

SOC

**CH<sub>4</sub>**

LiFePo

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

**C**

$H_2$

BOL

CCCV

$\Delta U$

## **Grundlagenseminar Batterie- und Wasserstofftechnologie**

19.-20.06.2024, BBS Burgdorf

Ralph Schanz

## **Mittwoch, 19.06.2024**

**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**

## **Donnerstag, 20.06.2024**

**09:30 - 12:30**

**Grundlagen Batterietechnologie 1**

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

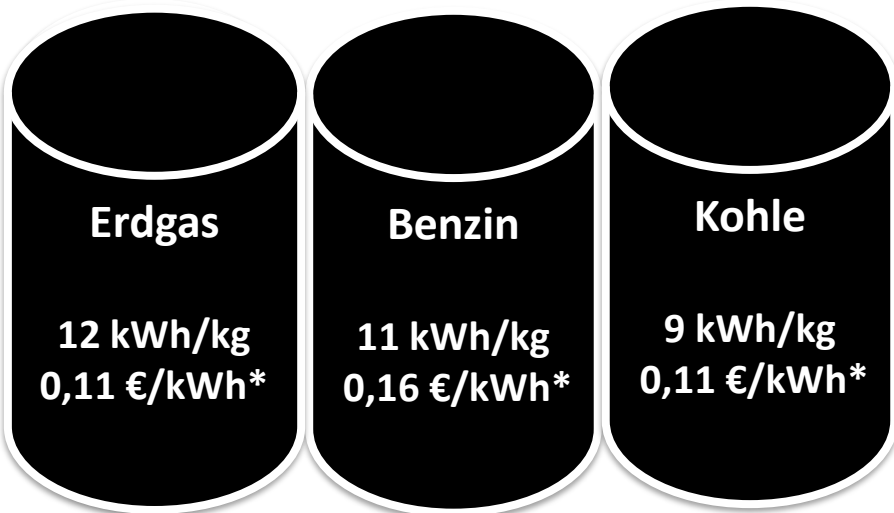
**13:00 - 15:00**

**Grundlagen Batterietechnologie 2**

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

**15:00 - 15:30**

**Abschlussdiskussion**

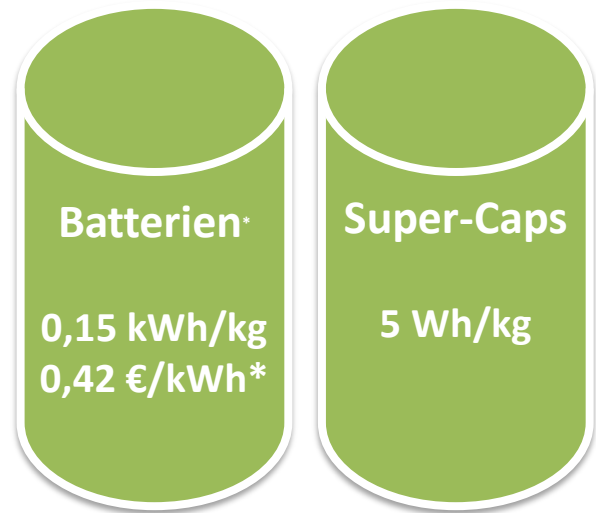


0,06 €/kWh\*\*

0,14 €/kWh\*\*

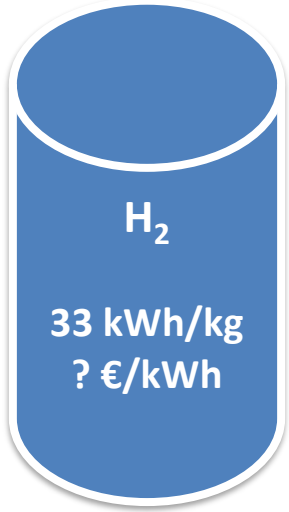
0,06 €/kWh\*\*

## Fossile Brennstoffe



0,30 €/kWh\*\*

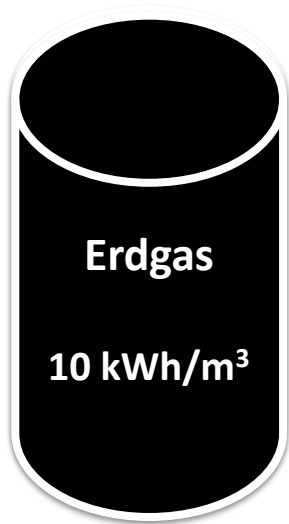
## Elektrische Speicher



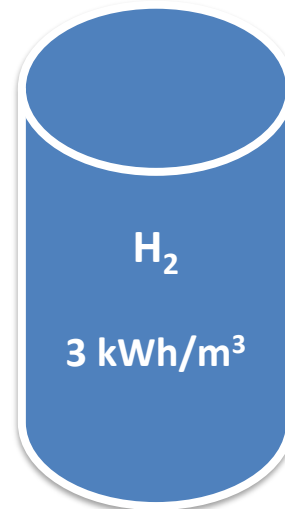
## Wasserstoff

\* Preise 2024

\*\*Preise 2013

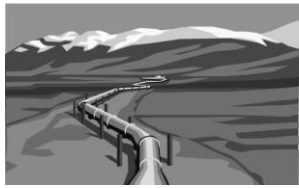


**Fossile Brennstoffe**

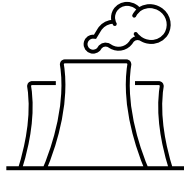
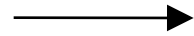


**Wasserstoff**

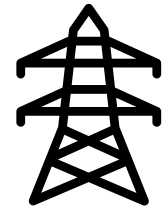
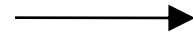
# konv. Stromproduktion



**Erdgas**  
**Kohle**  
0,11 €/kWh



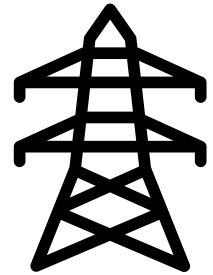
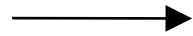
**Kraftwerk**



**Strom**  
0,42 €/kWh

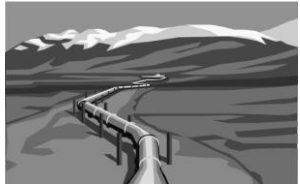
<b>Erdgas</b> 12 kWh/kg 0,30 €/kWh	<b>Benzin</b> 11 kWh/kg 0,22 €/kWh	<b>Kohle</b> 9 kWh/kg 0,30 €/kWh
--	--	--

**Primärenergie**

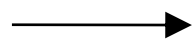
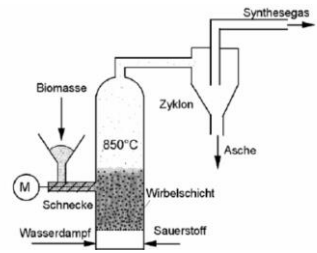
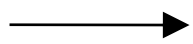


**Sekundärenergie**

Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Deutsche\\_Energiewirtschaft](https://de.wikipedia.org/wiki/Deutsche_Energiewirtschaft)



Erdgas



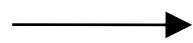
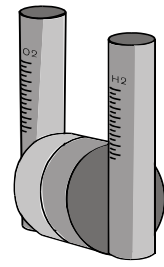
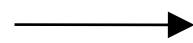
H<sub>2</sub>

Reformer

20. Jahrhundert



Strom



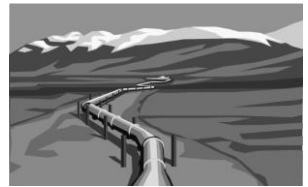
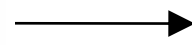
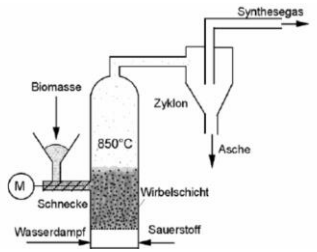
H<sub>2</sub>

Elektrolyseur

21. Jahrhundert



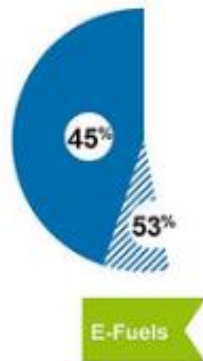
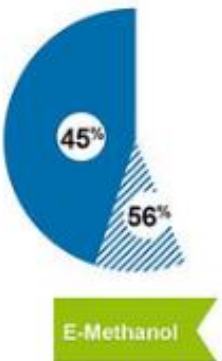
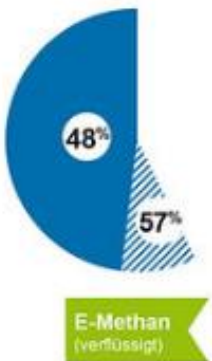
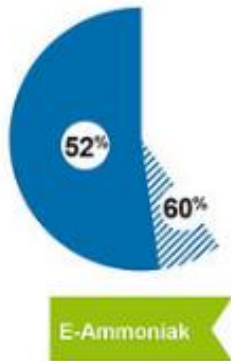
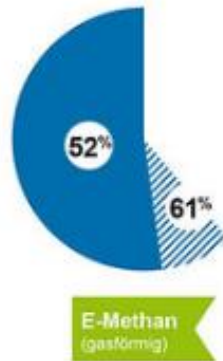
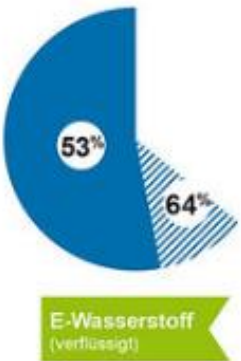
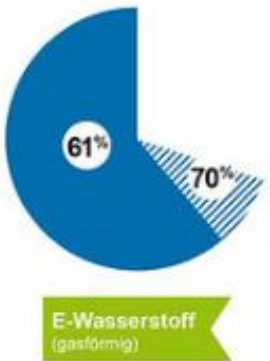
Biomasse



Erdgas

Reformer

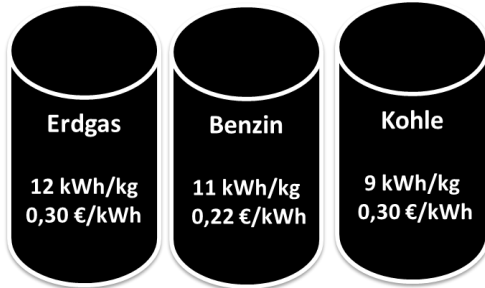
## Power-to-X: Wie viel vom Strom übrig bleibt Effizienz bei der Herstellung von Energieträgern aus Strom heute und in Zukunft



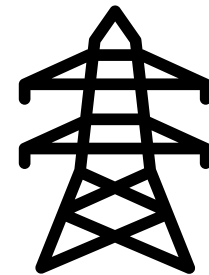
**Umwandlungseffizienz**  
Pro eingesetzter Kilowattstunde Strom verbleiben x Prozent im PtX-Produkt

- Heutige PtX-Prozesse
- ▨ Potenzial in der Zukunft

\* Öko Institut e.V. Power-to-X



**Primärenergie**



**Sekundärenergie**

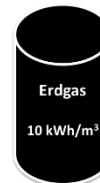




4.000 GWh\*\*



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



190.000 GWh\*\*\*



57.000 GWh\*\*\*



## Konventioneller Antrieb

- Tank**
- 50 l
  - t= 3 min.
  - 600 km



- Verbrennungsmotor** (€ 50/kW)
- 100 kW

## Brennstoffzellen Antrieb

- Tank**
- 4 kg
  - t= 3 min.
  - 500 km



- Elektromotor**
- 100 kW

- Brennstoffzellensystem**
- 100 kW

## Elektromobilität

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

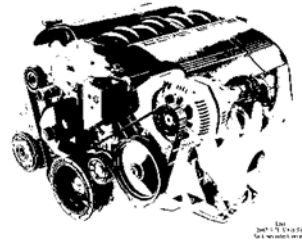


- Elektromotor**
- 100 kW

\* Tesla Supercharger

**Benzin**  
60 l  
850 km

75 kWh /  
100 km



€ 50 /kW

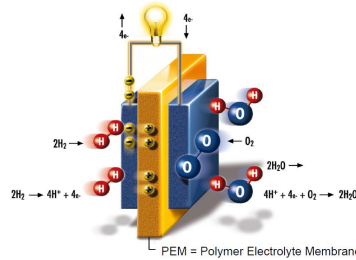


$\eta = 20\%$

15 kWh /  
100 km

**H**  
5,6 kg  
600 km

30 kWh /  
100 km

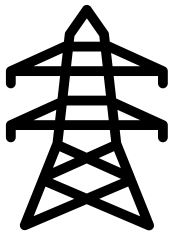


€ 1.000/kW



$\eta = 50\%$

15 kWh /  
100 km



19 kWh /  
100 km

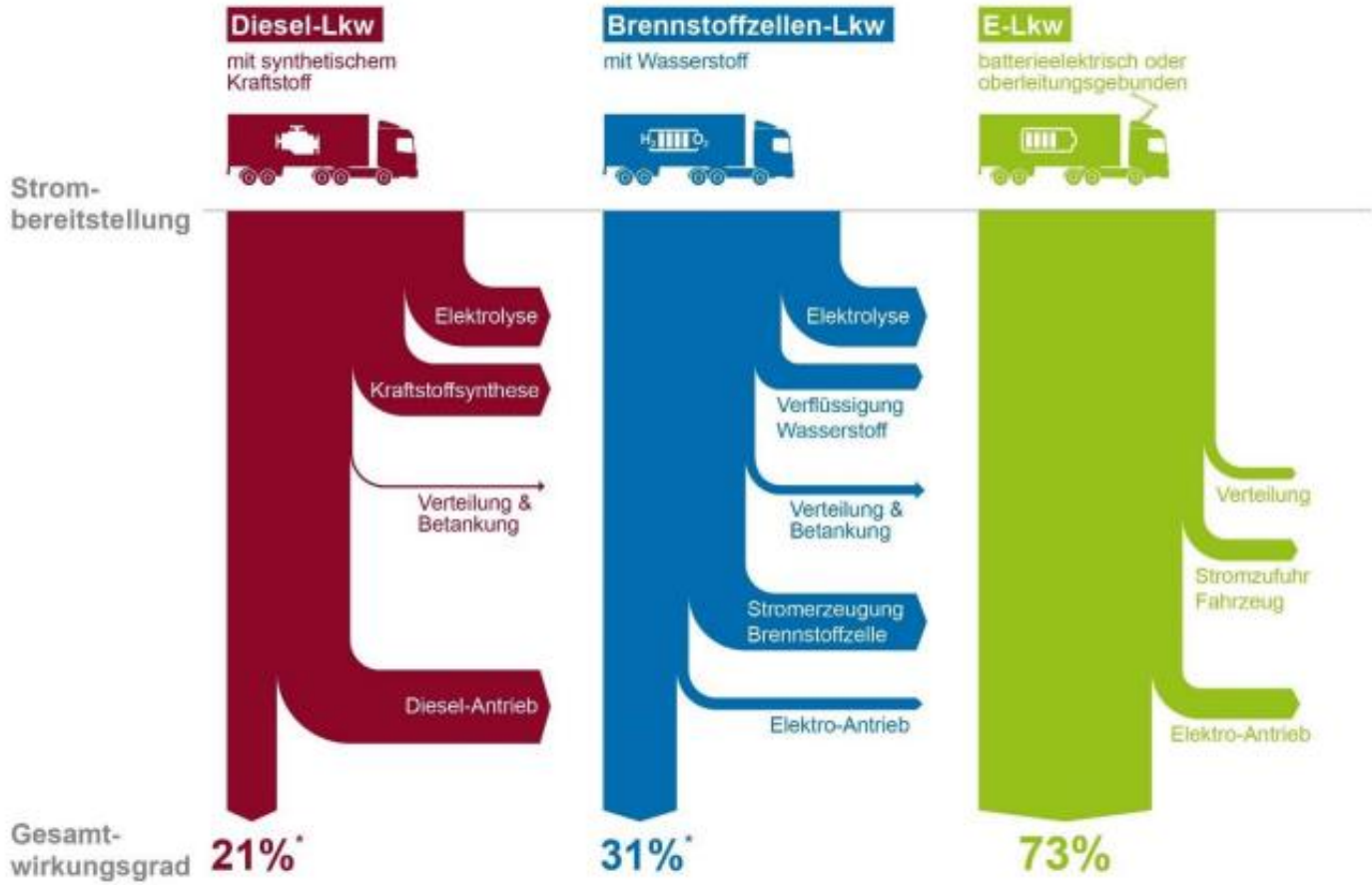
**Batterie**  
80 kWh  
500 km

€ 135 /kWh



$\eta = 90\%$

15 kWh /  
100 km



\*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

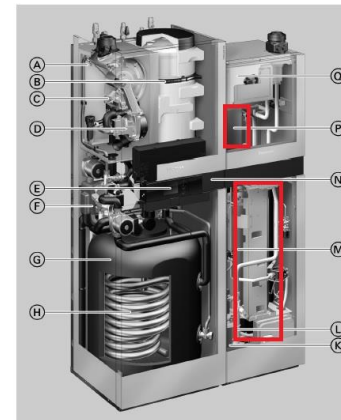
Brennstoffzellen-BHKW\*

Brennstoffzelle:

- 750 W el.
- 1 kW therm.

Brennwert-Gerät:

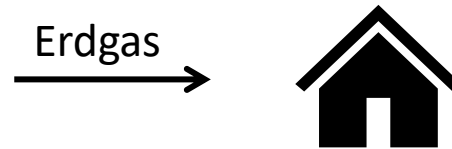
>15 kW



- 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 Trinkwasserwärmung
- K Kartusche für deionisiertes Wasser
- L Siphon
- M Reformier
- N Stromzähler Kraft-Wärme-Kopplung
- P Brennstoffzellen-Stack
- Q Inverter

\* Quelle Vissmann VITOTALOR 300-P

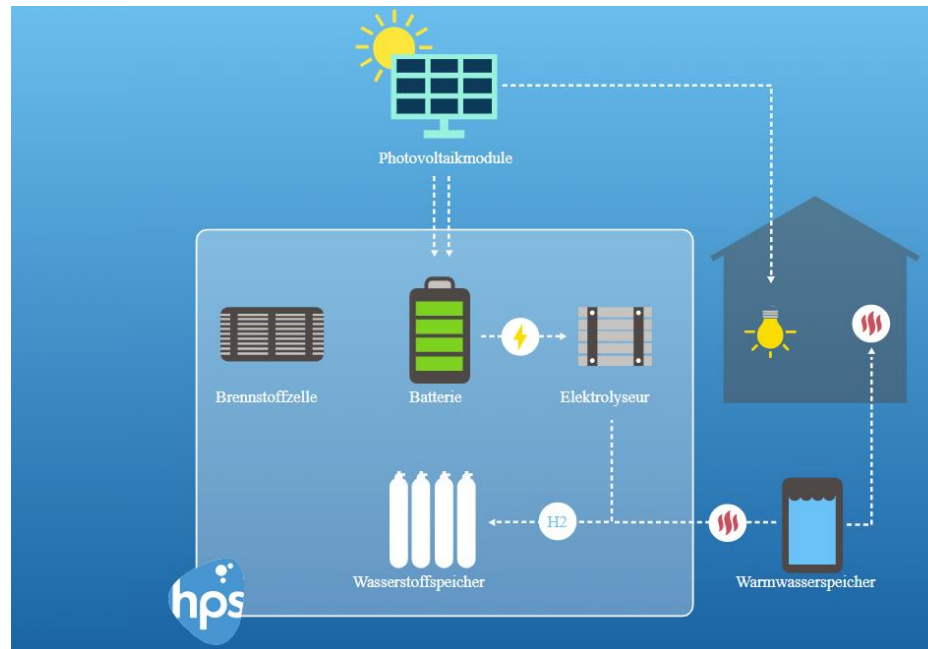
## PV-Elektrolyse-System



### picea-Komplett-System\*

- H<sub>2</sub>-Generator
- H<sub>2</sub>-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



## E-Bike

**Kosten: € 1.700**

**Ladezeit: ca. 6 h**

**Kapazität: 560 Wh**

**Leistung E-Motor: max. 600 W**

## Wasserstoff

**Kosten: € 2.500 + € 180 + € 2.300**

**Ladezeit: ca. 6 h (Wasserstoffgenerator)**

**Kapazität: 200 Wh**

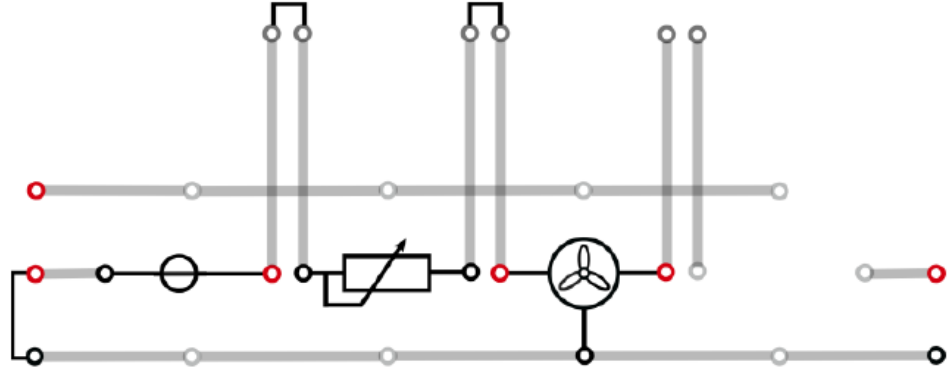
**Leistung BZ: 300 W**

**Leistung E-Motor: 150 W**

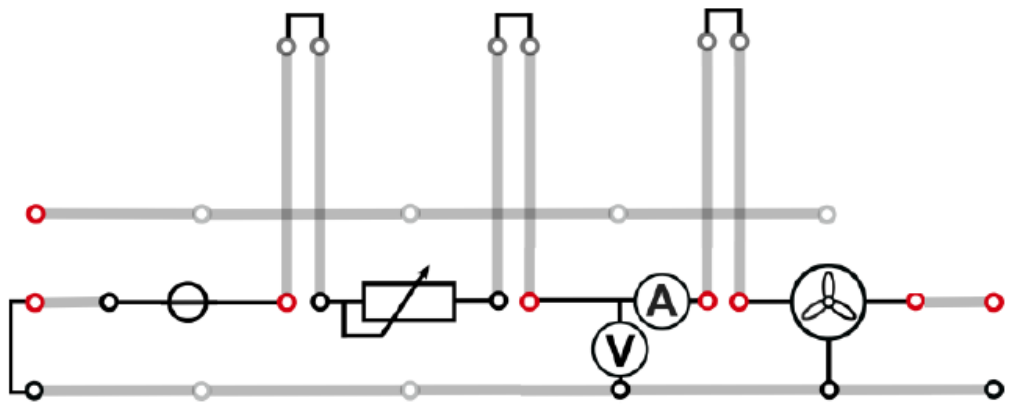


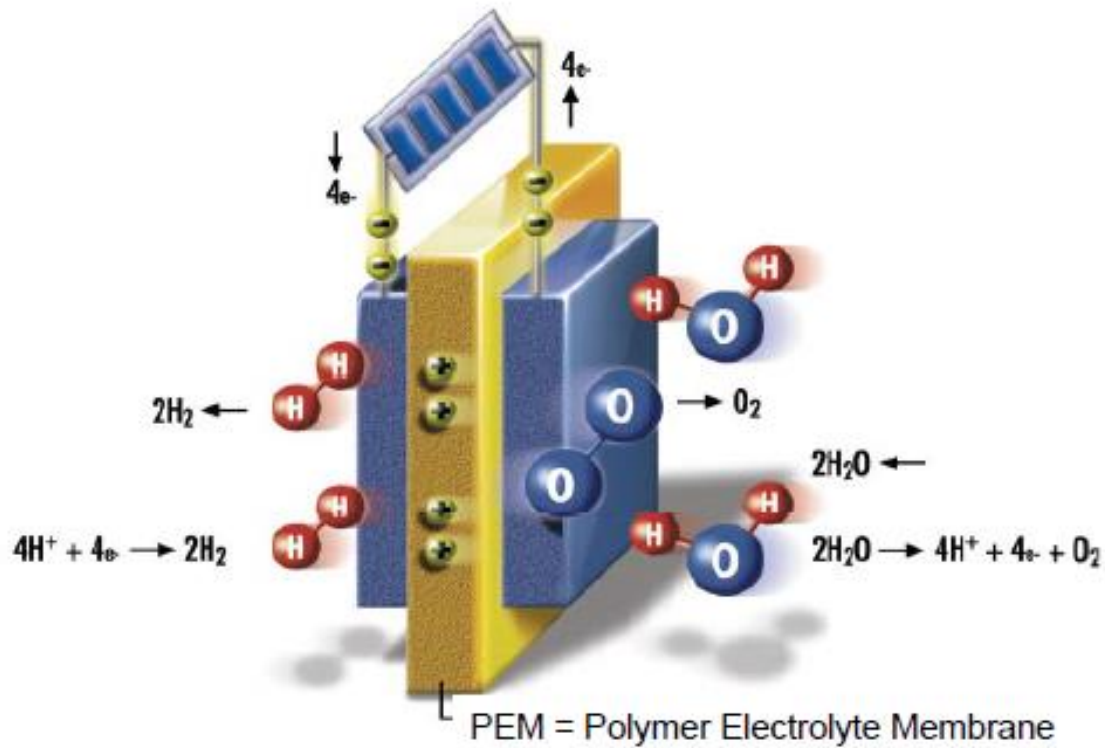
<b>09:30 - 11:00</b>	<b><i>Theoretische Grundlagen Energiespeicher</i></b>
<b>11:15 - 12:30</b>	<b><i>Wasserstoffproduktion</i></b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b><i>Grundlagen der Elektrolyse/Wasserstoffproduktion</i></b></li><li>- <b><i>Wasserstoffgeneratoren in der Anwendung</i></b></li><li>- <b><i>Wasserstoffspeicherung</i></b></li></ul>
<b>13:00 - 15:30</b>	<b><i>Brennstoffzellentechnologie</i></b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b><i>Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie</i></b></li><li>- <b><i>Brennstoffzellensysteme in der Anwendung</i></b></li></ul>
<b>09:30 - 12:30</b>	<b><i>Grundlagen Batterietechnologie 1</i></b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b><i>Zellspannung / SOC</i></b></li><li>- <b><i>Innenwiderstand</i></b></li><li>- <b><i>Entladeverhalten / Kapazitätsbestimmung</i></b></li><li>- <b><i>Ladeverfahren</i></b></li><li>- <b><i>Temperaturverhalten</i></b></li></ul>
<b>13:00 - 15:00</b>	<b><i>Grundlagen Batterietechnologie 2</i></b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b><i>Batteriemanagement / Packaging</i></b></li><li>- <b><i>Berechnungsbeispiele verschiedener Speichersysteme</i></b></li></ul>
<b>15:00 - 15:30</b>	<b><i>Abschlussdiskussion</i></b>

## Aufbau einfacher Stromkreis



## Strom- und Spannungsmessung



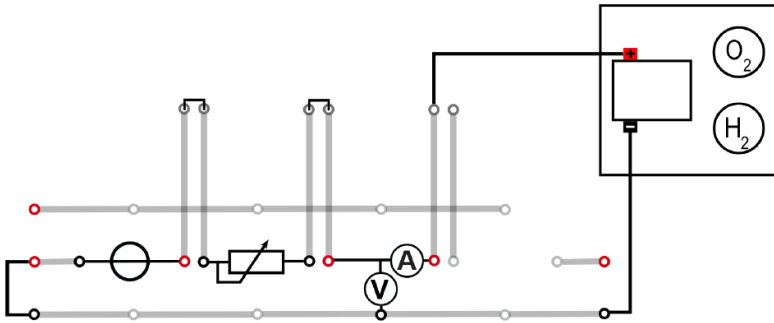


Standardpotential H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>

$E^\circ$  1,23 V

# I-U-Kennlinie Elektrolyseur

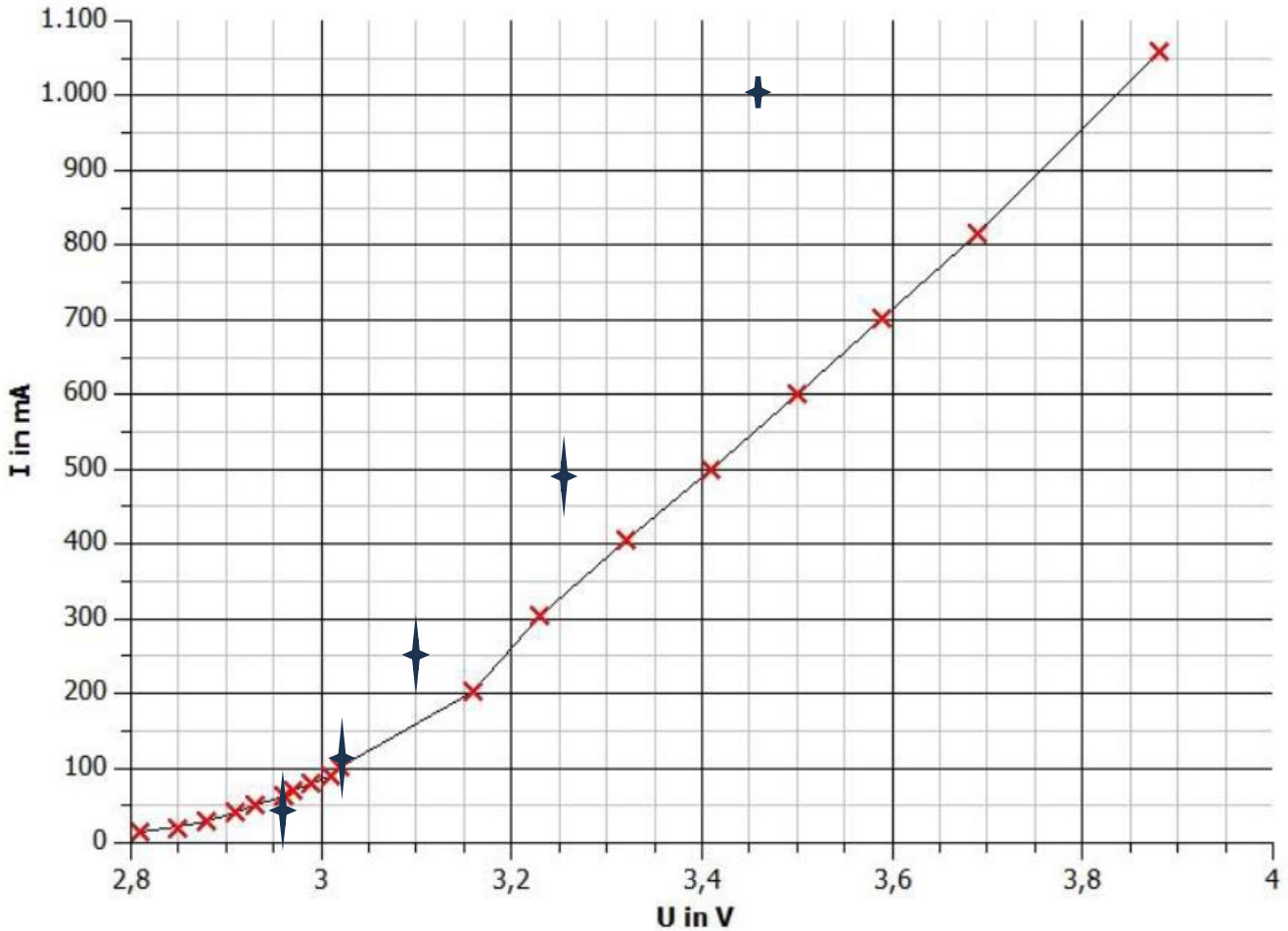
## Aufbau



Standardpotential H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>  
E° 1,23 V

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

# I-U-Kennlinie Elektrolyseur



Strom [mA]	500	1000
Spannung [V]		
t [sec] 14 ml H <sub>2</sub>		



theoretische H<sub>2</sub>-Produktion  
**7,0 ml/min @ 1 A (pro Zelle)**

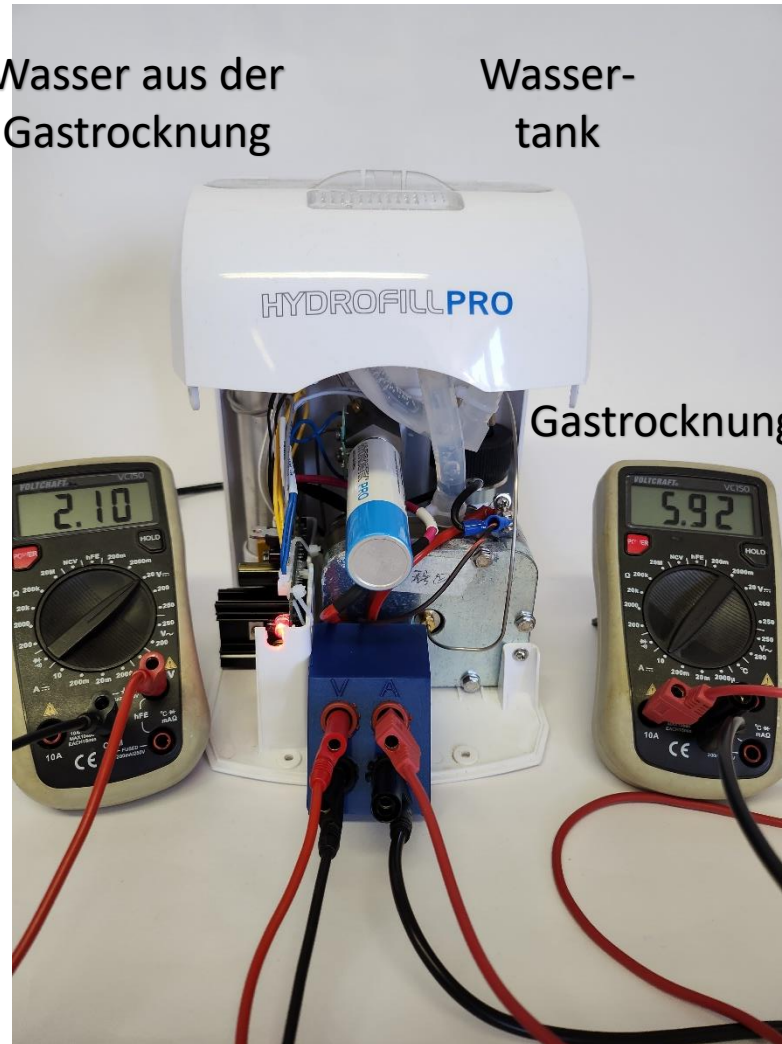
Wirkungsgrad

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

Elektrolyse-  
spannung

Wasser aus der  
Gastrocknung

Wasser-  
tank



Gastrocknung

Elektrolysestrom

## Druckgasflaschen

Druckbereich:  
10 bar-700 bar



## Flüssiggas Speicher

Temperatur:  
< -253°C



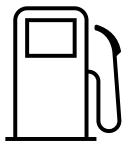
## Metallhydridspeicher

Druckbereich:  
3 bar - 30 bar



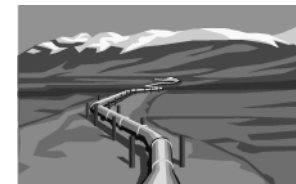
## Synthetische Brennstoffe

Erdgas, Methanol,  
Krosin...



## Salzkavernen, Gasleitungen

- geringe Investitionskosten





*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**

**09:30 - 12:30**

**Grundlagen Batterietechnologie 1**

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

**13:00 - 15:00**

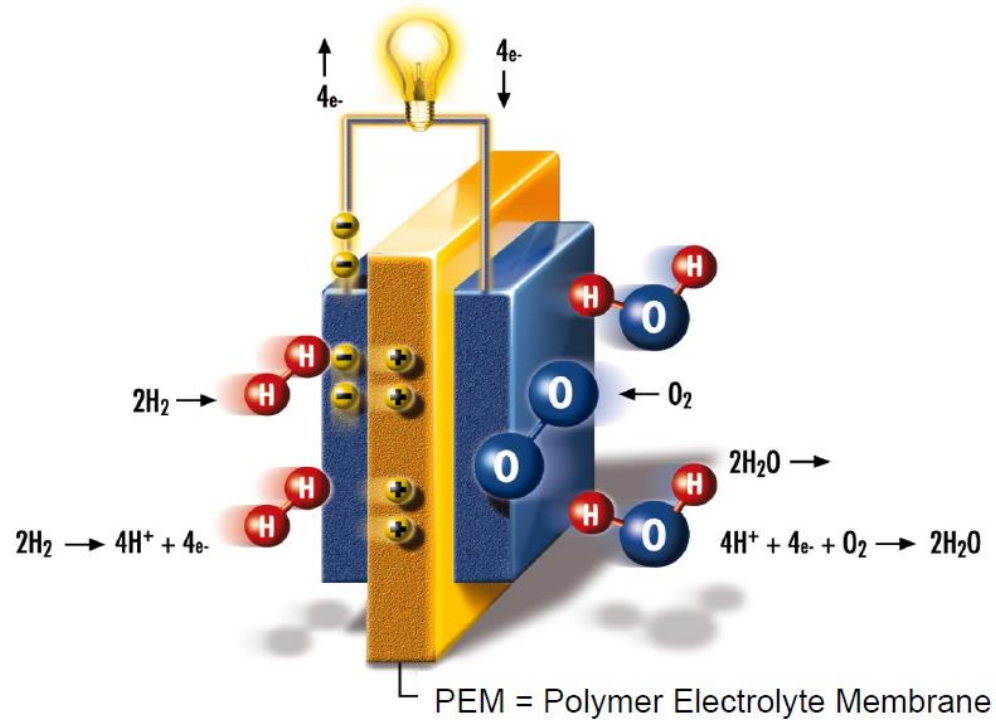
**Grundlagen Batterietechnologie 2**

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

**15:00 - 15:30**

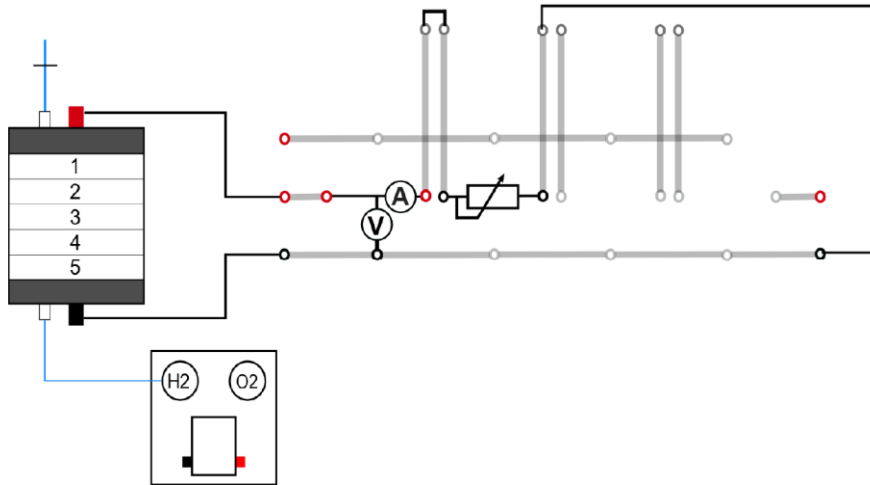
**Abschlussdiskussion**

Standardpotential H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>  
E° 1,23 V



# Grundfunktionen Brennstoffzelle

## Aufbau



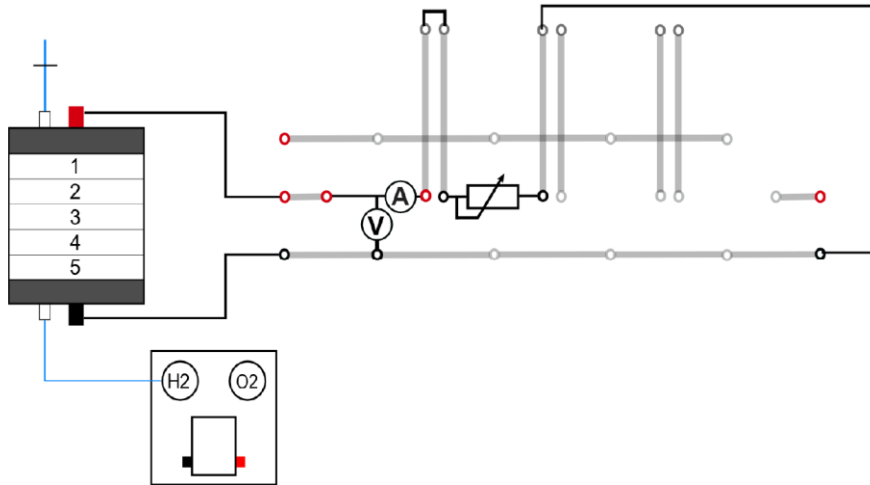
Standardpotential H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>  
 $E^\circ 1,23 \text{ V}$



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

# U-I-Kennlinie Brennstoffzelle

## Aufbau

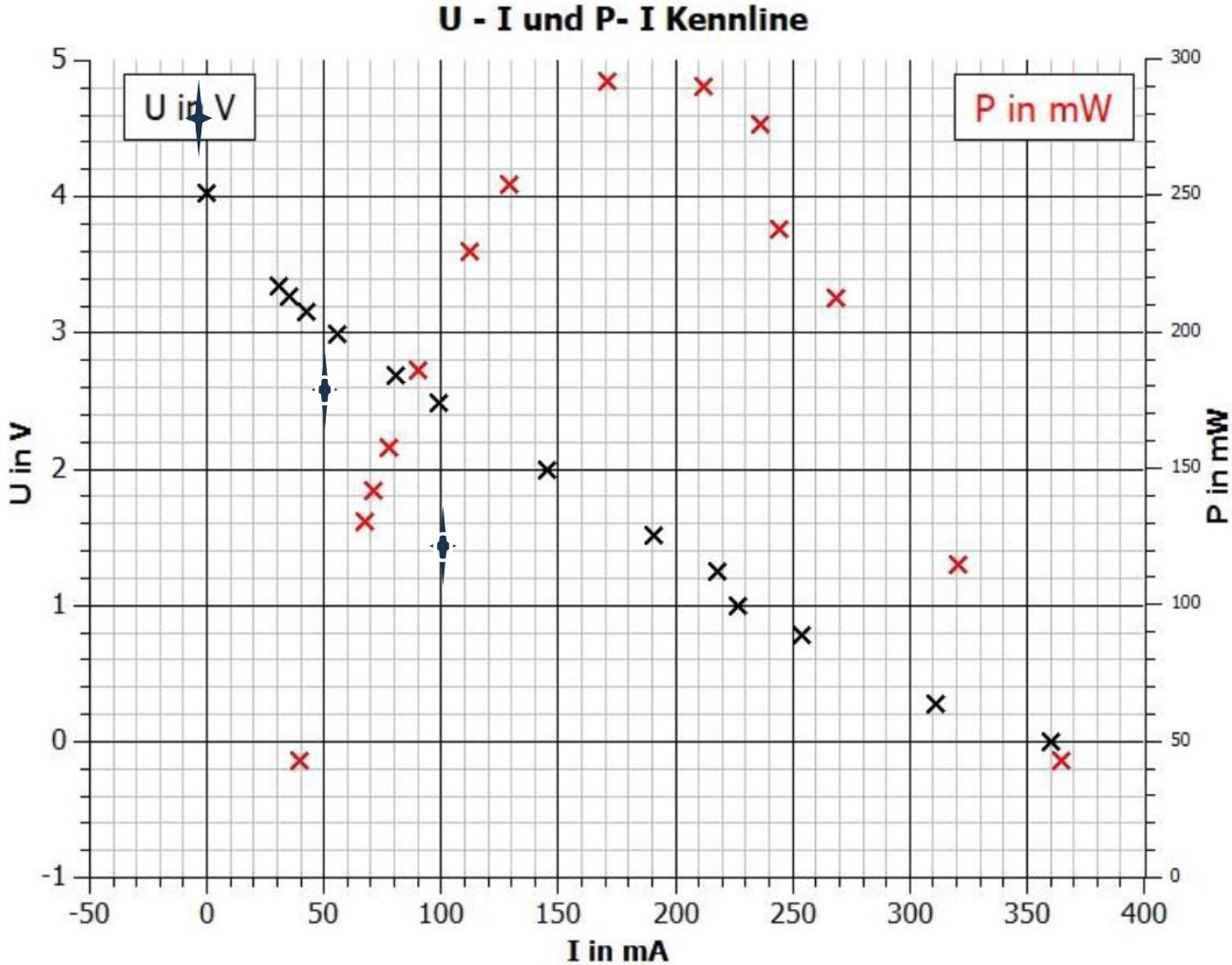


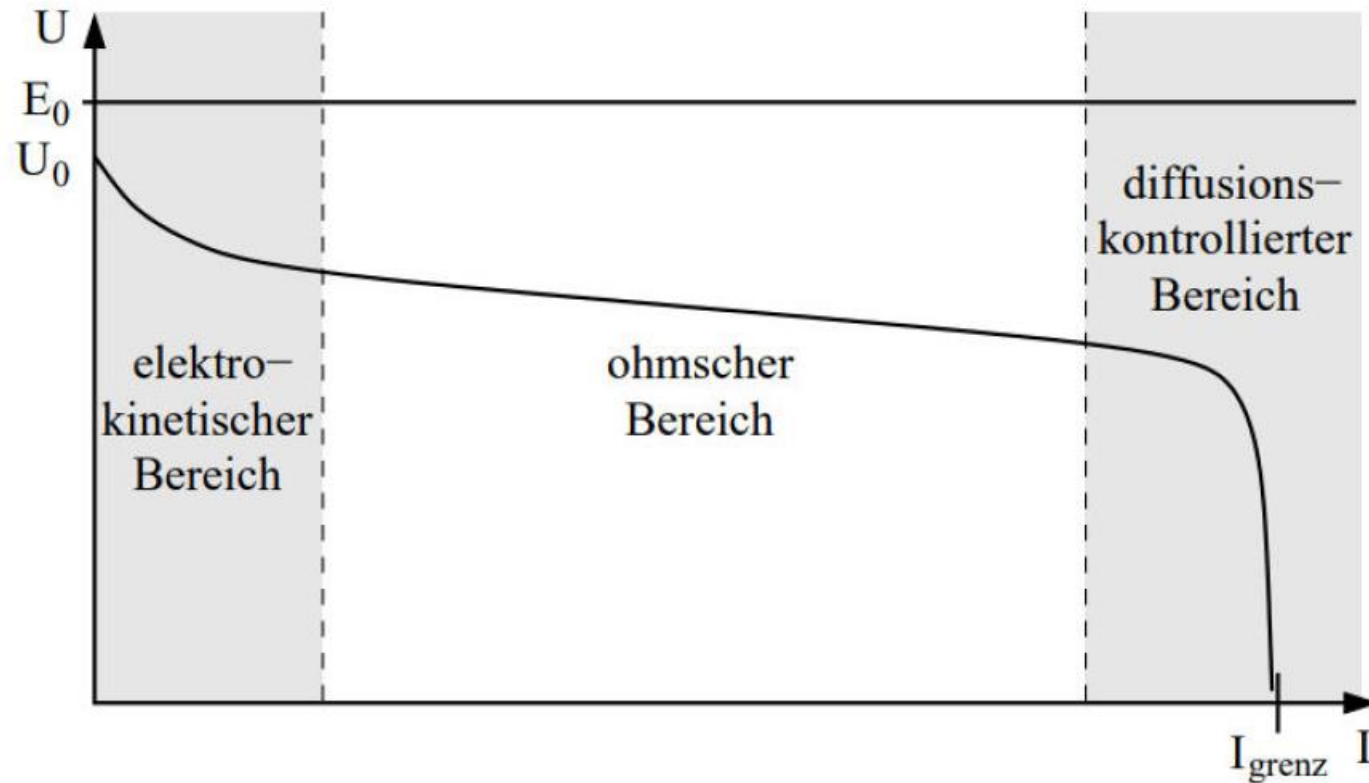
Standardpotential H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>  
 $E^\circ 1,23 \text{ V}$



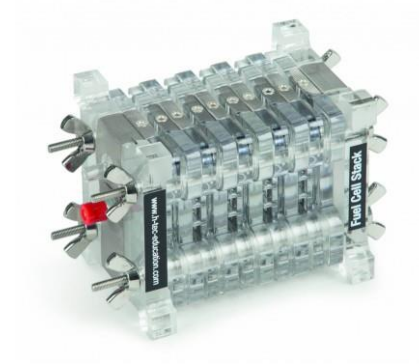
Strom [mA]	0	50	100	200	300	400
Spannung [V]						

# U-I-Kennlinie Brennstoffzelle





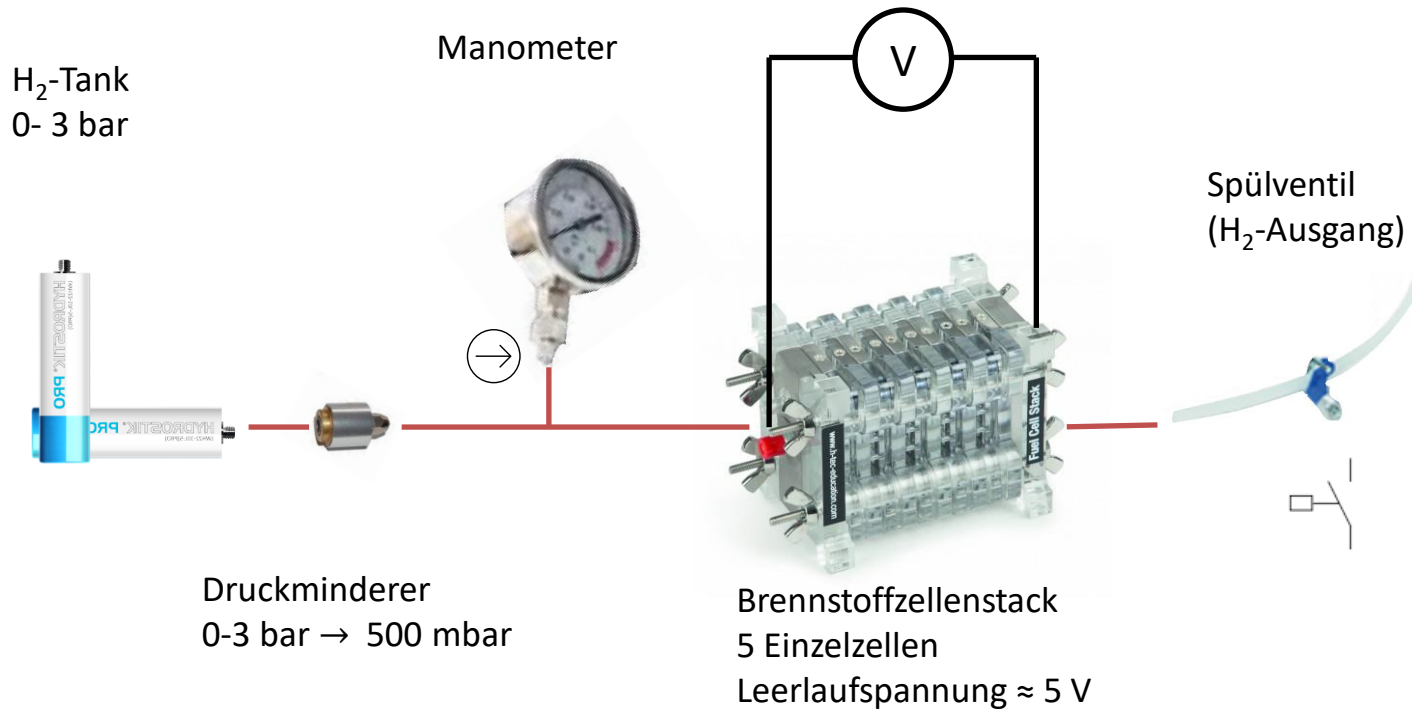
Strom [mA]	125	250
Spannung [V]		
t [sec] 15 ml H <sub>2</sub>		



theoretischer H<sub>2</sub>-Verbrauch  
7,0 ml/min @ 1 A (pro Zelle)

Wirkungsgrad

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



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



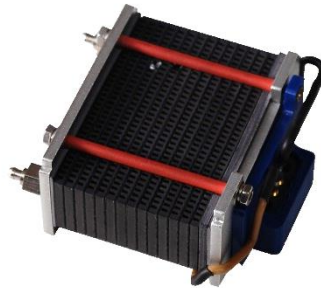


Strom [mA]	350
Spannung [V] passiv horizontal	
Spannung [V] passiv vertikal	
Spannung [V] aktiv horizontal	



## H<sub>2</sub>-Versorgung

- Wasserstoffspeicher
- Druckminderer
- Drucksensor
- Eingangsventil
- Ausgangsventil



## Brennstoffzellen-Stack

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



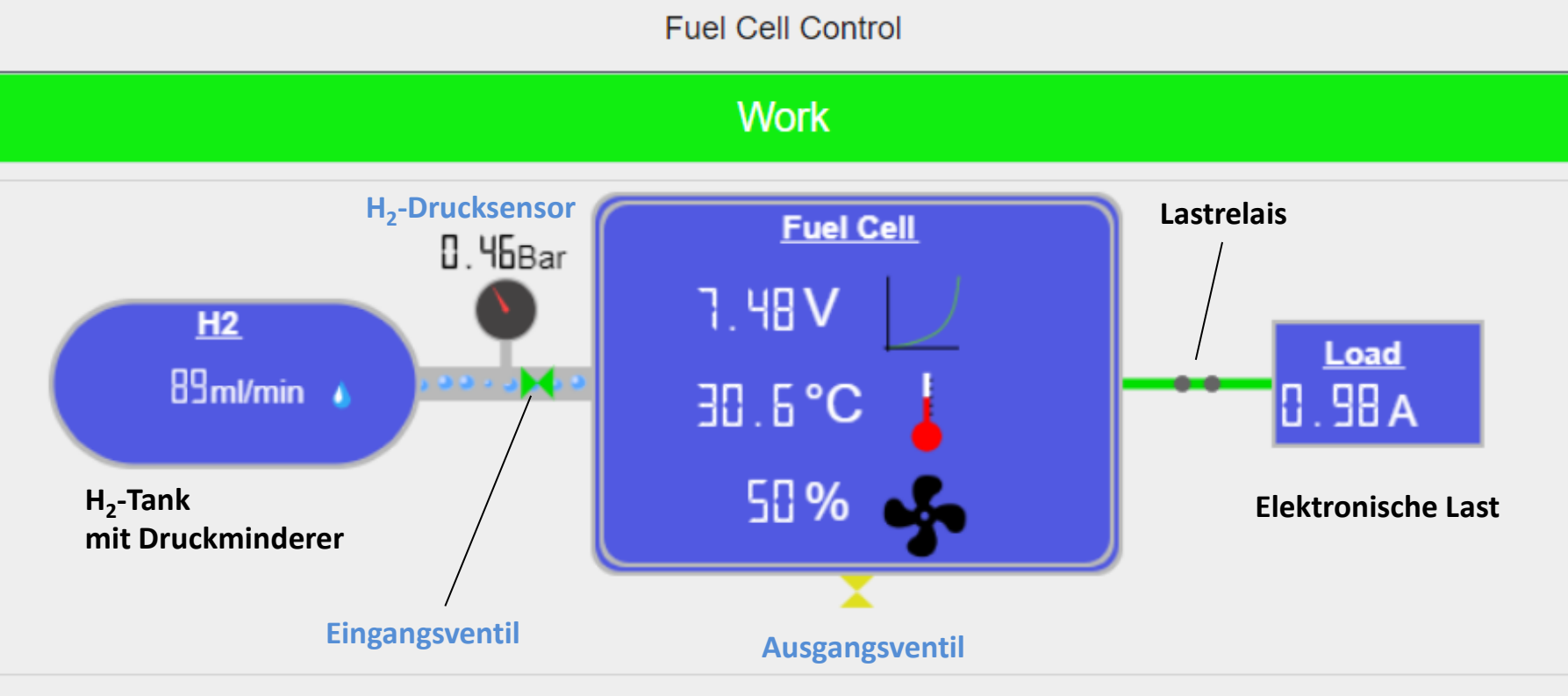
## Brennstoffzellen-Steuerung

- Spannung/Strom
- H<sub>2</sub>-Druck
- Temperatur/ Sauerstoffversorgung
- Magnetventile

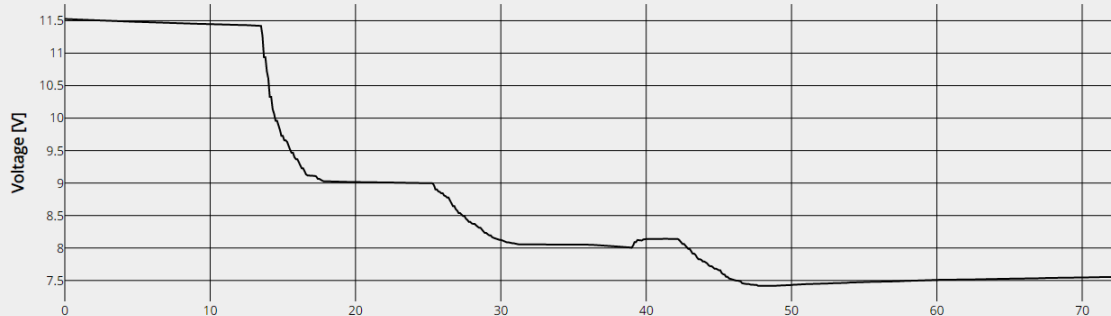
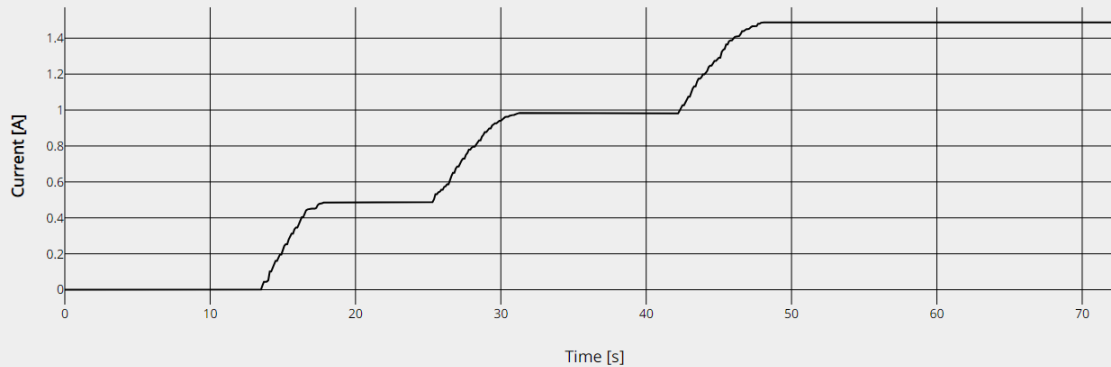


## Leistungselektronik

- DC/DC-Wandler



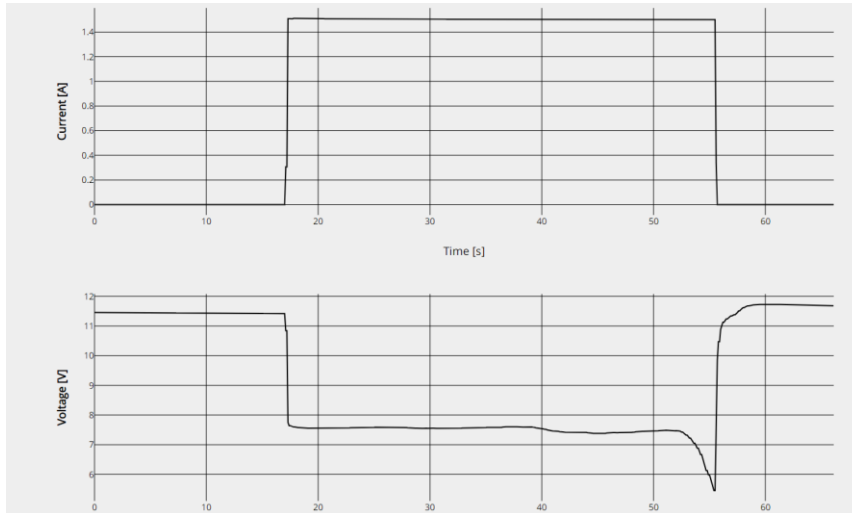
# BZ- Qualitative Erstbetrachtung



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

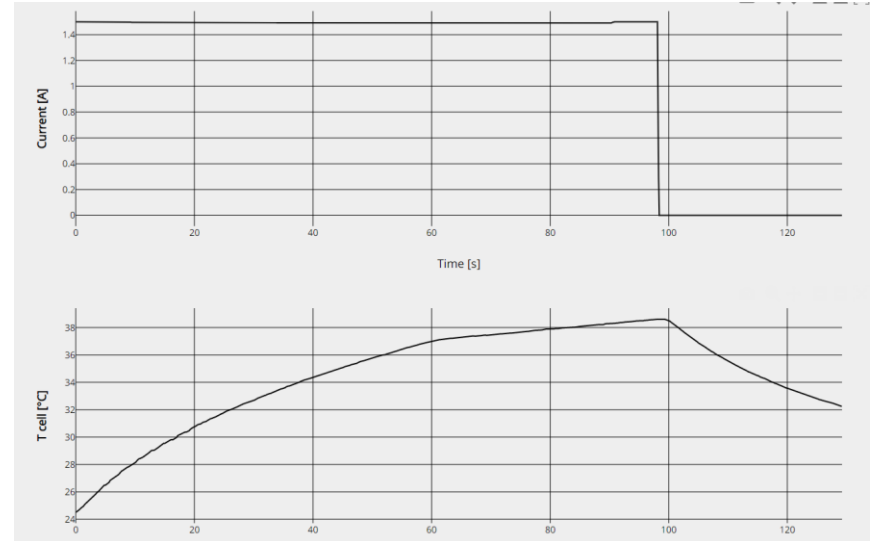
Leerlaufspannung: 11,5 V  
 Spannung @ 2 A: < 8 V  
 → DC/DC-Wandler  
 (Leistungselektronik)

# BZ- Lüfterfunktionen



## Sauerstoffversorgung

$\Lambda \geq 1$   
 Leistungseinfluss

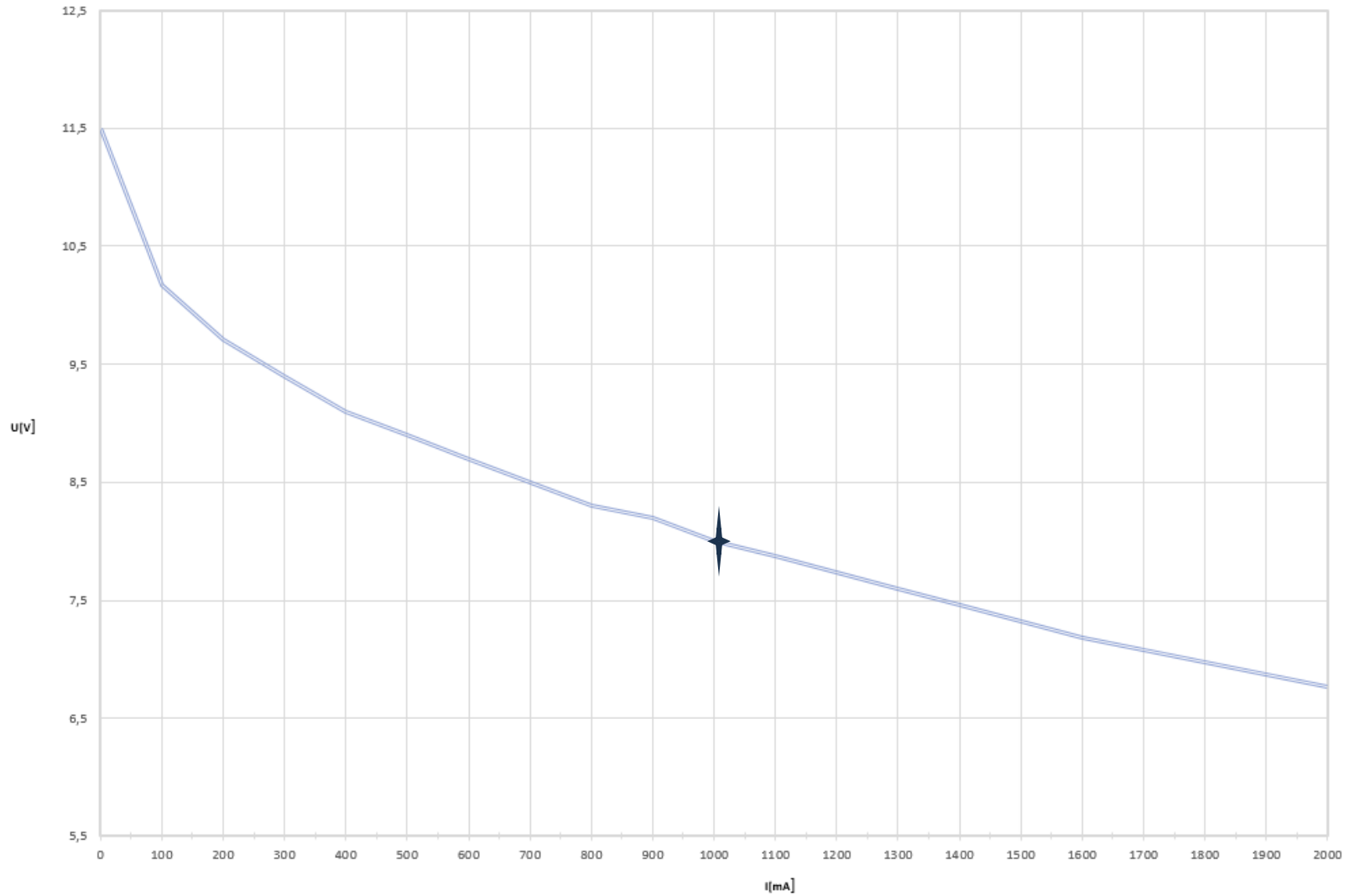


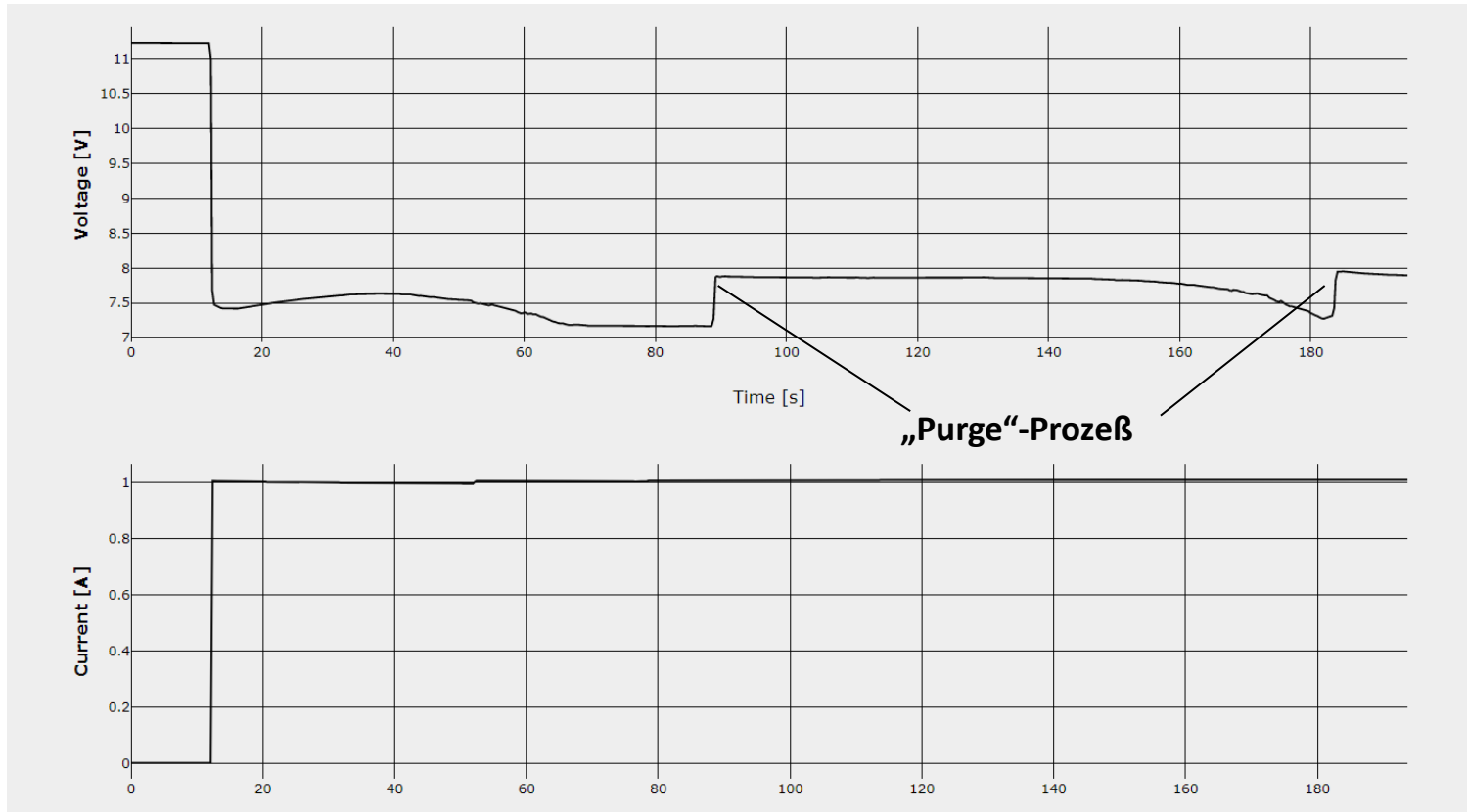
## Kühlung

Temperaturbereich:  
 0°C – 45°C

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

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







## Abschaltkriterien

Brennstoffzellenspannung:

< 6,0 V Warnung

< 5,5 V Abschaltung

Brennstoffzellenstrom:

> 3,0 A Abschaltung

Brennstoffzellentemperatur:

> 45°C Abschaltung

H<sub>2</sub>-Eingangsdruck:

< 350 mbar Abschaltung

Temperatur:

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

## Brennstoffzellenmanagement

Purgeprozeß/Wassermanagement:

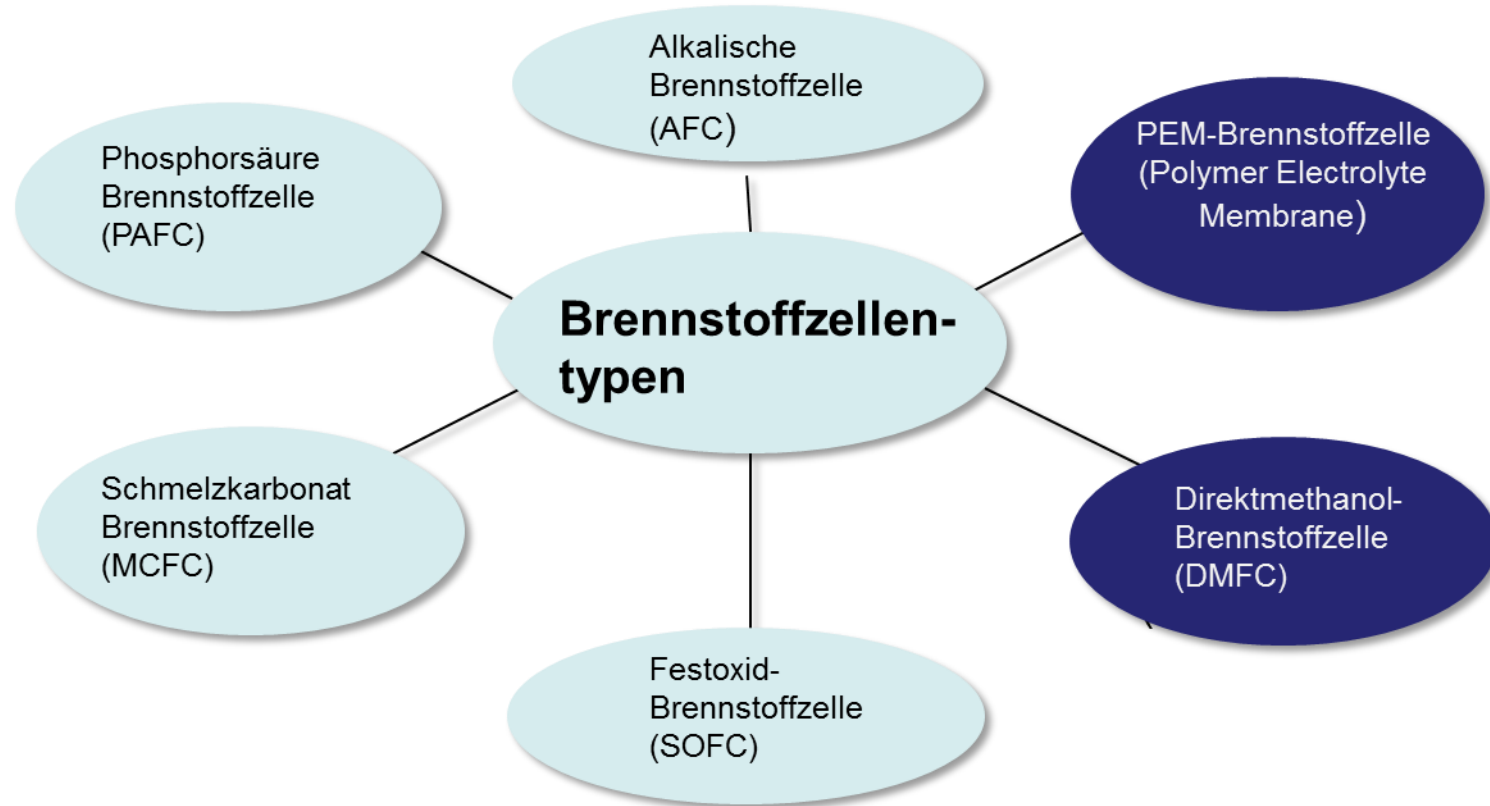
Der Purge-Prozeß/ das Wassermanagement der Brennstoffzelle wird über drei Kriterien gesteuert:

**Zeit: 180 Sekunden**

**H<sub>2</sub>-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.





**Preis: € 4.750.-**

## 2.3.2 Leistungsdaten<sup>1</sup> 24 V

	EFOY 80	EFOY 150
Max. Ausgangsleistung	40 W	75 W
Ausgangsleistung <sup>2</sup> 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	



## BG-15

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

*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*

**09:30 - 12:30**

**Grundlagen Batterietechnologie 1**

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

**13:00 - 15:00**

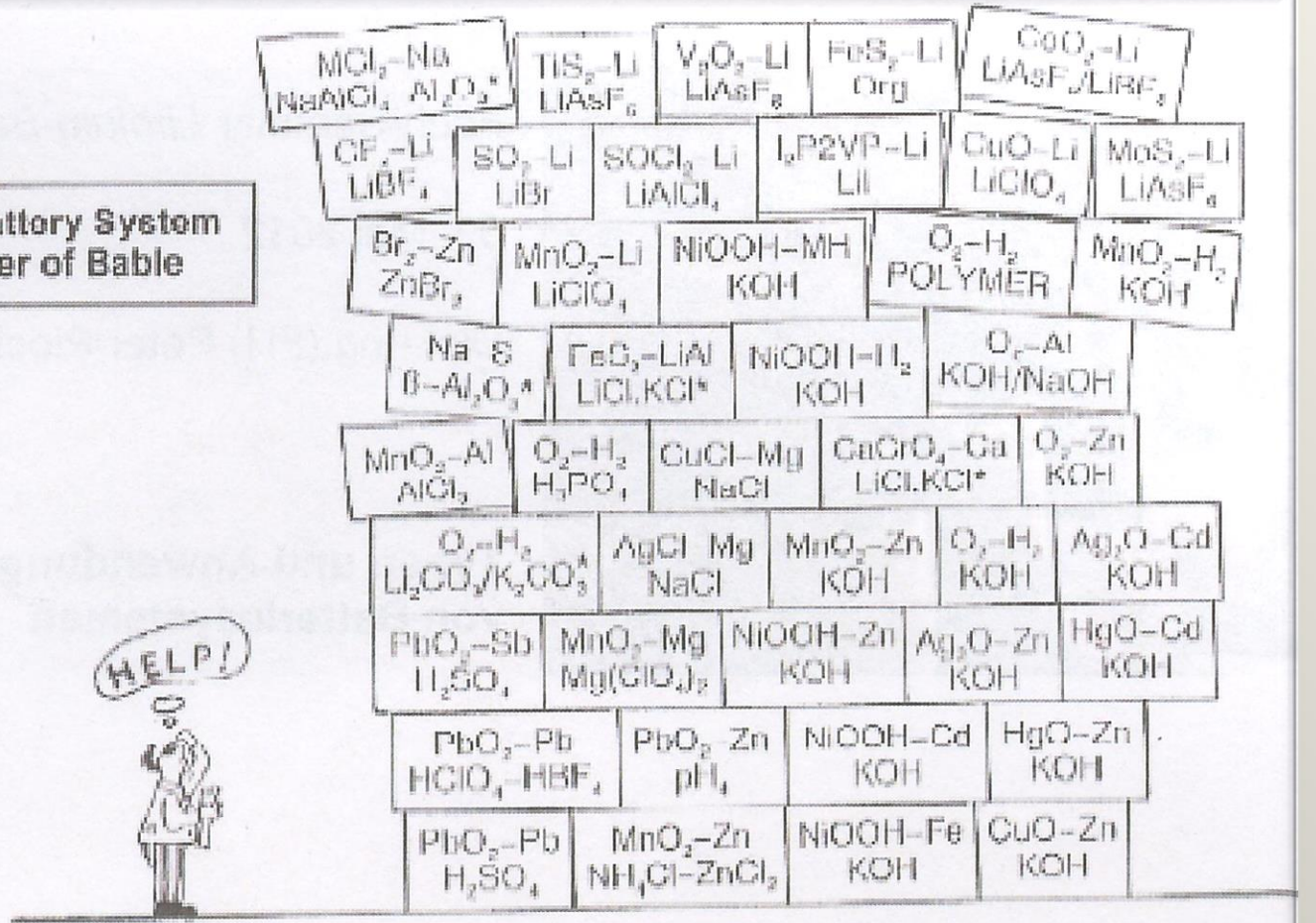
**Grundlagen Batterietechnologie 2**

- Batteriemangement / Packaging**
- Berechnungsbeispiele verschiedener Speichersysteme**

**15:00 - 15:30**

**Abschlussdiskussion**

The Battery System Tower of Babel



## Batterietypen

### Primärbatterien

### Sekundärbatterien

### Redox-Flow-Batterie

- Zink-Kohle
- Alkali-Mangan
- Zink-Luft
- Quecksilber-Oxid
- Silber-Oxid
- Lithium-Batterie

- Bleiakku (Pb)**
- Nickel-Cadmium (NiCd)
- Nickel-Metall-Hydrid (NiMH)**
- Nickel-Zink (NiZn)
- Lithium-Ionen (Li-Ion)**
- Lithium-Eisenphosphat (LiFe)**

- Hochtemperatur:
- Natrium-Nickel-Chlorid
- Natrium-Schwefel

- Vanadium Reflux-Flow Batterie
- (Wasserstoffbatterie)

**Mechanische Kenndaten**

- Volumen [cm<sup>3</sup>]
- Genormte Größen [AA,LR6, 18650]
- Gewicht [kg]
- Anschlüsse

**Temperaturbereich**

- Lagertemperaturbereich
- Entladetemperaturbereich
- Ladetemperaturbereich

**Ladebedingungen**

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

- Selbstentladung [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
<b>Product Number</b>	0810-0004	0800-0004	0840-0004	0820-0004
<b>Capacity Rating</b>				
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)
<b>Cell Power Rating</b>				
Peak Power	(@135A)135W	(@200A)200W	(@350A)325W	(@600A)600W
Energy/Unit Volume (@ C/10 rate)	1.47 W-h/in <sup>3</sup>	1.48 W-h/in <sup>3</sup>	1.48 W-h/in <sup>3</sup>	1.47 W-h/in <sup>3</sup>
	0.09 W-h/cm <sup>3</sup>	0.09 W-h/cm <sup>3</sup>	0.09 W-h/cm <sup>3</sup>	0.09 W-h/cm <sup>3</sup>
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
<b>Internal Resistance</b> (max. for a charged cell)	10x10 <sup>-3</sup> ohms	6x10 <sup>-3</sup> ohms	4x10 <sup>-3</sup> ohms	2.2x10 <sup>-3</sup> ohms
	<small>Measured on Hewlett-Packard 4328A milliohm meter.</small>			
<b>Nominal Cell Voltage</b>	2.0V	2.0V	2.0V	2.0V
<b>Cell Temperature Range</b>	Storage	-65°C to +65°C		
	Discharge	-65°C to +65°C		
	Charge	-40°C to +65°C		
<b>Storage Time</b>	Ta = 0°C	7,200 days		
	Ta = 23°C	1,200 days		
	Ta = 65°C	60 days		
<b>Atmospheric Pressure Range</b>	0-8 Atmospheres			
<b>Cell Charging</b>	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		
<b>Cycle Life</b>	200-2,000 cycles			
	<small>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.</small>			
<b>Expected Float Life</b>	8 years			
	<small>Based on accelerated test methods, 2.35 volts constant voltage charge at 23°C ambient temperature.</small>			

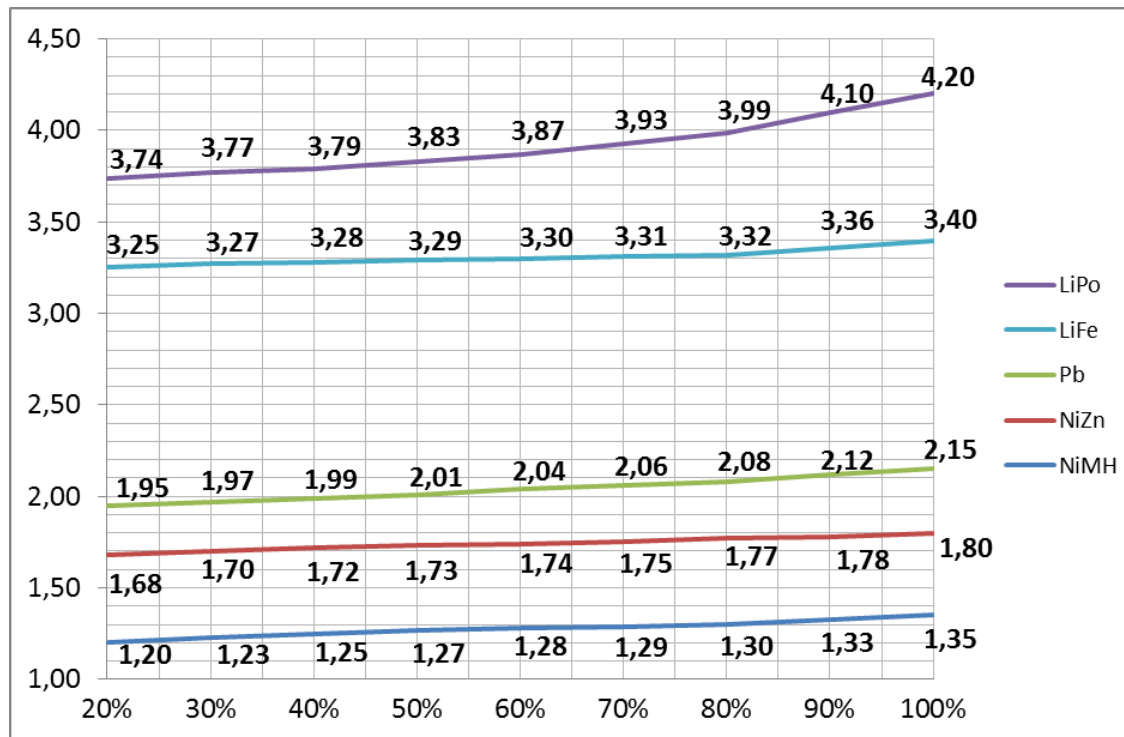
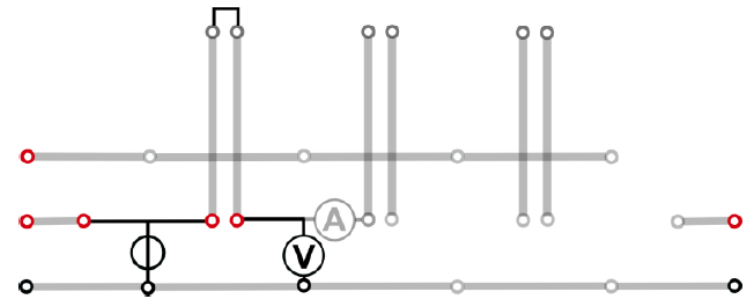
**Entladebedingungen**

- max. Entladestrom
- Entladeschlussspannung

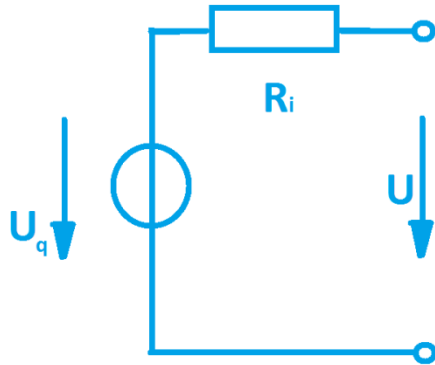
**Elektrotechnische Spezifikationen**

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



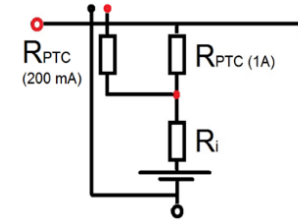
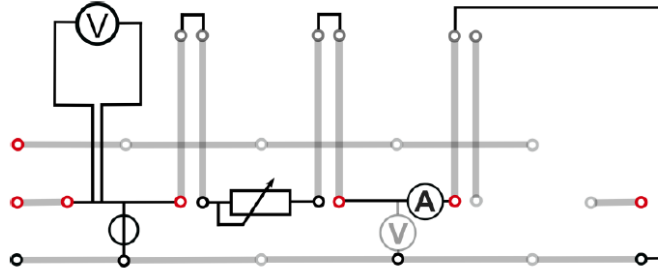


\* SOC, State of Charge



- Je größer die Kapazität desto kleiner ist der  $R_i$
- Der Innenwiderstand vergrößert sich irreversible mit zunehmender Alterung/Zykluszahl
- 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



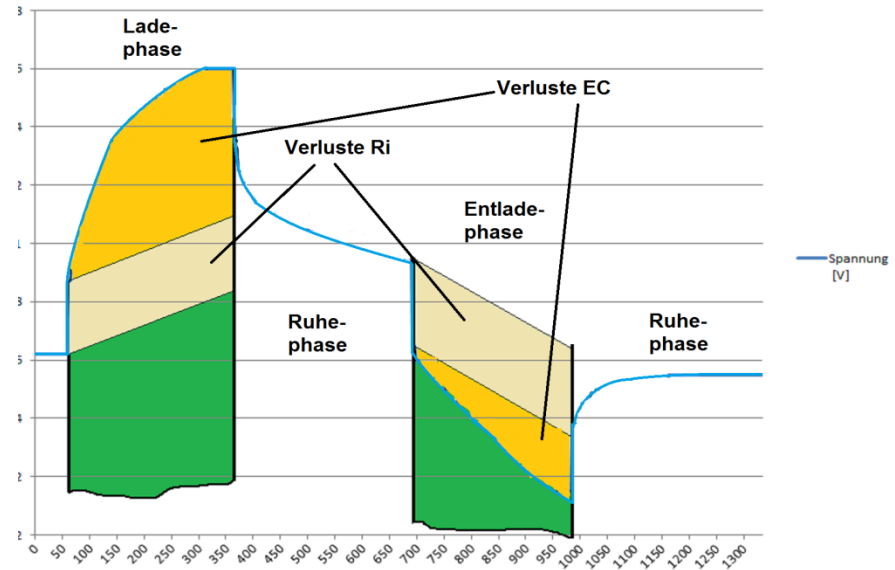
Akku-Typ	$U_0$ in V	$I_{last*}$ in mA	$U_{Last}$ in V	$R_i$ in m $\Omega$	$\eta$
		500			
		500			
		500			
		500			

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

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

$R_i$  (Datenblatt)

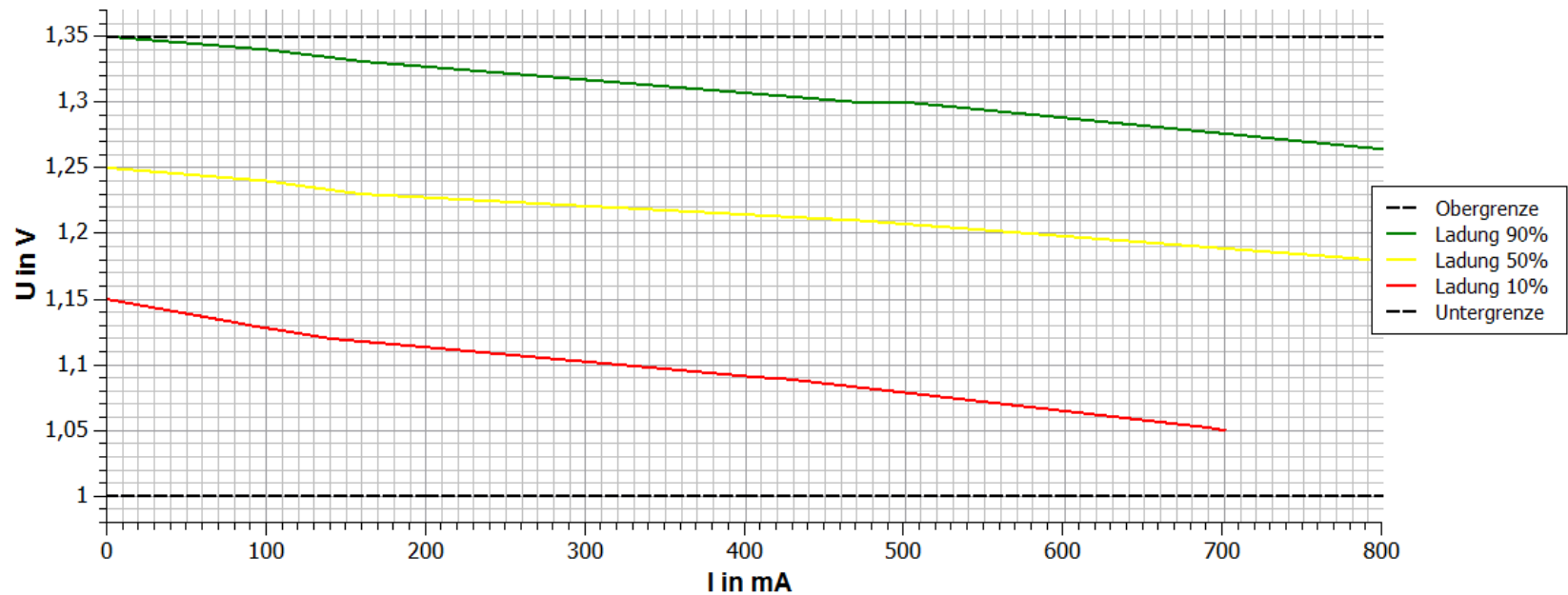
NiMH	150 m $\Omega$
Pb	50 m $\Omega$
LiFePo	300 m $\Omega$
LiPo	200 m $\Omega$



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

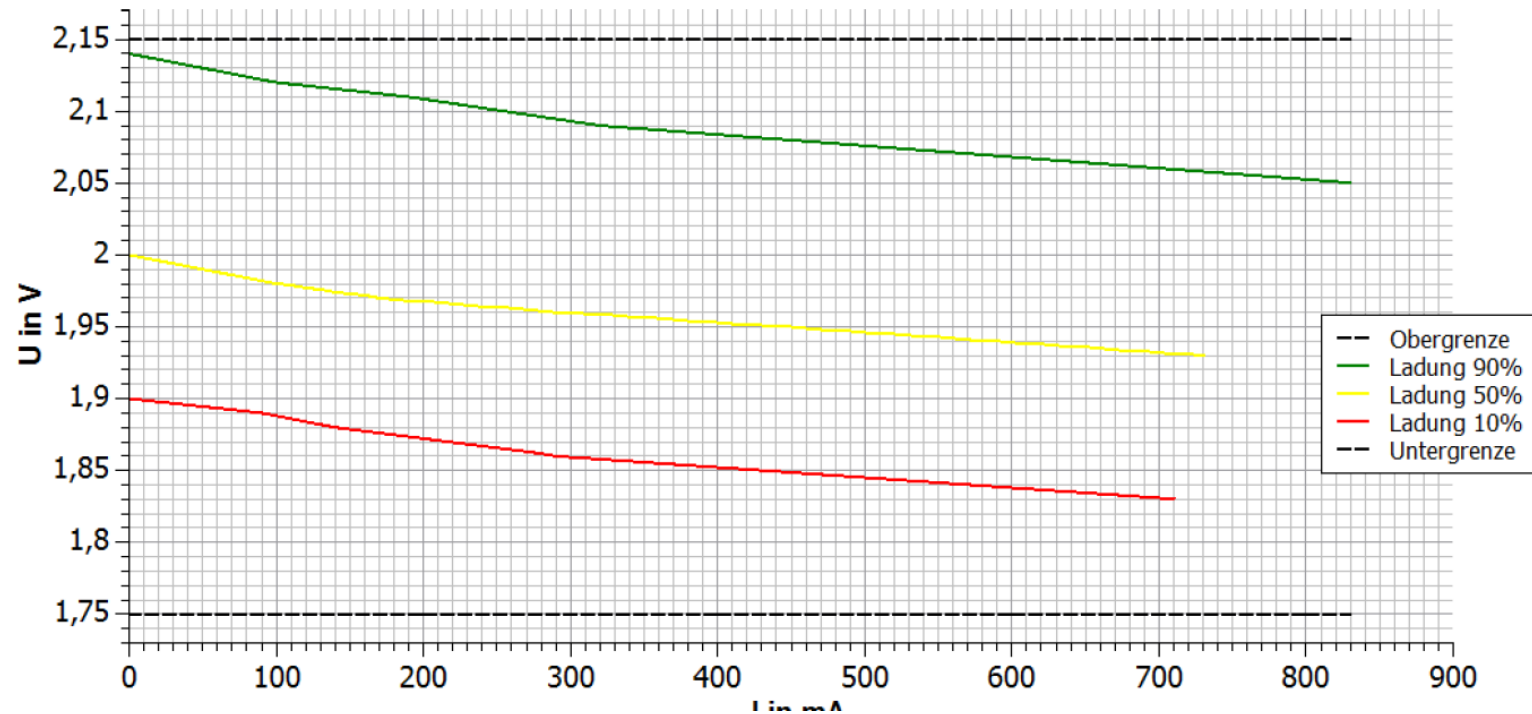
R in $\Omega$	$\infty$	50	25	10	5	1
U in V						
I in mA						

## NiMH



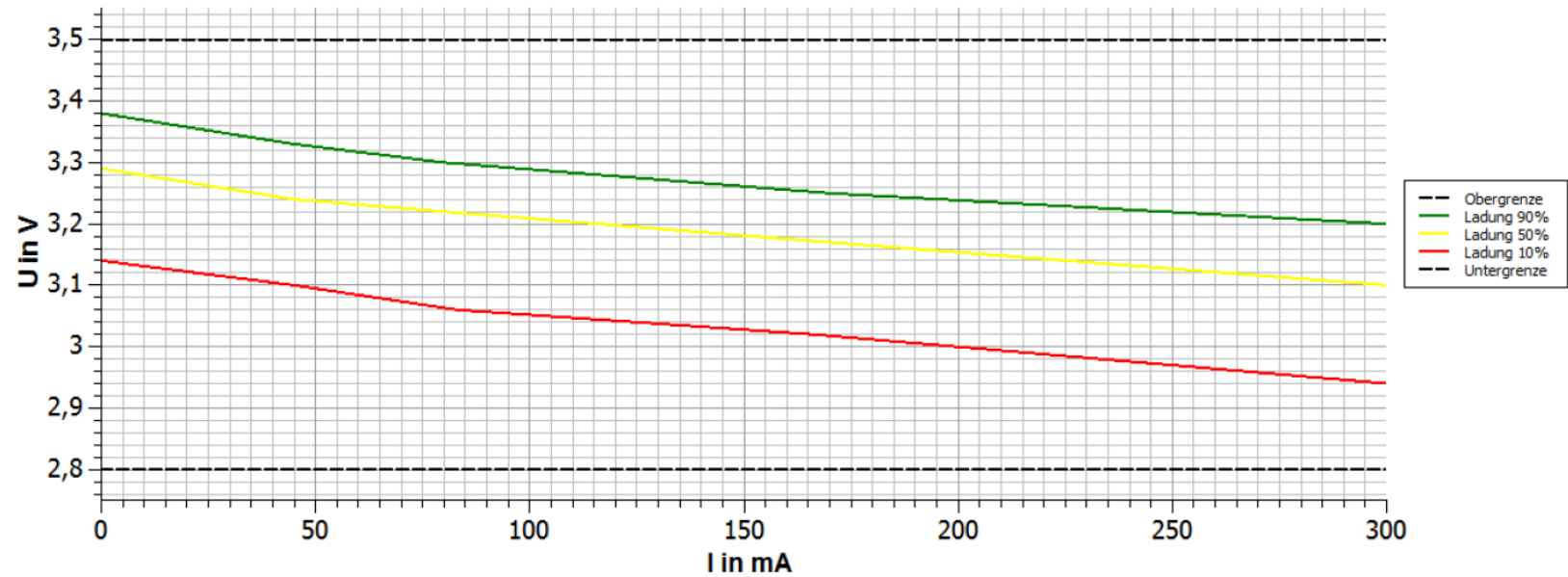
R in $\Omega$	$\infty$	60	30	15	5	1
U in V						
I in mA						

**Pb**



R in $\Omega$	$\infty$	100	50	33	10	5
U in V						
I in mA						

## LiFe



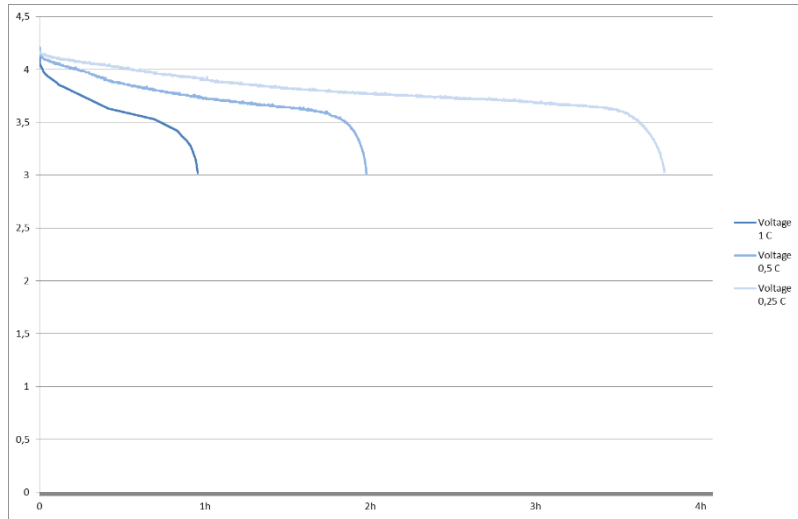
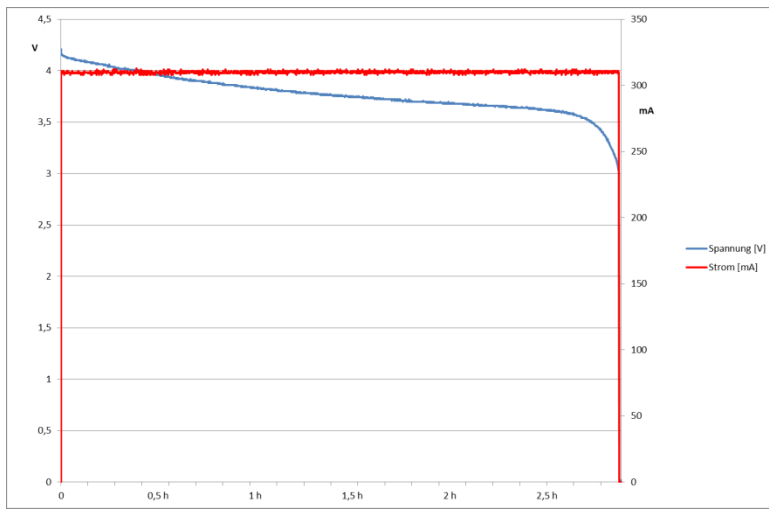
C-rate:

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

Bsp.:

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

C-rate = 1/3



Max. Entladestrom:

1 C – 100 C

Tiefentladespannung:

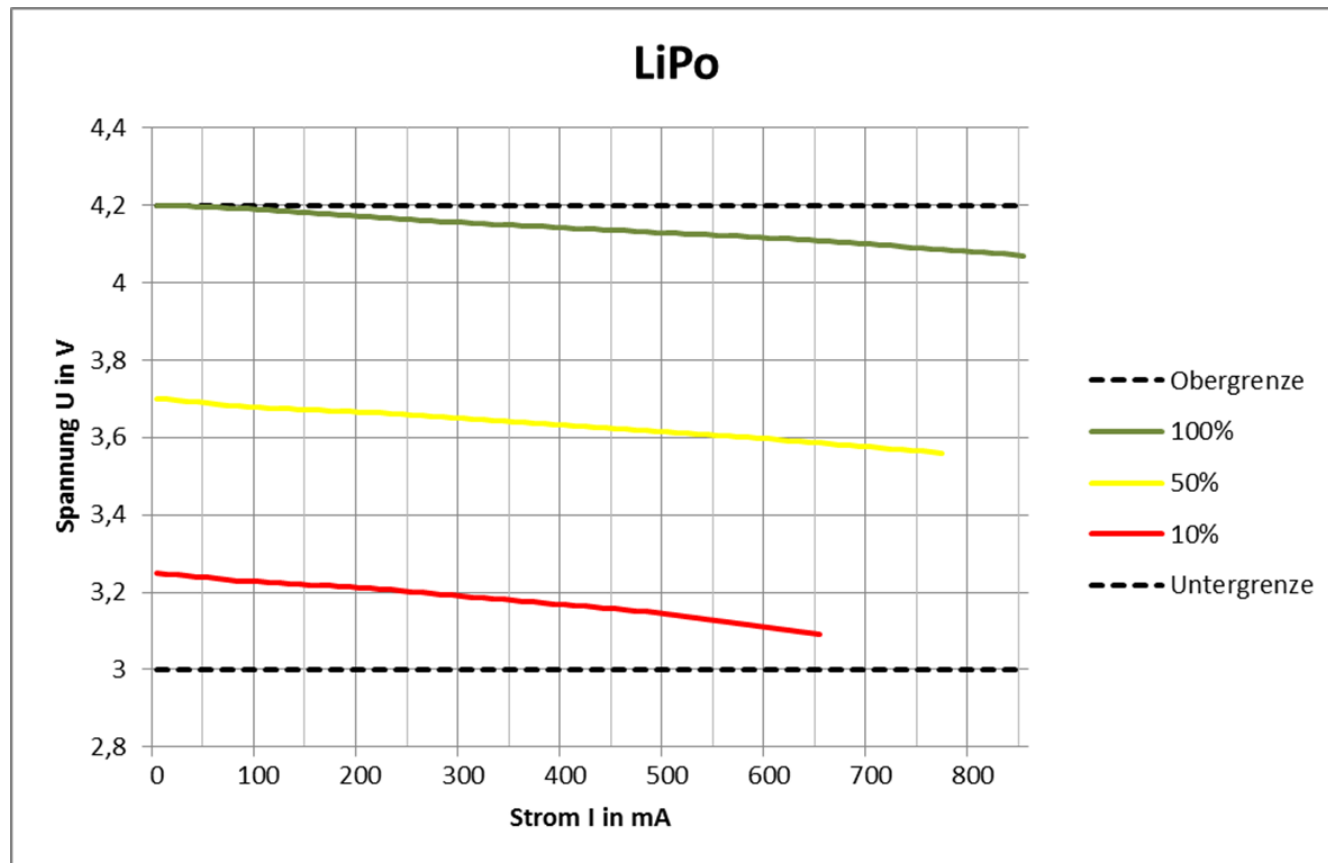
Li-Ion/LiPo: 3,0 V

NiMH: -----

Pb: 1,75 V



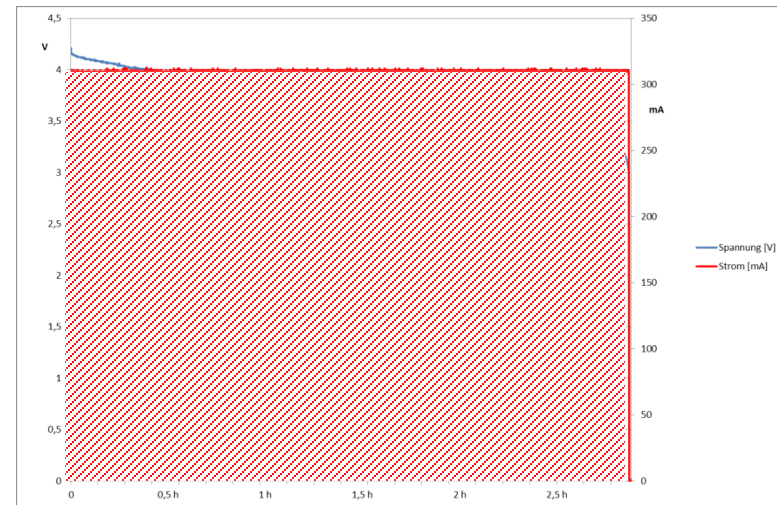
R in $\Omega$	$\infty$	100	50	33	10	5
U in V						
I in mA						



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.:

$$\text{BOL: } C_B = C_0$$

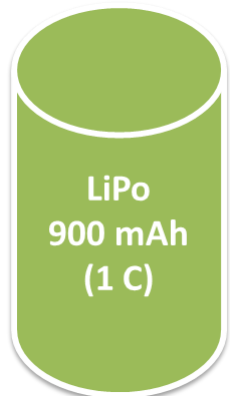
$$\text{EOL: } C_B = 80 \% C_0$$

Oftmals Kapazität Wh:

$$\int_t P(t) dt$$

Vereinfacht:

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



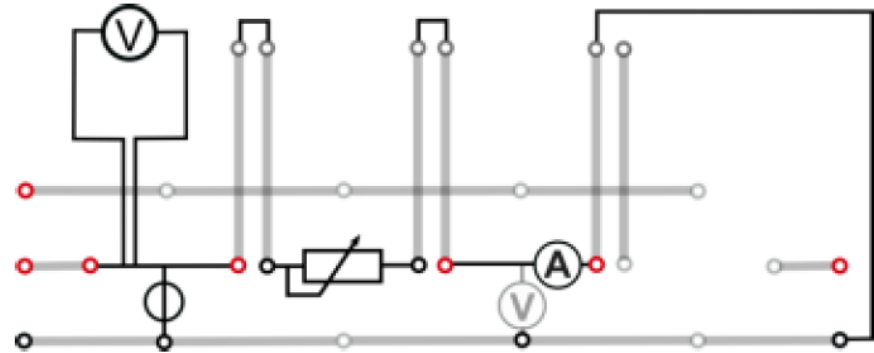
# Kapazitätsbestimmung Schnelltest

LiFePo

Kapazität (BOL): 200 mAh

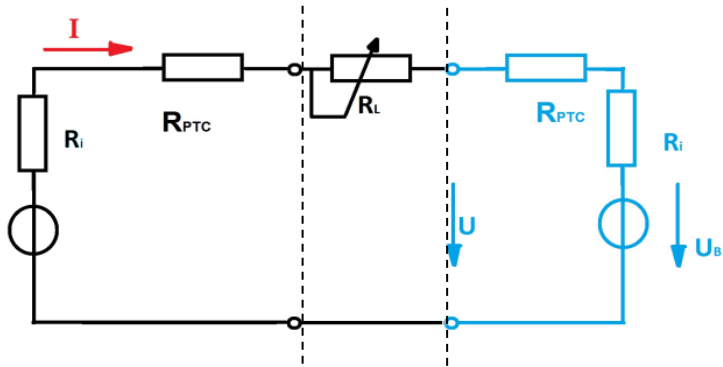
Strom (1C): 200 mA

Zeit: 360 Sekunden



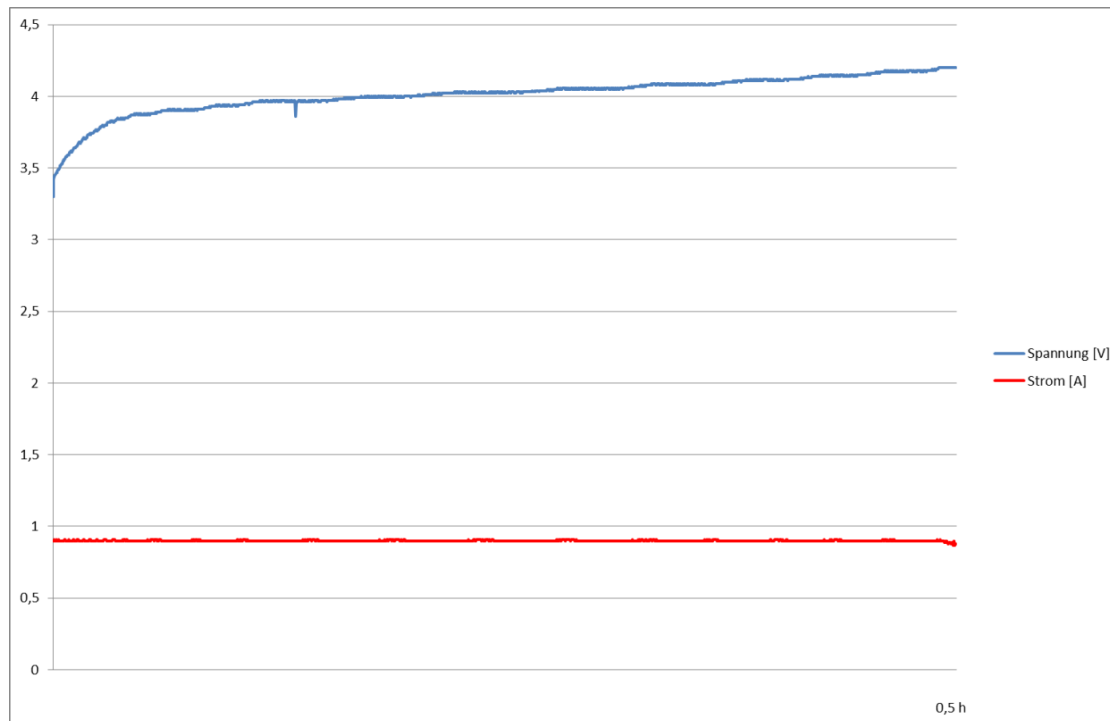
Akku-Typ	$U_0$ [V]	Ladezustand 1 [%]	$U_0$ [V]	Ladezustand 2 [%]	berechnete Kapazität [mAh]

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

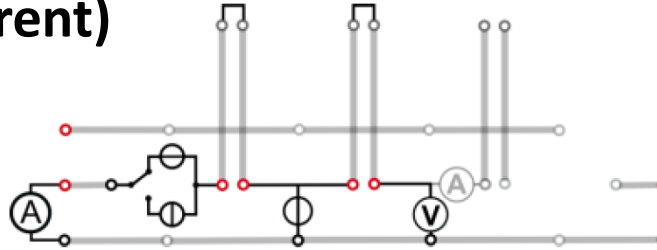


$$I = \frac{\Delta U}{R_{ges}}$$

U <sub>0</sub> [V]	
SOC [%]	



## CC (Constant Current)

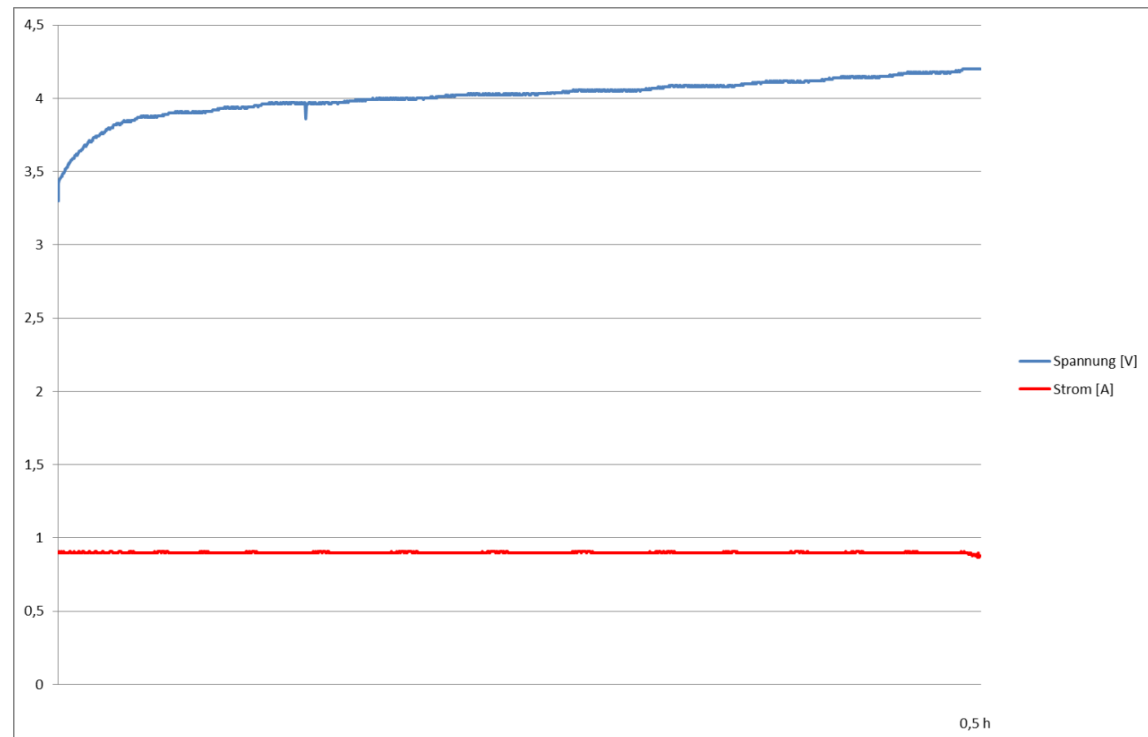
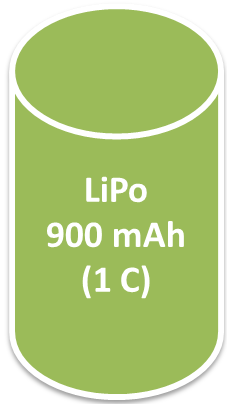


max. Ladestrom:

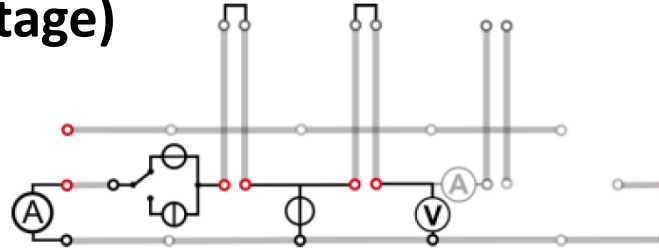
Li-Techn.:	1 C
Pb:	0,4 C
NiMH:	1 C

## Kapazität

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



## CV (Constant Voltage)



Ladeschluss-Spannung:

Li-Ion: 4,2 V

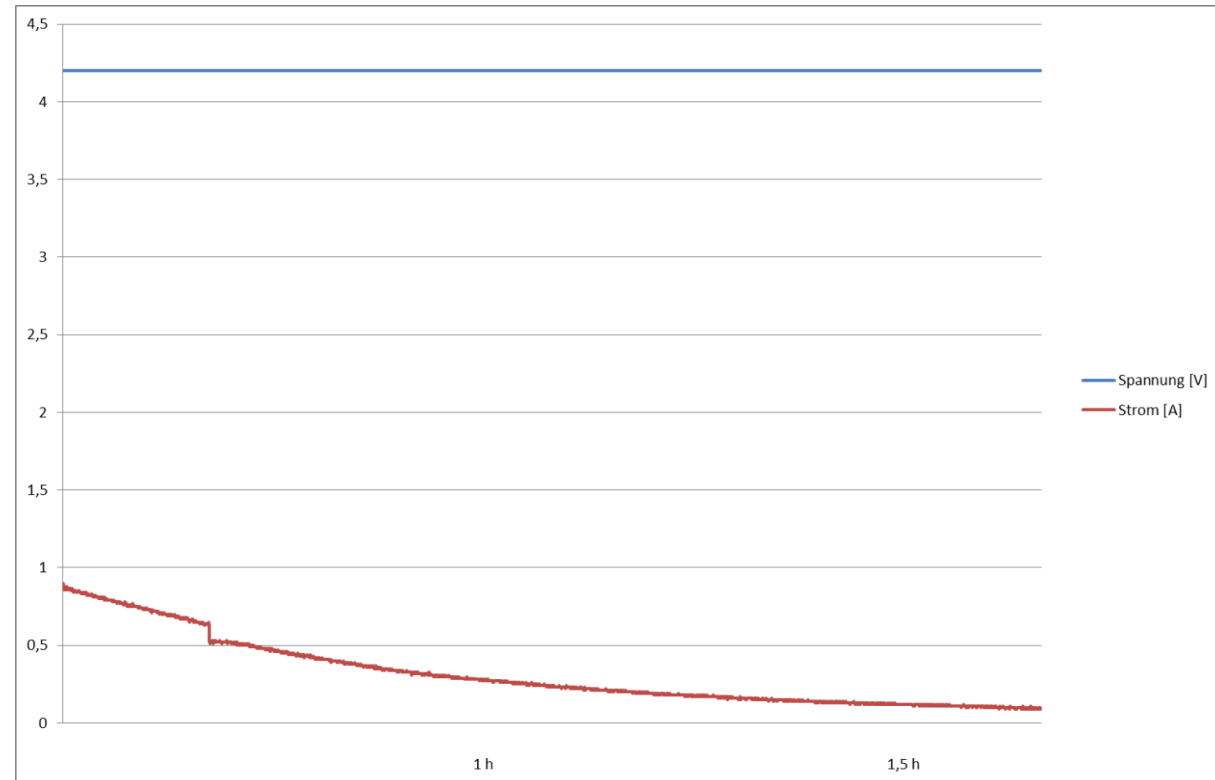
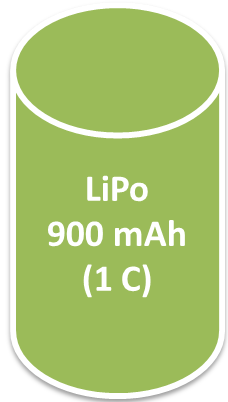
LiFe: 3,6 V

Pb: 2,4 V - 2,6 V

NiMH: ----

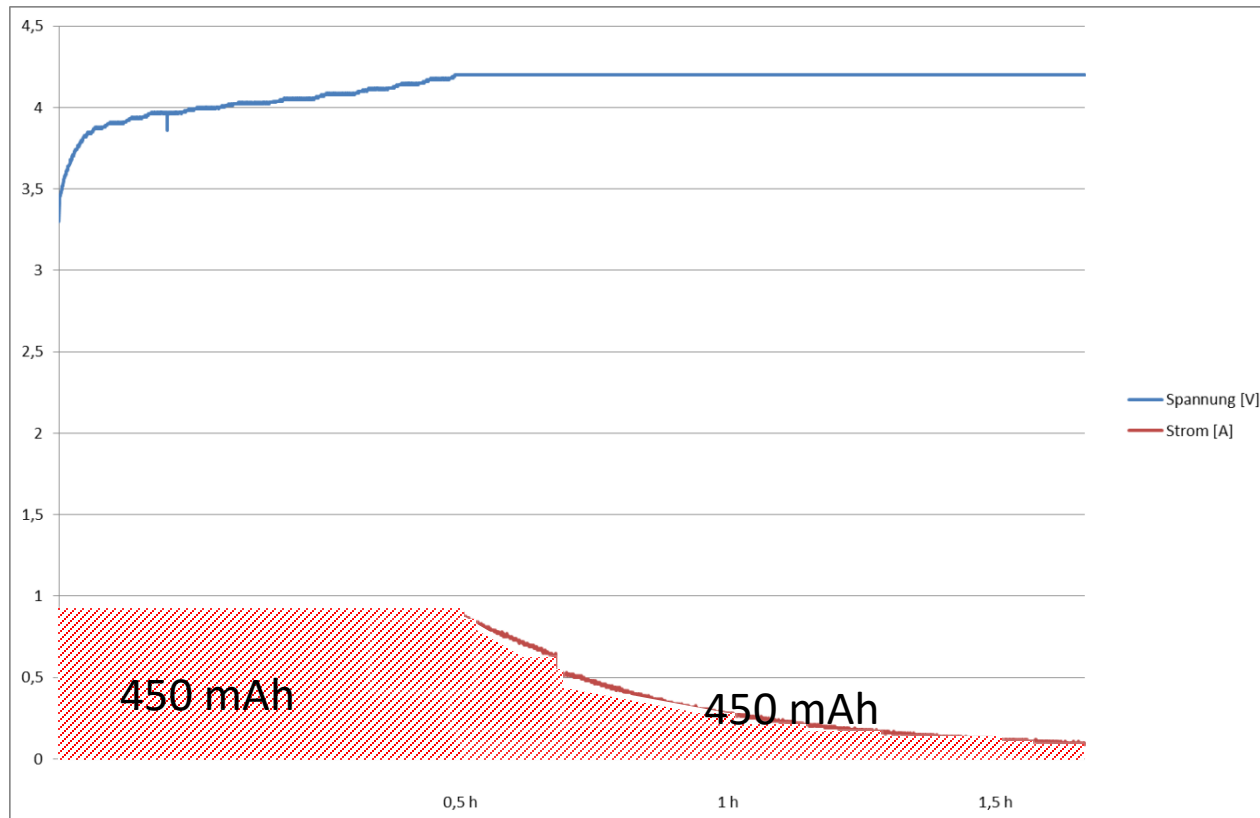
## Kapazität

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

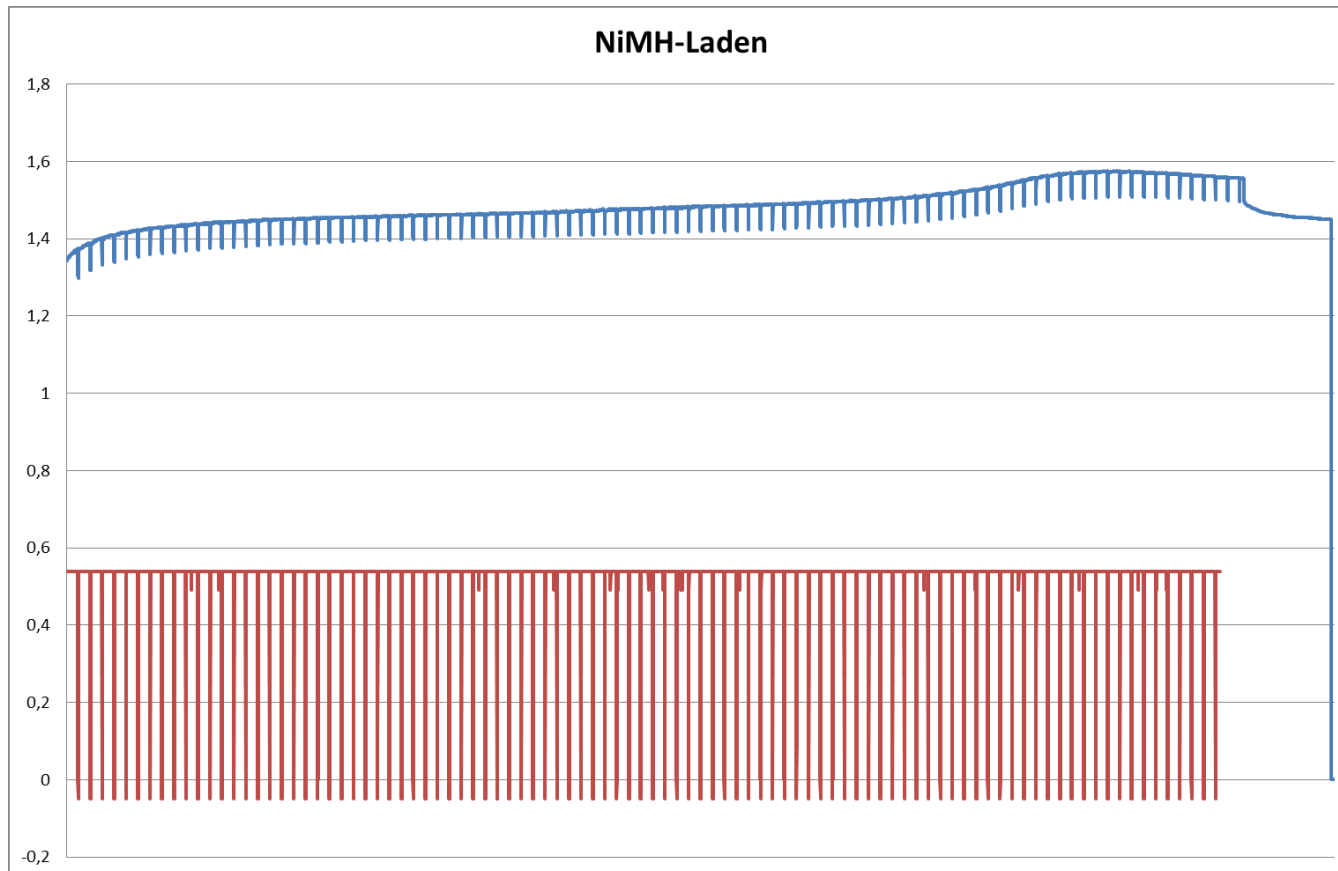


## CCCV (Constant Current Constant Voltage)

$U_0$ [V]	
SOC [%]	



## $\Delta U$ -Verfahren



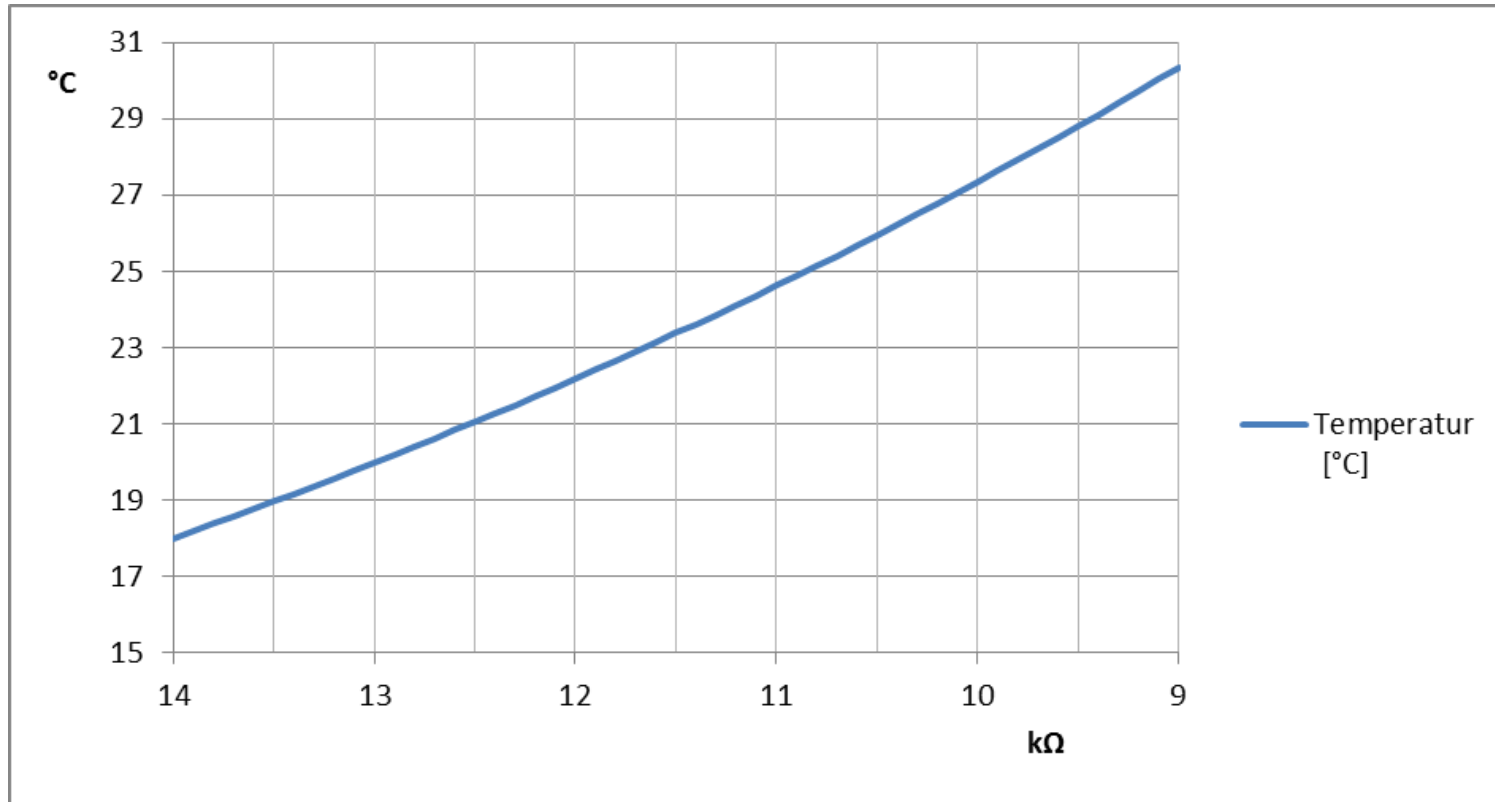


## Angaben Datenblatt LiPo-Zelle

- 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]

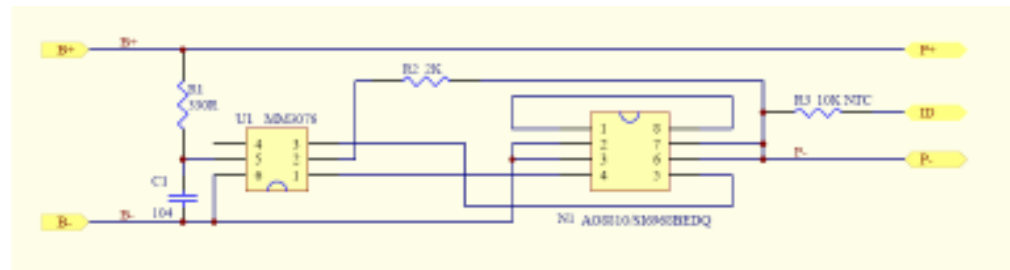


<i>09:30 - 11:00</i>	<i>Theoretische Grundlagen Energiespeicher</i>
<i>11:15 - 12:30</i>	<i>Wasserstoffproduktion</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Grundlagen der Elektrolyse/Wasserstoffproduktion</i></li><li>- <i>Wasserstoffgeneratoren in der Anwendung</i></li><li>- <i>Wasserstoffspeicherung</i></li></ul>
<i>13:00 - 15:30</i>	<i>Brennstoffzellentechnologie</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie</i></li><li>- <i>Brennstoffzellensysteme in der Anwendung</i></li></ul>
<i>09:30 - 12:30</i>	<i>Grundlagen Batterietechnologie 1</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Zellspannung / SOC</i></li><li>- <i>Innenwiderstand</i></li><li>- <i>Entladeverhalten / Kapazitätsbestimmung</i></li><li>- <i>Ladefahren</i></li><li>- <i>Temperaturverhalten</i></li></ul>
<i>13:00 - 15:00</i>	<b>Grundlagen Batterietechnologie 2</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b>Batteriemanagement / Packaging</b></li><li>- <b>Berechnungsbeispiele verschiedener Speichersysteme</b></li></ul>
<i>15:00 - 15:30</i>	<b>Abschlussdiskussion</b>

## LiPo-Zelle

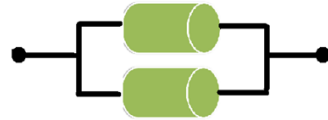
### Einzelzellüberwachung:

Überladespannung:	4,275 V
Tiefentladespannung:	3,0 V
Überlaststrom:	2.0 – 5.0 A
Kurzschlussüberwachung:	- 560 $\mu$ 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



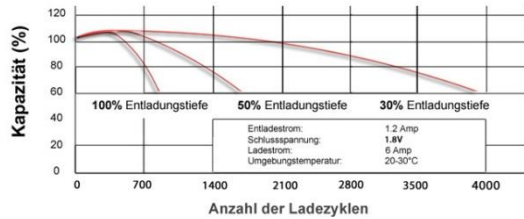
Art.Nr.: Toyo2v500

**1.298,00 EUR**  
 inkl. 19 % MwSt. zzgl. Versandkosten  
 Speditionsversand - 150,00kg

sofort lieferbar

[in den Warenkorb](#)

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



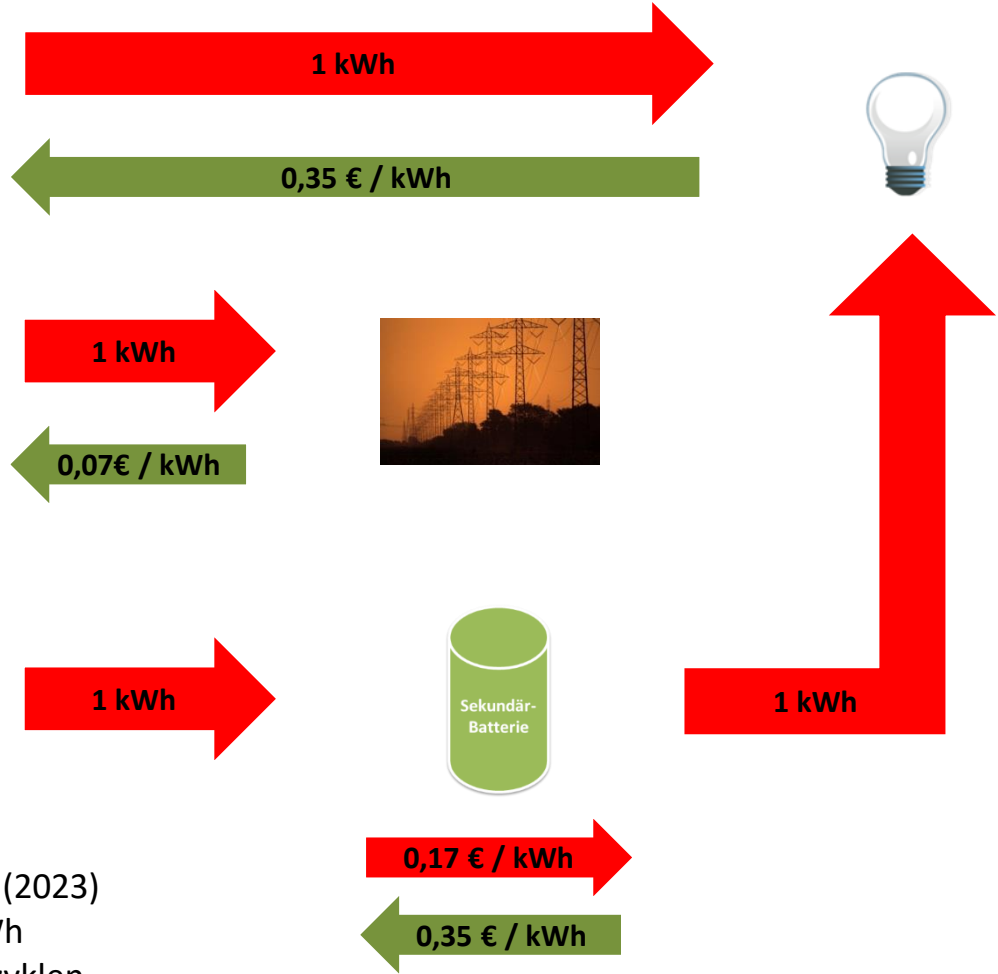
Handelsblatt: Onlineausgabe 06.05.2015

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



Szenario I (2015)  
1.000 € / kWh  
3000 Vollzyklen

x = 0,33 € / kWh



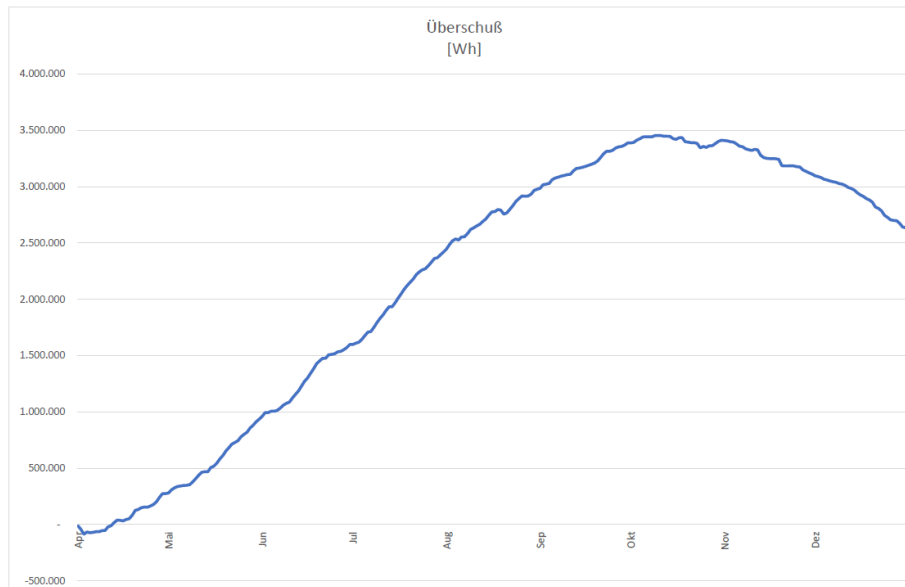
Szenario II (2023)  
500 € / kWh  
3.000 Vollzyklen

x = 0,17 € / kWh





**PV-System: 8 kW<sub>peak</sub>**  
**Verbrauch: 4.800 kWh**  
**Überschussenergie<sub>el.</sub>: 3.500 kWh**  
**Rüchspeisevergütung: € 245.-**  
**Speicherung: ?**



**Batteriesystem:**

3.500 kWh \* € 500 = 1,75 Mio. €

**H<sub>2</sub>-System:**

€ 85.000.-

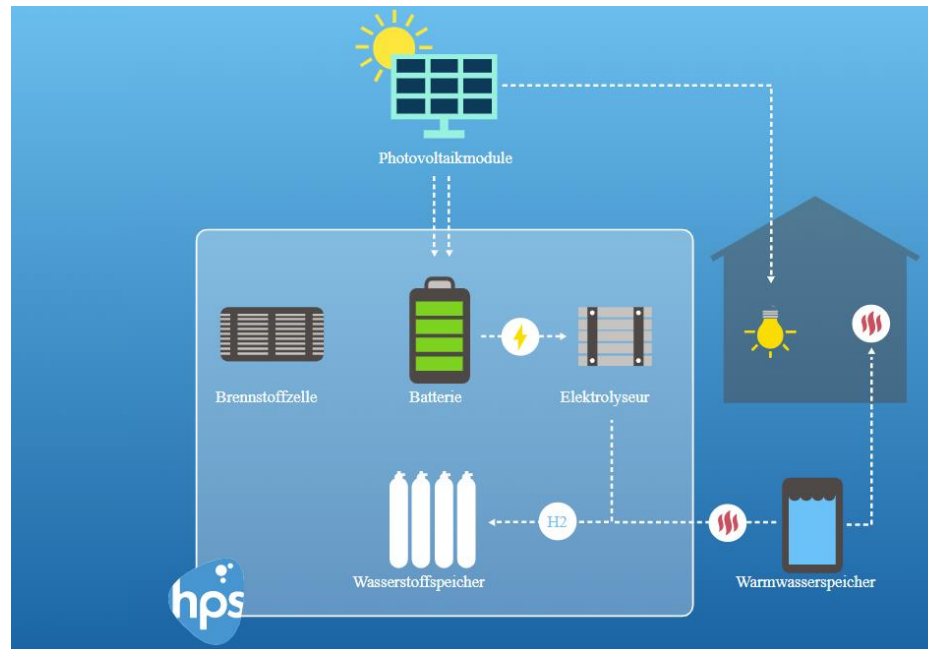
## PV-Elektrolyse-System



### picea-Komplett-System\*

- H<sub>2</sub>-Generator
- H<sub>2</sub>-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
- H<sub>2</sub>-Speicher: 300 kWh<sub>el.</sub> (600 kWh<sub>brutto</sub>)
- 18 kg H<sub>2</sub> (18 x 50 Literflaschen)
- € 85.000.-**
- + 3x H<sub>2</sub>-Speicher (3 x € 5.000.-)
- 
- € 100.000.-**

### TECHNISCHES DATENBLATT

ELEKTRISCH		
<b>Netzersatz- und Netzparallelbetrieb:</b>		
- Nennspannung	V	3-400
- Nennfrequenz	Hz	50
- Nennleistung <sup>1</sup>	kW	7,2
- Brennstoffzellenleistung <sup>2</sup>	kW <sub>el</sub>	1,5
- Wasserstoffherstellungsleistung <sup>2</sup>	kW <sub>el</sub>	2,3
- Ausgangscheinleistung im Netzersatzbetrieb <sup>1</sup>	kVA	9,0
- Ausgangschein- und Einspeiseleistung im Netzparallelbetrieb <sup>1</sup>	kVA	7,5
- Energie Batterie (Kurzzeitspeicher, Kapazität brutto / netto) <sup>3</sup>	kWh <sub>el</sub>	36 / 20
- Elektrische Energie Wasserstoffspeicher (saisonal) <sup>2</sup>	kWh <sub>el</sub>	300 (erweiterbar bis zu 1500)
<b>DC-Anschluss an Photovoltaik<sup>4</sup>:</b>		
- Anzahl der unabhängigen MPPT-Eingänge / Strings		3
- max. umsetzbare Generatorleistung pro MPPT	kW	5,8
- max. Eingangsspannung (offene Klemmspannung) pro MPPT	V <sub>oc</sub>	250
<b>AC-Anschluss an externen PV-Wechselrichter<sup>5</sup>:</b>		
- Spannung / Frequenz / max. Ladeleistung der picea Batterie	V / Hz / kW	3-400 / 50 / 5,7
<b>THERMISCH</b>		
Verfügbare Abwärme <sup>6</sup>	kWh	ca. 3.000
Temperaturniveau der Sommerwärmeauskopplung	°C	max. 55
<b>Lüftungsgerät:</b>		
- Maximale Luftmenge (bei 100 Pa)	m <sup>3</sup> /h	350
- Wärmerückgewinnungsgrad	%	bis zu 87
- Schalleistungspegel der Gehäuseabstrahlung im Nennbetrieb <sup>6</sup>	dB (A)	58
- Schalleistungspegel der Kanalanlüsse mit Schalldämpfer im Nennbetrieb <sup>6</sup>	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 <sub>1</sub> ≥ 50% (F7), Hausabluft mit ISO ePM <sub>1</sub> ≥ 50% (F7), Umluft mit ISO Coarse 60% (G4)		
<b>Hydraulische Anschlüsse:</b>		
- Vorlauf-/Rücklaufanschluss zum Warmwasser-Pufferspeicher		G ¾" AG / G ½" AG
- Frischwasser-/Abwasserschlauch		DN ½" / 10x15 mm flexibel
<b>Heizstab:</b>		
- 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		
<b>HAUPTKOMPONENTEN</b>		
<b>Energiezentrale (Innensystem)<sup>7</sup>:</b>		
	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		
<b>Wasserstoffspeicher (Außensystem)<sup>8</sup>:</b>		
	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 <sup>9</sup>	dB (A)	58
- Schalleistungspegel mit Schalldämpfer im Nennbetrieb <sup>9</sup>	dB (A)	55
- Schalldruckpegel ohne Schalldämpfer im Nennbetrieb im Sichtabstand von 3m <sup>9</sup>	dB (A)	49
- Betriebsdruck Druckgasflaschenbündel	bar	max. 300

inter.vorarbeiten. raumtyp: 1.00-0

\* Quelle HPS-Solutions

<i>09:30 - 11:00</i>	<i>Theoretische Grundlagen Energiespeicher</i>
<i>11:15 - 12:30</i>	<i>Wasserstoffproduktion</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Grundlagen der Elektrolyse/Wasserstoffproduktion</i></li><li>- <i>Wasserstoffgeneratoren in der Anwendung</i></li><li>- <i>Wasserstoffspeicherung</i></li></ul>
<i>13:00 - 15:30</i>	<i>Brennstoffzellentechnologie</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie</i></li><li>- <i>Brennstoffzellensysteme in der Anwendung</i></li></ul>
<i>09:30 - 12:30</i>	<i>Grundlagen Batterietechnologie 1</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Zellspannung / SOC</i></li><li>- <i>Innenwiderstand</i></li><li>- <i>Entladeverhalten / Kapazitätsbestimmung</i></li><li>- <i>Ladefahren</i></li><li>- <i>Temperaturverhalten</i></li></ul>
<i>13:00 - 15:00</i>	<i>Grundlagen Batterietechnologie 2</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Batteriemanagement / Packaging</i></li><li>- <i>Berechnungsbeispiele verschiedener Speichersysteme</i></li></ul>
<i>15:00 - 15:30</i>	<i>Abschlussdiskussion</i>