

Einführung

André Weber

Institut für Angewandte Materialien – Elektrochemische Technologien (IAM-ET)

Adenauerring 20b, Geb. 50.40 (FZU), Raum 314

phone: 0721/608-7572, fax: 0721/608-7492

andre.weber@kit.edu

www.iam.kit.edu/et



Vorlesungsinhalte

**elektrochemische Energiewandlung
Brennstoffzellen**

**elektrochemische Energiespeicherung
Batterien, Elektrolyseure**

Termin	Thema
1	Einführung
2	BSZ-Systeme 1
3	BSZ-Systeme 2
4	Zellen und Stacks
5	Nebenaggregate
6	BSZ-Systementwurf
7	Batteriesysteme
8	Lithium-Ionen Batterien 1
9	Lithium-Ionen Batterien 2
10	alternative elektrochemische Energiespeicher
11	Elektrolyse

(Vorläufiger) Zeitplan

Termin	Datum	Thema
1	20.04.2022	Einführung
2	27.04.2022	BSZ-Systeme 1
3	04.05.2022	BSZ-Systeme 2
4	11.05.2022	Zellen und Stacks
5	18.05.2022	Nebenaggregate
6	25.05.2022	BSZ-Systementwurf
	01.06.2022	
7	08.06.2022	Batteriesysteme
8	15.06.2022	Lithium-Ionen Batterien 1
9	22.06.2022	Lithium-Ionen Batterien 2
10	29.06.2022	alternative elektrochemische Energiespeicher
	06.07.2022	
11	13.07.2022	Elektrolyse

Die Vorlesungen stehen als pdf und mp4 (Version 2021) auf Ilias.



Typ: mündliche Prüfung (derzeit nur online)

Ort: IAM-ET, Geb. 50.40, 3. OG, R. 318

Termine: ganzjährig, nach Absprache

Terminvereinbarung bitte mind. 4 Wochen vor gewünschtem Termin, ausschließlich per Email!

Bitte vergessen Sie nicht, sich nach Vereinbarung des Prüfungstermins auch Online zur Prüfung anzumelden.

Hinweis: Bitte verwenden Sie für die Prüfungsanmeldung und andere Anfragen ausschließlich Ihre KIT.EDU Emailadresse.

Future Markets for Fuel Cells

	Portable FC-Units	Small CHP-Units	Mobile (Traction and APU)	Decentralized Power Units
				
Power Range	< 1 kW	1 ... 20 kW	5 ... 200 kW	0.1 ... 10 MW
Cost Targets	1.000 €/kW	500 €/kW	150 €/kW	1.000 €/kW
Expected Lifetime	> 1.000 h	> 40.000 h (5 years)	4.000 h (100.000 miles)	> 40.000 h (5 years)
FC-Type	PEMFC, DMFC SOFC	<u>PEMFC</u> , <u>SOFC</u>	PEMFC <u>SOFC-APU</u>	<u>SOFC</u> , MCFC PEMFC

Brennstoffzellen-Systeme



Ceramic Fuel Cells Limited

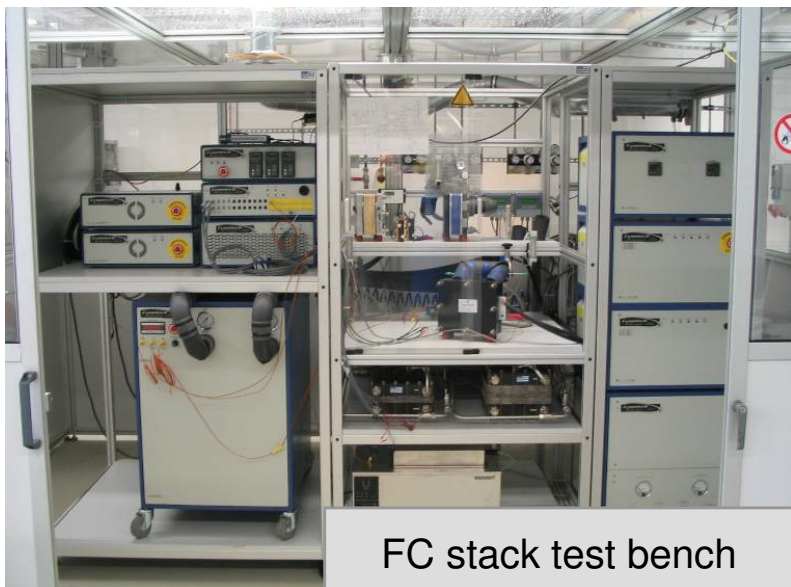


Fuel Cell TestLab at IAM-ET

Cooperation with European Institute for Energy Research (ElfER)

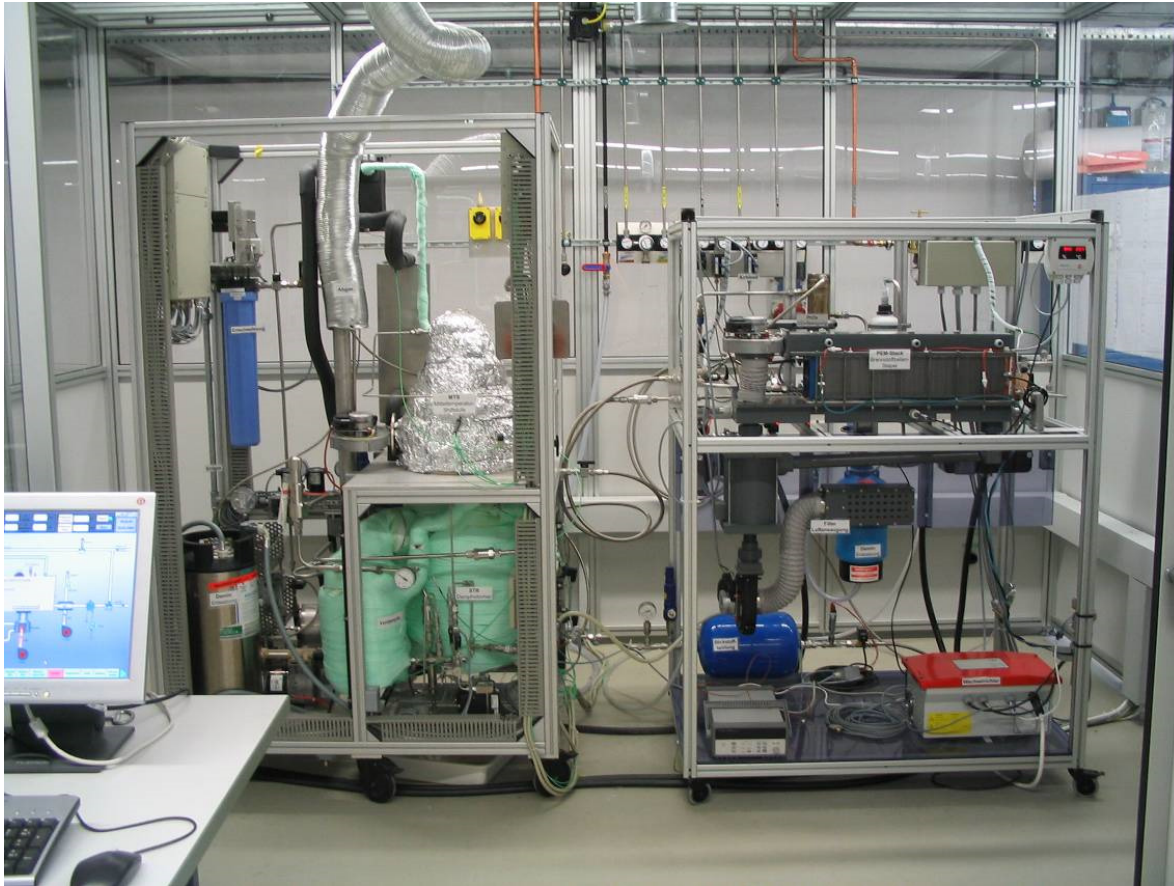


- media supply: **natural gas**, H_2 , N_2 , CO, CO_2 , O_2 , air, DI-water, cooling water supply circuit
- direct grid connection
- electric loads: max. $10kW_{el}$
- thermal loads: max. $30kW_{thermal}$
- **EDF** (*Electricité de France*) industrial safety standard



- testing of different fuel cell systems and components
- testing of single cells and stacks

Leitprojekt EDISon: Intelligente Energieverteilungsnetze durch Anwendung innovativer, dezentraler Erzeuger-, Speicher-, Informations- und Kommunikationssysteme
- Stadtwerke Karlsruhe, ZSW Ulm, Fraunhofer ISE -



EDISon-System

PEMFC mit Dampfreformer

Energieträger: Erdgas

Leistung: ~ 2 kW elektrisch
~ 4 kW thermisch

Wirkungsgrad: bis zu 75% (gesamt)

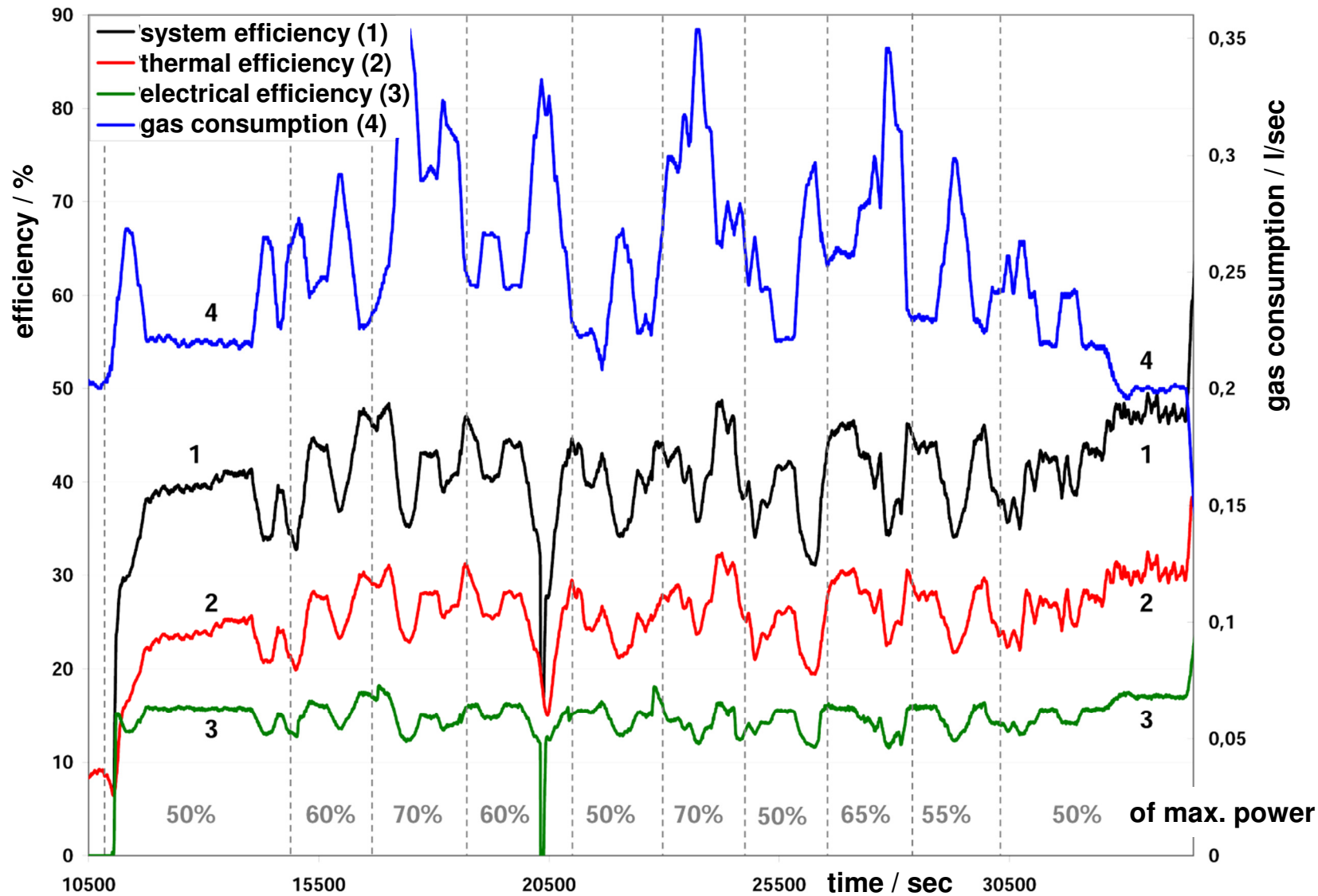
Brennstoffzelle: PEM
2 kW, 80 Zellen

⇒ Messungen am System

⇒ Ermittlung von Leistung und Wirkungsgrad

Electrical and Thermal Characterisation

System Efficiencies (without offgas recuperation)



Testing of Fuel Cell Systems

Idatech FCS 1200

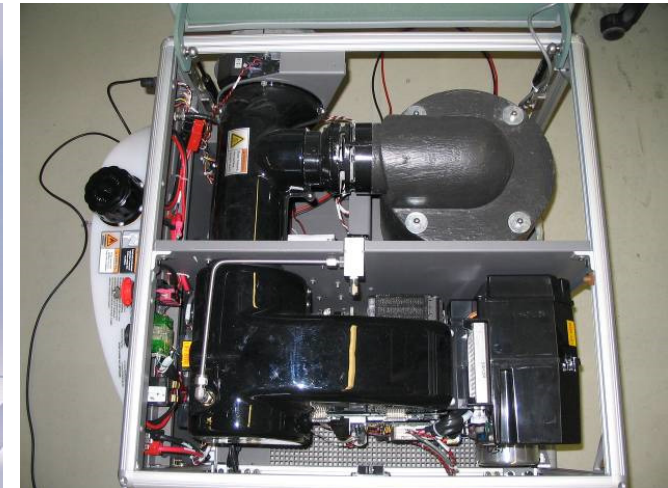
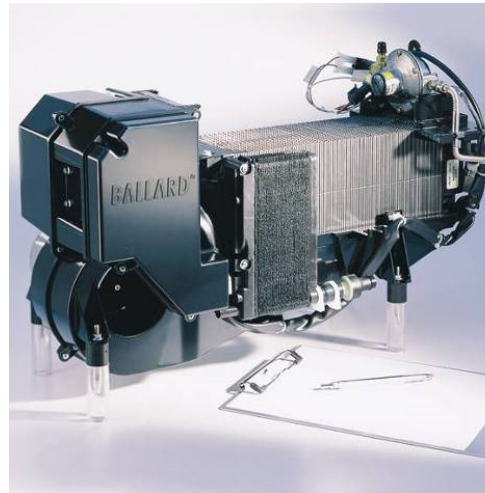
FCS 1200 fuel cell system

- FC-system with methanol/water steam reforming unit
- grid independent power supply
- el. power: 0 - 1000 W (dc power)
- voltage 44 - 56V
- optional: 850 W ac power



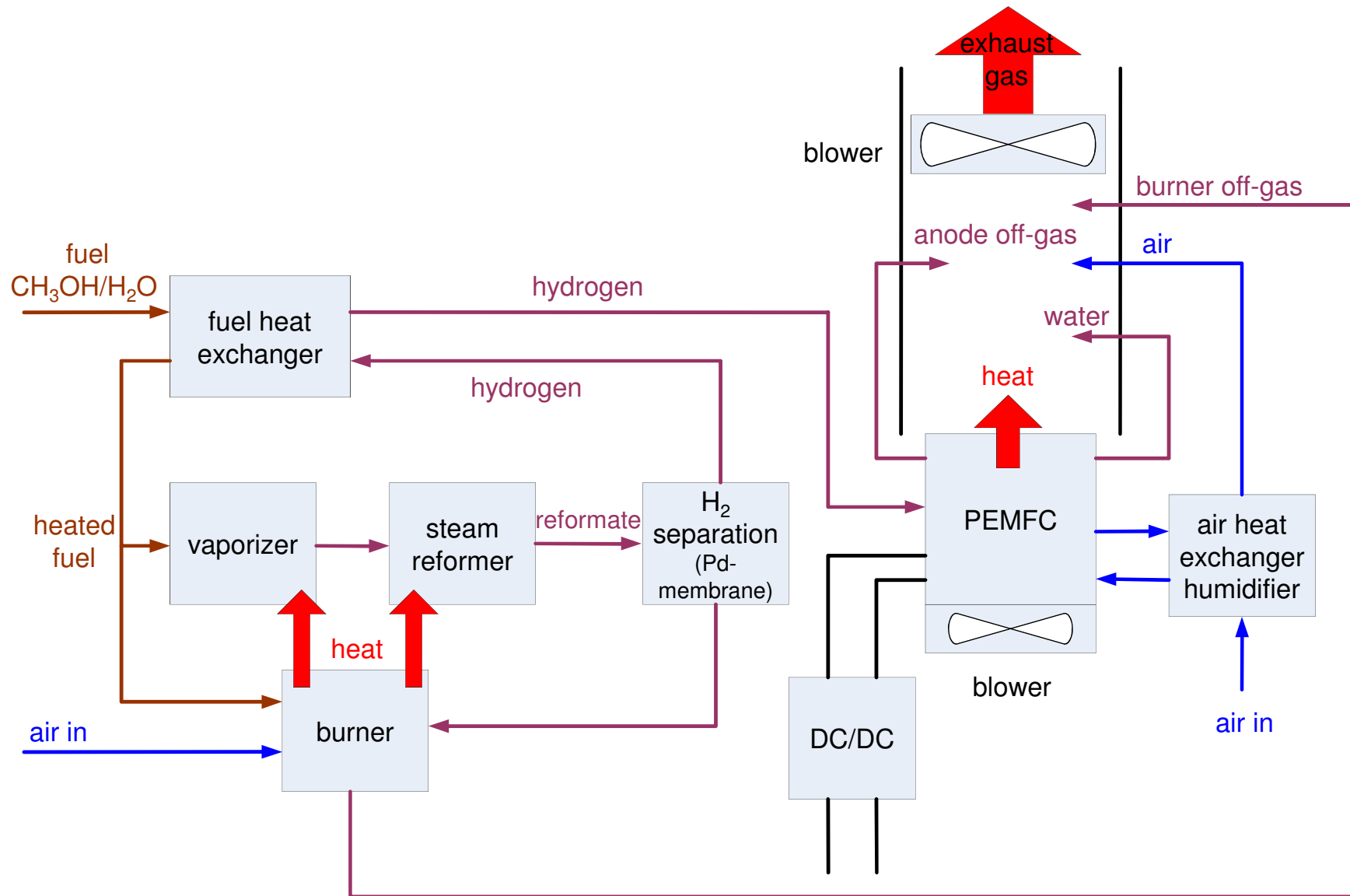
Ballard FC-Stack

- Nexa Power Module (PEMFC)
- el. power: 1200 W
- voltage: 26,5 - 50V



Testing of Fuel Cell Systems

Idatech FCS 1200

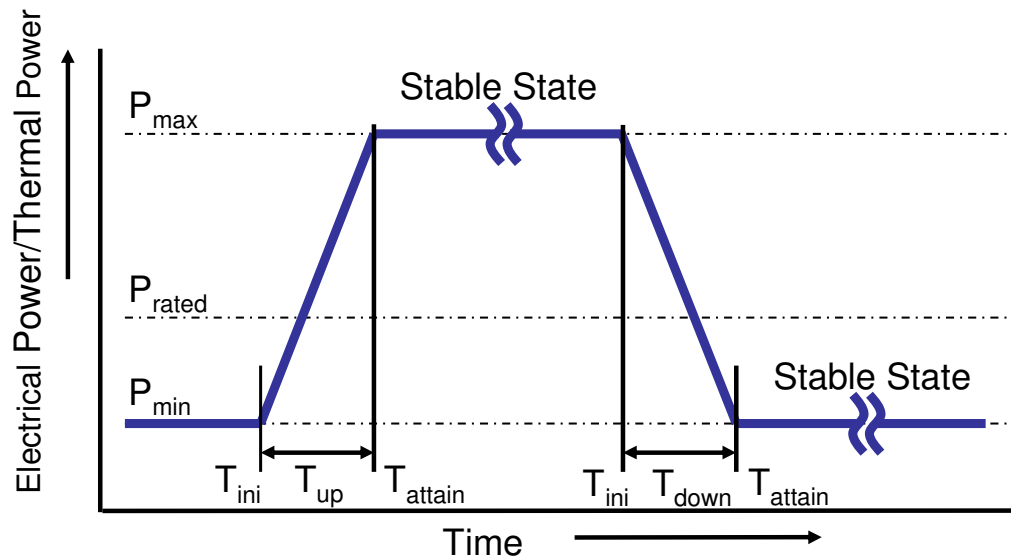


Standardized System Testing

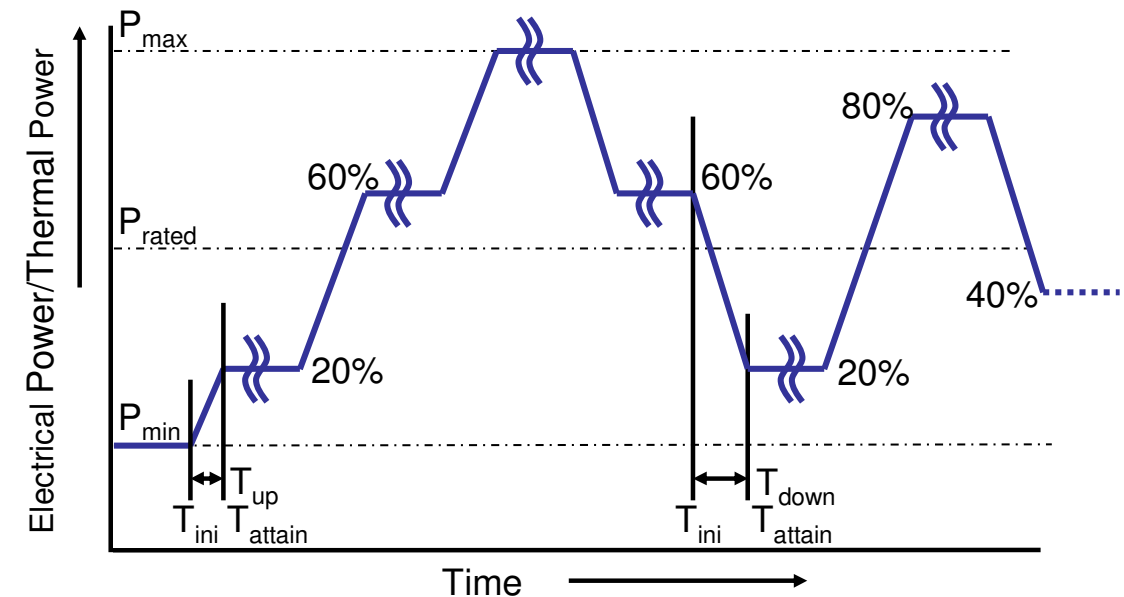
Definition of Standardized System Test Routines

- every system tested the same way ➔ necessary for comparable system test results
- comparable measurement values ➔ determine system parameters necessary for modeling
- complete system test module catalogue based on: IAM-ET testing, IEC TC105 standards, FCTESTNET Test Modules

Steady State Test Modules



Dynamic Test Modules



Testing of Fuel Cell Systems

FCTESTNET Electrical Load Following Test Module

c) “Transient” load cycle test:

Starting at the rated electrical power output operating point equal load changes according to Fig. 9-3 shall be applied to the system and hold in each operating point for equal time periods, starting with the maximum time period (T_{up} , T_{down}) determined in a) and b). The load cycle ends with the rated electrical power output. The load cycle shall be iteratively applied to the system changing the time periods for the single load steps down to 5 min (if in the range of manufacturer’s specifications).

In this case the system will not reach thermal equilibrium conditions and has to react with different electrical power output values than measured in a) and b).

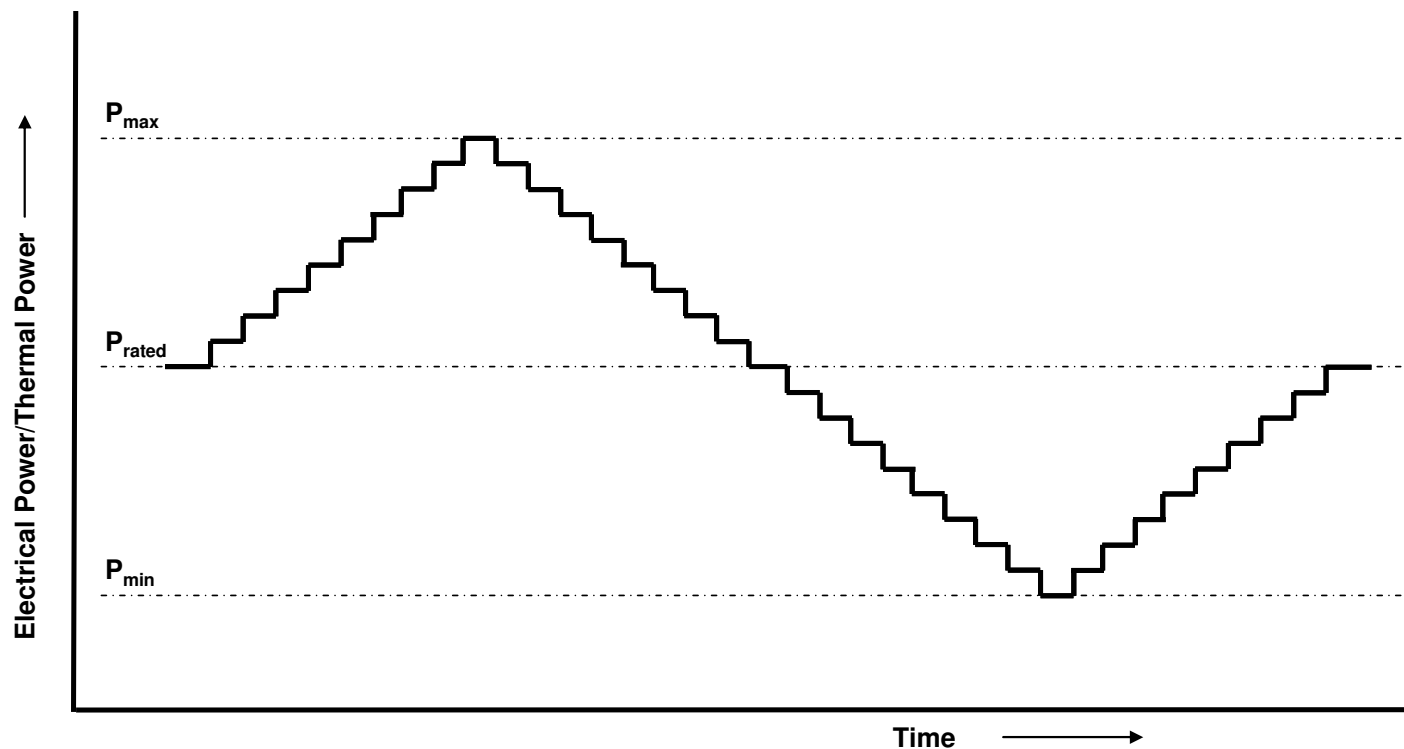
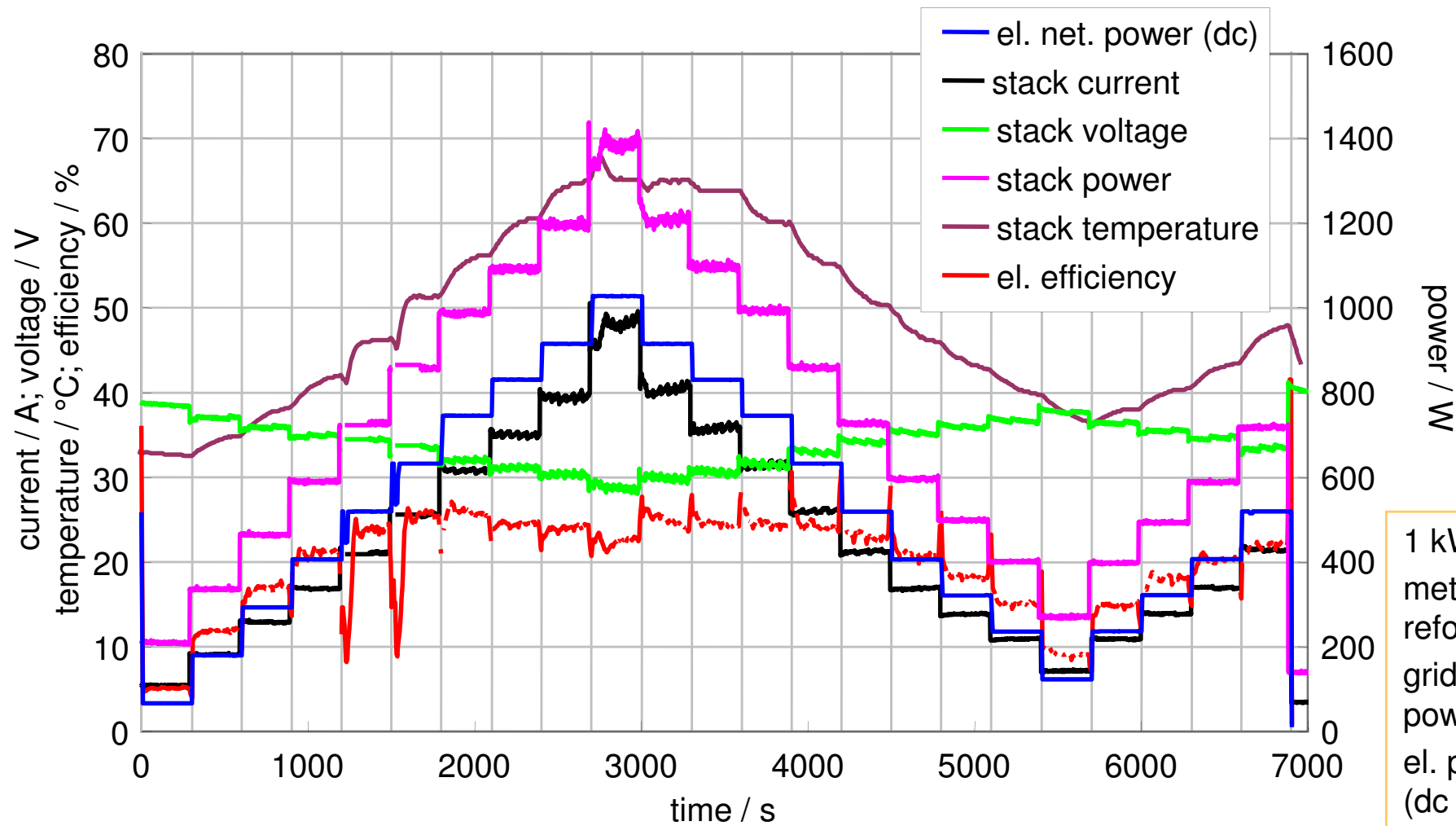


Figure 9-3: transient load cycle test.

Testing of Fuel Cell Systems

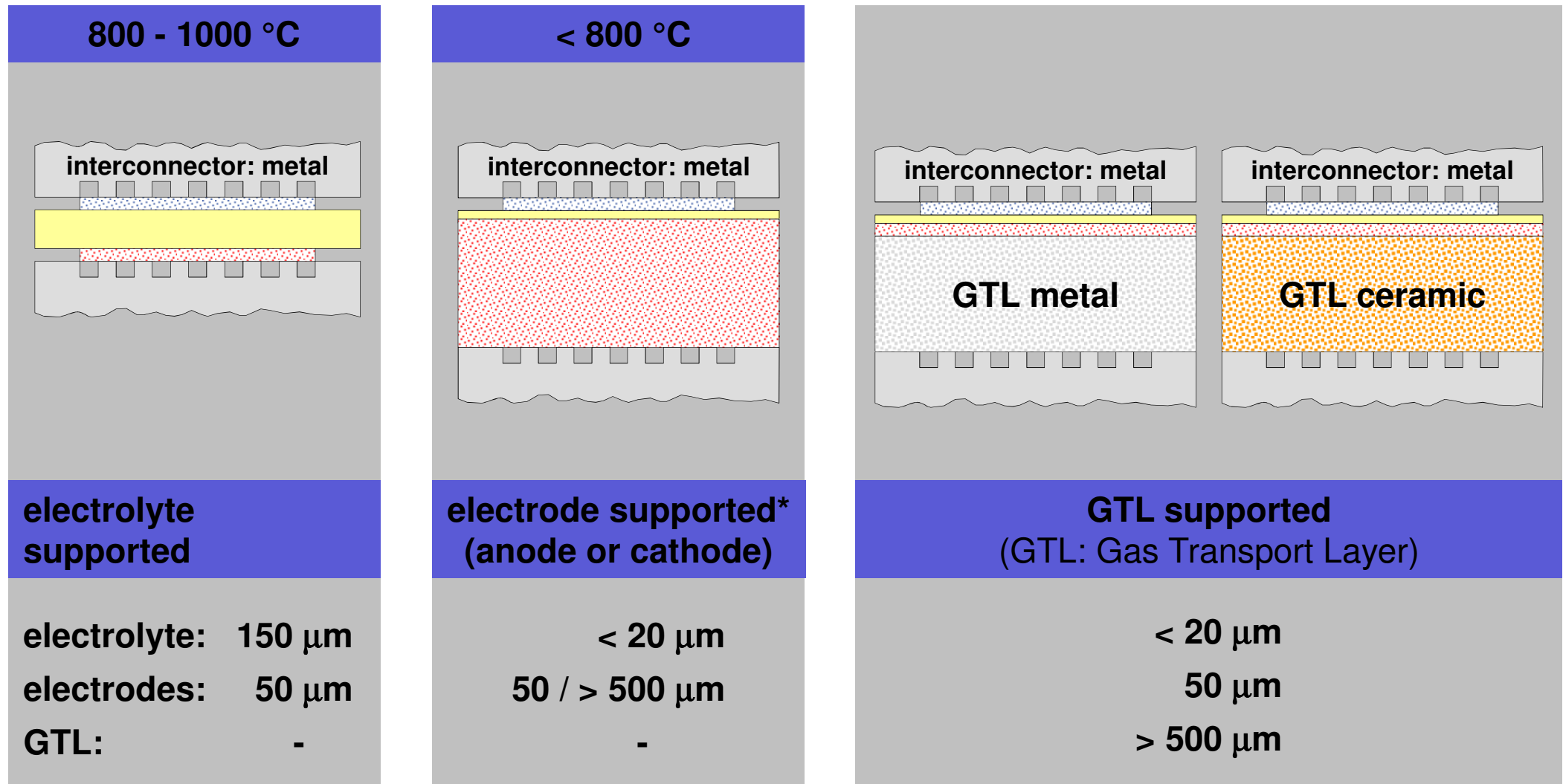
Transient Load Cycle Test



1 kW PEMFC-system
methanol/water steam
reforming unit
grid independent
power supply
el. power: 0 - 1000 W
(dc power)
voltage 44 - 56V

Solid Oxide Fuel Cells

Planar Cell Concepts



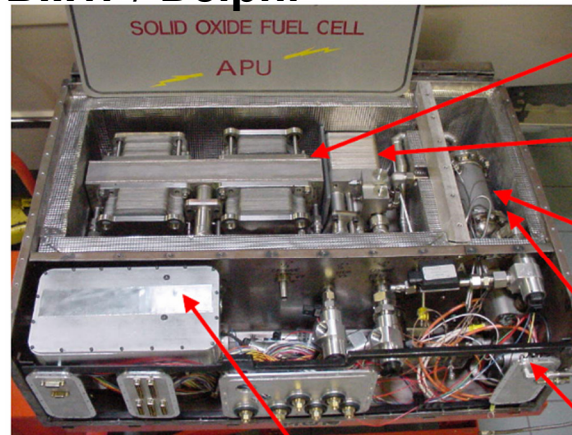
*Thickness of Electrodes and Electrolyte
similar for tubular SWPC concept

Zell- und Stackkonzepte



Sulzer Hexis

BMW / Delphi



BMW Group

Luft-Gebläse
Reaktionsluft und
Kühlluft

Brennstoffzellen-Stack
Erzeugung elektrischer Energie
aus Reformat (H_2 und CO)

Waste Energy Recovery
Restgasverbrennung,
Aufheizung Reaktionsluft

Hauptreformer
Aufheizung Stack,
Erzeugung von Reformat
(20% H_2 , 20% CO, 3% CH_4 , Rest N_2)

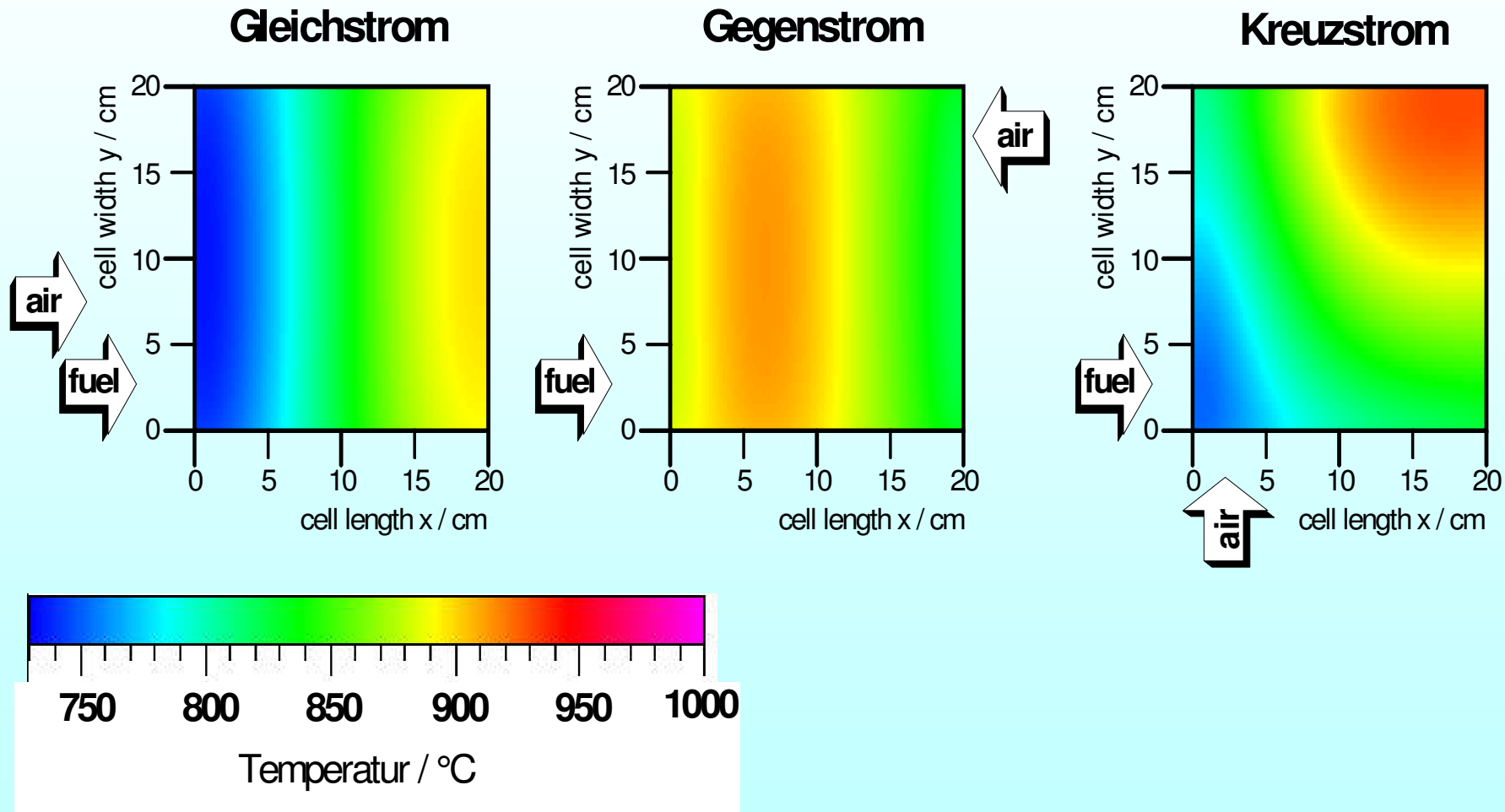
Mikroreformer
Start Hauptreformer

Kraftstoff-
versorgung

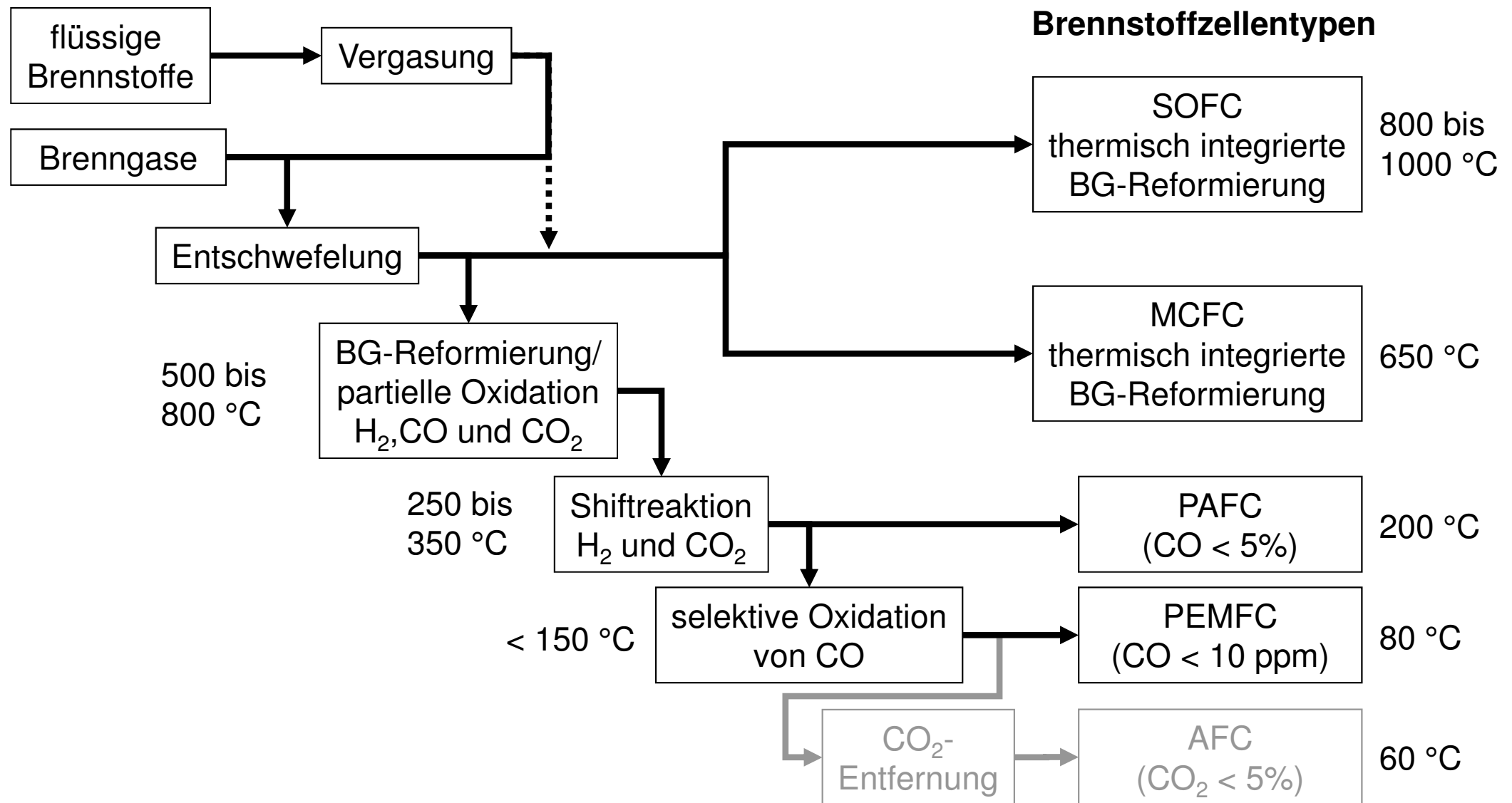


Siemens-Westinghouse

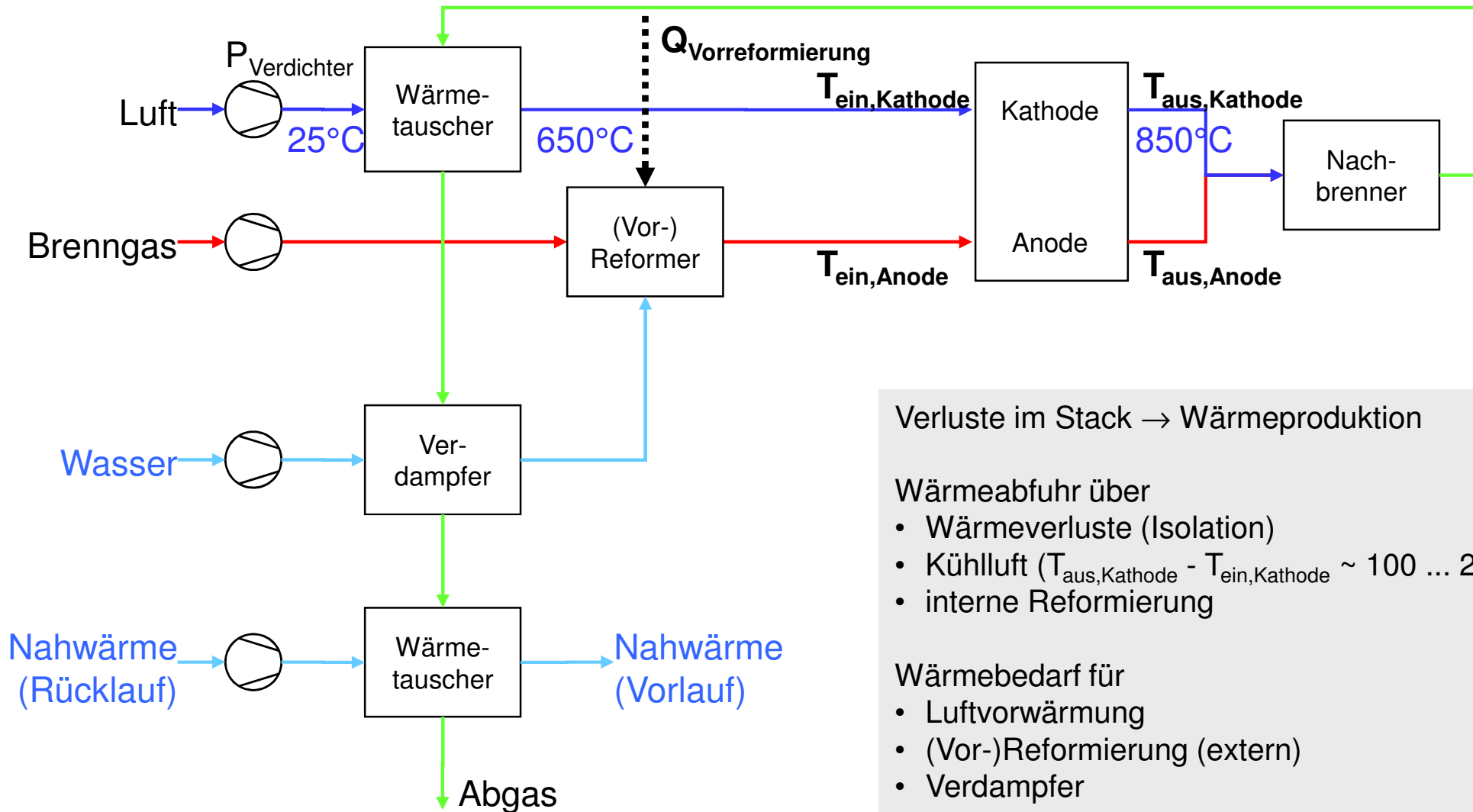
Modellierung: Temperaturverteilung bei interner Reformierung



Brennstoffaufbereitung für verschiedene BSZ-Typen



SOFC-System



Verluste im Stack $\rightarrow$ Wärmeproduktion

Wärmeabfuhr über

- Wärmeverluste (Isolation)
- Kühlluft ($T_{\text{aus,Kathode}} - T_{\text{ein,Kathode}} \sim 100 \dots 200 \text{ K}$)
- interne Reformierung

Wärmebedarf für

- Luftvorwärmung
- (Vor-)Reformierung (extern)
- Verdampfer



Systemtechnik

Auswirkung der internen Reformierung: Beispiel 100 kW SOFC

Int. Ref. grad	Luftzahl	Verdichterleistung	η_{Sys}	$P_{\text{Luftvorwärmer}}$
0 %	10	15 kW _e	38 %	410 kW _{th}
50 %	7	10 kW _e	43 %	208 kW _{th}
100 %	3	4 kW _e	49 %	90 kW _{th}

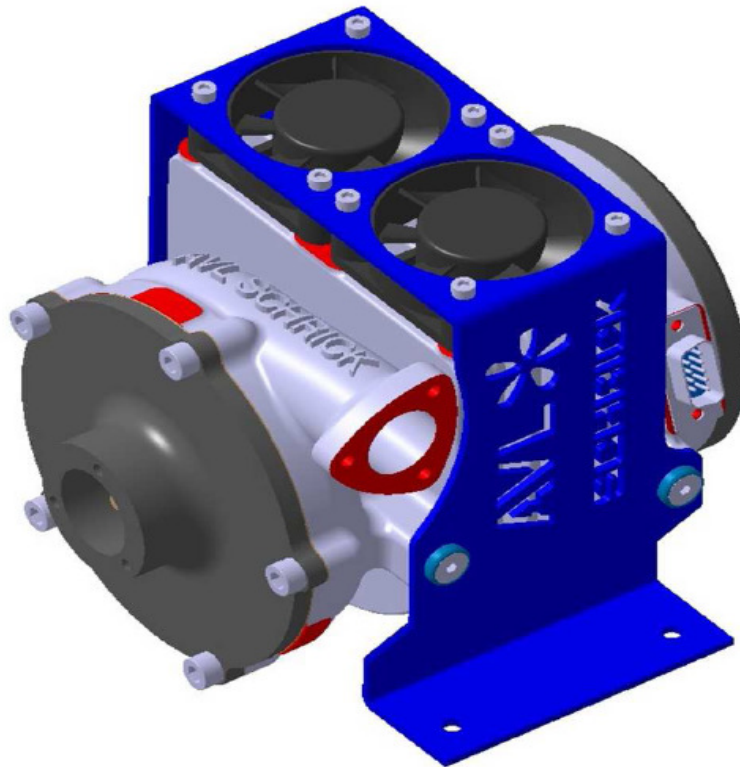
Inputdaten für die Anlagensimulation

Brennstoff:	Erdgas 100 kW (H _u)
Spannung:	0,75 V
Luft-Aufheizspanne im Stack:	100 K
Brennstoffnutzungsgrad:	80 %
Verdichter-Wirkungsgrad:	70 %
Druck	1 bar

AVL SCHRICK Fuel Cell Blowers

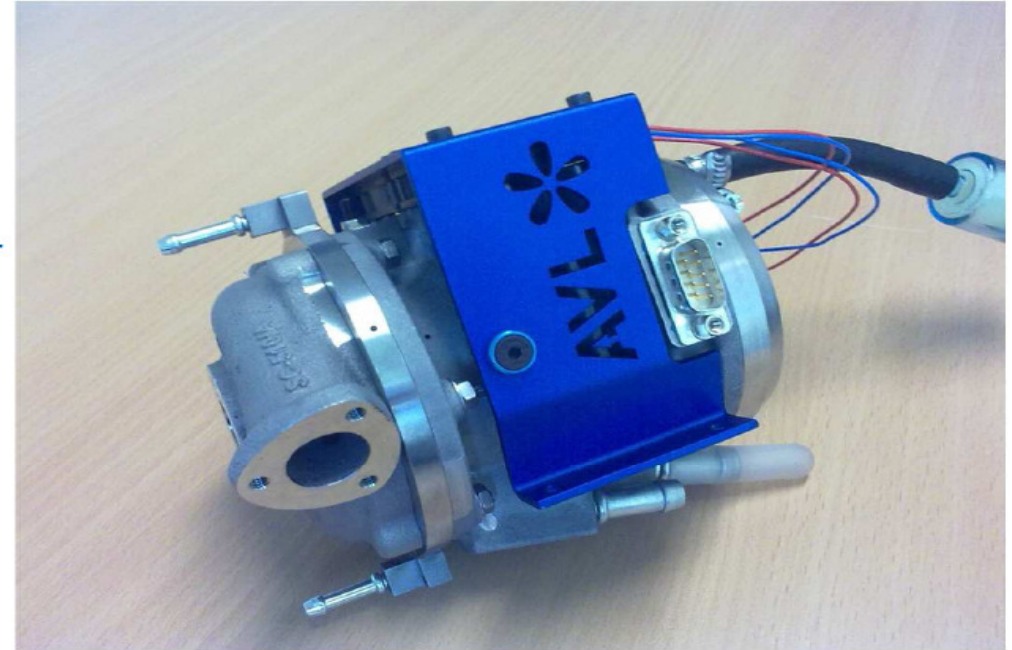
FC Blower Properties

- Very compact Design
- Functional integrated Housing & E-Motor



Air Blower (available in ~8 weeks)

DACH II Workshop, 23.02.2011, Juergen Rechberger, AVL List GmbH



Anode Blower

- Low Heat Radiating Area
- Efficient Cooling and Lubrication
- Suitable for Hydrogen containing Media
- Up to 500°C Medium Temperature



Hybridfahrzeug (HEV)

Speicher ca. 1 kWh, Ladung nur während Fahrt, Treibstoffeinsparung max. 20%.



Plug-In Hybridfahrzeug (PHEV)

Speicher 5-10 kWh, Ladung aus dem Netz, 50-70 km Reichweite ohne Treibstoff, volle Reichweite, volle Leistungsfähigkeit.



Elektrofahrzeug (EV)

Speicher 15-40 kWh, Ladung aus dem Netz, 100 - 300 km Reichweite ohne Treibstoff.

Typen von (Hybrid-) Elektrofahrzeugen

Update



Hybridfahrzeug (HEV)

Ladung nur während Fahrt über ICE

1-50 km el Reichweite



Plug-In Hybridfahrzeug (PHEV)

Speicher 5-10 kWh, Ladung über Netz / ICE

40 - 100 km el. Reichweite



Elektrofahrzeug (EV)

Speicher 15-100 kWh, Ladung aus dem Netz

100 - 500 km Reichweite



Toyota

Prius II

Mercedes-Benz

S 400 HYBRID

Audi

e-tron 55

Motor	57 kW / 78 PS	205 kW / 279 PS	300 kW / 408 PS (el.)
max. Drehmoment	115 Nm	338 Nm	664 Nm
E-Motor	1x / k.A.	1x / 160 Nm	s.o.
Traktionsbatterie	1.3 kWh Ni-MH	0.8 kWh LIB	95 kWh LIB
Verbrauch* / 100 km	4,3 l	7,9 l	22.4 - 26.4 kWh
CO ₂ -Emission	104 g/km	190 g/km	-
Markteinführung (D)	2003*	2009	2018

* Werksangaben nach NEFZ-Zyklus ** Prius I 1997 (J) 2000 (D), Prius II (2003), Prius III (2009)

NiMH-Batterie im Prius II

28 Module mit 6 Zellen
(168 Zellen @ 1,2V = 201,6 V)

Zelltyp: prismatisch

Nennkapazität: 6,5 Ah

Gewicht: 39 kg

Energie: 1,3 kWh

Energiedichte: 41 Wh/kg

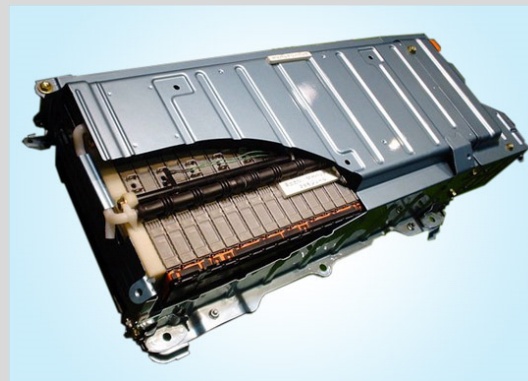
Spitzenleistung: 40 kW

Leistungsdichte: 1300 W/kg

Elektrische Reichweite: 3 km

Hersteller: Panasonic

Preis Batterie: ~2500€ (7/2008)



Mild-Hybrid (Start Stopp-Funktion)

E-Motor: 15 kW

V-Motor: V6, 205 kW

Beschleunigung: 7,2 s (0-100 km/h)

Mehrgewicht (Hybrid): 75 kg

Verbrauch: 7,9 l (Einsparung 2,2 l gegenüber Vorgängermodell)

CO₂-Emission: 190 g/km

Traktionsbatterie:

Li-Ionen, zylindrisch

35 Zellen, 1 Zellblock (Zellen + Kühlung)

Kühlung über Fahrzeugklimaanlage

Nennspannung: 126 V (87,5 V bis 144 V)

Leistung 19 kW/10 s (EoL 50% SOC)

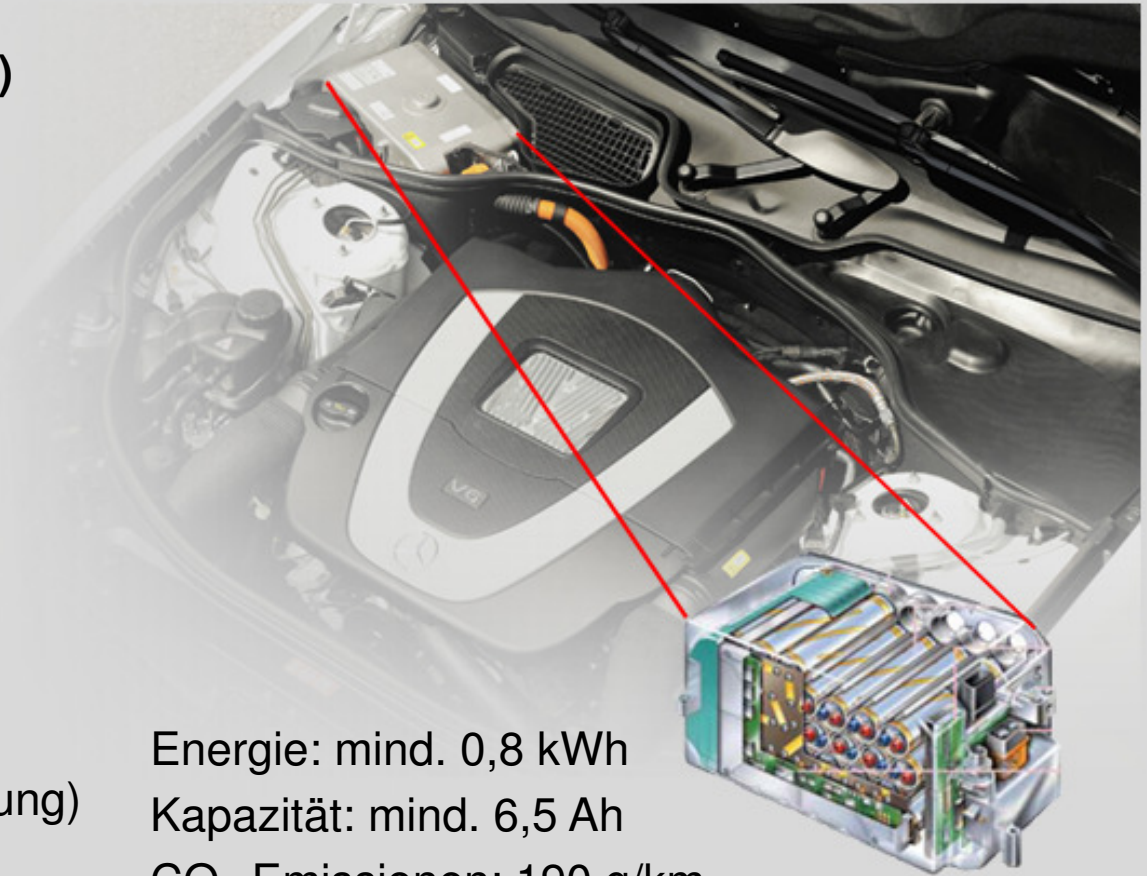
Energie: mind. 0,8 kWh

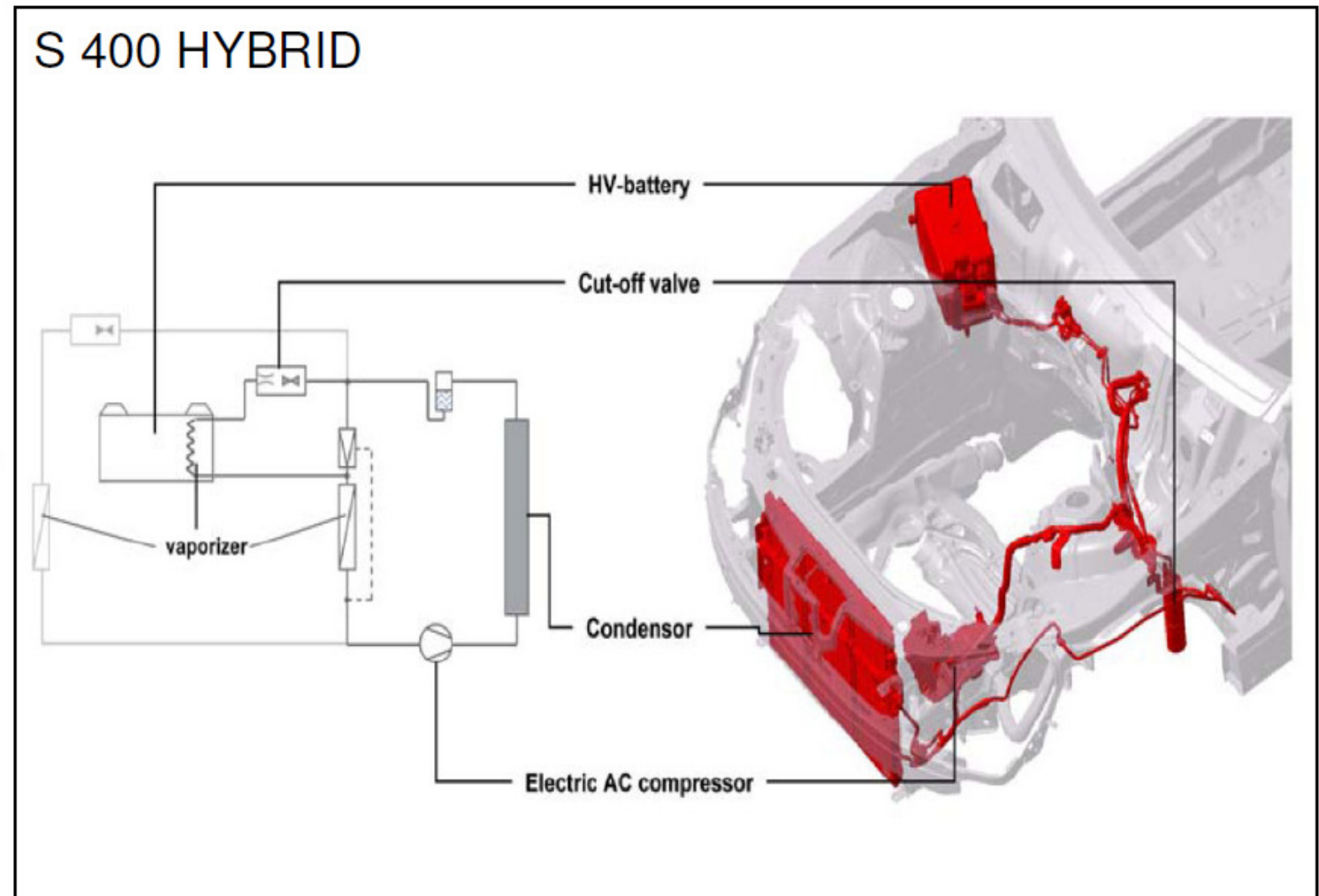
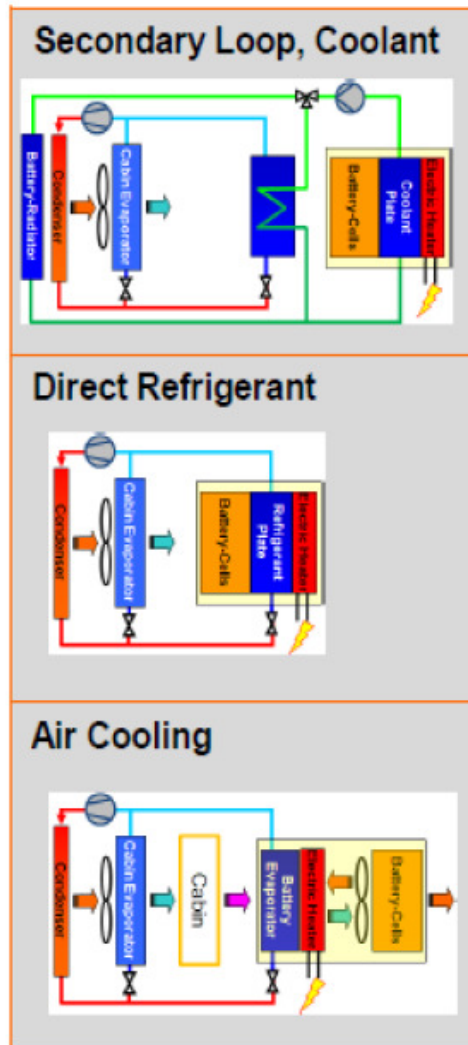
Kapazität: mind. 6,5 Ah

CO₂-Emissionen: 190 g/km

Lebensdauer: 10 Jahre (Ø Temp: 40°C)

Betriebstemperatur -25°C – +45°C





BEV

E-Motoren: 135 / 165 kW

Beschleunigung: 5,7 s (0-100 km/h)

Gewicht: 2565 kg

Verbrauch: 22,4 - 26,4 kWh

Reichweite: 358 - 436 km

Traktionsbatterie:

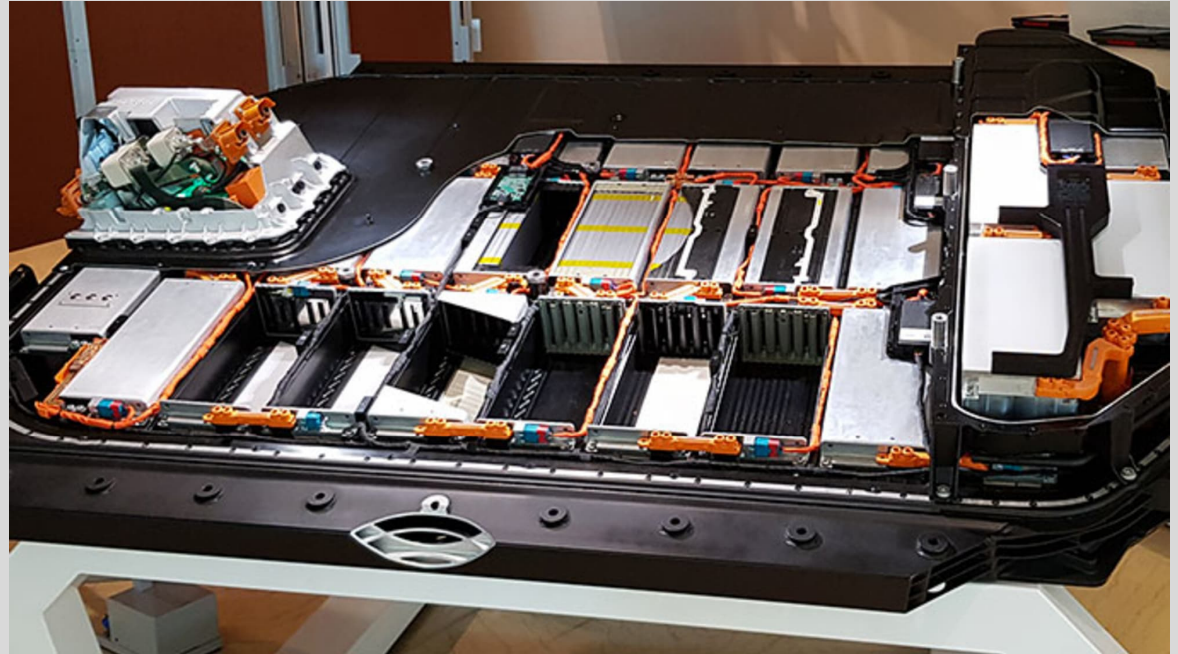
95 kWh Li-Ionen

432 Pouchzellen (LG Chem)

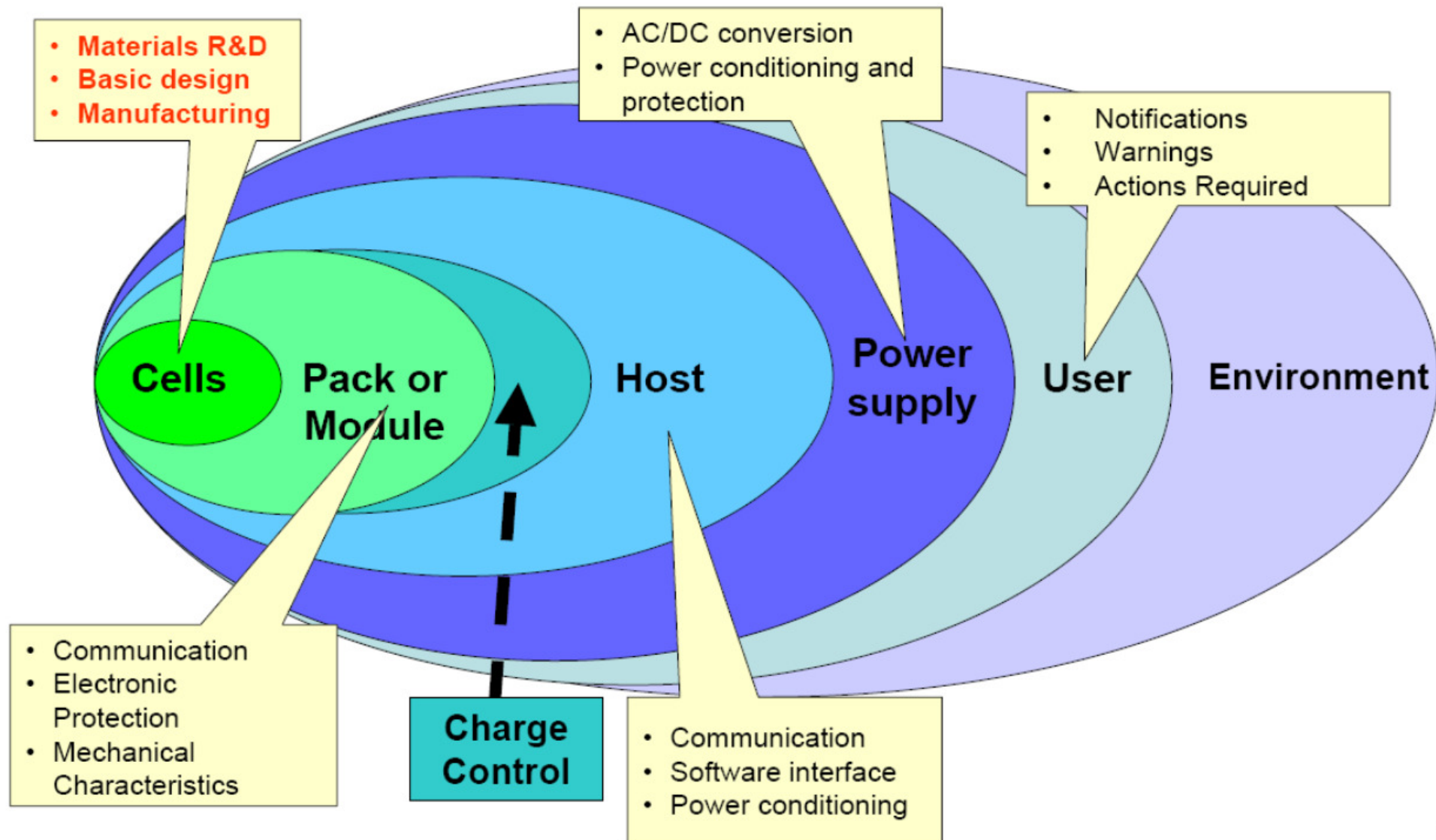
35 Module a 12 Zellen

396 V / 4x 60 Ah

Heizung / Kühlung über Wasser-Glykol Kreislauf



LiB Safety

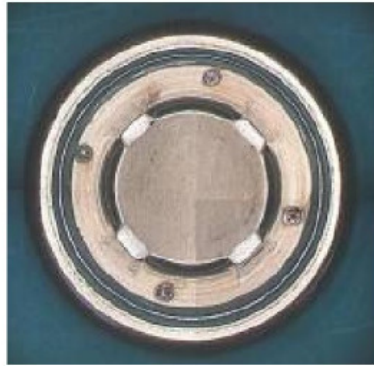


:

LiB Safety

Safety Valve Principles

MAXELL
PB



SANYO



SDI
13Q



BMZ
THE BATTERY EXPERTS

Anwendungen für Festelektrolyte

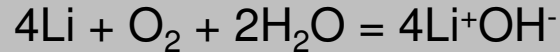
Lithium-Luft Batterie

Funktionsweise

Allgemein

- hohe Kapazität der Anode wird ausgenutzt
- theoretische Kapazität 11,14 Wh/g
- Kathode wirkt nicht begrenzend
- Zellspannung 3,45V

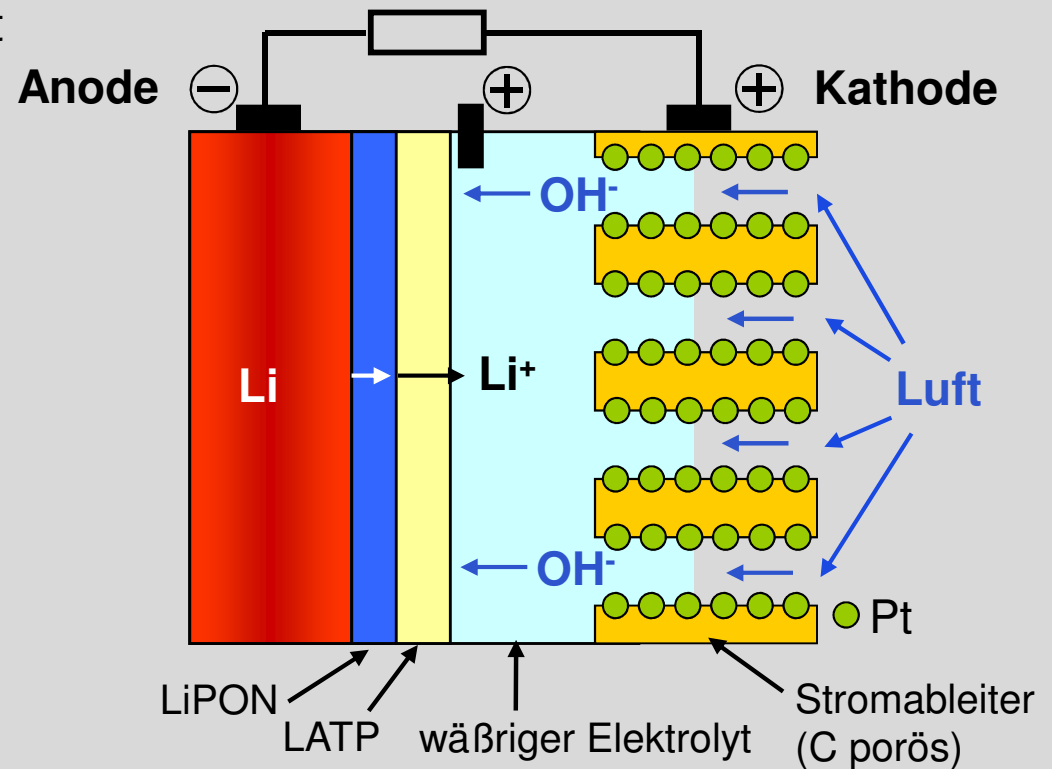
Reaktionsgleichung



In Untersuchung:

- Leitfähigkeit der Festelektrolyte
- chemische Stabilität der Festelektrolyte
- Nebenreaktionen am Katalysator

$\text{Li}_{1+x}\text{Al}_x\text{Ti}_{2-x}\text{Si}_y\text{P}_{3-y}\text{O}_{12}$ (LATP) NASICON-Struktur (kristallin)
 $\text{Li}_{3-x}\text{PO}_{4-y}\text{N}_y$ (LiPON) Lithium-Phosphoroxynitrid (Glas)



SOFC/SOEC-Systeme

Referenzanlagen Sunfire



- + 1x 150 kW SOEC power input and 1x 30 kW SOFC power output
- + SOEC efficiency of >80 %LHV
- + Reaching a lifetime of greater 10,000 h with a degradation rate below 1 %/1,000 h
- + Meeting H₂ quality standards of steel industry



- + 2x 100 kW SOEC power input and 2x 20 kW SOFC power output
- + Roundtrip efficiency ca. 45%
- + Electricity storage for autonomous electricity supply during day and night (PV connected)



150 kW SOEC unit in Salzgitter, Germany



200 kW SOEC unit in Los Angeles, USA

