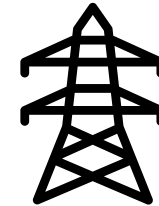
Wasserstoff



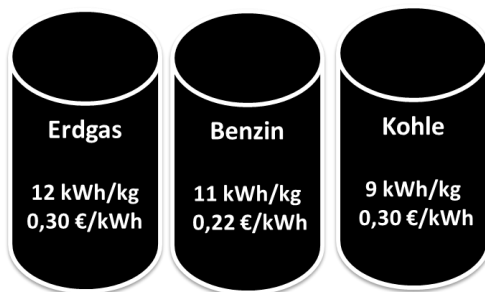
Erdgas
Kohle
0,10 €/kWh



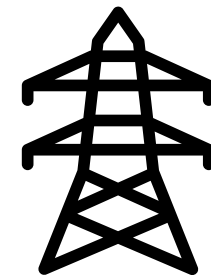
Kraftwerk



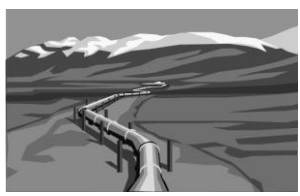
Strom
0,35 €/kWh



Primärenergie



Sekundärenergie



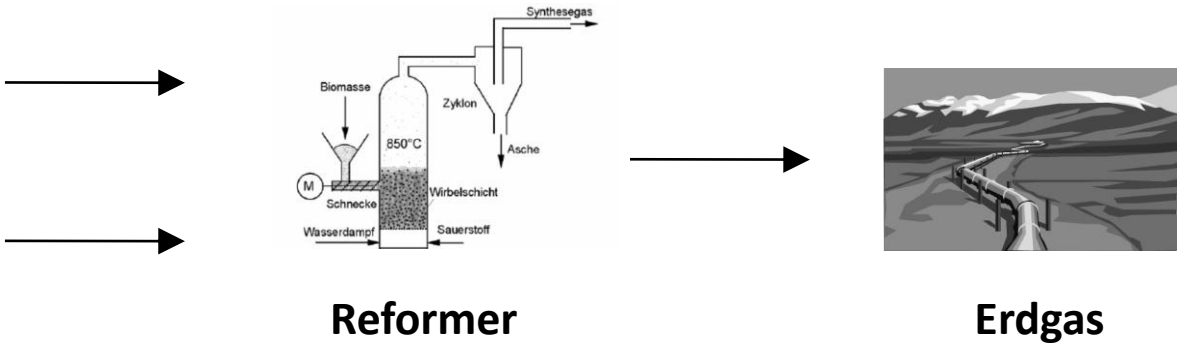
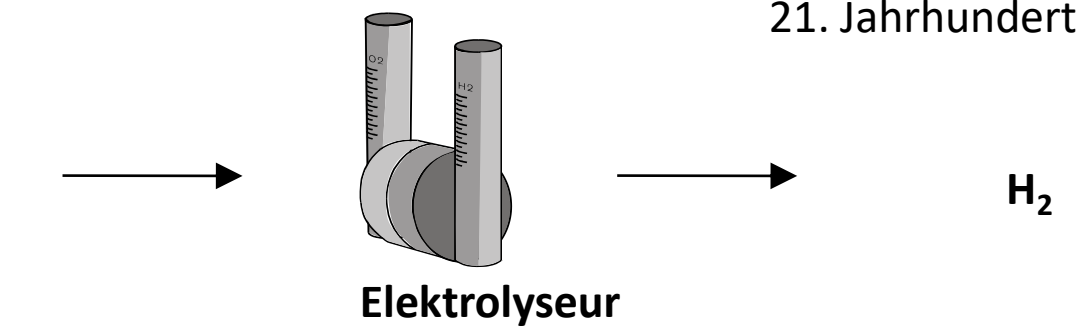
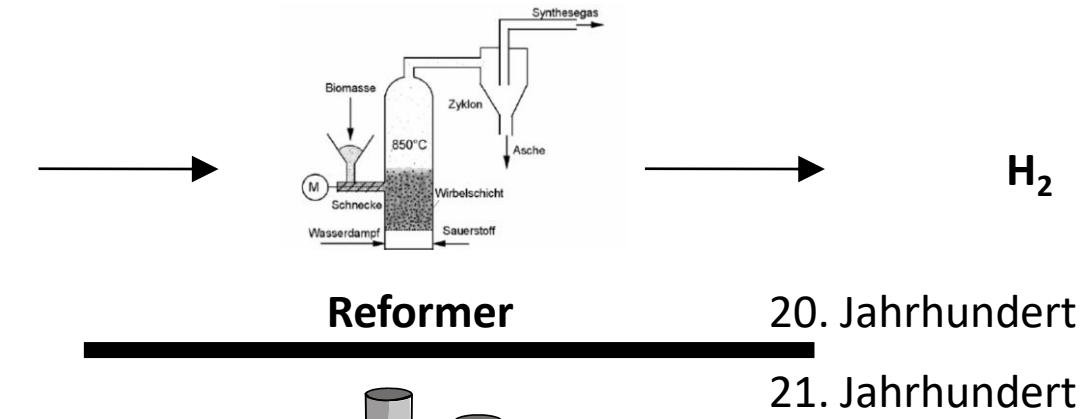
Erdgas



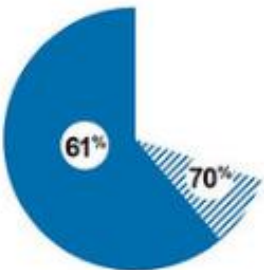
Strom



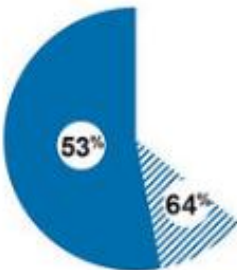
Biomasse



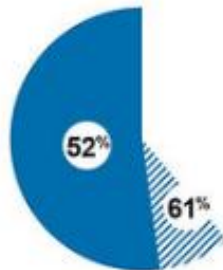
Power-to-X: Wie viel vom Strom übrig bleibt
Effizienz bei der Herstellung von Energieträgern aus Strom heute und in Zukunft



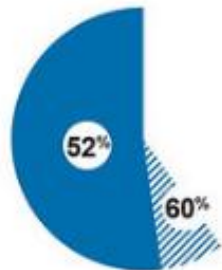
E-Wasserstoff
(gasförmig)



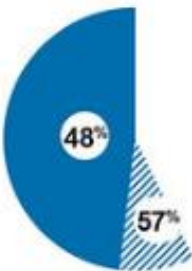
E-Wasserstoff
(verflüssigt)



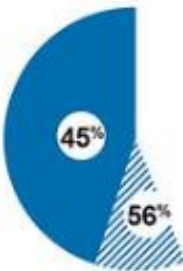
E-Methan
(gasförmig)



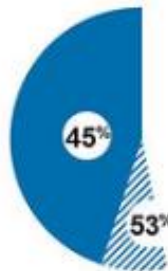
E-Ammoniak



E-Methan
(verflüssigt)



E-Methanol



E-Fuels

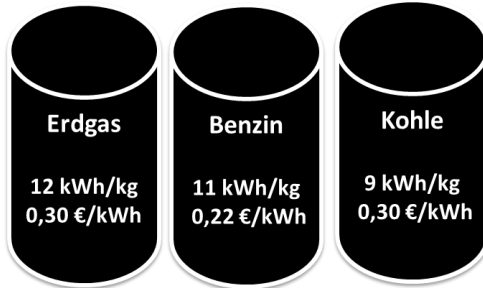
Umwandlungseffizienz

Pro eingesetzter Kilowattstunde Strom verbleiben x Prozent im PtX-Produkt

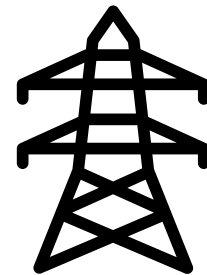
● Heutige PtX-Prozesse

▨ Potenzial in der Zukunft

* Öko Institut e.V. Power-to-X



Primärenergie



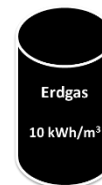
Sekundärenergie



4.000 GWh**



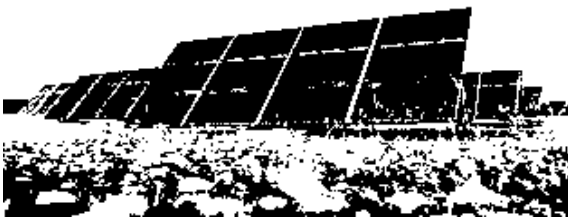
** 40 Mio. Fahrzeuge á 100 kWh bei Nutzung von 100 % Batteriekapazität



190.000 GWh***



57.000 GWh***



Konventioneller Antrieb

Tank

- 50 l
- $t = 3 \text{ min.}$
- 600 km



Verbrennungsmotor (€ 50/kW)
- 100 kW

Brennstoffzellen Antrieb

Tank

- 4 kg
- $t = 3 \text{ min.}$
- 500 km



Elektromotor
- 100 kW

Brennstoffzellensystem
- 100 kW

Elektromobilität

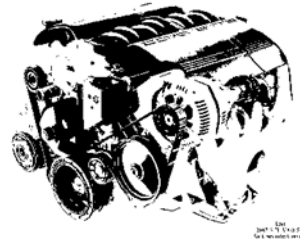
Batterien

- 70 kWh
- $t = 1,5 \text{ h}^*$
- 500 km



Elektromotor
- 100 kW

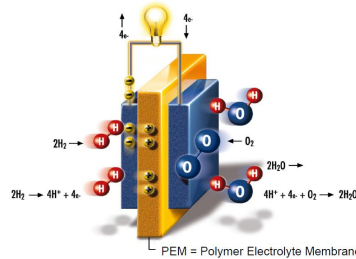
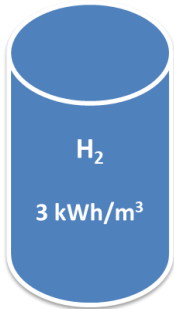
* Tesla Supercharger



€ 50 /kW



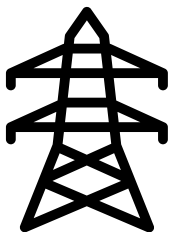
$\eta = 20 \%$



€ 1.000/kW



$\eta = 50 \%$

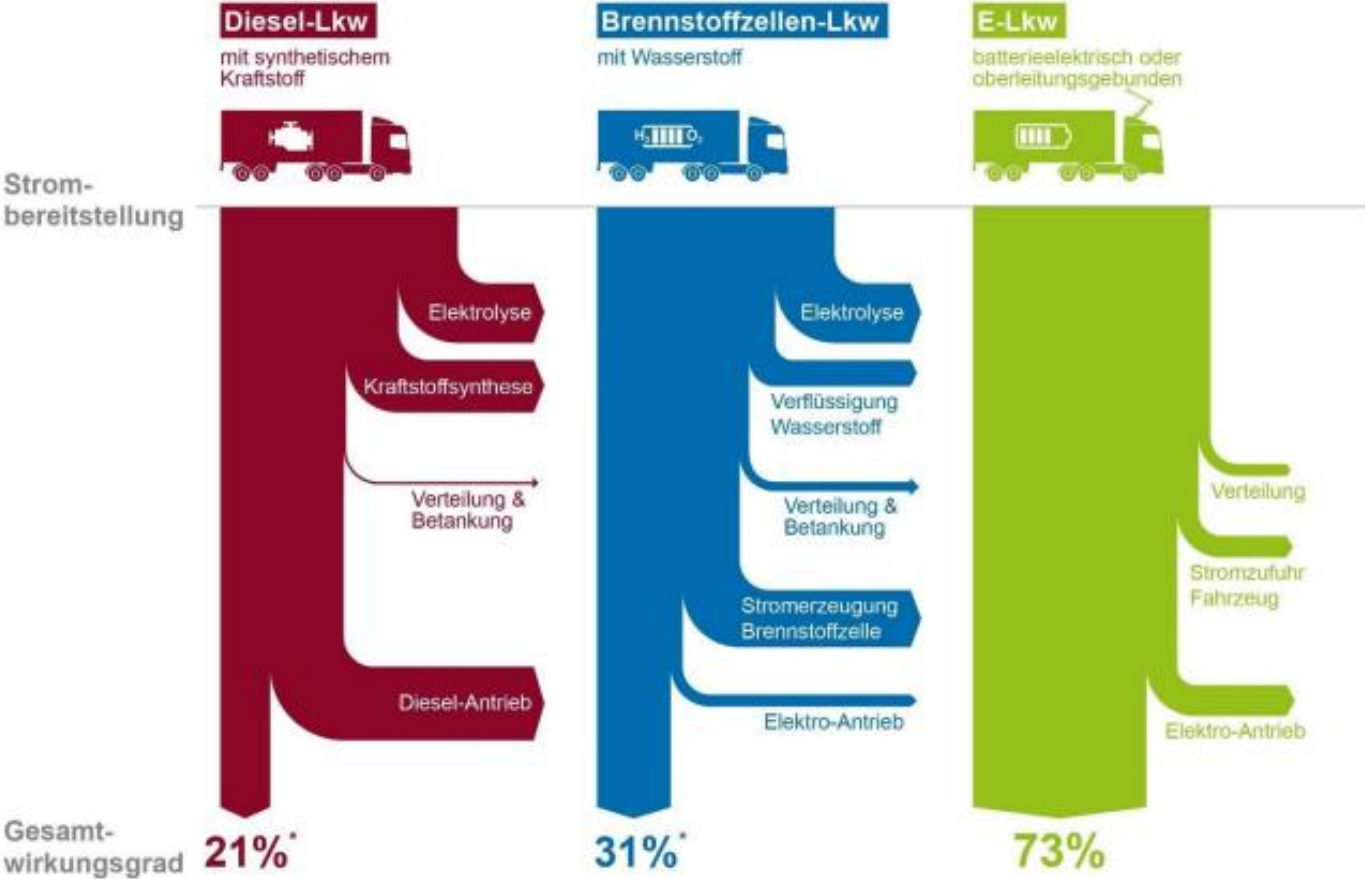


€ 135 /kWh



$\eta = 90 \%$

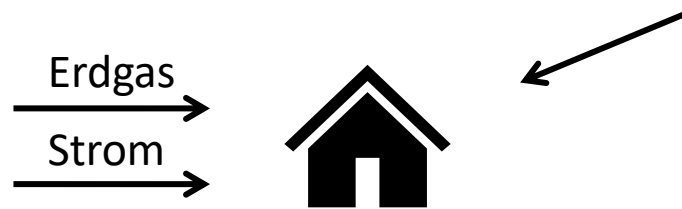




*bei Erschließung von Effizienzpotenzialen bei Elektrolyse, Kraftstoffsynthese und Brennstoffzelle

* Öko Institut e.V. E-Fuels im Verkehrssektor

Erdgasversorgung



Brennstoffzellen-BHKW*

Brennstoffzelle:

- 750 W el.
- 1 kW therm.

Brennwert-Gerät:

>15 kW

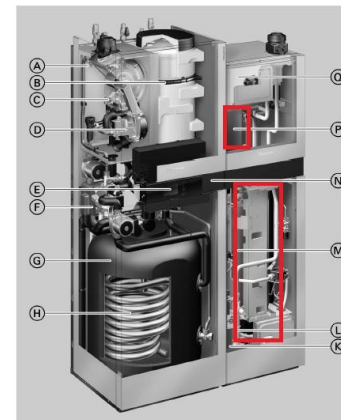
Brennstoffzellen-BHKW*

Brennstoffzelle:

- 750 W el.
- 1 kW therm.

Brennwert-Gerät:

>15 kW



- (A) Gas-Brennwertgerät zur Spitzenlastabdeckung
- (B) Trinkwasser-Speicher
- (C) Inox-Radial-Heizflächen aus Edelstahl Rostfrei
- (D) MatrIX-Zylinderbrenner mit Gaskombiregler
- (E) Regelung für witterungsgeführten Betrieb
- (F) Hydraulikeinheit
- (G) Heizwasser-Pufferspeicher
- (H) Heizwendel für Trinkwassererwärmung
- (K) Kartusche für deionisiertes Wasser
- (L) Siphon
- (M) Reformer
- (N) Stromzähler Kraft-Wärme-Kopplung
- (P) Brennstoffzellen-Stack
- (Q) Inverter

* Quelle Vissmann VITOVALOR 300-P

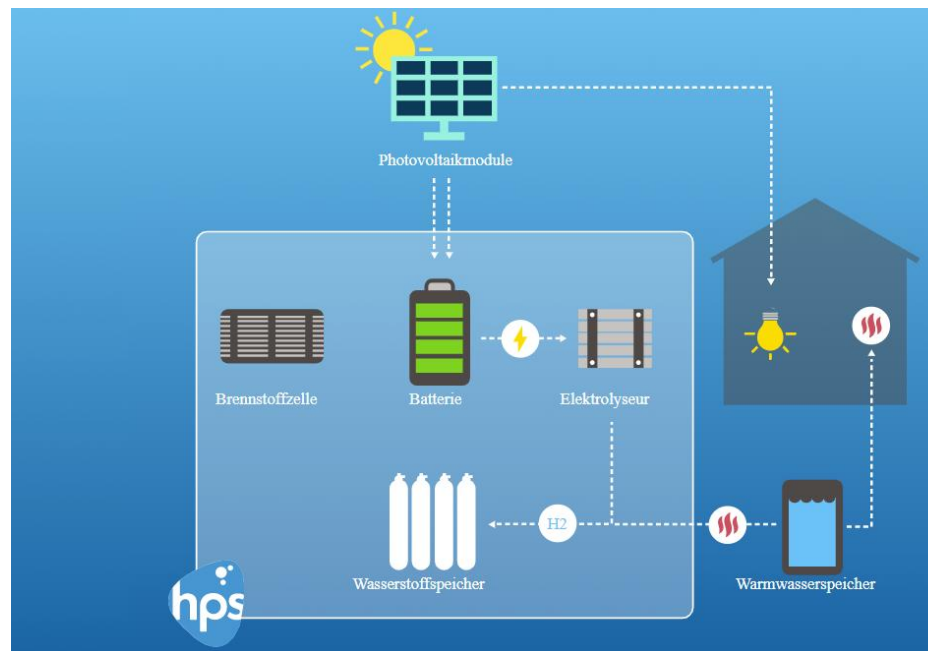
PV-Elektrolyse-System



picea-Komplett-System*

- H₂-Generator
- H₂-Speicher
- Batteriespeicher
- Brennstoffzellensystem

* HPS-System Picea ohne PV-Anlage



* Quelle HPS-Solutions



Mobiltelefon

Batterien

Ladezeit: ca. 1-3 h

Laufzeit: ca. 24 – 72 h



Quelle: Horizon Education



Quelle: eZelleron

Netzunabhängige 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

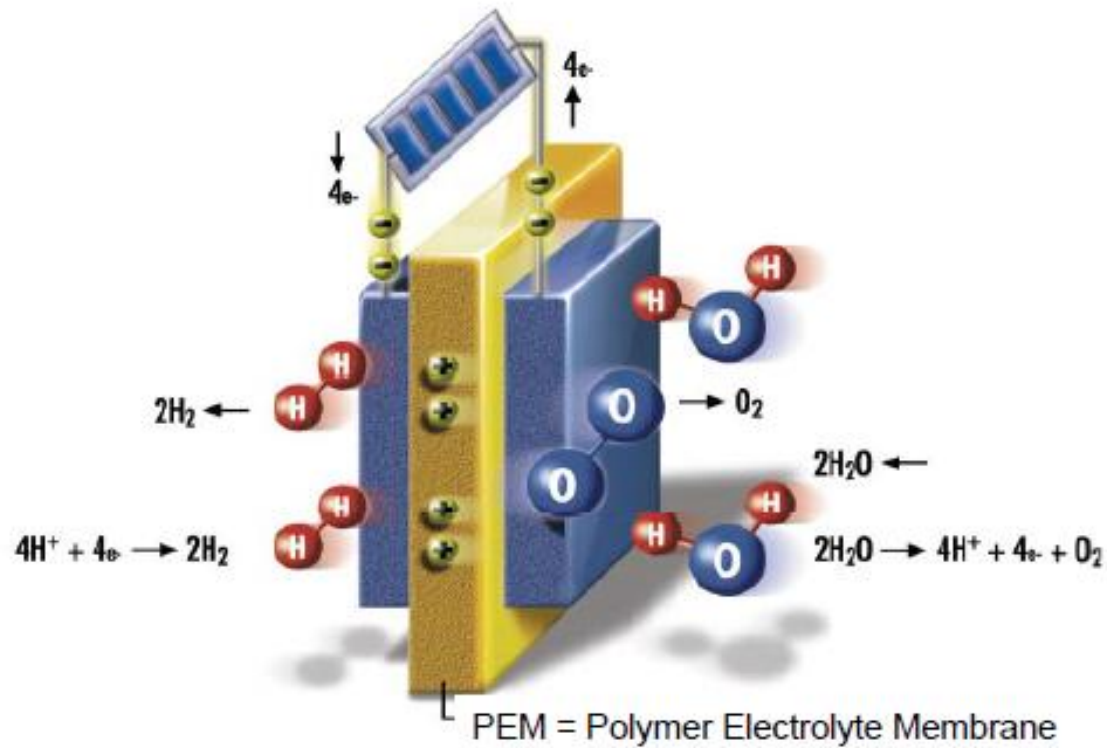
Feuerzeuggas

Kosten: ca. € 140

Ladezeit: ca. 15 Sekunden

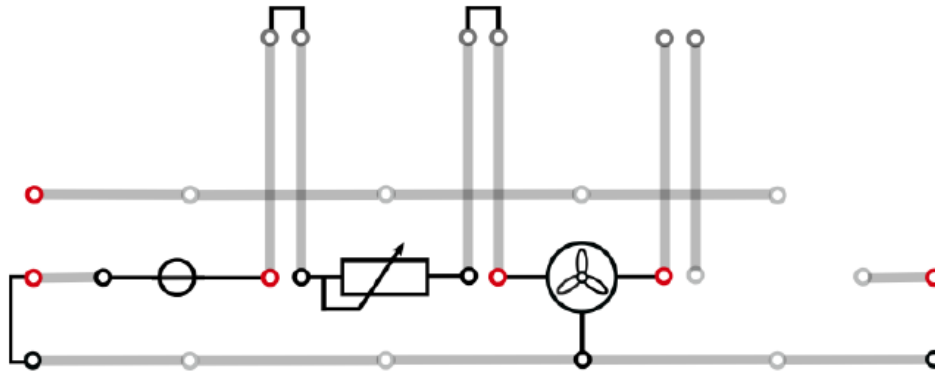
Kapazität: ca. 10 Wh

09:30 - 11:00	<i>Theoretische Grundlagen Energiespeicher</i>
11:15 - 12:30	<i>Wasserstoffproduktion</i> - <i>Grundlagen der Elektrolyse/Wasserstoffproduktion</i> - <i>Wasserstoffgeneratoren in der Anwendung</i> - <i>Wasserstoffspeicherung</i>
13:00 - 15:30	<i>Brennstoffzellentechnologie</i> - <i>Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie</i> - <i>Brennstoffzellensysteme in der Anwendung</i>
09:30 - 12:30	<i>Grundlagen Batterietechnologie 1</i> - <i>Zellspannung / SOC</i> - <i>Innenwiderstand</i> - <i>Entladeverhalten / Kapazitätsbestimmung</i> - <i>Ladeverfahren</i> - <i>Temperaturverhalten</i>
13:00 - 15:00	<i>Grundlagen Batterietechnologie 2</i> - <i>Batteriemanagement / Packaging</i> - <i>Berechnungsbeispiele verschiedener Speichersysteme</i>
15:00 - 15:30	<i>Abschlussdiskussion</i>

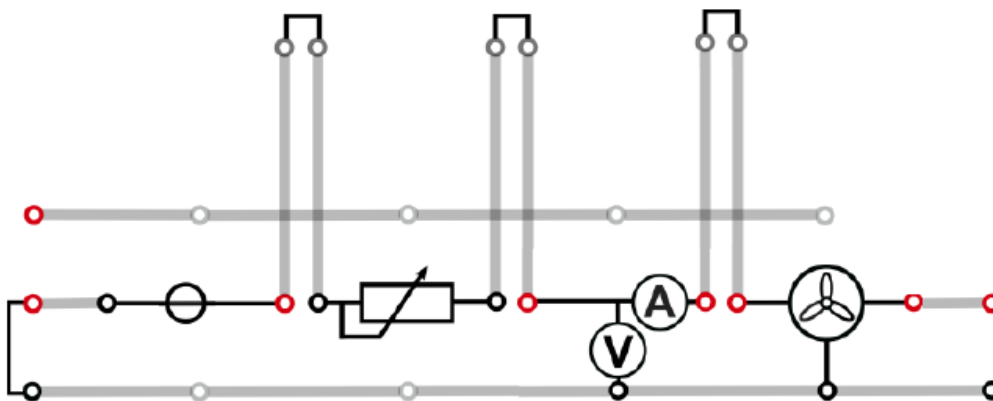


Standardpotential H_2/O_2
 $E^\circ 1,23 \text{ V}$

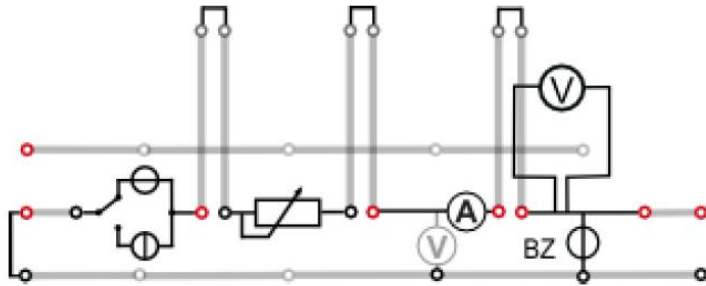
Aufbau einfacher Stromkreis



Strom- und Spannungsmessung

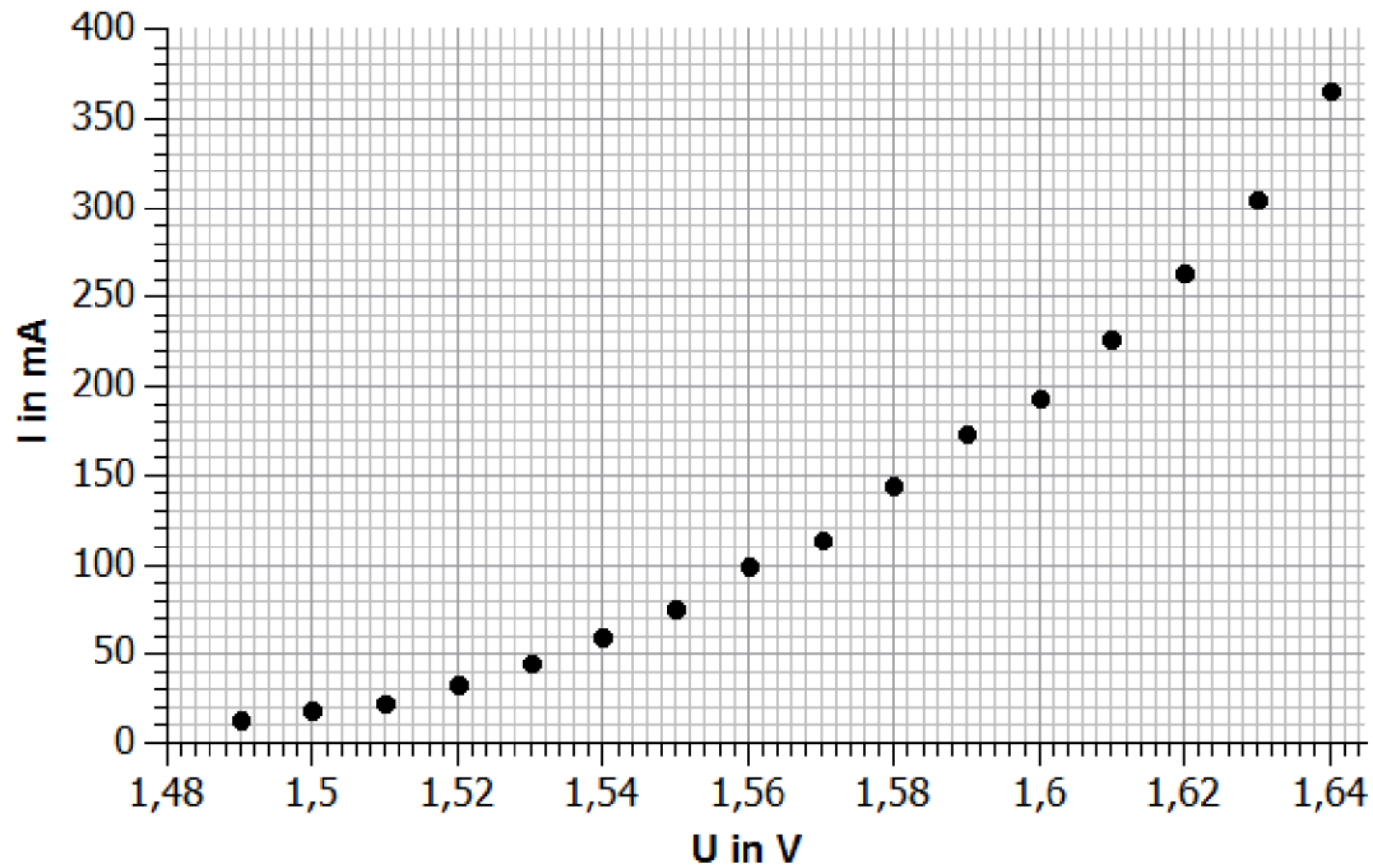


Aufbau



Standardpotential H₂/O₂
 $E^\circ 1,23 \text{ V}$

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



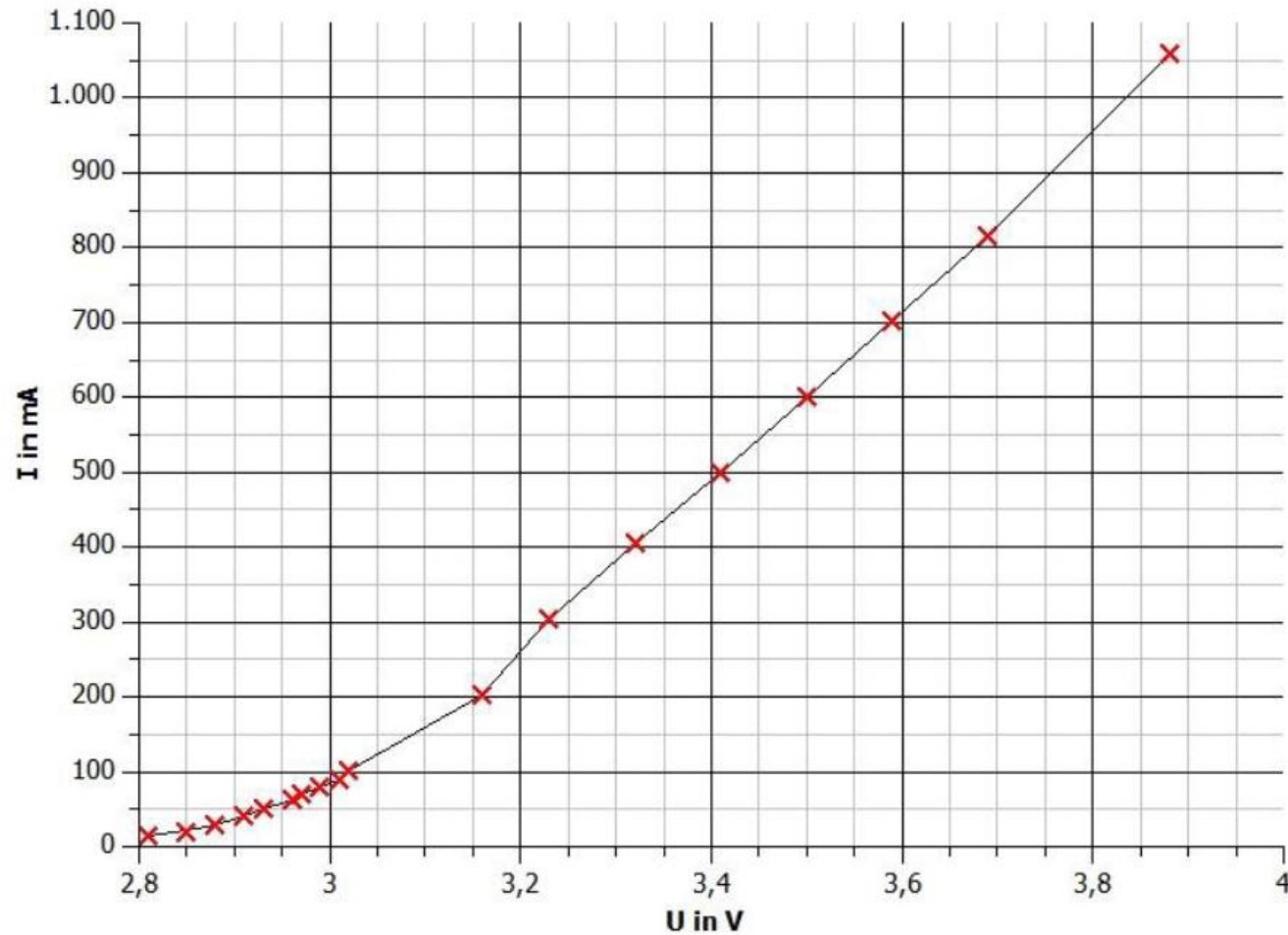
Strom [mA]	250	500
Spannung [V]		
t [sec] 7 ml H ₂		

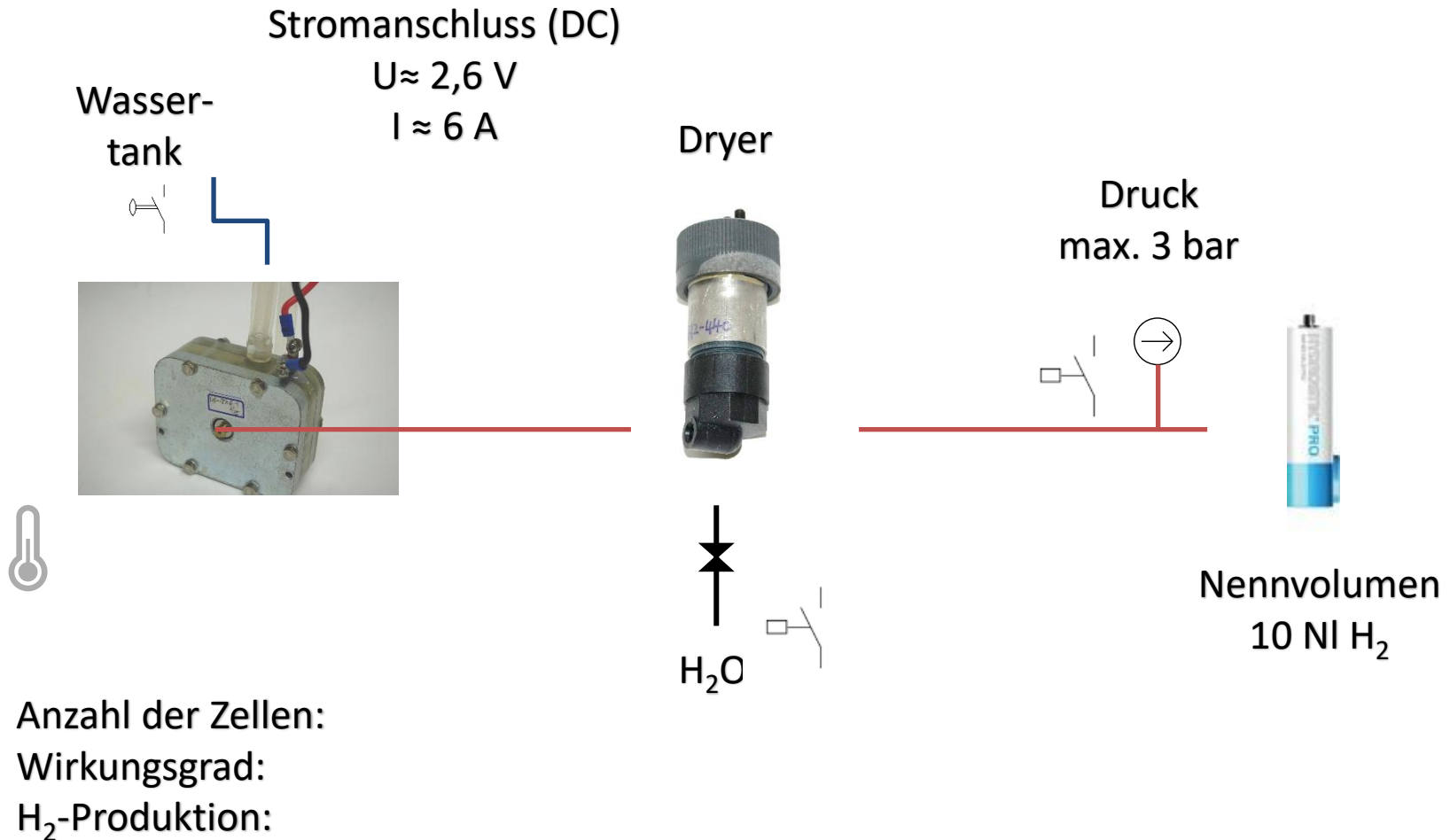


theoretische H₂-Produktion
7,0 ml/min @ 1 A (pro Zelle)

Wirkungsgrad

$$\eta = \eta_{(u)} = \frac{1,23 \text{ V}}{1,64 \text{ V}} = 75 \% \text{ (bei 400 mA)}$$





Druckgasflaschen

Druckbereich:
10 bar-700 bar



Flüssiggas Speicher

Temperatur:
< -253°C



Metallhydridspeicher

Druckbereich:
3 bar-30 bar



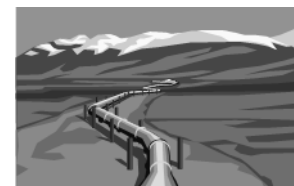
Synthetische Brennstoffe

Erdgas, Methanol,
Krosin...



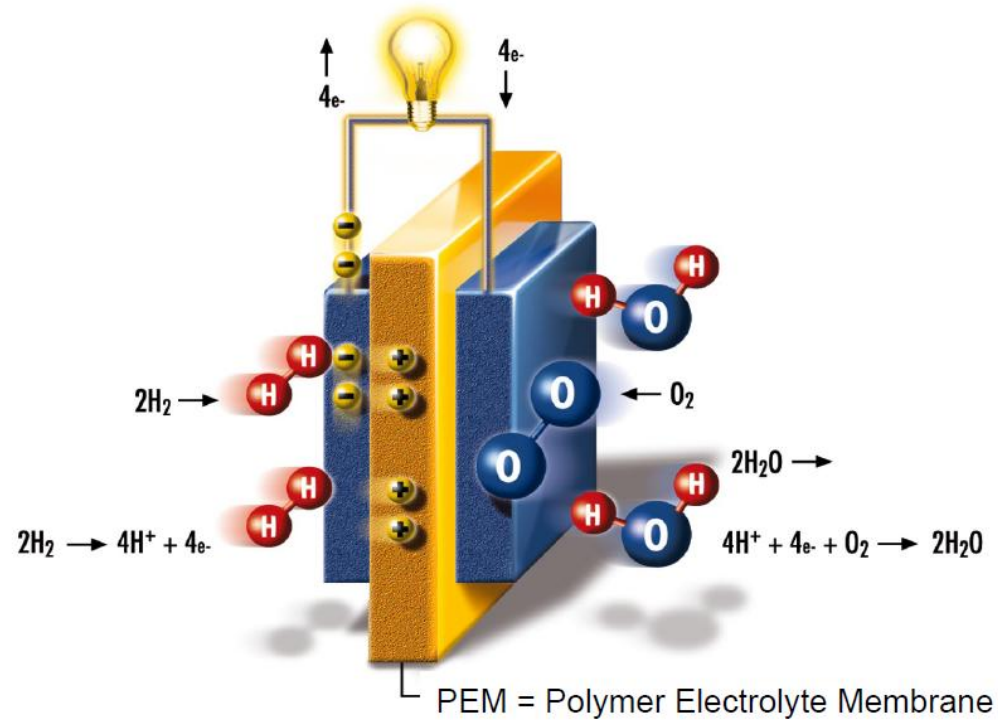
Salzkavernen, Gasleitungen

- geringe Investitionskosten

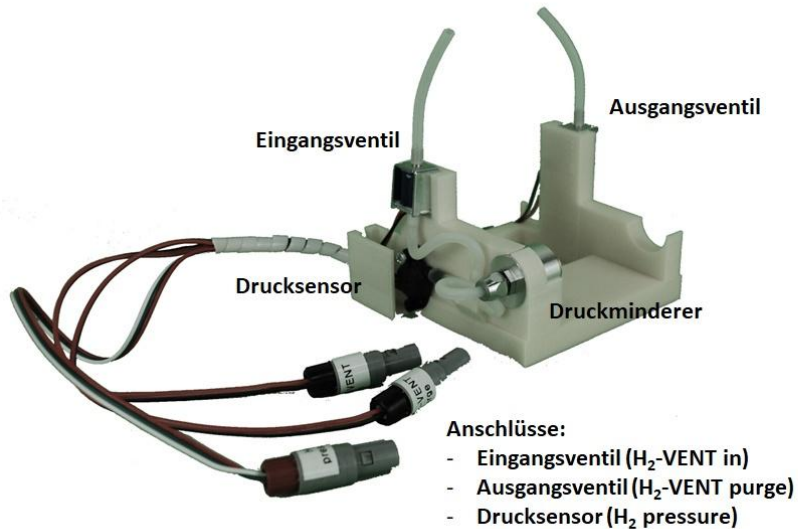


<i>09:30 - 11:00</i>	<i>Theoretische Grundlagen Energiespeicher</i>
<i>11:15 - 12:30</i>	<i>Wasserstoffproduktion</i> - <i>Grundlagen der Elektrolyse/Wasserstoffproduktion</i> - <i>Wasserstoffgeneratoren in der Anwendung</i> - <i>Wasserstoffspeicherung</i>
13:00 - 15:30	Brennstoffzellentechnologie - Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie - Brennstoffzellensysteme in der Anwendung
09:30 - 12:30	Grundlagen Batterietechnologie 1 - Zellspannung / SOC - Innenwiderstand - Entladeverhalten / Kapazitätsbestimmung - Ladeverfahren - Temperaturverhalten
13:00 - 15:00	Grundlagen Batterietechnologie 2 - Batteriemanagement / Packaging - Berechnungsbeispiele verschiedener Speichersysteme
15:00 - 15:30	Abschlussdiskussion

Standardpotential H₂/O₂
E° 1,23 V



H₂-Versorgung

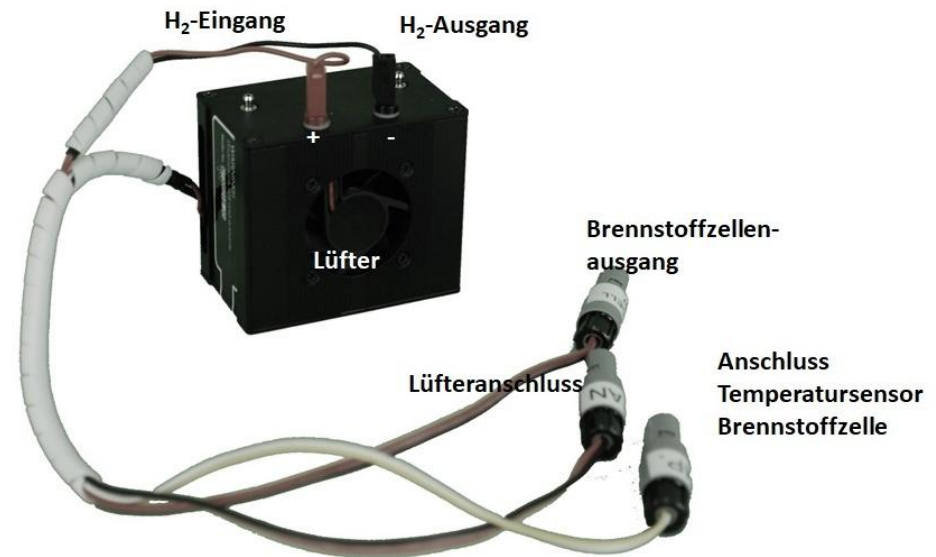


Brennstoffzellenmodul

Anzahl Einzelzellen: 13

Leerlaufspannung: ca. 12 V

Nennleistung: 20 W

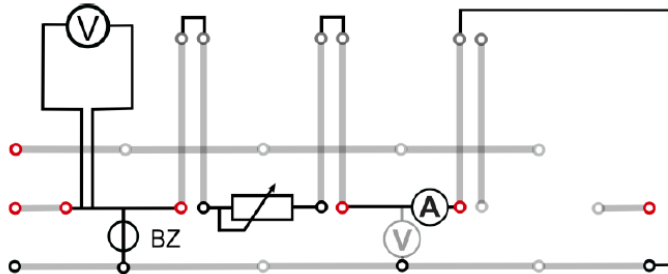


Steuerung



U-I-Kennlinie Brennstoffzelle

Aufbau



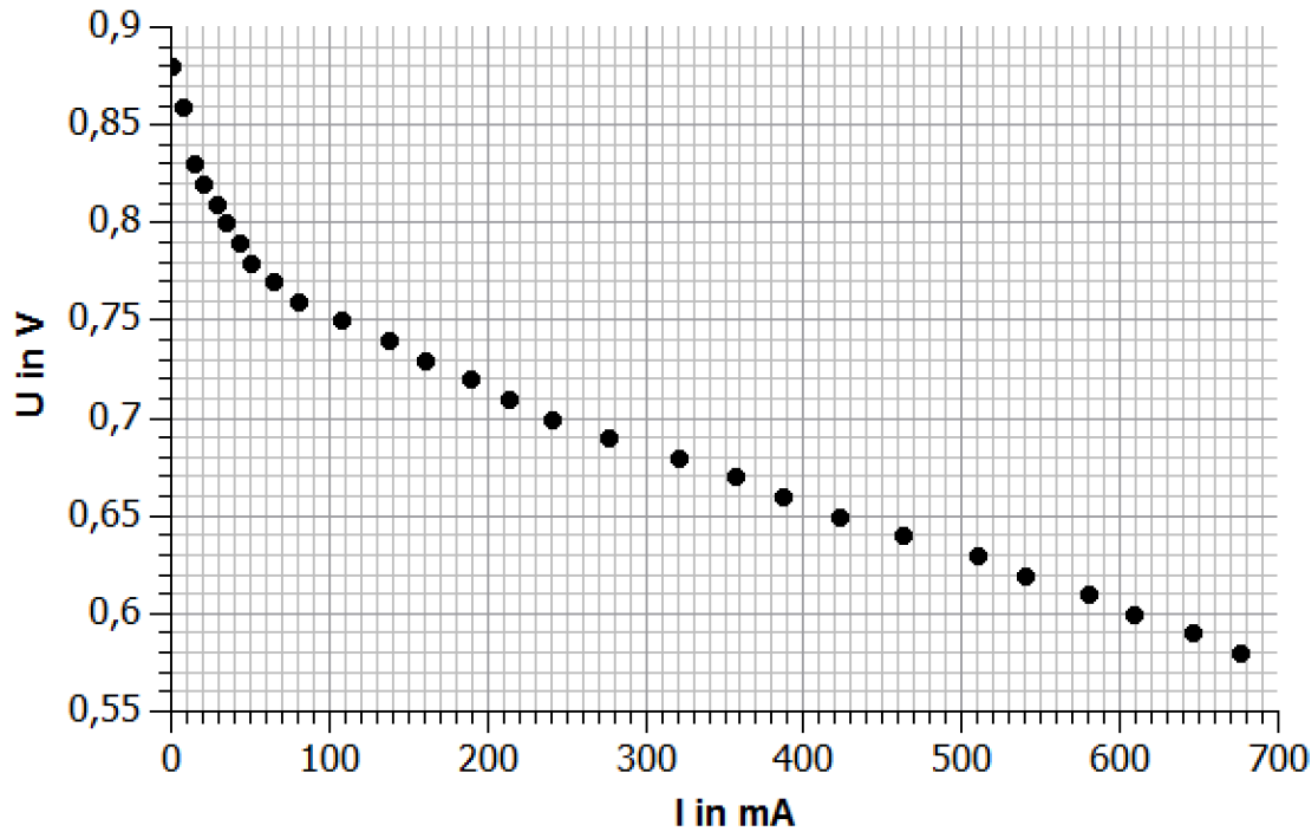
Standardpotential H₂/O₂
 $E^\circ 1,23 \text{ V}$



Strom [mA]	0	50	100	200	400	600
Spannung [V]						

- Grundfunktion mit Motor prüfen!

U-I-Kennlinie Brennstoffzelle



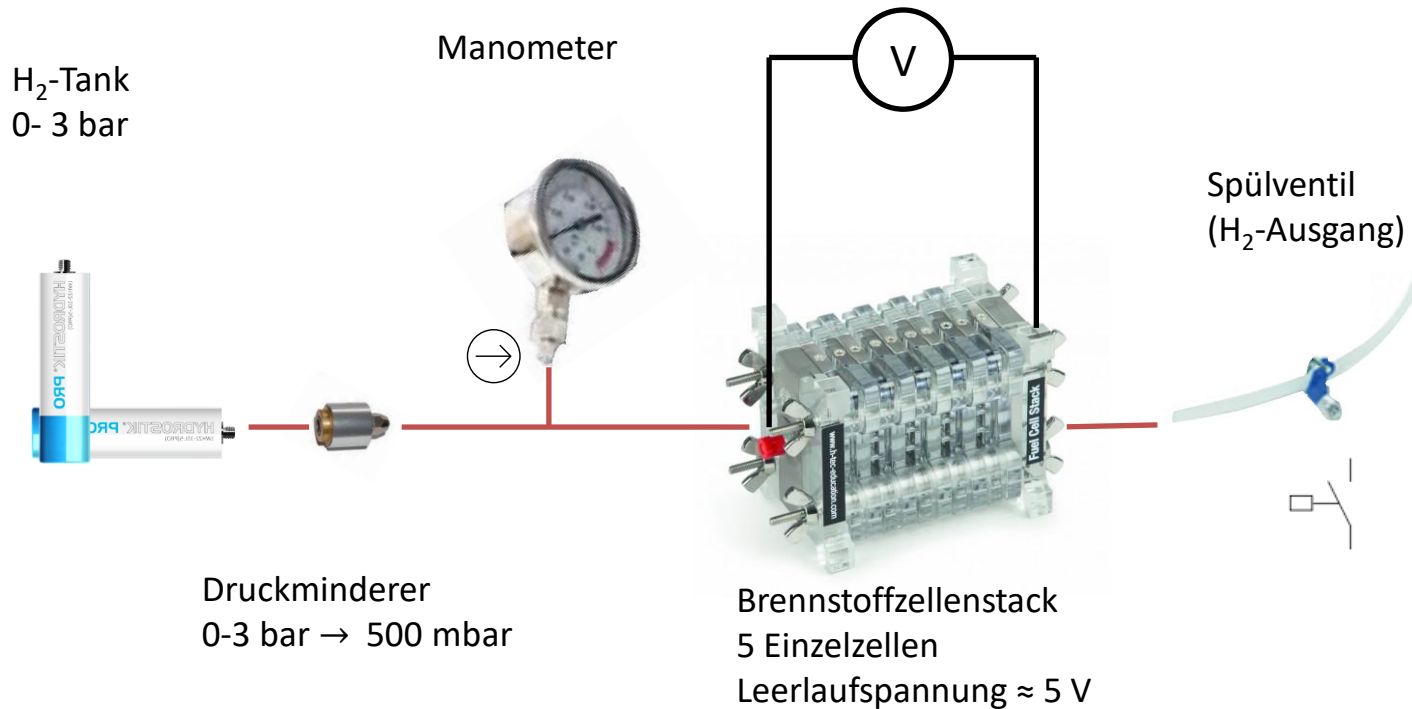
Strom [mA]	250	500
Spannung [V]		
t [sec] 7 ml H ₂		



theoretischer H₂-Verbrauch
7,0 ml/min @ 1 A (pro Zelle)

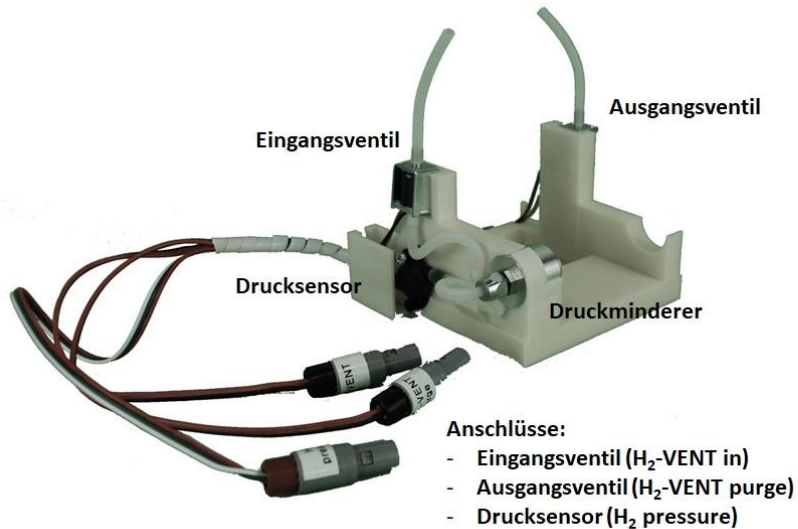
Wirkungsgrad

$$\eta = \eta_{(u)} = \frac{0,7 \text{ V}}{1,23 \text{ V}} = 57 \% \text{ (bei 250 mA)}$$



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

H₂-Versorgung

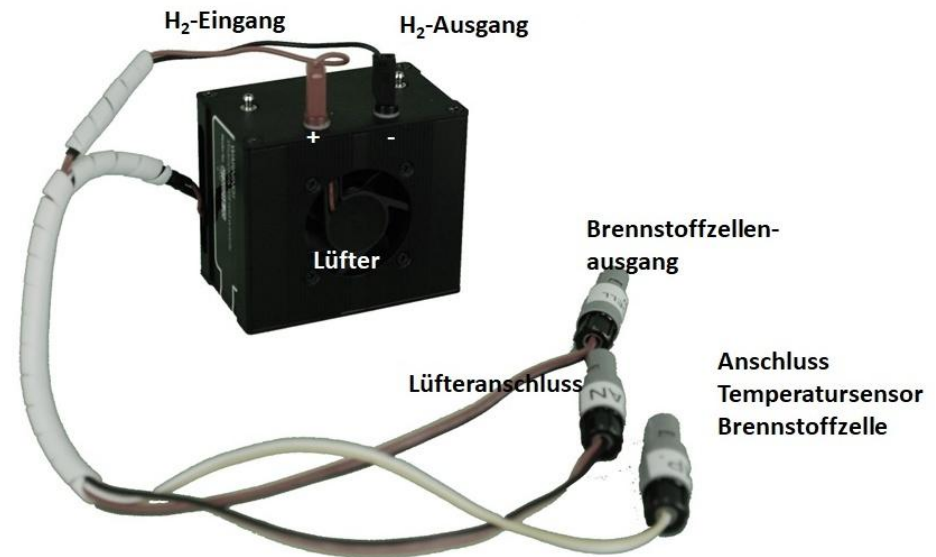


Brennstoffzellenmodul

Anzahl Einzelzellen: 13

Leerlaufspannung: ca. 12 V

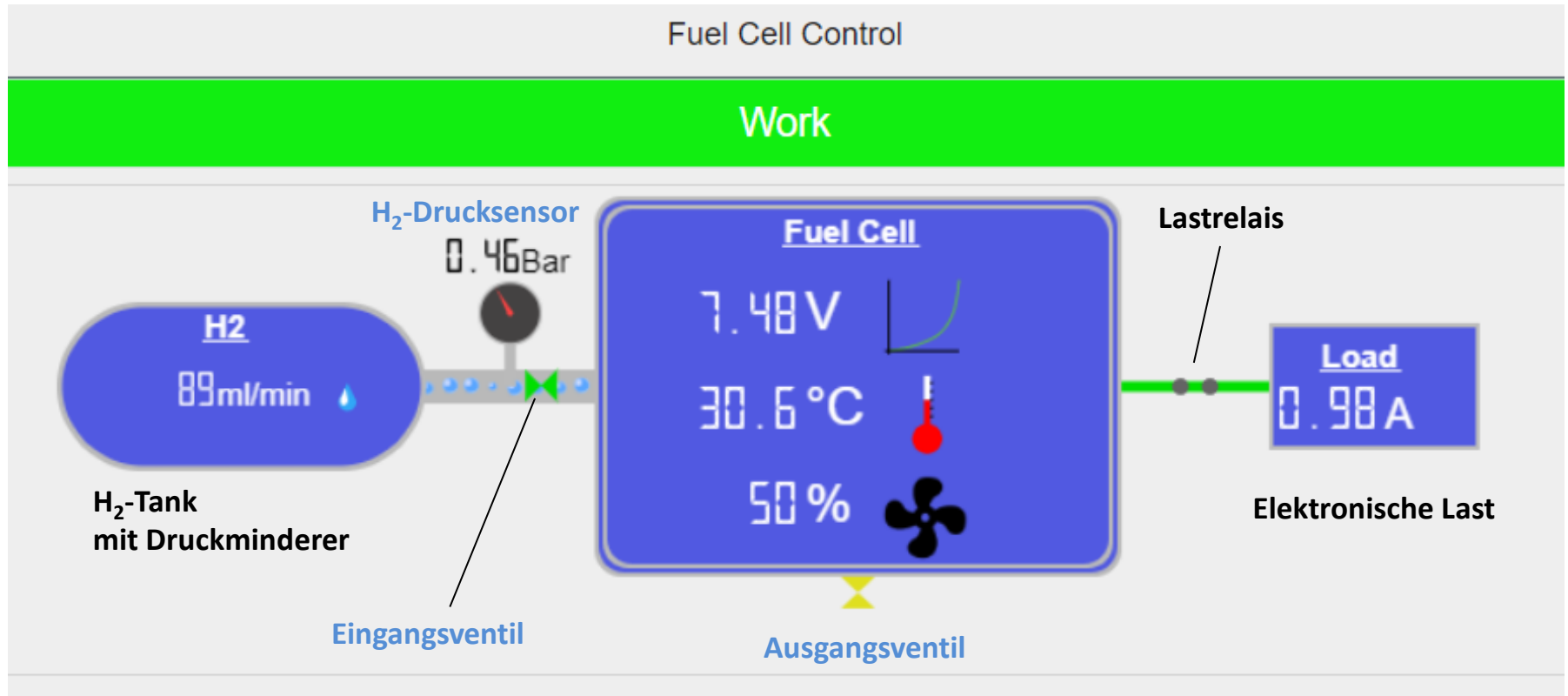
Nennleistung: 20 W



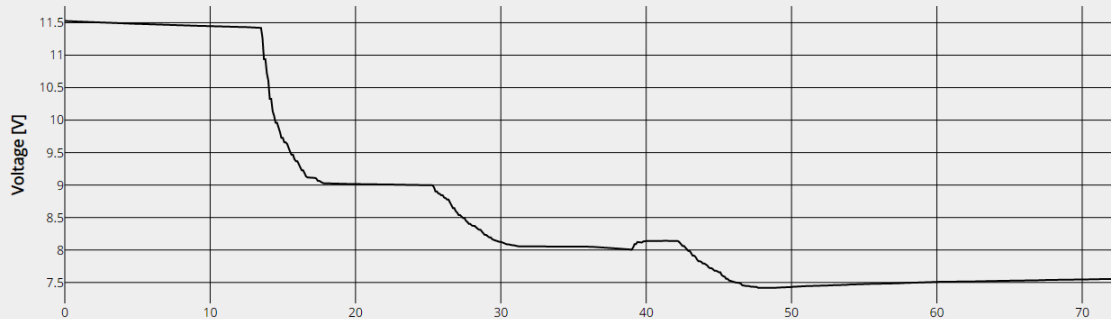
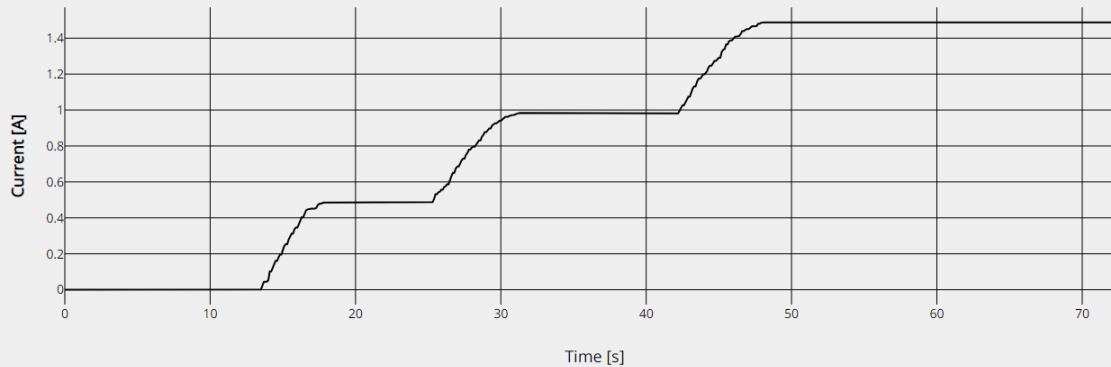
Steuerung



Brennstoffzellensystem Übersicht



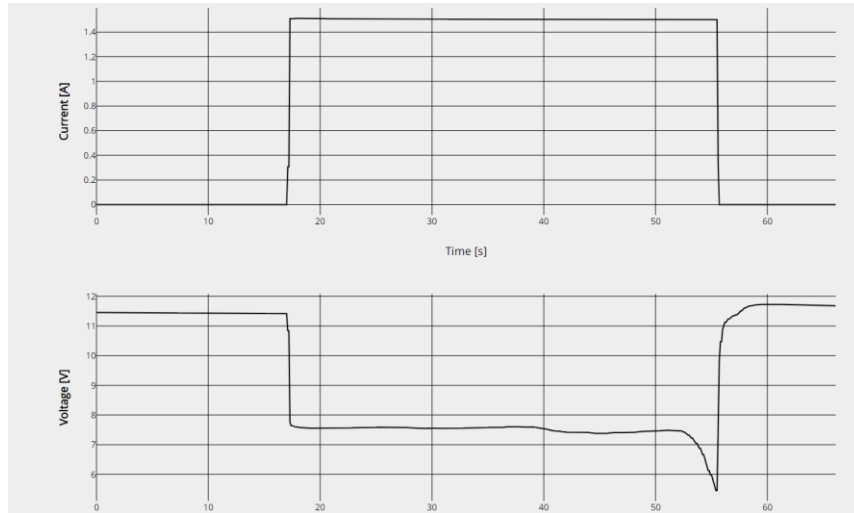
BZ- Qualitative Erstbetrachtung



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

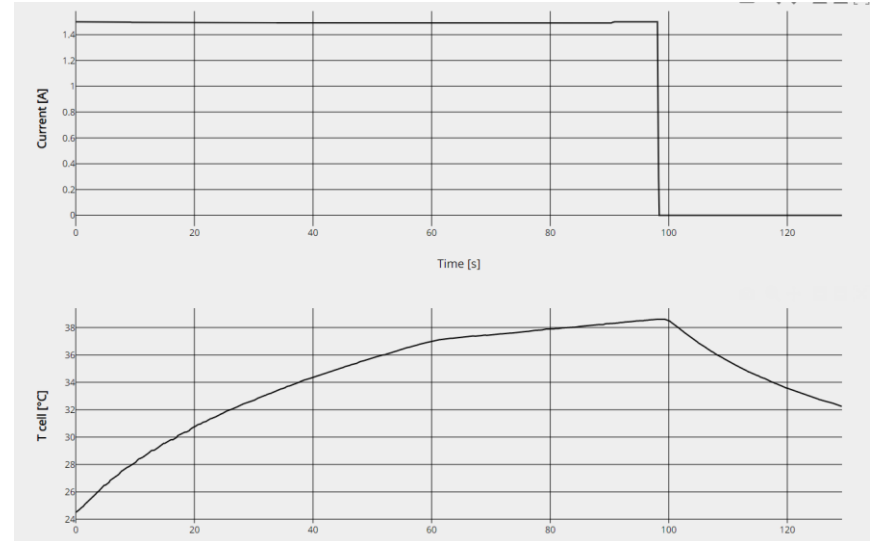
Leerlaufspannung: 11,5 V
 Spannung @ 2 A: < 7 V
 → DC/DC-Wandler
 (Leistungselektronik)

BZ- Lüfterfunktionen



Sauerstoffversorgung

$\Lambda \geq 1$
 Leistungseinfluss

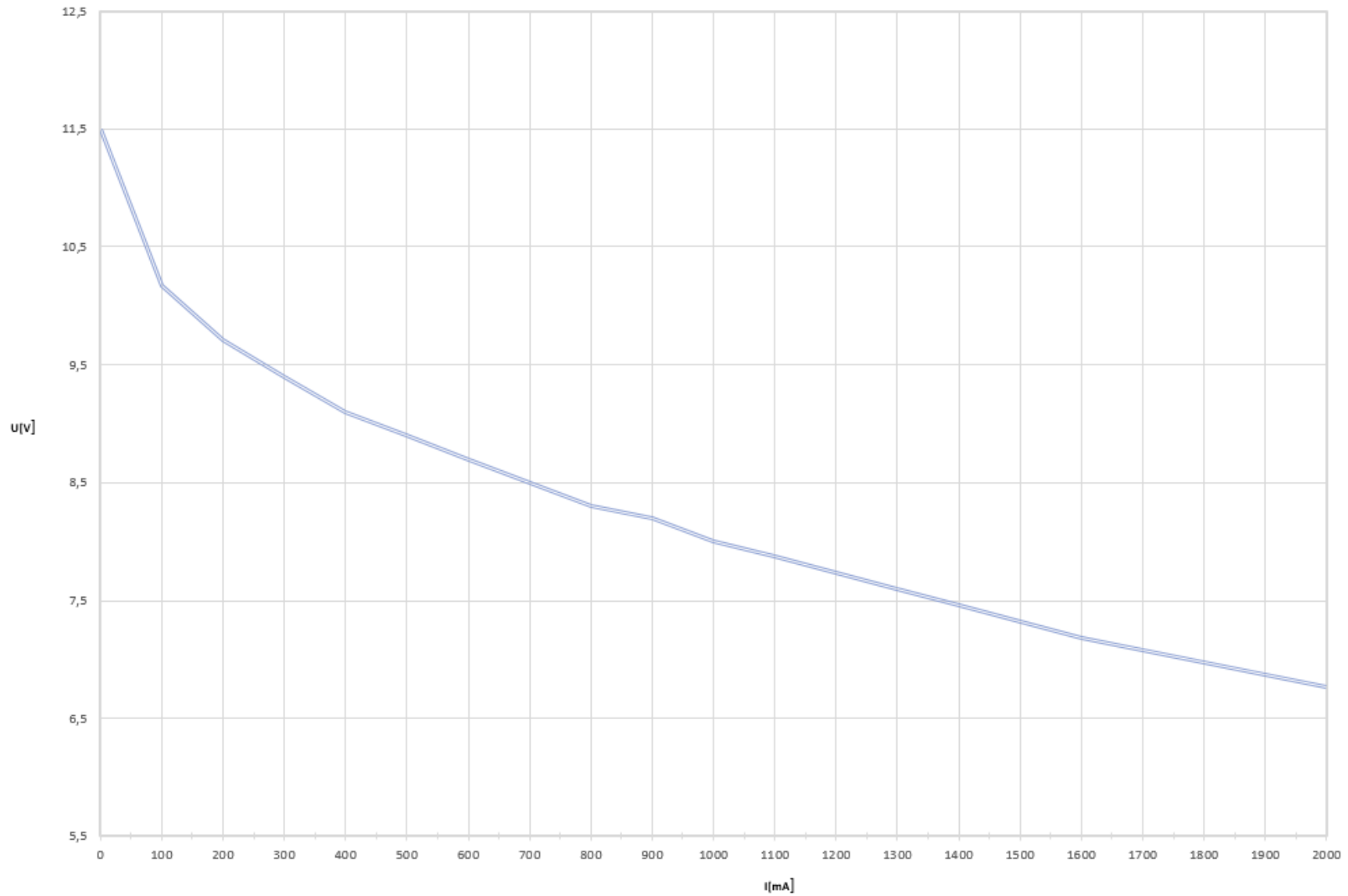


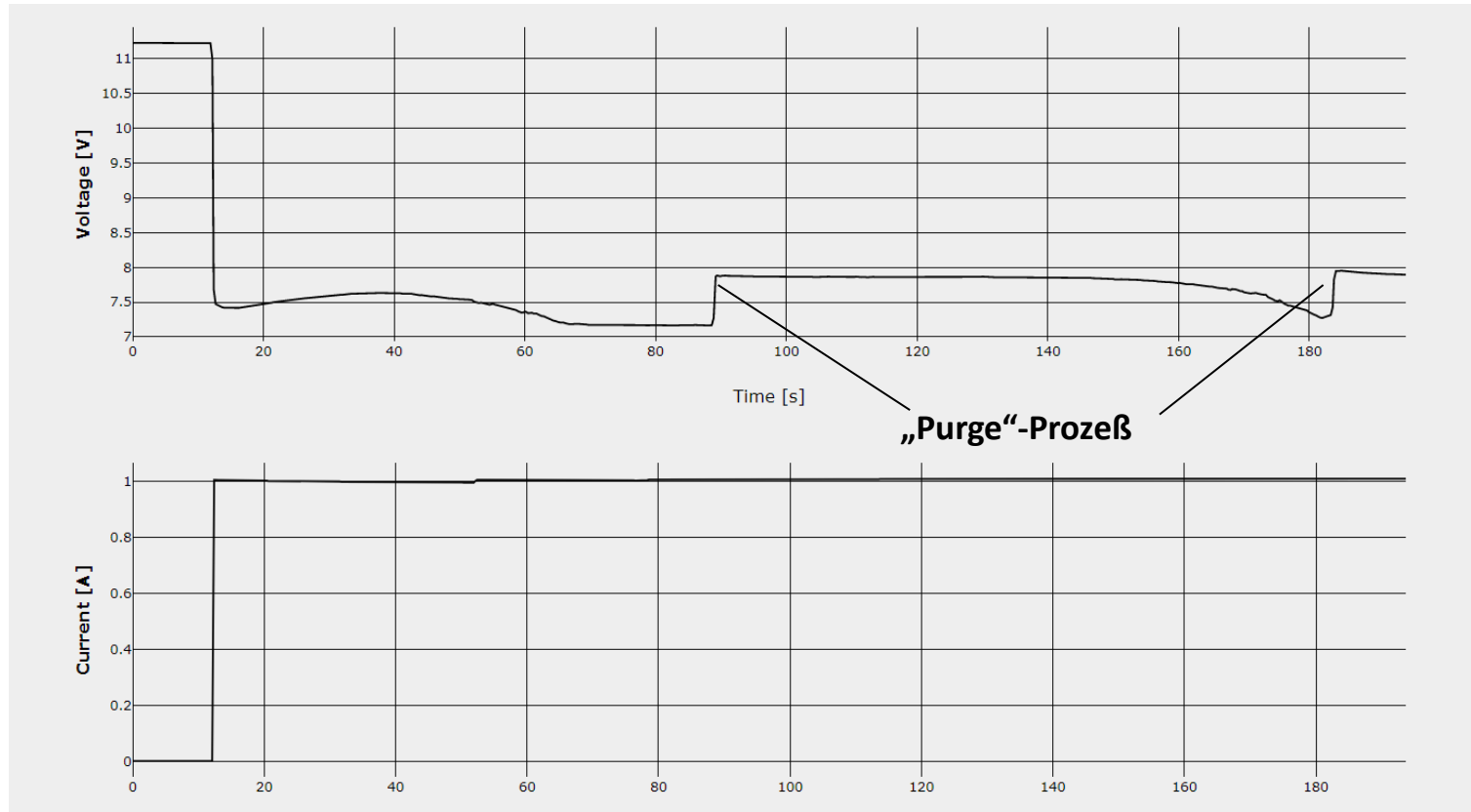
Kühlung

Temperaturbereich:
 0°C – 45°C

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

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





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 $T > 45^{\circ}\text{C}$

Brennstoffzellenmanagement

Purgeprozeß/Wassermanagement:

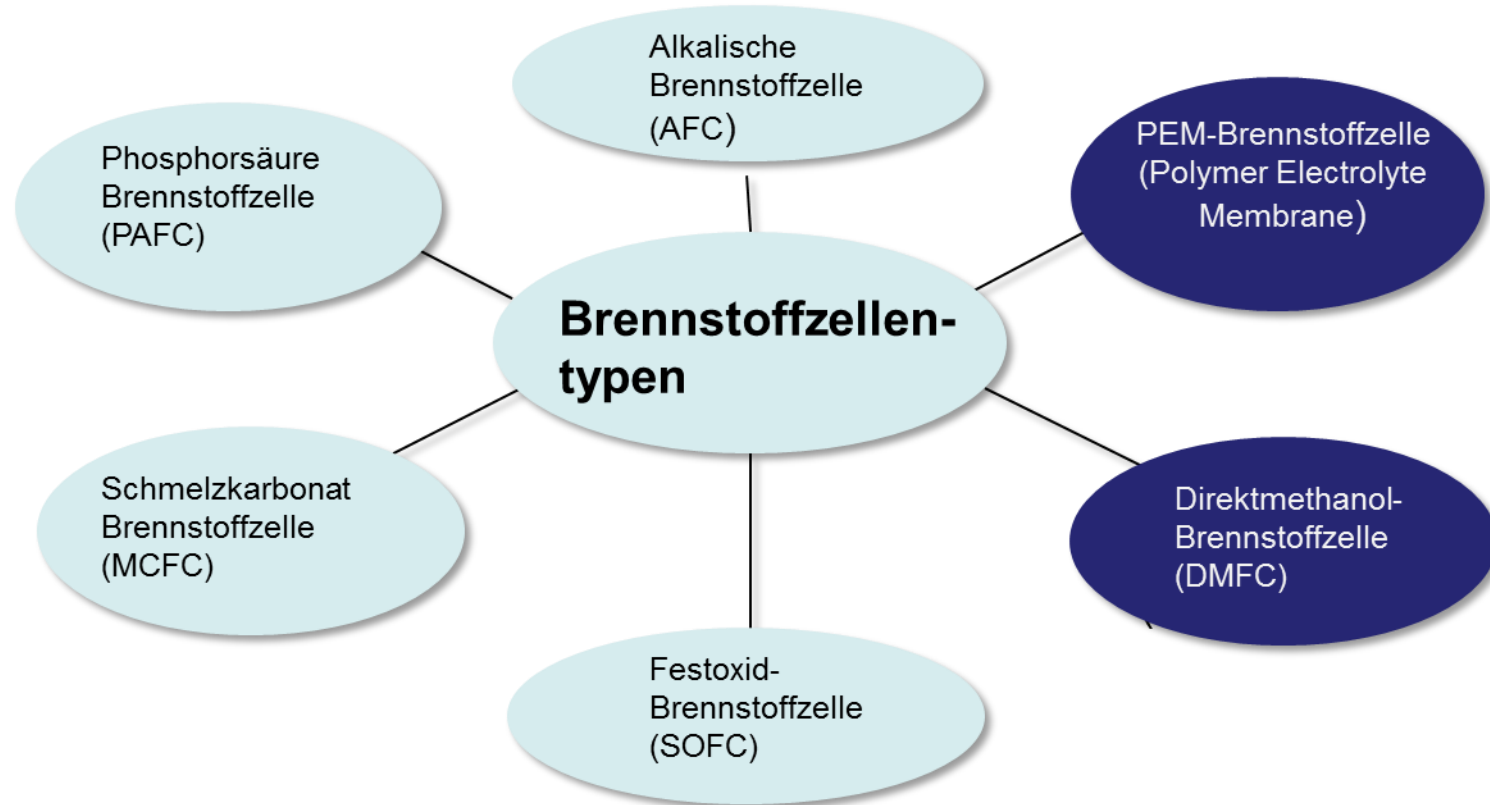
Der Purge-Prozeß/ das Wassermanagement der Brennstoffzelle wird über drei Kriterien gesteuert:

Zeit: 180 Sekunden

H₂-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.



Anwendung DMFC



Preis: € 4.750.-

2.3.2 Leistungsdaten¹ 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	

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)

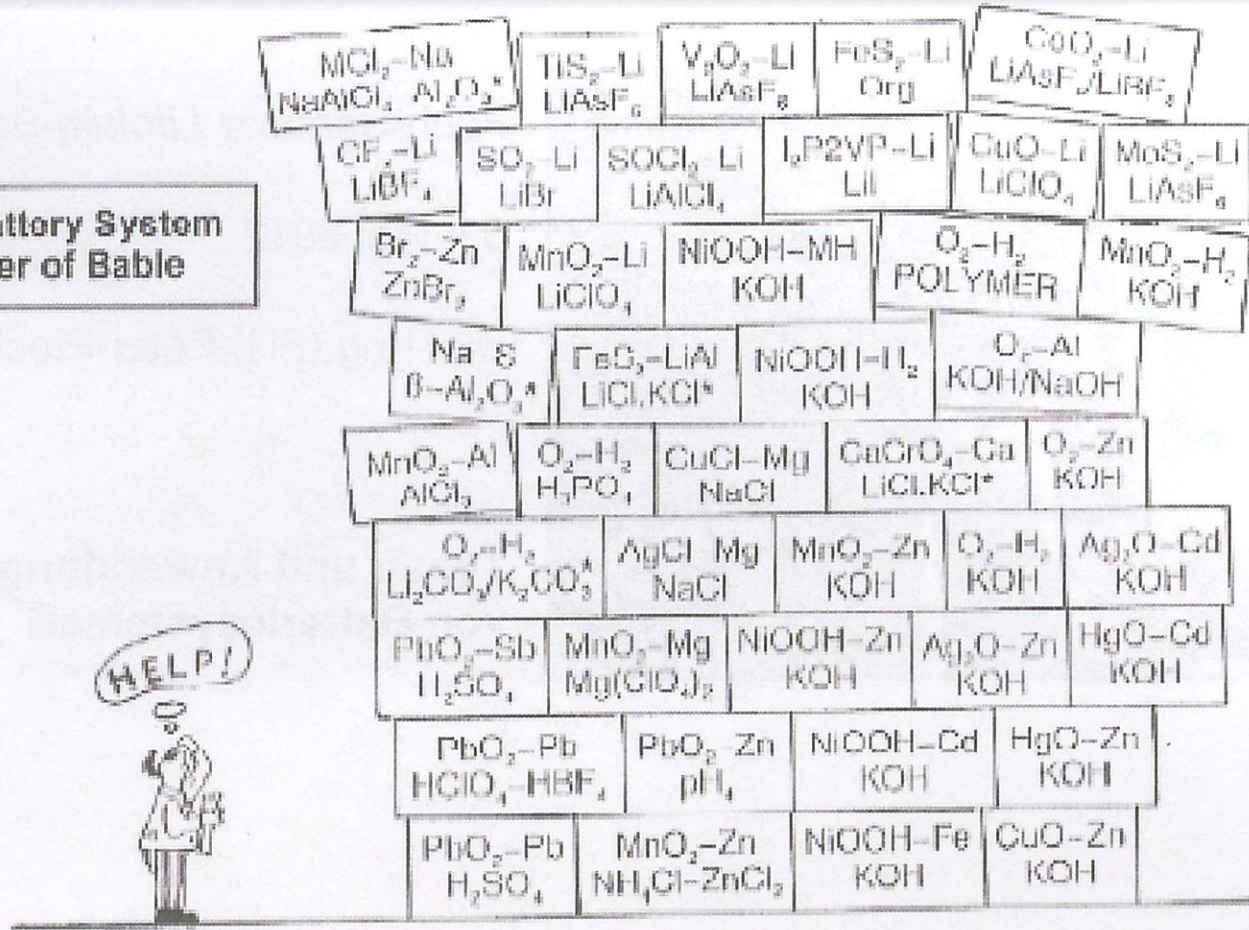
Service-Intervall

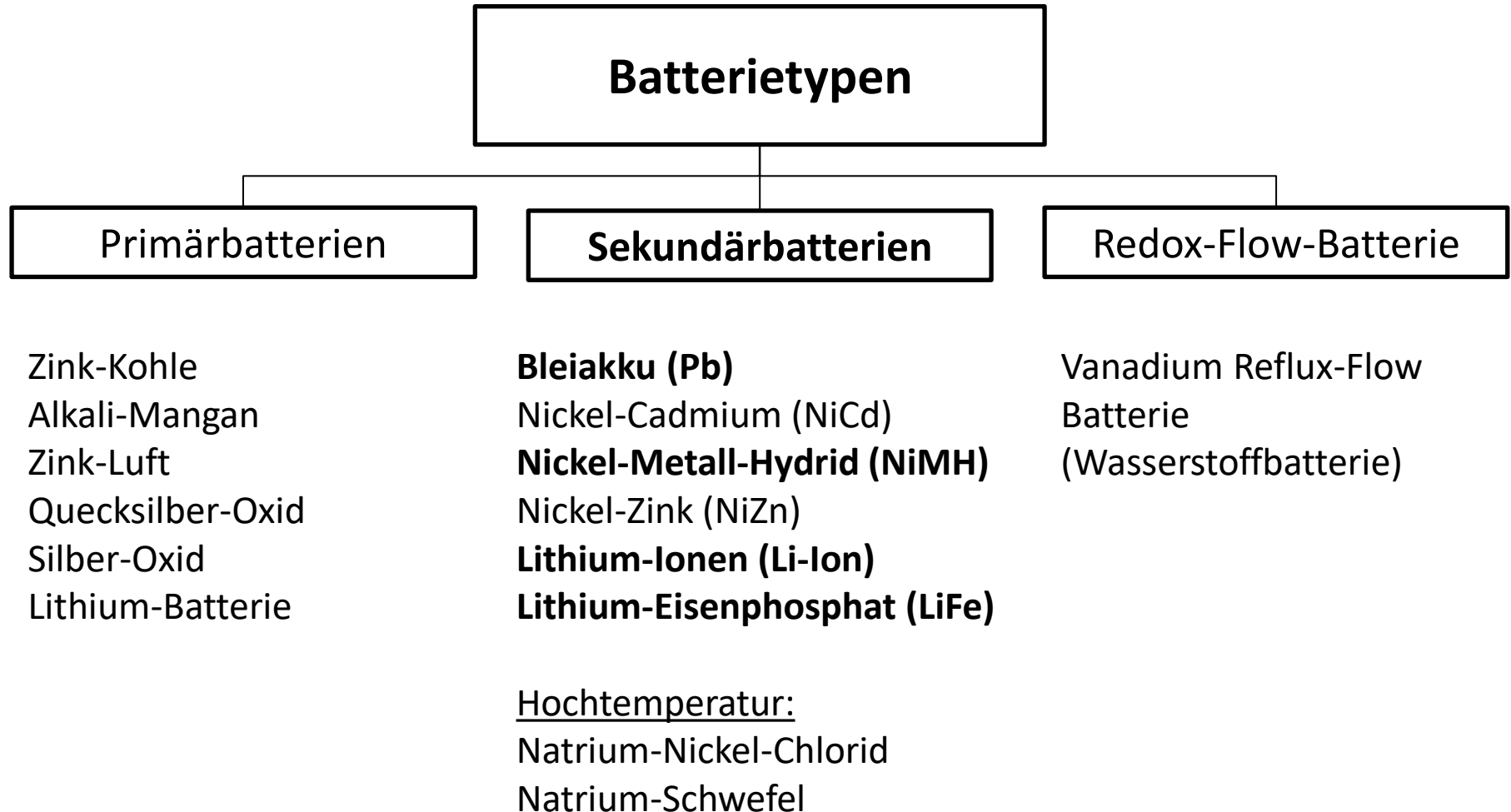
12 Monate

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

<i>09:30 - 11:00</i>	<i>Theoretische Grundlagen Energiespeicher</i>
<i>11:15 - 12:30</i>	<i>Wasserstoffproduktion</i> - <i>Grundlagen der Elektrolyse/Wasserstoffproduktion</i> - <i>Wasserstoffgeneratoren in der Anwendung</i> - <i>Wasserstoffspeicherung</i>
<i>13:00 - 15:30</i>	<i>Brennstoffzellentechnologie</i> - <i>Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie</i> - <i>Brennstoffzellensysteme in der Anwendung</i>
09:30 - 12:30	Grundlagen Batterietechnologie 1 - Zellspannung / SOC - Innenwiderstand - Entladeverhalten / Kapazitätsbestimmung - Ladeverfahren - Temperaturverhalten
13:00 - 15:00	Grundlagen Batterietechnologie 2 - Batteriemanagement / Packaging - Berechnungsbeispiele verschiedener Speichersysteme
15:00 - 15:30	Abschlussdiskussion

The Battery System Tower of Bable





Mechanische Kenndaten

- Volumen [cm³]
- Genormte Größen [AA,LR6, 18650]
- Gewicht [kg]
- Anschlüsse

Temperaturbereich

- Lagertemperaturbereich
- Entladetemperaturbereich
- Ladetemperaturbereich

Ladebedingungen

- Ladeart (CC,CV, Float, ΔU..)
- max. Ladestrom (C)
- max. Ladespannung [V]

- Selbstendladung [d]
- Ladezyklen [n]
- Lebenserwartung [y]

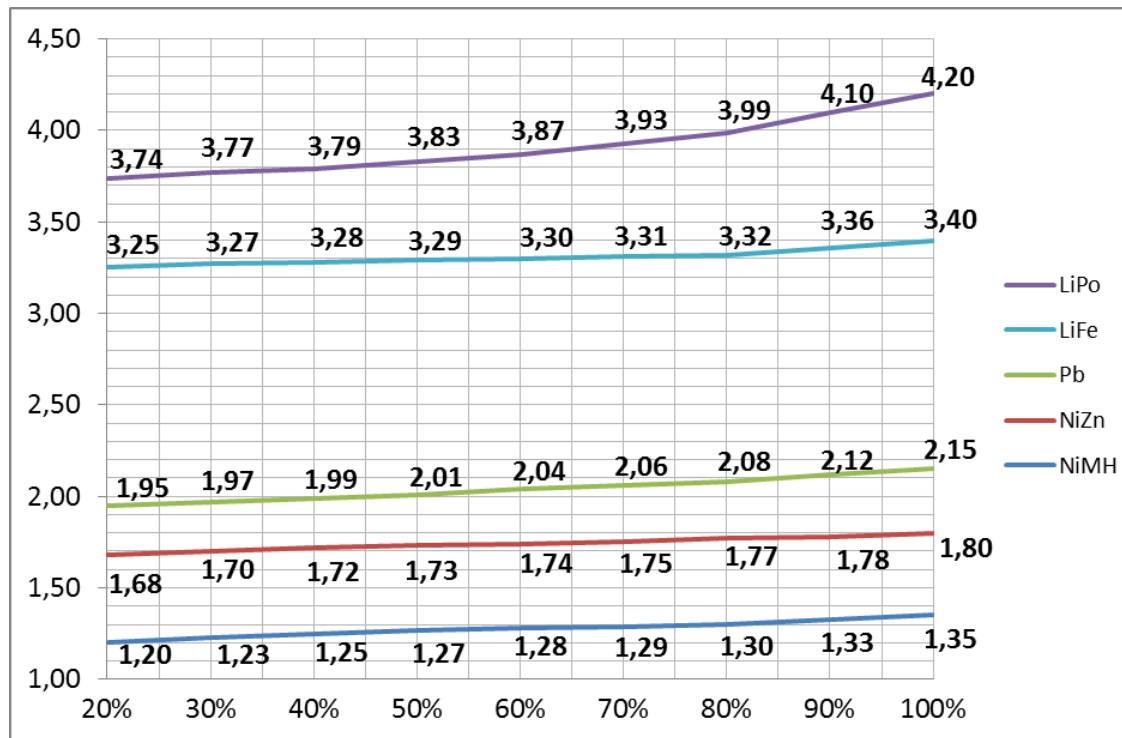
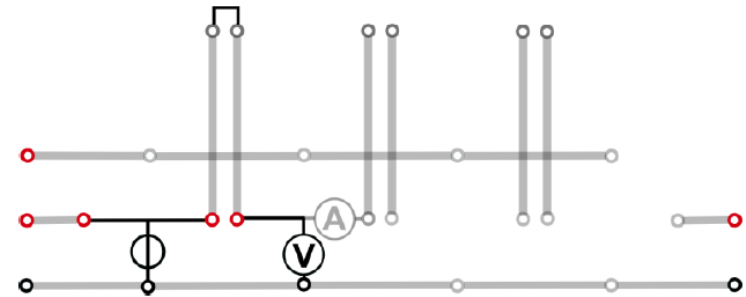
Typical Specifications (Ta = 25°C)	D Cell – 2.5Ah	X Cell – 5.0Ah	J Cell – 12.5Ah	BC Cell – 25.0Ah
Product Number	0810-0004	0800-0004	0840-0004	0820-0004
Capacity Rating				
20 hour rate	2.7Ah (125mA)	5.2Ah (250mA)	13.0Ah (625mA)	26.0Ah (1.25A)
10 hour rate	2.5Ah (250mA)	5.0Ah (500mA)	12.5Ah (1.25A)	25.0Ah (2.50A)
1 hour rate	1.8Ah (2.5A)	3.2Ah (5A)	9.0Ah (12.5A)	17.5Ah (25.0A)
Cell Power Rating				
Peak Power	(@135A)135W	(@200A)200W	(@350A)325W	(@600A)600W
Energy/Unit Volume (@ C/10 rate)	1.47 W-h/in ³	1.48 W-h/in ³	1.48 W-h/in ³	1.47 W-h/in ³
	0.09 W-h/cm ³	0.09 W-h/cm ³	0.09 W-h/cm ³	0.09 W-h/cm ³
Energy/Unit Weight (@ C/10 rate)	12.5 W-h/lb	12.3 W-h/lb	13.5 W-h/lb	14 W-h/lb
	27.5 W-h/kg	27.17 W-h/kg	29.7 W-h/kg	31 W-h/kg
Internal Resistance (max. for a charged cell)	10x10 ⁻³ ohms	6x10 ⁻³ ohms	4x10 ⁻³ ohms	2.2x10 ⁻³ ohms
Measured on Hewlett-Packard 4328A milliohm meter.				
Nominal Cell Voltage	2.0V	2.0V	2.0V	2.0V
Cell Temperature Range	Storage	-65°C to +65°C		
	Discharge	-65°C to +65°C		
	Charge	-40°C to +65°C		
Storage Time	Ta = 0°C	7,200 days		
	Ta = 23°C	1,200 days		
	Ta = 65°C	60 days		
Atmospheric Pressure Range	0-8 Atmospheres			
Cell Charging	Constant Voltage			
	cyclic	2.40-2.60V		
	float	2.30-2.40V		
	Constant Current			
	cyclic, maximum	C/3 rate for D, X, J cells,		
		C/5 rate for BC cells		
	float, maximum	C/500 rate		
Cycle Life	200-2,000 cycles	200 cycles — 100% depth of discharge, one cycle per day (Charge: 2.45V constant voltage, no current limit; Discharge: C/5 rate); 2000 cycles — 25% depth of discharge (Charge: 2.45V/cell for 7.5 hrs. — 2.0A current limit; Discharge: C/2 rate for 30 min); More cycles are available with shallower discharges.		
Expected Float Life	8 years	Based on accelerated test methods, 2.35 volts constant voltage charge at 23°C ambient temperature.		

Entladebedingungen

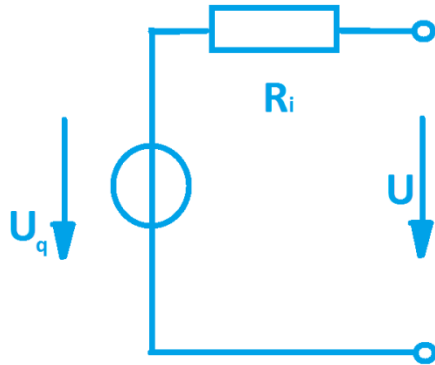
- max. Entladestrom
- Entladeschlussspannung

Elektrotechnische Spezifikationen

- Nominelle Zellspannung
- Kapazität
- Innenwiderstand
- max. Leistung
- Energiedichte



* SOC, State of Charge

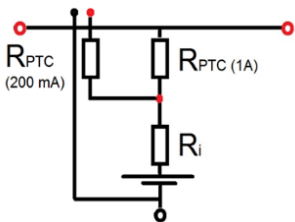
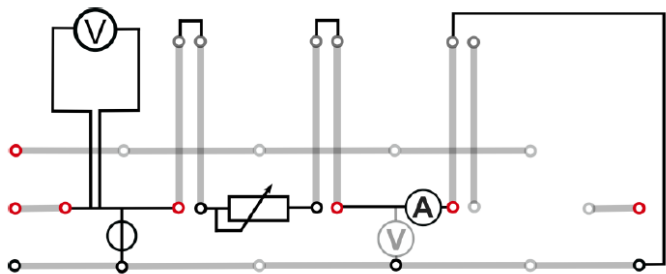


- Je größer die Kapazität desto kleiner ist der R_i
- Der Innenwiderstand vergrößert sich irreversible mit zunehmender Alterung/Zyklenzahl
- Mit der Innenwiderstandsbestimmung kann somit eine Zustandsbestimmung durchgeführt werden.

Bsp.: BOL: $R_i = R_0$; EOL: $R_i = 150 \% R_0$

- Der Innenwiderstand ist maßgeblicher Faktor für den Wirkungsgrad einer Batterie!

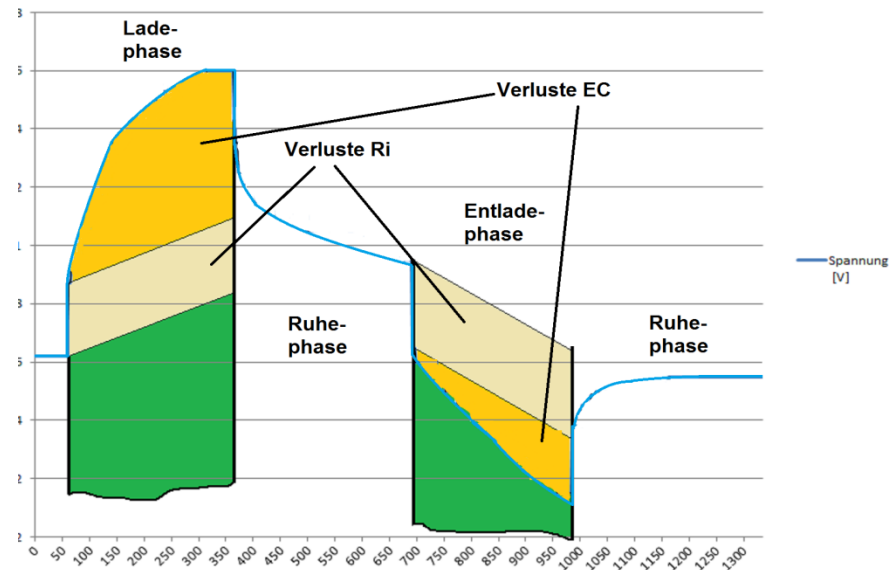
Aufbau



Akku-Typ	U_0 in V	I_{last*} in mA	U_{Last} in V	R_i in m Ω	η
		500			
		500			
		500			

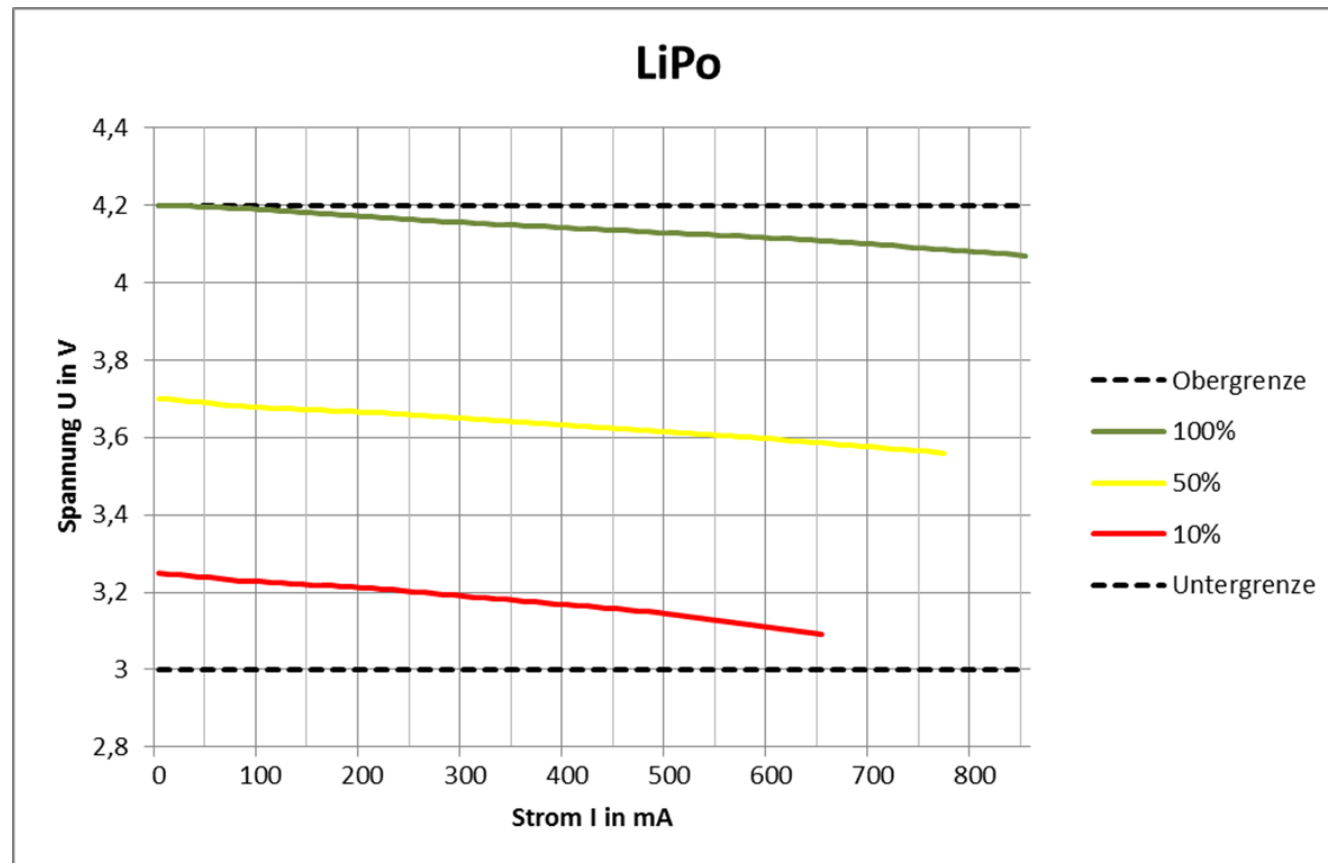
$$R_i = \frac{U_0 - U_{Last}}{I_{Last}}$$

$$\eta = \frac{U_{Last}}{U_0}$$



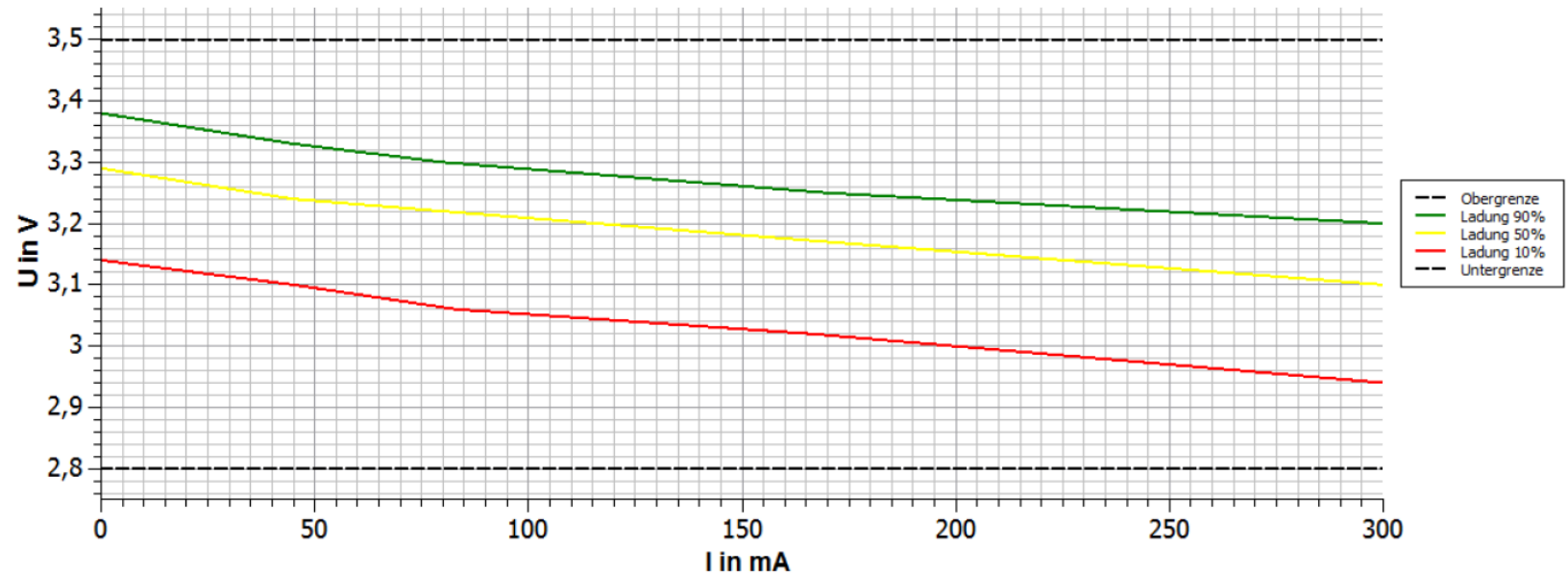
$$\eta(w) = \frac{W_{\text{entladen}}}{W_{\text{laden}}}$$

R in Ω	∞	100	50	33	10	5
U in V						
I in mA						



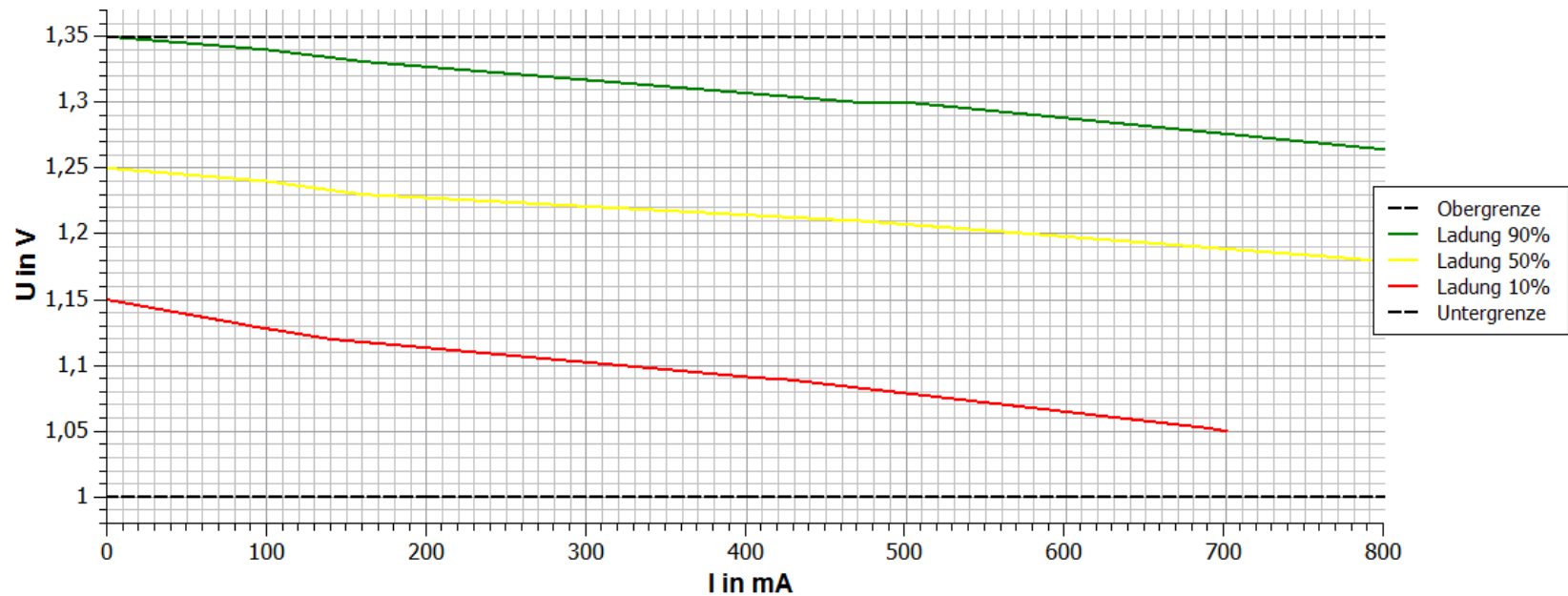
R in Ω	∞	100	50	33	10	5
U in V						
I in mA						

LiFe



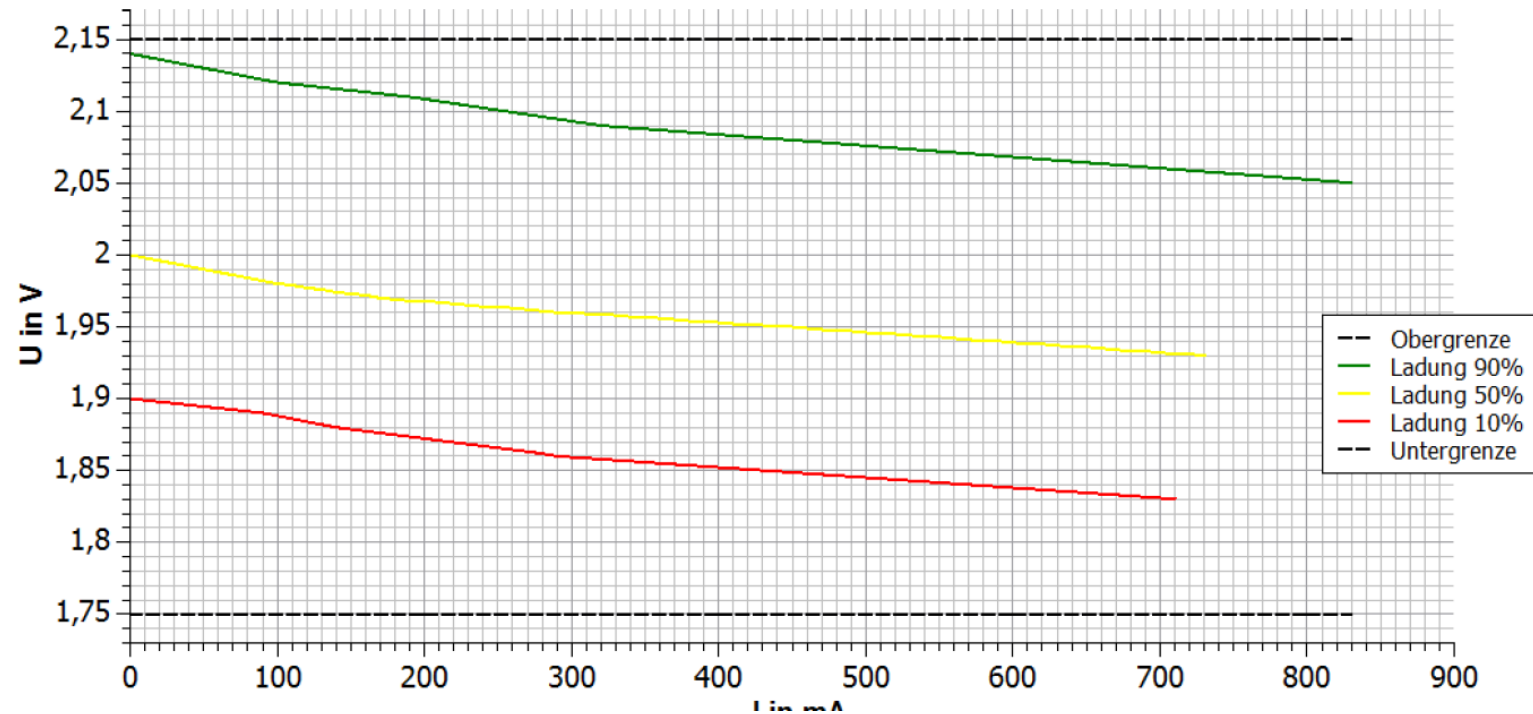
R in Ω	∞	50	25	10	5	1
U in V						
I in mA						

NiMH



R in Ω	∞	60	30	15	5	1
U in V						
I in mA						

Pb



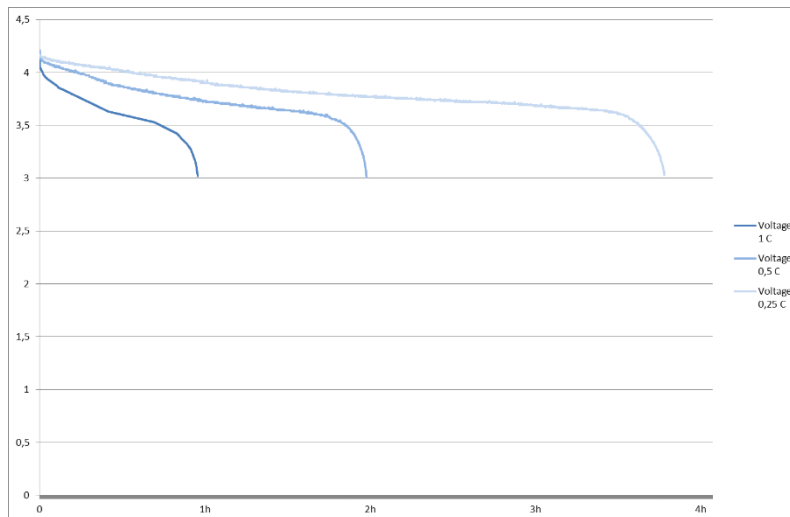
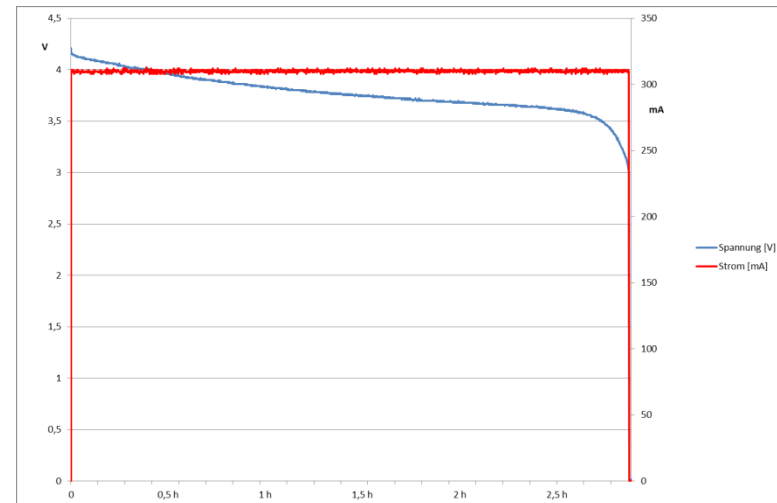
C-rate:

$$\text{C-rate} = \frac{I}{C} \left[\frac{A}{Ah} \right]$$

Bsp.:

$C_B = 900 \text{ mAh}$, $I = 300 \text{ mA}$

C-rate = 1/3



Max. Entladestrom:

1 C – 100 C

Tiefentladespannung:

Li-Ion/LiPo: 3,0 V

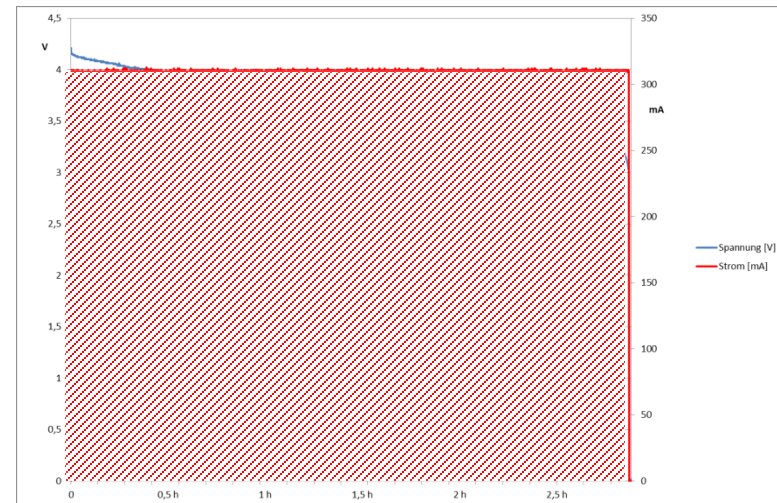
NiMH: -----

Pb: 1,75 V

Generell:

$$C_B = \int_t I(t) dt = Q = I \cdot t$$

1. Batterie auf 100 % Ladespannung
2. Entladen
3. Batteriekapazität = $I \cdot t$



Kapazität Ah:

$$C_B = Q = I \cdot t \text{ [Ah]}$$

Bsp.:

BOL: $C_B = C_0$

EOL: $C_B = 80 \% C_0$

Oftmals Kapazität Wh:

$$\int_t P(t) dt$$

Vereinfacht:

$$C_B = I \cdot t \cdot U_{\text{Nennspannung}} \text{ [Wh]}$$

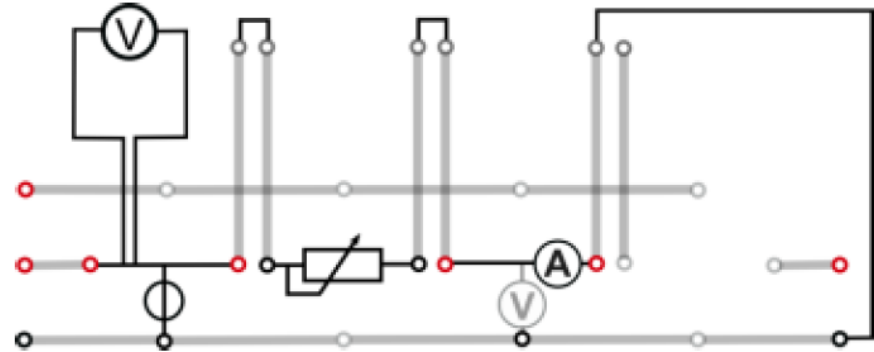


LiFePo

Kapazität (BOL): 200 mAh

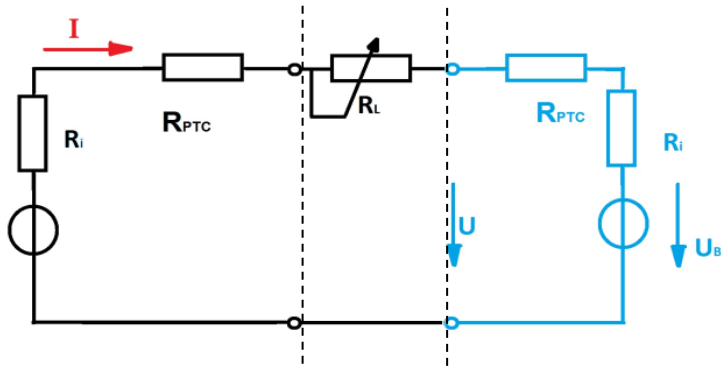
Strom (1C): 200 mA

Zeit: 360 Sekunden



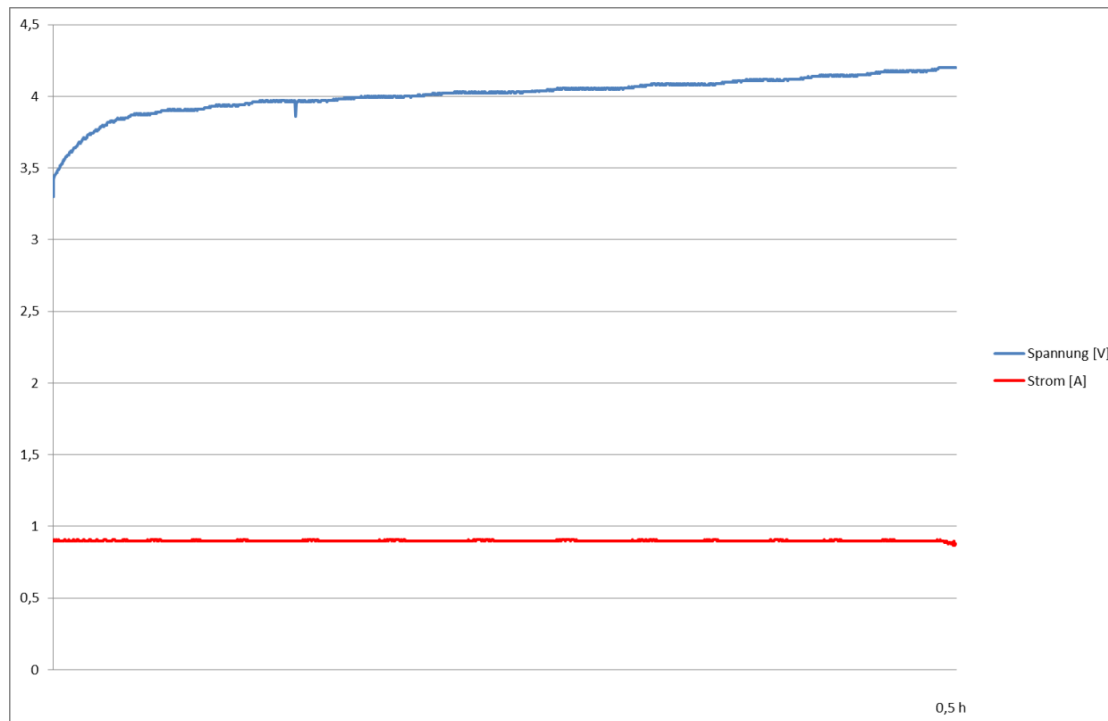
Akku-Typ	U_0 [V]	Ladezustand 1 [%]	U_0 [V]	Ladezustand 2 [%]	berechnete Kapazität [mAh]

$$\text{berechnete Kapazität} = \frac{20 \text{ mAh}}{(\text{Ladezustand 1} - \text{Ladezustand 2})} * 100\%$$

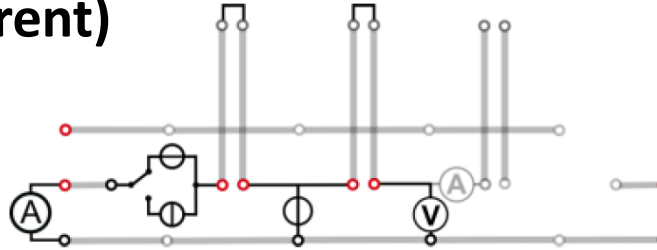


$$I = \frac{\Delta U}{R_{\text{ges}}}$$

U_0 [V]	
SOC [%]	



CC (Constant Current)

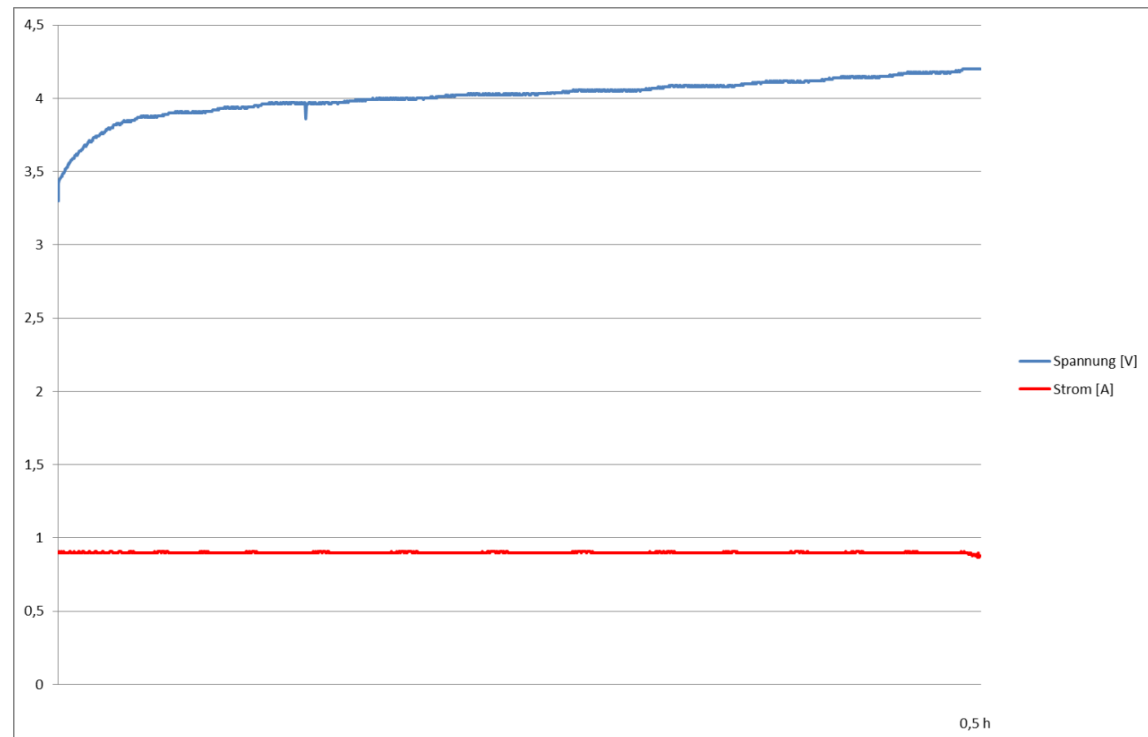
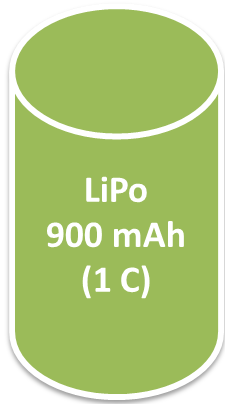


max. Ladestrom:

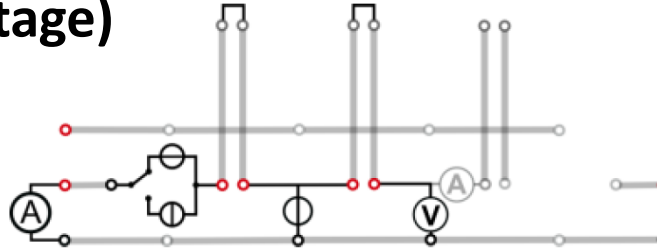
Li-Techn.:	1 C
Pb:	0,4 C
NiMH:	1 C

Kapazität

$$C = Q_{\max} = I \cdot t$$



CV (Constant Voltage)

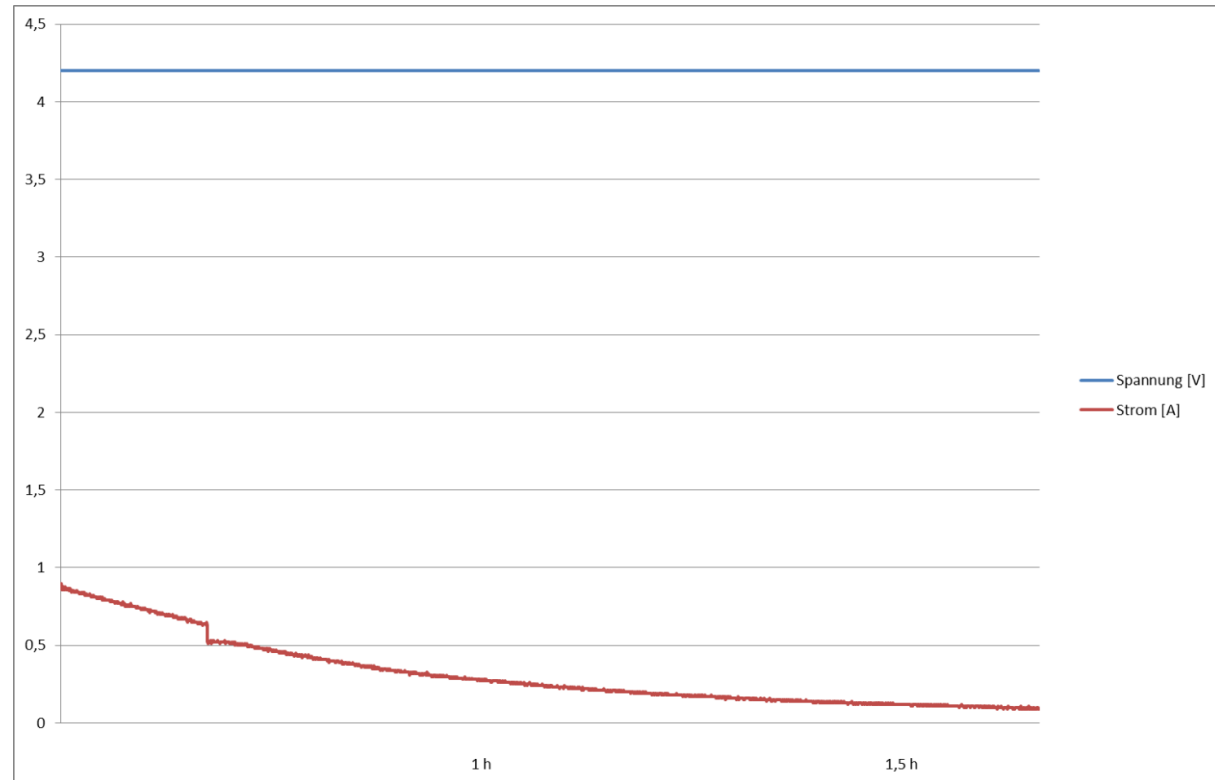
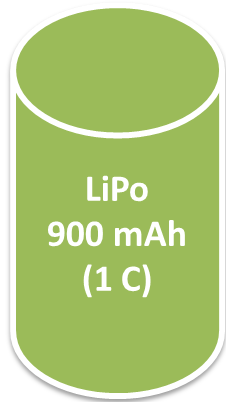


Ladeschluss-Spannung:

Li-Ion:	4,2 V
LiFe:	3,6 V
Pb:	2,4 V - 2,6 V
NiMH:	----

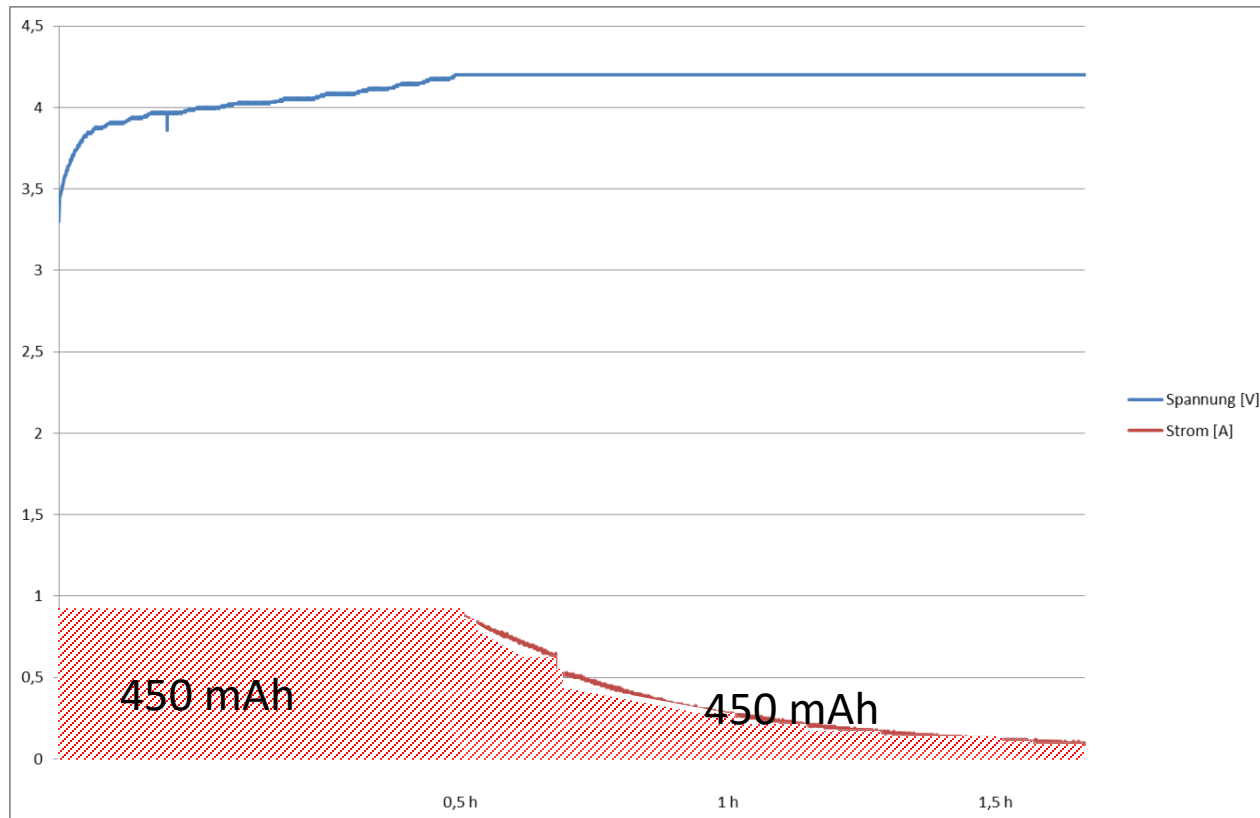
Kapazität

$$C = Q_{\max} = I \cdot t$$

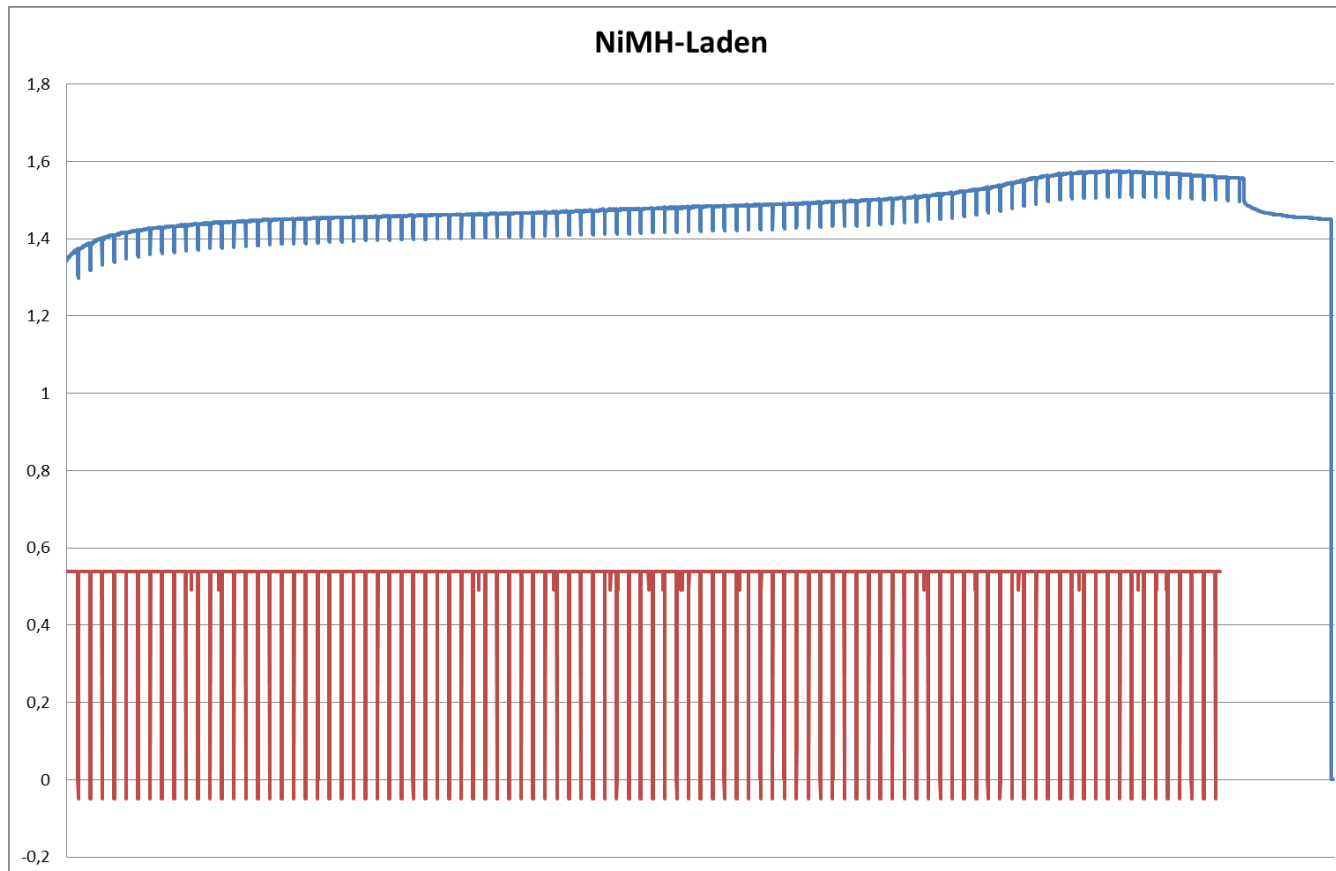


CCCV (Constant Current Constant Voltage)

U_0 [V]	
SOC [%]	



ΔU -Verfahren

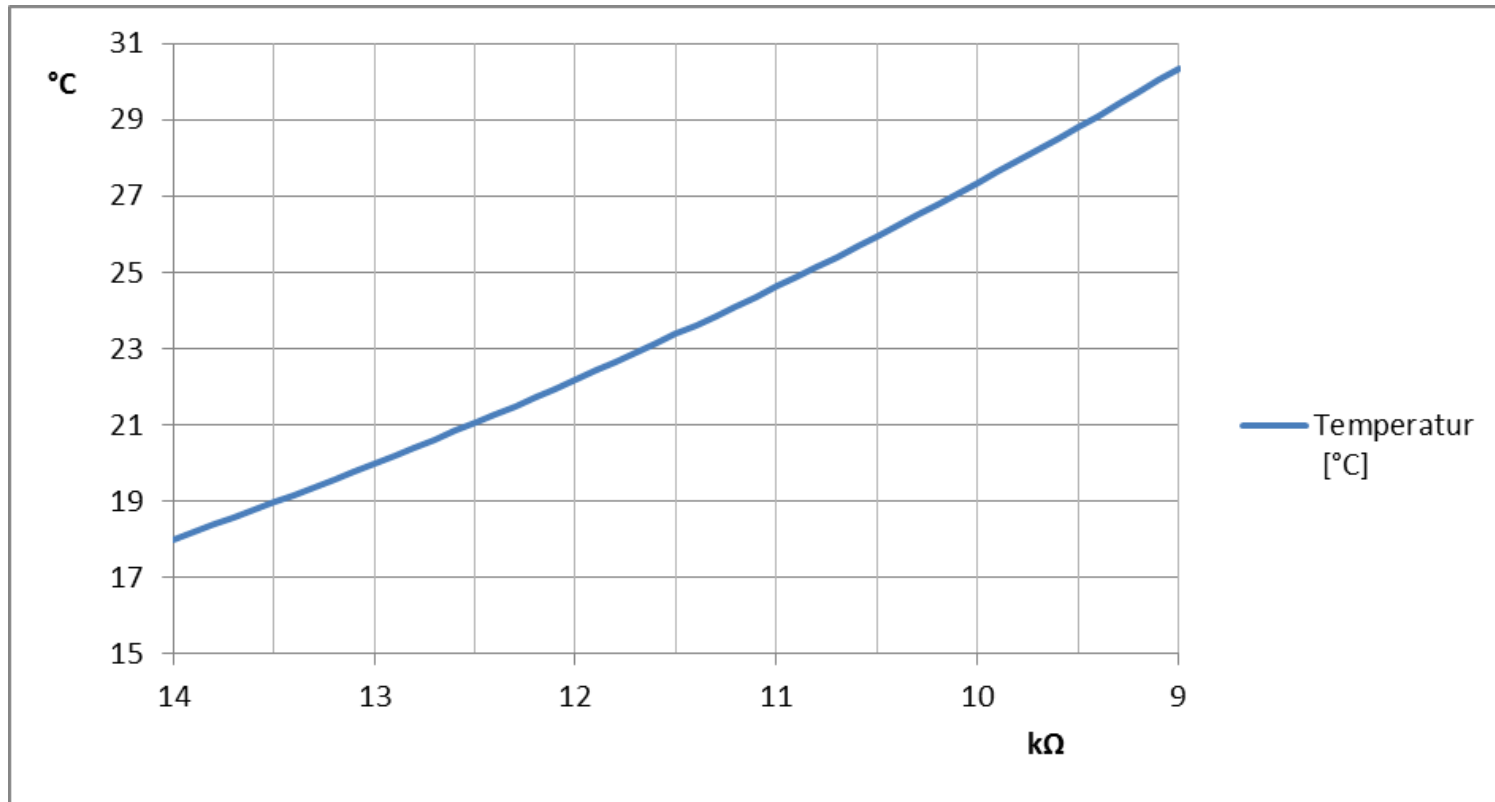


Angaben Datenblatt LiPo-Zelle

- Lagertemperaturbereich [-20 °C - + 45°C]
- Entladetemperaturbereich [-10 °C - + 60 °C]
- Ladetemperaturbereich [0 °C - + 45 °C]

Angaben Datenblatt Pb-Zelle

- Lagertemperaturbereich [-65 °C - + 65°C]
- Entladetemperaturbereich [-65 °C - + 65 °C]
- Ladetemperaturbereich [-40 °C - + 65 °C]

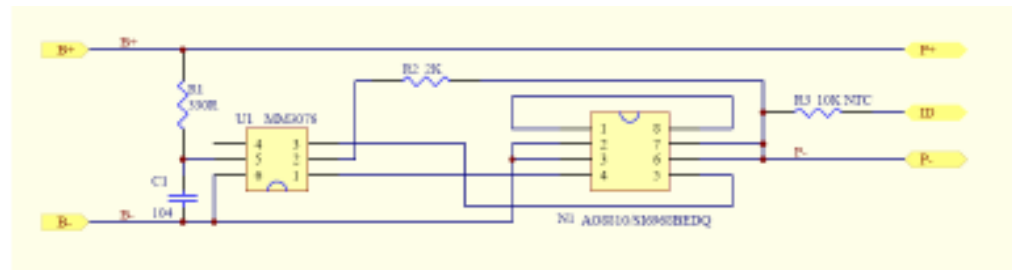


<i>09:30 - 11:00</i>	<i>Theoretische Grundlagen Energiespeicher</i>
<i>11:15 - 12:30</i>	<i>Wasserstoffproduktion</i> - <i>Grundlagen der Elektrolyse/Wasserstoffproduktion</i> - <i>Wasserstoffgeneratoren in der Anwendung</i> - <i>Wasserstoffspeicherung</i>
<i>13:00 - 15:30</i>	<i>Brennstoffzellentechnologie</i> - <i>Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie</i> - <i>Brennstoffzellensysteme in der Anwendung</i>
<i>09:30 - 12:30</i>	<i>Grundlagen Batterietechnologie 1</i> - <i>Zellspannung / SOC</i> - <i>Innenwiderstand</i> - <i>Entladeverhalten / Kapazitätsbestimmung</i> - <i>Ladeverfahren</i> - <i>Temperaturverhalten</i>
13:00 - 15:00	Grundlagen Batterietechnologie 2 - Batteriemanagement / Packaging - Berechnungsbeispiele verschiedener Speichersysteme
15:00 - 15:30	Abschlussdiskussion

LiPo-Zelle

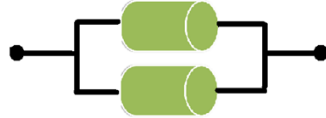
Einzelzellüberwachung:

Überladespannung:	4,275 V
Tiefentladespannung:	3,0 V
Überlaststrom:	2.0 – 5.0 A
Kurzschlussüberwachung:	- 560 μ s
Lade/-Entladestrom (cont.):	1,8 A
Temperatursensor:	NTC





2s



2p



2s2p



2p2s



Tesla Roadster (1.Generation)

Batterie: 6831 Einzelzellen (18650)
11s9s69p
→ Nennspannung: 366,3 V

Batteriekapazität: 56 kWh
Reichweite: 350 km
Ladedauer: 2-20 h



Lithium-Ionen Batterie

1. Batteriegehäuse
2. Batteriemodul
3. Batteriesteuergerät
4. Hochvolt-Stecker
5. Kühlwasseranschluss
6. Zellüberwachung

Quelle: SB LiMotive

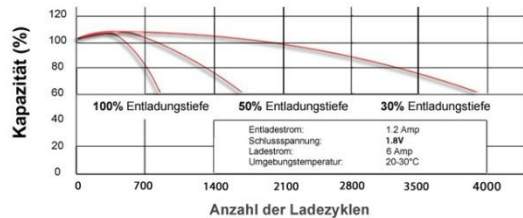
Einfacher Bleiakku

6x2V (12V) 500AH 4000 Zyklen 6 AGM Zellen Paket

Art.Nr.:Toy2v500



Bitte beachten Sie die Hinweis zur Batterieverordnung



Kapazität: 6 kWh
Kosten: € 1.298.-
Preis pro kWh: **€ 216,33**

Bosch BPT-S Hybrid



Quelle: Bosch BPT-S Hybrid
Produktdatenblatt

Kapazität: 13,2 kWh
Kosten: ca. € 20.000.-
Preis pro kWh: **€ 1.515,15**

TESLA Powerwall



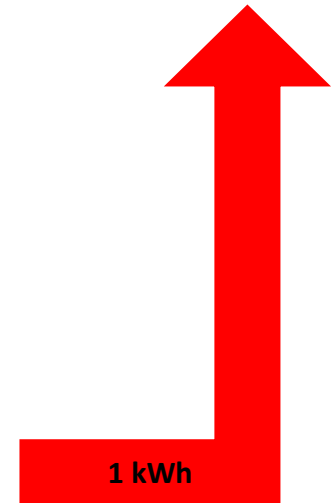
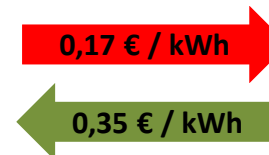
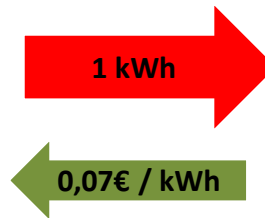
Handelsblatt: Onlineausgabe 06.05.2015

Kapazität: 10 kWh
Kosten: US\$ 3.500.-
Preis pro kWh: **US\$ 350.-**



Szenario I (2015)
1.000 € / kWh
3000 Vollzyklen

$x = 0,33 \text{ € / kWh}$





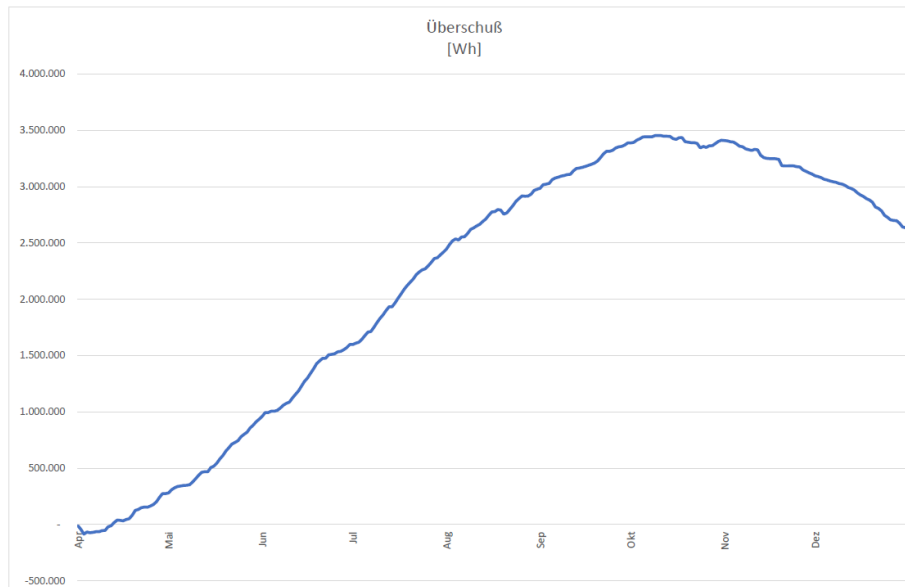
PV-System: 8 kW_{peak}
Verbrauch: 4.800 kWh
Überschussenergie_{el.}: 3.500 kWh
Rüchspeisevergütung: € 245.-
Speicherung: ?

Batteriesystem:

3.500 kWh * € 500 = 1,75 Mio. €

H₂-System:

€ 85.000.-



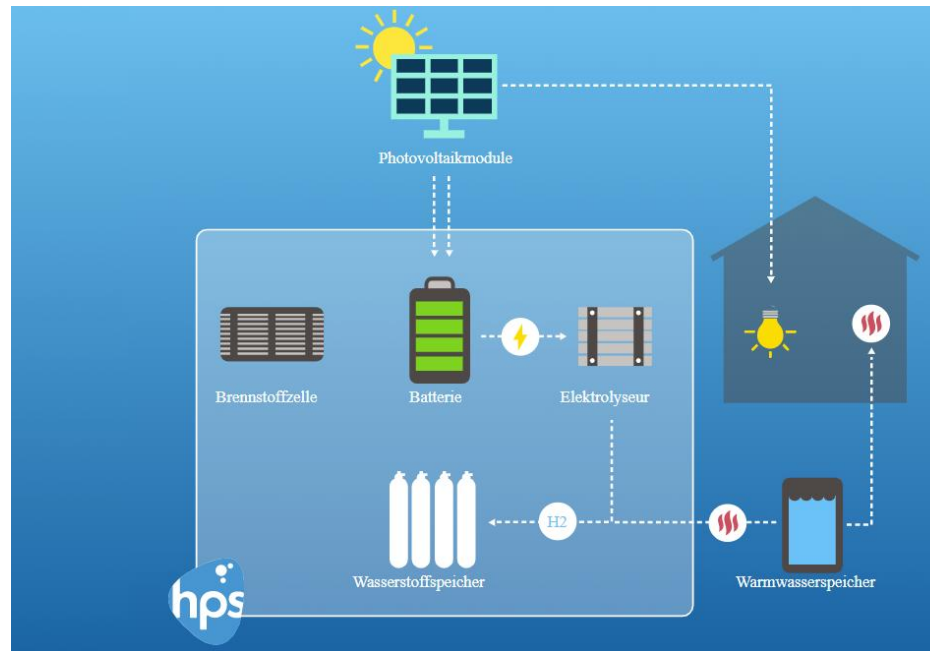
PV-Elektrolyse-System



picea-Komplett-System*

- H₂-Generator
- H₂-Speicher
- Batteriespeicher
- Brennstoffzellensystem

* HPS-System Picea ohne PV-Anlage



* Quelle HPS-Solutions

PV-Elektrolyse-System

Batteriespeicher: 20 kWh
H2-Generator: 2,3 kW
Brennstoffzelle: 1,5 kW
H₂-Speicher: 300 kWh_{el.} (600 kWh_{brutto})
- 18 kg H₂ (18 x 50 Literflaschen)
€ 85.000.-
+ 3x H₂-Speicher (3 x € 5.000.-)

€ 100.000.-

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
- Wasserstoffzerzeugungsleistung 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 1.500)
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 ⁵ :		
- Spannung / Frequenz / max. Ladeleistung der picea Batterie	V / Hz / kW	3~ 400 / 50 / 5,7
THERMISCH		
Verfügbare Abwärme ⁶	kWh	ca. 3.000
Temperaturniveau der Sommerwärmeauskopplung	°C	max. 55
Lüftungsgerät:		
- Maximale Luftmenge (bei 100 Pa)	m³/h	350
- Wärmerückgewinnungsgrad	%	bis zu 87
- Schalleistungspegel der Gehäuseabstrahlung im Nennbetrieb ⁶	dB (A)	58
- Schalleistungspegel der Kanalan schlüsse mit Schalldämpfer im Nennbetrieb ⁶	dB (A)	37
- Lüftungsanschluss	DN	180
- Maße der 4 Luftfilterboxen inkl. Reduzierstücken (Abma ße 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 ½" / 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
- Schalleistungspegel ohne Schalldämpfer im Nennbetrieb ⁹	dB (A)	58
- Schalleistungspegel 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

© 2021 HPS-Technik GmbH. Picea Typ: 1.00-3

* Quelle HPS-Solutions

<i>09:30 - 11:00</i>	<i>Theoretische Grundlagen Energiespeicher</i>
<i>11:15 - 12:30</i>	<i>Wasserstoffproduktion</i> - <i>Grundlagen der Elektrolyse/Wasserstoffproduktion</i> - <i>Wasserstoffgeneratoren in der Anwendung</i> - <i>Wasserstoffspeicherung</i>
<i>13:00 - 15:30</i>	<i>Brennstoffzellentechnologie</i> - <i>Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie</i> - <i>Brennstoffzellensysteme in der Anwendung</i>
<i>09:30 - 12:30</i>	<i>Grundlagen Batterietechnologie 1</i> - <i>Zellspannung / SOC</i> - <i>Innenwiderstand</i> - <i>Entladeverhalten / Kapazitätsbestimmung</i> - <i>Ladeverfahren</i> - <i>Temperaturverhalten</i>
<i>13:00 - 15:00</i>	<i>Grundlagen Batterietechnologie 2</i> - <i>Batteriemanagement / Packaging</i> - <i>Berechnungsbeispiele verschiedener Speichersysteme</i>
<i>15:00 - 15:30</i>	<i>Abschlussdiskussion</i>