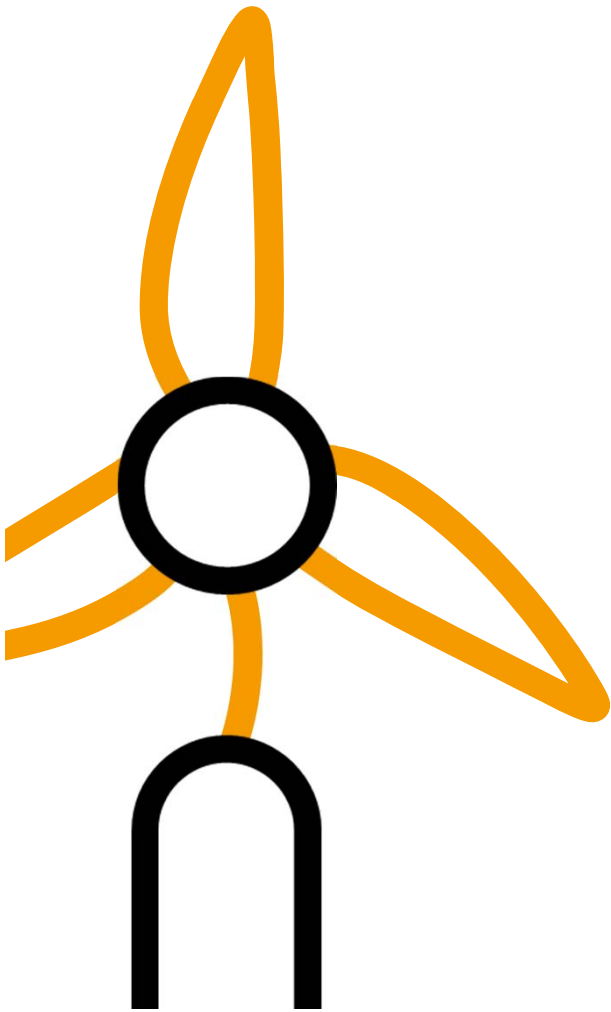




Betriebserfahrungen
mit Brennstoffzellen in
der Hausenergiever-
sorgung
ene.field Workshop ISH

innogy SE · Uwe Dietze · 15 März 2017



1

**Vorstellung innogy und
Anwendungstechnik**

2

**Überblick Brennstoff-
zellenaktivitäten**

3

**Betriebserfahrungen
PEMFC**

4

**Betriebserfahrungen
SOFC**

5

**Betriebserfahrungen
HT-PEMFC**

6

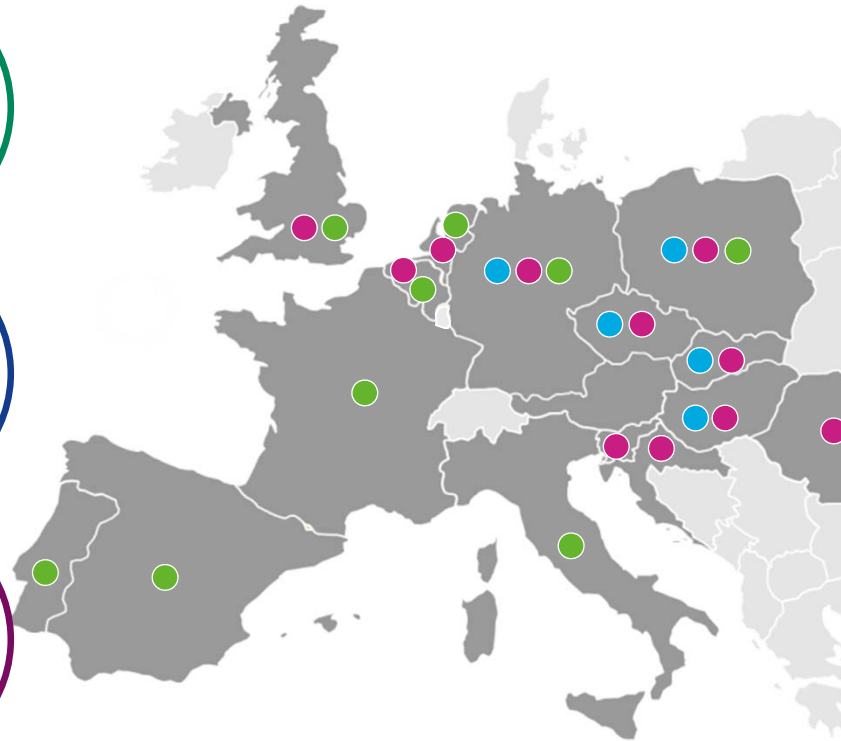
**Bewertung und
Einschätzung**

innogy SE ist ein führendes europäisches Energieunternehmen

#3
weltweit,
Offshore Wind¹

1,5x
Netzlänge –
Entfernung
zum Mond

#1
4x Nr.1
Position
Kundenanzahl²



● Erneuerbare Energien ● Netz und Infrastruktur ● Vertrieb

- ✓ Fokus auf Europa – in Deutschland verankert
- ✓ ~18 Mrd. Euro Marktkapitalisierung – Deutschlands wertvollstes Energieunternehmen
- ✓ Im MDAX notiert (19.12.2016)
- ✓ ~23 Mio. Kunden in Europa
- ✓ 46 Mrd. Euro Umsatz
- ✓ ~40.000 Mitarbeiter
- ✓ ~6,5 Mrd. Euro für Investitionen 2016-2018
- ✓ Größtenteils CO₂-frei
- ✓ Keine Verpflichtungen aus der Atomenergie
- ✓ Vollständig entbundelter Netzbetrieb

¹ Nach installierter Leistung | ² Marktpositionen nach Volumen, nach Kundenanzahl

Quelle: Unternehmenseinschätzung auf Basis von Veröffentlichungen von Konkurrenzunternehmen, Berichten der Regulierungsstellen und Forschungsberichten

Anwendungstechnik neue Technologien Aufgaben und Themengebiete

Anwendungsbereiche und Projekte

- Technologiebewertung Hausenergiesysteme
- PV und Batteriespeicher
- Eisspeicher, Kleinwindanlagen, Wärmepumpen, Mikro-KWK usw.
- Simulationsberechnungen
- Betrieb Technikumshalle mit Prüfständen



- Virtuelle Kraftwerke, Auf- und Ausbau der SmartPool Plattform
- KWK für Industrie und Gewerbe
- Einbindung erneuerbarer Energie in Fernwärmesysteme
- ORC-Anlagen für Biogas BHKW
- Power to Heat

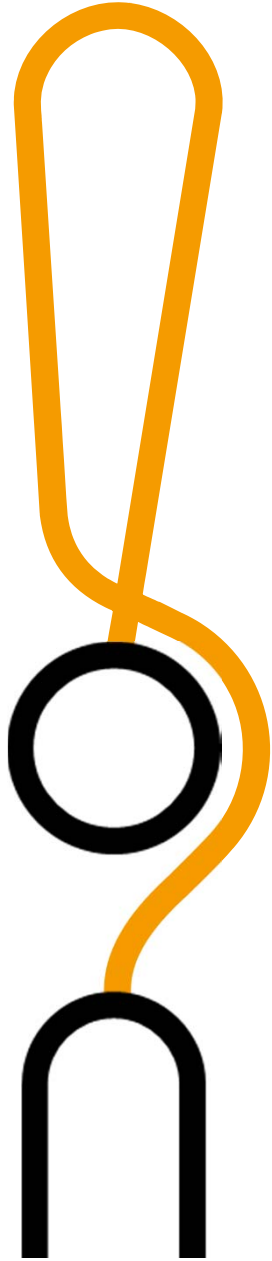


Aufgaben der Anwendungstechnik

- Technische Produktentwicklung
- Technologiebewertung
- Vertriebsunterstützung

Ergebnisse

- Operative Produktentwicklung mit Vertriebseinheiten
- Abwicklung von Feldtests und Demoprojekten
- Gremien- und Öffentlichkeitsarbeit



2.

Überblick Brennstoffzellen- aktivitäten

Brennstoffzellenaktivitäten bei innogy im stationären Anwendungsbereich

- Die Brennstoffzellenaktivitäten bei der innogy gehen zurück auf das Jahr 1992 mit dem Test einer 200 kW PAFC Anlage aus den USA
- Erste Tests im Bereich der Hausenergieversorgung begannen 1998
- Tests verschiedener Brennstoffzellentypen (PAFC, PEMFC, SOFC, MCFC) und verschiedener Leistungsbereiche (300 W bis 300 kW elektrischer Leistung)
- Tests verschiedener Systeme von verschiedenen Herstellern aus Europa, Nordamerika und Asien
- Teilweise Tests mehrerer Produktversionen eines Herstellers
- Umfang der Aktivitäten:
 - Prüfstanduntersuchungen in der Technikumshalle in Duisburg
 - Feldtestaktivitäten mit größeren Stückzahlen bei Endkunden
 - Kommerzielle Anwendungen (im Bereich 200 kW PAFC)
- Die nachfolgenden Ausführungen zeigen einen Auszug der Untersuchungen und Ergebnisse aus noch laufenden bzw. erst kürzlich beendeten Projekten, wobei es sich vornehmlich aus Erfahrungen mit einzelnen Anlagen handelt

Überblick über die wesentlichen Brennstoffzellenaktivitäten in der Hausenergieversorgung



1998 - 2000:
HEXIS
1 kW SOFC



2001 - 2006:
18 x HEXIS HXS 1000
1 kW SOFC



2004 - 2007:
18 x IdaTech
4,6 kW PEMFC



2008 - 2012:
HEXIS Galileo 1000 N
1 kW SOFC



2008 - 2009:
Hyteon CHP500
0,5 kW PEMFC



2010 - 2013:
7 x Hyteon CHP850
1 kW PEMFC



2012 - 2016:
Toshiba
0,7 kW PEMFC



2012 - 2016:
HEXIS Galileo 1000 N
1 kW SOFC

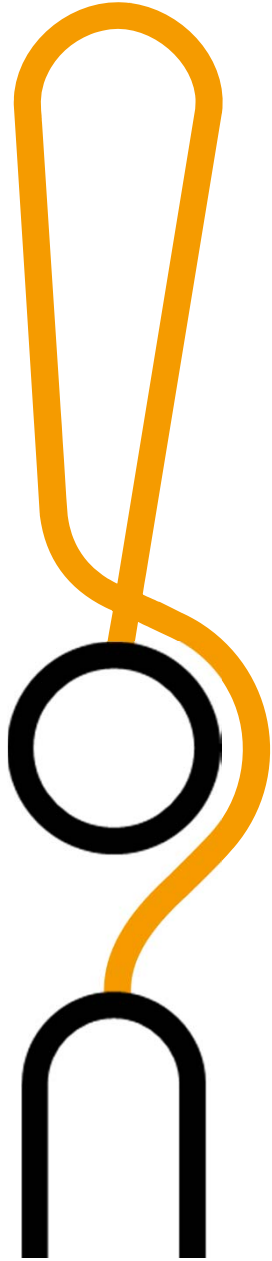


seit 2014:
Elcore
0,3 kW HT-PEMFC



seit 2014:
Viessmann
Vitovalor 360-P
0,75 kW PEMFC

Aktuelle Projekte, die im Folgenden näher betrachtet werden.



3.

Betriebserfahrungen mit PEMFC

11/2012 – 01/2016 Toshiba

07/2014 – 02/2017 Panasonic

Toshiba PEM Brennstoffzelle (japanische Ausführung)

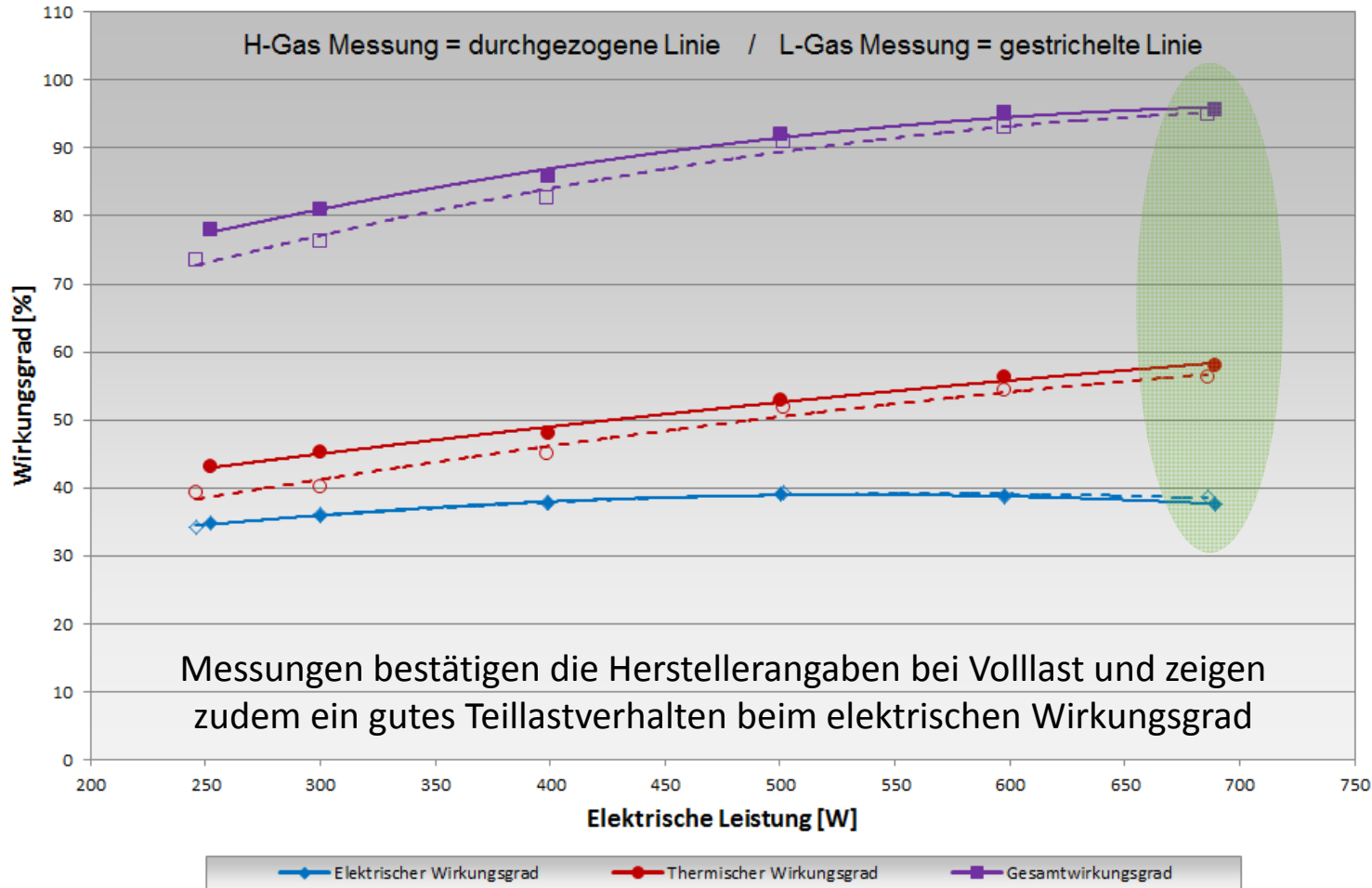
Technische Daten (Herstellerangaben 2012)

- Netzanschluss: 100 VAC, 50 Hz (Anbindung über Trafo)
- Brennstoff: Erdgas
- Aufstellbedingungen: Außenaufstellung
- Netzanschluss: Netzparallelbetrieb
- Elektrische Leistung: 250 bis 700 W
- Thermische Leistung: ca. 1.000 W
- Heizsystem VL max.: >60°C
- Elektrischer Wirkungsgrad: 38,5 % (H_i)
- Gesamtwirkungsgrad: 94 %
- Anfahrzeit: < 60 Minuten
- Lebensdauer Zellenstapel: 80.000 Stunden
- Schalldruckpegel: 38 dB(A) in 1 m Abstand
- Abmessungen (BxHxT): 780 x 300 x 1000 mm Brennstoffzelle
- Abmessungen (BxHxT): 750 x 440 x 1760 mm Speicher & ZK
- Gewicht: 94 kg BZ / 100 kg Speicher & ZK
- Speicher: 200 l (japanische Systemlösung)

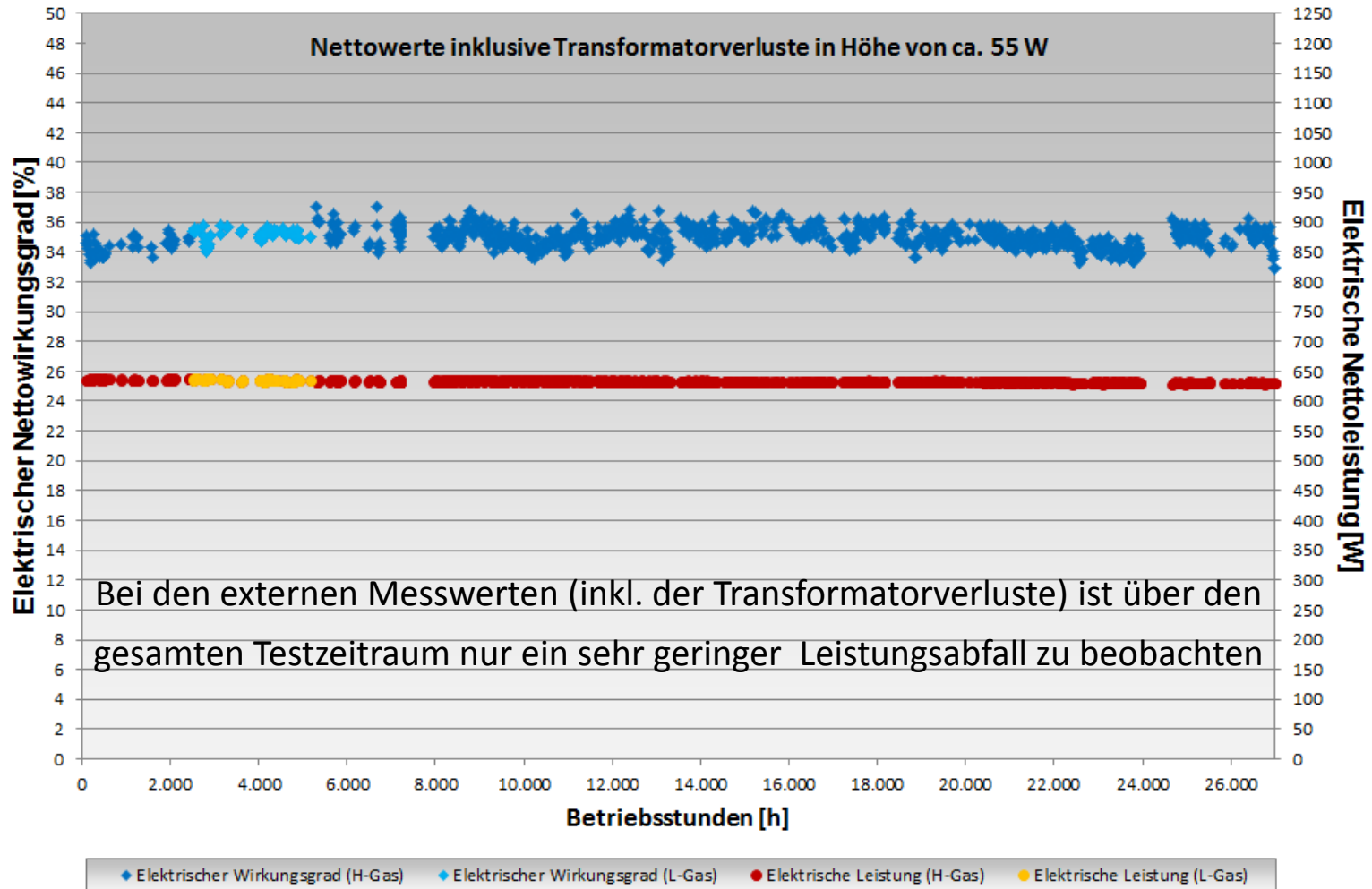
Toshiba PEM Brennstoffzelle (japanische Ausführung) Prüfstandaufbau Technikumshalle Duisburg



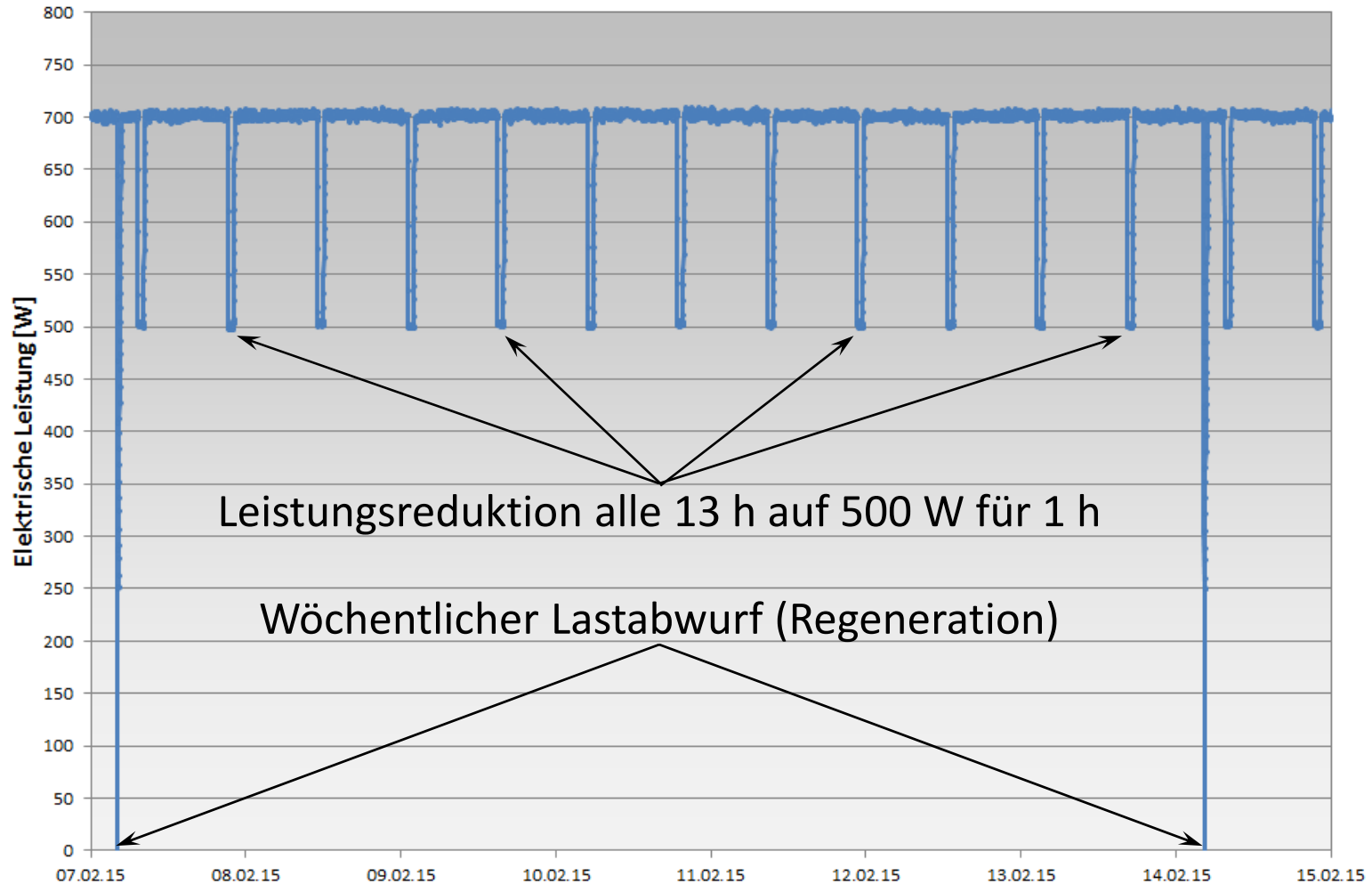
Toshiba PEM Brennstoffzelle (japanische Ausführung) Wirkungsgrade für H- und L-Gas Betrieb (Prüfstand)



Toshiba PEM Brennstoffzelle (japanische Ausführung) Leistungsverlauf bei Volllast



Toshiba PEM Brennstoffzelle (japanische Ausführung) Betriebscharakteristik (1. Woche)



Toshiba PEM Brennstoffzelle (japanische Ausführung) Wesentliche Betriebserfahrungen

Problemloser und störungsfreier
Betrieb der Anlage sowohl mit H-
als auch mit L-Gas

Herstellerangaben konnten allesamt
bestätigt werden

Gute Wirkungsgrade für PEMFC

Gutes Modulationsverhalten und
äußerst geringe Degradation

Anlagenbetrieb war auf
Rücklauftemperaturen
unter 40°C beschränkt

**Keinerlei Störung oder Defekte über die
gesamte Betriebszeit**

**Lediglich die Luftfilter wurden während
des Testbetriebes gewechselt**

Inbetriebnahme:	07.11.2012
Betriebsende:	08.01.2016
Betriebsstunden/Starts:	27.031 h / 48
Anzahl Störungen/Defekte:	0 / 0
Nutzungsgrad el./ges.:	38 % / 91 %
Eigenverbrauch Strom:	100 %

Anmerkungen:

Gerät stand nur auf Leihbasis zur
Verfügung und wurde nach etwas über
drei Jahren nach Japan zurück-gesendet

Markteinführung in Japan bereits 2009
erfolgt

In Japan ca. 90.000 verkaufte Geräte

Viessmann Vitovalor 300-P PEM Brennstoffzelle

Technische Daten (Herstellerangaben 2014)

- Netzanschluss: 230 VAC, 50 Hz
- Brennstoff: Erdgas E
- Aufstellbedingungen: Innenaufstellung
- Netzanschluss: Netzparallelbetrieb
- Elektrische Leistung: 750 W
- Thermische Leistung: 1.000 W
- Leistung Zusatzkessel: 5,5-19 kW (Warmwasser 30 kW)
- Vorlauftemperatur BZ: 67°C
- Elektrischer Wirkungsgrad: 37 % (H_i)
- Gesamtwirkungsgrad: 90 % (H_i), bei 30°C RL-Temp.
- Schalleistungspegel: < 49 dB(A)
- Puffer- und TWW-Speicher: 170 bzw. 46 l
- Abmessungen (BxHxT):
BZ: 480 x 1.667 x 516 mm
ZK: 600 x 1.932 x 595 mm
- Gewicht BZ / ZK: 125 kg / 165 k

Viessmann Vitovalor 300-P PEM Brennstoffzelle Prüfstandtest Technikumshalle Duisburg



Viessmann Vitovalor 300-P PEM Brennstoffzelle Praxistest Saerbeck - Objekt- und Systemdaten



Objektdaten:

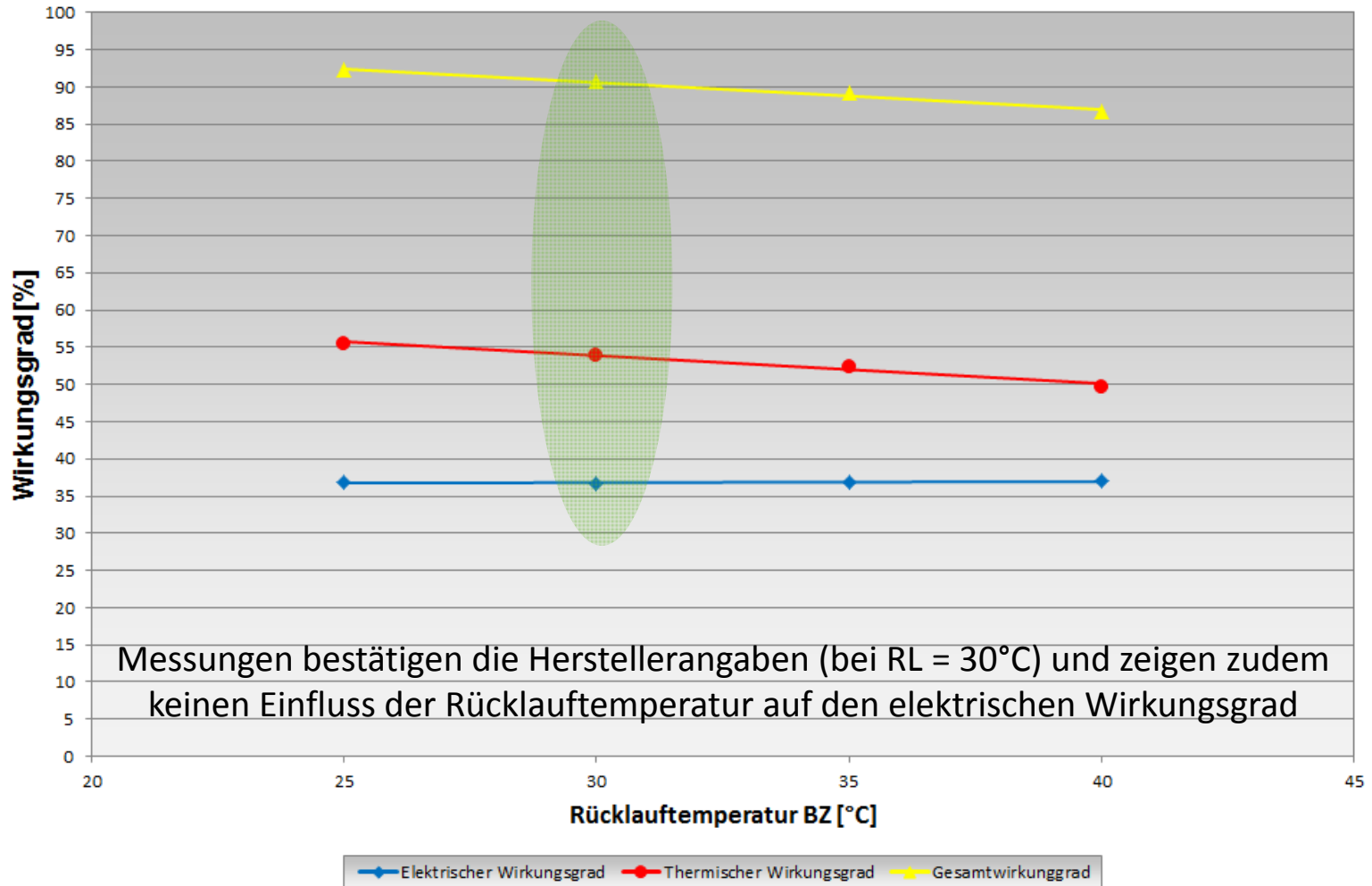
- Standort: Saerbeck
- Baujahr: 1998
- Objekttyp: Einfamilienhaus
- Beheizte Fläche: 167 m²
- Heizungssystem: Fußboden- und Radiatorheizung
- Bewohner: 4
- Heizlast: ca. 20 kW

Heizsystem:

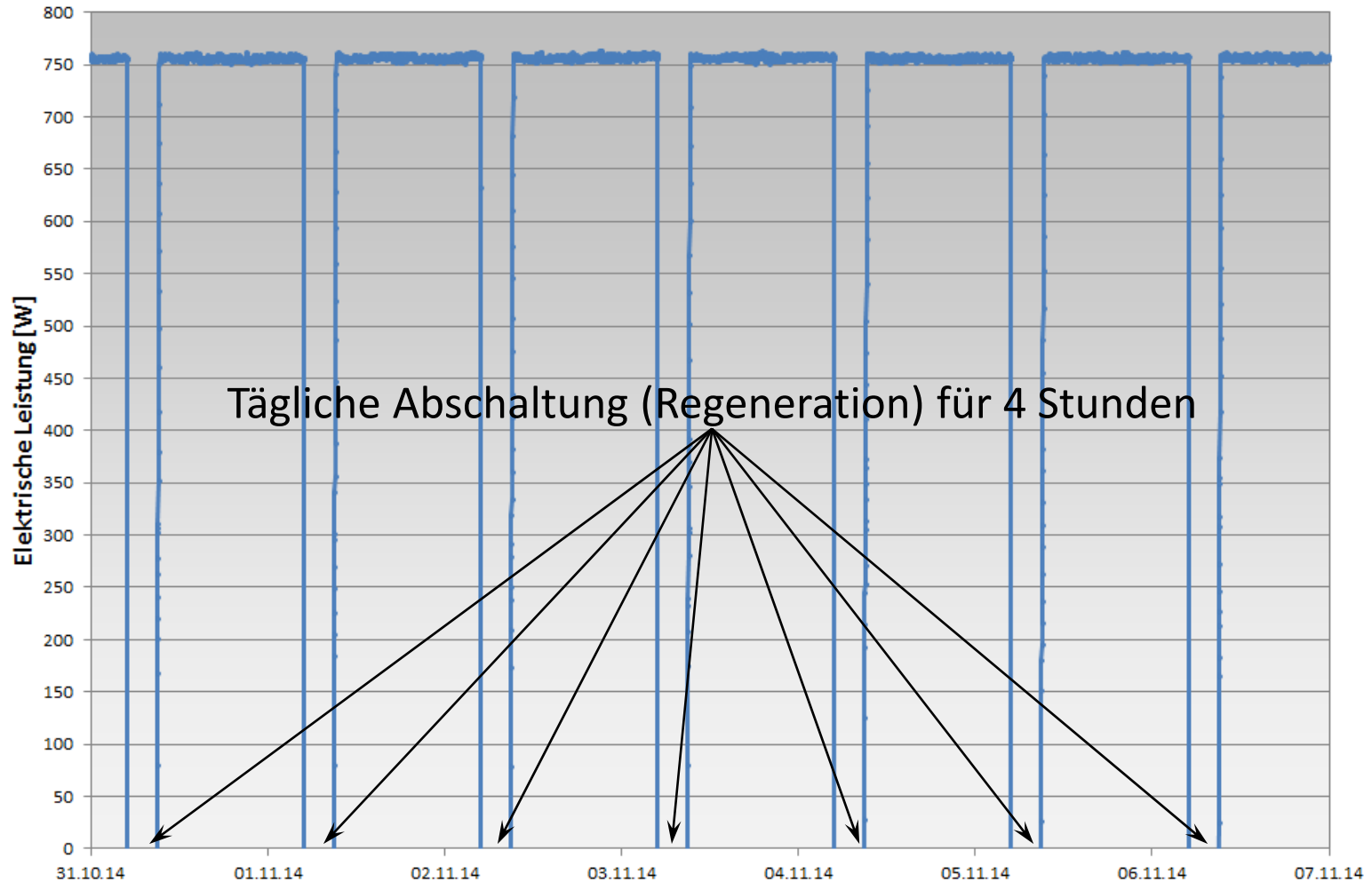
- Brennstoffzelle: Viessmann Vitovalor 300-P
- Zusatzkessel: 19 kW (30 kW Booster für WW)
- Pufferspeicher: 170 l
- TWW-Speicher: 46 l
- Zirkulation: Ja
- Aufstellort: Keller
- Inbetriebnahme: ZB: 04.09.2014 BZ: 10.09.2014
- Status: In Betrieb (Stand 01.03.2017)
- Betriebsst. / Starts: 12.439 h / 787



Viessmann Vitovalor 300-P PEM Brennstoffzelle Wirkungsgrade H-Gas Betrieb (Prüfstand)

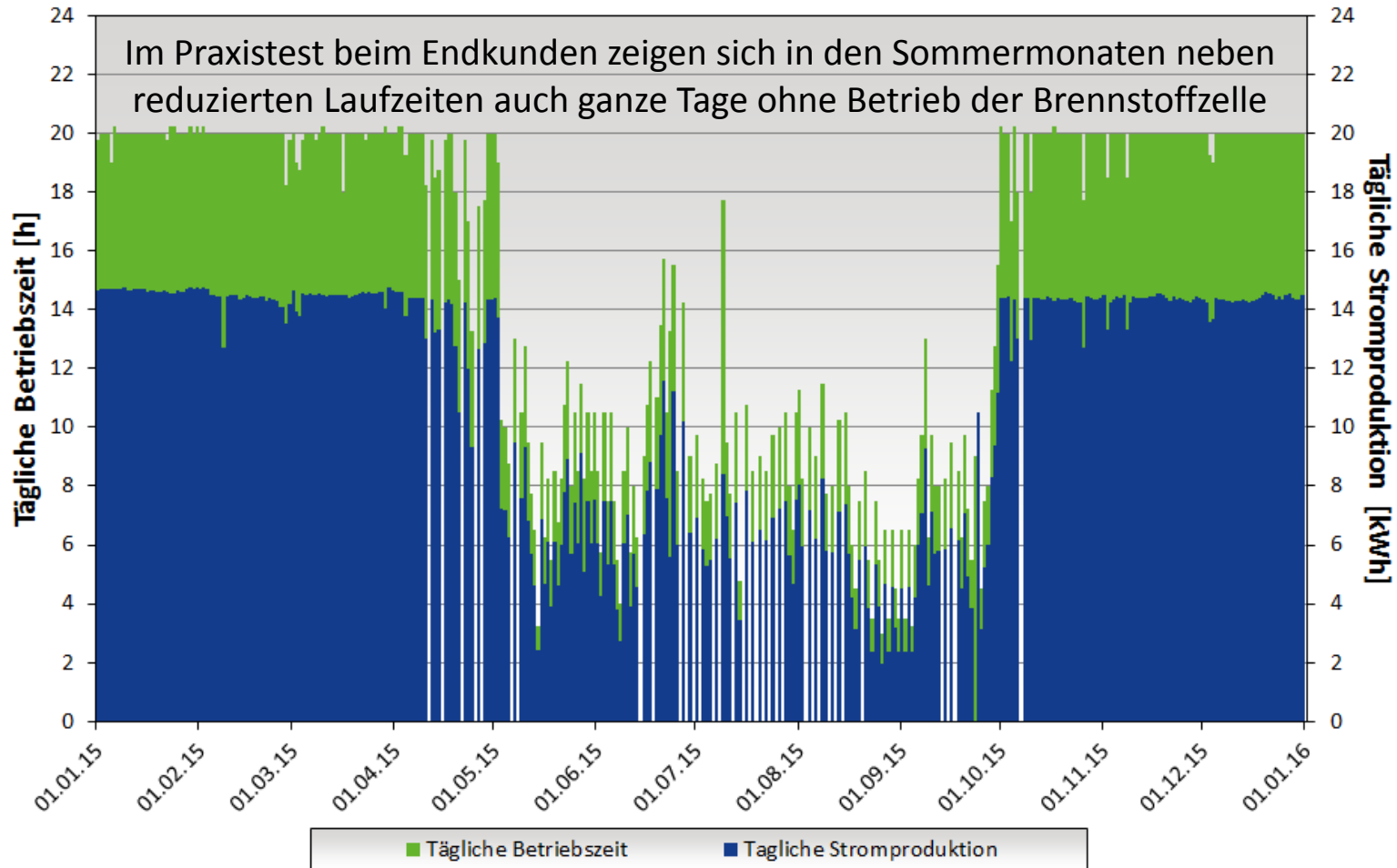


Viessmann Vitovalor 300-P PEM Brennstoffzelle Betriebscharakteristik (1. Woche)



Viessmann Vitovalor 300-P PEM Brennstoffzelle

Tägliche Betriebsstunden & Stromproduktion



Viessmann Vitovalor 300-P PEM Brennstoffzelle

Wesentliche Betriebserfahrungen

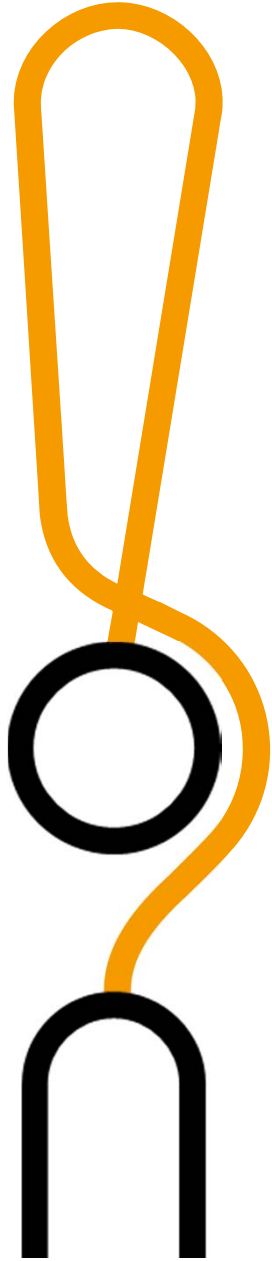
Problemloser und fast störungsfreier Betrieb der beiden Anlagen
Herstellerangaben konnten allesamt bestätigt werden
Gute Wirkungsgrade für PEMFC
Sehr geringe Degradation

Anmerkungen:
Markteinführung in Japan bereits 2009 erfolgt
In Japan ca. 90.000 verkaufte Geräte und 2017 Einführung der fünften Gerätegeneration

Bisher nur ein Defekt im Praxistest (defektes Ventil) und eine Störung (undichte Schraubenverbindung) aufgetreten

Tägliche Regenerationsphase von vier Stunden
Anlagenbetrieb ist auf Rücklauftemperaturen unter 46°C beschränkt

	Prüfstand:	Praxistest:
Inbetriebnahme:	01.07.2014	10.09.2014
Betriebsstunden/Starts:	18.567 h / 952	12.439 h / 78
Anzahl Störungen/Defekte:	0/ 0	1/1
Nutzungsgrad el./ges.:	36 % / 90 %	35 % / 88 %
Eigenverbrauch Strom:	100 %	51 %



4.

Betriebserfahrungen mit SOFC
10/2013 – 10/2016 HEXIS

HEXIS Galileo 1000 N Brennstoffzelle (SOFC) in Mülheim Objekt- und Systemdaten (medl Projektpartner vor Ort)



Objektdaten:

- Standort: Mülheim an der Ruhr
- Baujahr: 1994
- Objekttyp: Einfamilienhaus
- Beheizte Fläche: 190 m²
- Heizungssystem: Fußboden- und Radiatorheizung
- Bewohner: 4
- Heizlast: ca. 20 kW

Heizsystem:

- Brennstoffzelle: HEXIS Galileo 1000 N
- Zusatzbrenner: 20 kW
- Backup Kessel: 23,8 kW Buderus GB172 24
- Pufferspeicher: 500 l
- Zirkulation: Ja
- Aufstellort: Garage
- Inbetriebnahme: ZB: 29.09.2012 BZ: 21.11.2012
- Projektende: 26.10.2016
- Betriebsstunden / Starts: BZM 1: 6.265 h / 16
BZM 2: 16.923 h / 9



HEXIS Galileo 1000 N Brennstoffzelle (SOFC) in Mülheim

Technische Daten (Herstellerangaben 2012)

- Netzanschluss: 230 VAC, 50 Hz, Netzparallelbetrieb
- Brennstoff: Erdgas
- Aufstellbedingungen: Innenaufstellung
- Brennstoffzellentyp: SOFC
- Elektrische Leistung BZ: 1 kW modulierend
- Thermische Leistung BZ: 1,8 kW modulierend
- Therm. Leistung Zusatzbrenner: 6 - 20 kW
- Elektrischer Wirkungsgrad: 35 % (H_i)
- Gesamtwirkungsgrad: 95 %
- Normemissionen (BZ):
(nach DIN 4702 Teil 8)
NO_x < 5 mg/kWh
CO < 20 mg/kWh
- Abmessungen (LxBxH): 580 x 620 x 1640 mm
- Gewicht: 210 kg
- Wärmespeicher (extern): 500 l (bedarfsabhängig)

HEXIS Galileo 1000 N Brennstoffzelle (SOFC) in Mülheim

Wesentliche Betriebserfahrungen

Startleistung und el. Wirkungsgrad lagen über den Herstellerangaben

Hohe Laufzeiten von über 5.500 h/a

Durch den integrierten Zusatzbrenner sehr hohe Verfügbarkeit der Wärmeversorgung von 99,9 %

Sehr zuverlässiger und störungsfreier Betrieb der Brennstoffzelle in den letzten beiden Betriebsjahren

Noch gute el. Restleistung bei Projektende

Anmerkungen:

Projektlaufzeit wurde wegen anstehendem Verkauf des Hauses nicht weiter verlängert

In der Gesamthistorie zeigt sich über alle getestete Anlagengenerationen von HEXIS insgesamt eine stetige Weiterentwicklung des Produktes

Mehrere Abschaltungen in der Anfangsphase durch Störungen (Temperaturabweichung) und Defekte (Inverter und Kondensatpumpe)

Inbetriebnahme:	18.10.2013
Betriebsende:	26.10.2016
Betriebsstunden/Starts:	16.923 h / 9
Anzahl Störungen/Defekte:	2 / 2
Nutzungsgrad el./ges.:	28 % / 94 %
Eigenverbrauch Strom:	70 %



5.

Betriebserfahrungen mit HT-PEMFC
seit 04/2015 Elcore

Elcore 2400 HT-PEM Brennstoffzelle in Schwerte

Objekt- und Systemdaten



Objektdaten:

- Standort: Schwerte
- Baujahr: 1954
- Objekttyp: Zweifamilienhaus
- Beheizte Fläche: 340 m²
- Heizungssystem: Radiatorenheizung
- Bewohner: 5
- Heizlast: 35 kW



Heizsystem:

- Brennstoffzelle: Elcore 2400
- Zusatzkessel: Buderus 35 kW
- Pufferspeicher: 540 l mit Frischwasserstation
- Zirkulation: Ja
- Aufstellort: Keller
- Inbetriebnahme: 23.04.15 / 18.10.16
- Status: In Betrieb (Stand 01.03.2017)
- Betriebsst. / Starts: 6.474 h / 29 (alte Generation)
- Betriebsst. / Starts: 2.688 h / 10 (neue Generation)

Elcore 2400 HT-PEM Brennstoffzelle in Schwerte

Technische Daten (Herstellerangaben 2015)

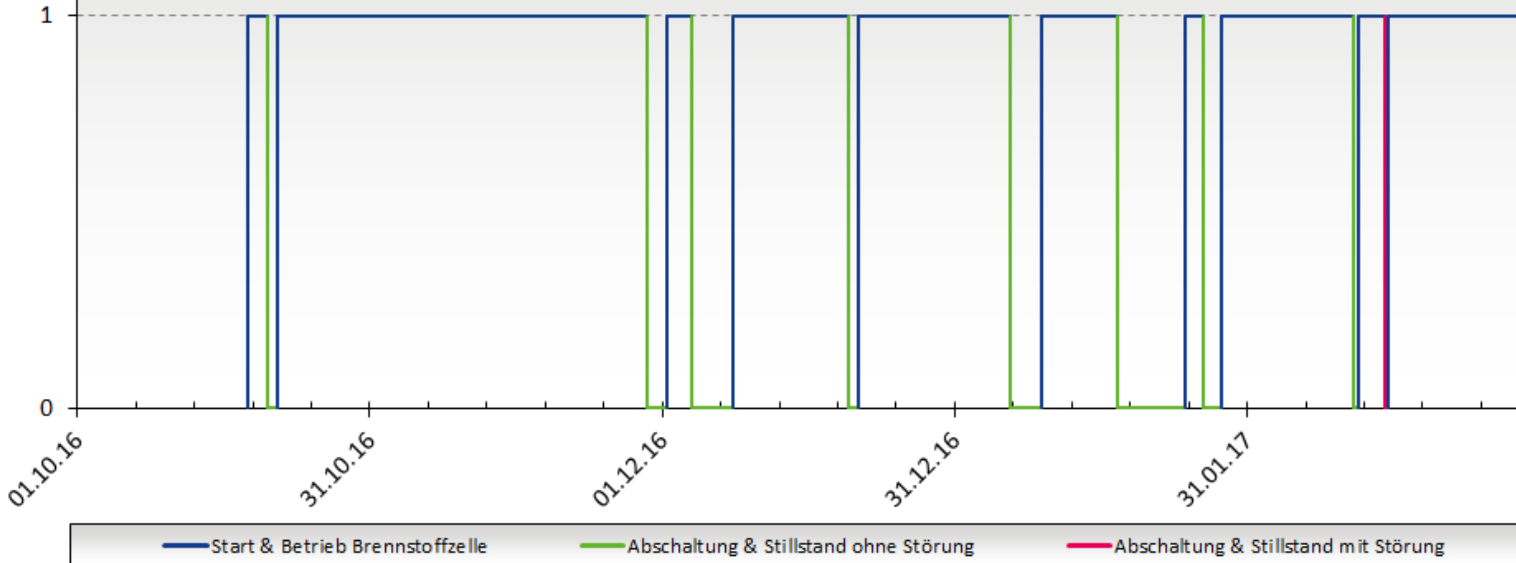
- Netzanschluss: 230 VAC, 50 Hz
- Brennstoff: Erdgas
- Aufstellbedingungen: Innenaufstellung
- Netzanschluss: Netzparallelbetrieb
- Elektrische Leistung: 300 W
- Thermische Leistung: 650 W
- Vorlauftemperatur: max. 70°C
- Elektrischer Wirkungsgrad: ca. 30 % (Hi)
- Gesamtwirkungsgrad: ca. 95 %
- Abmessungen (BxHxT): 600 x 1.050 x 550 mm
- Gewicht: 115 kg
- Pufferspeicher: 500 l mit Frischwasserstation
- Abmessungen (HxD): 1.660 x 885 mm

Elcore 2400 HT-PEM Brennstoffzelle in Schwerte Erfahrungen im Winterbetrieb

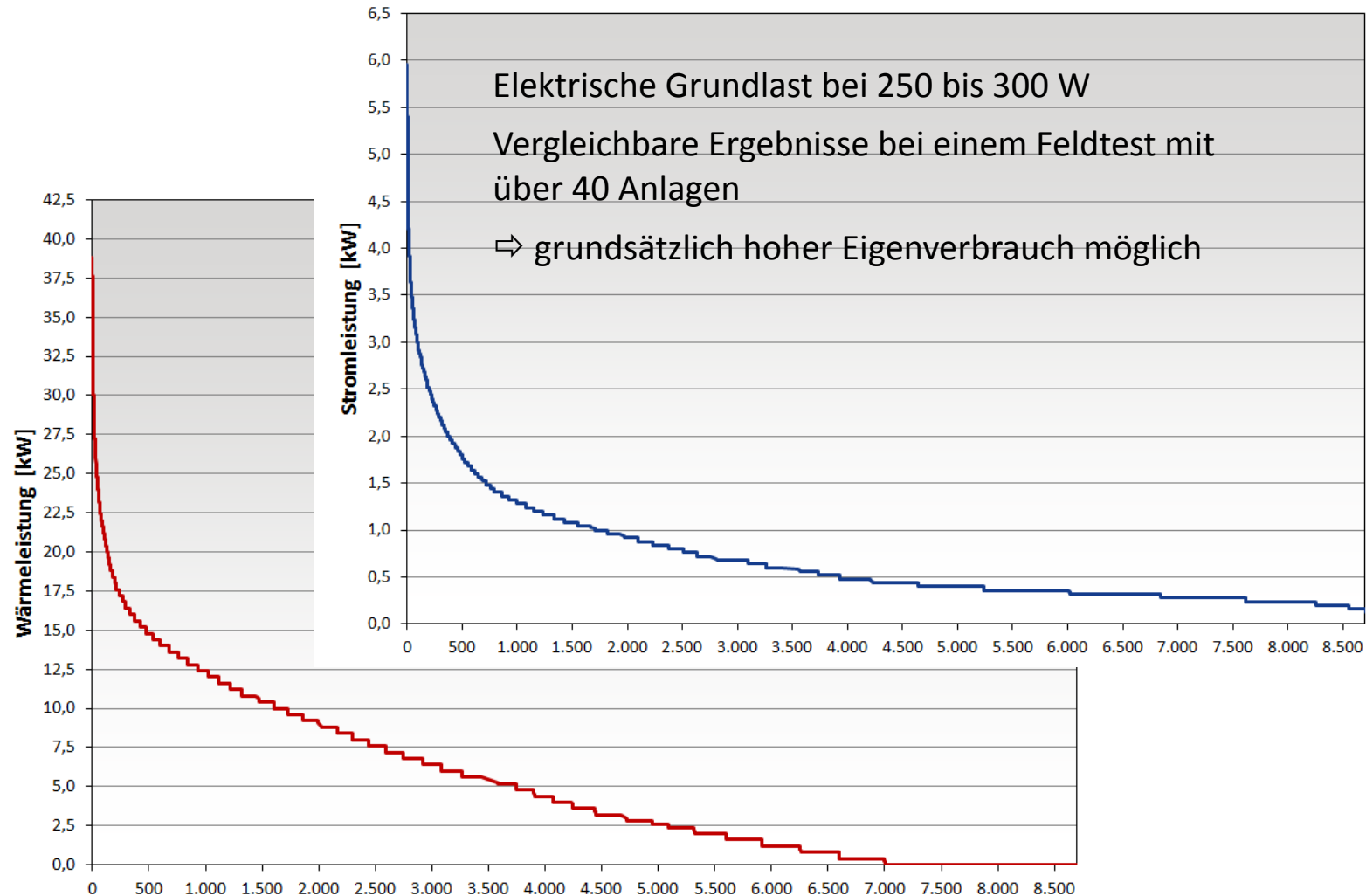
Aufgrund der hohen Heizkreistemperaturen (Radiatorenheizung) sind auch im Winterbetrieb längere Stillstandszeiten wegen zu hoher Speichertemperatur (Abschaltung bei ca. 56°C) aufgetreten.

Maßnahmen zur Reduzierung der Heizkreis RL-Temperatur wurden ergriffen, können aber noch nicht bewertet werden. Zudem bietet Elcore diesbezüglich bereits optimierte Energiespeicher und Hydraulikkonzepte an.

Im Sommerbetrieb gab es bisher keine temperaturbedingten Abschaltungen.



Elcore 2400 HT-PEM Brennstoffzelle in Schwerte Strom- und Wärmelastgang



Elcore 2400 HT-PEM Brennstoffzelle in Schwerte

Wesentliche Betriebserfahrungen

Startleistung und el. Wirkungsgrad entspricht den Herstellerangaben
Hohe Laufzeiten möglich
Hohe Eigenverbrauchsquote des erzeugten Stroms

Hohe Heizkreistemperaturen führen zu geringeren Gesamtnutzungsgraden und können im Winter zu Abschaltungen wegen zu hoher Speichertemperatur führen*

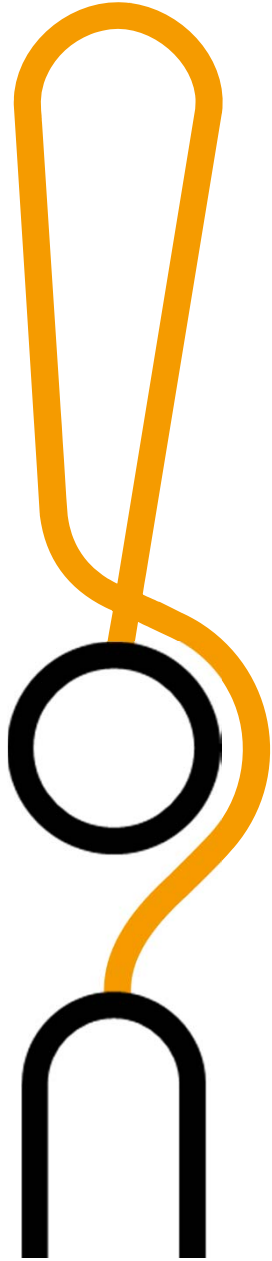
Bisher eine Störung über den Feuerungsautomaten (über Parameteranpassung behoben)

Anmerkung:

Betriebserfahrungen mit der aktuellen Gerätegeneration sind bisher noch sehr gering

Inbetriebnahme:	18.10.2016
Betriebsstunden/Starts:	2.688 h / 10
Anzahl Störungen/Defekte:	1 / 0
Nutzungsgrad el./ges.:	27 % / 84 %
Eigenverbrauch Strom:	95 %

* Elcore bietet diesbezüglich bereits optimierte Energiespeicher und Hydraulikkonzepte an



6.

Bewertung und Einschätzung

Bewertung der vorgestellten Testergebnisse und Einschätzung zum Status von Brennstoffzellen Heizgeräten

Bewertung:

- Beide untersuchten PEMFC Systeme zeichnen sich durch sehr gute technische Eigenschaften und eine hohe Zuverlässigkeit aus und können als marktreif betrachtet werden*
- Das untersuchte SOFC System kann, nach deutlicher Verbesserung der Zuverlässigkeit über die Projektlaufzeit, als marktnah betrachtet werden
- Bei der untersuchten HT-PEM Brennstoffzelle liegt aufgrund der noch geringen Betriebserfahrungen mit der aktuellen Gerätegeneration noch keine abschließende Bewertung vor

*Anmerkungen:

- In Japan ist die Markteinführung bereits in 2009 erfolgt
- Bisher konnten dort bereits ca. 200.000 Geräte (vornehmlich PEMFC) installiert werden (Anteil SOFC derzeit < 10%)
- Seit der Markteinführung konnten die Gerätekosten um ca. 60 % reduziert werden
- Etwa alle 2-3 Jahre kommt in Japan eine neue verbesserte Anlagengeneration auf den Markt

Einschätzung:

- Die technische Marktreife einiger Produkte ist gegeben und weitere sind in der Entwicklung
- Auf der ISH präsentieren eine Reihe von Herstellern entsprechende Produkte
- Große EU-Projekte wie ene.field und PACE sowie nationale Förderprogramme, wie z.B. die KfW-Förderung nach KfW 433 in Deutschland werden die Markteinführung der Brennstoffzellen Heizgeräte in den nächsten Jahren begleiten und unterstützen

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit



Ansprechpartner

Uwe Dietze

Projektleiter Neue Technologien

T + 49 203 99546 - 17

uwe.dietze@innogy.com