

## BSZ-Systeme 2

André Weber

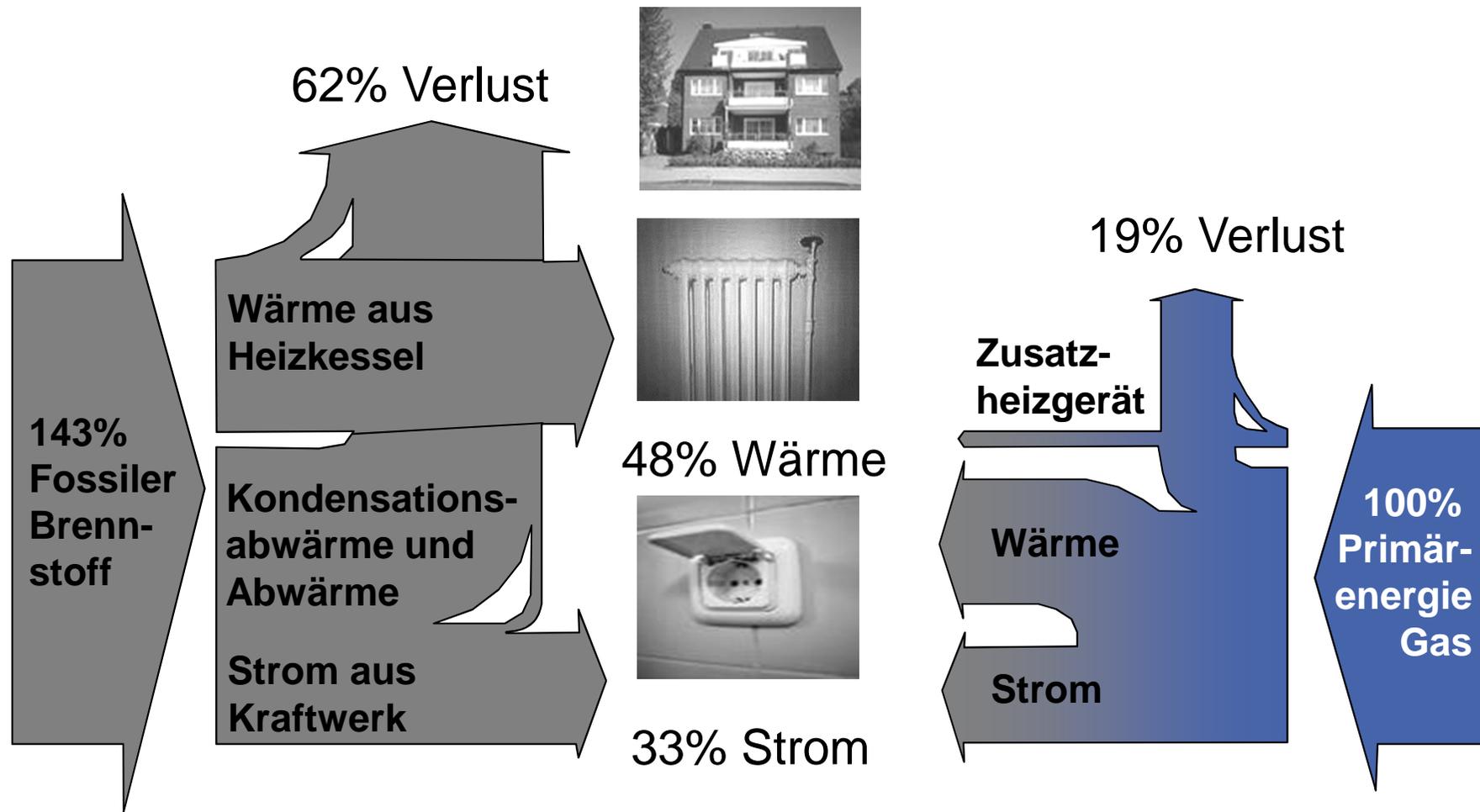
Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik IWE  
Adenauerring 20b, Geb. 50.40 (FZU), Raum 314  
phone: 0721/608-7572, fax: 0721/608-7492  
[andre.weber@kit.edu](mailto:andre.weber@kit.edu)  
[www.iwe.kit.edu](http://www.iwe.kit.edu)

Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik



- BSZ-Systeme
  - $\mu$ CHP-Systeme
    - PEMFC
    - SOFC
  - SOFC für mobile Anwendungen
    - Auxiliary Power Units

# CHP-Systeme (Brennstoffzellen-Heizgerät)



Die getrennte Erzeugung von Strom und Wärme erfordert 45% mehr Primärenergie als die gekoppelte Erzeugung mit einem Brennstoffzellen-Heizsystem.

# Brennstoffzellen-Heizgeräte zur Strom- und Wärmeversorgung von Gebäuden

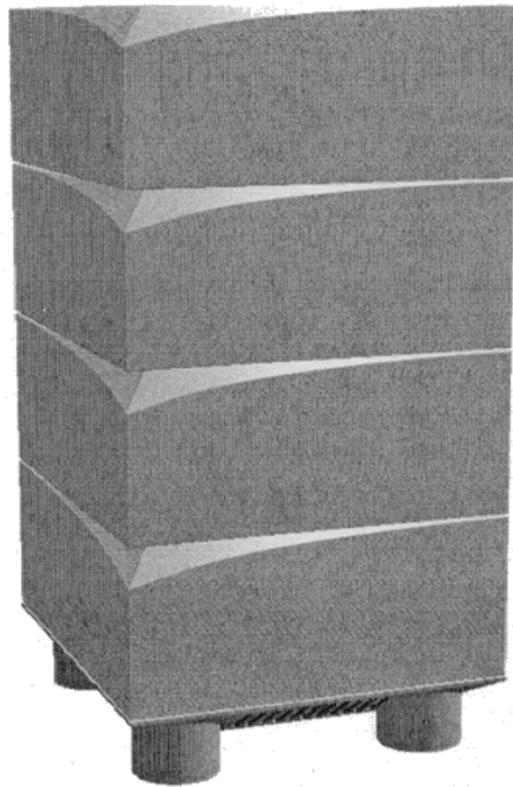


## **PlugPower/GE HomeGen 7000**

Brennstoffzellen-Typ:	PEMFC
elektrische Leistung:	7 kW
thermische Leistung:	10 kW
Spannung:	120/240 V @ 60 Hz 100/230 V @ 50 Hz
el. Nettowirkungsgrad:	36% (2 kW), 29% (7 kW)
Systemwirkungsgrad:	>75%
Brennstoff:	Erdgas (u.a.)
Geräuschpegel:	60 dB @ 1 m

# Brennstoffzellen-Heizgeräte zur Strom- und Wärmeversorgung von Gebäuden

## *Nuvera*



Brennstoffzellen-Typ:	PEMFC
elektrische Leistung:	5 kW
thermische Leistung:	10 kW
Spannung:	120/240 V @ 60 Hz 100/230 V @ 50 Hz
el. Nettowirkungsgrad:	40 % (2 kW)
Systemwirkungsgrad:	>75%
Brennstoff:	Erdgas (u.a.)
Geräuschpegel:	<70dB @ 1 m

# Brennstoffzellen-Heizgeräte zur Strom- und Wärmeversorgung von Gebäuden

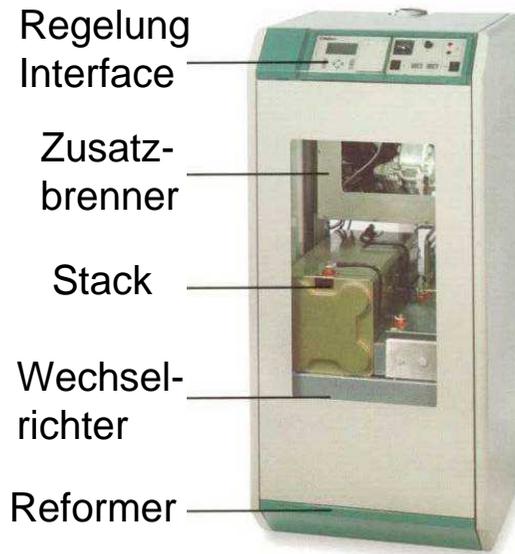


## ***Hpower RCU Fuel Cell***

Brennstoffzellen-Typ:	PEMFC
elektrische Leistung:	4,5 kW
thermische Leistung:	k.A.
Spannung:	100/120/220 V <sub>AC</sub>
el. Nettowirkungsgrad:	k.A.
Systemwirkungsgrad:	k.A.
Brennstoff:	Erdgas (u.a.)
Geräuschpegel:	k.A.

# Vaillant / Plug Power

PEM :  $4,5 \text{ kW}_{\text{el}}$  /  $7 \text{ kW}_{\text{th}}$  + Zusatzbrenner



Mai 2000



November 2000



heute

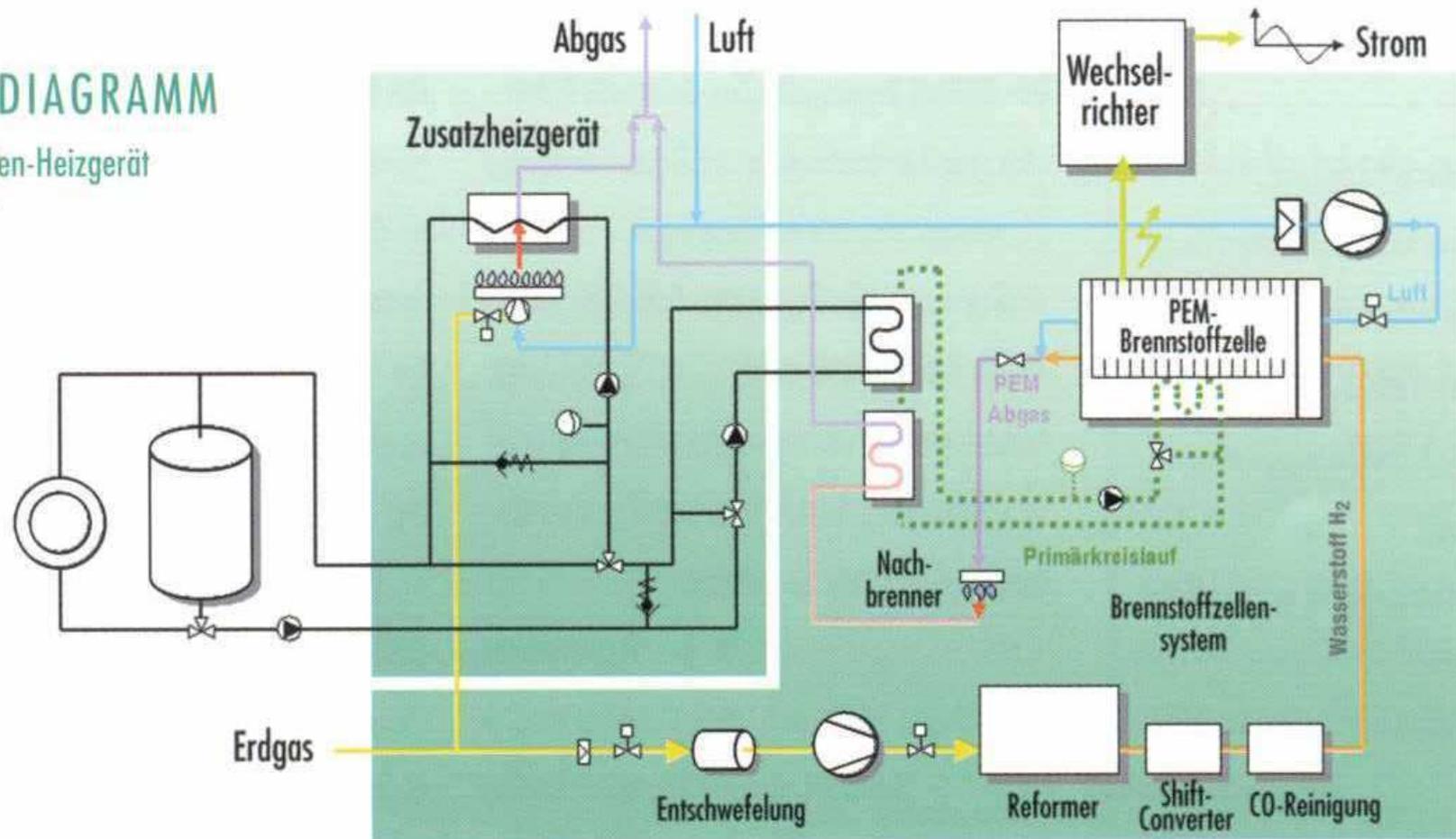
## **Vailant Brennstoffzellen-Heizgerät**

Brennstoffzellen-Typ: PEMFC  
elektrische Leistung:  $1 - 4,5 \text{ kW}_{\text{el}}$   
thermische Leistung:  $1,5 - 7 \text{ kW}_{\text{th}}$   
Zusatzbrenner:  $50 \text{ kW}$   
el. Nettowirkungsgrad:  $35 - 40\%$   
Systemwirkungsgrad:  $> 80\%$   
Brennstoff: Erdgas

# Vaillant PEMFC-Heizgerät

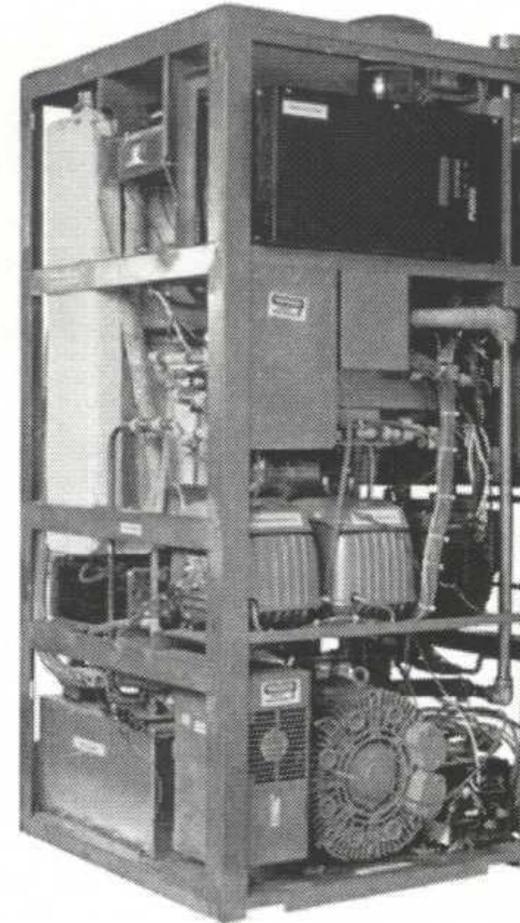
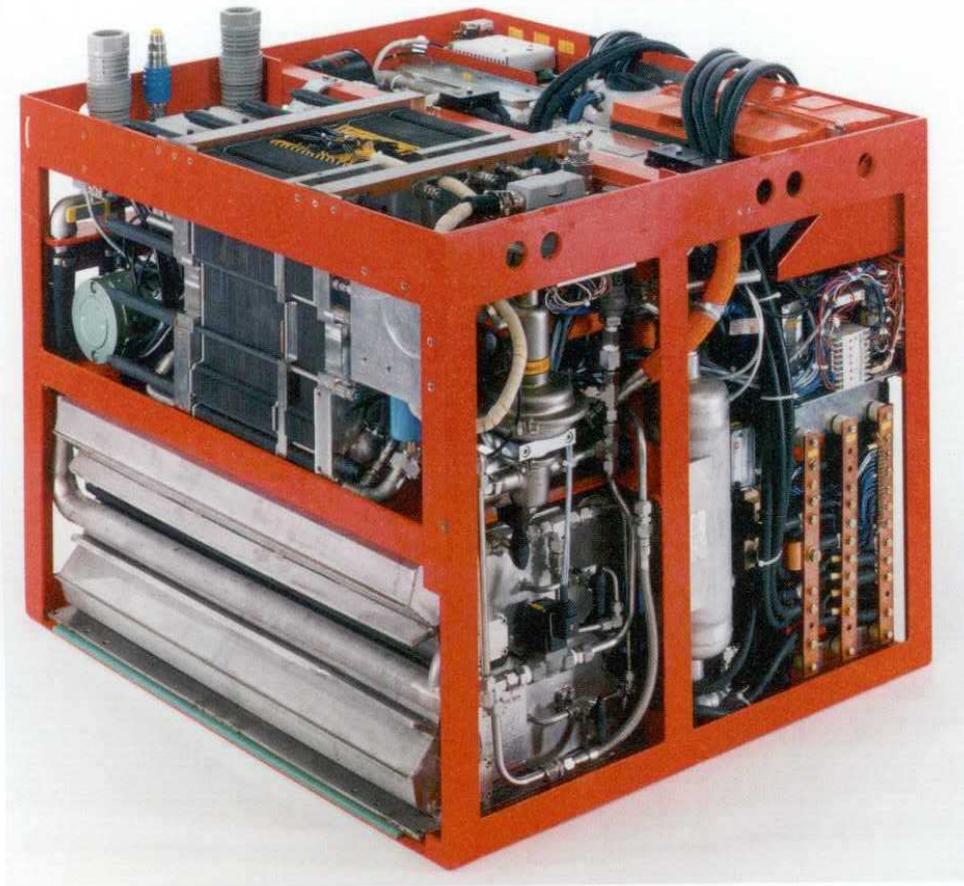
## PROZESSFLUSSDIAGRAMM

Anlage mit Brennstoffzellen-Heizgerät und Warmwasserspeicher



# HGC Hamburg Gas Consult / Dais Analytic

PEM : 3 kW<sub>el</sub> / 8 kW<sub>th</sub> + Zusatzbrenner





## **Common Specifications:**

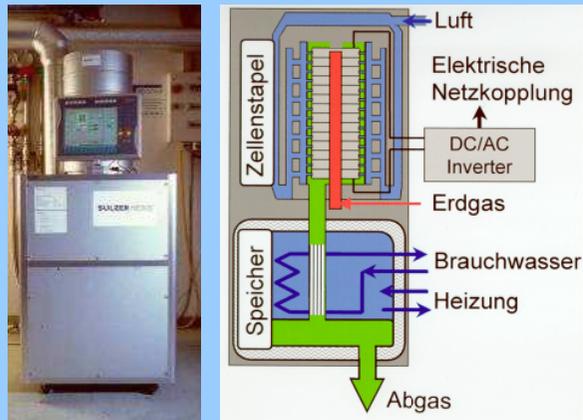
Fuel:	Natural Gas or Commercial Grade LPG (7.5 – 27.5 mbarg)
Sound Level:	<55 dB @ 1 meter
Dimensions (DxWxH):	104 x 75 x 175 cm; 41" x 30" x 69"
Weight (approximate):	380 kg; 840 lbs.
Temperature Range:	2 to 40° C
Exhaust Temperature:	<50° C
Ventilation Requirement:	Must be vented to the outdoors
Operating States:	On-Idle-Off

## **Electrical Specifications:**

Electrical:	0.8 kWe (Net minimum) – 4.6 kWe (Net maximum)
Thermal:	>7.0 kW <sub>th</sub> (Net) based on 40° C inlet water temperature
Nominal Output Voltage:	220 VAC @ 60 Hz, Single Phase 230 VAC @ 50 Hz
Electrical Output Turn Down Ratio:	6:1

# Solid Oxide Fuel Cell Application

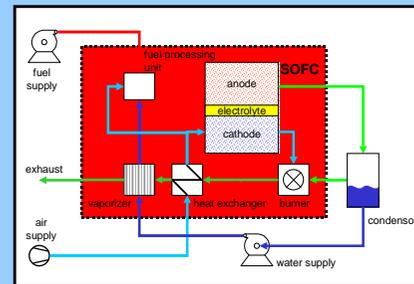
## stationary



## mobile

### APU

auxiliary power units



electrical energy for cars and trucks

### Traction

### SECA

Solid State Energy Conversion Alliance

industry

military

solid state  
fuel cell module  
(5 kW)

automotive

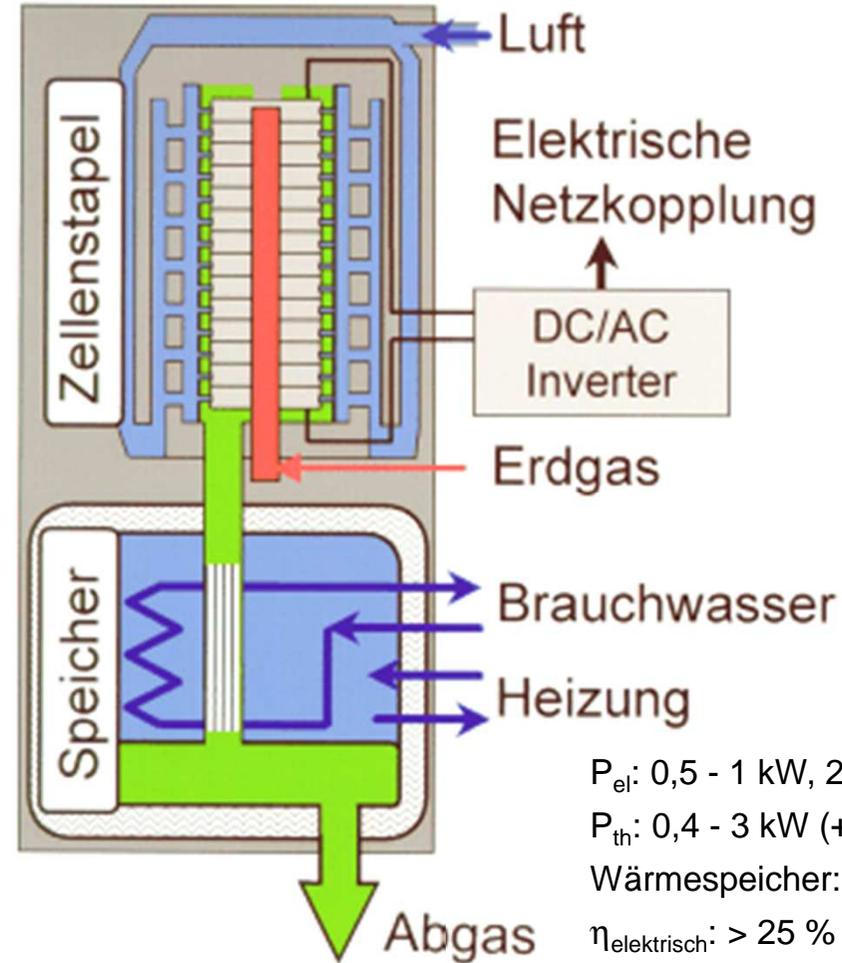
residential

# Stationäre SOFC-Systeme

	Sulzer Hexis	FuelCell Technologies	ZTek	Siemens	Rolls Royce
					
Leistung el.	1kW	5kW	25kW	220kWhybrid 20kW Turbine	1MW hybrid 200kW Turbine
Leistung th.	2,5kW				
Entwicklungsstand	Praxistest- erfahrungen mit Vorserien- anlagen	Prototyp	25kW Module in Demonstra- tionsprojekten	100kW/ 220kWhybrid/ 25kW/300kW hybrid/250kW getestet	60kW Module können beliebig kombiniert werden
Planung	Ab 2006 werden alte durch neue Geräte ersetzt	k.A.	200kW hybrid	250kW 500kW hybrid	2005 Prototypen
Marktreife	Ab 2008	k.A.	2010	2010	k.A.

# BSZ - Systemtechnik

## Sulzer HEXIS 1 kW SOFC-Heizgerät



$P_{el}$ : 0,5 - 1 kW, 230 V<sub>50Hz</sub>

$P_{th}$ : 0,4 - 3 kW (+ 25 kW)

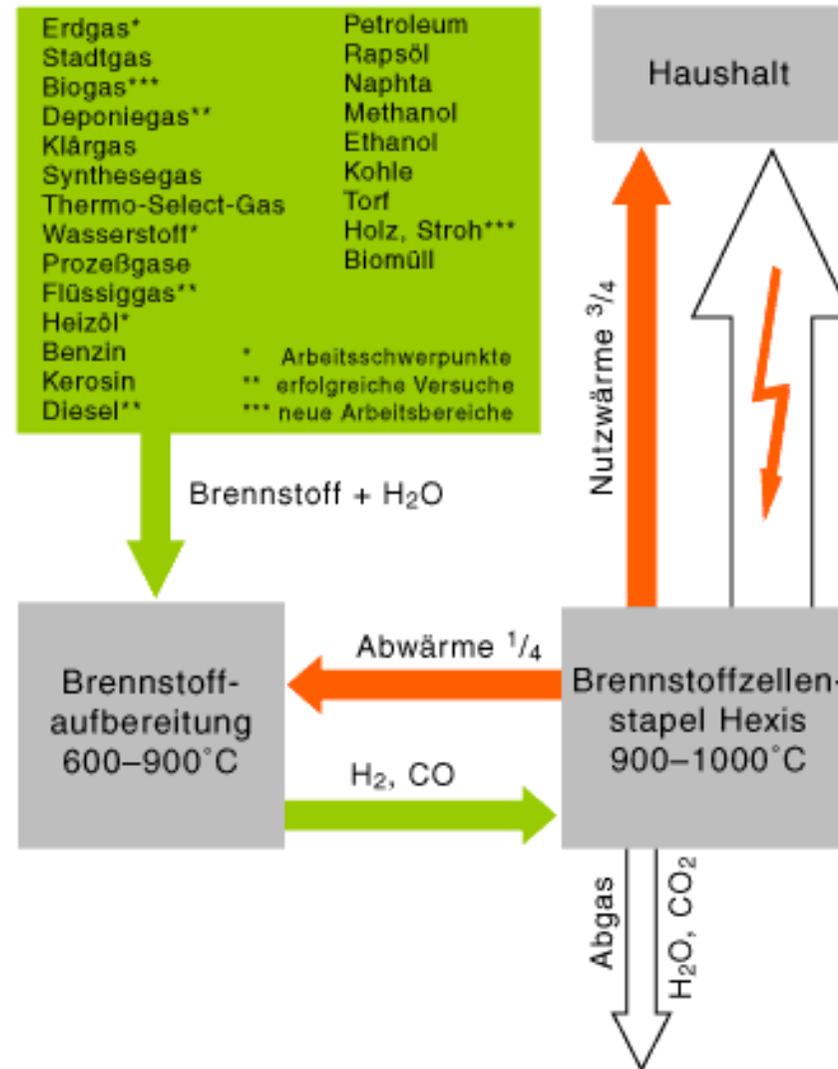
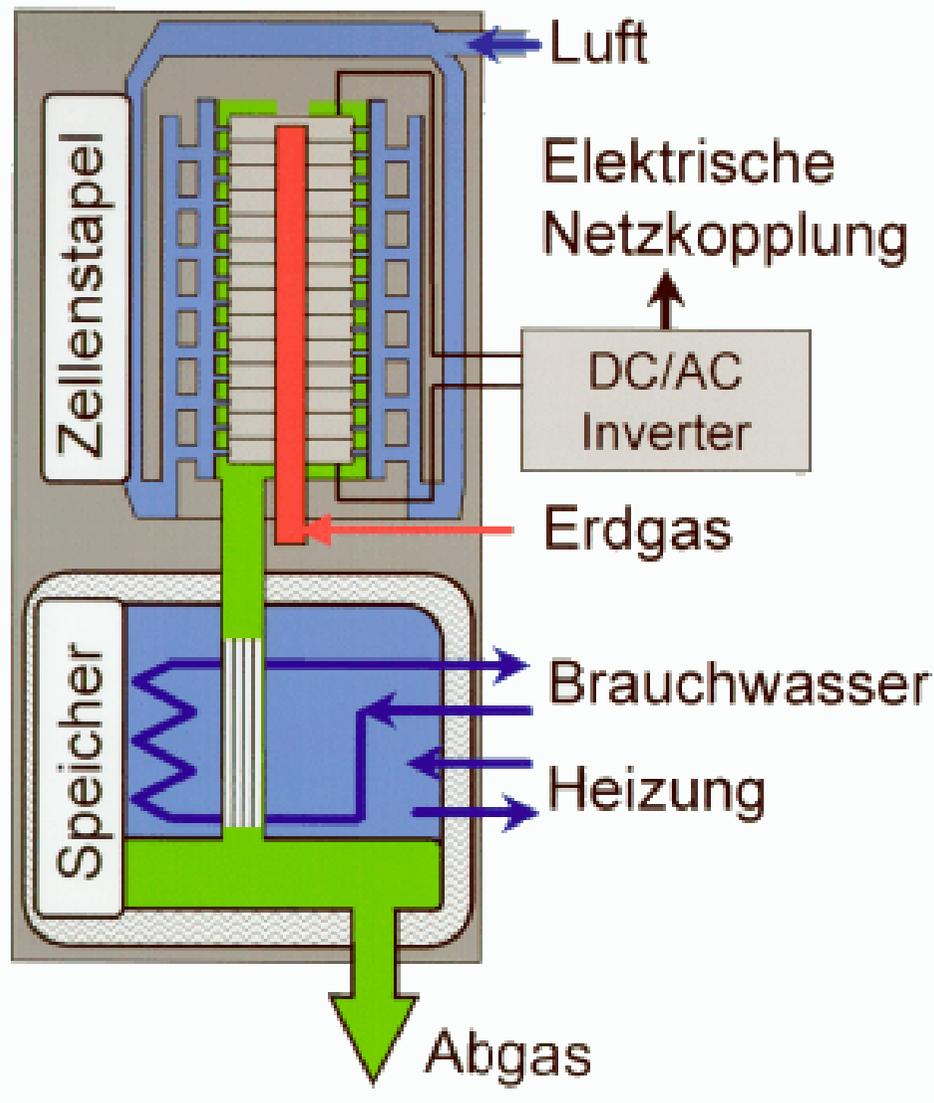
Wärmespeicher: 200 l

$\eta_{elektrisch}$ : > 25 %

$\eta_{gesamt}$ : > 80 %

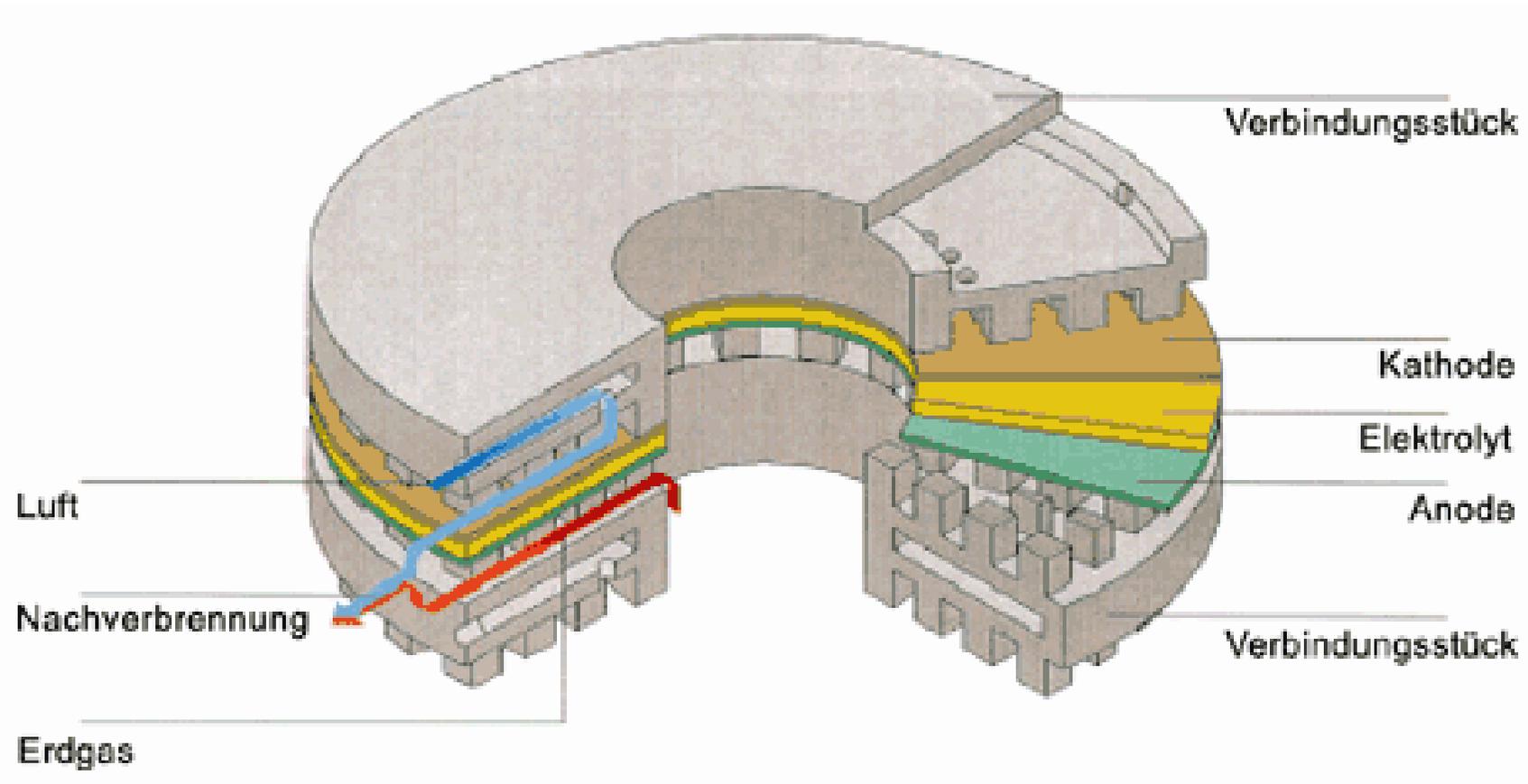
Brennstoff: Erdgas, Heizöl,  
Biogas u.a.

# Sulzer-Hexis 1 kW SOFC-System



# BSZ – Stacktechnologie

## Sulzer HEXIS Stackkonzept



# Sulzer Hexis / Hoval

## SOFC : 1 kW<sub>el</sub> / 3 kW<sub>th</sub> inkl. Zusatzbrenner



### ***Sulzer Hexis HXS 1000 Premiere***

Brennstoffzellen-Typ:	SOFC
Betriebstemperatur:	950°C
elektrische Leistung:	1 kW
thermische Leistung:	2,5 kW
Zusatzbrenner:	12 – 22 kW
el. Nettowirkungsgrad:	25 – 30%
Systemwirkungsgrad:	> 80%
Brennstoff:	Erdgas

Installation von 55 Systemen in BW  
durch die EnBW bis Ende 2004

# Hexis

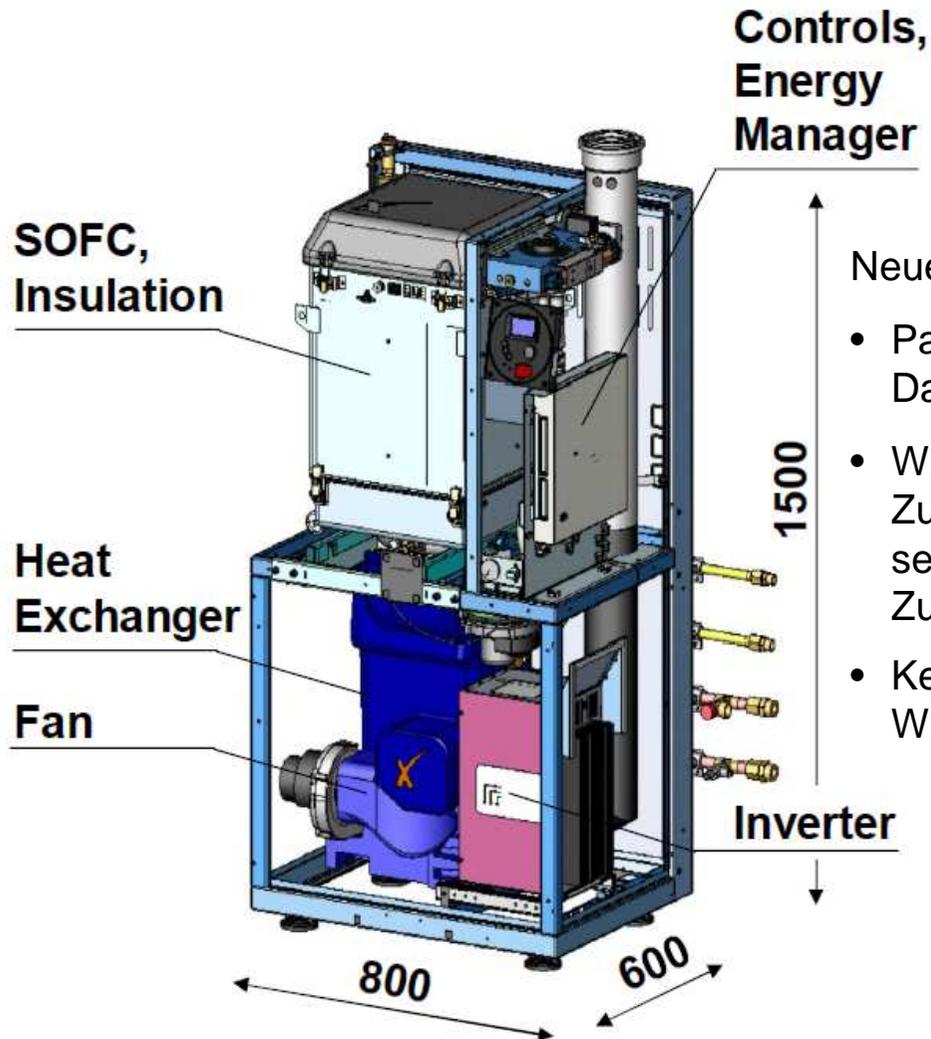
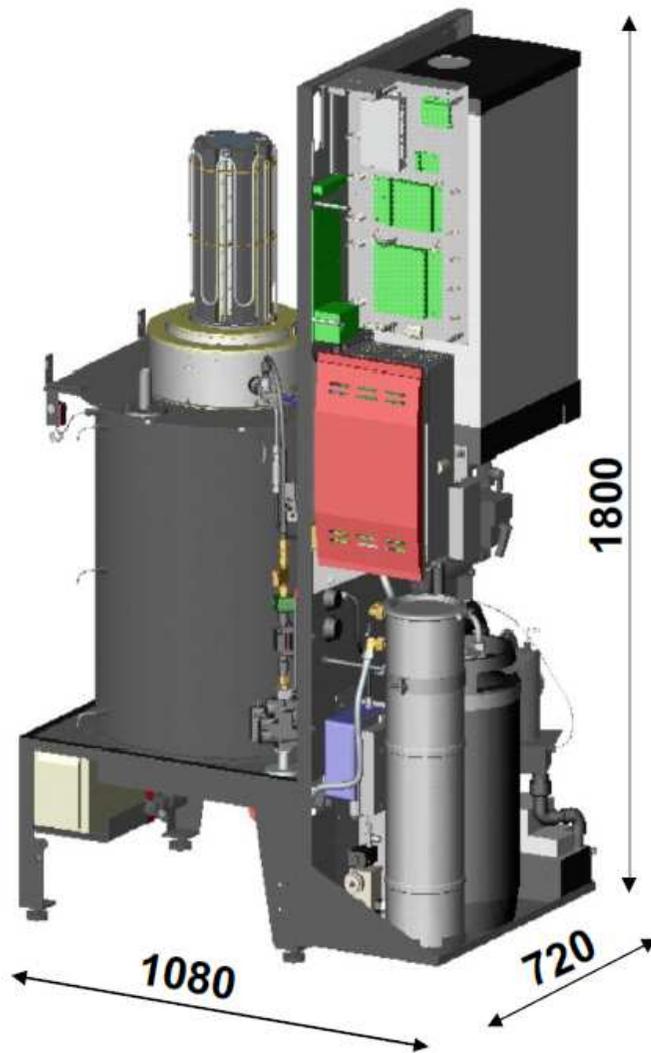
## Galileo – 2. Generation in 2005



Brennstoffzelle	
elektrische Leistung:	1 kW max.
thermische Leistung:	2,5 kW max.
Zusatzbrenner:	20 kW
el. Wirkungsgrad:	ca. 25-30%; (Ziel: > 30%)
Gesamtwirkungsgrad:	ca. 85%
Brennstoffzellentyp:	Sulzer Hexis SOFC
Reformierung:	Partielle Oxidation
Brennstoff:	Erdgas
Abmessungen:	55 x 55 x 160 cm
Gewicht:	170 kg

# Sulzer Hexis

Vorseriensystem HXS 1000 / Galileo – 2. Generation in 2005



Neuerungen :

- Partielle Oxidation statt Dampfreformierung
- Wärmetauscher mit Zusatzbrenner statt separatem Zusatzheizgerät
- Kein integrierter Wärmespeicher



**3 installierte Systeme  
Siemens Westinghouse Stacktechnologie**

## Kyocera 1 kW<sub>el</sub> $\mu$ CHP SOFC-System

Fuel : City Gas (Natural Gas)

Operation: Automatic

Start up: Combustion of fuel

Main Unit:

SOFC module, Controller,  
power conditioner  
and safety device

Size:

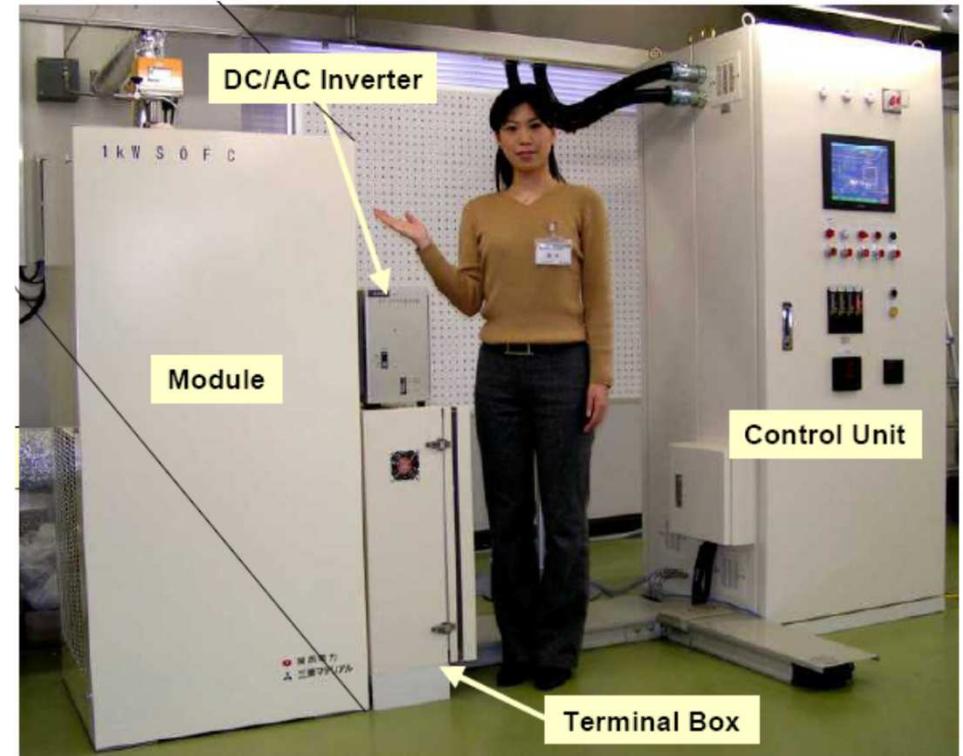
(W) 700 x (D) 480 x (H) 1000

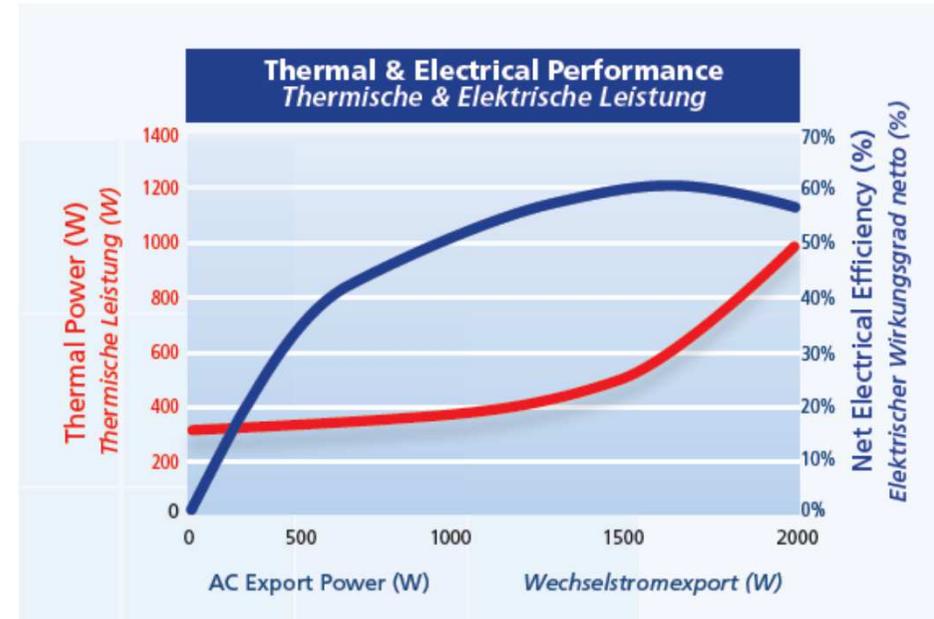
Hot water tank: 100L



Design Your Energy 暮らしの明日を  
OSAKA GAS

## Mitsubishi 1 kW<sub>el</sub> SOFC-System



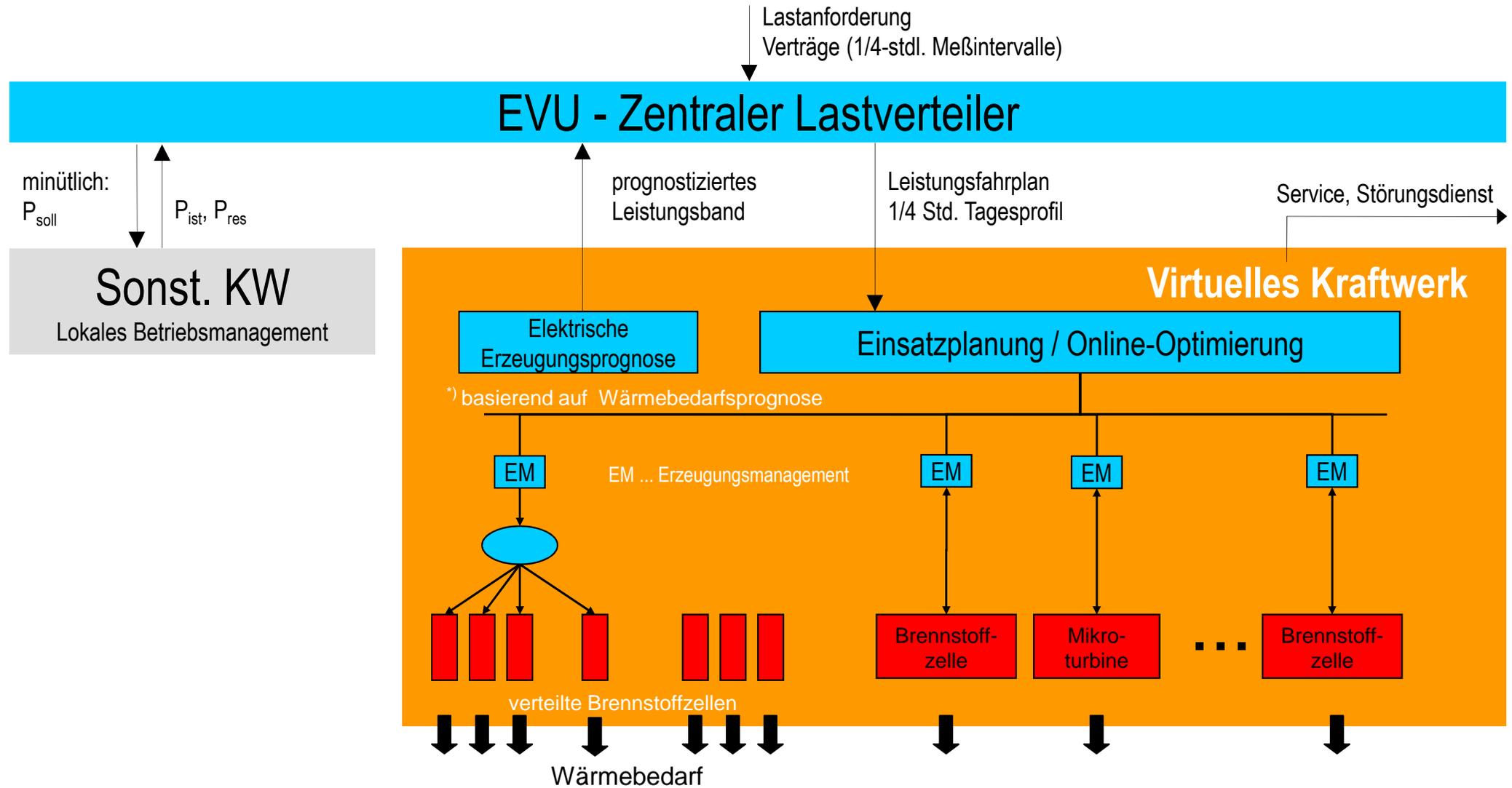


### Spezifikationen Blue Gen

Elektrische Leistung:  
 Max. elektr. Wirkungsgrad:  
 Thermische Leistung:  
 Gesamtsystemwirkungsgrad:  
 CO2 Emissionen:  
 Abgastemperatur:  
 Verwendbares Wasser:  
 Lärmpegel:  
 Umgebungstemperatur:  
 Luftzufuhrtemperatur:

0 bis 2.000 W, einphasig: 230V ±10% 50Hz  
 60 % bei 1.500 W Leistung (AC netto; unterer Heizwert)  
 ca. 300 W bis 1.000 W  
 bis zu 85 %  
 340 g/kWh  
 max 200 °C  
 max 1.1 L/h.  
 < 45 dBa  
 +1 °C - +45 °C  
 -20 °C - +45 °C

# IT-Infrastruktur bündelt dezentrale Erzeugungsanlagen zu "Virtuellen Kraftwerken"





## Common Specifications:

Fuel:	Methanol/De-ionized water mix
Fuel Mix Consumption (@ 1 kW):	1.4 Liters/hr
Fuel Mix Consumption (idle):	0.2 Liters/hr
Fuel Capacity:	11.2 Liters
Sound Level:	<55 dB @ 1 meter
Dimensions (LxWxH):	74 x 69 x 64 cm; 29" x 27" x 25"
Weight (varies w/options):	77-84 kg; 170-185 lbs.
Operating Temperature:	3 to 30° C
Storage Temperature:	-20 to 50° C
Exhaust Temperature:	<50° C
Ventilation Requirement (indoor use):	70 Liters / sec

## AC Model Specifications: \*

Continuous Output Power:	850 Watts (120 VAC or 240 VAC)
	True Sine Output
Peak Output Power (10 sec.):	2000 Watts
Voltage Output:	120 VAC, +/- 5%, 60 HZ +/- 0.1%
	or 240 VAC +/- 5%, 50 Hz +/- 0.1%

## DC Model Specifications: \*\*

Continuous Output Power:	1000 Watts (48 VDC nominal)
Peak Output Power (1 min.):	2000 Watts (48 VDC nominal)
Voltage Range:	44.0 - 56.0 VDC

\* AC de-rating specifications are 17 W/100 meters & 17 W/deg C >30

\*\*DC de-rating specifications are 15 W/100 meters & 15 W/deg C >30

Powered by **BALLARD™**

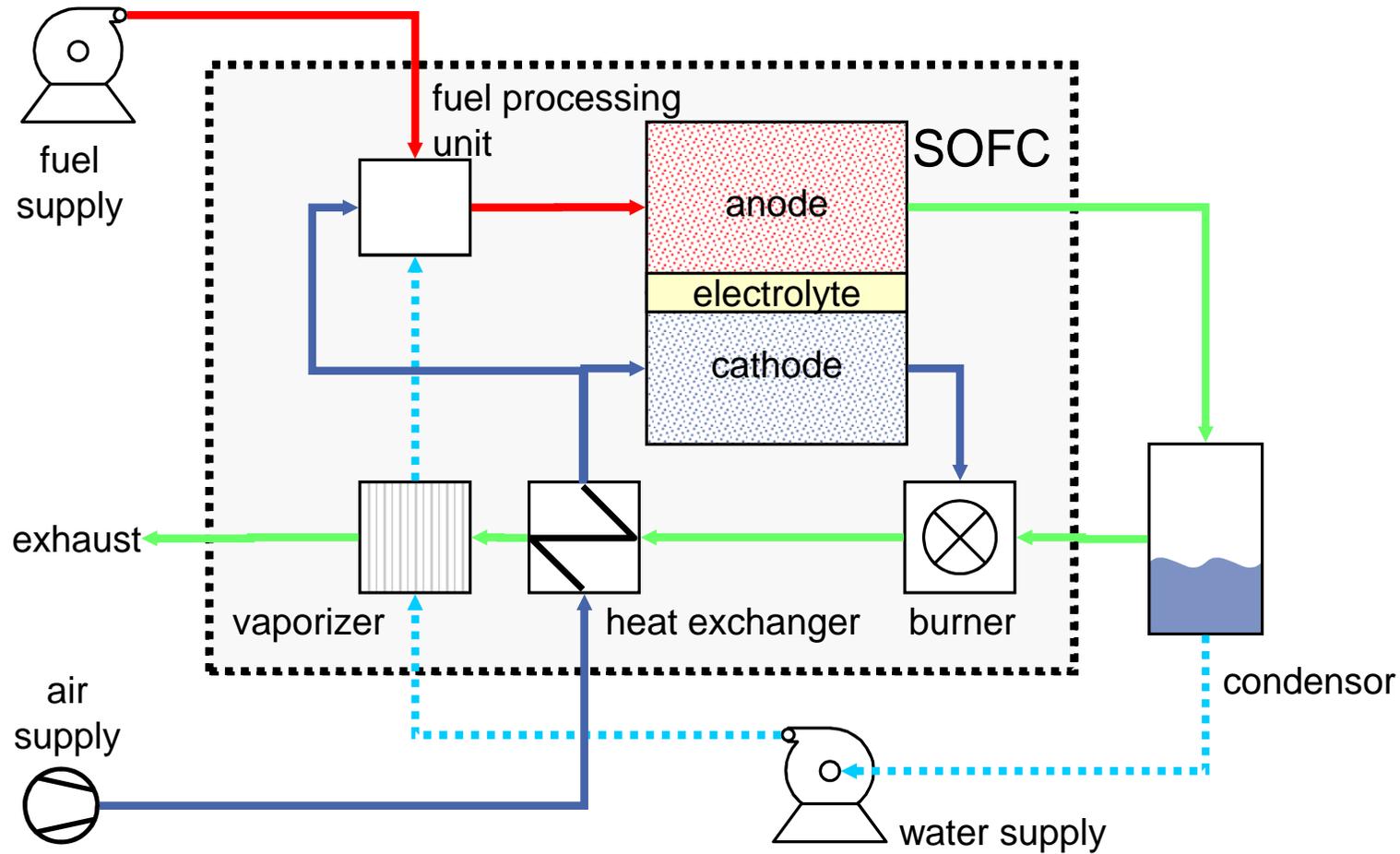
## Military Solutions

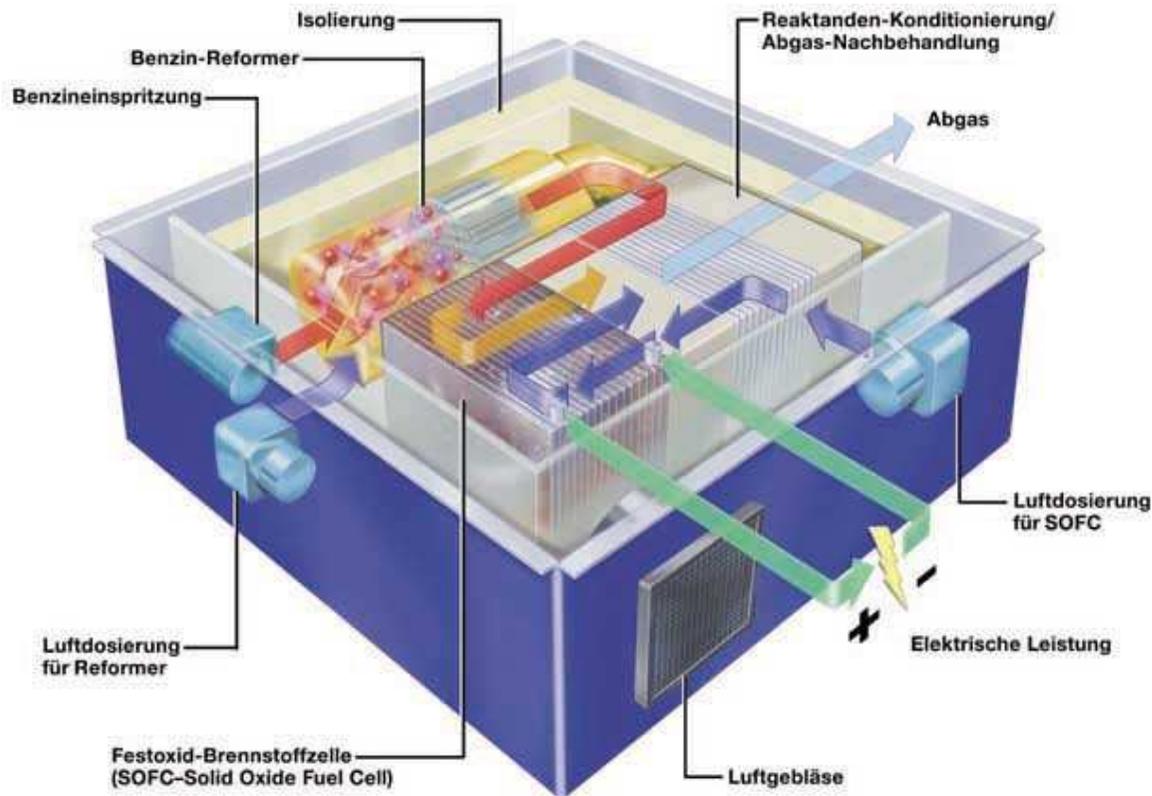


Army vehicle featuring Idatech scalable power solution.

### Idatech Modular Fuel Cell Systems

Continuous Output Power:	1 kW and above
Power Outputs:	12 to 48 nominal VDC 120VAC, +/- 5%, 60 Hz +/- 0.1% or 240VAC, +/- 5%, 50 Hz +/- 0.1%
Sound Level:	<55 dB @ 1 meter
Fuel Types:	Various liquid fuels
Enclosures:	Indoor & outdoor options available





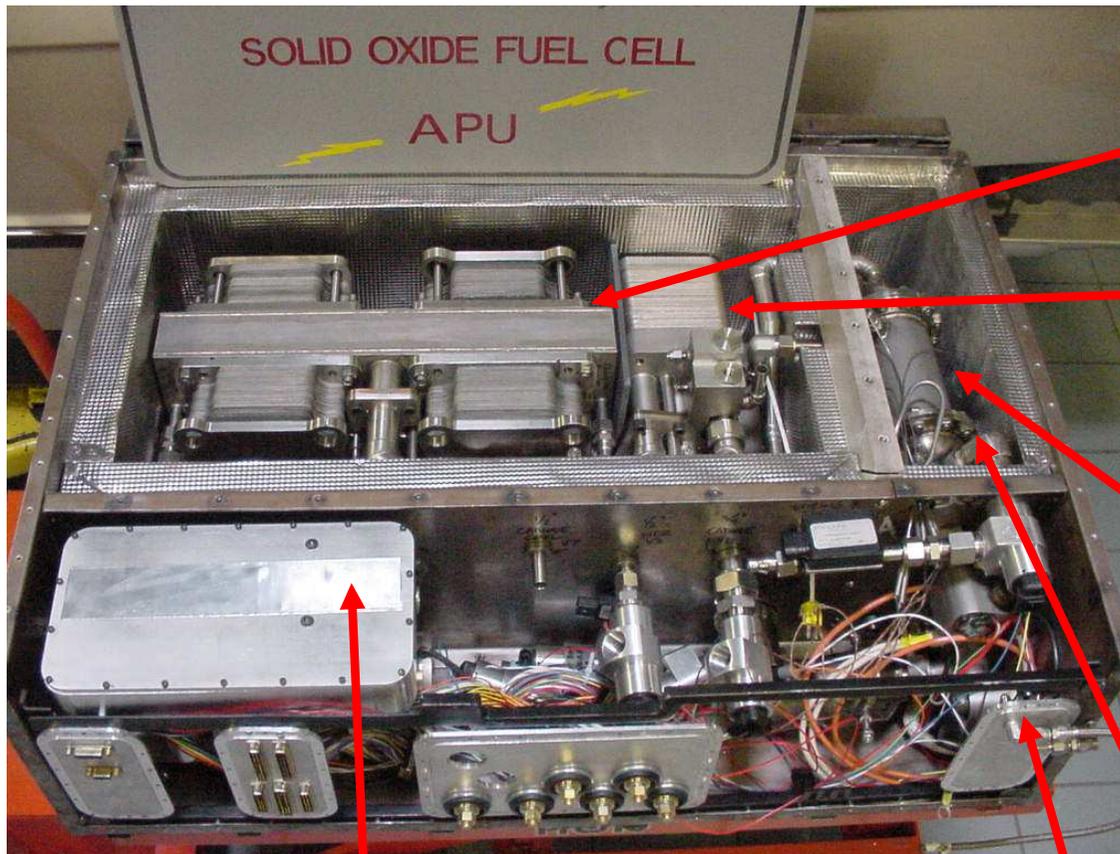
Spannung: 42 V  
Leistung: 5 kW<sub>el</sub>  
Brennstoff: Benzin  
Verfügbarkeit ab 2007

1 kW Generator: ~ 1,5 l Kraftstoff / 100 km  
1 kW SOFC-APU: ~ 0,7 l Kraftstoff / 100 km



# SOFC APU

## Delphi 1,5 kW SOFC APU (1. Generation)



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

**Energie-Rückgewinnung**  
Restgasverbrennung,  
Aufheizung Reaktionsluft

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

**Mikroreformer**  
Start Hauptreformer

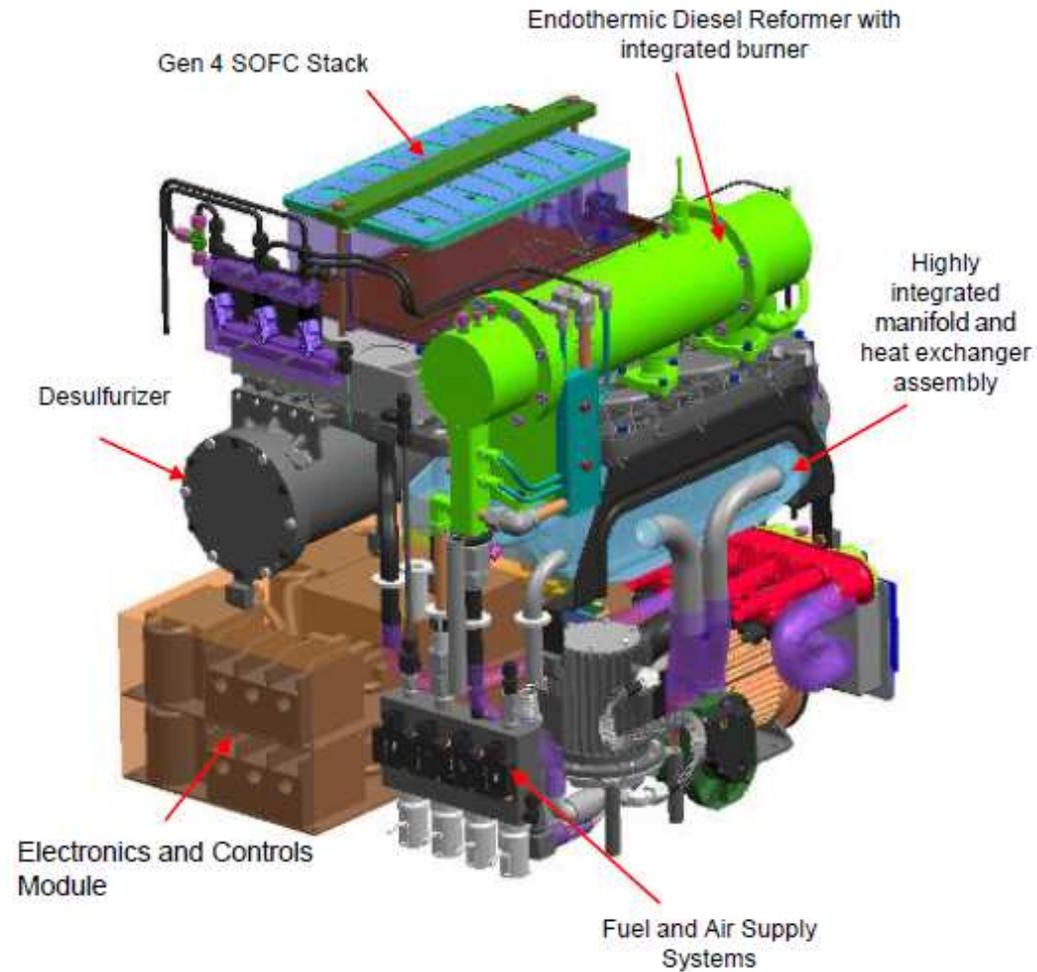
**Kraftstoff-  
versorgung**

**Luft-Gebläse**  
Reaktionsluft und  
Kühlluft

# SOFC APU Delphi DPS 3000D

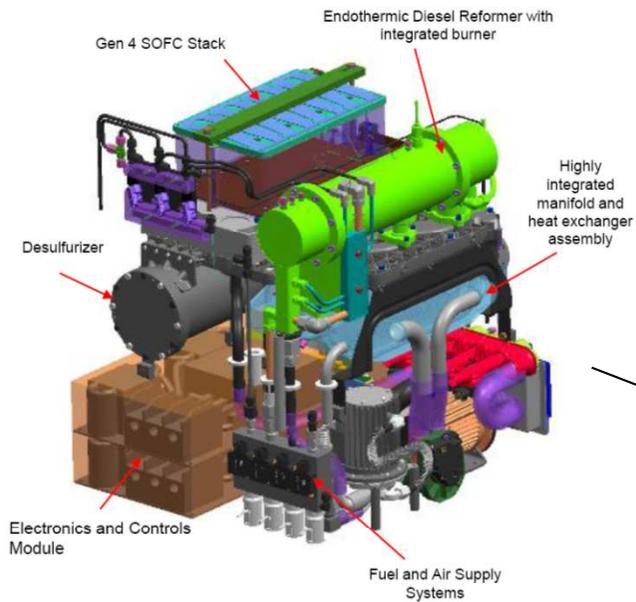


**DPS 3000D**  
3 kW net output power



**DELPHI**

# SOFC APU Delphi DPS 3000D

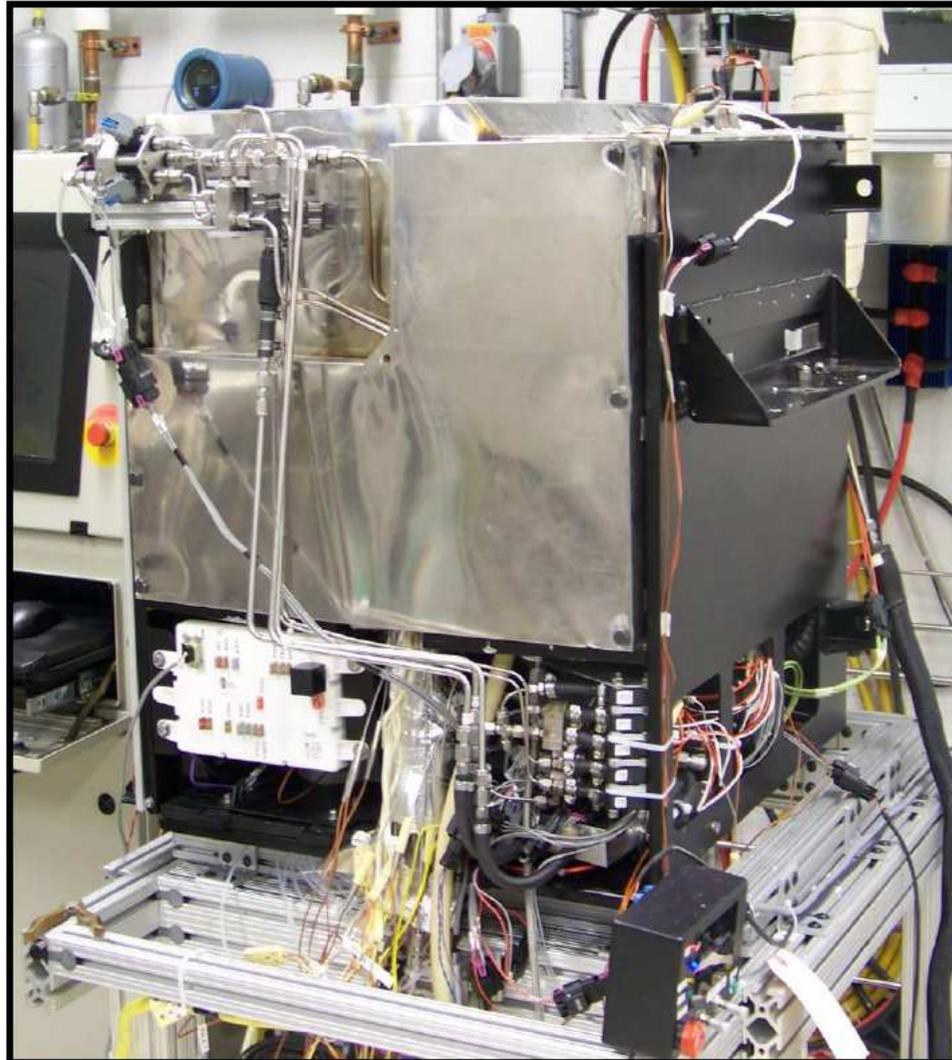


- High quality, reliable power: 110 V<sub>AC</sub> and/or 12 V<sub>DC</sub>
- High fuel efficiency: 40 to 50% higher than current gen set APUs
- Low noise: <60 dBA at 3 meters
- Ultra-clean, near zero emissions:
  - Meets Tier 4 Emissions standards for Non-Road Diesel Engines
  - For CO, less than 8 g/kWh
  - For NMHC and NO<sub>x</sub>, less than 0.2 g/kWh
- On-board reforming capability

# SOFC APU

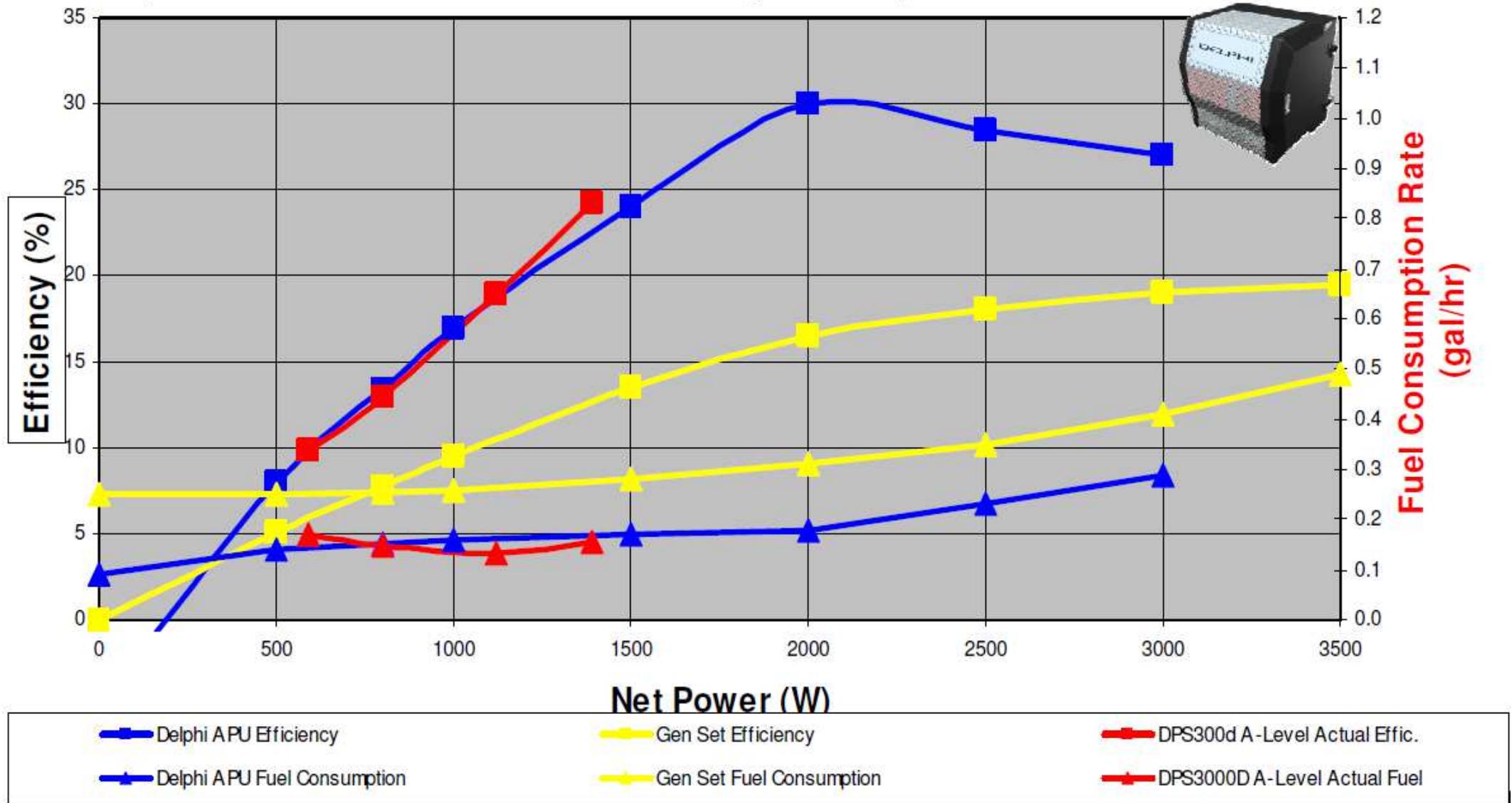
## Delphi DPS 3000D

- ◆ First design engineered specifically as a truck APU
- ◆ Internal desulfurizer for ULSD
- ◆ ULSD cold-start capable



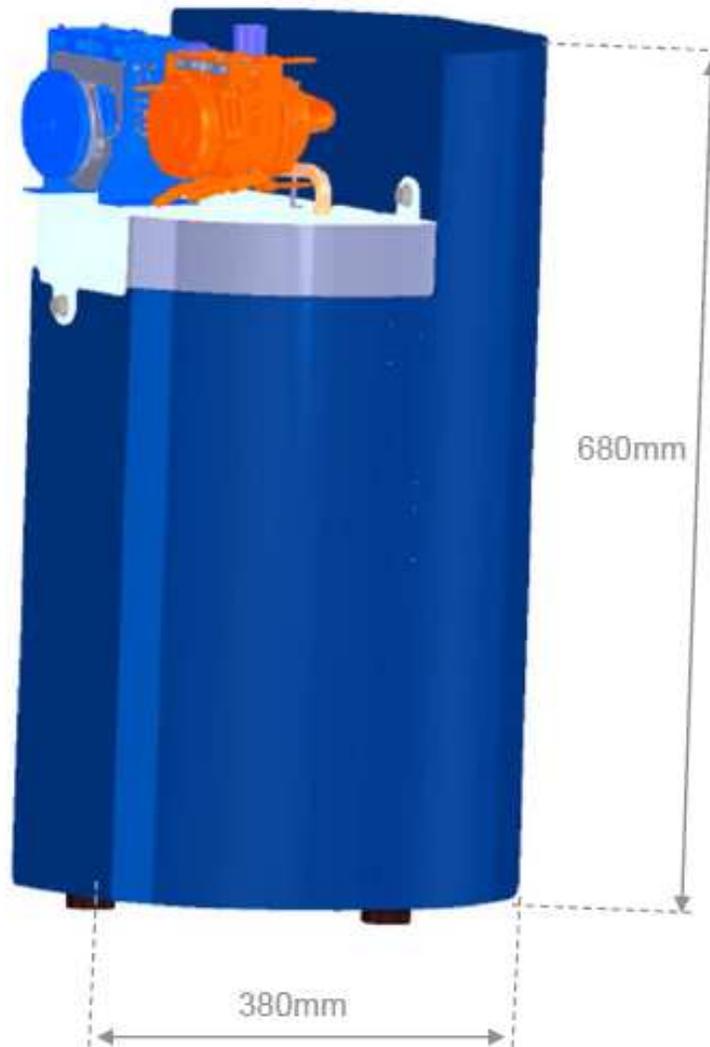
**DELPHI**

# SOFC APU Delphi DPS 3000D



# AVL SOFC APU Generation I

## STAND ALONE SOLID OXIDE FUEL CELL AUXILIARY POWER UNIT



### Design Targets:

- 3kW electrical power
- 10kW thermal power
- el. efficiency ~35%
- Fuel: european road diesel (< 10 ppm S)
- 75L, 60kg
- ~ 55dB(A) noise

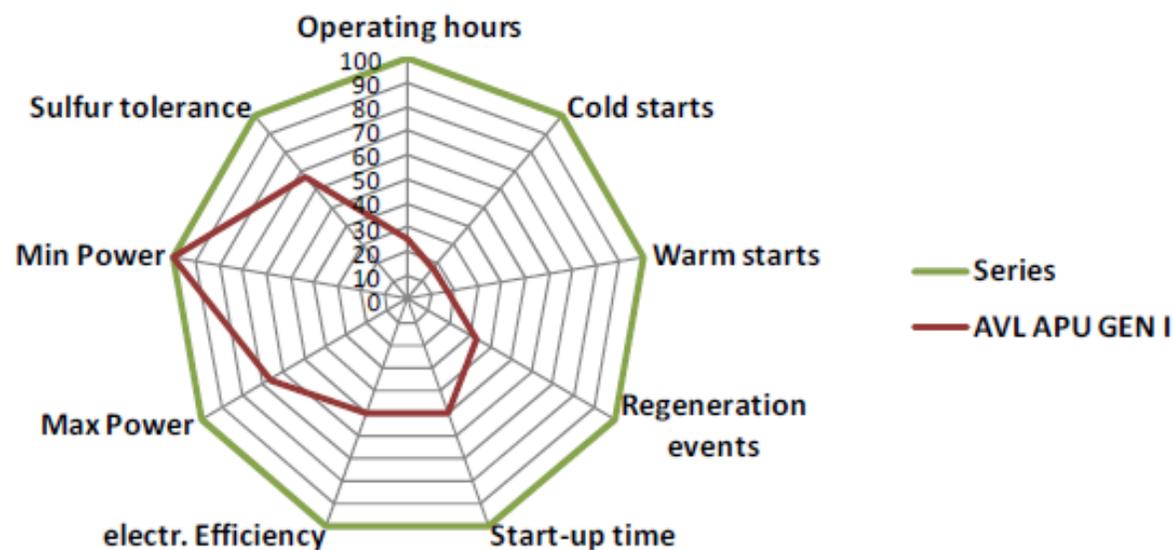
### Technology:

- Solid Oxide Fuel Cell
- anode-supported stack
- hot-gas anode recirculation
- auto thermal reforming
- highly efficient radial-blowers for media supply
- system internal regeneration approaches

Status: Feb. 2011, Design Freeze AVL APU GEN I

# REQUIREMENTS & DEVELOPMENT TARGETS

		AVL GEN I	
Operating Hours (>0A):	12000	3000	h
Operating Hours (T>100°C):	36000	-	h
Deep Thermal Cycles (T<100°C):	300	50	-
Medium Thermal Cycles (T>100°C):	3000	500	-
RedOx Cycles @Operat. Temp <sup>(1)</sup>	30	10	-
RedOx Cycles to Ambient Temp. <sup>(2)</sup>	5	-	-
electr. Efficiency:	35	25	-
Heat up Time:	30	45	min
Maximum electrical Power:	3000	2000	W
Minimum electrical Power:	300	300	W
Sulphur Tolerance US (fuel):	15	10	ppm
Mass:	100	-	kg
Volume:	100	-	L



# AVL SOFC APU – Packaging Concept

