

Einführung

André Weber

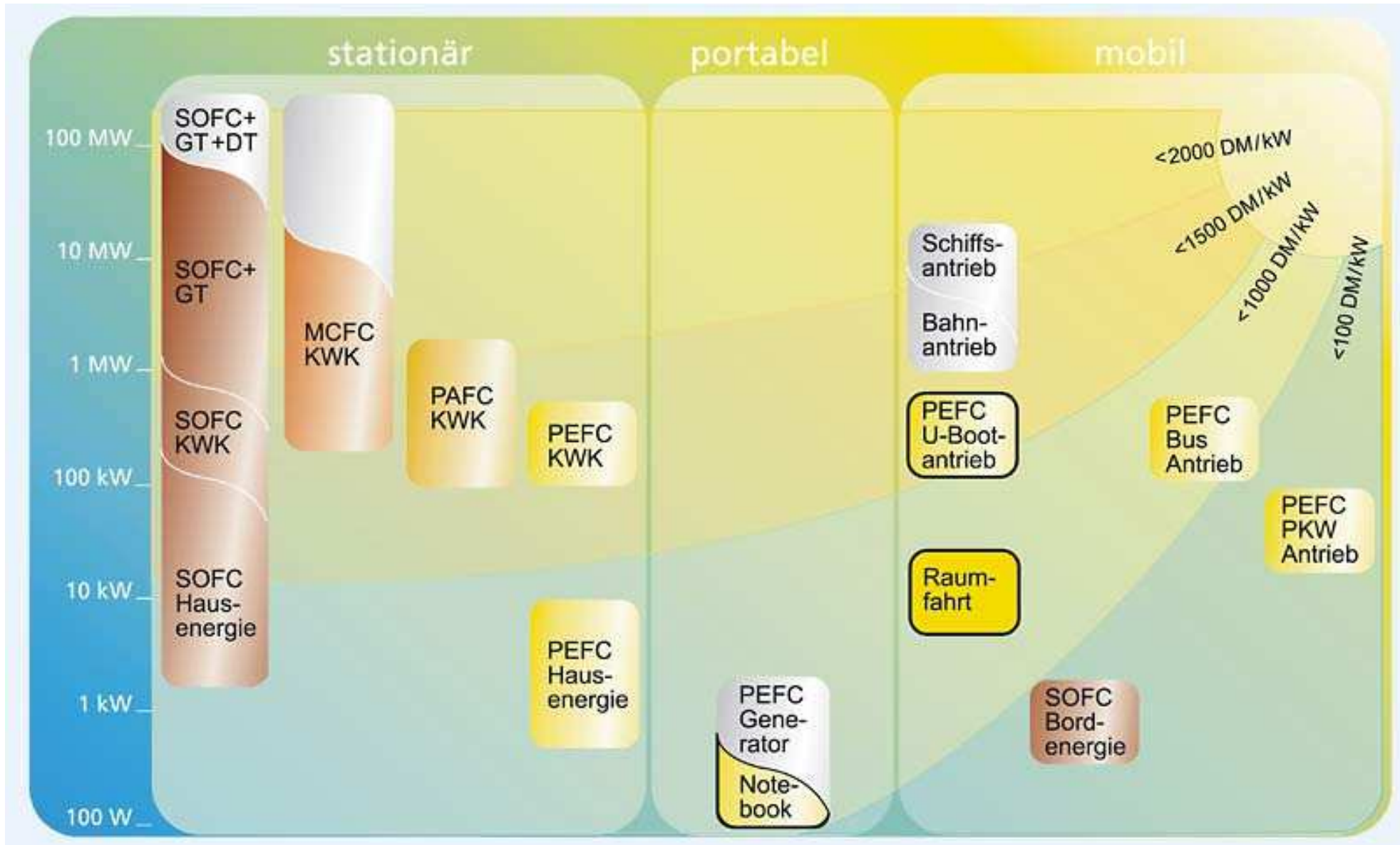
Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik IWE
Adenauerring 20b, Geb. 50.40 (FZU), Raum 314
phone: 0721/608-7572, fax: 0721/608-7492
andre.weber@kit.edu
www.iwe.kit.edu

Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik



Brennstoffzellen

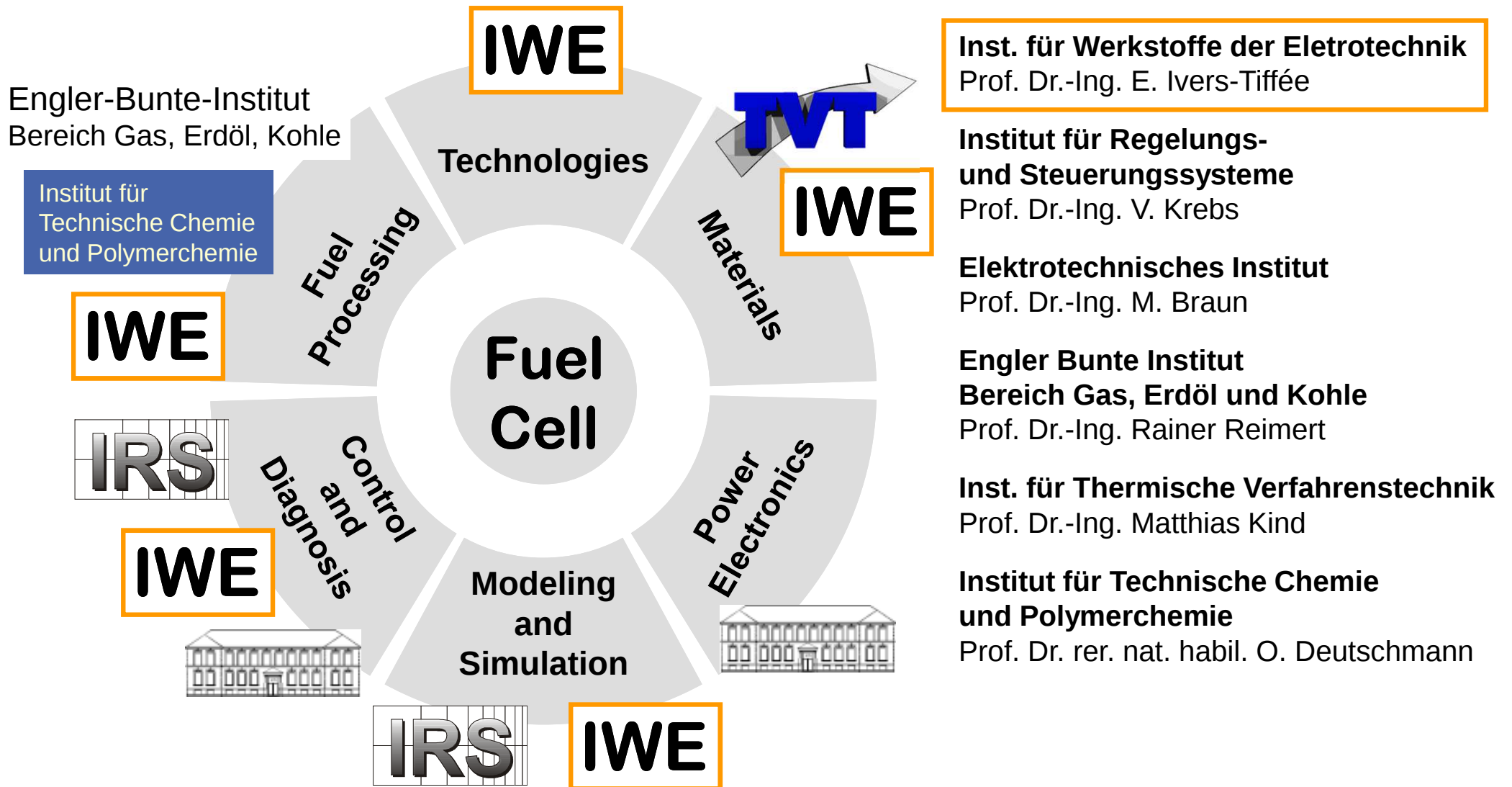
Einsatzgebiete, Leistungsklassen und Kostenziele



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>	<u>PEMFC</u> <u>SOFC-APU</u>	<u>SOFC</u> , <u>MCFC</u> PEMFC

Fuel Cell Development at KIT Core Technologies



Brennstoffzellen-Systeme

Kyocera



Bloom Energy



Vaillant

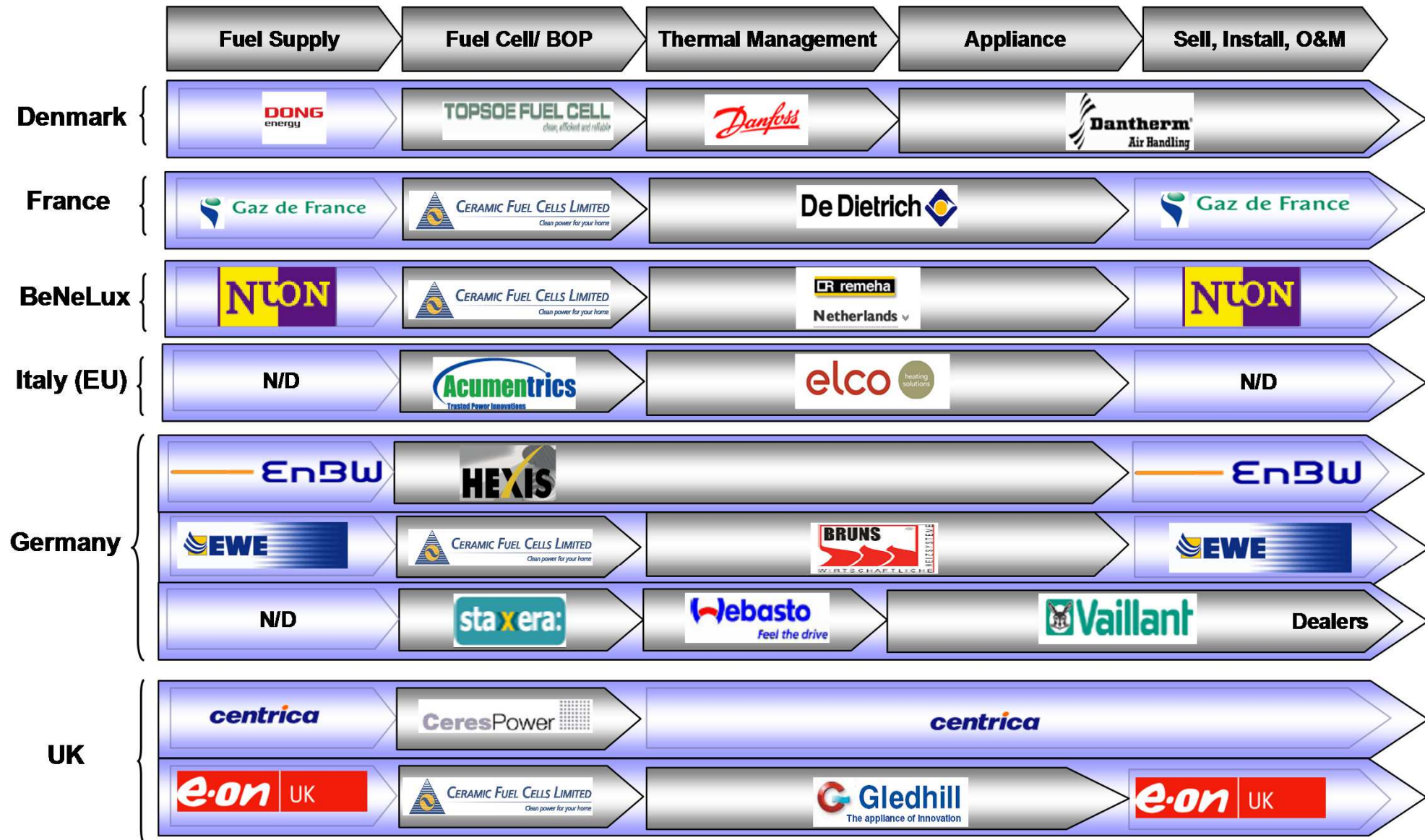


Ceramic Fuel Cells Limited



Ceres Power

SOFC μ CHP Partnerships

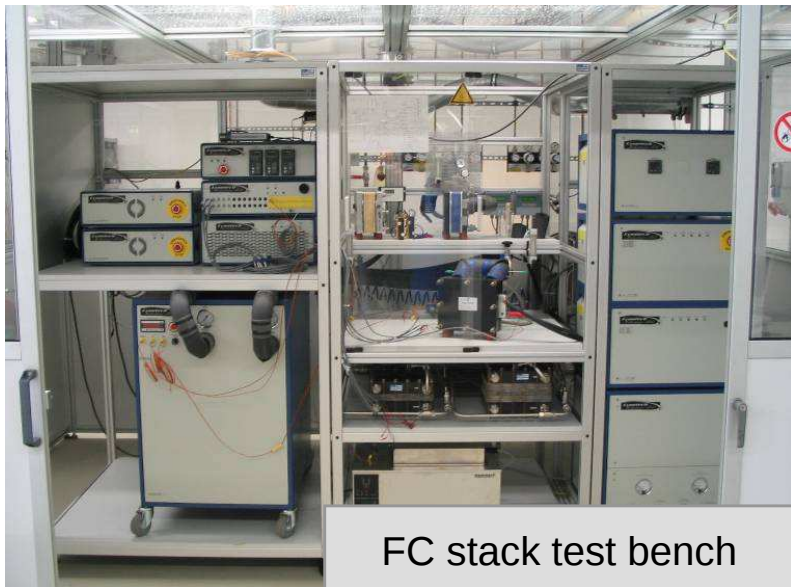


Fuel Cell TestLab at IWE

Cooperation with European Institute for Energy Research (ElfER)



3 independent test cabinets



FC stack test bench

- testing of different fuel cell systems and components (Vaillant, Idatech, ...)
- testing of single cells and stacks (**PEM** stack test bench: up to 1kW_{el} , high temperature PEMFC: 150°C)
- 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. $30\text{kW}_{\text{thermal}}$
- **EDF** (*Electricité de France*) industrial safety standard

PEMFC – Systeme

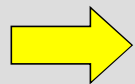
- vorhandene oder vor der Markteinführung stehende Systeme (Vaillant, Buderus,...)
- Prototyp Systeme (EDISon Projekt – ZSW, ISE, Stadtwerke KA)



SOFC – Systeme

- vor der Markteinführung stehende Systeme (Sulzer,...)
- Prototyp Systeme (falls verfügbar)

- **begrenzte Information über Systemkomponenten und Systemsteuerung**
- **begrenzte Anzahl von erfassbaren Daten und Parametern**
- **begrenzte Information über Verlust- und Fehlerursachen**



Beurteilung und Vergleich unterschiedlicher Systeme schwer



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

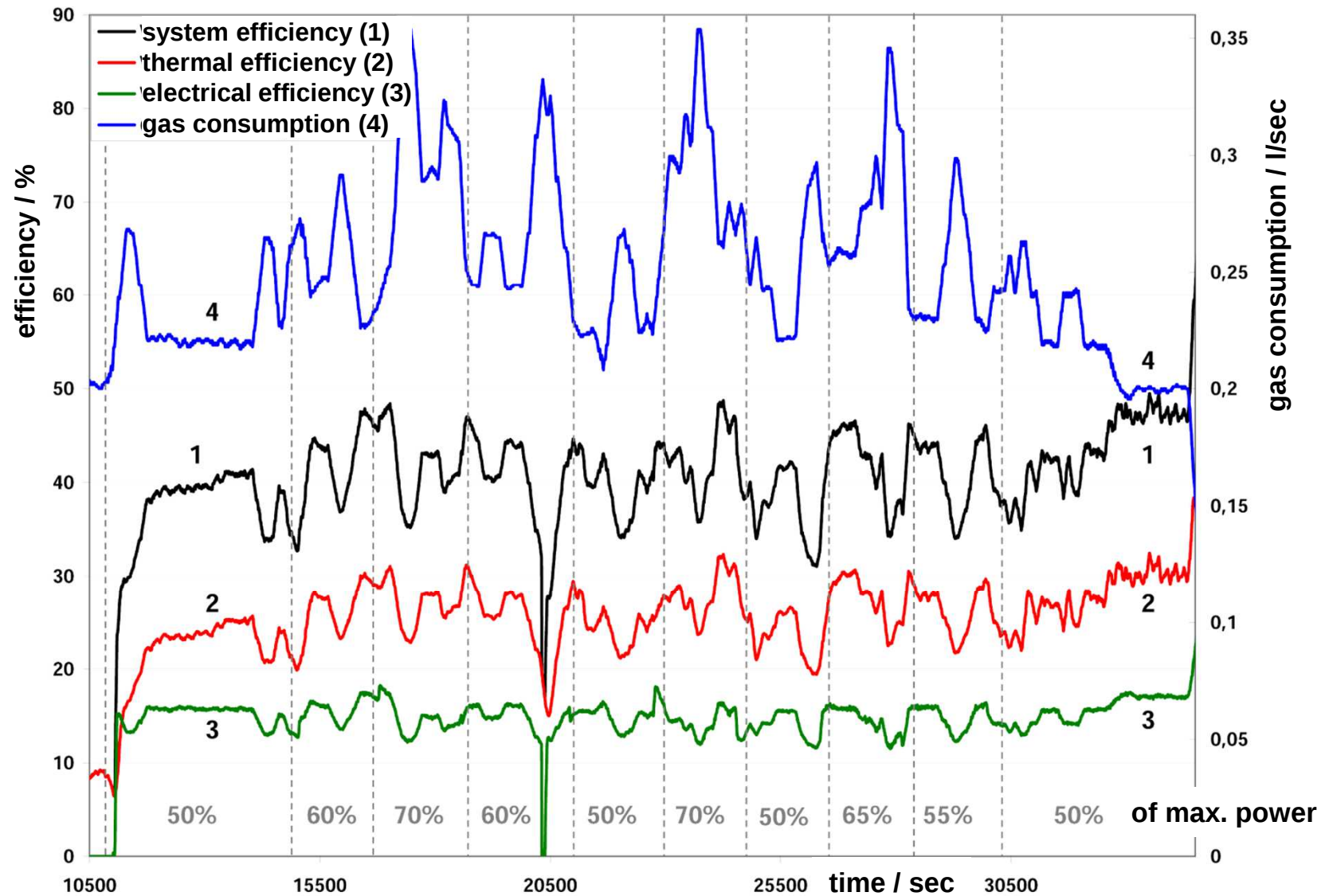
Wirkungsgrad: bis zu 75% (gesamt)

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

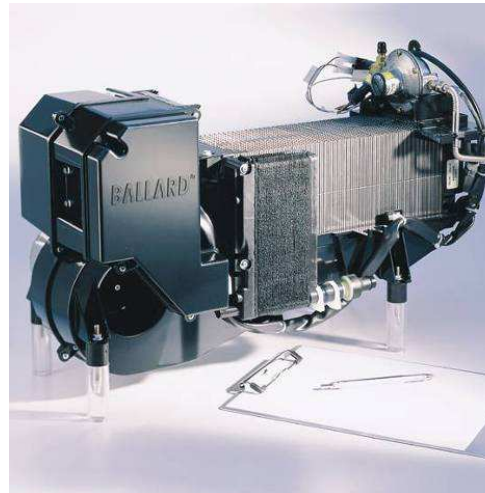
FCS 1200 fuel cell system

- 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



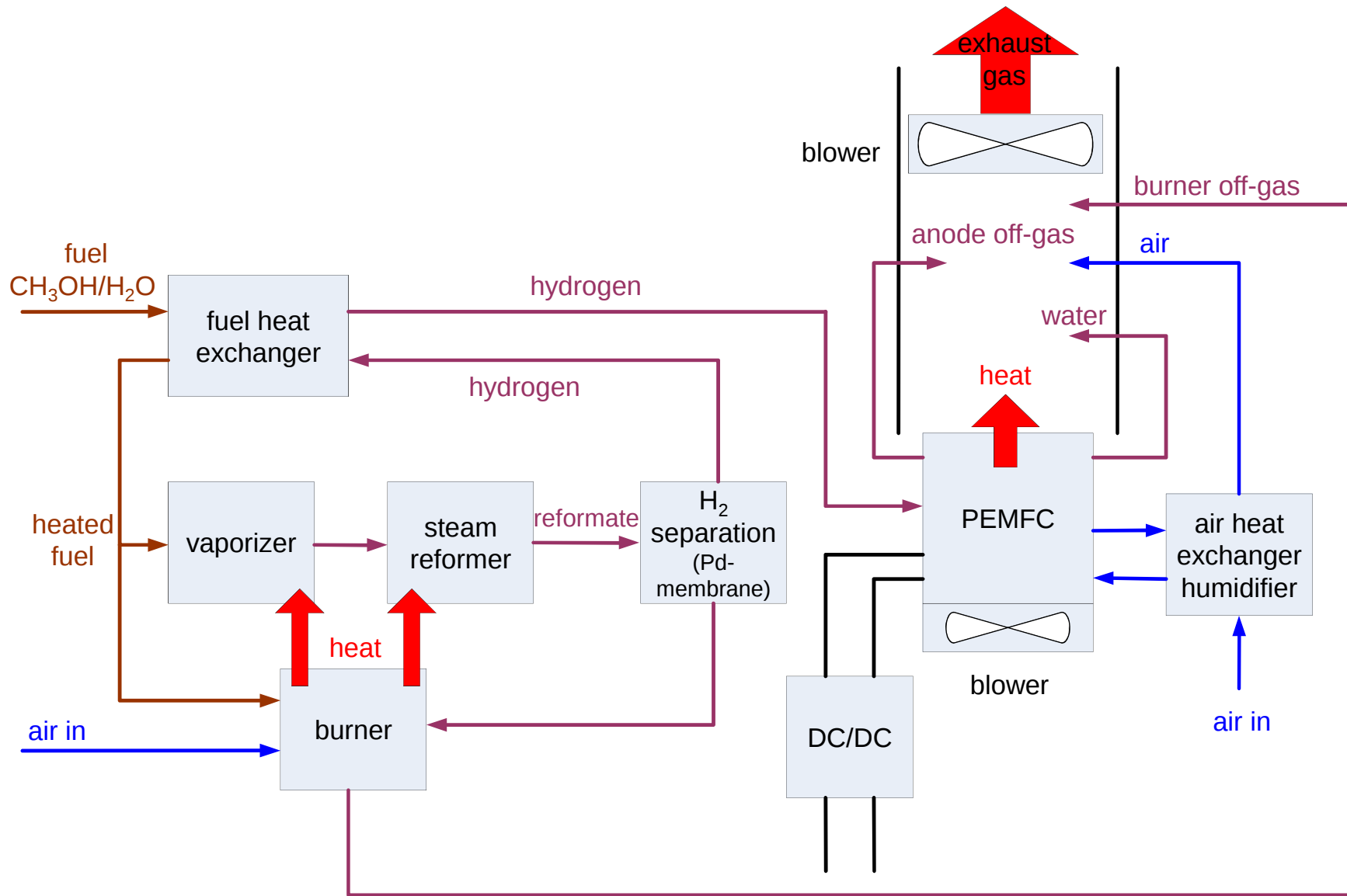
Ballard FC-Stack

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



Testing of Fuel Cell Systems

Idatech FCS 1200

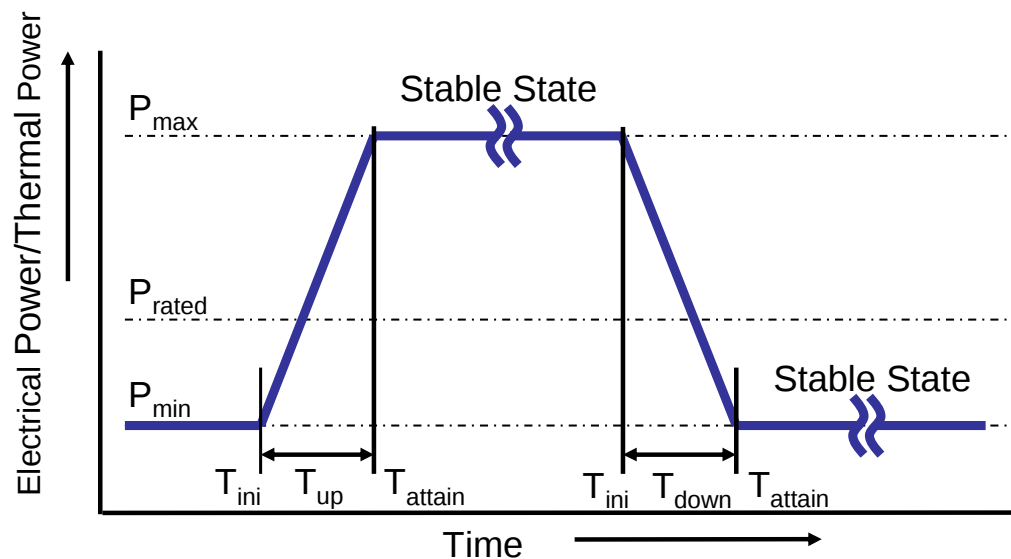


Standardized System Testing

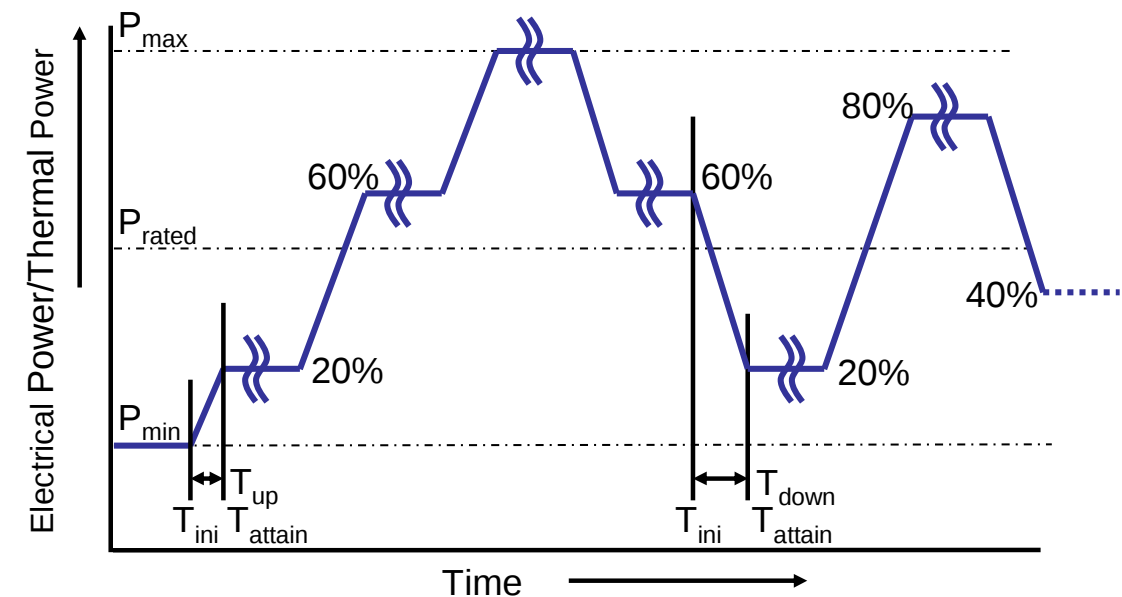
Definition of Standardized System Test Routines

- 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: IWE 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).

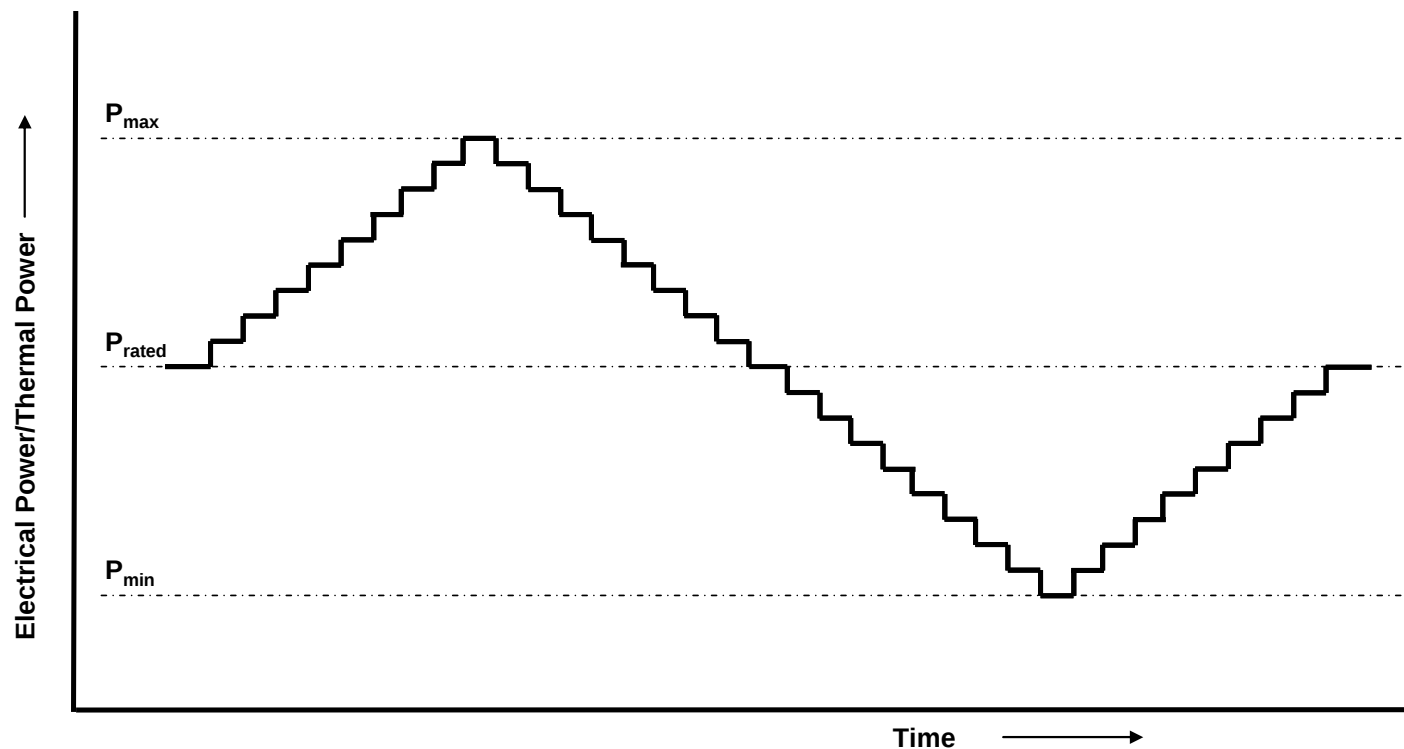
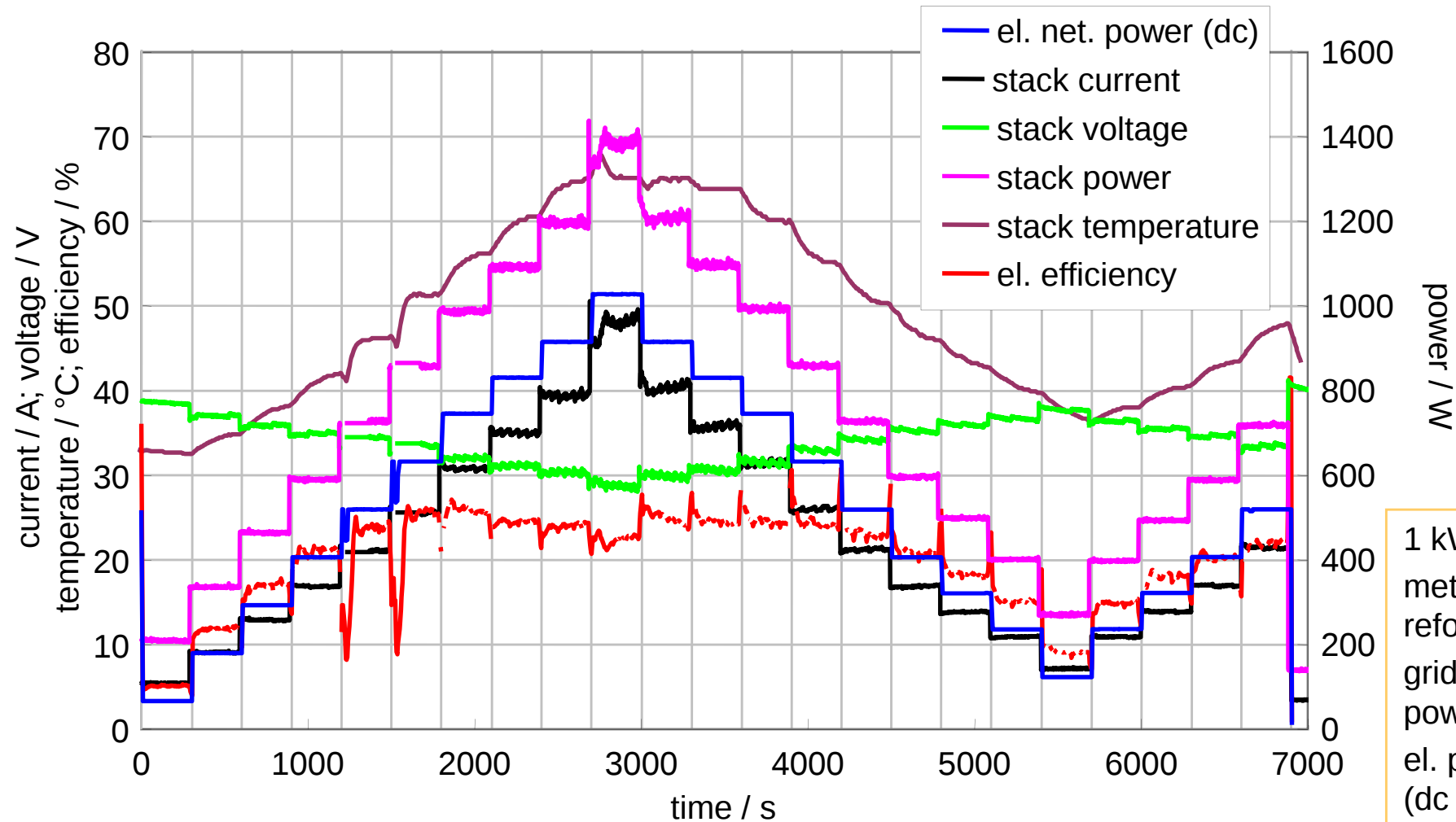


Figure 9-3: transient load cycle test.

Testing of Fuel Cell Systems

Transient Load Cycle Test



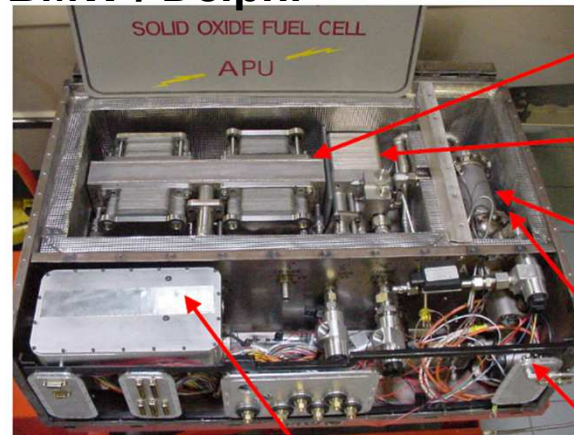
1 kW PEMFC-system
methanol/water steam
reforming unit
grid independent
power supply
el. power: 0 - 1000 W
(dc power)
voltage 44 - 56V

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)

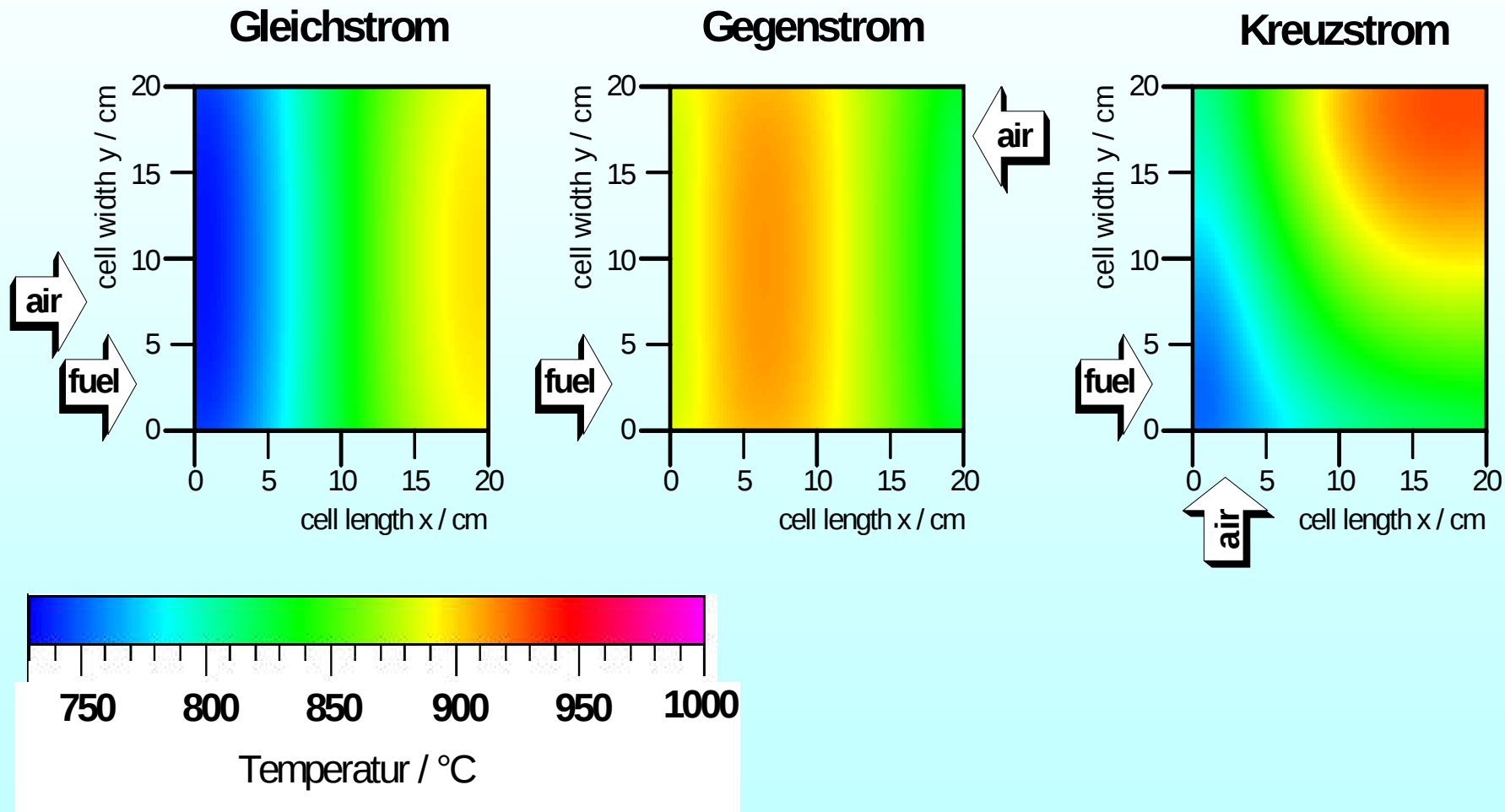
Mikroreformer
Start Hauptreformer

Kraftstoff-
versorgung



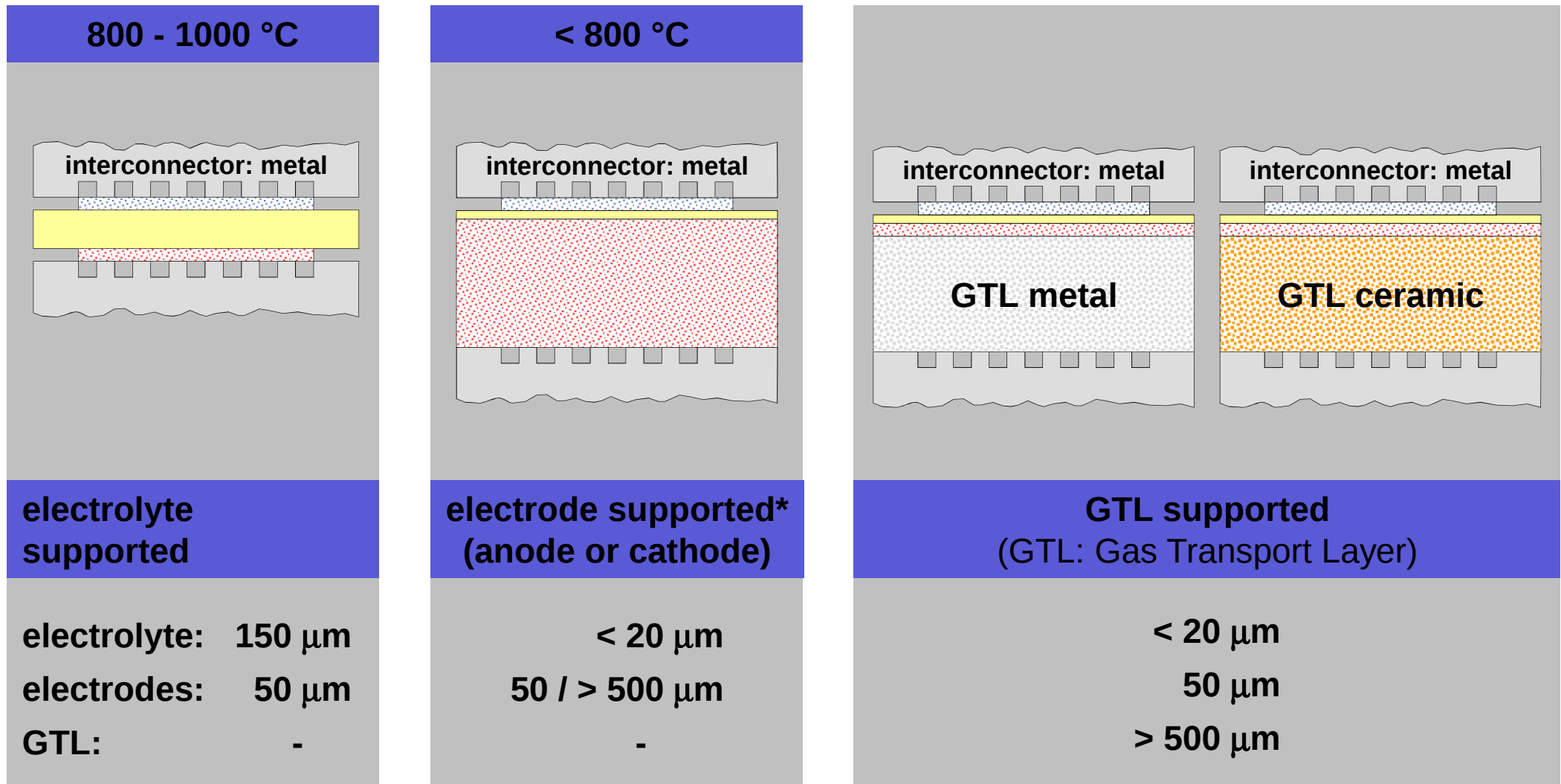
Siemens-Westinghouse

Modellierung: Temperaturverteilung bei interner Reformierung



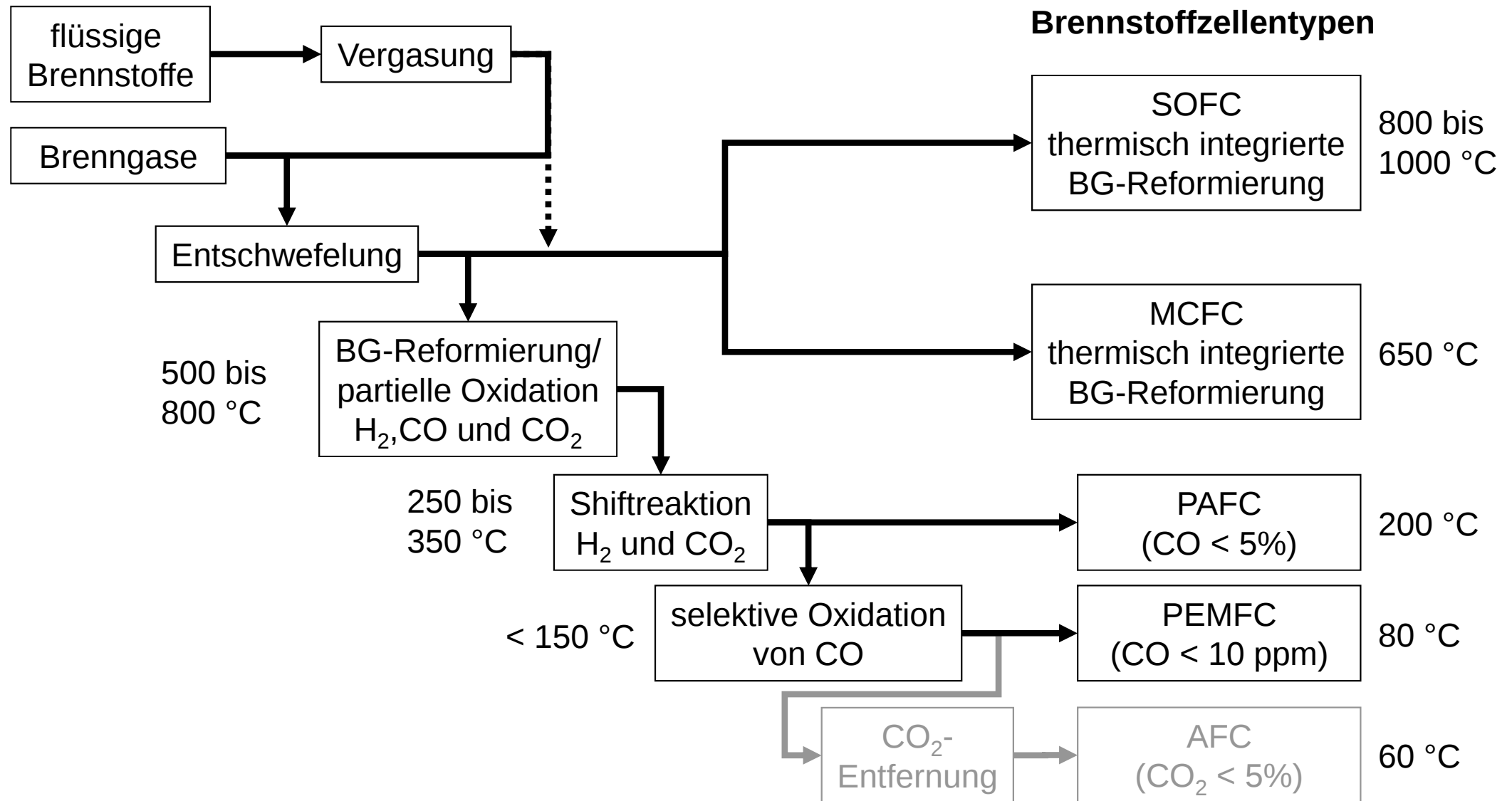
Solid Oxide Fuel Cell

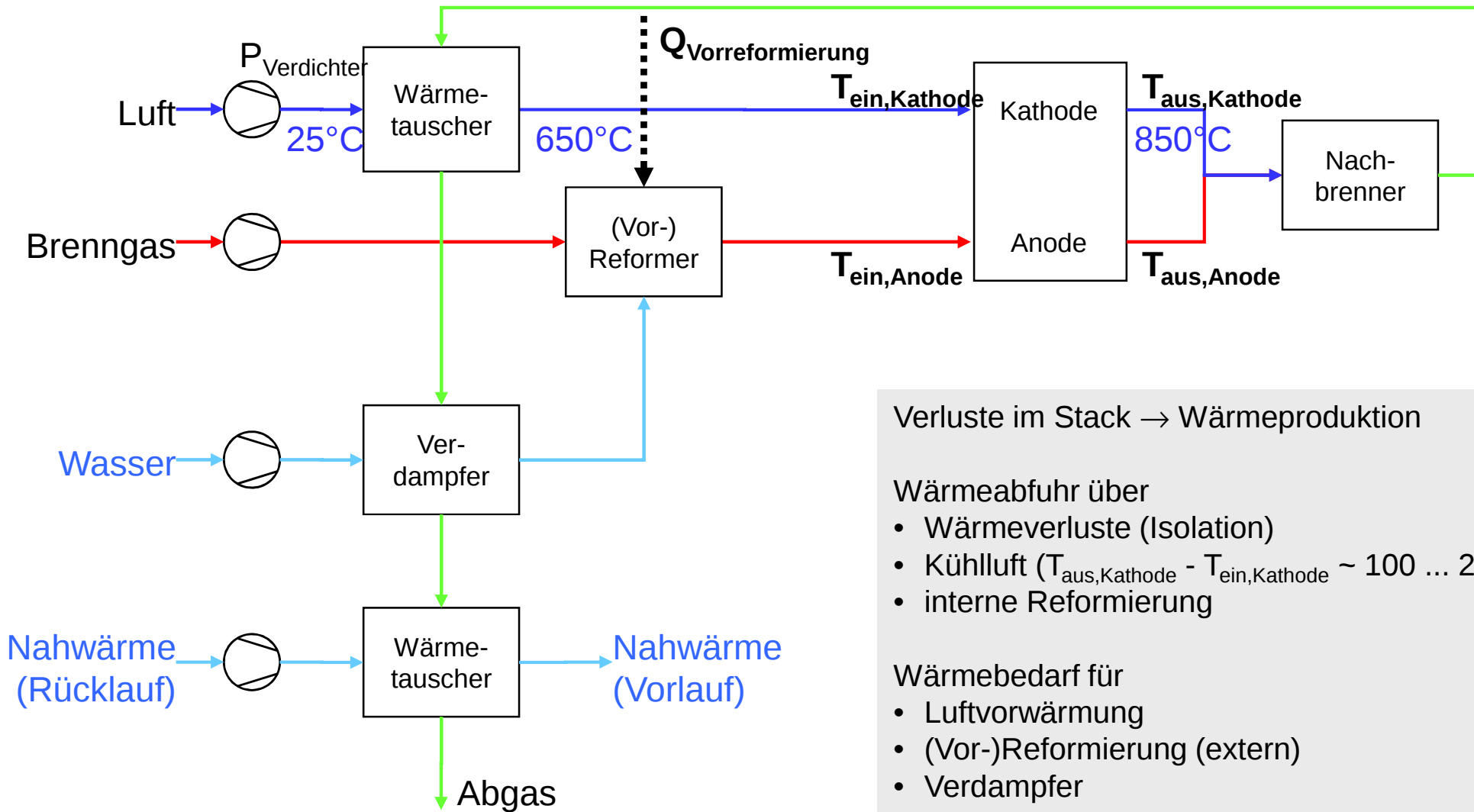
Planar Cell Concepts for decreased operating Temperature



*Thickness of Electrodes and Electrolyte
similar for tubular SWPC concept

Brennstoffaufbereitung für verschiedene BSZ-Typen





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}

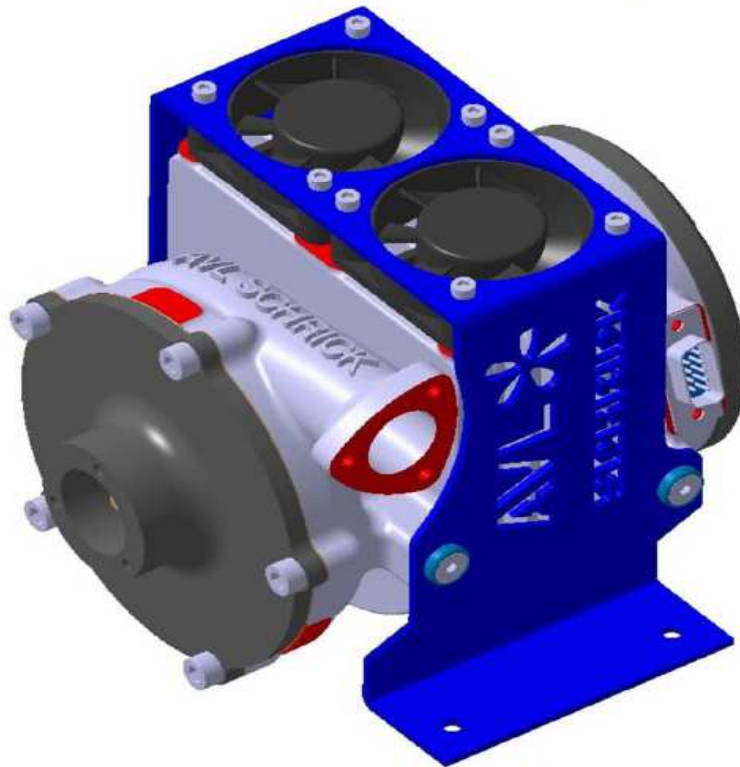
Inputdaten für die Anlagensimulation

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

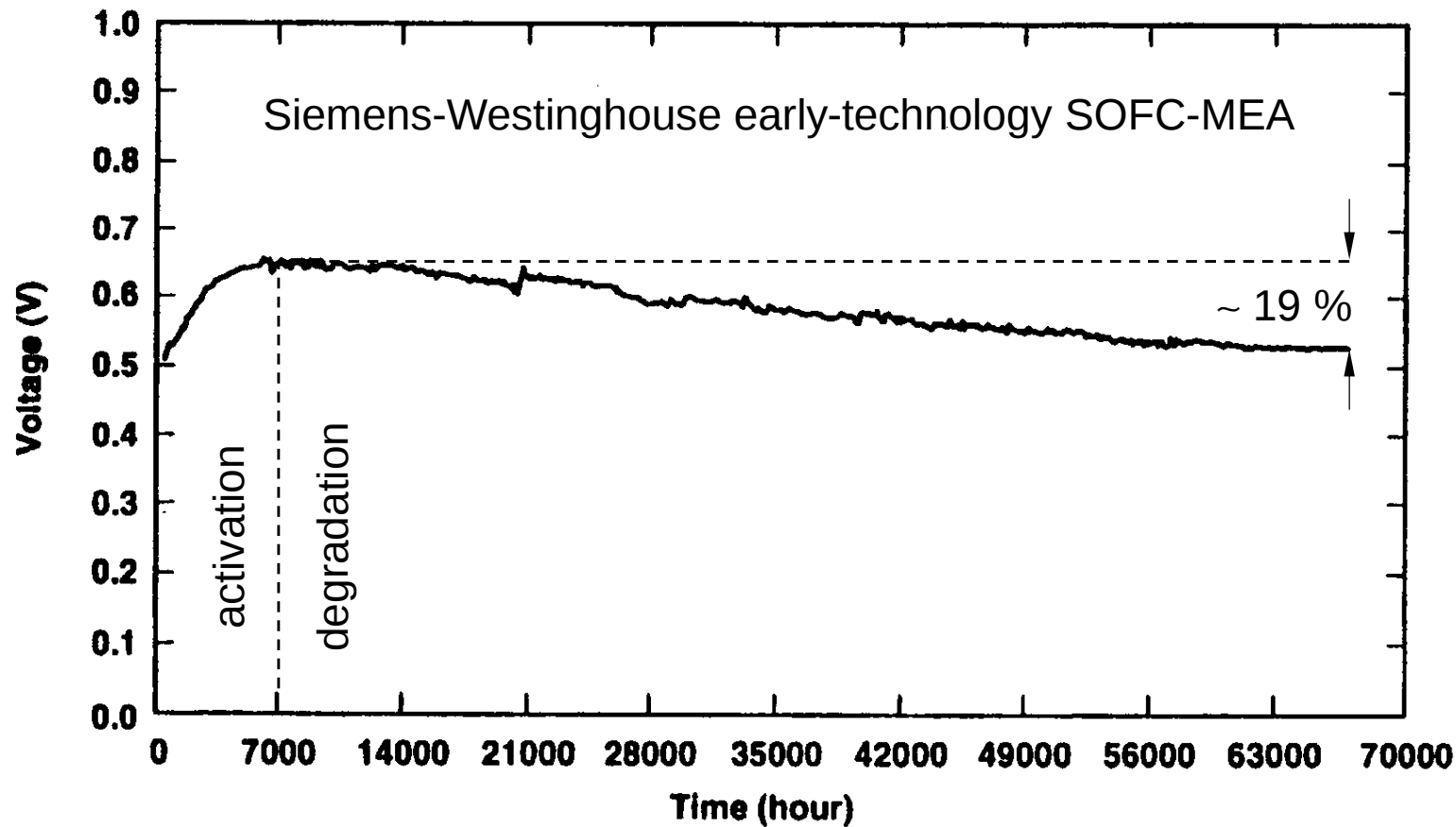


Anode Blower

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

Long-Term Stability of Fuel Cells

Time and Cost Issues



[S.C. Singhal, SOFC V, PV97-40, 1997]

duration

69,000 h
8 years
1989 – 1997

assume

\$ 100 per day

cost

\$ 300,000 total

degradation

19 % total
0.3 % / 1,000 h

results

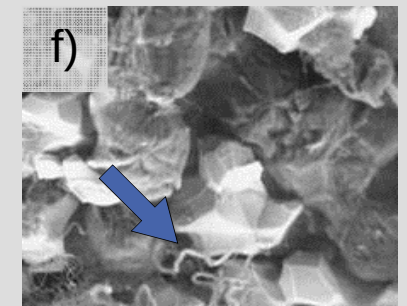
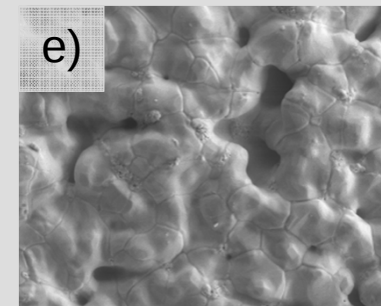
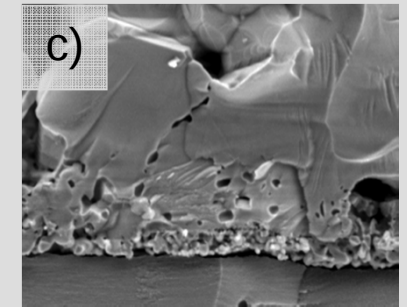
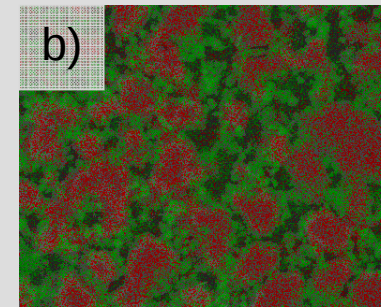
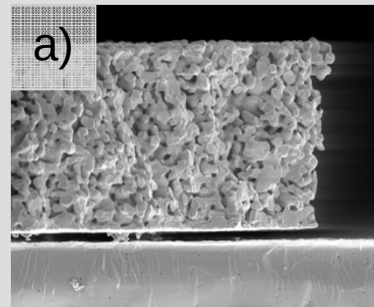
available after
5...10 years

MEA: membrane-electrode assembly

in SOFC

many potentially competing degradation mechanisms are known:

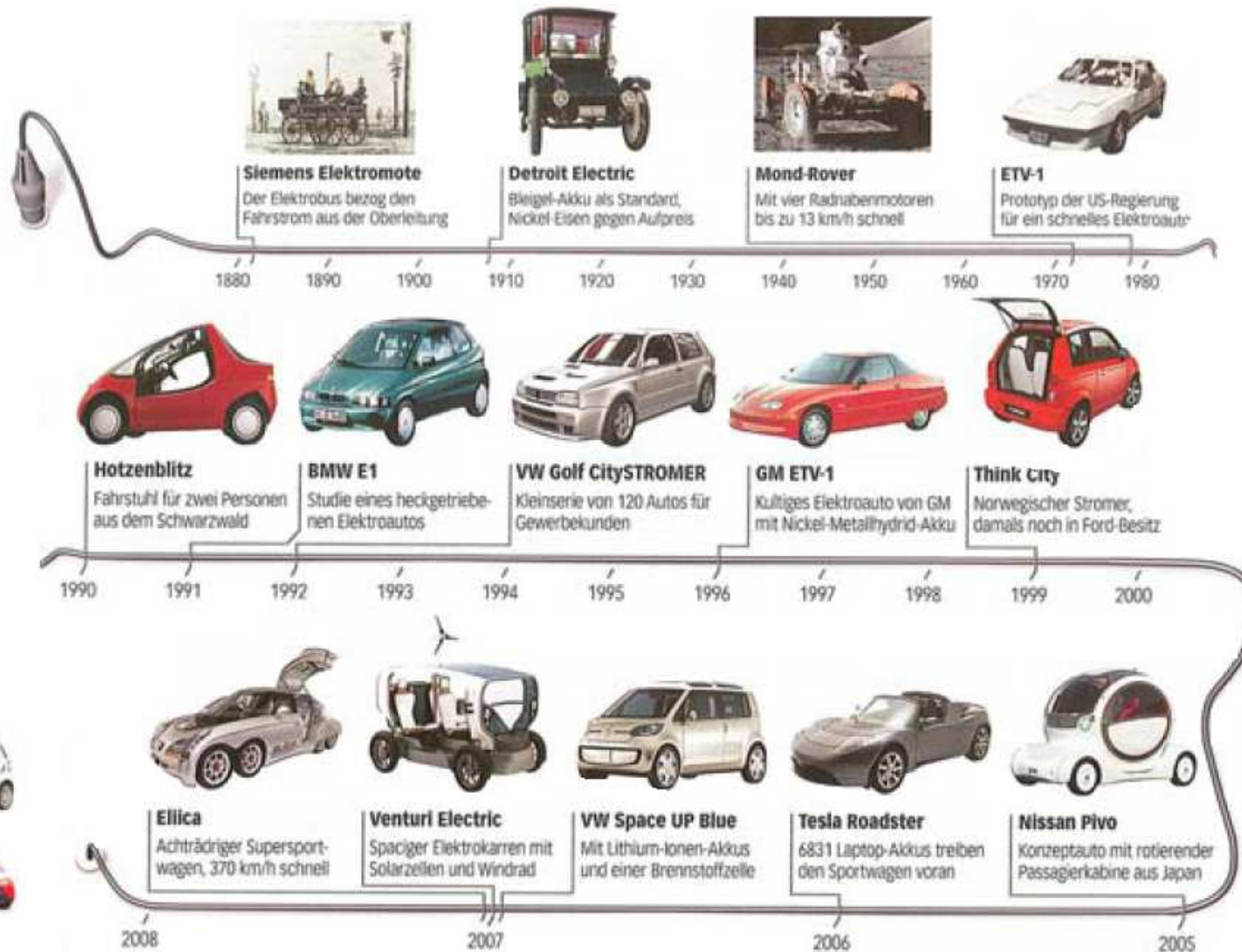
- a) delamination of layers
- b) agglomeration of catalyst particles
- c) formation of secondary phases
- d) interdiffusion and demixing
- e) densification of porous electrodes
- f) carbon deposition in anode
- g) electrolyte conductivity loss
- h) corrosion of interconnects
- i) etc.



⇒ in addition, activation processes that improve the performance are known (from cathodes).

Geschichte der Elektroautos

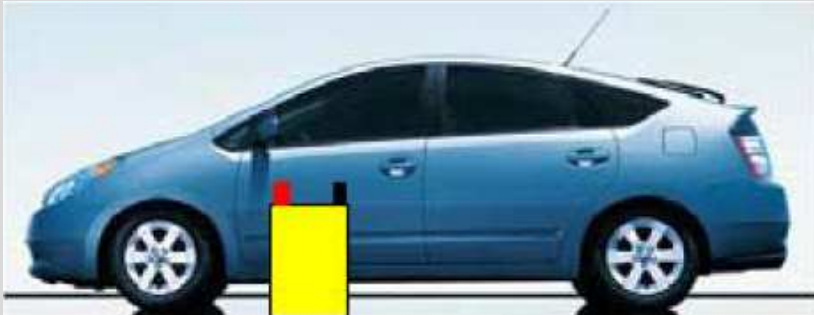
Die ersten Automobile waren elektrisch!



90er Jahre:
verschiedene Fahrzeuge erhältlich!
(Prototypen, Kleinserien)

2000 ... 2010:
erste (Vor-)Serienfahrzeuge

Typen von (Hybrid-) Elektrofahrzeugen



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.

Start/Stopp-Funktion

Automatisches Abschalten des Verbrennungsmotors bei Stillstand des Fahrzeuges, selbstständiger Start des Motors bei Freigabe der Bremspedals vor erneutem Anfahren.

„Boosting“

Verbrennungsmotor und E-Maschine arbeiten beim Beschleunigen zusammen. Antriebsdrehmomente addieren sich, der Verbrennungsmotor kann ohne Einbußen im Beschleunigungsverhalten leistungsschwächer gewählt werden.

Elektrisches Fahren (Vollhybrid bzw. EV)

Antrieb nur durch den Elektromotor, emissionslose und leise Fortbewegung.

Generatorbetrieb

Der Verbrennungsmotor wird in einem hohen, betriebsgünstigen Drehmomentbereich betrieben (Lastpunktanhebung), die E-Maschine arbeitet im Generatorbetrieb. Die nicht zur Fortbewegung benötigte Motorleistung wird zum Laden der Traktionsbatterie verwendet.

Rekuperation

Bremsen mittels E-Maschine im Generatorbetrieb Traktionsbatterie wird geladen.

Segeln

Verbrennungsmotor und E-Maschine inaktiv.

- **Micro-Hybrid**

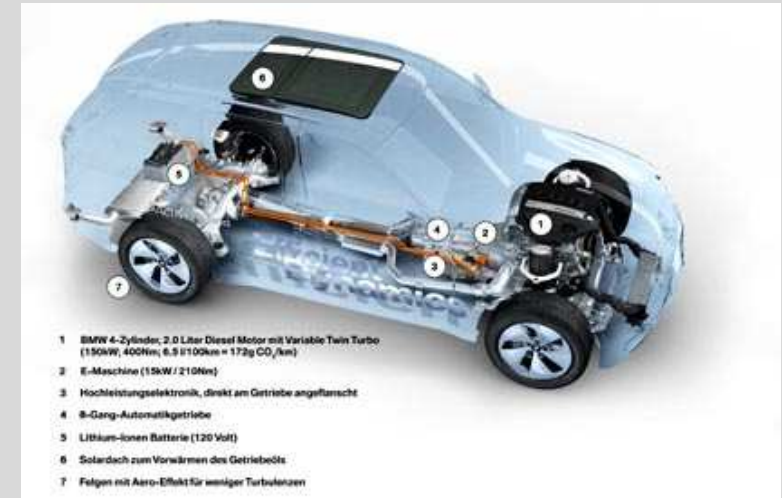
- E-Maschine: 2-3 kW
- Betriebsspannung 12V.
- einfache Integration in bestehende Fahrzeugmodelle
- Betriebsmodi: Start/Stopp, Generatorbetrieb
- mögliche Verbrauchseinsparung: bis 10%

- **Mild-Hybrid**

- E-Maschine: 10-15 kW
- Betriebsspannung: 42-150V
- mögliche Verbrauchseinsparung: bis 20%
- Betriebsmodi: Start/Stopp, Generatorbetrieb, „Boosting“, Rekuperieren

- **Voll-Hybrid (& Power-Hybrid)**

- E-Maschine: >15 kW (>50kW)
- Betriebsspannung: >120V.
- Betriebsmodi: Start/Stopp, Generatorbetrieb, „Boosting“, Rekuperieren, elektr. Fahren
- Hybridanordnung: z.B. Parallelhybrid
- mögliche Verbrauchseinsparung: >20%





Toyota
Prius II

Mercedes-Benz
S 400 HYBRID

Mercedes-Benz
ML 450 HYBRID

Motor	57 kW / 78 PS	205 kW / 279 PS	205 kW / 279 PS
max. Drehmoment	115 Nm	338 Nm	338 Nm
E-Motor	1x / k.A.	1x / 160 Nm	2x / 260+270 Nm
Traktionsbatterie	Ni-MH, prismatisch	Li-Ionen, zylindrisch	Li-Ionen, zylindrisch
Verbrauch* (komb.)	4,3 l/100 km	7,9 l/100 km	7,7 l/100 km
CO ₂ -Emission	104 g/km	190 g/km	185 g/km
Markteinführung (D)	2003*	2009	2009

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

Nickel-Metallhydrid Traktionsbatterie: Toyota Prius II

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:

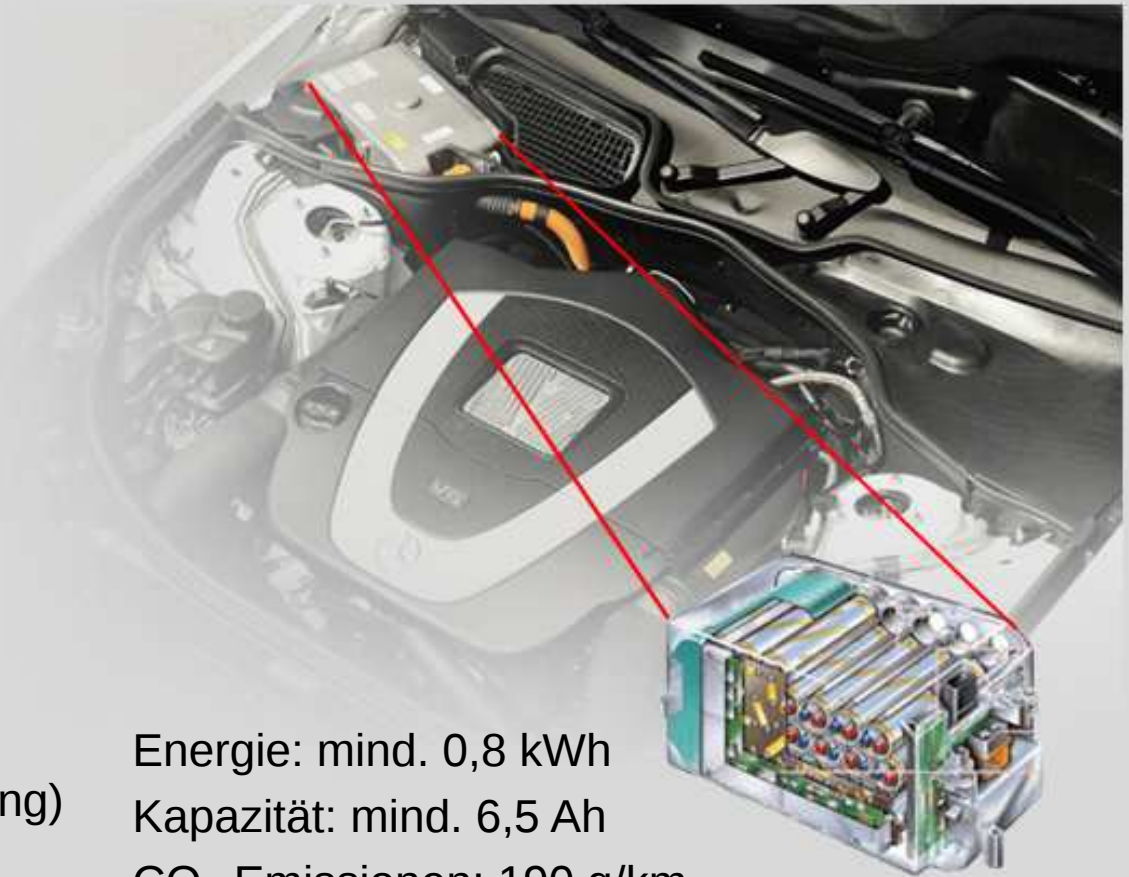
Li-Ionen, zylindrisch

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