

BSZ-Systeme 2

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

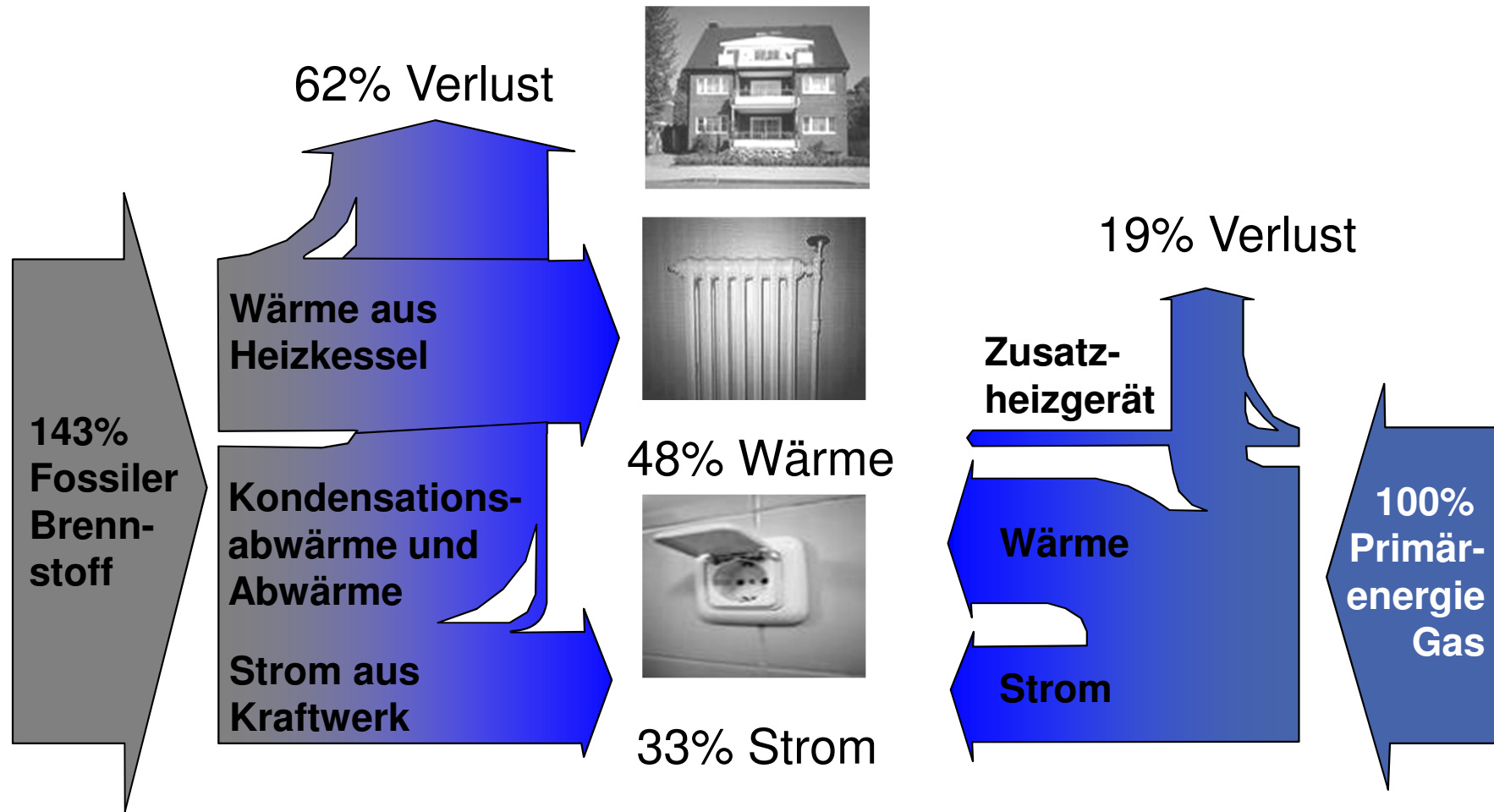
andre.weber@kit.edu

www.iam.kit.edu/et



- BSZ-Systeme
 - μ CHP-Systeme
 - PEMFC
 - SOFC
 - mobile Anwendungen
 - mobile Stromversorgung
 - Auxiliary Power Units
 - Brennstoffzellen in der Elektromobilität

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 (2001)



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

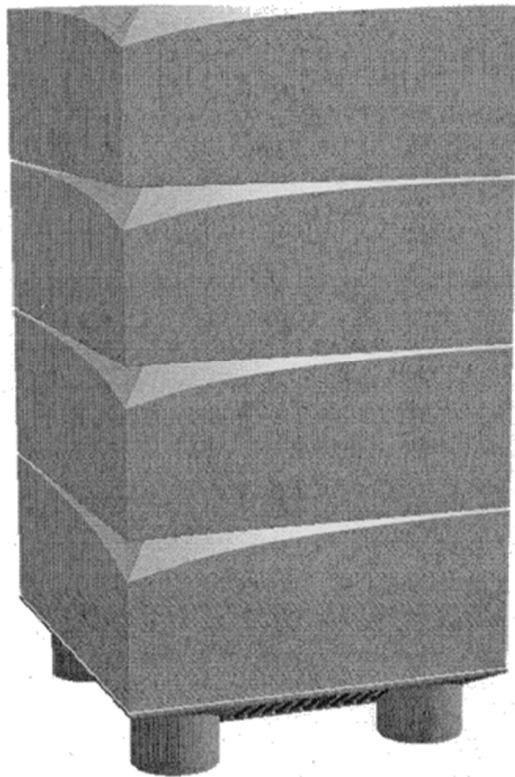


Hpower RCU-4500-2 (2002)

Brennstoffzellen-Typ:	PEMFC
elektrische Leistung:	4 kW
thermische Leistung:	6.5 kW
Spannung:	100/120/220 V _{AC}
el. Nettowirkungsgrad:	k.A.
Systemwirkungsgrad:	k.A.
Brennstoff:	Erdgas (u.a.)
Geräuschpegel:	k.A.

Brennstoffzellen-Heizgeräte zur Strom- und Wärmeversorgung von Gebäuden

Nuvera Avanti (2003)

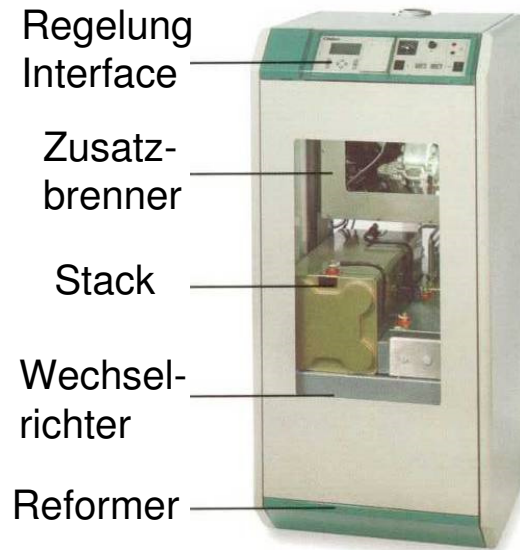


Brennstoffzellen-Typ:	PEMFC
elektrische Leistung:	5 kW
thermische Leistung:	10 kW
Spannung:	120/240 V @ 60 Hz 100/230 V @ 50 Hz
el. Nettowirkungsgrad:	40 % (2 kW)
Systemwirkungsgrad:	>75%
Brennstoff:	Erdgas (u.a.)
Geräuschpegel:	<70dB @ 1 m



Vaillant / Plug Power

PEM : 4,5 kW_{el} / 7 kW_{th} + Zusatzbrenner



Vailant Brennstoffzellen-Heizgerät

Brennstoffzellen-Typ: PEMFC

elektrische Leistung: 1 - 4,5 kW_{el}

thermische Leistung: 1,5 - 7 kW_{th}

Zusatzbrenner: 50 kW

el. Nettowirkungsgrad: 35 - 40%

Systemwirkungsgrad: > 80%

Brennstoff: Erdgas



Mai 2000



November 2000

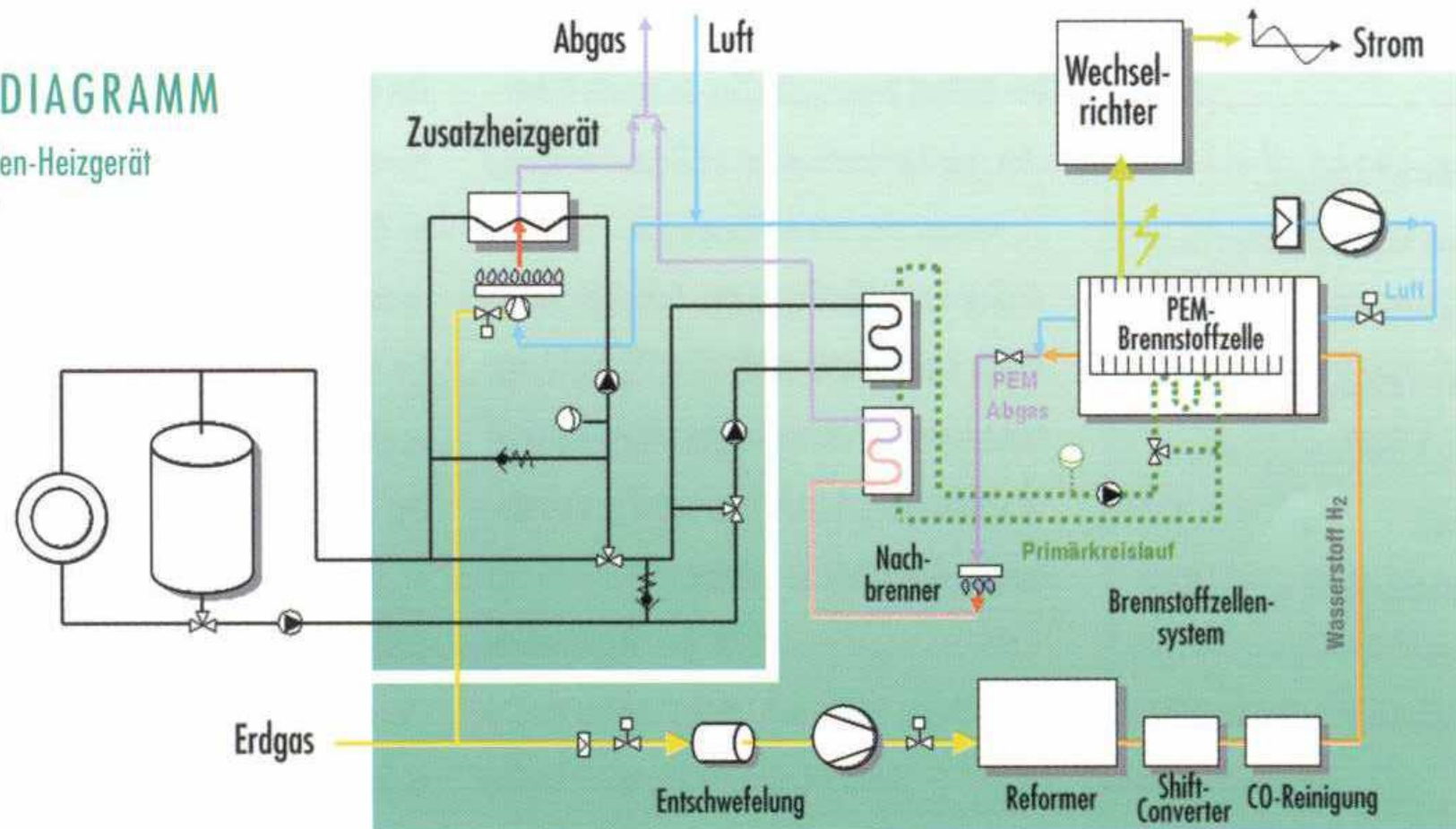


2005

Vaillant PEMFC-Heizgerät

PROZESSFLUSSDIAGRAMM

Anlage mit Brennstoffzellen-Heizgerät
und Warmwasserspeicher



Toshiba / ENEOS (JX Nippon Oil) ENEFARM-Systeme





Separate type



Integrated type



In-door type

Fuel cell unit

Backup boiler

Hot water storage unit



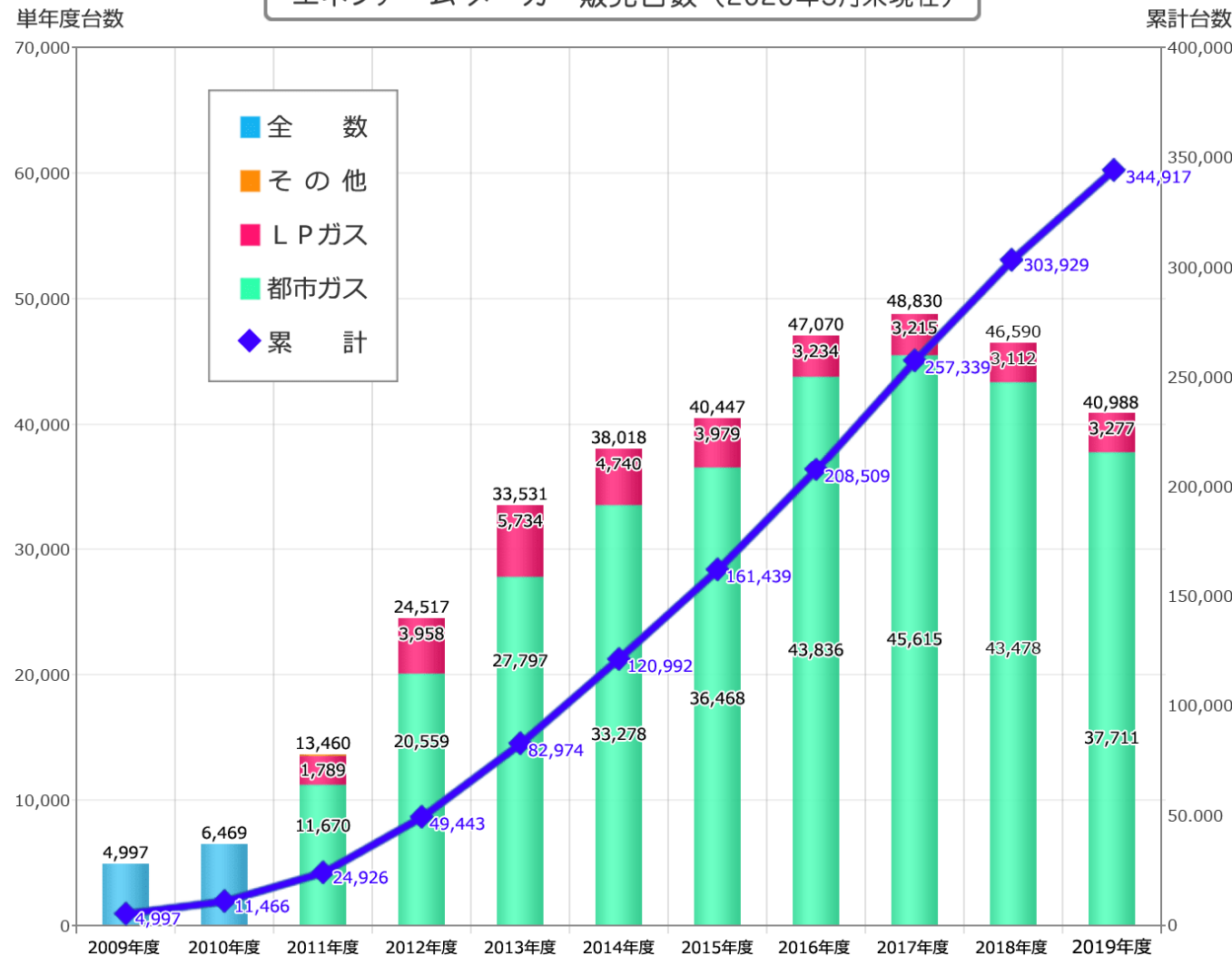
		Separate type	Integrated type	In-door type
Fuel type		City gas (13A)		
Electric output	Rated output	700(W)		750 (W)
	Output range	200 - 700 (W)		200 - 750 (W)
Rated power generation efficiency		LHV:39.0% HHV:35.2%		
Rated heat recovery efficiency		LHV:56.0% HHV:50.6%		
Total efficiency		LHV:95.0% HHV:85.8%		
Hot water storage capacity		140 L		147 L
Dimensions (mm)	Fuel cell unit	Width:400 Depth:400 Height:1750		Width: 399 Depth: 395 Height: 1750
	Hot water storage unit	Width:560 Depth:400 Height:1750	Width:700 Depth:400 Height:1750	Width:400 Depth:560 Height:1850
	Backup boiler	Width:480 Depth:250 Height:750	(Built into the hot water storage unit)	Width:480 Depth:250 Height:750
Mass	Fuel cell unit	77 kg		99 kg
	Hot water storage unit	50 kg	88 kg	54 kg
	Backup boiler	44 kg		44 kg
Output during blackouts		Maximum 500(W)		

installed units: > 300 000
price: < 10 k€
warranty: 10 years

ENEFARM μ CHP-FC in Japan

> 300 000 systems, mainly PEMFC

エネファーム メーカー販売台数 (2020年3月末現在)



price:

PEMFC: ~ 11 k€

Tokyo Gas, Panasonic

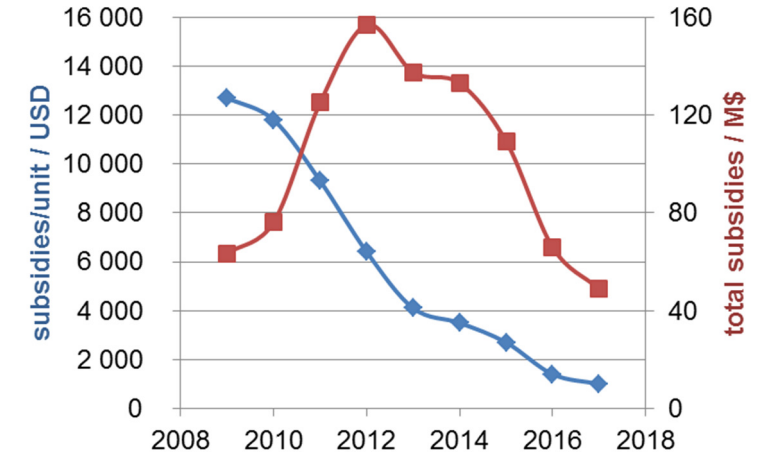
750 W (39% / 95% el. / total eff.)

SOFC: ¥2,75 (~ 21 k€)

Osaka Gas, Aisin, Kyocera

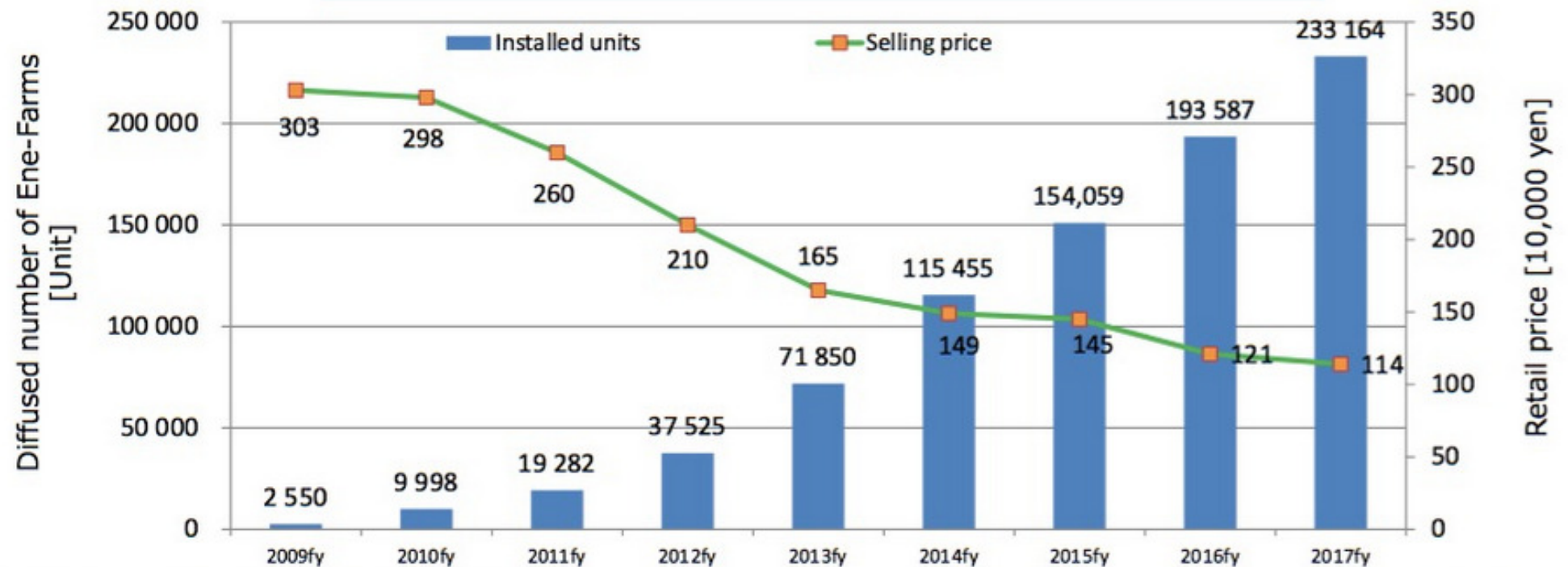
700 W (46.5% / 90% el. / total eff.)

subsidy per unit (~ 700 W):



ENEFARM μ CHP-FC in Japan

Preisentwicklung



10,000 yen = 86.4 €

EU-Projekt ene.field (2012-2017, > 1000 Einheiten)

Elcore 2400	Dachs InnoGen	Cerapower FC10	Logapower FC10	Vitovalor	SteelGen	Galileo 1000 N	Vaillant G5+	PEMmCHP G5	BLUEGEN	ENGEN 2500	Inhouse 5000+
											
HT PEM 300W	LT PEM 700W	SOFC 700W	SOFC 700W	PEM 700W	LT SOFC 700W	SOFC 1kW	SOFC 1kW	LT PEM 2kW	SOFC 2kW	SOFC 2.5kW	LT PEM 5kW
Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural gas+ Biogas	Natural Gas	Natural Gas + Biogas	Natural Gas	Natural Gas	Natural gas + Biogas + H2
Wall	Floor	Floor	Floor	Floor	Wall	Floor	Wall	Floor	Floor	Floor	Floor
Elcore	SenerTec	Bosch Thermotechnik		Viessmann	Ceres Power	HEXIS	Vaillant	Ballard Power	Solid Power		RBZ

Viessmann Vitovalor PT2 (Panasonic PEM BSZ-Modul)



- 1 Gas-Brennwertgerät zur Spitzenlast-abdeckung
- 2 Regelung für den witterungsgeführten Betrieb mit großem Farb-Touch-Display
- 3 Brennstoffzellenmodul
- 4 Warmwasserspeicher aus Edelstahl mit 220 Litern Inhalt

Typ		E11T	E19T	E25T	E32T
Nenn-Wärmeleistung (60/40 °C)	kW _{th}	0,9 – 11,4	0,9 – 19,0	0,9 – 24,5	0,9 – 30,8
Elektrische Leistung Brennstoffzelle	W _{el} *	750	750	750	750
Thermische Leistung Brennstoffzelle	kW _{th} *	1,1	1,1	1,1	1,1
Frequenz	Hz	50			
Schallleistung	dB(A)	48	49	50	51
Elektrischer Wirkungsgrad Brennstoffzelle	%	37			
Gesamtwirkungsgrad Brennstoffzelle	%	bis zu 92 (H ₂)			
Thermischer Wirkungsgrad Spitzenlastkessel	%	bis zu 98 (H ₂)			
Warmwasserspeicher aus Edelstahl	l	220			
Brennstoff		Erdgas E(H) / LL(L)			
Abmessungen ohne Abgassystem					
Länge (Tiefe) x Breite x Höhe					
– Gesamteinheit	mm	595 x 1200 x 1800			
– Grundgerät	mm	595 x 600 x 1800			
– Speichertower	mm	595 x 600 x 1800			
Minimal erforderliche Raumhöhe (mit Abgassystempaket)	mm	2000			
Gewicht					
– Gesamteinheit	kg	326			
– Grundgerät	kg	197			
– Speichertower	kg	129			
Platzbedarf	m ²	0,72			
Energieeffizienzklasse					
– Heizen		A++			
– Trinkwassererwärmung, Zapfprofil XL		A+			

* Leistungsangaben: Nominalwerte nach DIN EN 50465

Hexis Galileo (Viessmann)



Technische Daten

Brennstoffzelle

Typ Brennstoffzelle	SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)
Typ Brennstoffaufbereitung	CPO (Catalytic Partial Oxidation)
Elektrische Leistung	1 kW
Heizleistung	1.8 kW
Elektrischer Wirkungsgrad	35 %
Gesamt-Wirkungsgrad	95 % (bezogen auf unteren Heizwert)
Emissionen: Schadstoffe NOx	< 30 mg/kWh
Schall (1 m vor dem Gerät)	30 dB(A)

Zusatzbrenner

Typ Zusatz-Wärmeerzeugung	Gas-Brennwert
Heizleistung	7 - 20 kW
Thermischer Wirkungsgrad	109 % (bei $T_V/T_R = 40/30$ °C)

Brennstoffzellen-Heizgerät

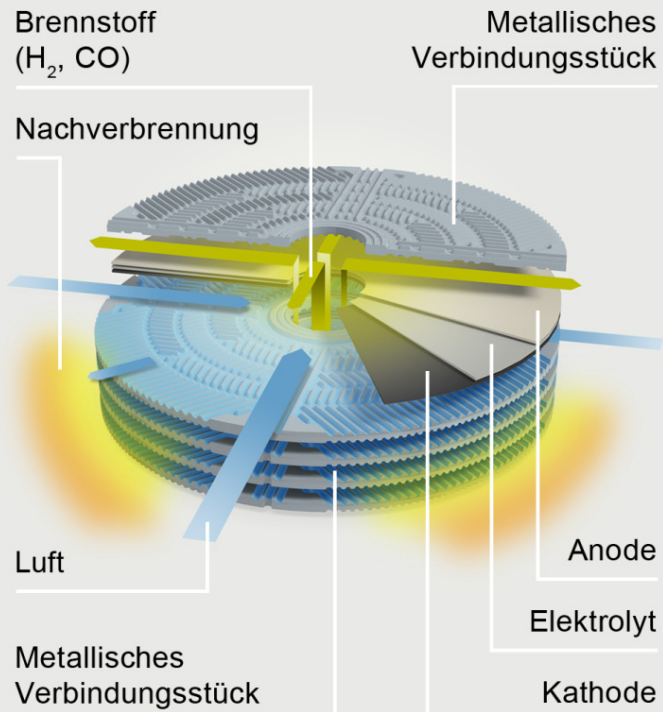
Brennstoff	Erdgas, Bio-Erdgas
Gesamt-Wirkungsgrad	95 - 109 % (bezogen auf unteren Heizwert)
Energieeffizienzklasse	A++

Anschlusswerte

Anschlussdruck Erdgas	18 - 25 mbar
Elektrischer Anschluss	230 V AC, 50 Hz
max. Vorlauftemperatur	80 °C
max. Rücklauftemperatur	75 °C
Betriebsdruck des Heizkreislaufrs	1.3 - 3.0 bar

Abmessungen (Breite x Tiefe x Höhe)	62 x 58 x 165 cm
Gewicht	210 kg
Aufstellung	Innen
Platzbedarf	3 m ²
Zertifizierung	CE, AR-N 4105

Hexis Galileo



Bedienfeld

Brennstoffzellen-Modul

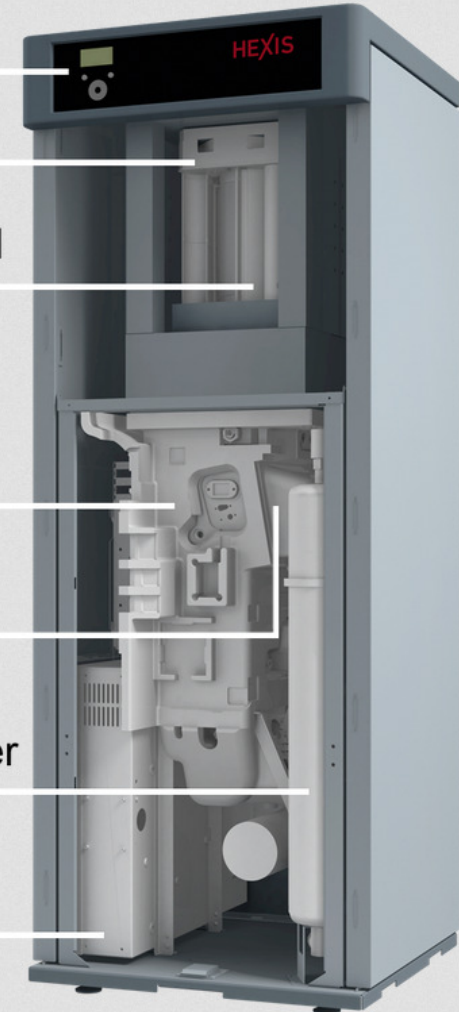
Brennstoffzellen-Stapel

Doppelkammer-
Wärmetauscher mit
Wärmedämmung

Zusatzbrenner

Entschwefelungsbehälter

Wechselrichter



Next generation (project name “Leonardo”)

Peak load boiler

Manufactured by Viessmann Allendorf

Fuel cell unit

Manufactured by Hexis (subsidiary of Viessmann)

Electrical power output 1.5 kWel (AC, netto)

Thermal power output ca. 2 kWth

Electrical efficiency > 40% AC, netto

Total efficiency > 60%

Lifetime target system > 100,000 h

Lifetime target SOFC stack > 40,000 h

**Weitere Entwicklung / Vermarktung
SOFC-System
eingestellt (03/2020)**

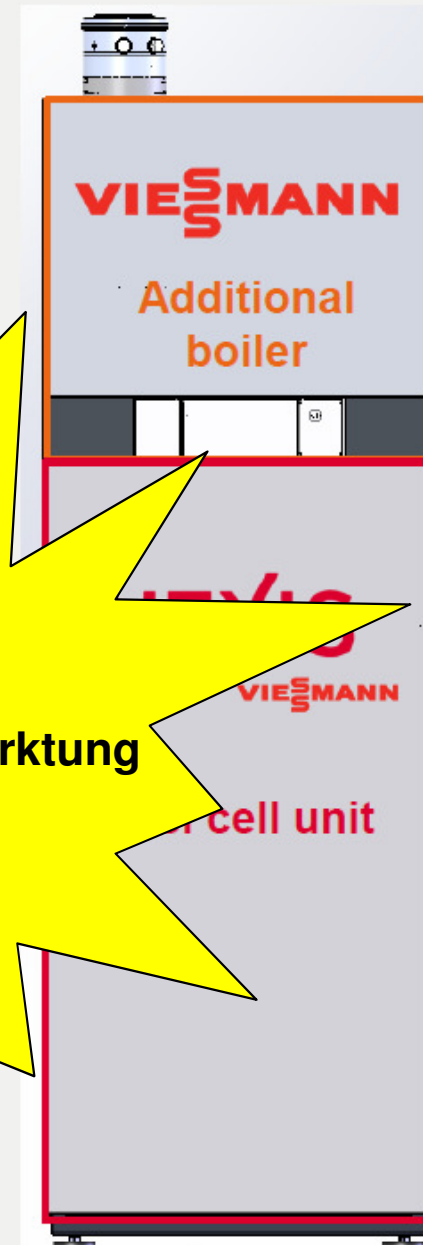
Main development targets

Significant reduction

Use of Viessmann parts

Stack unchanged from Galil

**Market introduction planned 2020
via Viessmann sales channels**



Kyocera 1 kW_{el} μ 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:

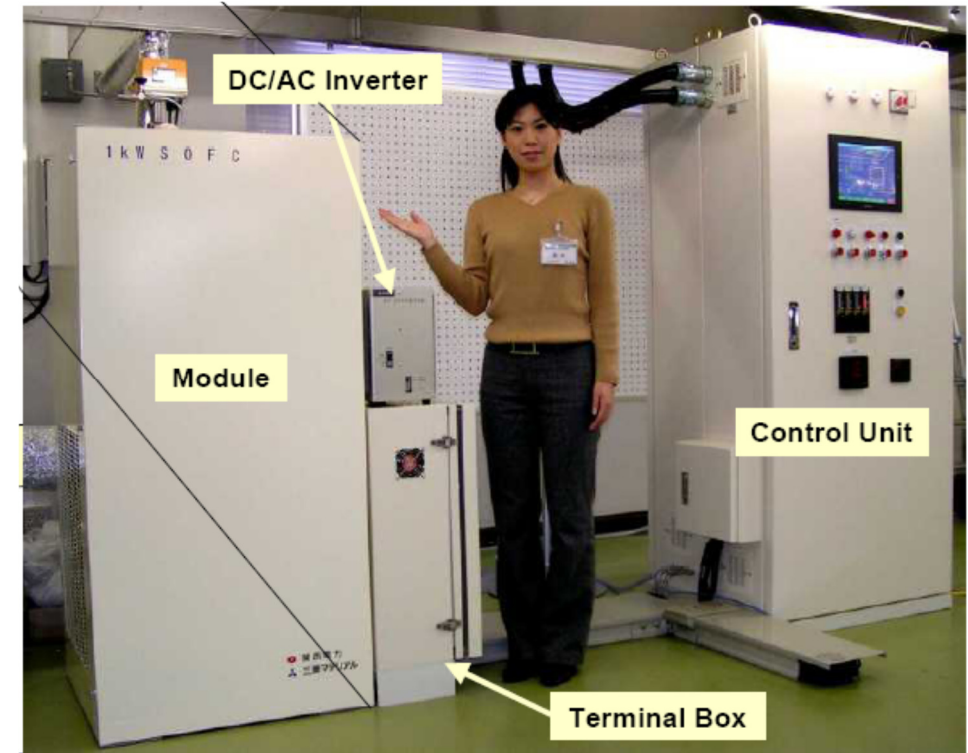
(W) 700 x (D) 480 x (H) 1000

Hot water tank: 100L



Design Your Energy 夢をかなる明日を
OSAKA GAS

Mitsubishi 1 kW_{el} SOFC-System



ENE-FARM Type S (03/2012)

(Osaka Gas, Aisin, Kyocera, Chofu and Toyota)



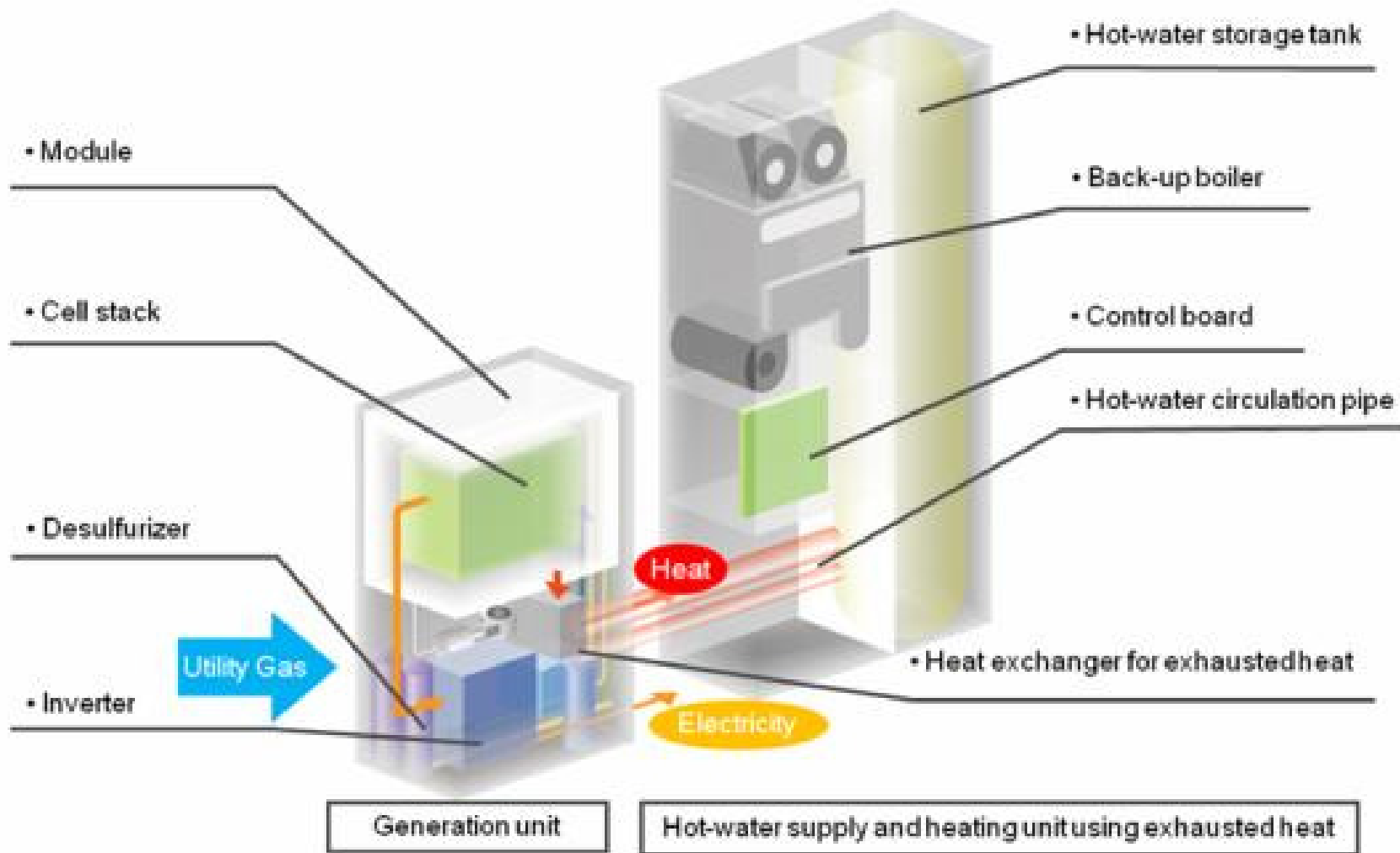
Specifications

Sales date		April 27, 2012
Capacity	Rated Output of Power Generation	700 W
	Rated Power Generation Efficiency	46.5% (LHV ^{*6}) 42% (HHV ^{*7})
	Rated Overall Efficiency	90% (LHV) 81.2% (HHV)
	Capacity of Hot-Water Storage Tank	90 liters
	Hot-Water Temperature	Approx. 70 deg. Celsius
Dimensions	Power Generating Unit	600 W × 935 H × 335 D (mm)
	Hot-Water Supply and Heating Unit using Exhausted Heat	740 W × 1,760 H × 310 D (mm)
Weight	Power Generating Unit	94kg
	Hot-Water Supply and Heating Unit using Exhausted Heat	94kg
Installation Space		Approx. 1.9m ² (Approx. 1.6m ² with side exhaust gas cover)
Maintenance Service Period		10 years
Standard Price (incl. taxes and excl. installation cost)		¥2,751,000

21 127 €

ENE-FARM Type S (03/2012)

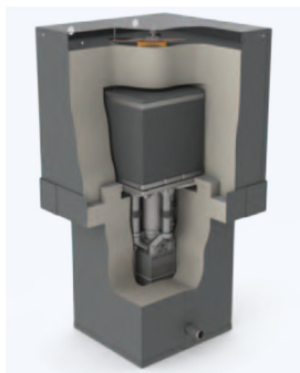
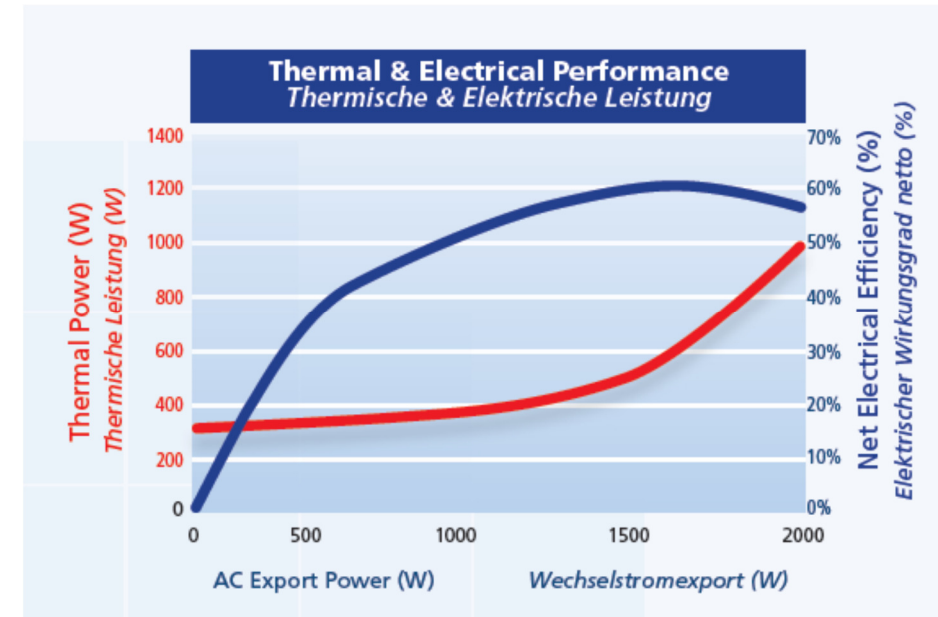
(Osaka Gas, Aisin, Kyocera, Chofu and Toyota)





Spezifikationen

Nennleistung (AC)	3 kW
Wirkungsgrad el.	52,0 % (LHV, Standard)
Wirkungsgrad ges.	90 % (LHV, Standard)
Abmessungen (BxHxT)	1.150 × 1.690 × 675 mm
Gewicht	375 kg
Gastyp	City Gas (13A)



Spezifikationen BlueGen

Elektrische Leistung:

Max. elektr. Wirkungsgrad:

Thermische Leistung:

Gesamtsystemwirkungsgrad:

CO₂ Emissionen:

Abgastemperatur:

Verwendbares Wasser:

Lärmpegel:

Umgebungstemperatur:

Luftzufuhrtemperatur:

0 bis 2.000 W, einphasig: 230V $\pm$ 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.

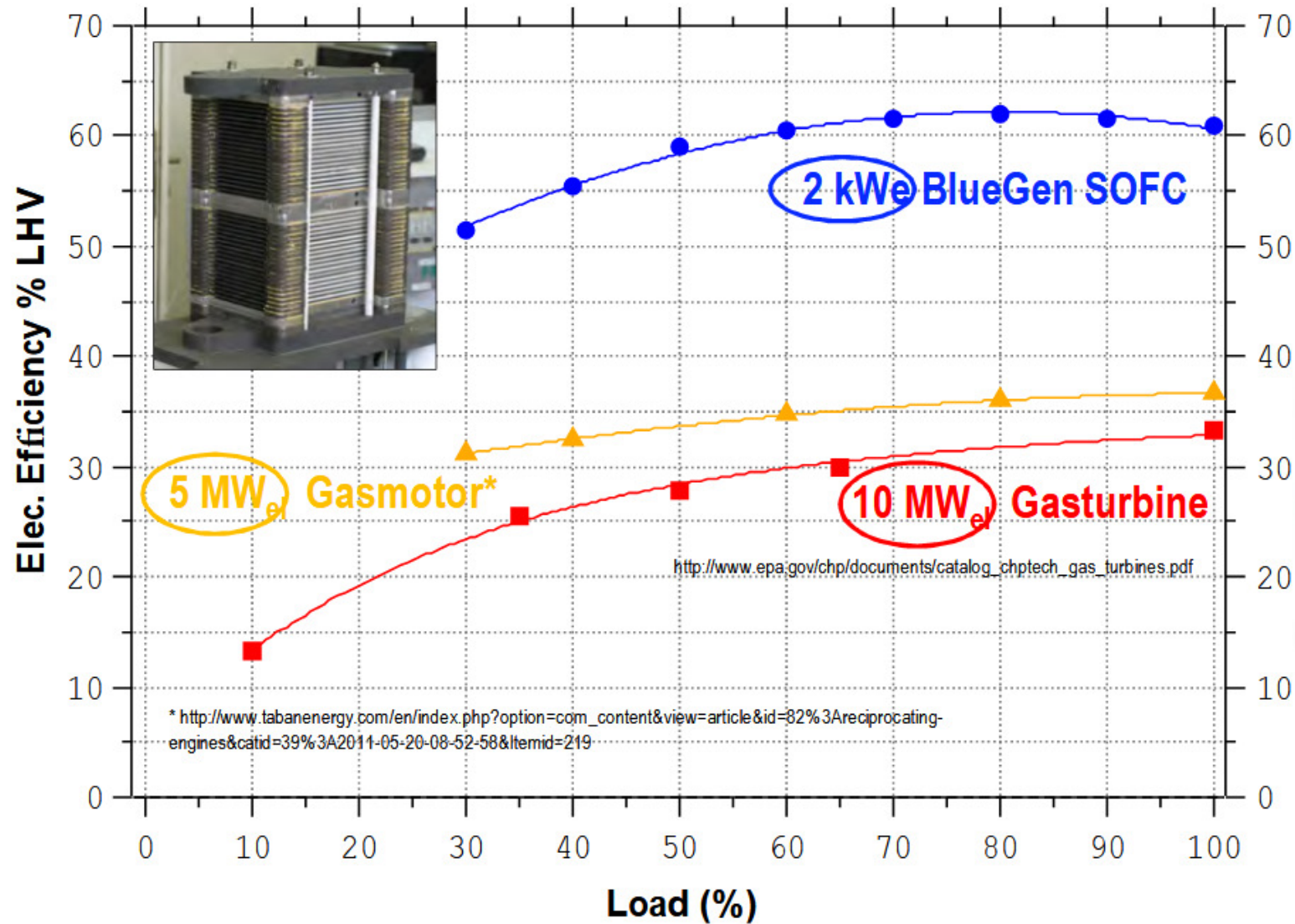
< 45 dBa

+1 °C - +45 °C

-20 °C - +45 °C

SOLIDpower BlueGEN

Wirkungsgradvergleich



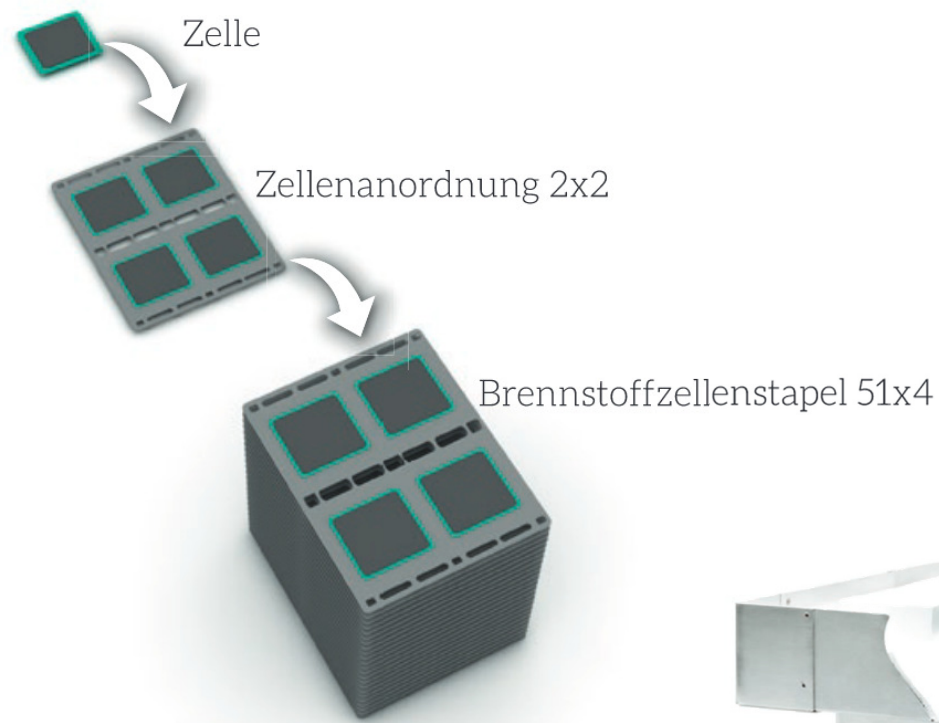
750°C



Zertifiziert:
63% el.eff.
26% therm.



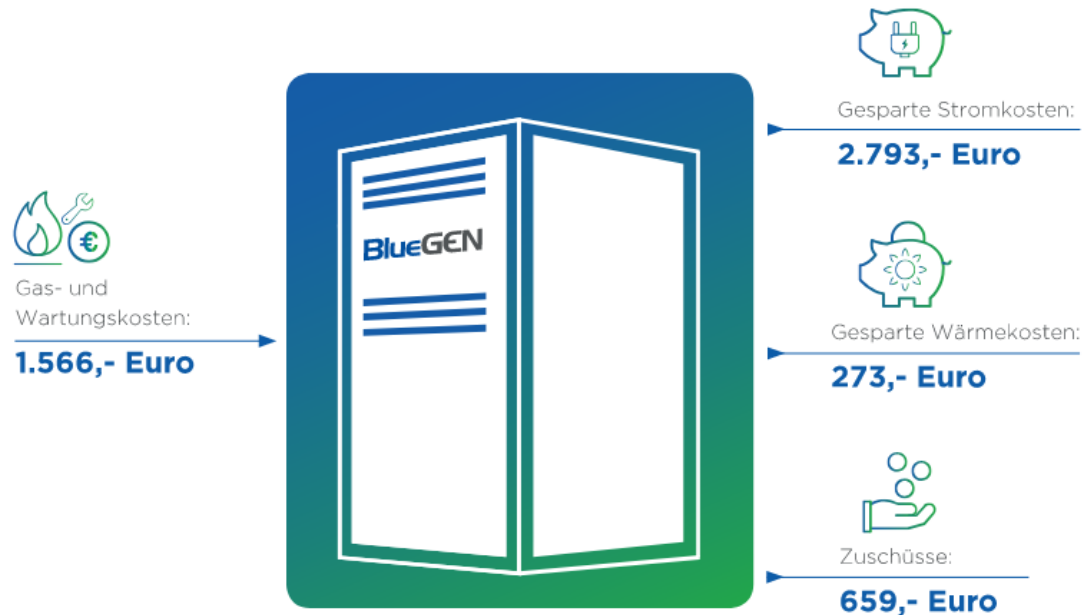
SOLIDpower BlueGEN



Betriebsweise	Ganzjährig (ca. 8.700 Stunden), stromgeführt
Brennstoff	Erdgas, Bioerdgas (Methan)
Brennstoffzellentyp	SOFC (Festoxidbrennstoffzelle)
Brennstoffverbrauch ¹⁾	2,51 kW
Elektrischer Wirkungsgrad ¹⁾ (Leistung)	Bis zu 60 % (1,5 kW)
Thermischer Wirkungsgrad ¹⁾ (Leistung)	Bis zu 25 % (0,6 kW)
Gesamtwirkungsgrad ¹⁾	Bis zu 85 %
Erzeugte elektrische Energie pro Jahr ¹⁾	~ 13.000 kWh _{el}
Erzeugte thermische Energie pro Jahr ¹⁾	~ 5.220 kWh _{th}
Steuerung	Fernüberwachung und Steuerung über das Internet
Gewicht, Größe (H x B x T)	195 kg, 1.010 x 600 x 660 mm
Lärmpegel	< 47 db (A)
Serviceintervall ²⁾	12 Monate
Vollwartungsservice	Ja (120 Monate)

SOLIDpower BlueGEN

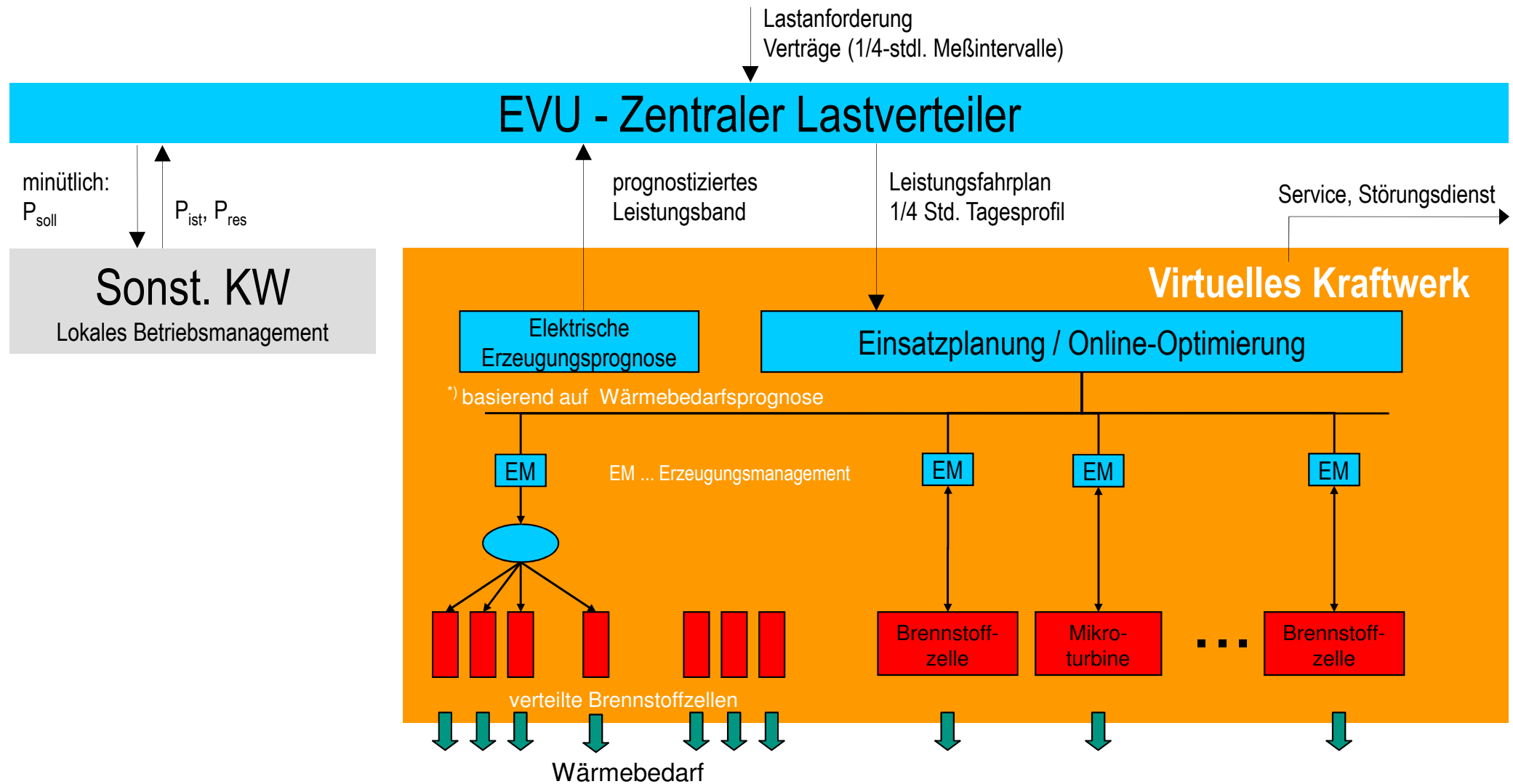
Kosteneinsparung



Energiekosteneinsparung pro Jahr: **2.159,- €***

* Bei vollständiger Nutzung der von BlueGEN bereitgestellten Energie. Annahmen: Strompreis 22 ct/kWh, Gaspreis 4 ct/kWh; alle Angaben sind Netto-Beträge. Preisänderungen vorbehalten. Aus dieser Beispielrechnung entstehen keine Rechte oder Ansprüche. Druckfehler und Irrtümer vorbehalten.
(Stand 02/2017)

IT-Infrastruktur bündelt dezentrale Erzeugungsanlagen zu "Virtuellen Kraftwerken"



Alternative Anwendungsbereiche für Brennstoffzellen Stromversorgung in von Rechenzentren



Alternative Anwendungsbereiche für Brennstoffzellen

Idatech FCS 1200 – mobile, methanolbetriebene PEMFC



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 derating specifications are 17 W/100 meters & 17 W/deg C >30

**DC derating specifications are 15 W/100 meters & 15 W/deg C >30

Powered by **BALLARD™**

Alternative Anwendungsbereiche für Brennstoffzellen Idatech „modulares BSZ-System“

Military Solutions



Army vehicle featuring Idatech scalable power solution.

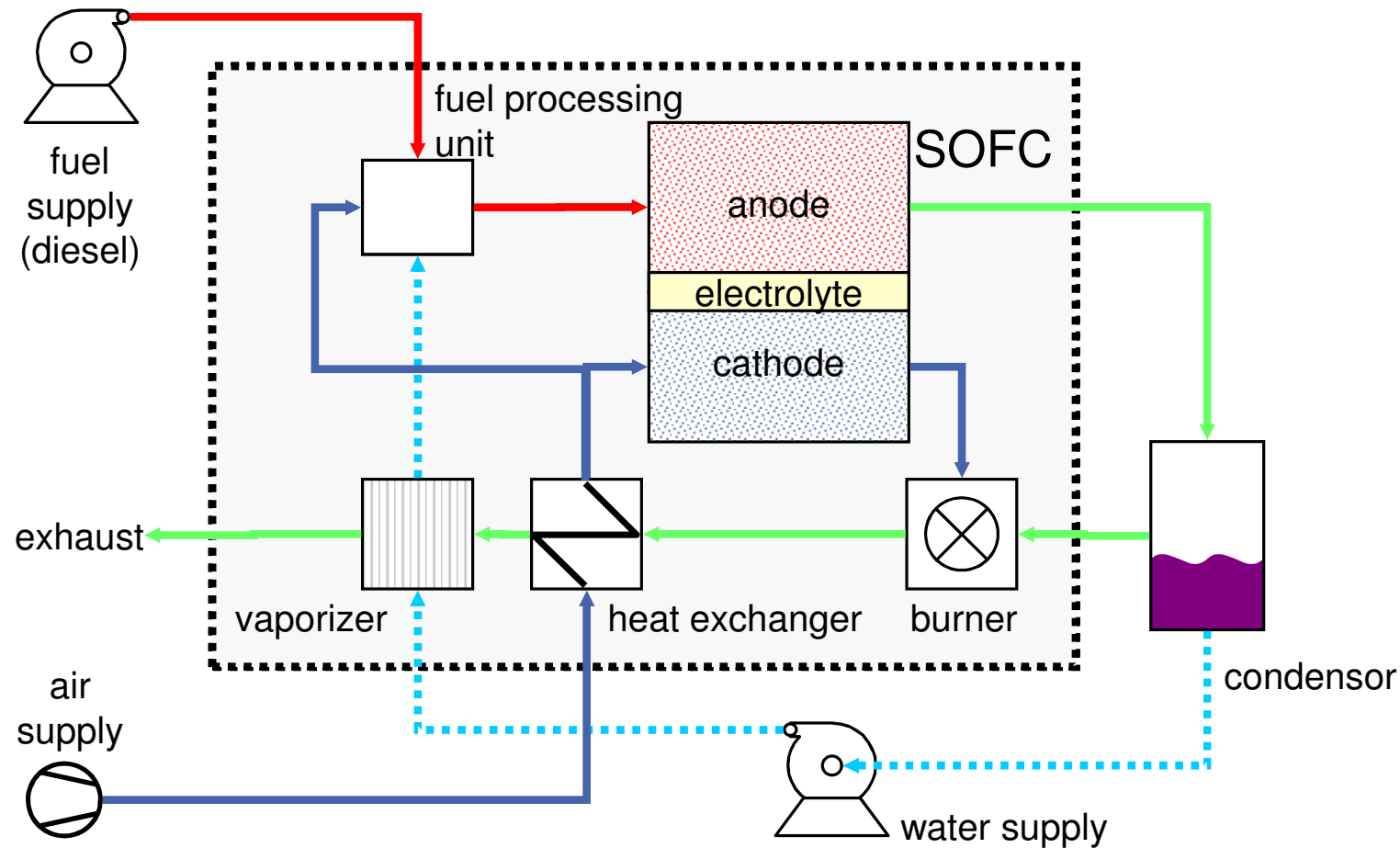
Idatech Modular Fuel Cell Systems

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



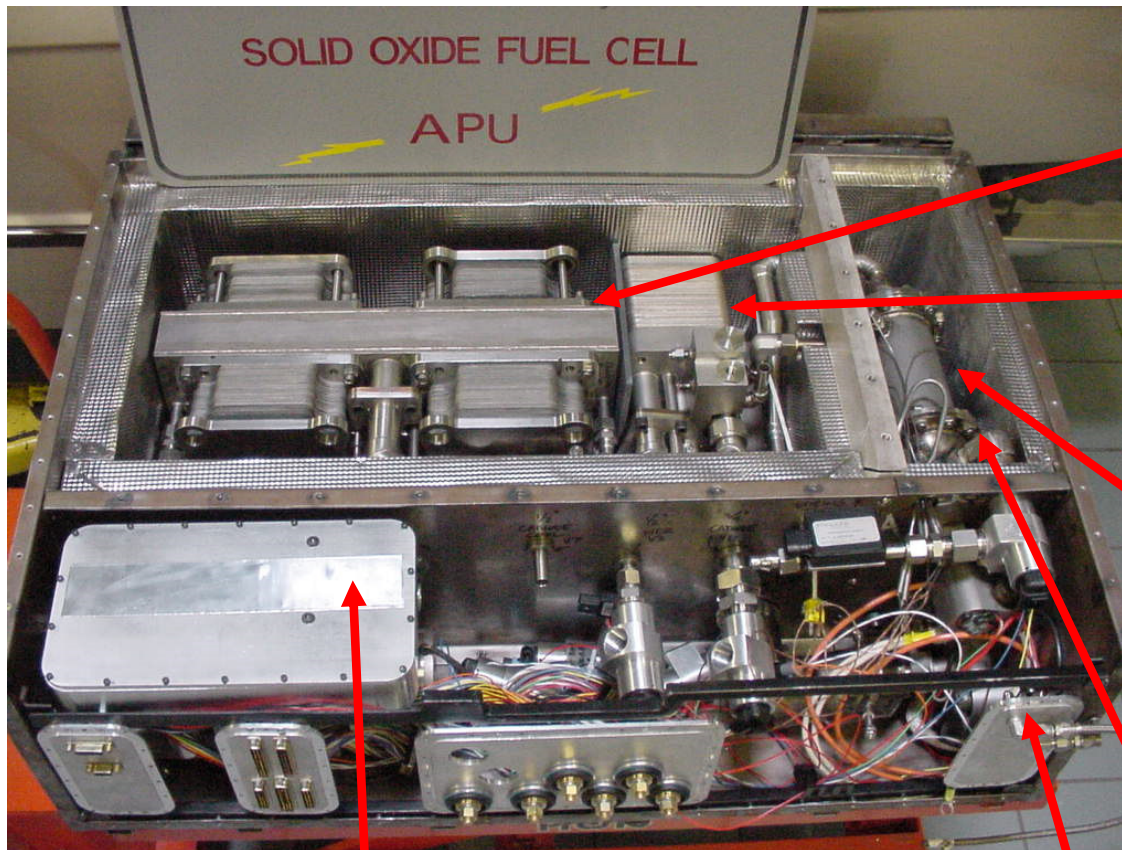
Alternative Anwendungsbereiche für Brennstoffzellen

SOFC-APU



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**

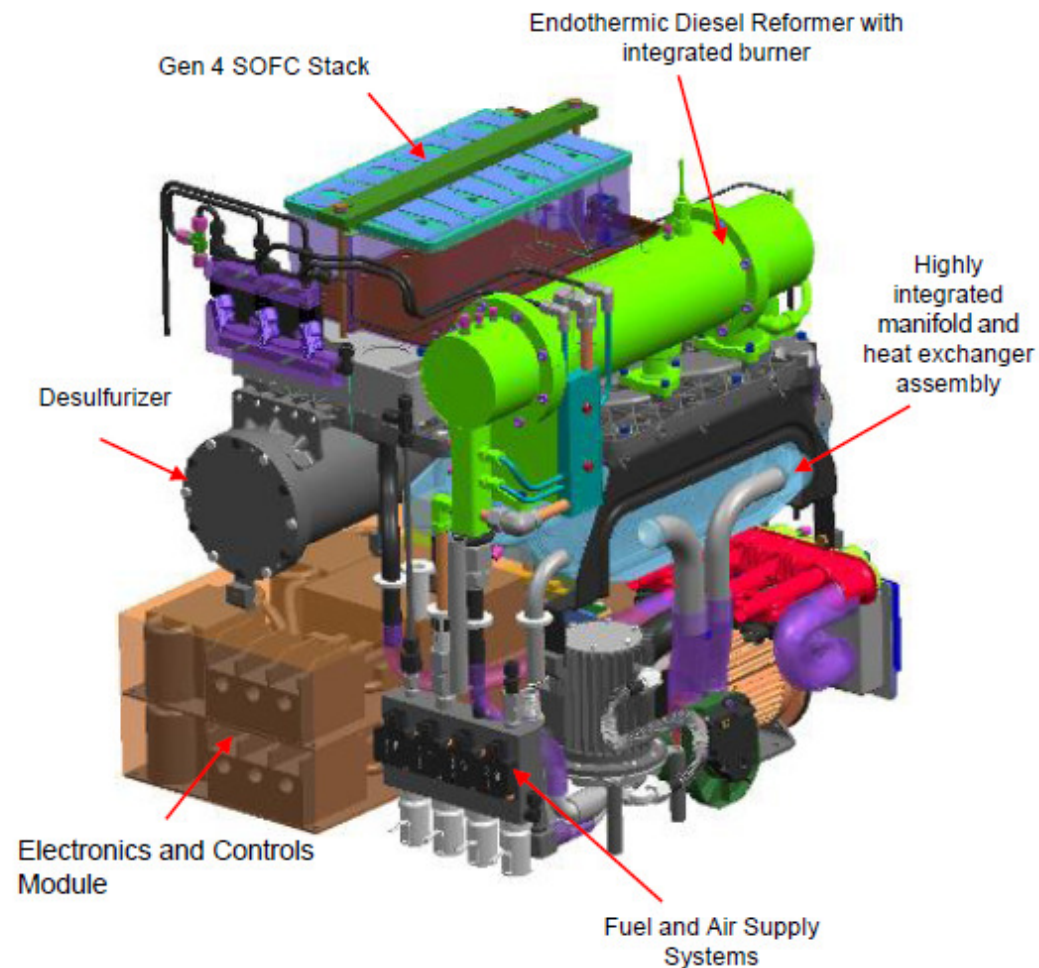
Luft-Gebläse
Reaktionsluft und
Kühlluft

SOFC APU

Delphi DPS 3000D



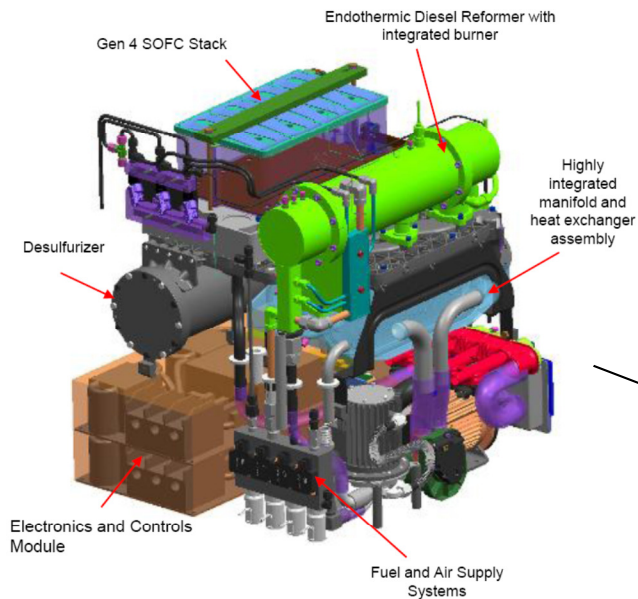
DPS 3000D
3 kW net output power



DELPHI

SOFC APU

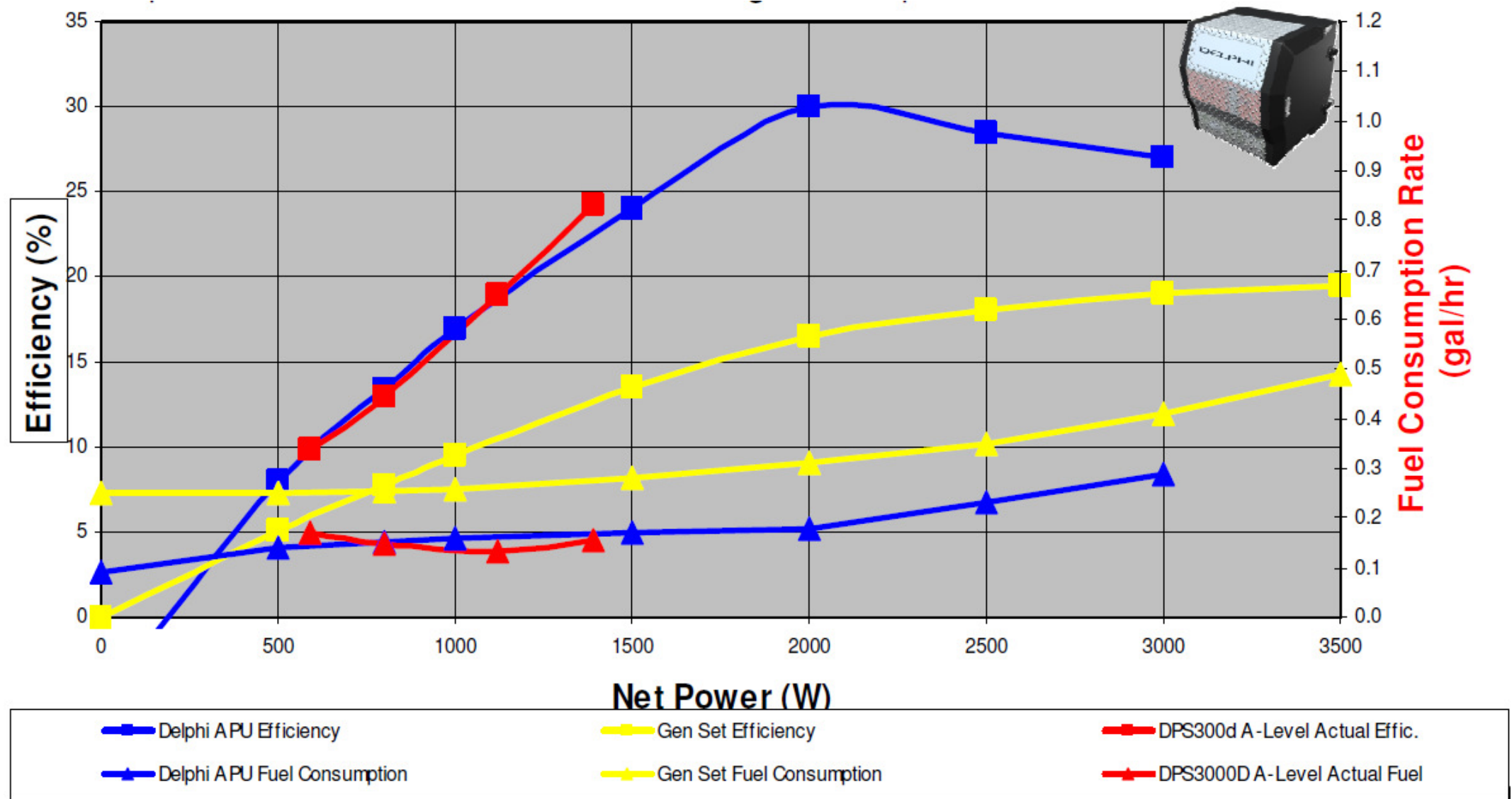
Delphi DPS 3000D



- High quality, reliable power: 110 V_{AC} and/or 12 V_{DC}
- 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_x, less than 0.2 g/kWh
- On-board reforming capability

SOFC APU

Delphi DPS 3000D



TOYOTA FCV "MIRAI"

Overview

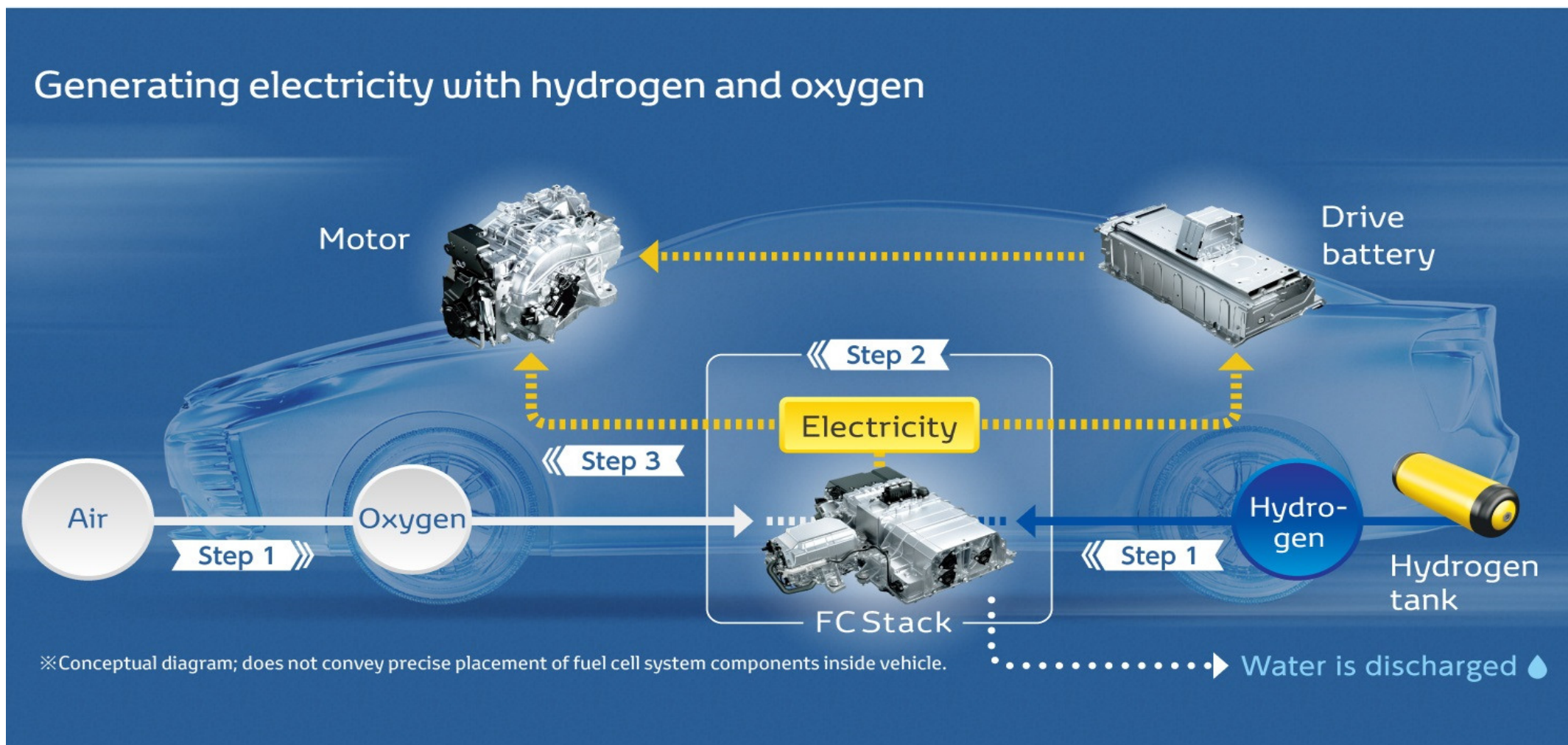


- › Release : 15th/Dec/2014
- › Price : 7.2M Yen incl.Tax
≈ 50 K Euro
- › H2 tank : 700 bars
- › Supply fuel : 3 minutes
- › Battery : NiMH same as Prius
- › Cold start at : -30°C
- › Mileage : 650km (JC08-mode)
- › Motor : 113kW / 154 PS
335Nm
- › Production volume :
 - Japan : 700unit by end of 2015 (target),
Booking is already more than 400units(as
of 16th/Dec/2014)
 - US : 3000unites/year at end of 2017
 - EU : 50-100units/year at 2016
 - Worldwide : Several ten thousands at 202x.

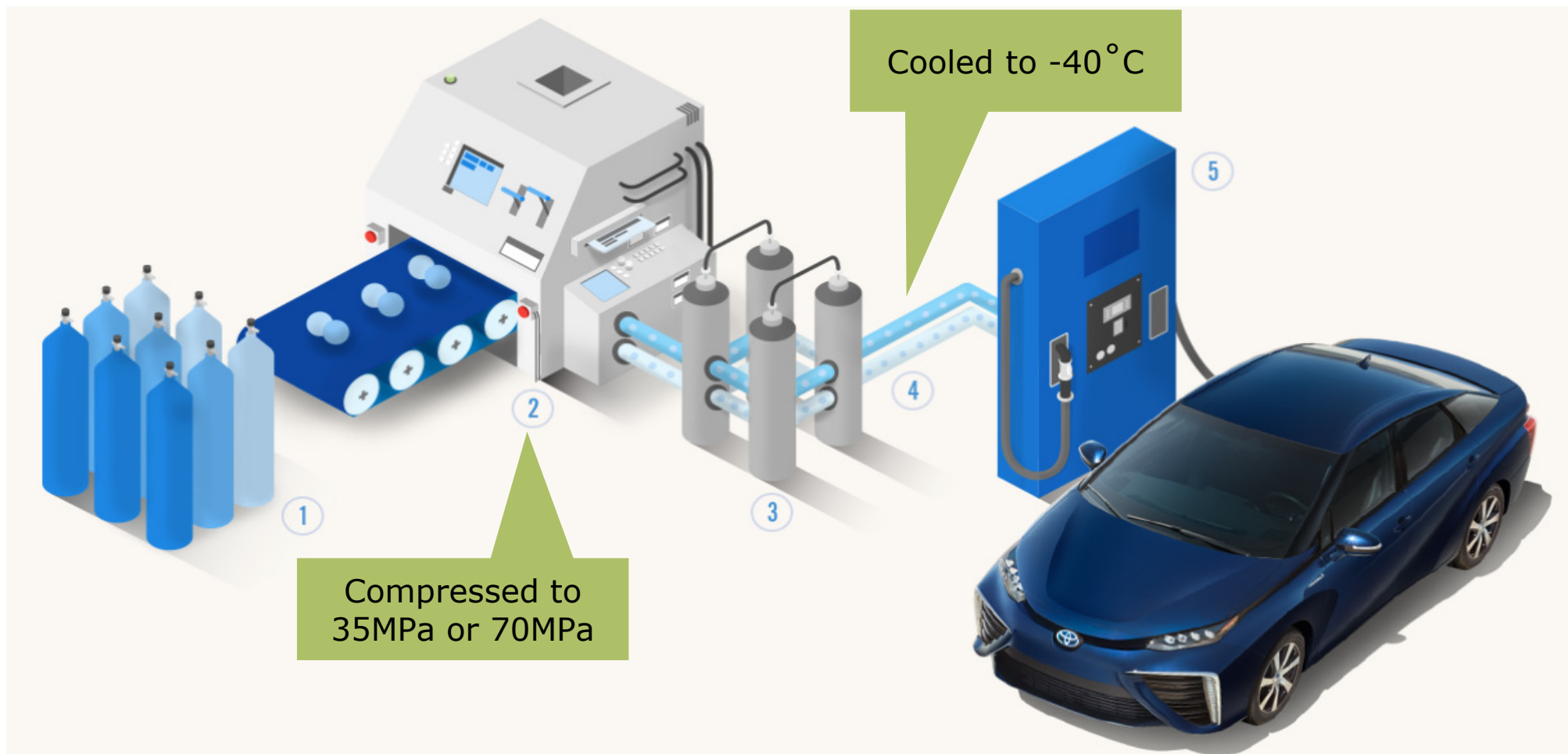


Generating electricity with H₂ and O₂

Generating electricity with hydrogen and oxygen



H2 Fuel station system



1 HYDROGEN SOURCE

Hydrogen is supplied as a compressed gas or a liquid, and is typically stored in bottles known as "cylinder racks," tanks or tube trailers.

2 COMPRESSION

The hydrogen is compressed to H35 or H70.

3 BUFFERS

The pressurized hydrogen is then stored in tubes known as "buffers."

4 EXCHANGER

Before being dispensed, the hydrogen is cooled in a heat exchanger, enabling quick fueling.

5 THE DISPENSER

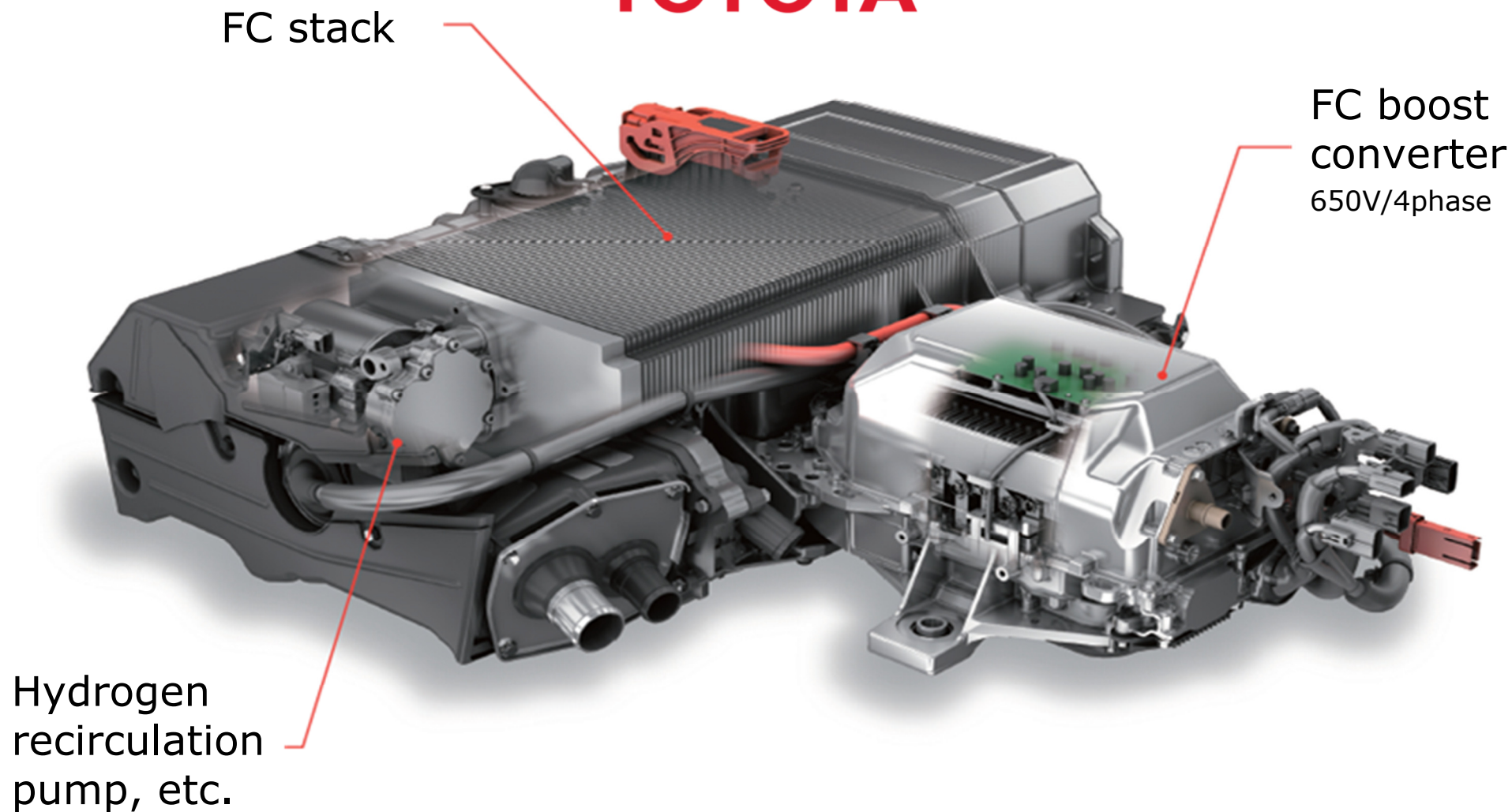
The cooled hydrogen is transferred to the FCV.



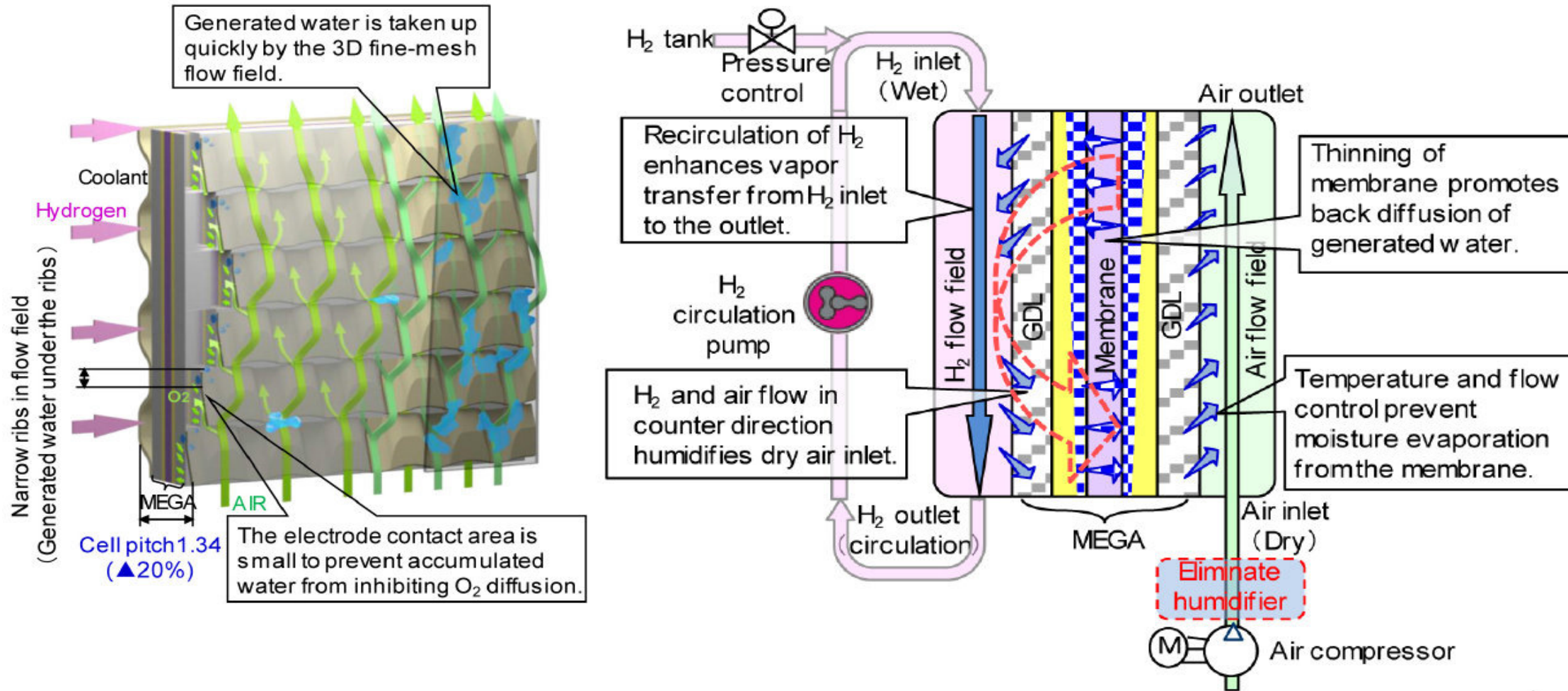
System picture

FC stack and Boost converter

TOYOTA

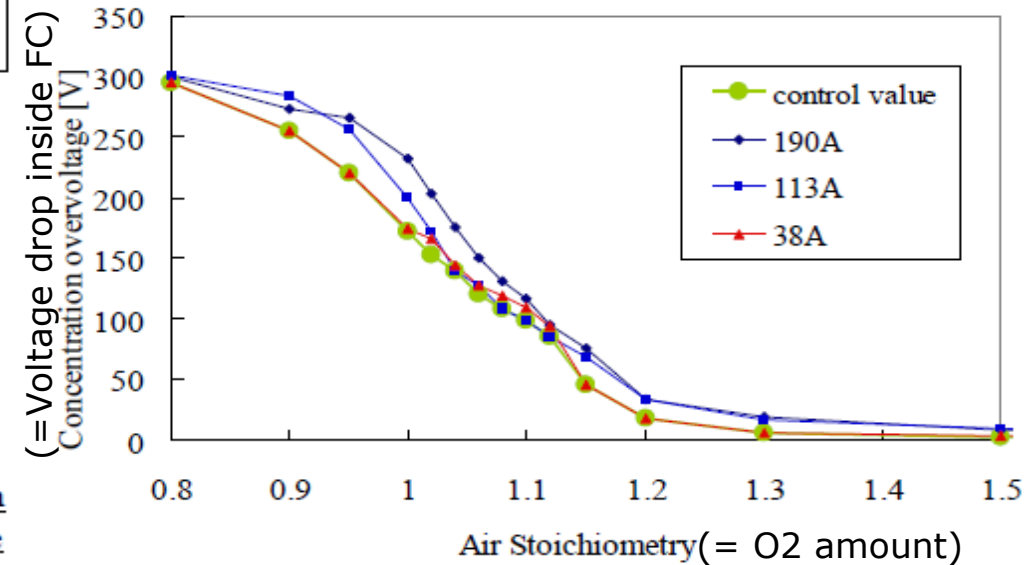
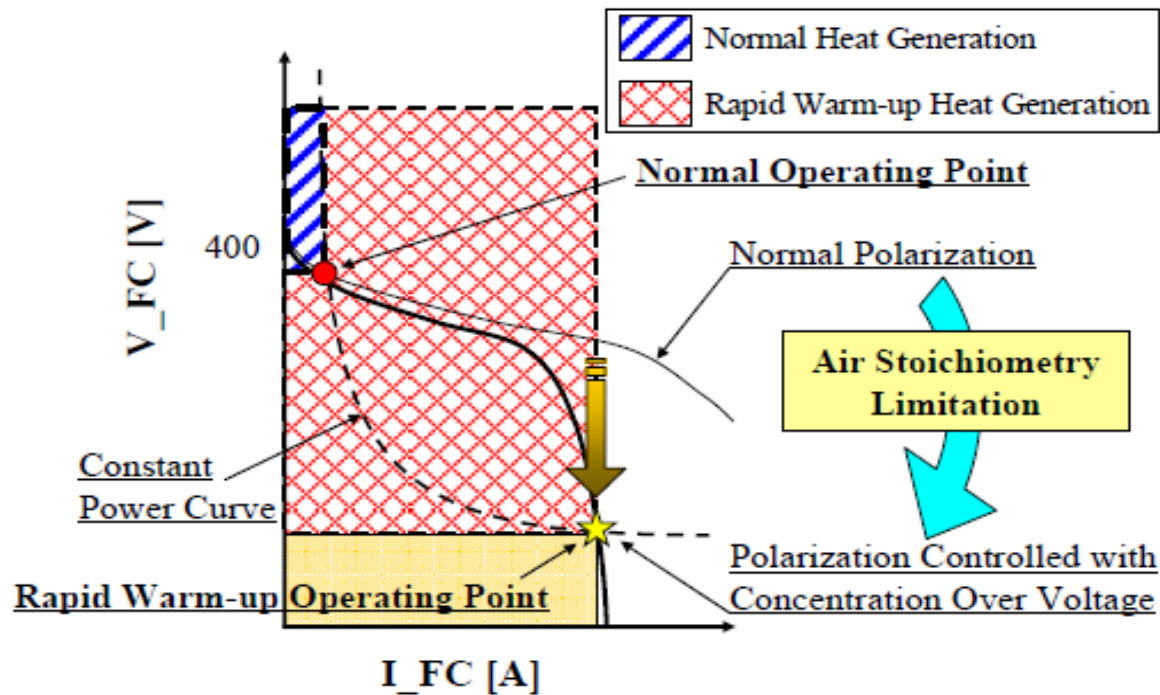


New 3D fine-mesh flow field structure

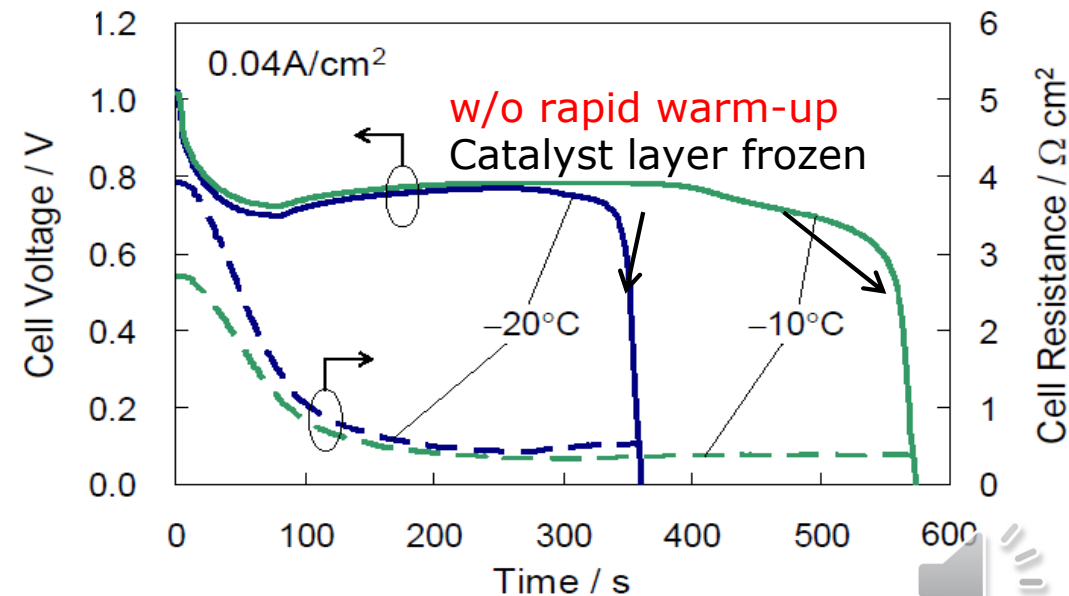


TOYOTA FCV "MIRAI"

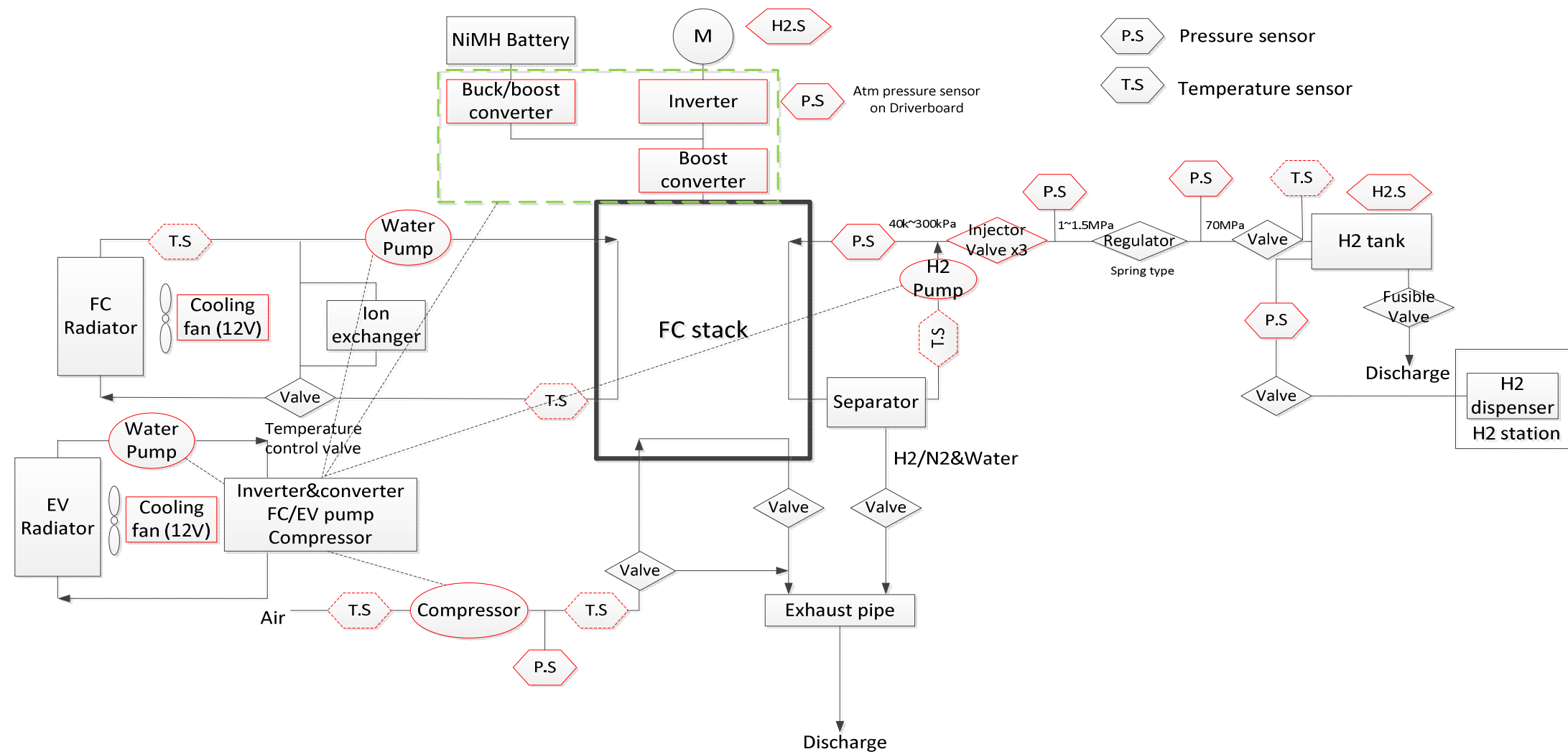
Rapid Warm-up



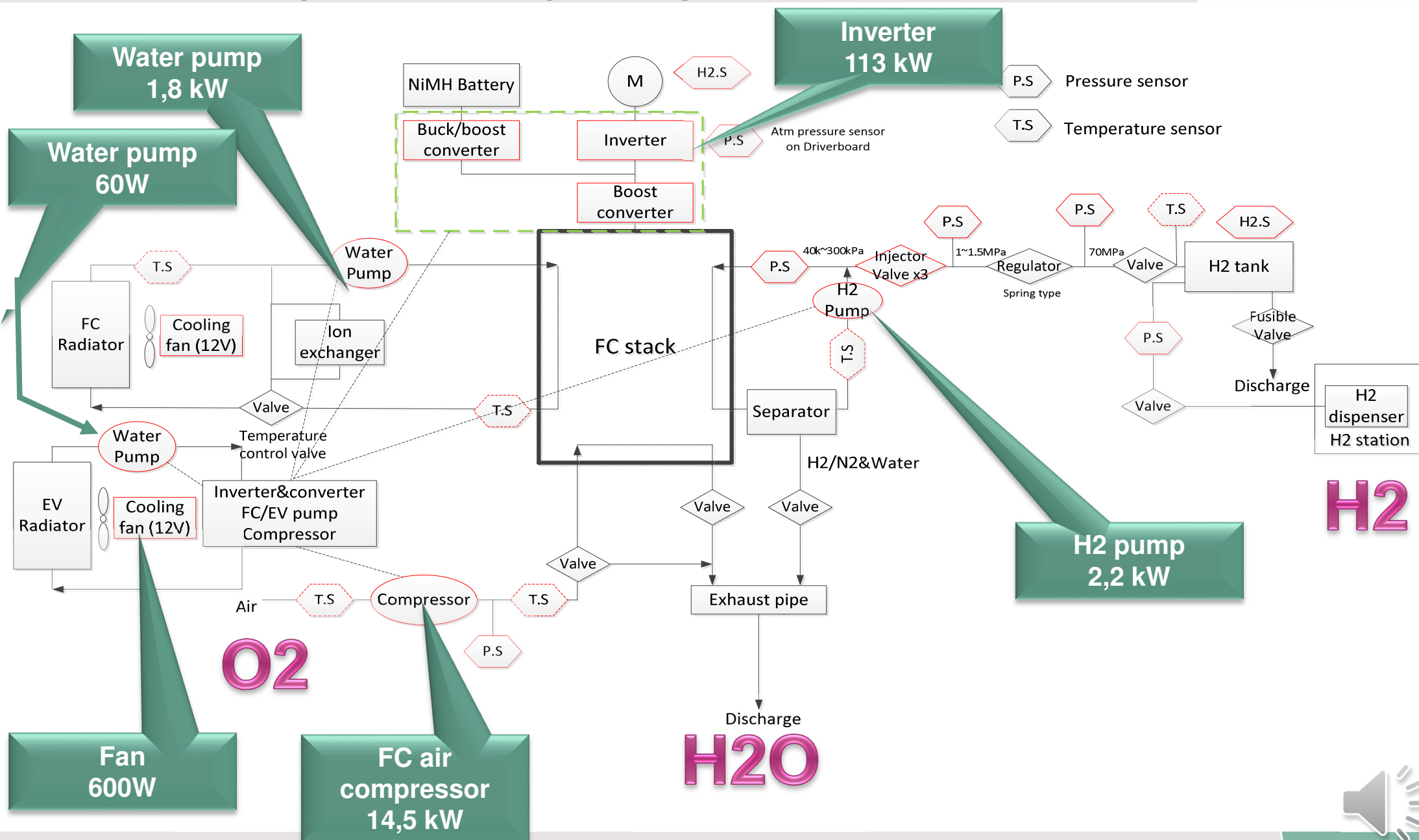
- Operation point is controlled by O₂ amount
- Warm-up by self-heating of FC
- FC can generate electron even at -30degC
- The time FC can work is decided by self-heating time vs freezing time (by amb)
- To achieve rapid warm-up, the thermal capacitance of stack should be as small as possible
- Metal separator instead of Carbon one



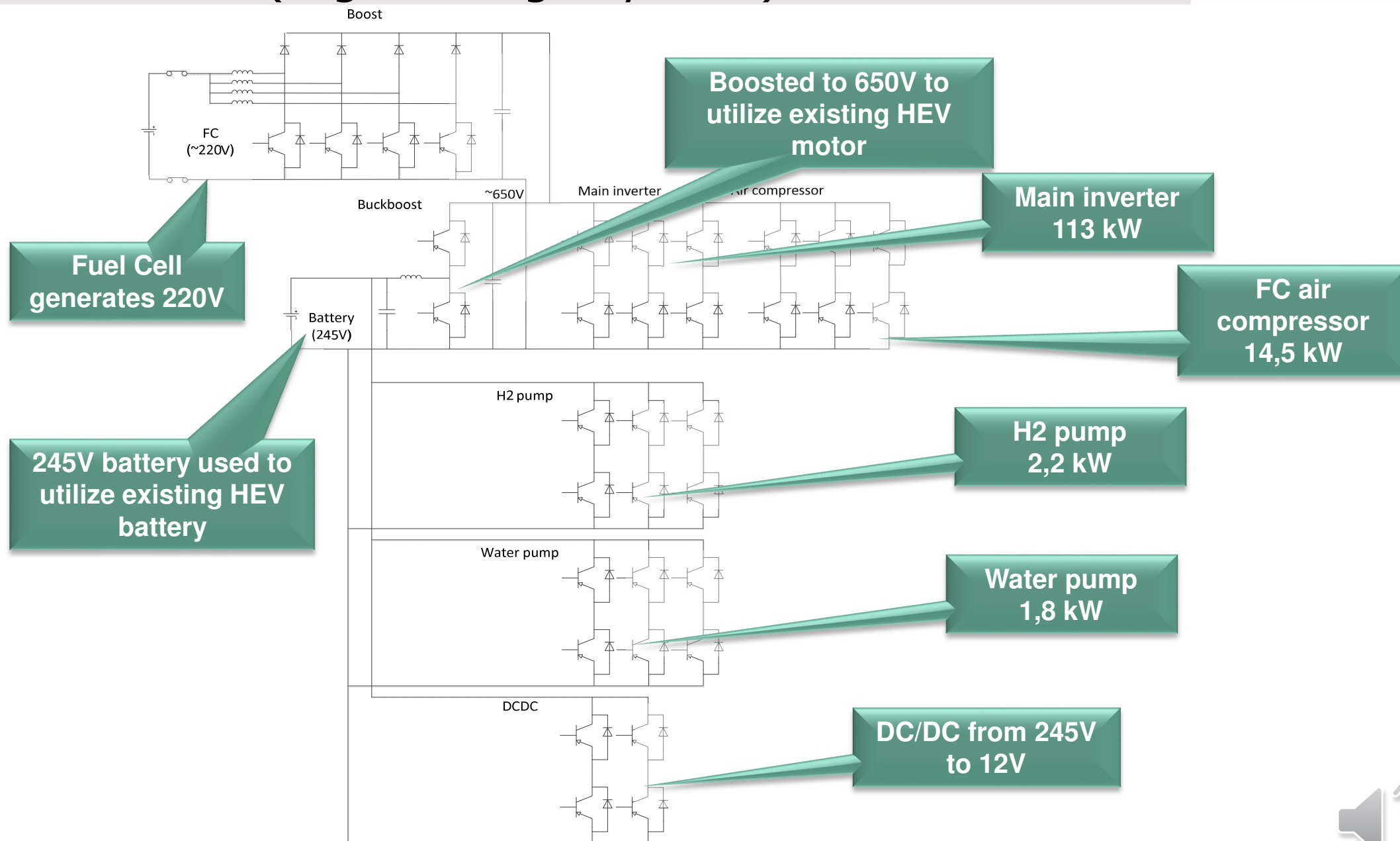
Schematic (Fuel Cell system)



Schematic (Fuel Cell system)



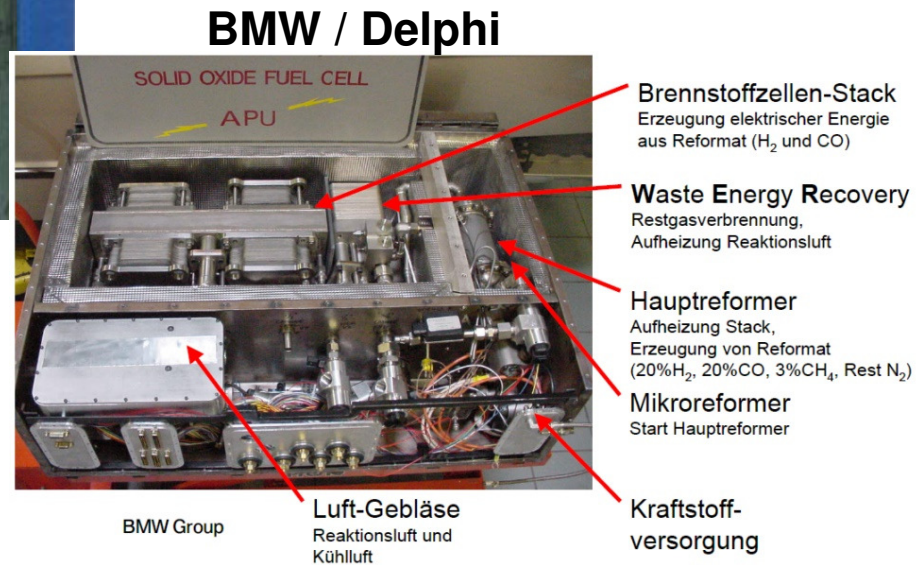
Schematic (High Voltage system)



Stack- und Zellkonzepte für die SOFC



Sulzer Hexis



Siemens-Westinghouse