

SOC

CH_4

LiFePo

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

C

H_2

BOL

CCCV

ΔU

Grundlagenseminar Batterie- und Wasserstofftechnologie

11.-12.09.2024, BBS Burgdorf

Ralph Schanz

Mittwoch, 11.09.2024

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, 12.09.2024

09:30 - 12:30

Grundlagen Batterietechnologie 1

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

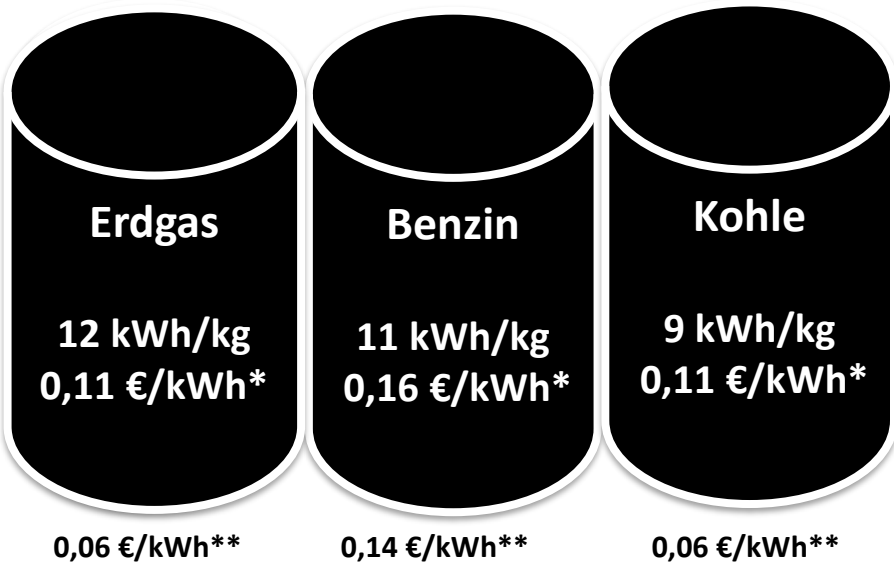
13:00 - 15:00

Grundlagen Batterietechnologie 2

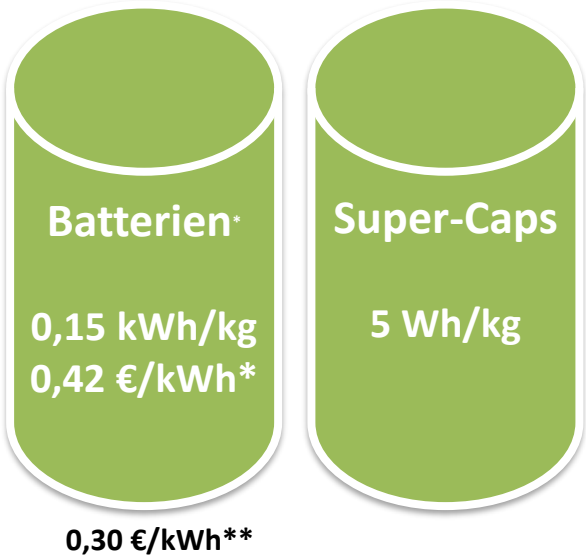
- **Batteriemanagement / Packaging**
- **Berechnungsbeispiele verschiedener Speichersysteme**

15:00 - 15:30

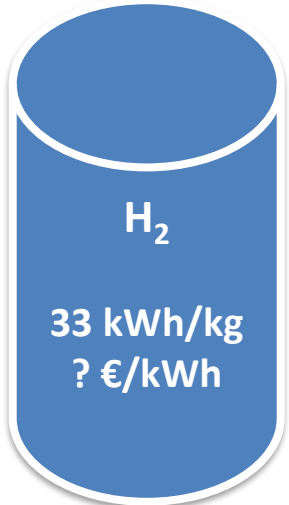
Abschlussdiskussion



Fossile Brennstoffe

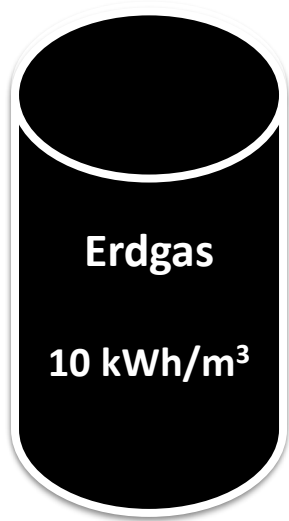


Elektrische Speicher

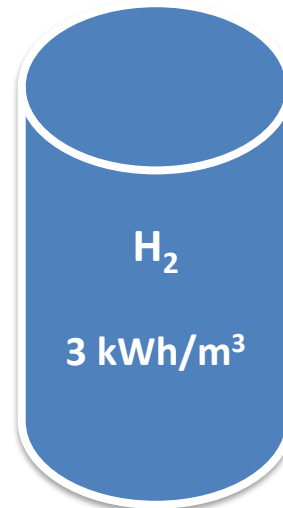


Wasserstoff

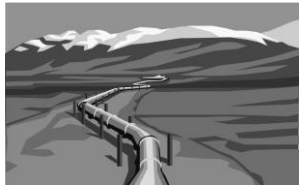
* Preise 2024
**Preise 2013



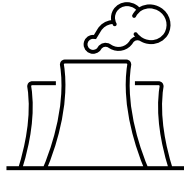
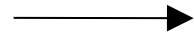
Fossile Brennstoffe



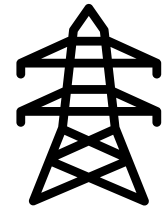
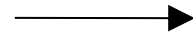
Wasserstoff



Erdgas
Kohle
0,11 €/kWh



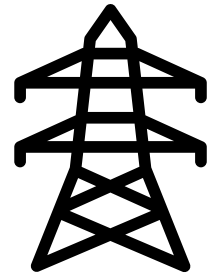
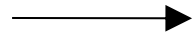
Kraftwerk



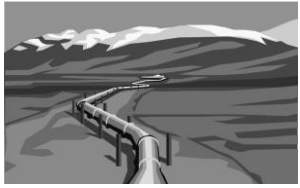
Strom
0,42 €/kWh

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

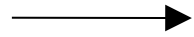
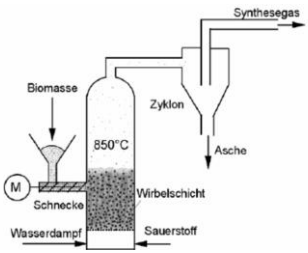
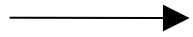
Primärenergie



Sekundärenergie



Erdgas



H₂

Reformer

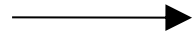
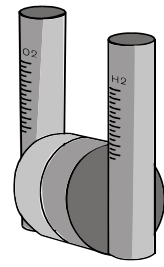
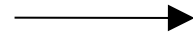
20. Jahrhundert



21. Jahrhundert



Strom

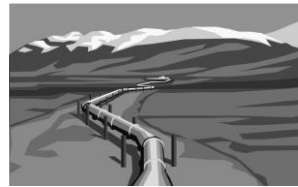
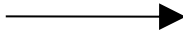
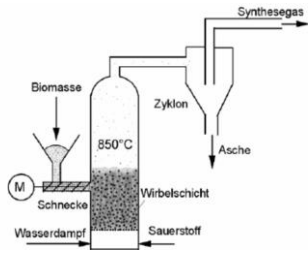
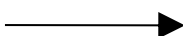
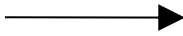


H₂

Elektrolyseur



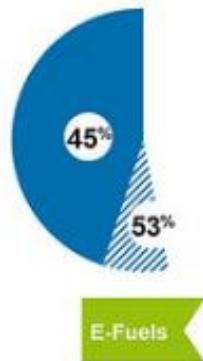
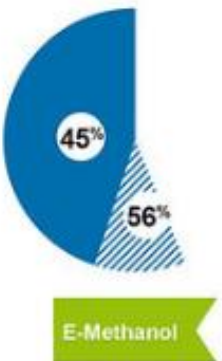
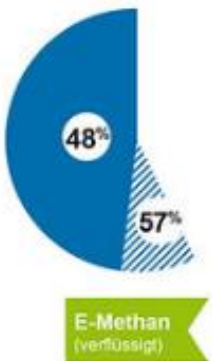
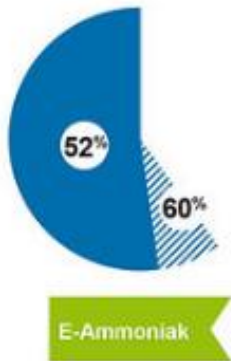
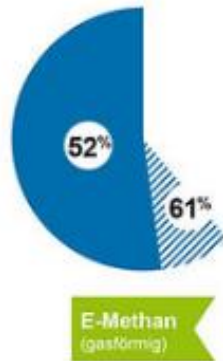
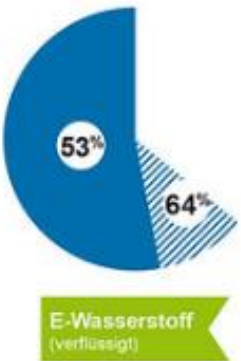
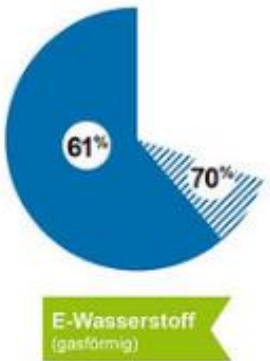
Biomasse



Erdgas

Reformer

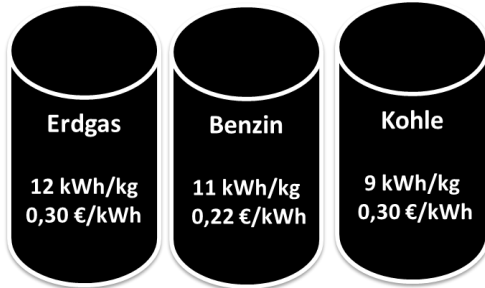
Power-to-X: Wie viel vom Strom übrig bleibt Effizienz bei der Herstellung von Energieträgern aus Strom heute und in Zukunft



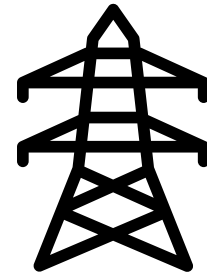
Umwandlungseffizienz
Pro eingesetzter Kilowattstunde Strom verbleiben x Prozent im PtX-Produkt

- Heutige PtX-Prozesse
- ▨ Potenzial in der Zukunft

* Öko Institut e.V. Power-to-X



Primärenergie



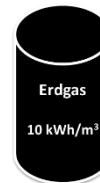
Sekundärenergie



2.000 GWh**



** 40 Mio. Fahrzeuge á 50 kWh bei Nutzung von 100 % Batteriekapazität



190.000 GWh***



57.000 GWh***

Die Fakten: Das Projekt HyCAVmobil



Wasserstoff-Kavernenspeicher

In Rüdersdorf bei Berlin, wo EWE bereits Erdgasspeicher betreibt, ist der erste unterirdische Speicher für 100 % reinen Wasserstoff entstanden.



In 1.000 Meter Tiefe

EWE hat einen Kilometer unter der Erde einen Hohlraum geschaffen. Die Bohrung war bereits vorhanden. Bei der sogenannten Aussolung wurde das Salz mit Wasser ausgespült.



500 m³ Volumen

Mit bis zu sechs Tonnen eingelagertem Wasserstoff testet EWE seit der Fertigstellung den Betrieb der Anlage – rechnerisch sind das 1.000 Tankladungen für Wasserstoff-Pkw.



Der erste seiner Art

HyCAVmobil ist ein Vorreiterprojekt, bei dem vor allem getestet wird, wie sich die Wasserstoff-Qualität durch die Ein- und Auslagerung verändert.

Unabdingbar für die bedarfsgerechte H₂-Versorgung

Die Tests verlaufen bisher wie erwartet positiv. Nach Beendigung des Forschungsprojektes Ende 2024 können die **Ergebnisse leicht auf Kavernen mit dem 1.000-fachen Volumen adaptiert** werden. So sollen künftig großtechnische Wasserstoff-Kavernenspeicher mit einem Fassungsvermögen von 500.000 m³ zum Einsatz kommen. EWE verfügt derzeit über **37 Salzkavernen – 15 Prozent aller deutschen Salzkavernen**. Diese ließen sich perspektivisch zur Wasserstoff-Speicherung nutzen.

Die Investitionssumme von HyCAVmobil beläuft sich **auf knapp zehn Millionen Euro**. Vier Millionen davon sind EWE-eigene Mittel. Die restliche Summe stammt aus einer Förderung im Rahmen des *Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie* des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr.



Über das Projekt

Mit dem Projekt **H2CAST Etzel** soll die Machbarkeit der großvolumigen unterirdischen Speicherung von Wasserstoff demonstriert und die Eignung der Salzkavernen in Etzel für die Wasserstoffspeicherung nachgewiesen werden. Der operative Betrieb der Wasserstoffspeicherung wird erprobt und dient dem Aufbau einer Wasserstoffindustrie. H2CAST steht für **H2 CA**vern **S**torage **T**ransition, d.h. die Umwidmung der bestehenden Kavernen und Anlagen in Etzel für die zukünftig notwendige Speicherung von Wasserstoff als Baustein eines zukünftigen Energiesystems.

Projektstart

01.02.2022

Geplante Fertigstellung

31.10.2026



bis zu 90.000 kg

Geplante H₂-Befüllung

1.000.000 m³

Normkubikmeter Wasserstoff

3.000.000 kWh

Energiegehalt Wasserstoff

3.500 m

Untertägige Rohrtouren

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

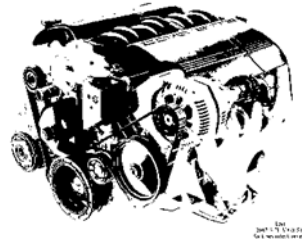


Elektromotor
- 100 kW

* Tesla Supercharger



75 kWh /
100 km



€ 50 /kW

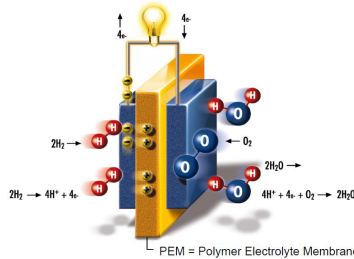


$\eta = 20\%$

15 kWh /
100 km



30 kWh /
100 km

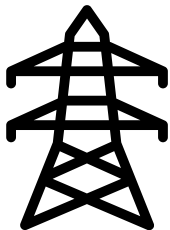


€ 1.000/kW

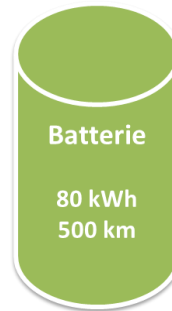


$\eta = 50\%$

15 kWh /
100 km



19 kWh /
100 km

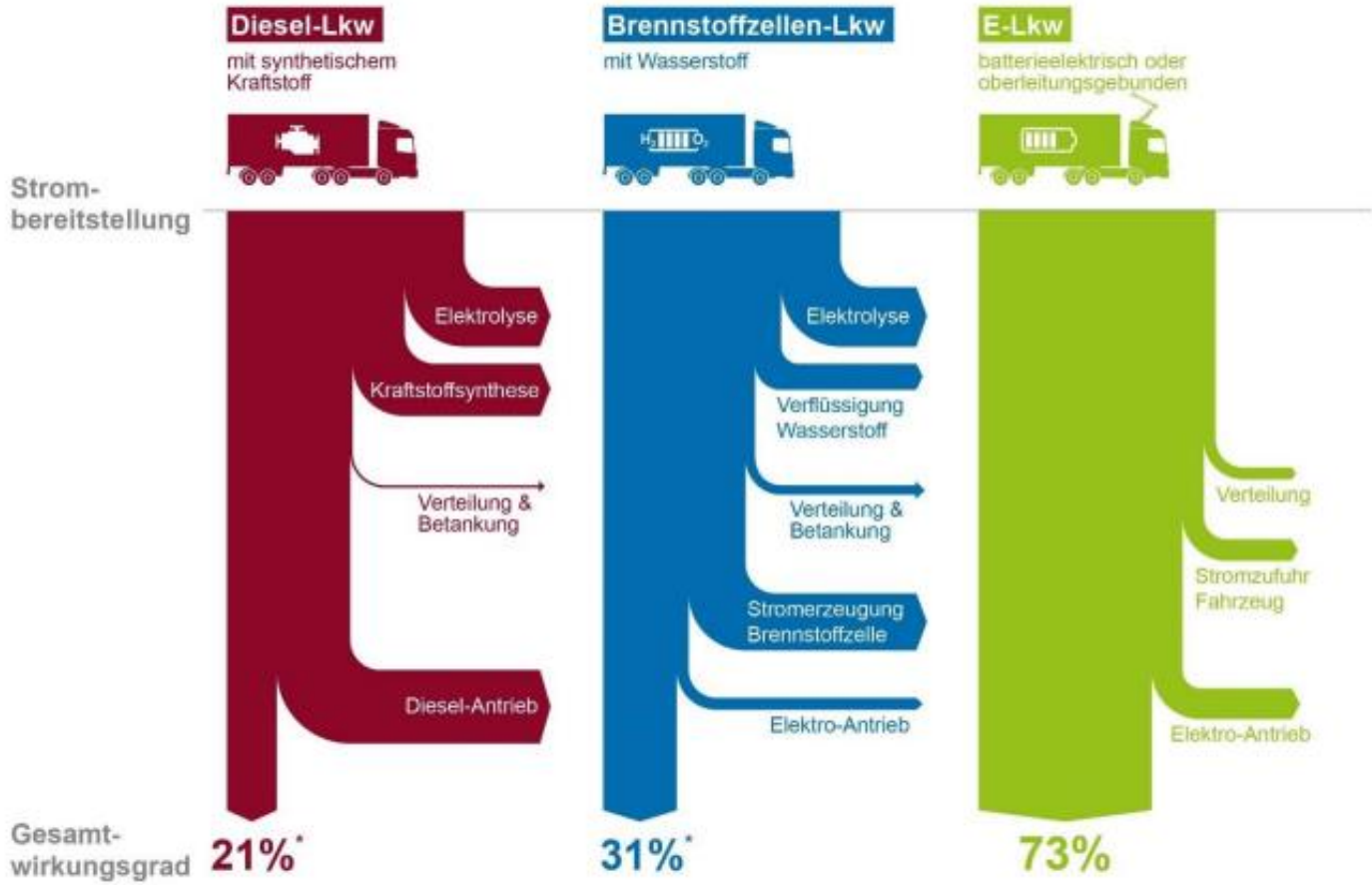


€ 135 /kWh



$\eta = 90\%$

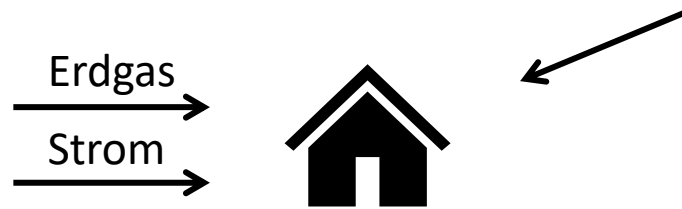
15 kWh /
100 km



*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

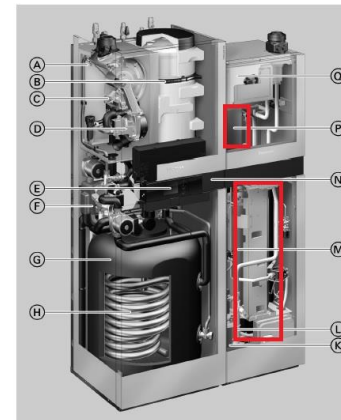
Brennstoffzellen-BHKW*

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) Reformler
- (N) Stromzähler Kraft-Wärme-Kopplung
- (P) Brennstoffzellen-Stack
- (Q) Inverter

* Quelle Vissmann VITOTALOR 300-P

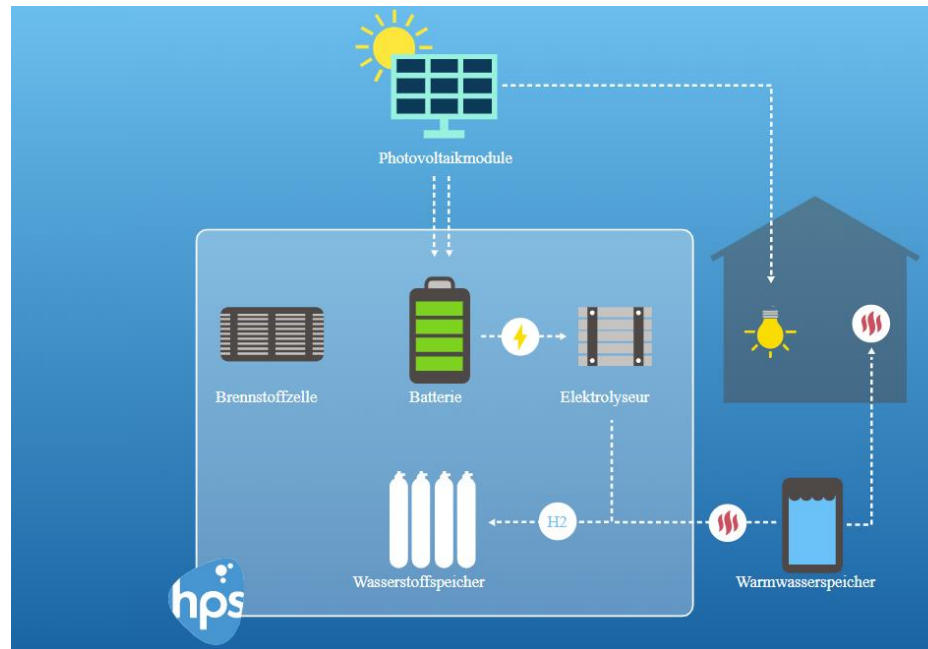
PV-Elektrolyse-System



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



E-Bike

Kosten: € 2.000

Ladezeit: ca. 6 h

Kapazität: 560 Wh

Leistung E-Motor: max. 600 W



Wasserstoff

Kosten: € 3.000 + € 250 + € 2.500

Ladezeit: ca. 6 h (Wasserstoffgenerator)

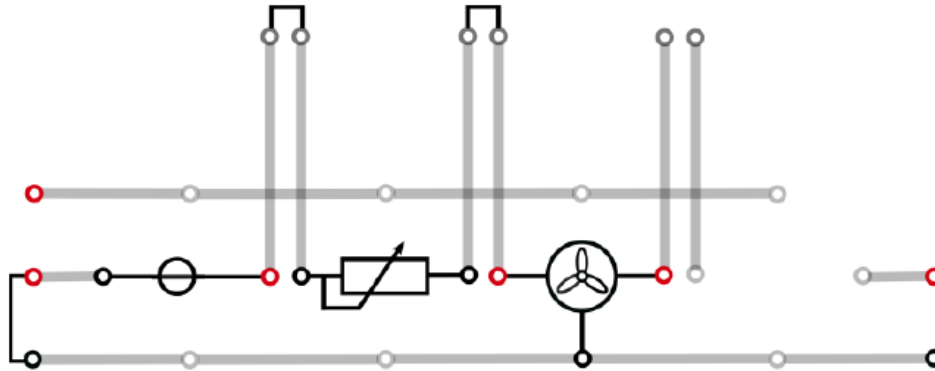
Kapazität: 200 Wh

Leistung BZ: 300 W

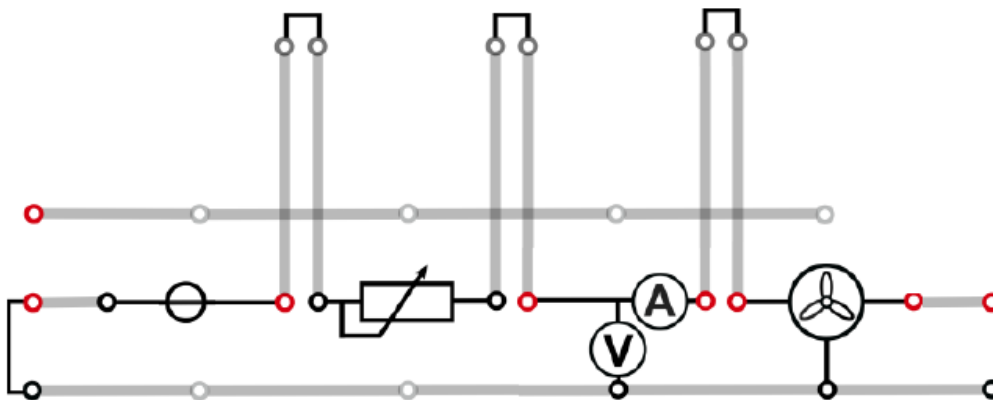
Leistung E-Motor: 150 W

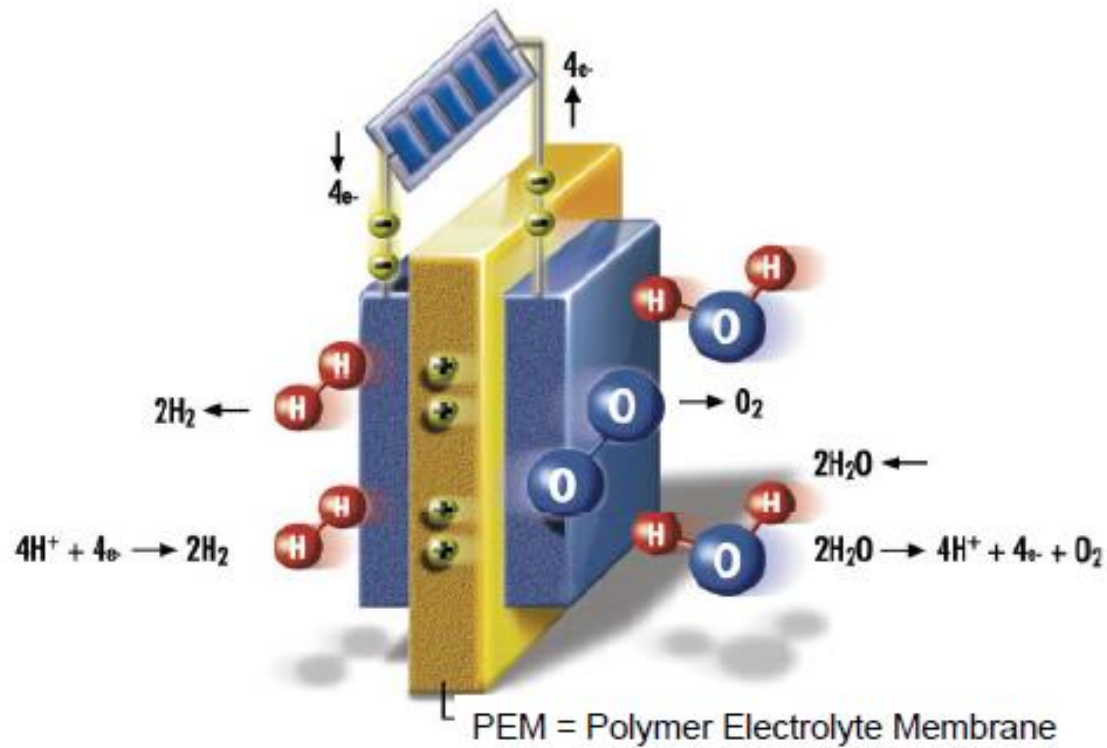
<i>09:30 - 11:00</i>	<i>Theoretische Grundlagen Energiespeicher</i>
<i>11:15 - 12:30</i>	Wasserstoffproduktion <ul style="list-style-type: none">- Grundlagen der Elektrolyse/Wasserstoffproduktion- Wasserstoffgeneratoren in der Anwendung- Wasserstoffspeicherung
<i>13:00 - 15:30</i>	Brennstoffzellentechnologie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

Aufbau einfacher Stromkreis



Strom- und Spannungsmessung



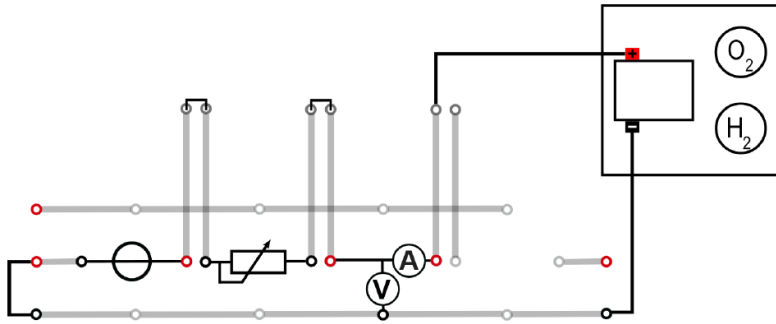


Standardpotential H_2/O_2

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

I-U-Kennlinie Elektrolyseur

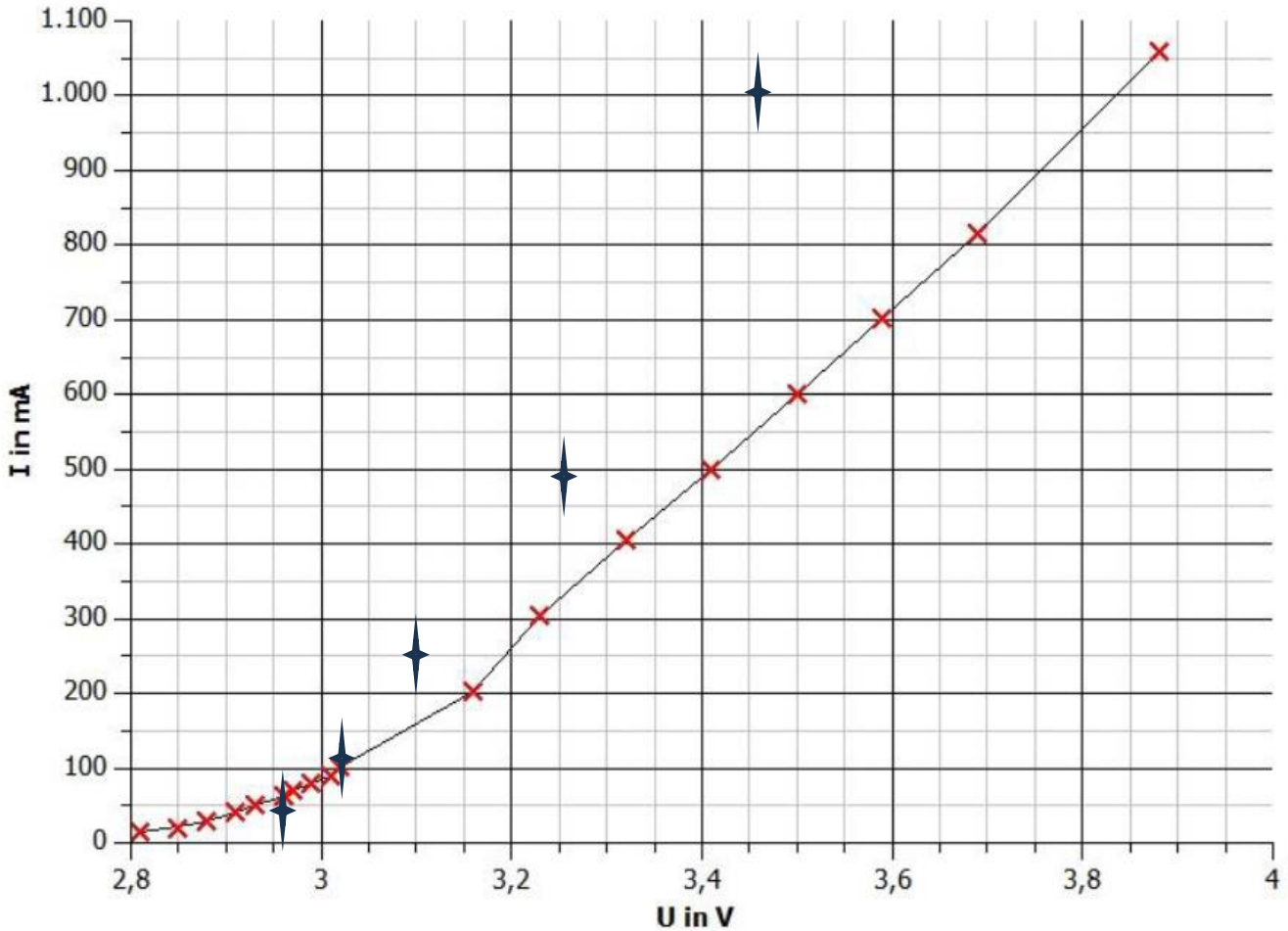
Aufbau



Standardpotential H₂/O₂
E° 1,23 V

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

I-U-Kennlinie Elektrolyseur



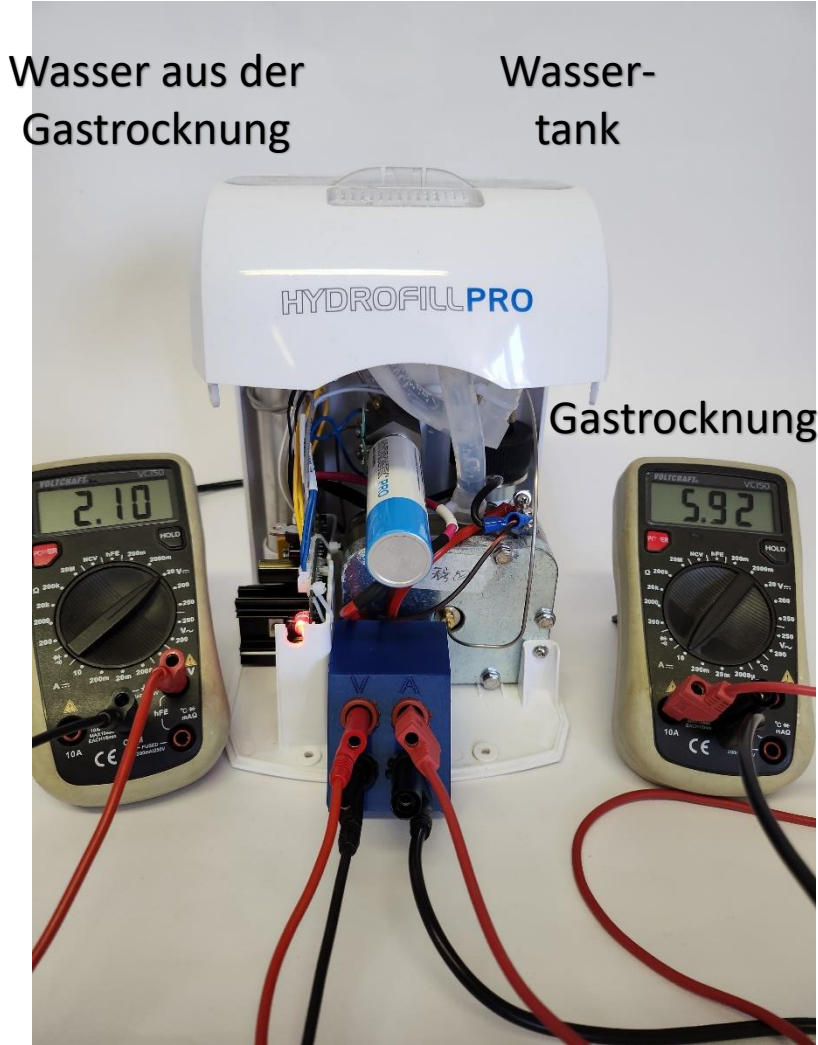
Strom [mA]	500	1000
Spannung [V]		
t [sec] 14 ml H ₂		



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

Wirkungsgrad

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



Wasser aus der Gastrocknung

Wasser-tank

Gastrocknung

Elektrolyse-spannung

Elektrolysestrom

Druckgasflaschen

Druckbereich:
10 bar-700 bar



Flüssiggas Speicher

Temperatur:
< -253°C



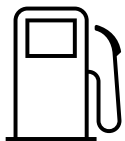
Metallhydridspeicher

Druckbereich:
3 bar - 30 bar



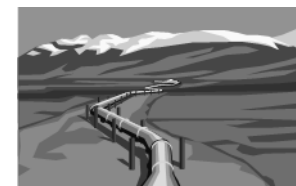
Synthetische Brennstoffe

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

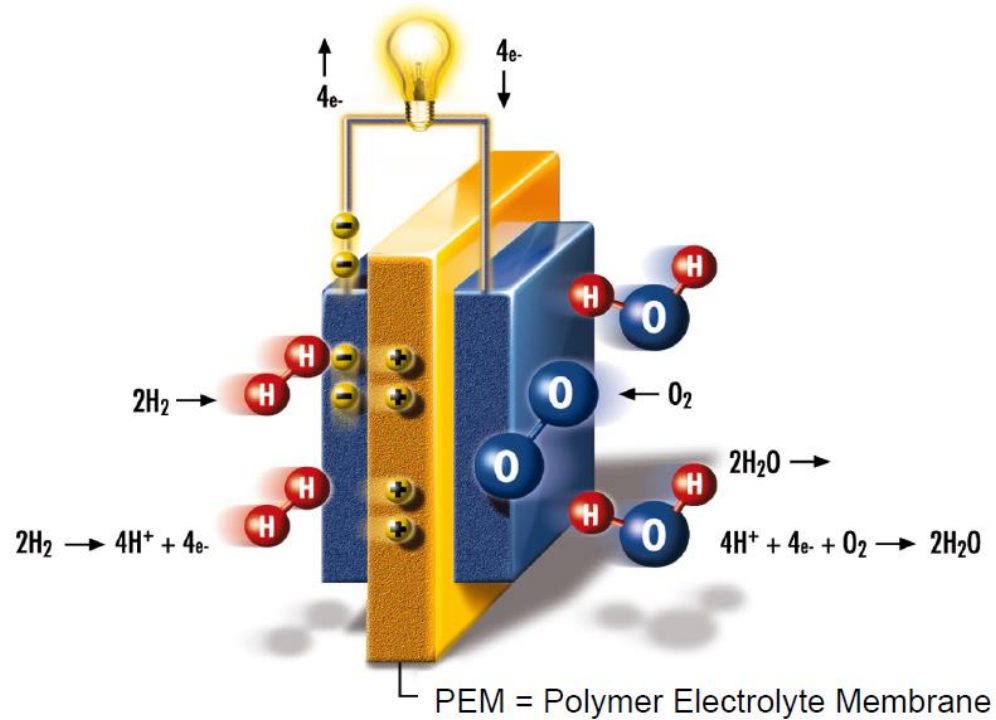
Grundlagen Batterietechnologie 2

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

15:00 - 15:30

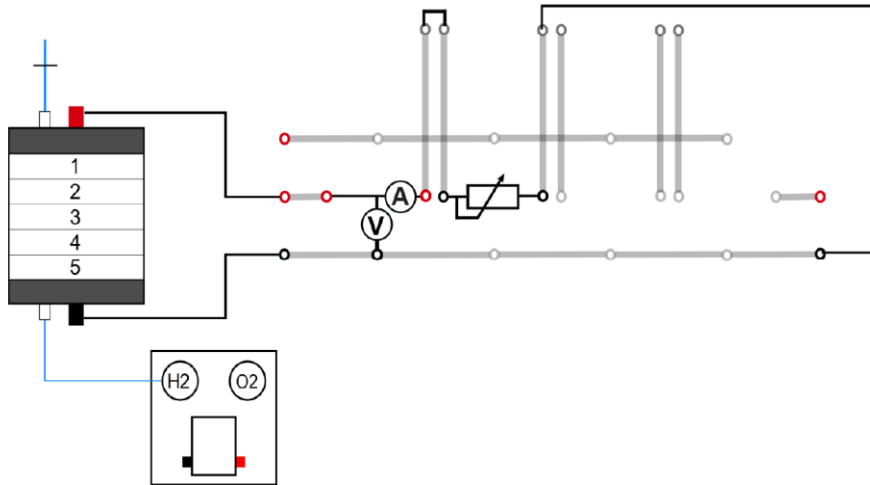
Abschlussdiskussion

Standardpotential H₂/O₂
E° 1,23 V



Grundfunktionen Brennstoffzelle

Aufbau



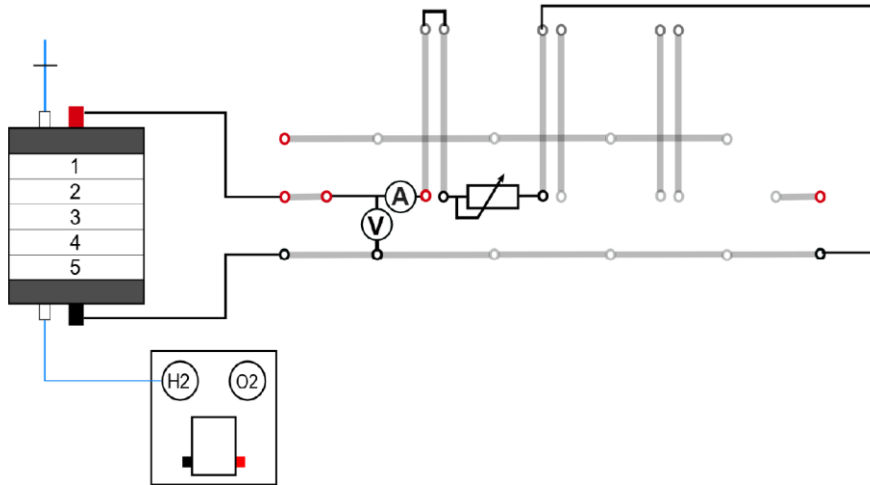
Standardpotential H₂/O₂
 $E^\circ 1,23 \text{ V}$



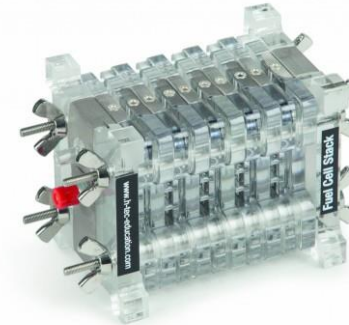
- **1. Grundfunktion: Dichtigkeit!**
- **2. Grundfunktion: Leerlaufspannung (> 4V)**
- **3. Grundfunktion: Motor (Spannung > 3 V)**
- **4. Grundfunktion: Kurzschluss-Strom (> 400 mA)**

U-I-Kennlinie Brennstoffzelle

Aufbau

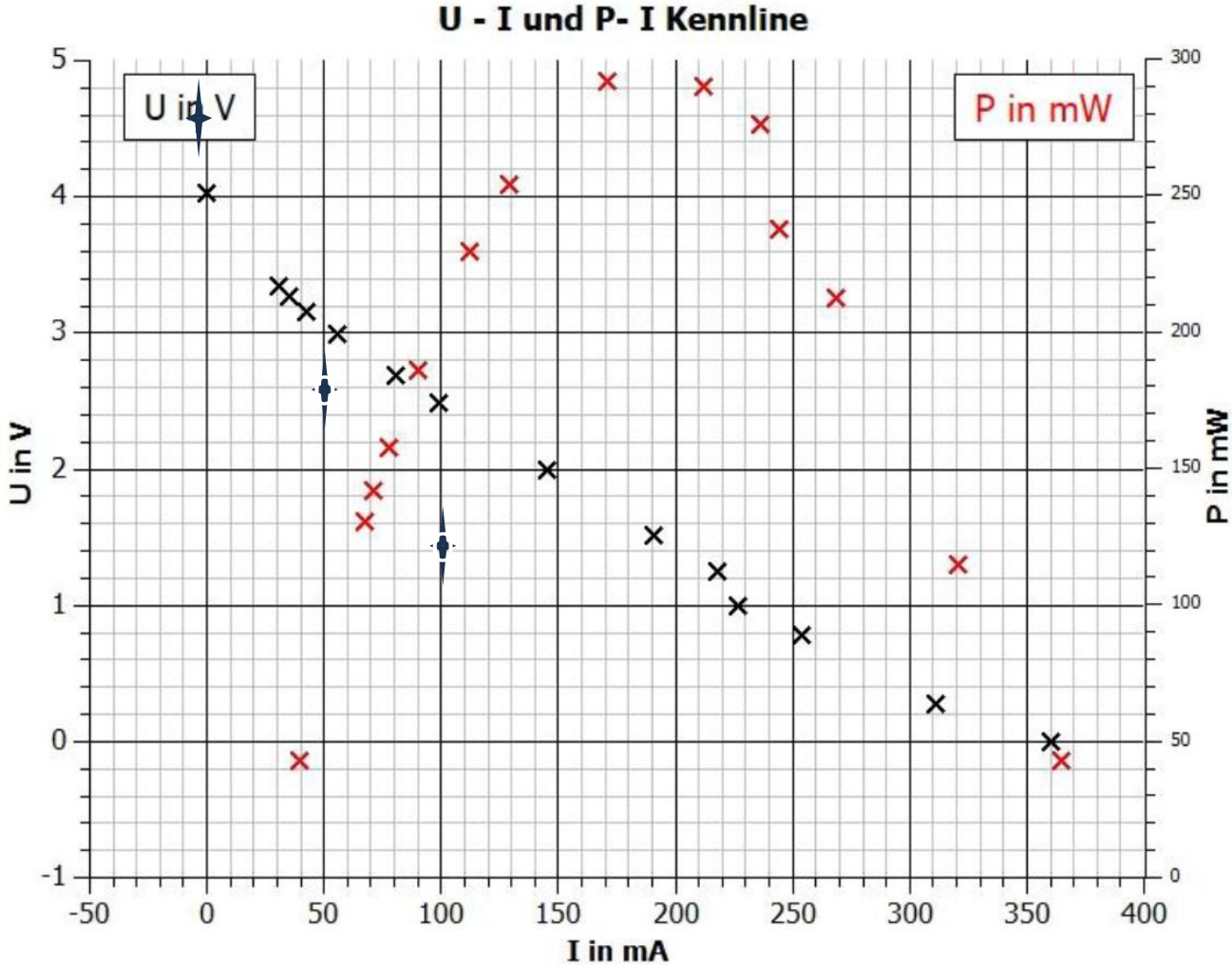


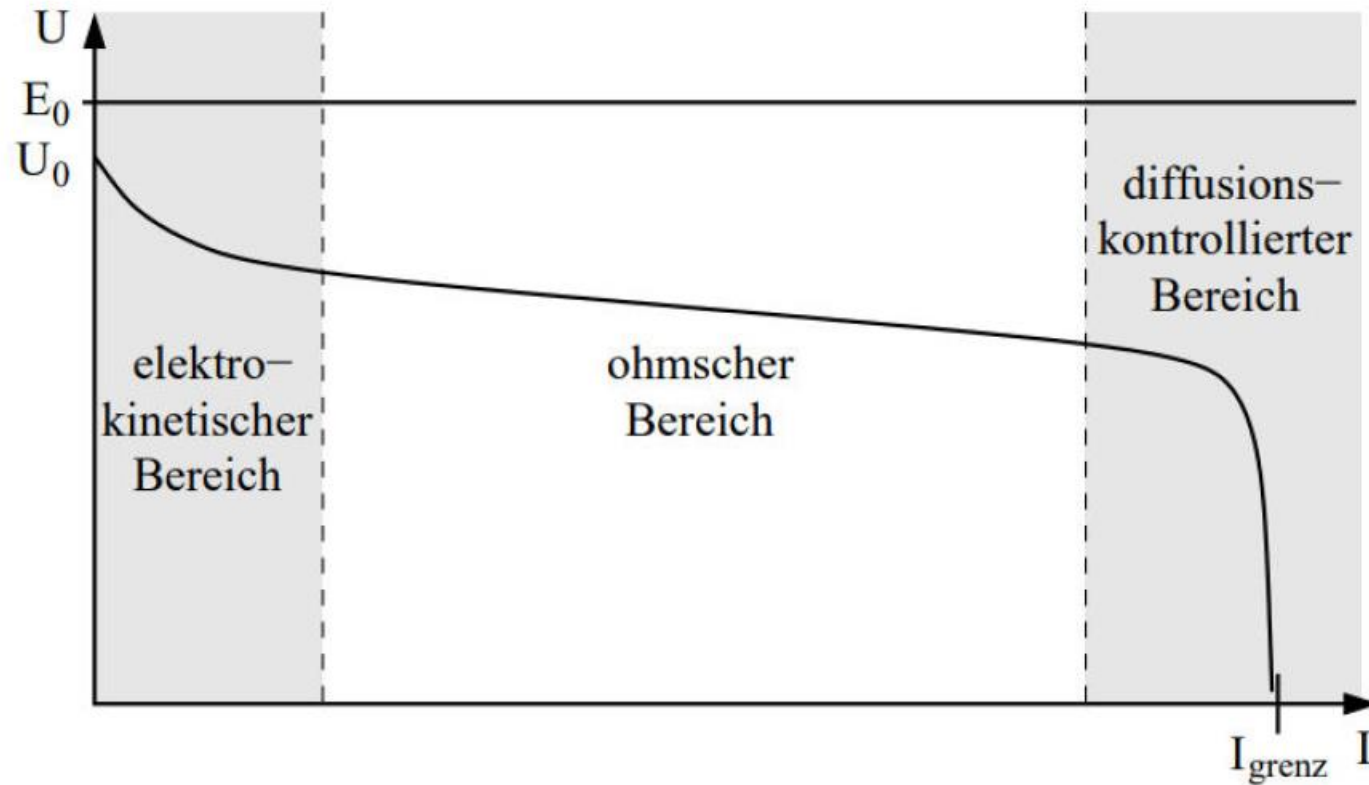
Standardpotential H₂/O₂
 $E^\circ 1,23 \text{ V}$



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

U-I-Kennlinie Brennstoffzelle





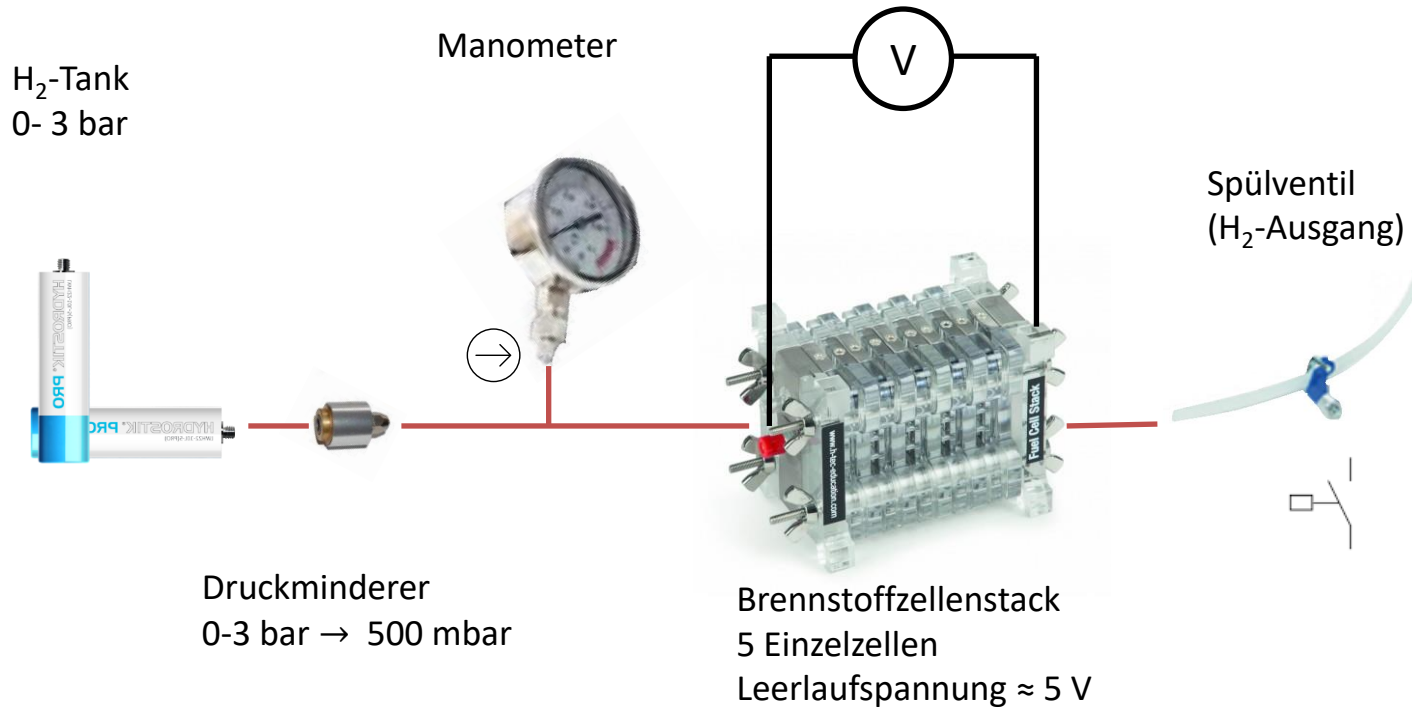
Strom [mA]	125	250
Spannung [V]		
t [sec] 15 ml H ₂		



theoretischer H₂-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!**

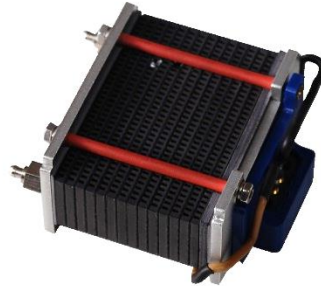


Strom [mA]	350
Spannung [V] passiv horizontal	
Spannung [V] passiv vertikal	
Spannung [V] aktiv horizontal	



H₂-Versorgung

- Wasserstoffspeicher
- Druckminderer
- Drucksensor
- Eingangsventil
- Ausgangsventil



Brennstoffzellen-Stack

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



Brennstoffzellen-Steuerung

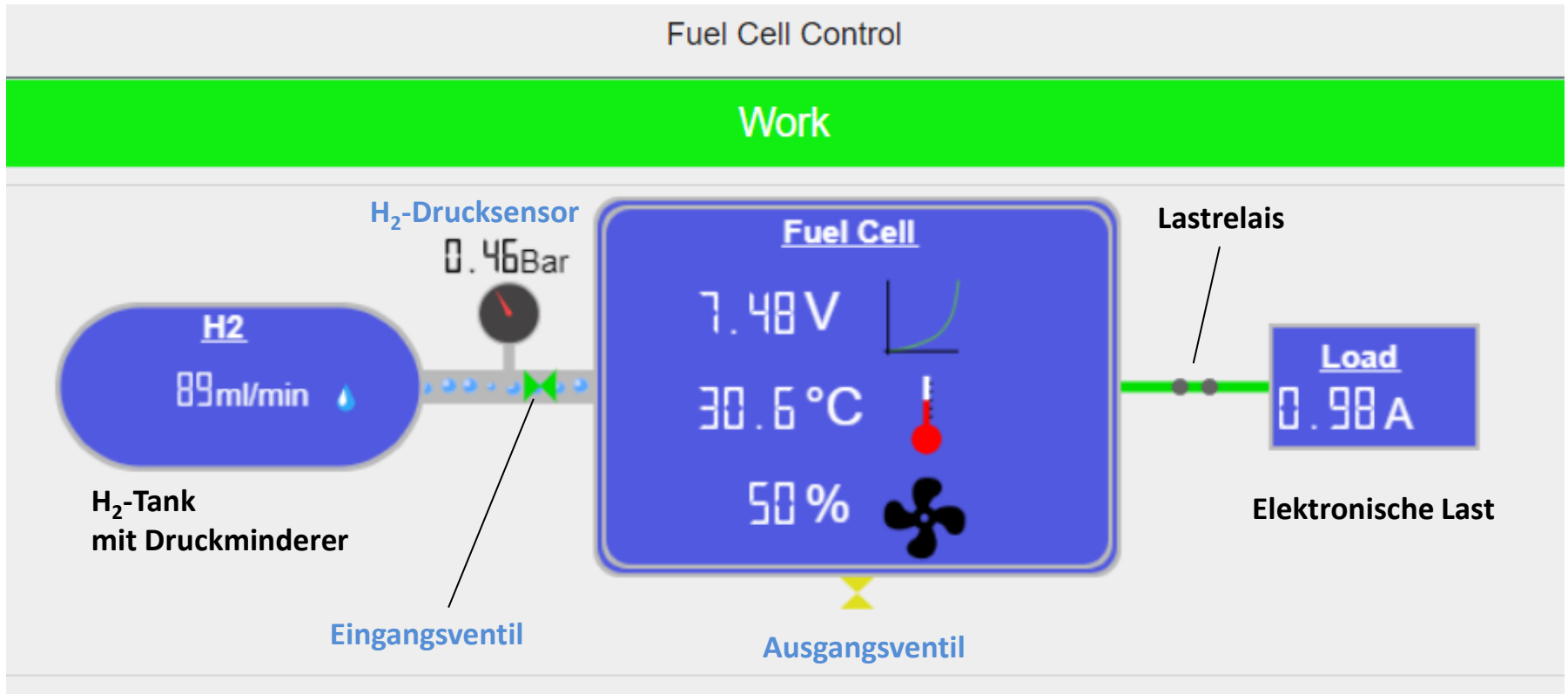
- Spannung/Strom
- H₂-Druck
- Temperatur/ Sauerstoffversorgung
- Magnetventile



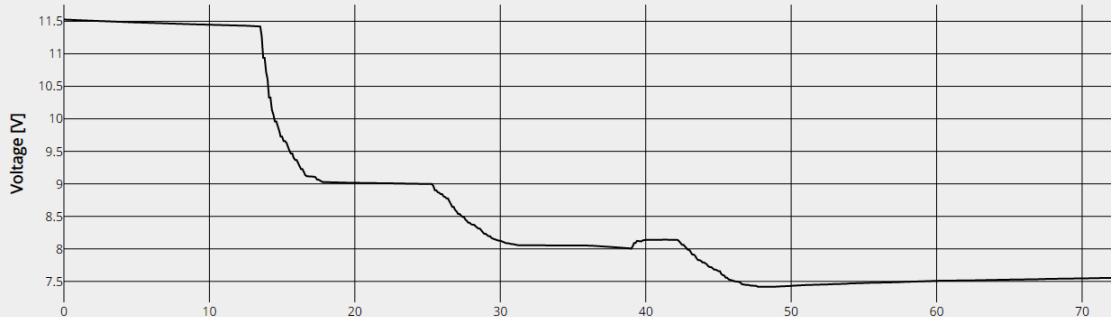
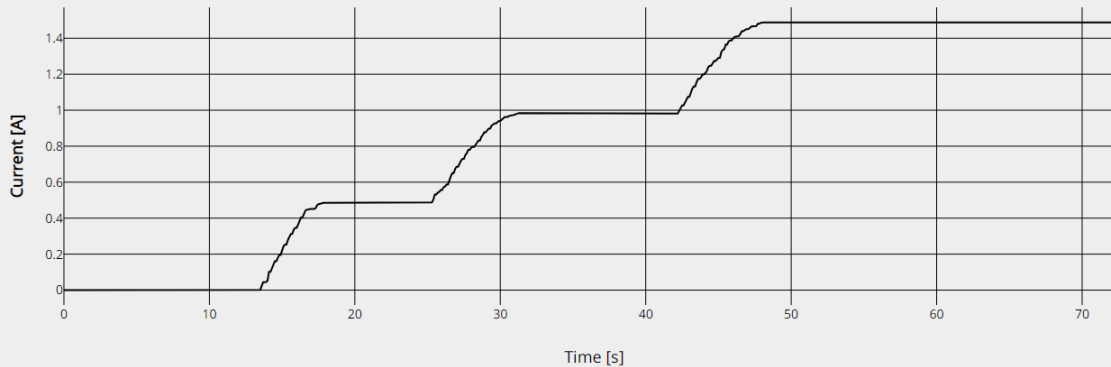
Leistungselektronik

- DC/DC-Wandler

Brennstoffzellensystem Übersicht



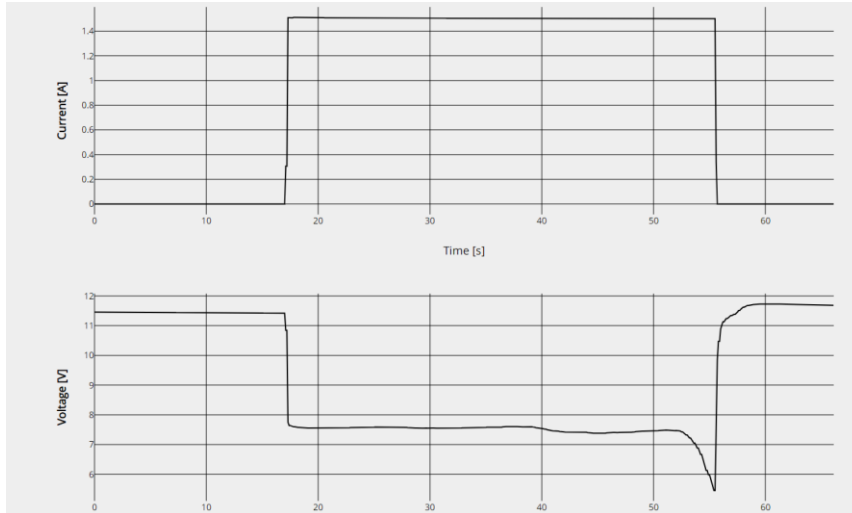
BZ- Qualitative Erstbetrachtung



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

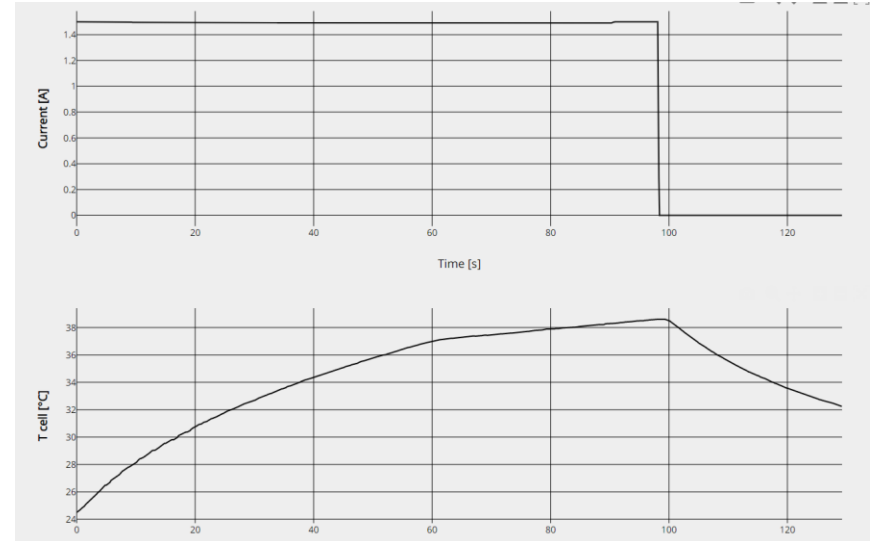
Leerlaufspannung: 11,5 V
Spannung @ 2 A: < 8 V
→ DC/DC-Wandler
(Leistungselektronik)

BZ- Lüfterfunktionen



Sauerstoffversorgung

$\Lambda \geq 1$
 Leistungseinfluss

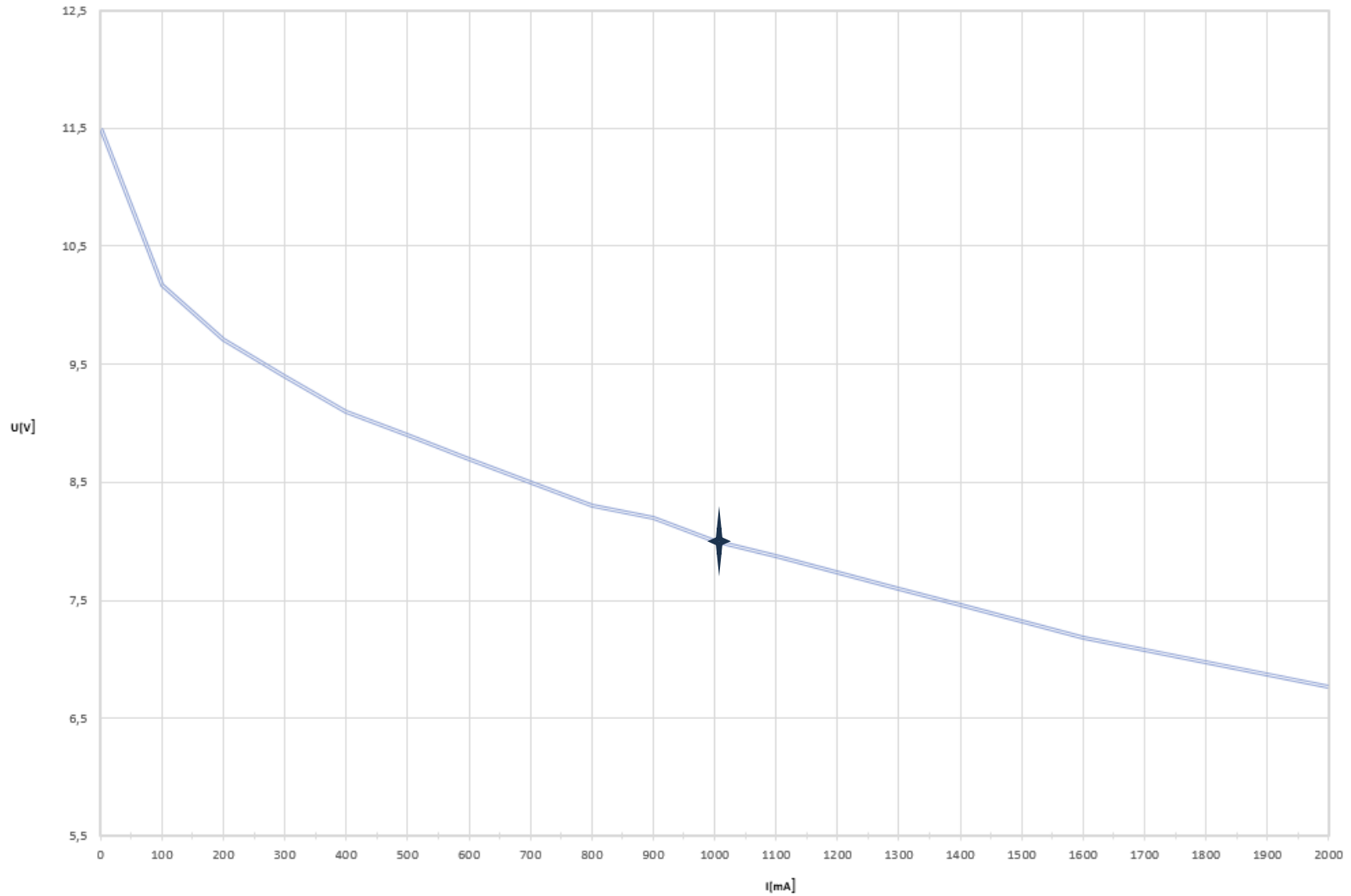


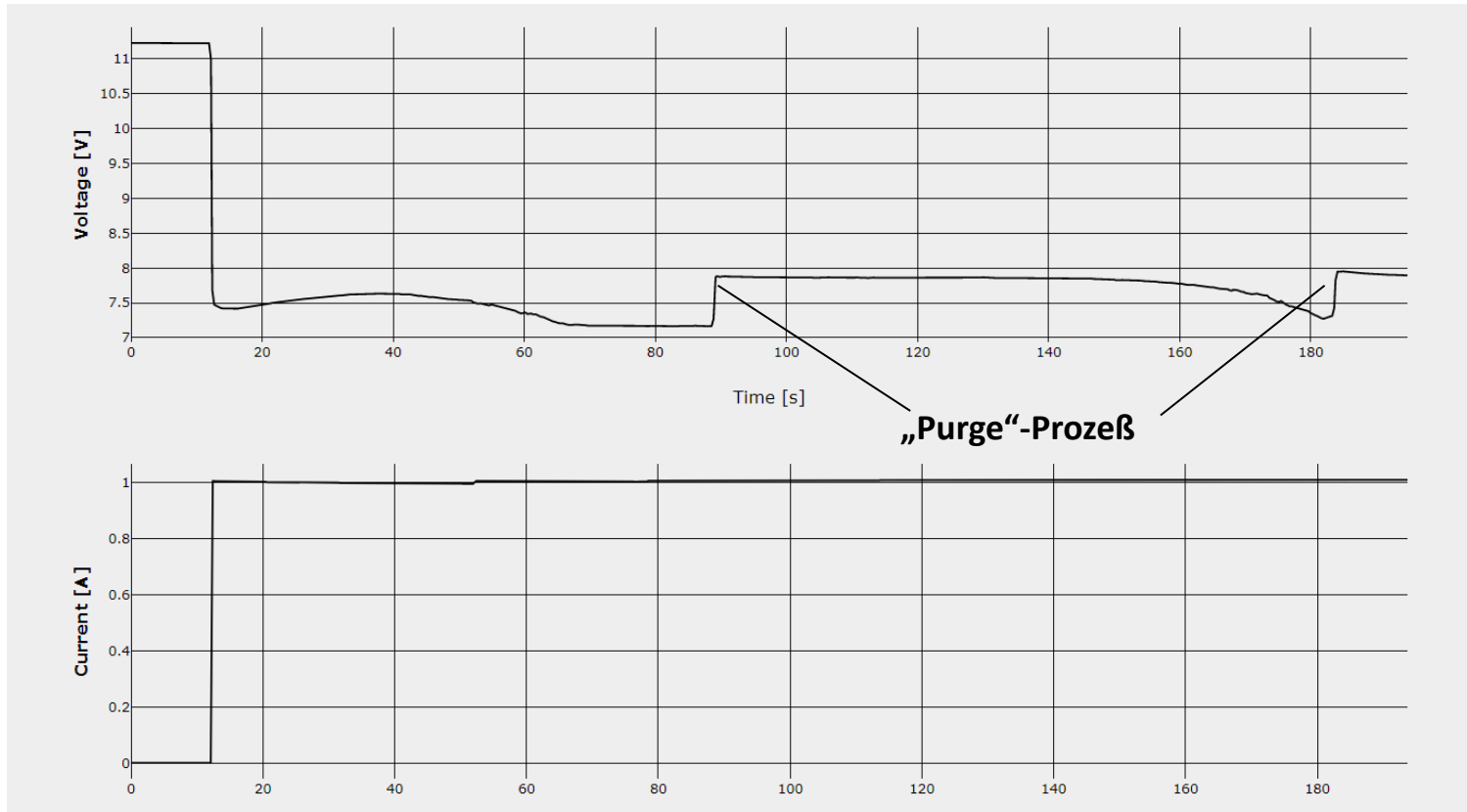
Kühlung

Temperaturbereich:
 0°C – 45°C

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

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





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:

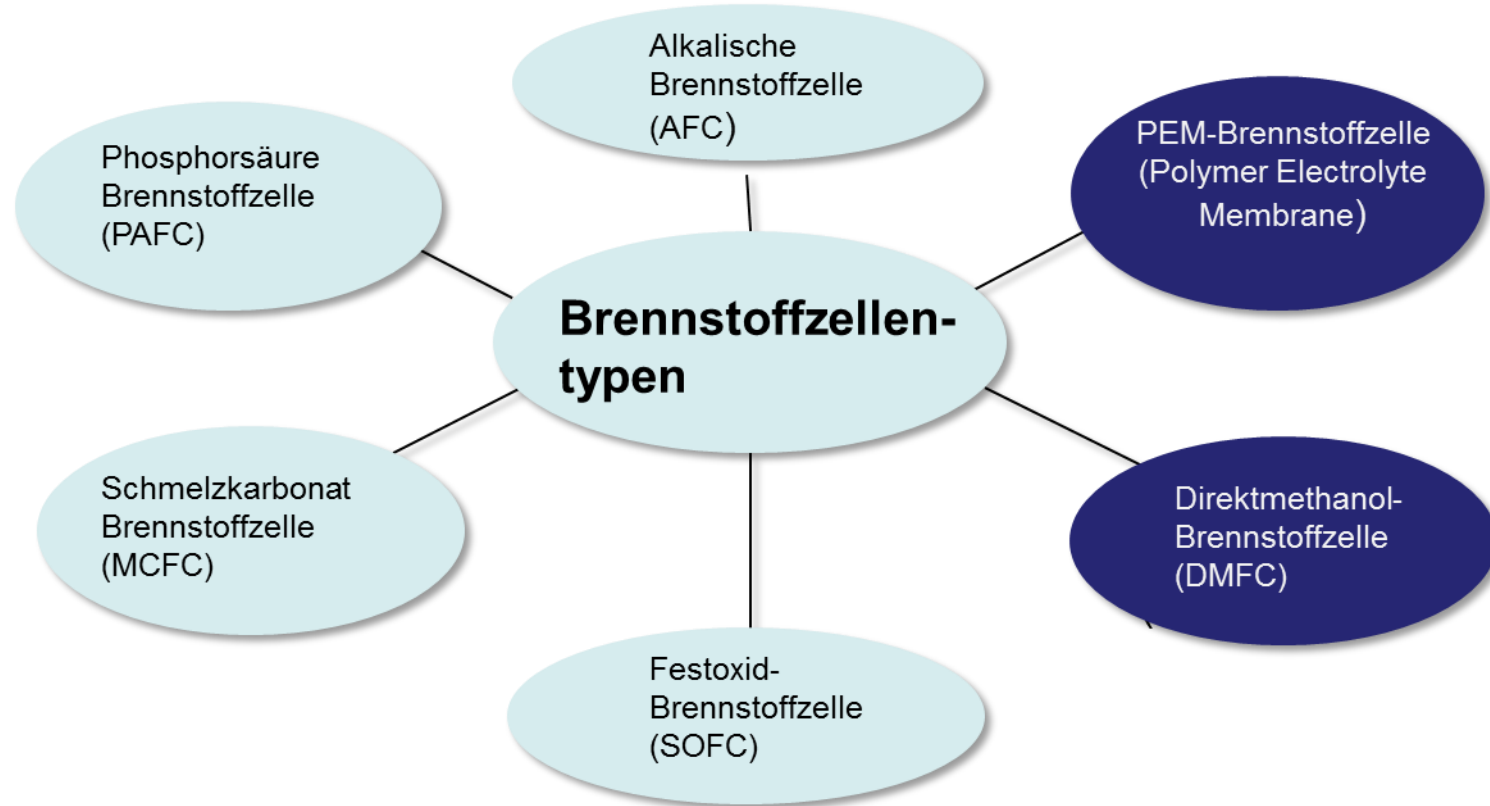
Der Purge-Prozeß/ das Wassermanagement der Brennstoffzelle wird über drei Kriterien gesteuert:

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.





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	

* Quelle Conrad Onlineshop EFOY 150 BT



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)

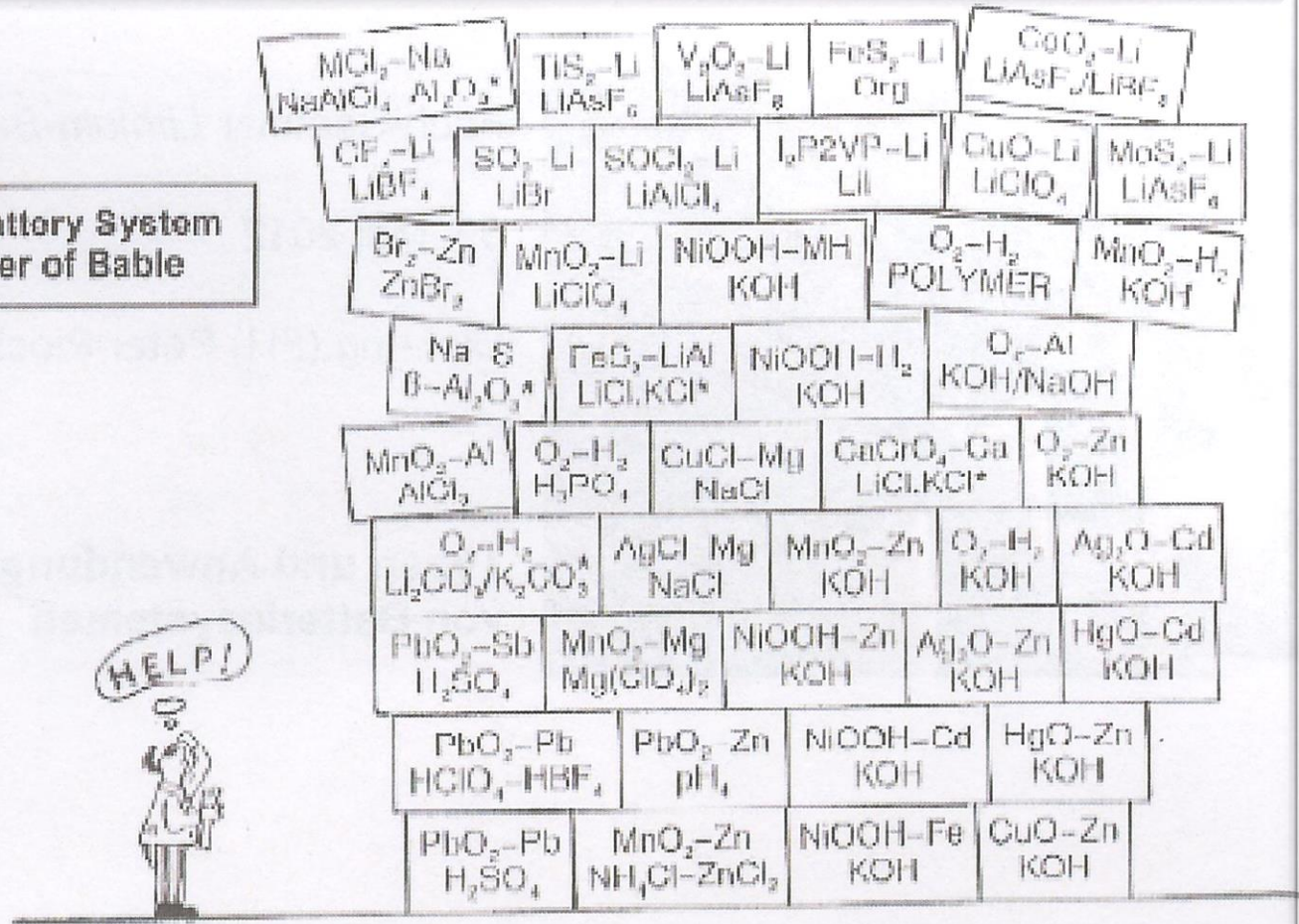
Service-Intervall

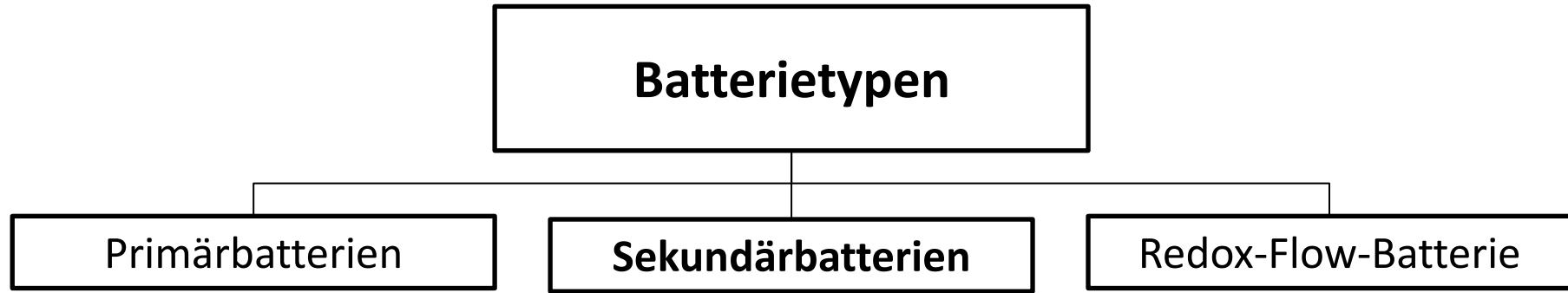
12 Monate

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

The Battery System Tower of Babel





- 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 [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]

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

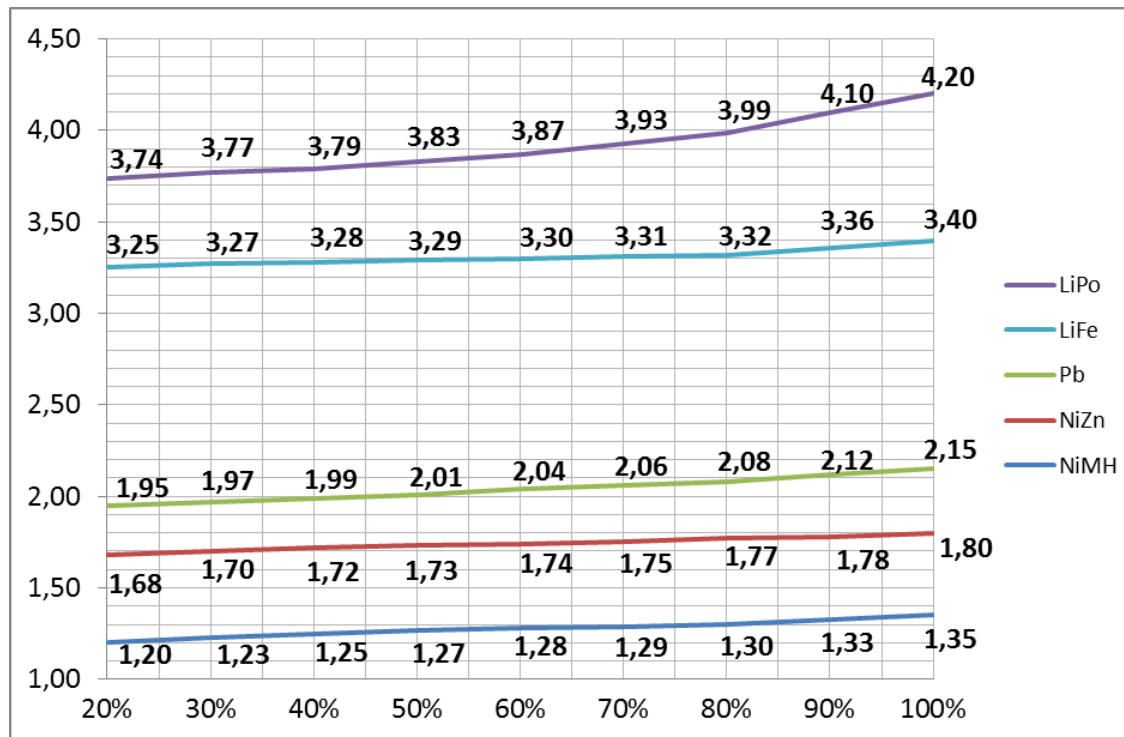
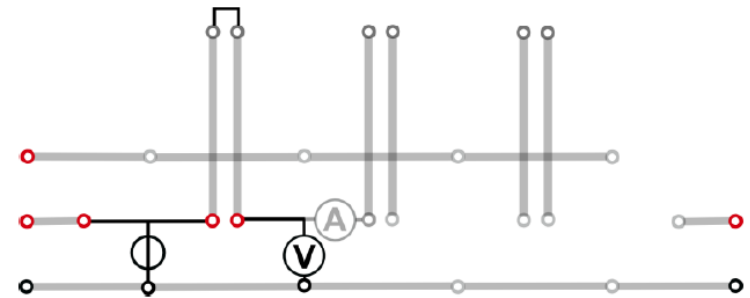
Typical Specifications (Ta = 25°C)	D Cell – 2.5Ah	X Cell – 5.0Ah	J Cell – 12.5Ah	BC Cell – 25.0Ah
Product Number	0810-0004	0800-0004	0840-0004	0820-0004
Capacity Rating				
20 hour rate	2.7Ah (125mA)	5.2Ah (250mA)	13.0Ah (625mA)	26.0Ah (1.25A)
10 hour rate	2.5Ah (250mA)	5.0Ah (500mA)	12.5Ah (1.25A)	25.0Ah (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
	<small>Measured on Hewlett-Packard 4328A milliohm meter.</small>			
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			
	<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>			
Expected Float Life	8 years			
	<small>Based on accelerated test methods, 2.35 volts constant voltage charge at 23°C ambient temperature.</small>			

Entladebedingungen

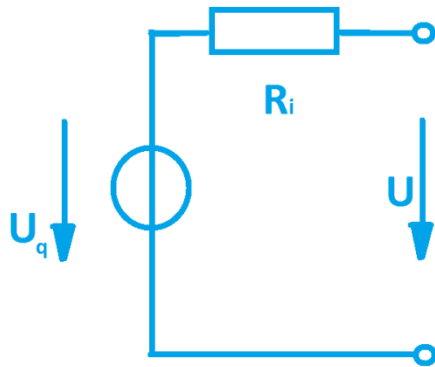
- max. Entladestrom
- Entladeschlussspannung

Elektrotechnische Spezifikationen

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

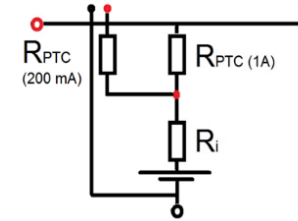
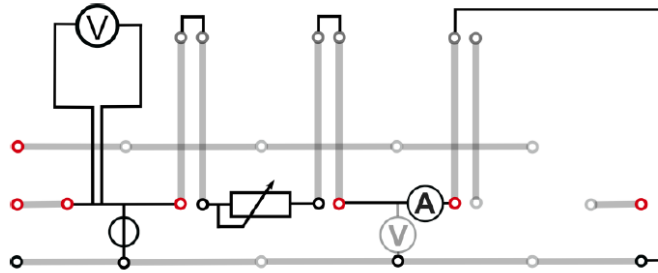


* SOC, State of Charge



- Je größer die Kapazität desto kleiner ist der R_i
- Der Innenwiderstand vergrößert sich irreversible mit zunehmender Alterung/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			
		500			

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

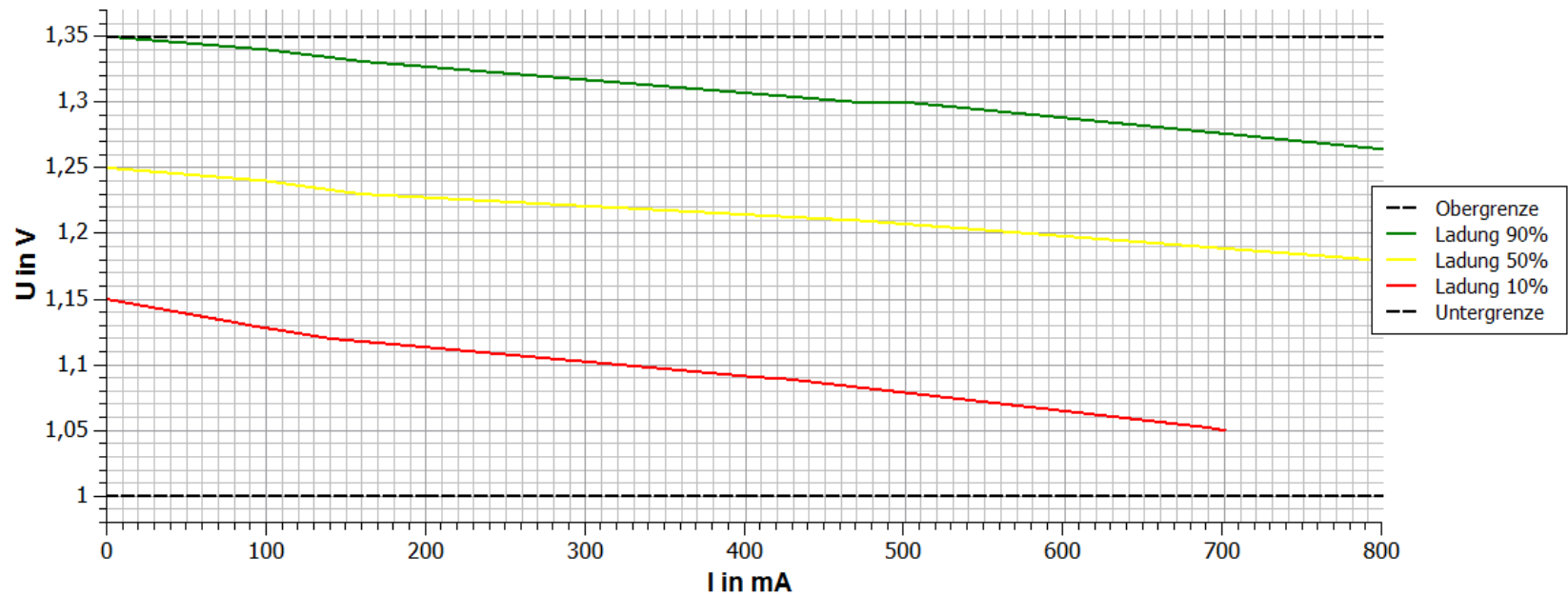
$$\eta = \frac{U_{Last}}{U_0}$$

R_i (Datenblatt)

NiMH	150 m Ω
Pb	50 m Ω
LiFePo	300 m Ω
LiPo	200 m Ω

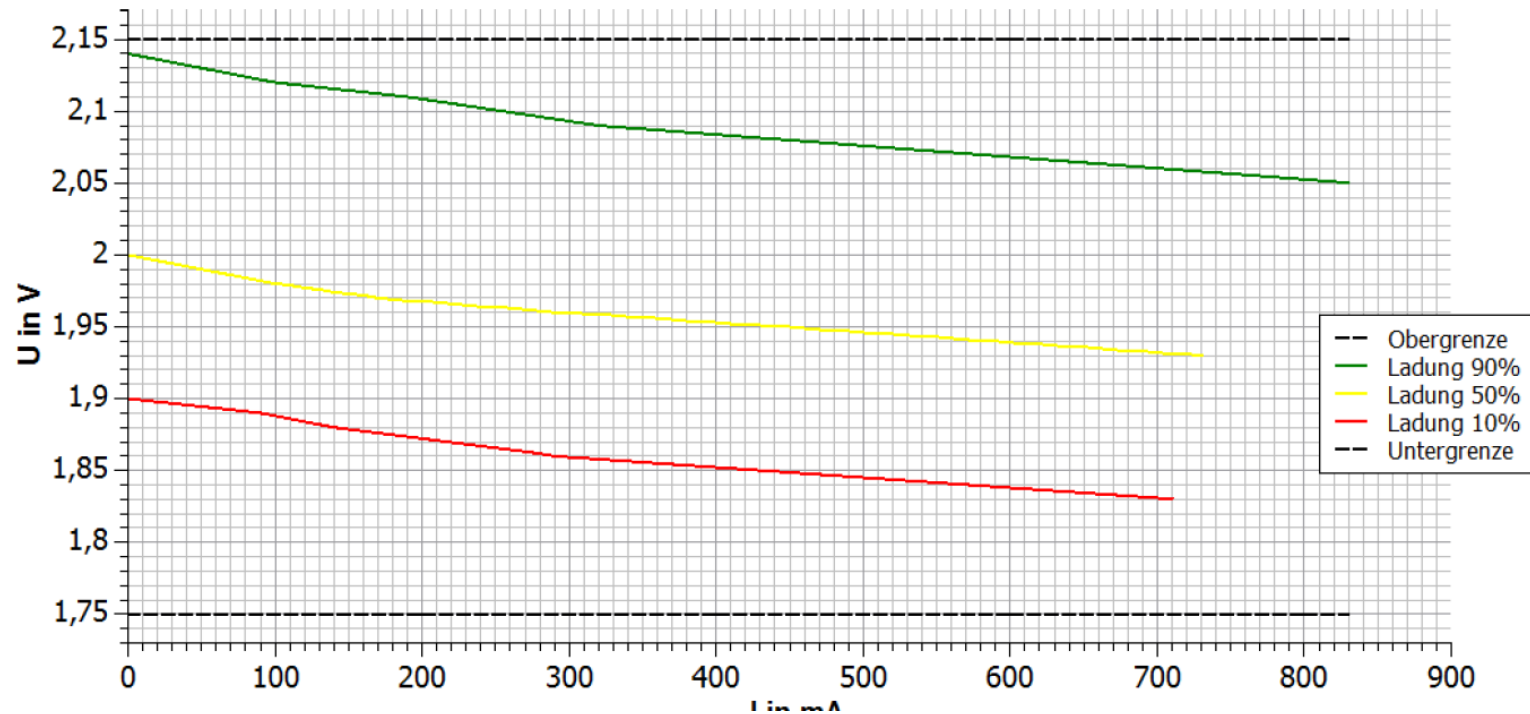
R in Ω	∞	50	25	10	5	1
U in V						
I in mA						

NiMH



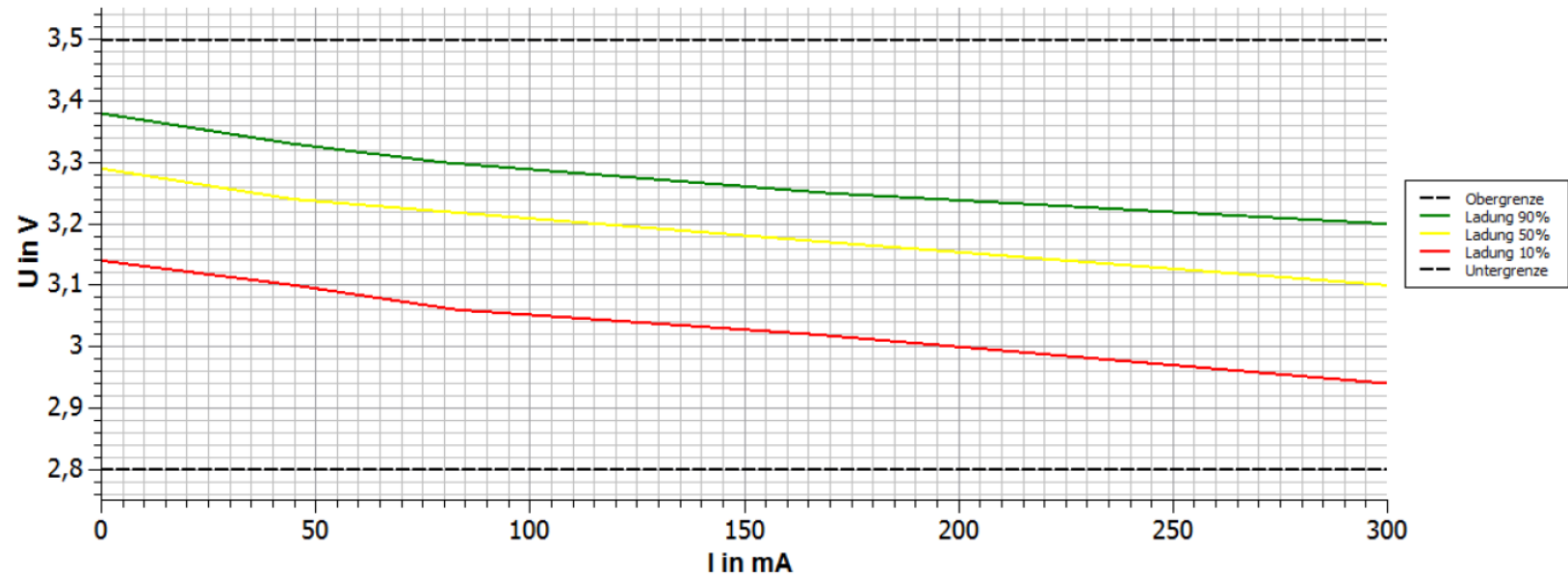
R in Ω	∞	60	30	15	5	1
U in V						
I in mA						

Pb

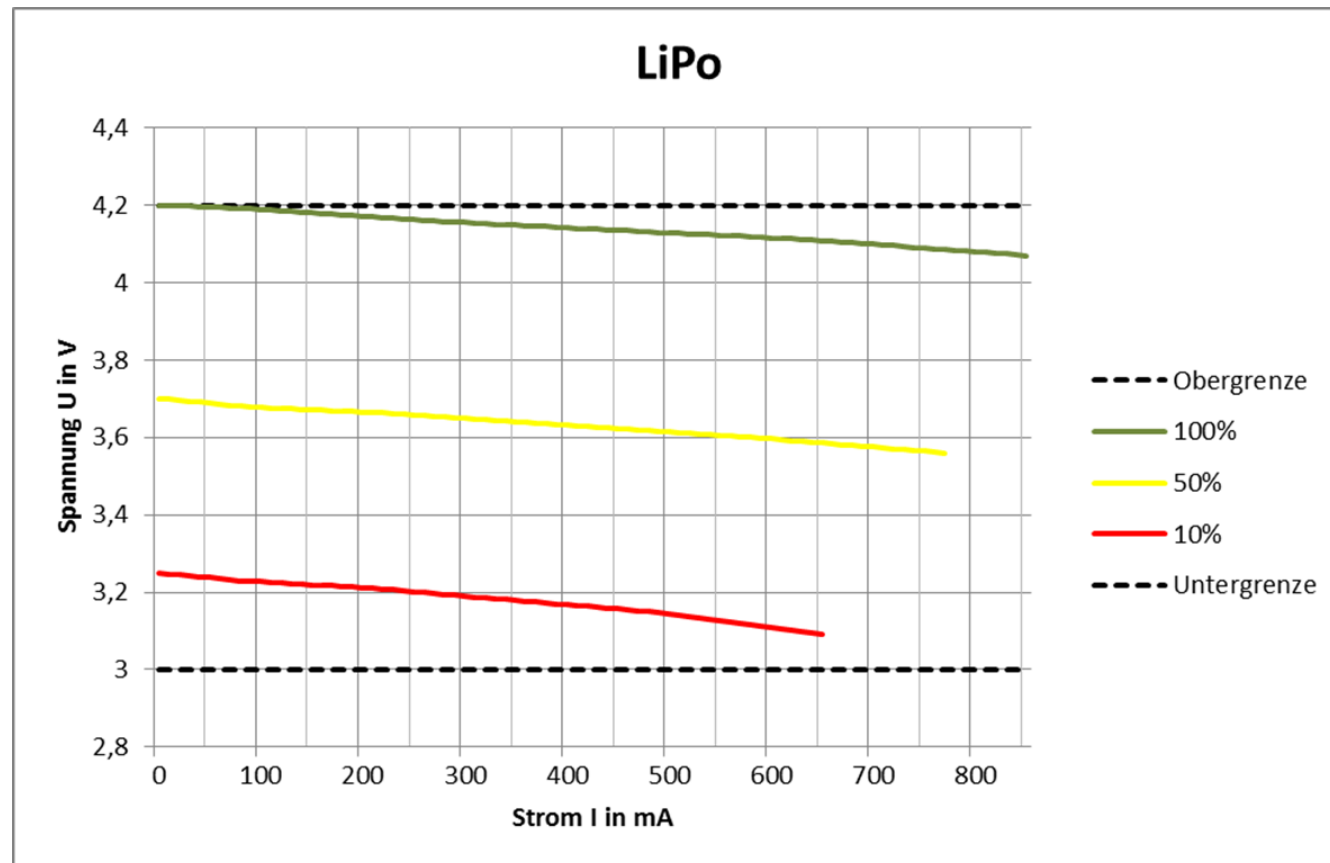


R in Ω	∞	100	50	33	10	5
U in V						
I in mA						

LiFe



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



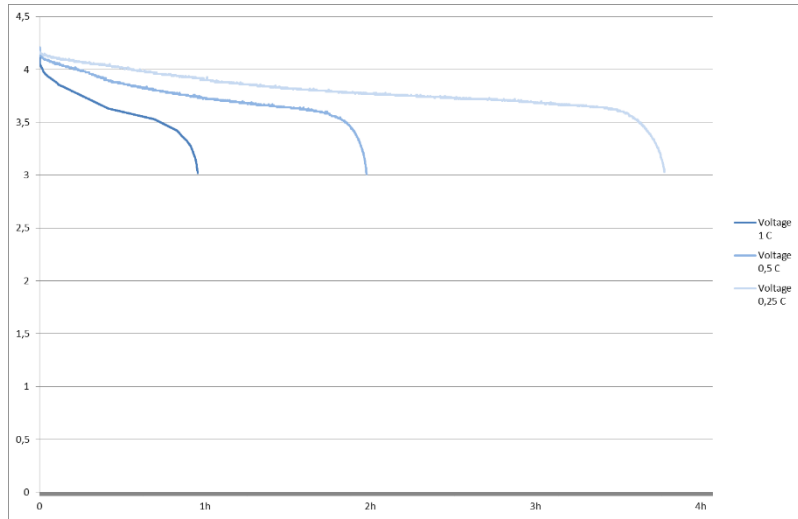
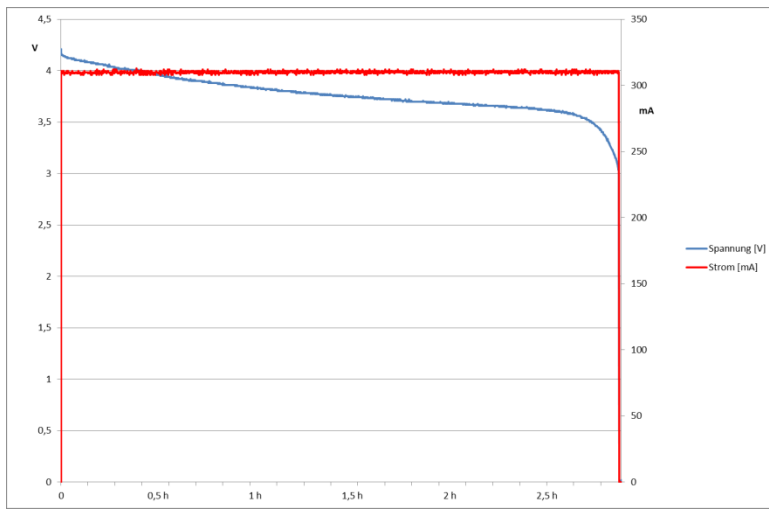
C-rate:

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

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

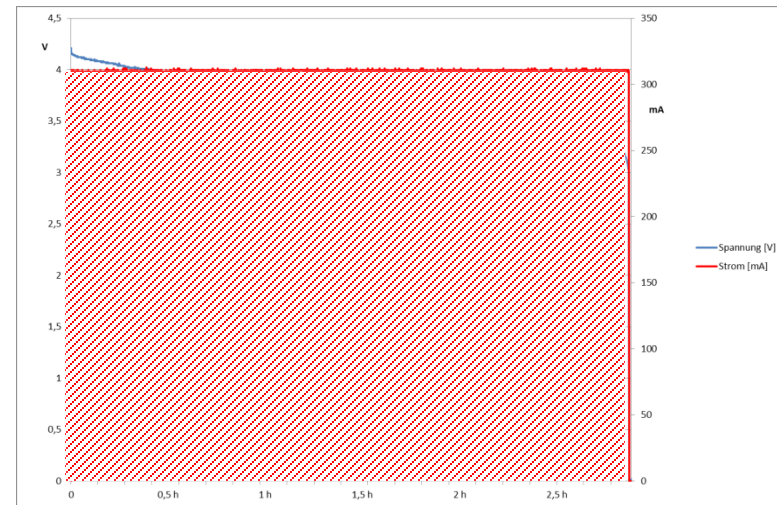
NiMH: -----

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: $C_B = C_0$

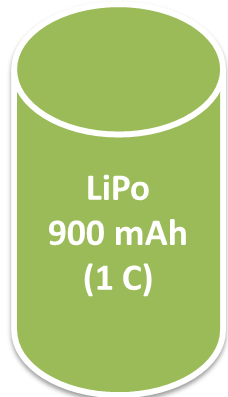
EOL: $C_B = 80 \% C_0$

Oftmals Kapazität Wh:

$$\int_t P(t) dt$$

Vereinfacht:

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



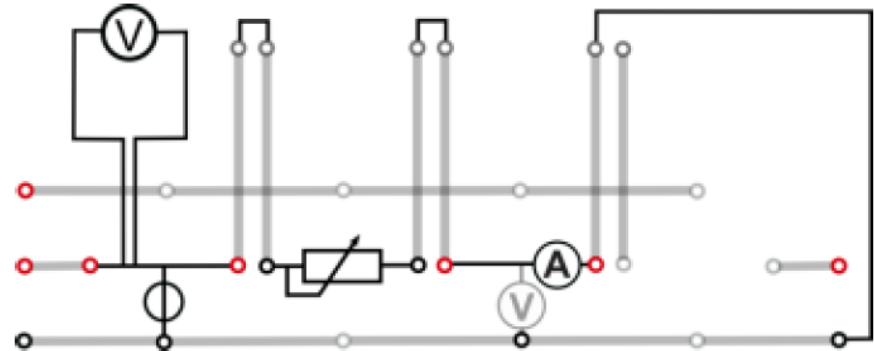
Kapazitätsbestimmung Schnelltest

LiFePo

Kapazität (BOL): 200 mAh

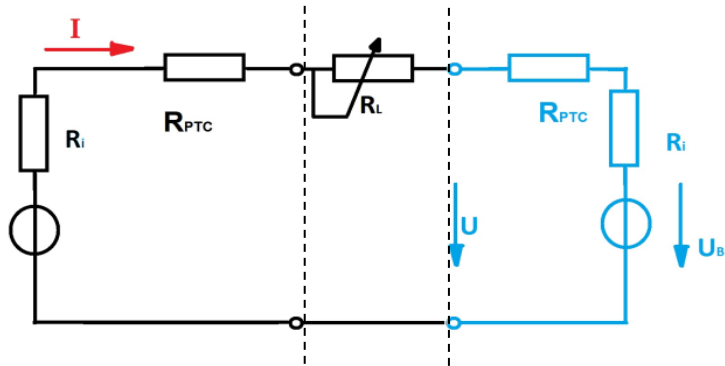
Strom (1C): 200 mA

Zeit: 360 Sekunden



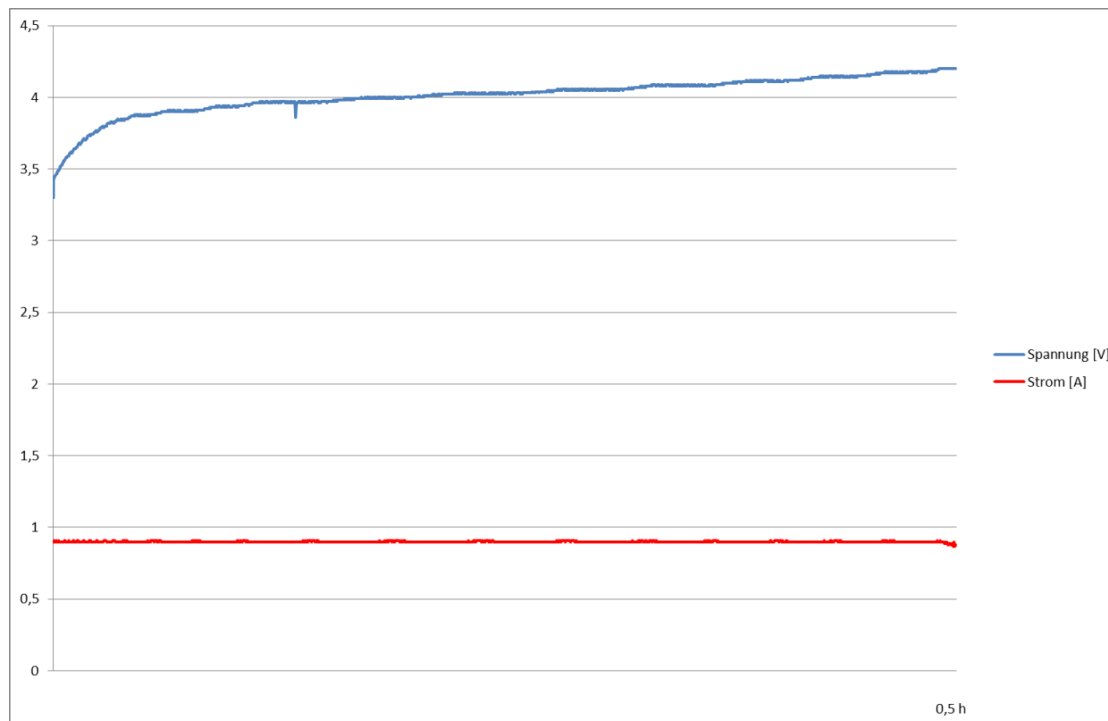
Akku-Typ	U_0 [V]	Ladezustand 1 [%]	U_0 [V]	Ladezustand 2 [%]	berechnete Kapazität [mAh]

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

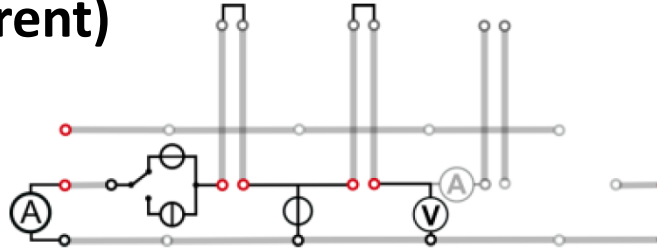


$$I = \frac{\Delta U}{R_{ges}}$$

U ₀ [V]	
SOC [%]	



CC (Constant Current)

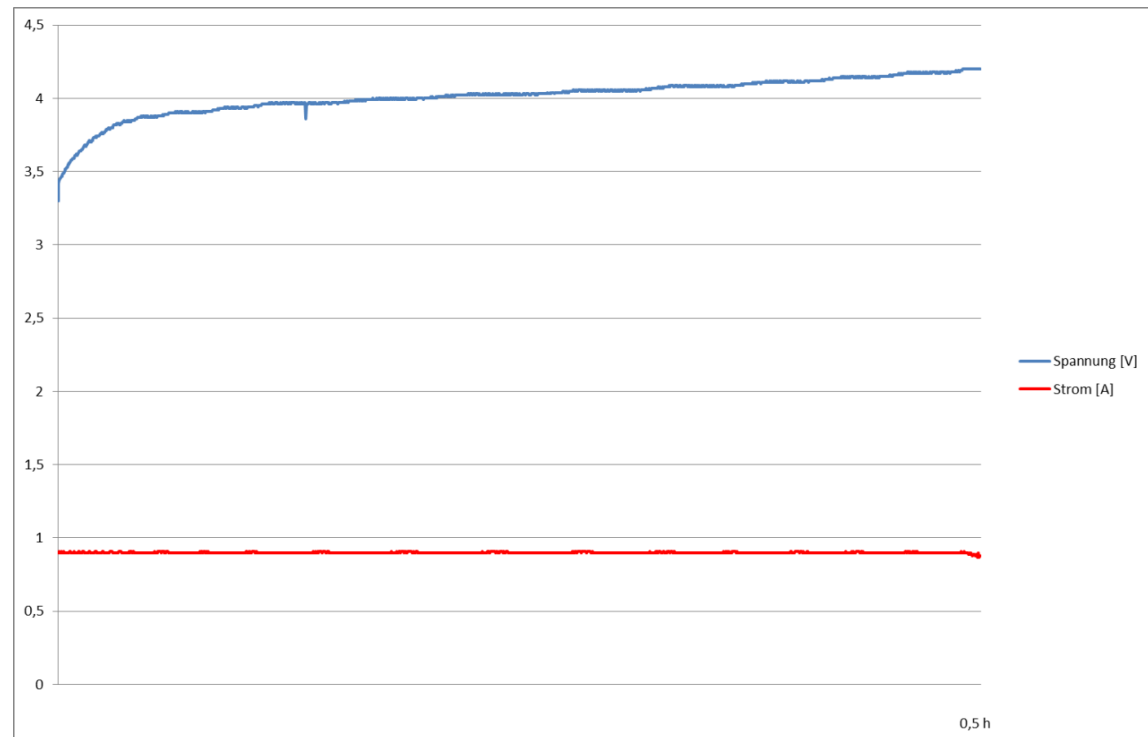
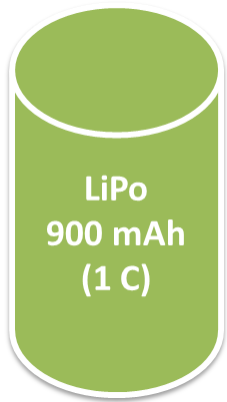


max. Ladestrom:

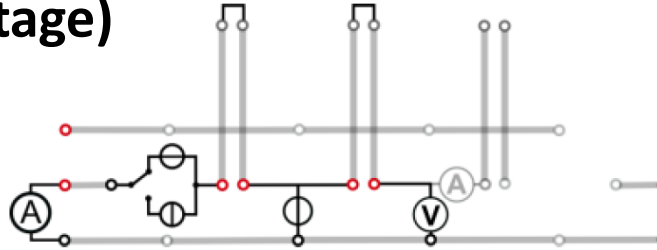
Li-Techn.:	1 C
Pb:	0,4 C
NiMH:	1 C

Kapazität

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



CV (Constant Voltage)



Ladeschluss-Spannung:

Li-Ion: 4,2 V

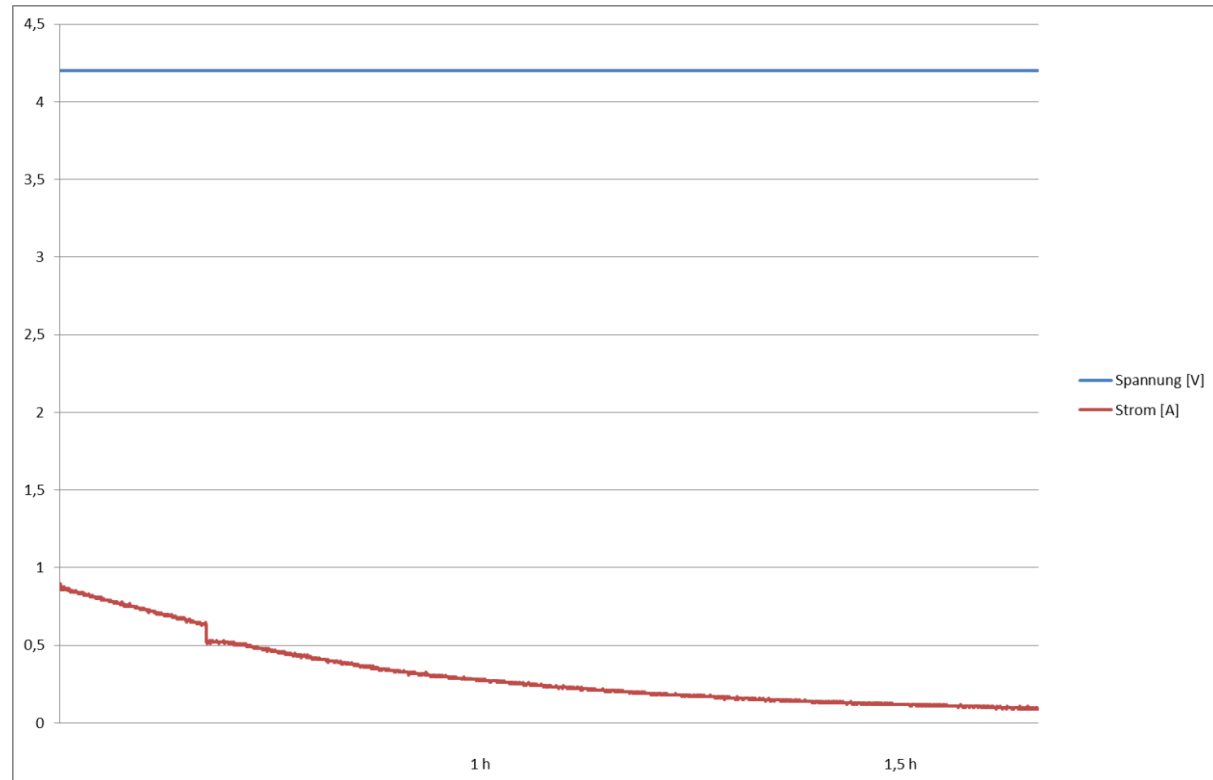
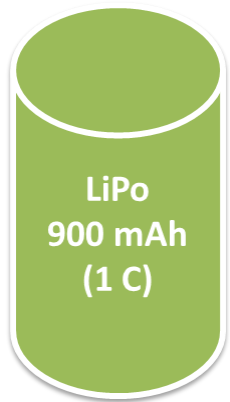
LiFe: 3,6 V

Pb: 2,4 V - 2,6 V

NiMH: ----

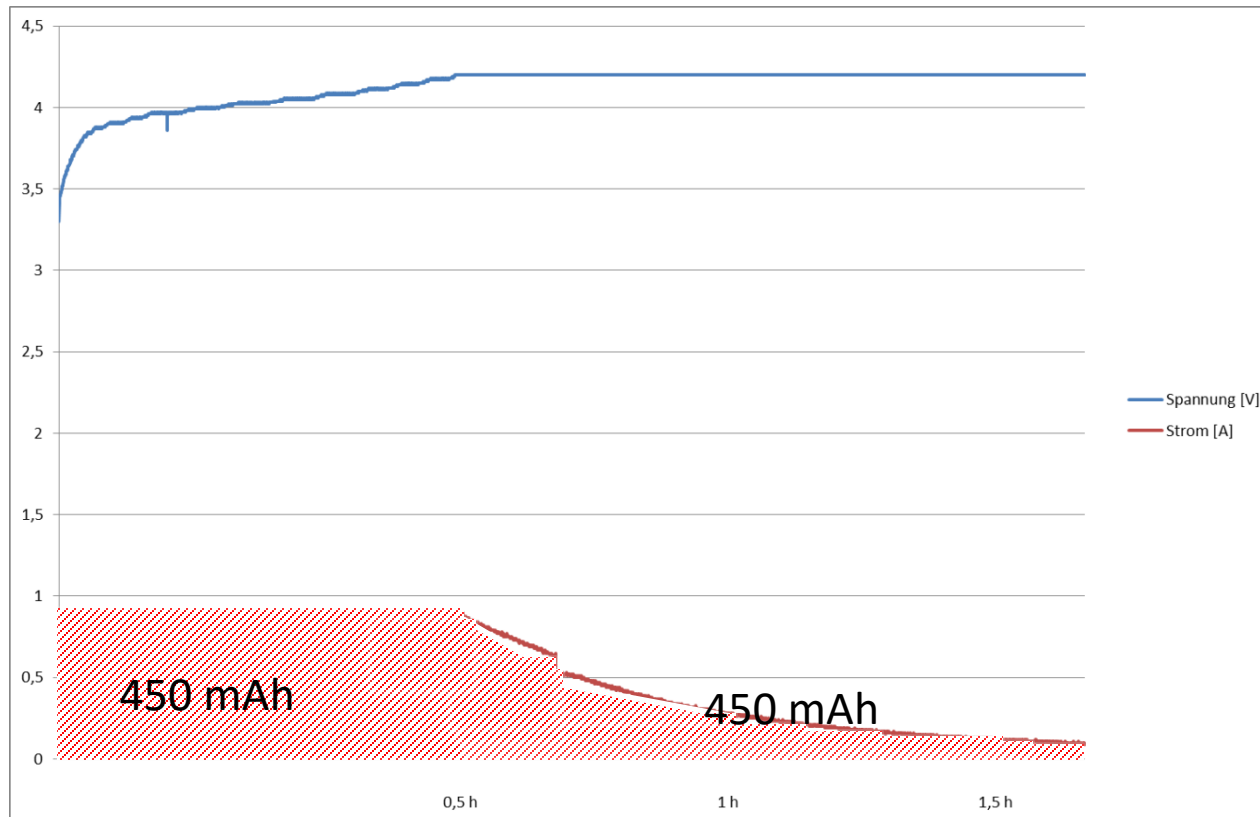
Kapazität

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

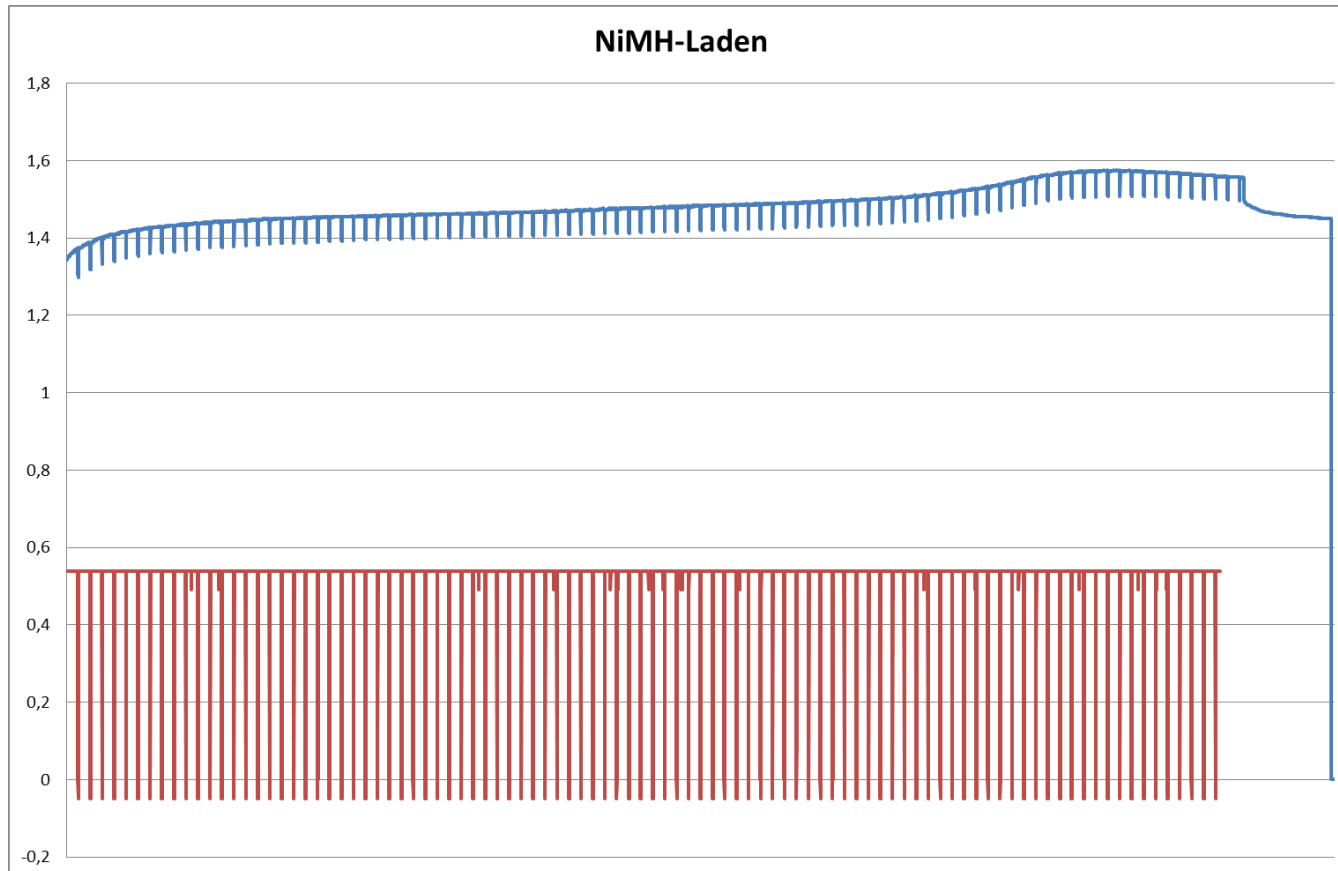


CCCV (Constant Current Constant Voltage)

U_0 [V]	
SOC [%]	



ΔU -Verfahren

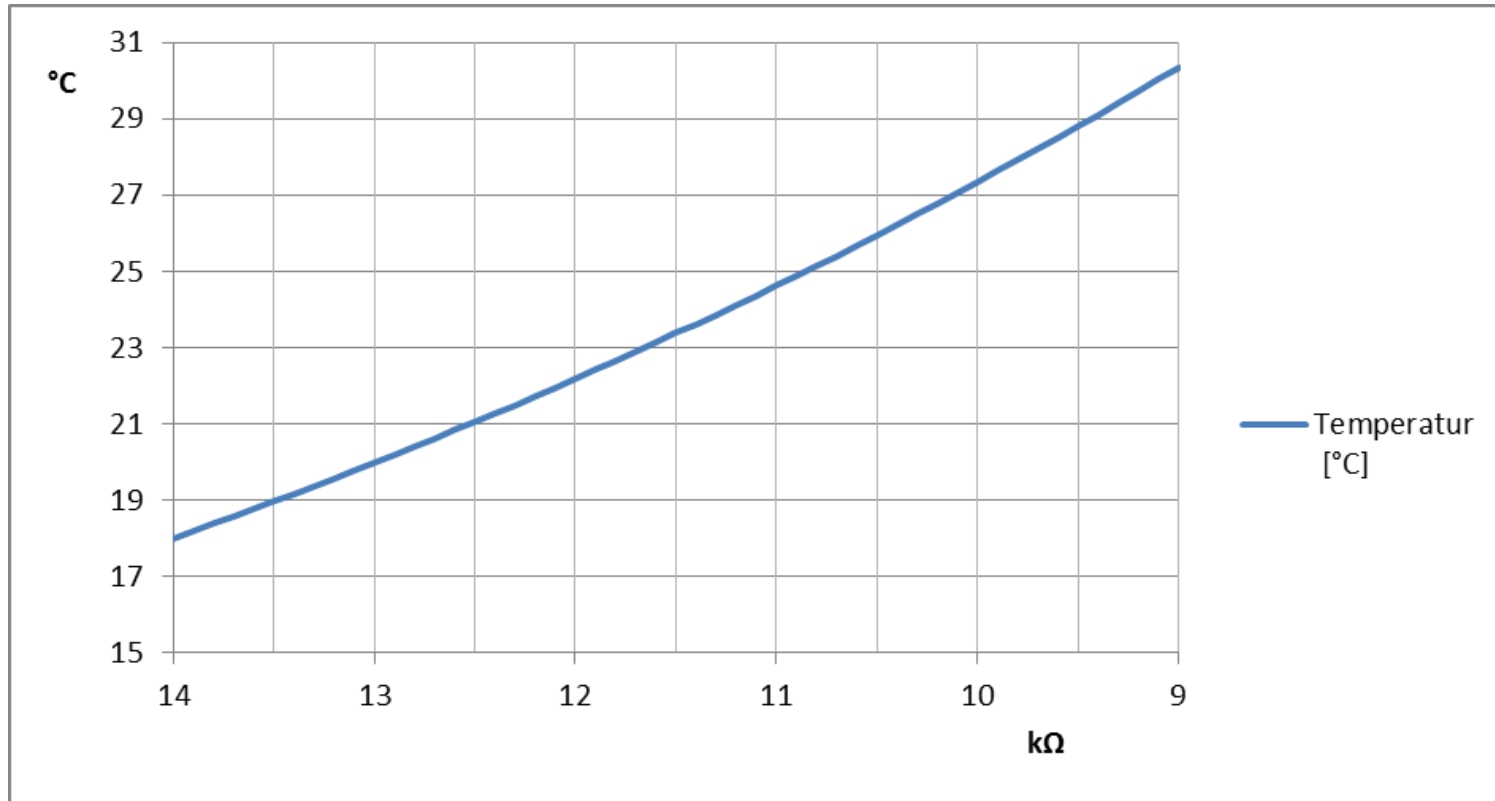


Angaben Datenblatt LiPo-Zelle

- 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]

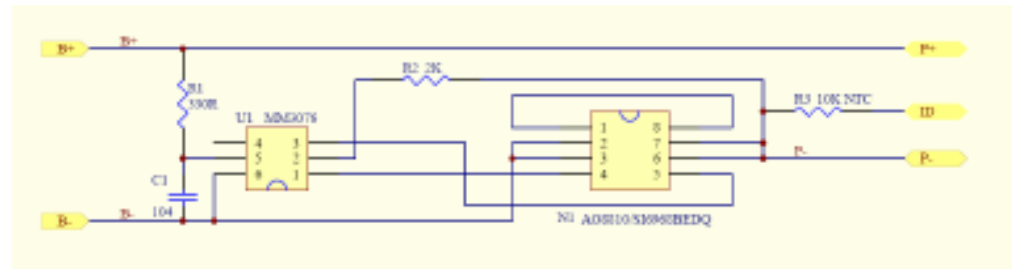


<i>09:30 - 11:00</i>	<i>Theoretische Grundlagen Energiespeicher</i>
<i>11:15 - 12:30</i>	<i>Wasserstoffproduktion</i> <ul style="list-style-type: none">- <i>Grundlagen der Elektrolyse/Wasserstoffproduktion</i>- <i>Wasserstoffgeneratoren in der Anwendung</i>- <i>Wasserstoffspeicherung</i>
<i>13:00 - 15:30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

LiPo-Zelle

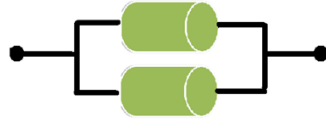
Einzelzellüberwachung:

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



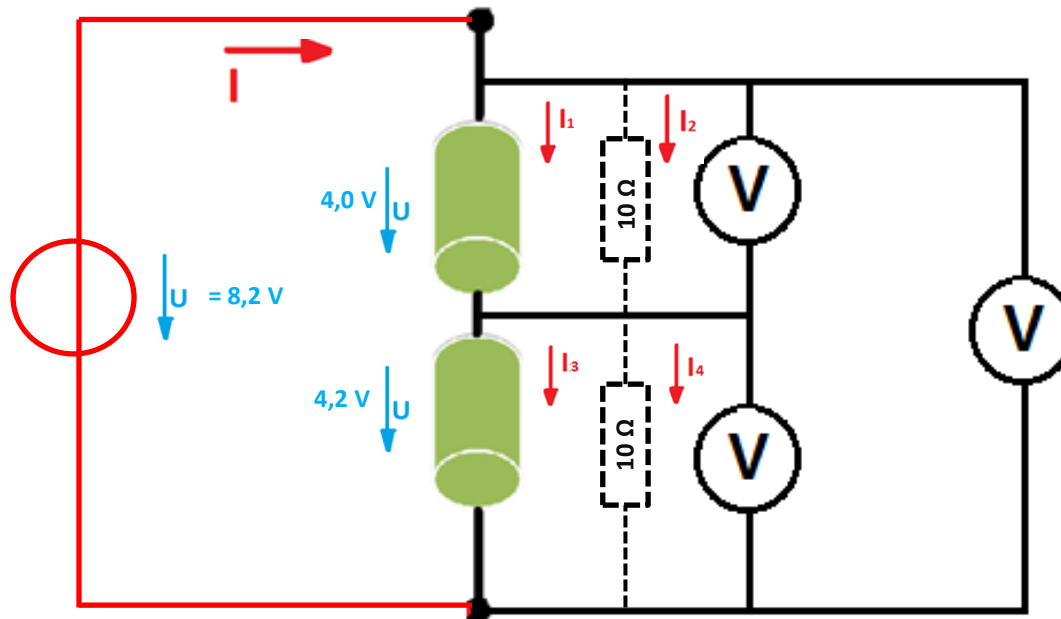
2p2s



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

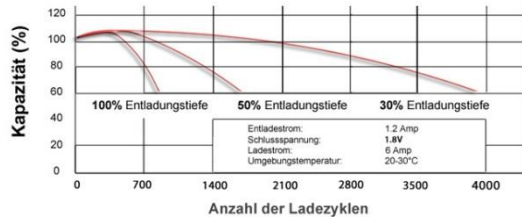


Art.Nr.:Toyo2v500

1.298,00 EUR
inkl. 19 % MwSt. zzgl. Versandkosten
Speditionsversand - 190,00kg

[Zurück zur Übersicht](#)
[auf 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



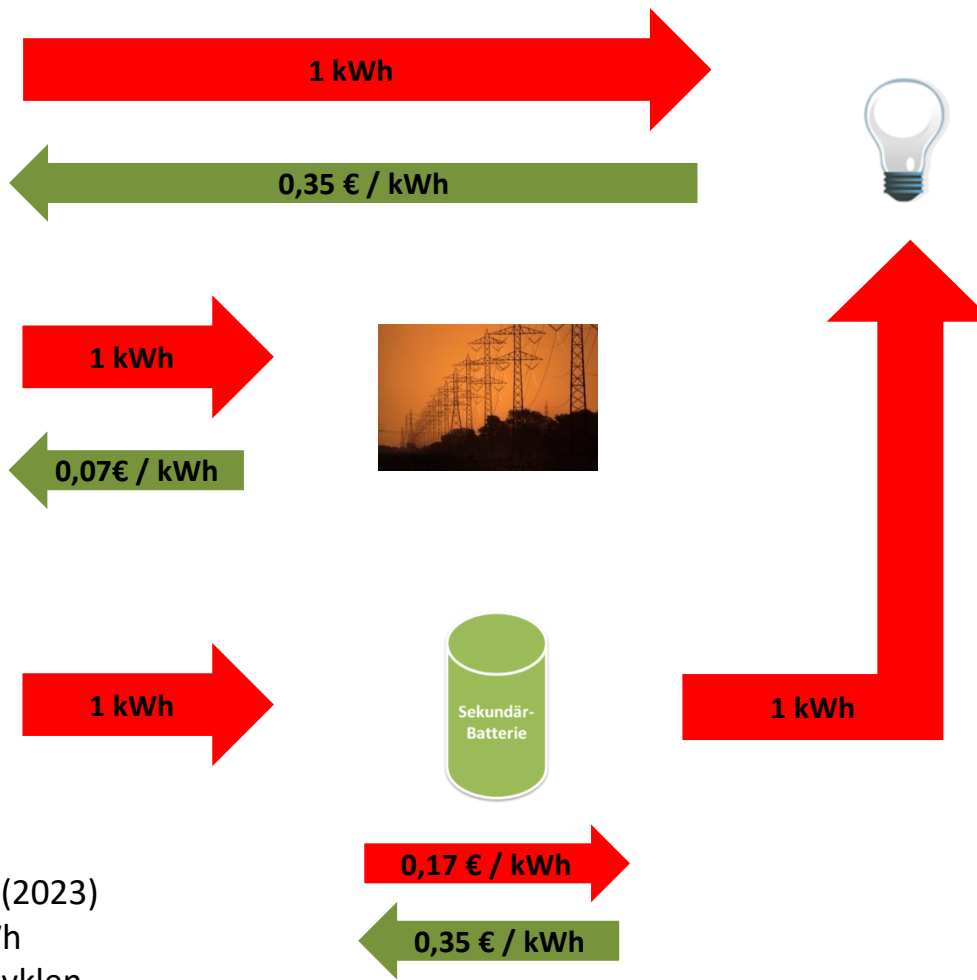
Handelsblatt: Onlineausgabe 06.05.2015

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



Szenario I (2015)
1.000 € / kWh
3000 Vollzyklen

x = 0,33 € / kWh

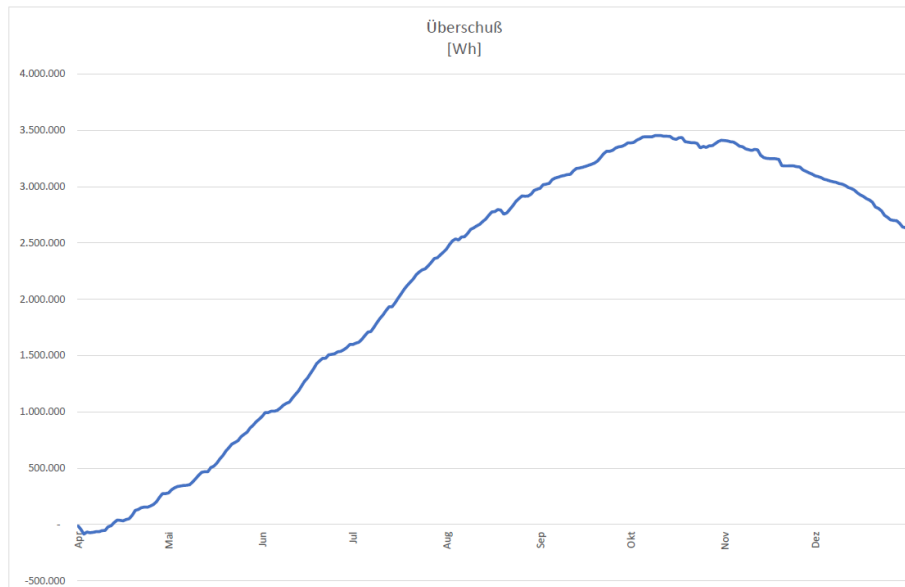


Szenario II (2023)
500 € / kWh
3.000 Vollzyklen

x = 0,17 € / kWh



PV-System: 8 kW_{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.-

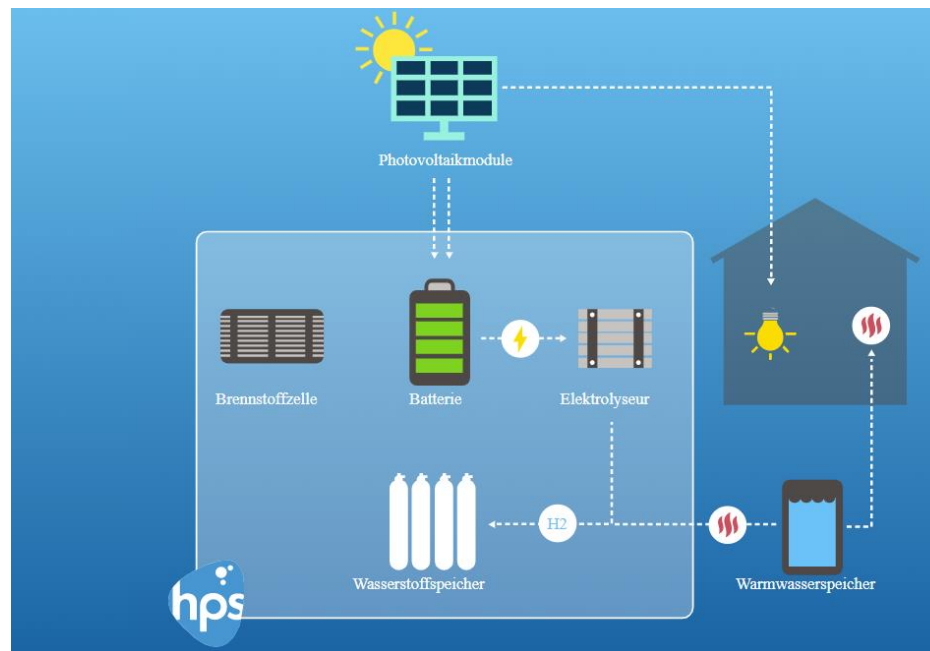
PV-Elektrolyse-System



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

ELEKTRISCH		
Netzersatz- und Netzparallelbetrieb:		
- Nennspannung	V	3-400
- Nennfrequenz	Hz	50
- Nennleistung ¹	kW	7,2
- Brennstoffzellenleistung ²	kW _{el}	1,5
- Wasserstoffherstellungsleistung ²	kW _{el}	2,3
- Ausgangscheinleistung im Netzersatzbetrieb ¹	kVA	9,0
- Ausgangschein- 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 Photovoltaik⁴:		
- 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-Wechselrichter⁵:		
- 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)	m ³ /h	350
- Wärmerückgewinnungsgrad	%	bis zu 87
- Schalleistungspegel der Gehäuseabstrahlung im Nennbetrieb ⁶	dB (A)	58
- Schalleistungspegel der Kanalanlüsse 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:		
- 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:		
- 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

inter-vorarbeiten. Produkttyp: 1.007-0

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