



Zukunft Altbau Praxisdialog

26. Oktober 2017, Stuttgart

Die Brennstoffzelle: Wo liegen die Knackpunkte für die Umsetzung

M.Eng. Simon Schwarz

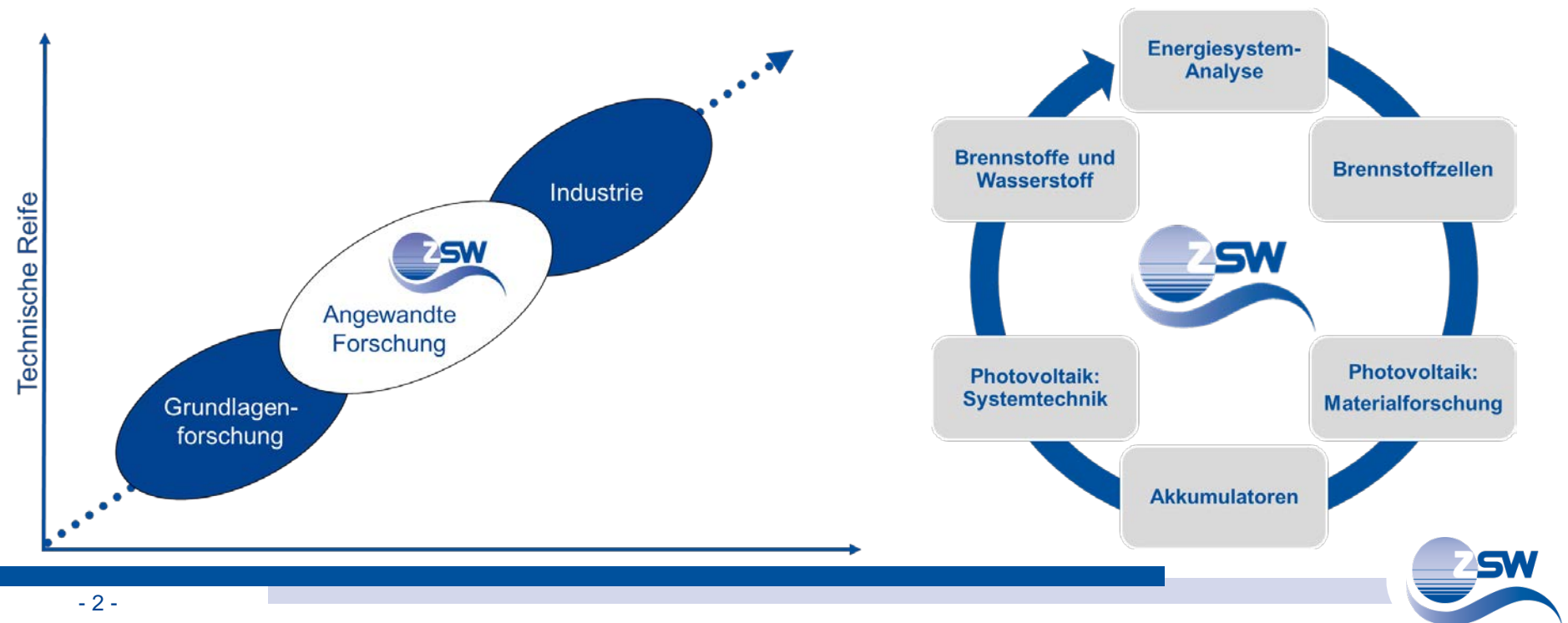
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
Baden-Württemberg (ZSW)

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

1988: Das ZSW wurde als gemeinnützige Stiftung des bürgerlichen Rechts gegründet.

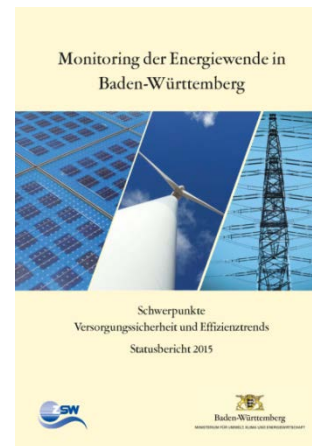
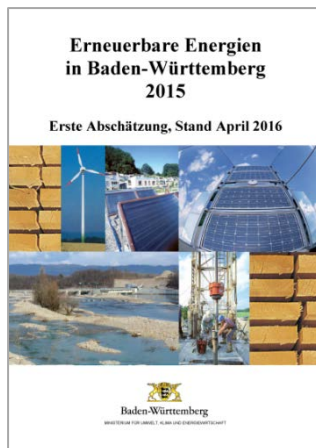
2016: Rund 235 Mitarbeiter arbeiten an 3 Standorten in Baden-Württemberg (Umsatz 2016: 35 Mio. EUR)

Stiftungszweck: Industrienaher Forschung und Technologietransfer im Bereich der erneuerbaren Energien



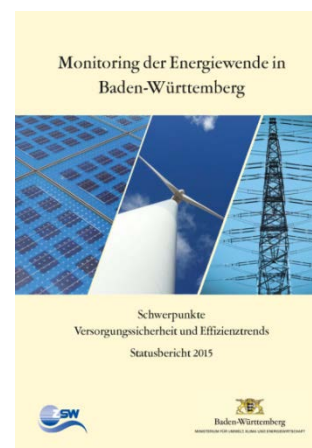
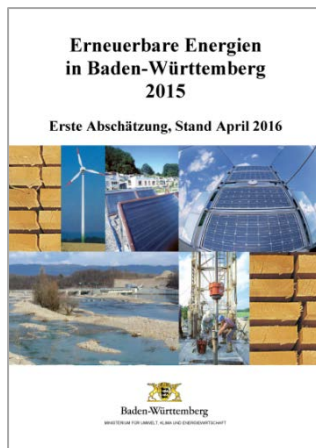
Systemanalyse

- Förderinstrumente für EE-Strom
- Monitoring und Evaluierung
- Nachhaltige Mobilität
(Elektromobilität und alternative Kraftstoffe aus PtX)
- Wärme und Effizienz (u.a. Brennstoffzellenheizung Projekt Callux)
- Einspeiseprognosen für Sonne, Wind und Wasser
- Szenarien und Potenzialanalysen



Systemanalyse

- Förderinstrumente für EE-Strom
- Monitoring und Evaluierung
- **Nachhaltige Mobilität**
(Elektromobilität und alternative Kraftstoffe aus PtX)
- Wärme und Effizienz (u.a. **Brennstoffzellenheizung Projekt Callux**)
- Einspeiseprognosen für Sonne, Wind und Wasser
- Szenarien und Potenzialanalysen



Die Projektziele in Callux

Vorbereitung der Markteinführung erdgasbetriebener Brennstoffzellen-Heizgeräte

- Demonstration und Unterstützung der Weiterentwicklung der technischen Reife hin zu marktfähigen Produkten
- Aufbau von Lieferketten durch verbindliche Bestellungen großer Stückzahlen
- Steigerung der Bekanntheit in der Öffentlichkeit
- Schulung / Weiterbildung der Marktpartner

Die Callux-Projektpartner

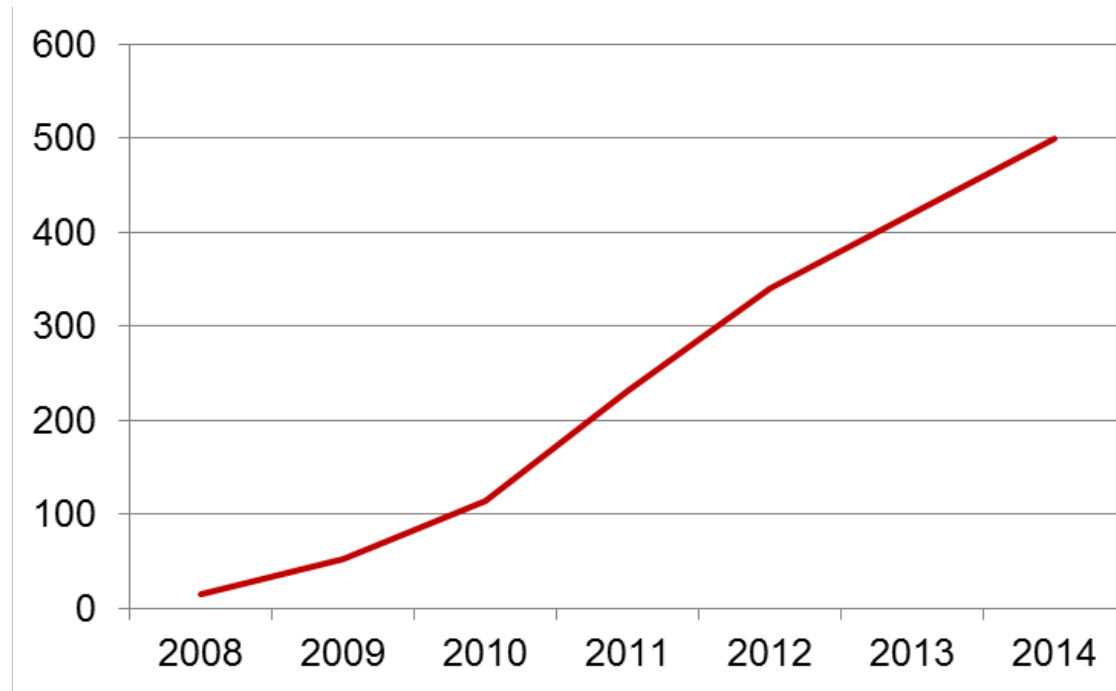
Energieversorger



Hersteller



Avisierte Brennstoffzellen-Heizgeräte (kumulierte Installationen)



Bis 2014 wurden rund 500 Brennstoffzellen-Heizgeräte im Praxistest Callux installiert und werden zum Teil noch bis Ende 2015 weiterbetrieben.

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung

1. Technische Funktion

2. Einbindung ins Energiesystem

3. Einbindung ins Objekt

4. Wirtschaftlicher Betrieb

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung

1. Technische Funktion

- Systembeschreibung
- Erfahrungen mit der Technik durch den Praxistest Callux

2. Einbindung ins Energiesystem

3. Einbindung ins Objekt

4. Wirtschaftlicher Betrieb

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung

1. Technische Funktion

- Systembeschreibung
- Erfahrungen mit der Technik durch den Praxistest Callux

2. Einbindung ins Energiesystem

- Bedeutung der KWK im Energiesystem der Zukunft

3. Einbindung ins Objekt

4. Wirtschaftlicher Betrieb

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung

1. Technische Funktion

- Systembeschreibung
- Erfahrungen mit der Technik durch den Praxistest Callux

2. Einbindung ins Energiesystem

- Bedeutung der KWK im Energiesystem der Zukunft

3. Einbindung ins Objekt

- Einsatzbereiche der Brennstoffzellengeräte
- Notwendige Voraussetzungen

4. Wirtschaftlicher Betrieb

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung

1. Technische Funktion

- Systembeschreibung
- Erfahrungen mit der Technik durch den Praxistest Callux

2. Einbindung ins Energiesystem

- Bedeutung der KWK im Energiesystem der Zukunft

3. Einbindung ins Objekt

- Einsatzbereiche der Brennstoffzellengeräte
- Notwendige Voraussetzungen

4. Wirtschaftlicher Betrieb

- Ergebnisse der Marktforschung aus dem Praxistest Callux
- Fördermittel
- Modelle

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung

1. Technische Funktion

- Systembeschreibung
- Erfahrungen mit der Technik durch den Praxistest Callux

2. Einbindung ins Energiesystem

- Bedeutung der KWK im Energiesystem der Zukunft

3. Einbindung ins Objekt

- Einsatzbereiche der Brennstoffzellengeräte
- Notwendige Voraussetzungen

4. Wirtschaftlicher Betrieb

- Ergebnisse der Marktforschung aus dem Praxistest Callux
- Fördermittel
- Modelle

I. Grundlagen

I.1. Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Der energetische Vorteil der gekoppelten Erzeugung von Kraft und Wärme:

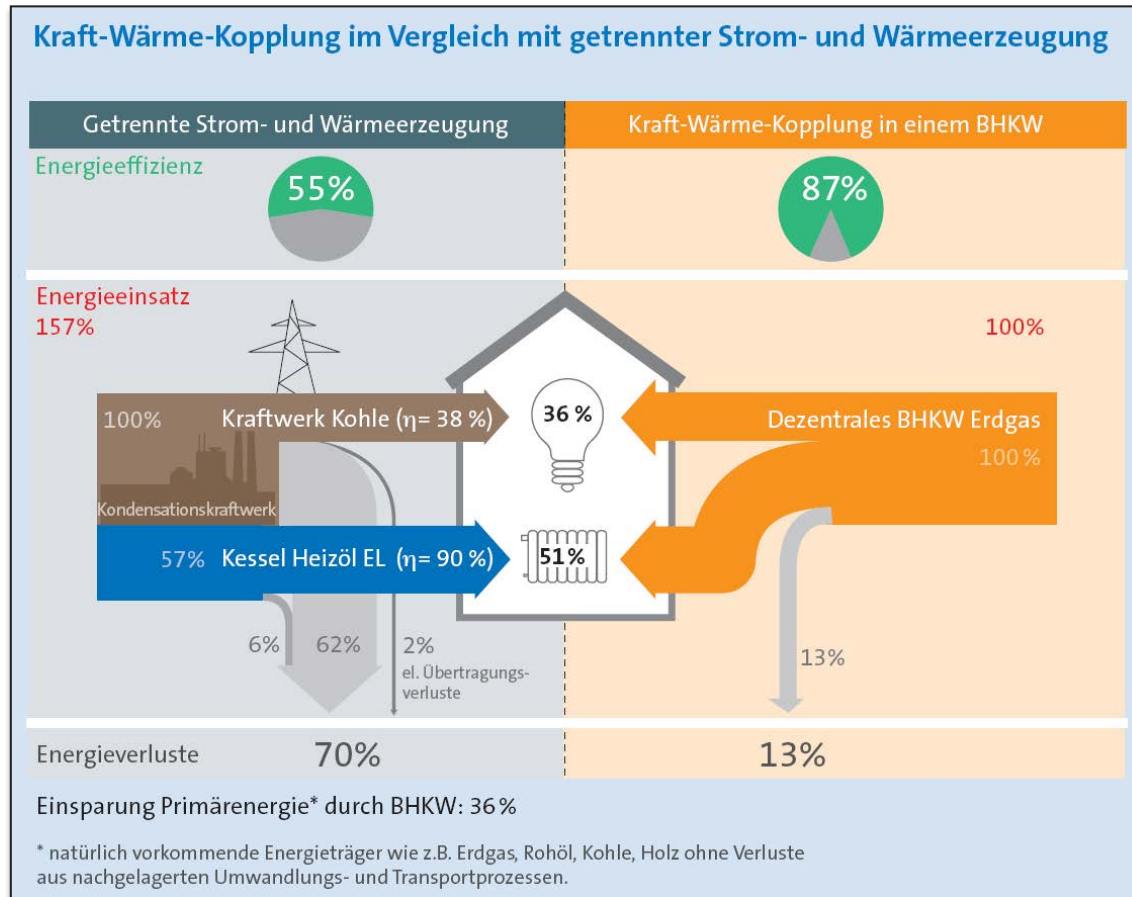
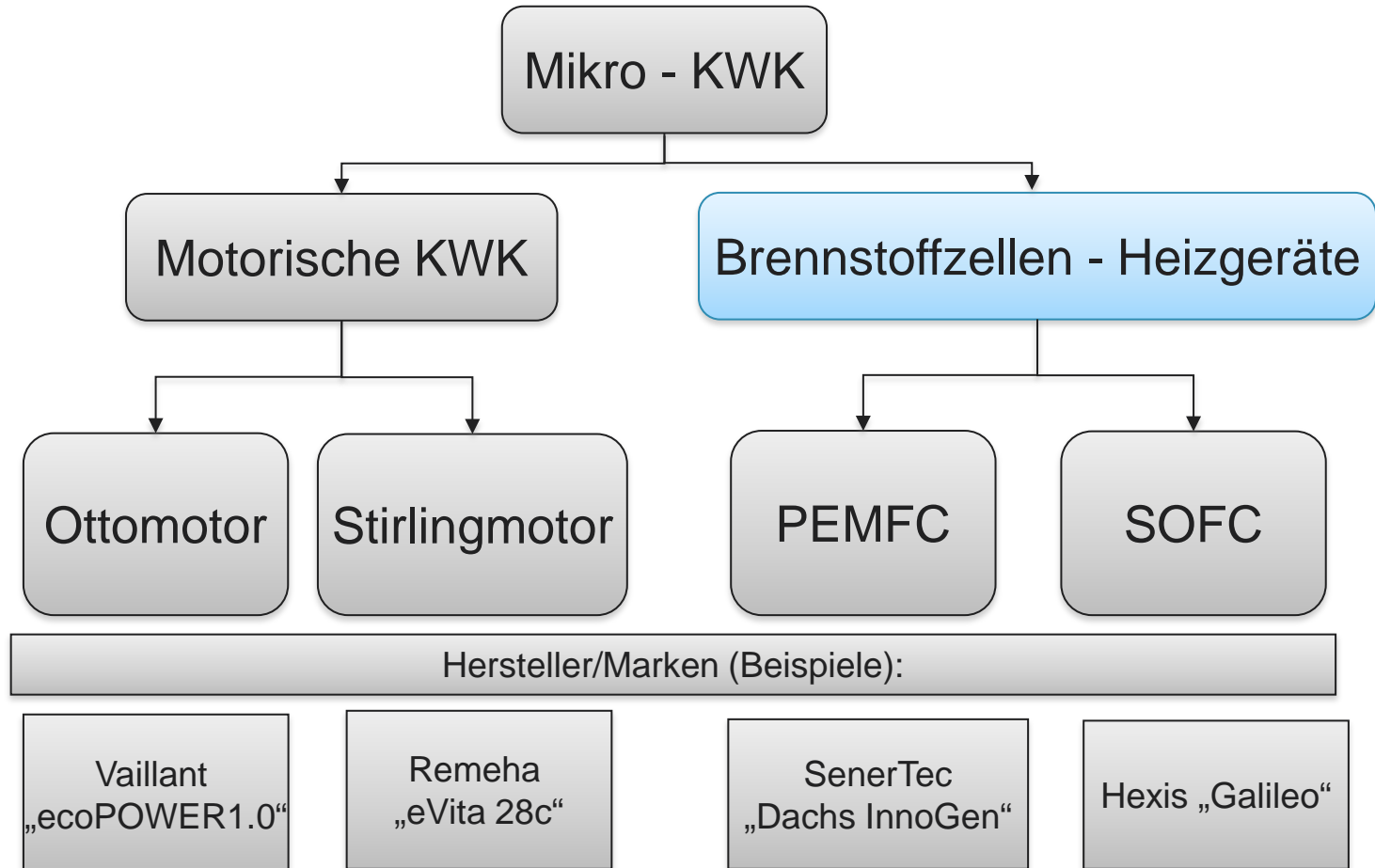


Abbildung: „Das KWK-Gesetz 2012“; ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V. www.asue.de

I. Grundlagen

I.1. Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

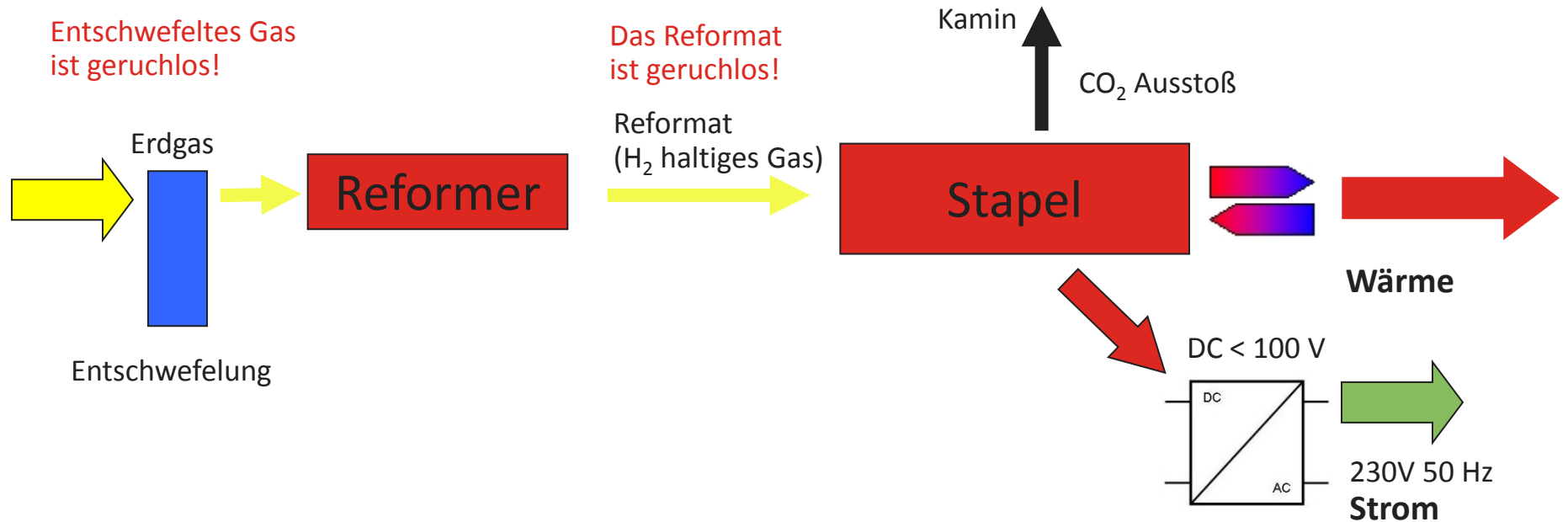
Produkttypen Mikro-KWK (Leistung < 2 kW_{el}):



II. Brennstoffzellen-Heizgerät (BZH)

II.1. Allgemeines

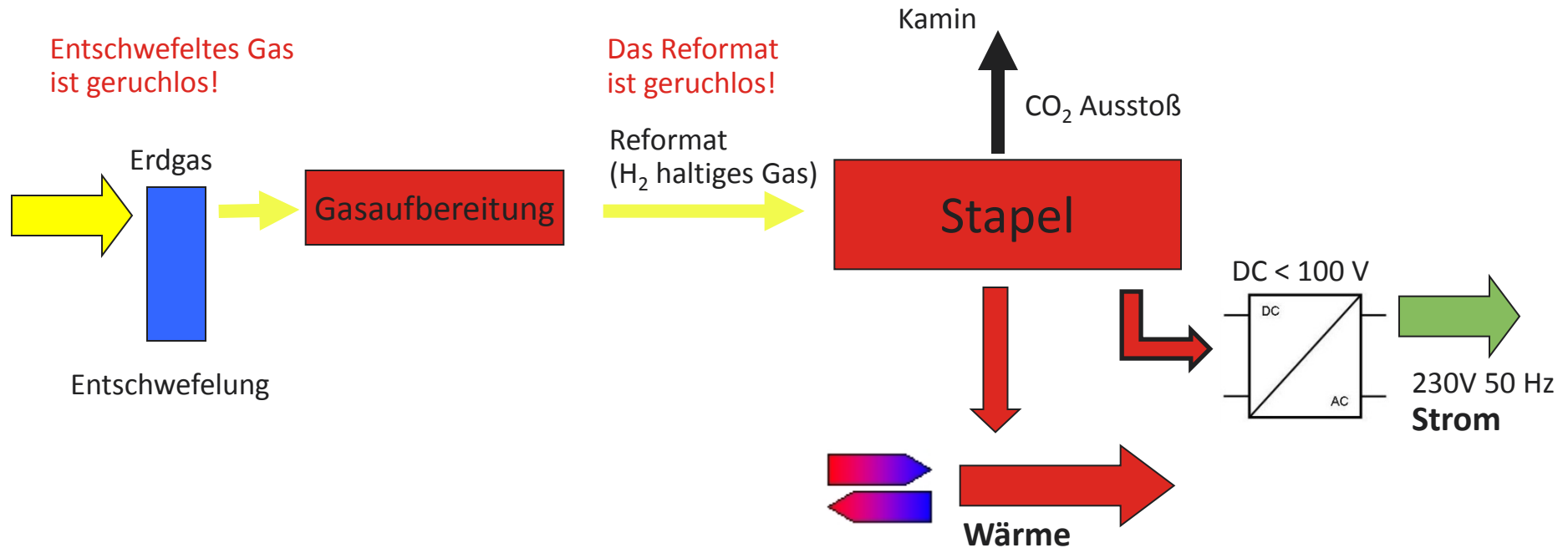
Strukturbild BZ-Heizung mit PEMFC:



Abbildung/Quelle: WBZU, ZSW, Callux

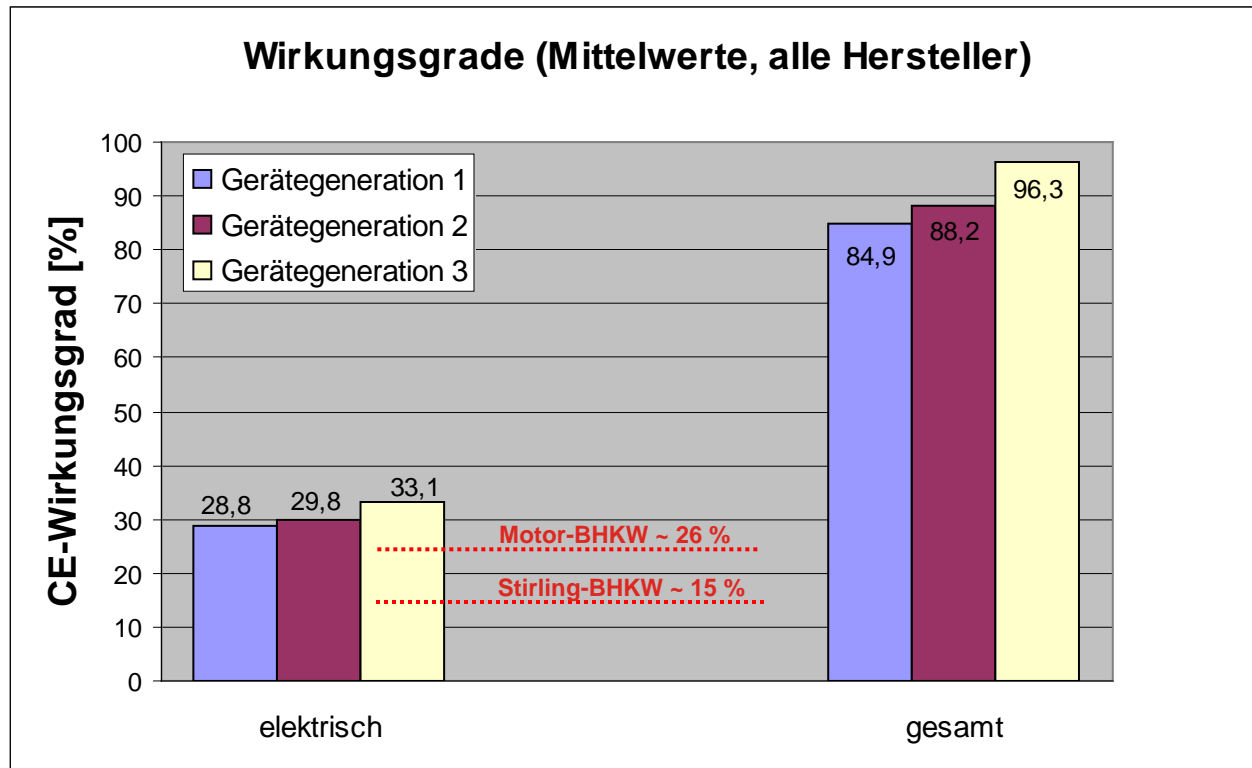
II. Brennstoffzellen-Heizgerät (BZH) II.1. Allgemeines

Strukturbild BZ-Heizung mit SOFC:



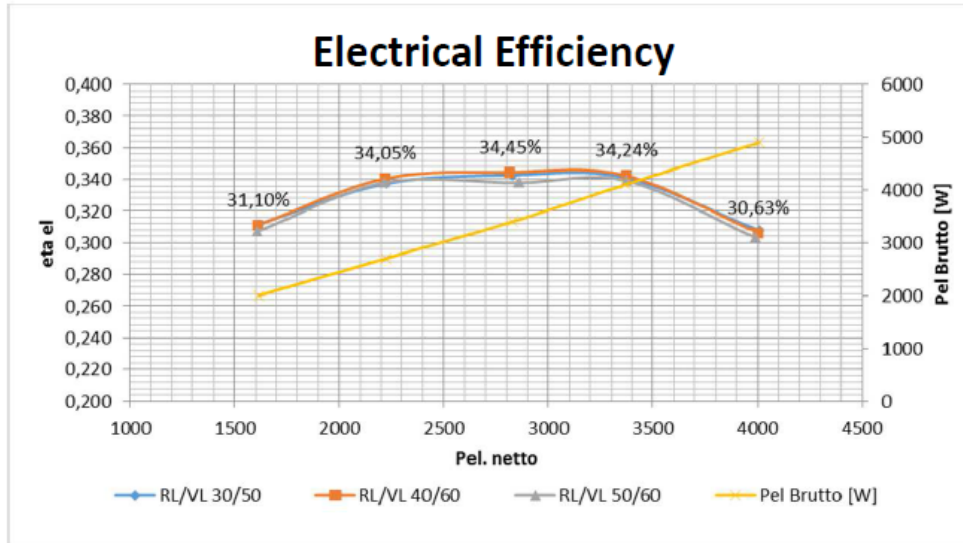
Abbildung/Quelle: WBZU, ZSW, Callux

Wirkungsgrade (CE-Prüfnorm)

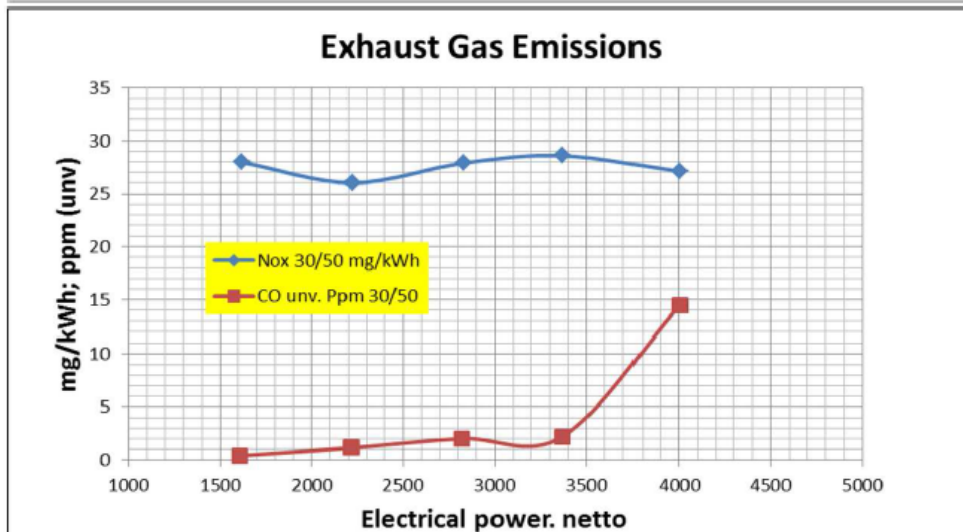


→ Die Wirkungsgrade konnten sukzessive auf el. Wirkungsgrade > 33% und Gesamtwirkungsgrade > 96 % gesteigert werden.

Brennstoffzellen BHKW - Betriebsverhalten



- Vermessung der Effizienz und Emissionen gemäß EN 50465 (Standardprüfnorm für Brennstoffzellenheizgeräte bis 70 kW) im zertifizierten DVGW Prüflabor



Ergebnis

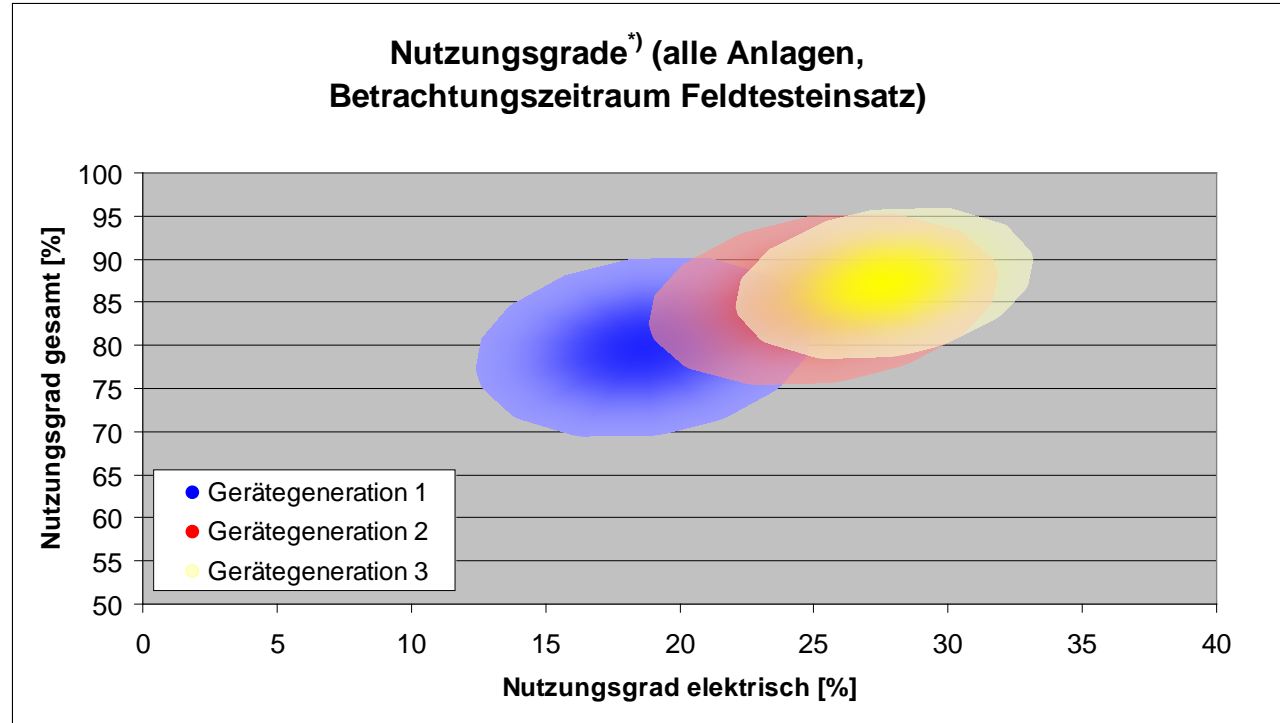
- geringste NOx und CO Emissionen (FLOX© Brenner)
- keine SOx Emissionen
- homogene Effizienz über den Arbeitsbereich des Systems

Nutzungsgrade

***) Nutzungsgrad ≠ Wirkungsgrad!**

→ inkl. aller Einflüsse im Praxisbetrieb

- Volllast-/Teillastbetrieb
- Stromverbrauch Zusatzheizgerät und externe Heizkreisregelung
- Schwankungen Vor-/Rücklauftemperatur

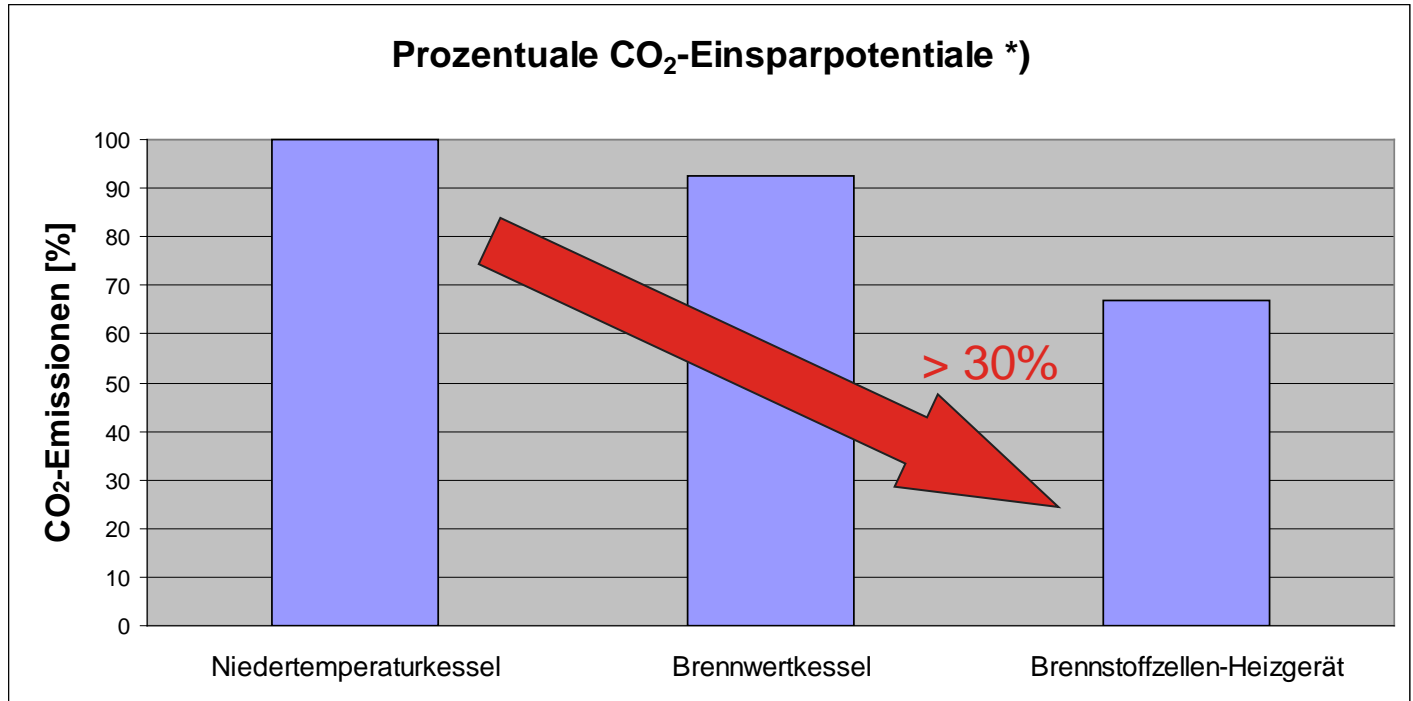


*) bezogen auf unteren Heizwert H_u

Zeitraum 08/2008 – 12/2012

→ Die Nutzungsgrade der Anlagen wurden weiter verbessert und dabei elektrische Nutzungsgrade > 30 % und Gesamtnutzungsgrade > 95 % nachgewiesen.

CO₂-Einsparpotentiale



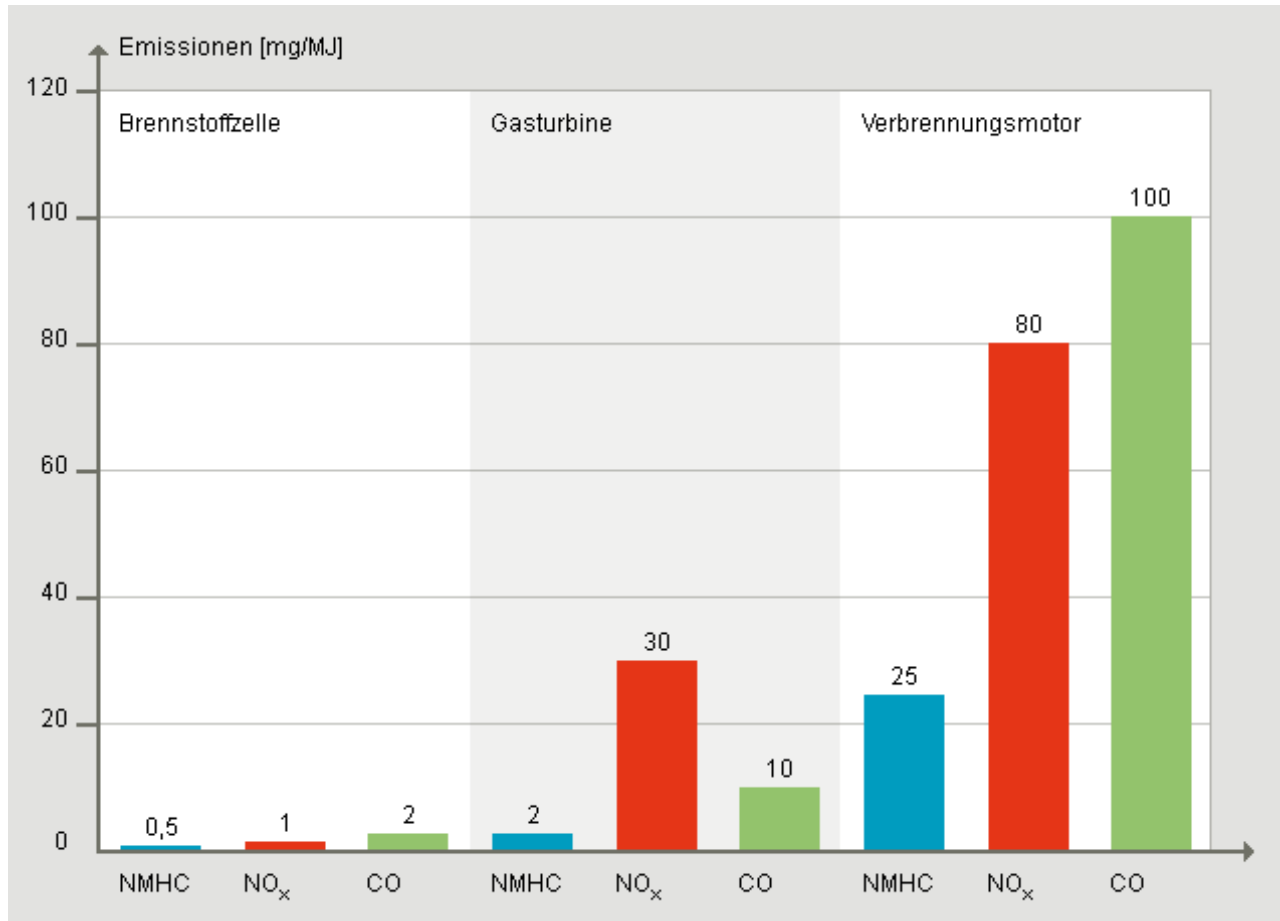
*) Berechnung nach Stromrestwertmethode

→ Die Brennstoffzellen-Heizgeräte setzen den Trend der CO₂-Minderungen moderner Gastechniken fort.

IV. Weitere Themen

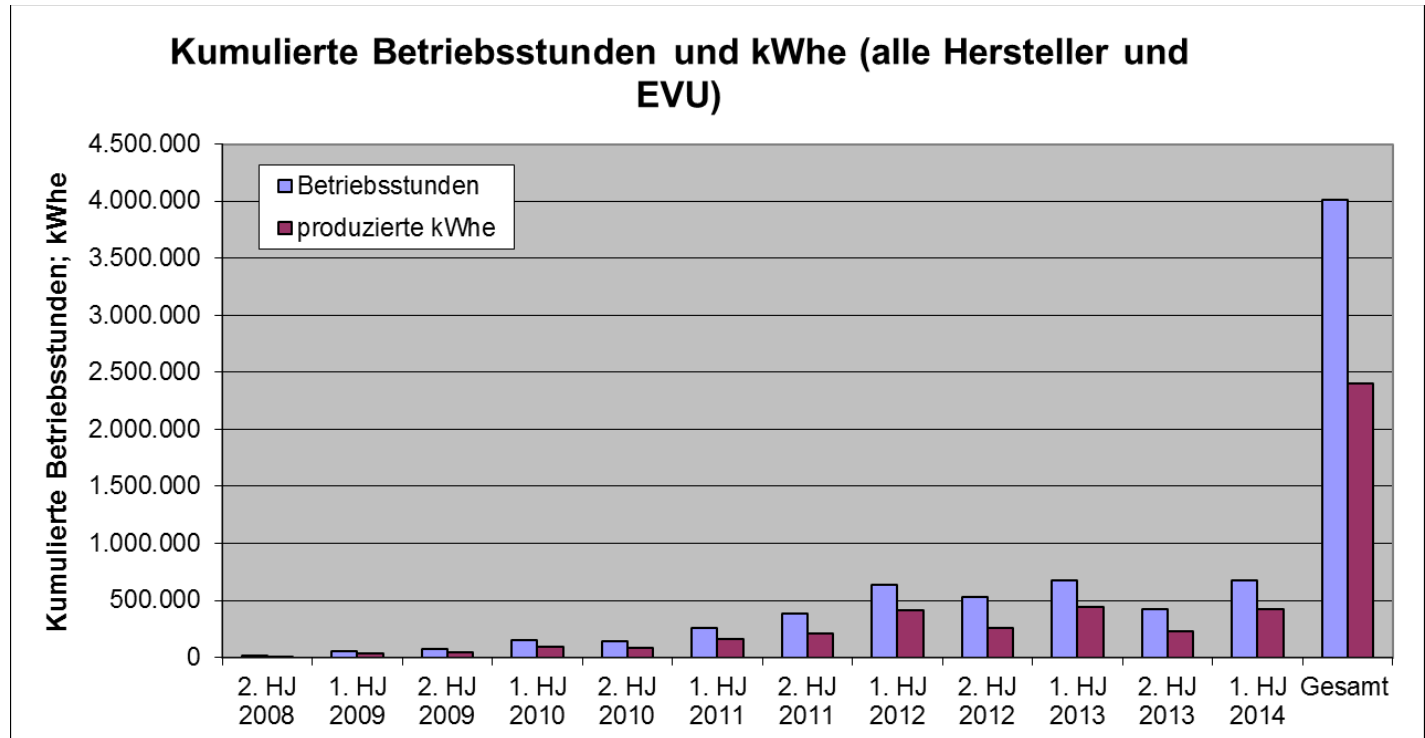
IV.1. CO₂- und Schadstoffausstoß

Schadstoffemissionen:



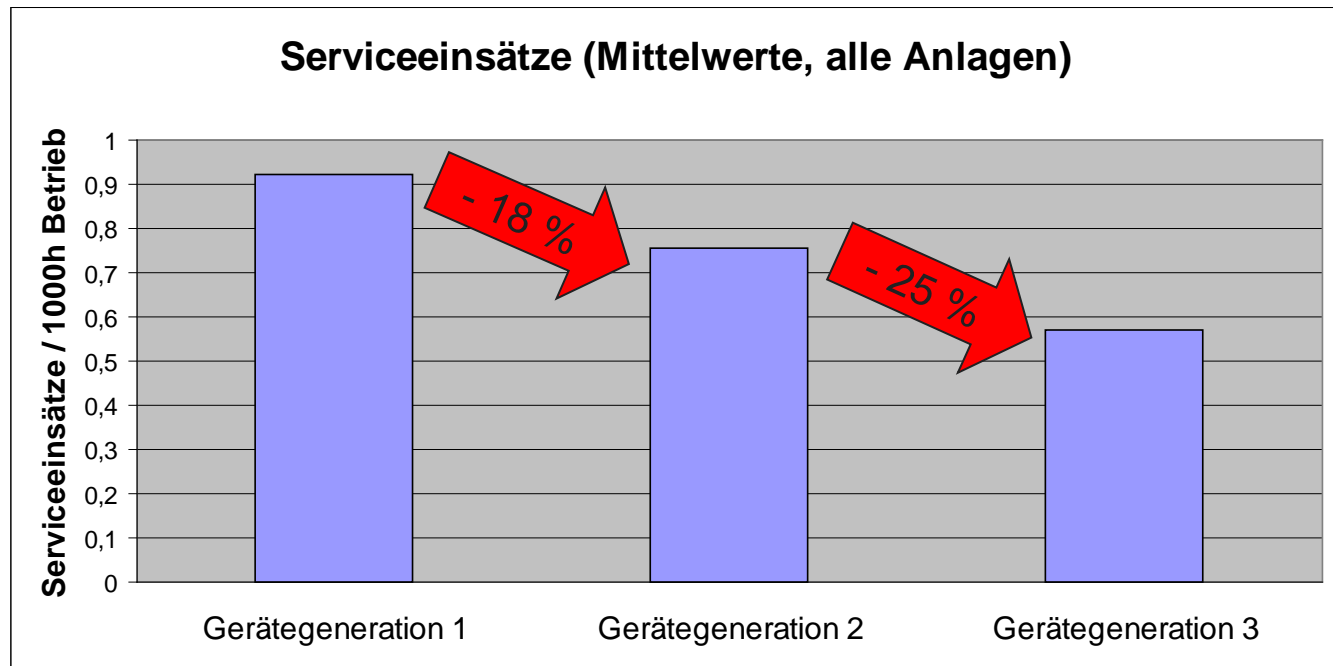
Abbildung/Quelle: Callux, <http://www.callux.net/files/basismodul/start.html>

Kumulierte Betriebsdaten



→ Bis Mitte wurden über 4 Mio. Stunden Betriebserfahrung gesammelt und dabei fast 2,5 Mio. kWh Strom produziert.

Geräteservice



Zeitraum 08/2008 – 12/2012

→ Die Anzahl der Serviceeinsätze zur Störungsbehebung wurden deutlich reduziert. Die Zuverlässigkeit der Hauptkomponenten Stack und Reformer konnte deutlich verbessert und die Anlagenverfügbarkeit auf bis zu > 97 % gesteigert werden.

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung

1. Technische Funktion

- Systembeschreibung
- Erfahrungen mit der Technik durch den Praxistest Callux

2. Einbindung ins Energiesystem

- Bedeutung der KWK im Energiesystem der Zukunft

3. Einbindung ins Objekt

- Einsatzbereiche der Brennstoffzellengeräte
- Notwendige Voraussetzungen

4. Wirtschaftlicher Betrieb

- Ergebnisse der Marktforschung aus dem Praxistest Callux
- Fördermittel
- Modelle

KWK im Energiesystem der Zukunft

- Der Endenergiebedarf von Gebäuden zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser geht zurück.
 - Neubau energieeffizienter Gebäude
 - Sanierung des Bestandes
- Der Einsatz fossiler Energieträger wird deutlich reduziert.
- Erdgas wird eine tragende Rolle zur Überbrückung des Transformationsprozesses eingeräumt.
- Fossile KWK ist eine Brückentechnologie (aber! Brücke überspannt bis zu 30 Jahre)

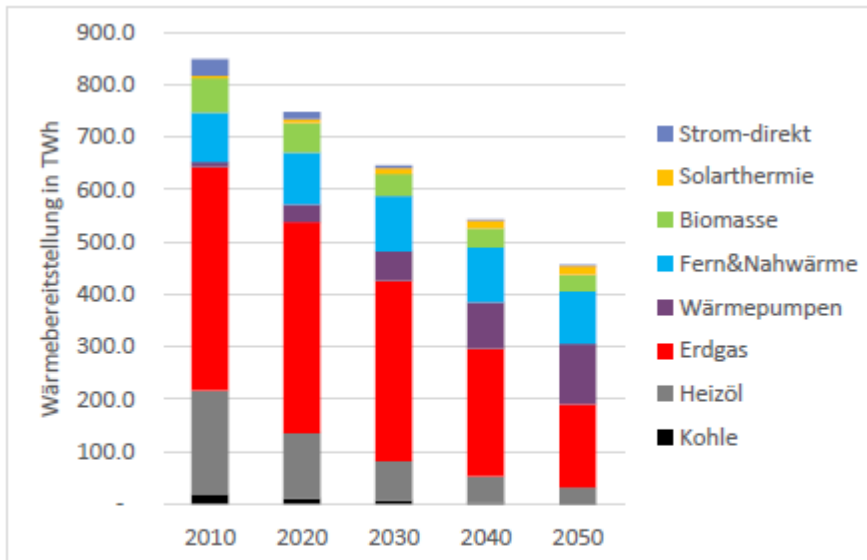


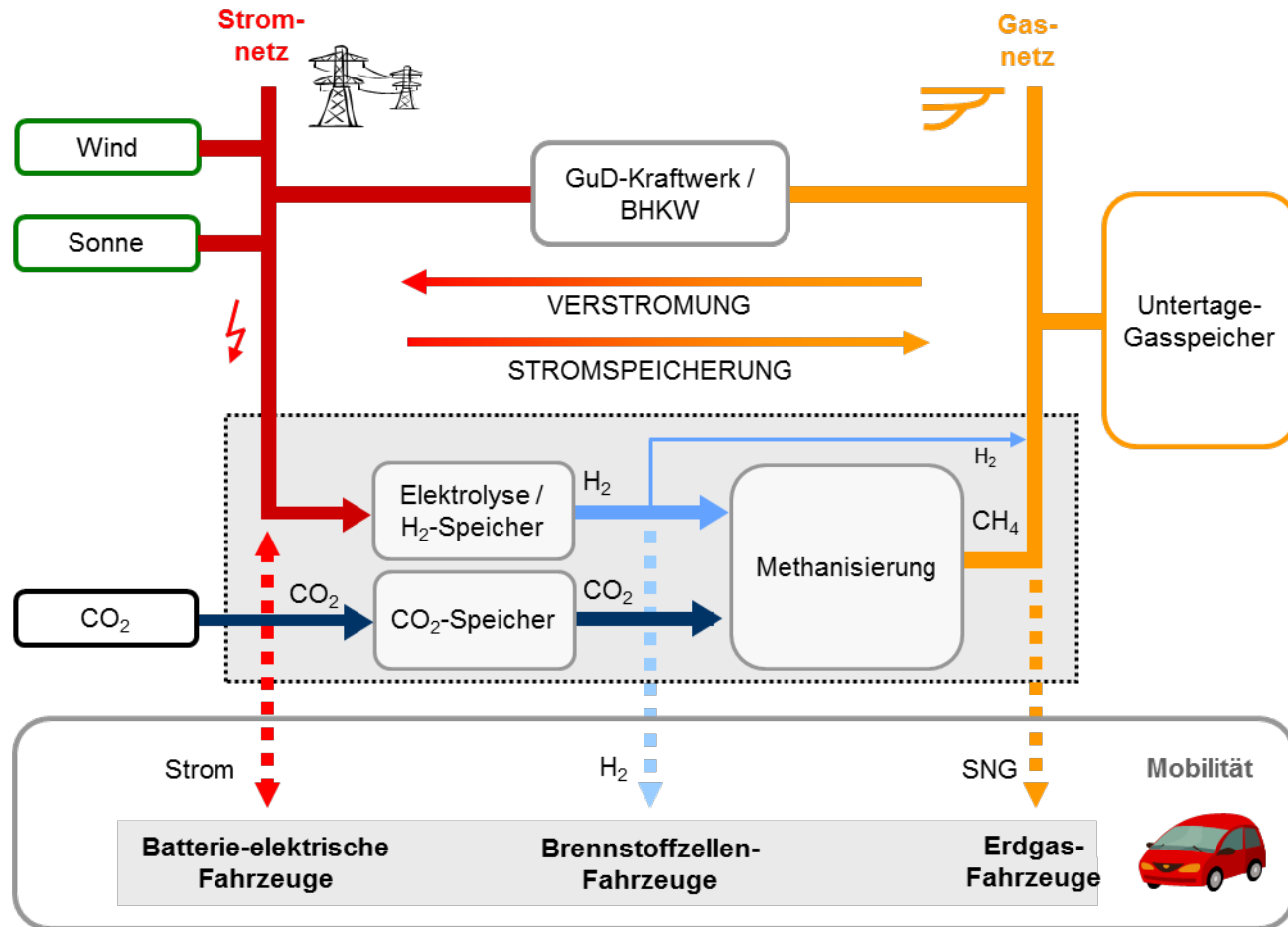
Abbildung 3-5: Entwicklung der Wärmebereitstellung für Gebäude im Basisszenario (Fraunhofer ISI et al. 2017)

Anforderungen an KWK zur Einbindung ins zukünftige Energiesystem

- Ergänzung zur EE
 - Flexibilität
 - Effizientes Teillastverhalten
- Bestandteil von Wärmenetzen (Quartiere)
- emissionsarmer Brennstoff
 - fossiles Erdgas
 - Biogas
 - synthetisches Methan
 - Wasserstoff

KWK im Energiesystem der Zukunft

Power to Gas - Wasserstoff und synthetisches Methan



SNG: Substitute Natural Gas (Erdgassubstitut)

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung

1. Technische Funktion

- Systembeschreibung
- Erfahrungen mit der Technik durch den Praxistest Callux

2. Einbindung ins Energiesystem

- Bedeutung der KWK im Energiesystem der Zukunft

3. Einbindung ins Objekt

- Einsatzbereiche der Brennstoffzellengeräte
- Notwendige Voraussetzungen

4. Wirtschaftlicher Betrieb

- Ergebnisse der Marktforschung aus dem Praxistest Callux
- Fördermittel
- Modelle

Zusatzheizsystem

- BZH ohne Zusatzheizgerät
- Deckung des Warmwasser-Grundbedarfes
- keine Verwendung im Callux-Feldtest



Vollheizsystem

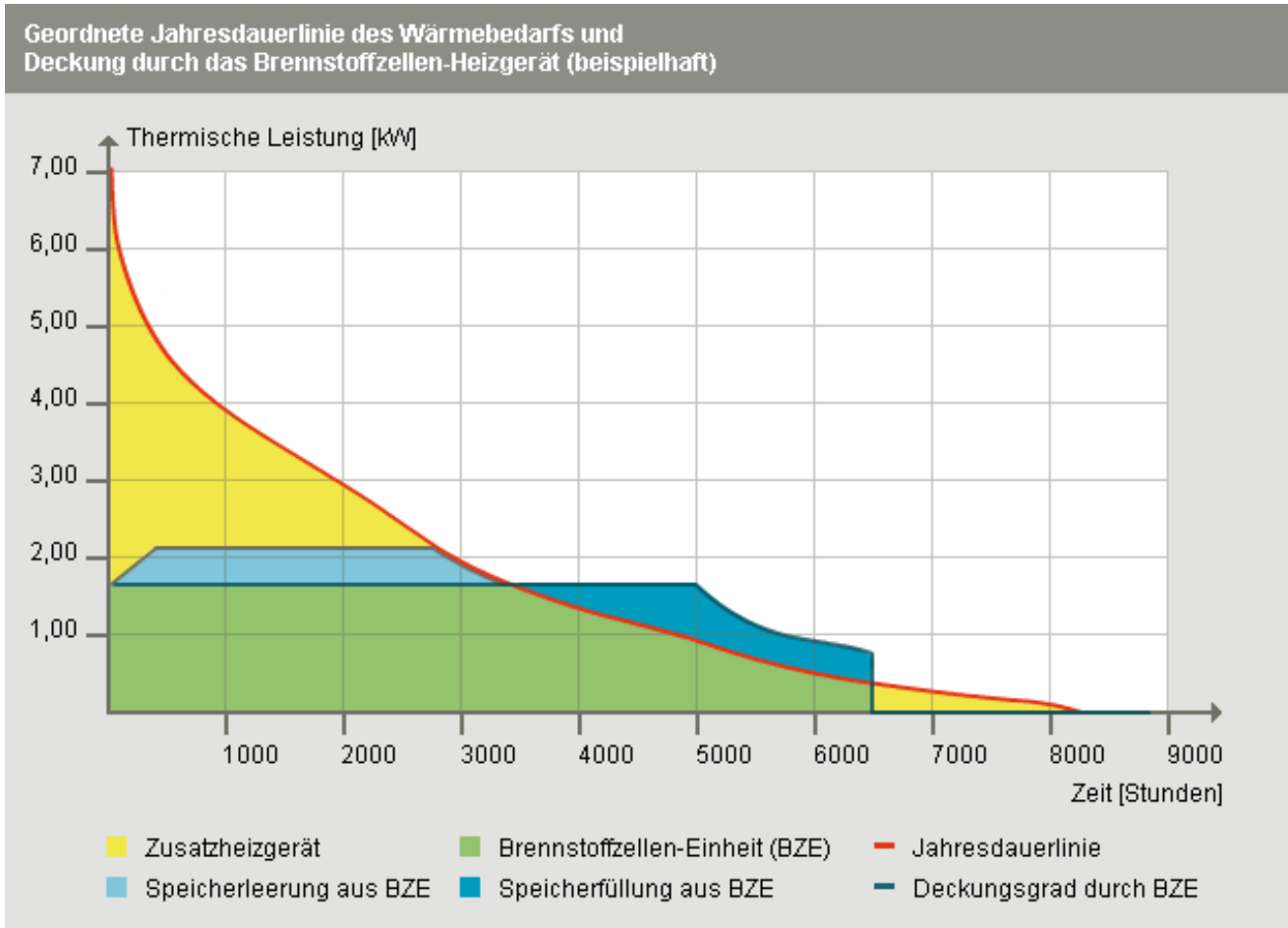
- BZH mit Zusatzheizgerät (integriert oder extern)
- Deckung des Warmwasser- sowie des Heizenergiebedarfes
- Callux-Feldtestgeräte sind Kombigeräte



Einbindung ins Objekt

- BZH sind erdgasbetriebene Geräte
- Einsatzbereich Ein- und Zweifamilienhaus
- Einfache und flexible Installation für Modernisierung und Neubau
- Speicher ist erforderlich
- Fast geräuschloser Betrieb
- BZH werden parallel zum Stromnetz betrieben.
- Bei Stromausfall versorgt das Gerät sich selbst mit Strom und erzeugt weiter Wärme, die auch genutzt werden kann.

Speicher und BZE im Zusammenspiel (2):



Abbildung/Quelle: Callux, <http://www.callux.net/files/basismodul/start.html>

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung

1. Technische Funktion

- Systembeschreibung
- Erfahrungen mit der Technik durch den Praxistest Callux

2. Einbindung ins Energiesystem

- Bedeutung der KWK im Energiesystem der Zukunft

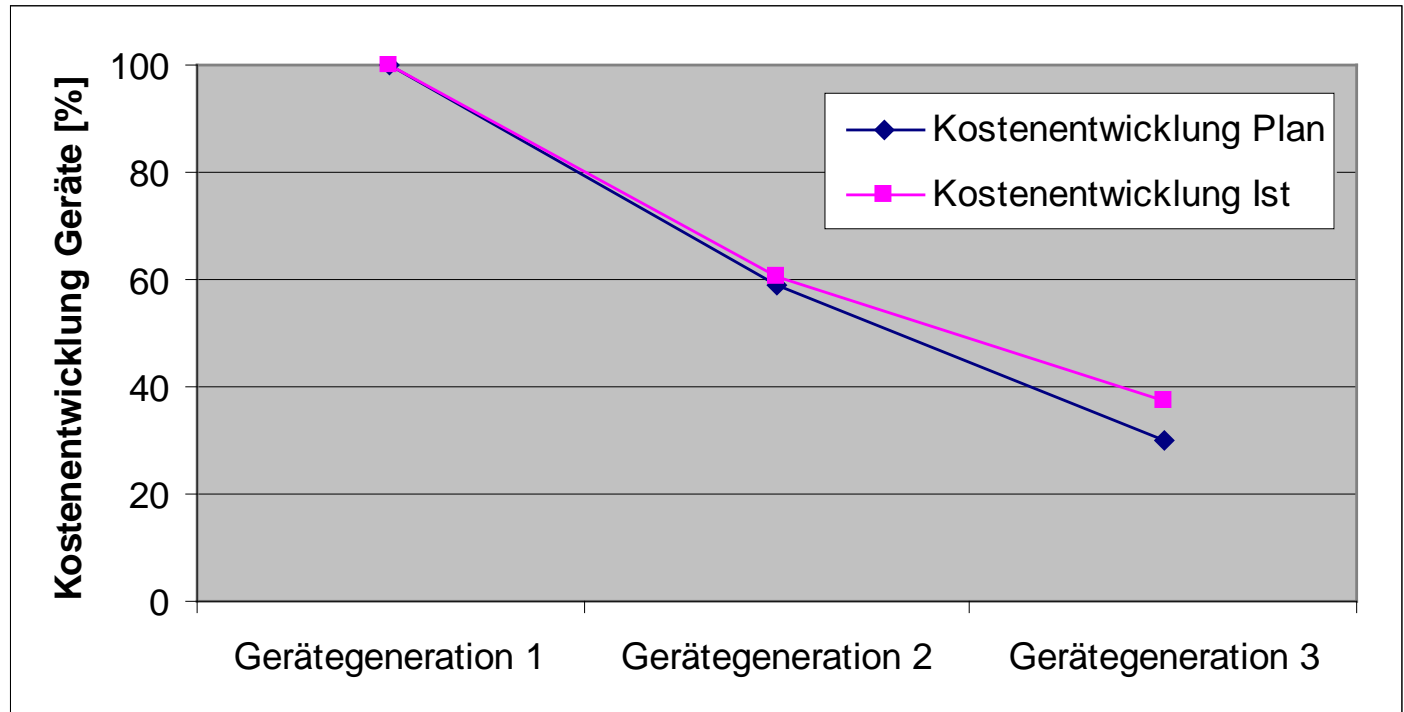
3. Einbindung ins Objekt

- Einsatzbereiche der Brennstoffzellengeräte
- Notwendige Voraussetzungen

4. Wirtschaftlicher Betrieb

- Ergebnisse der Marktforschung aus dem Praxistest Callux
- Fördermittel
- Modelle

Kostenentwicklung BZH (Mittelwerte über alle Hersteller)



→ Im Laufe des Projektes konnten die Gerätekosten um etwa 60 % reduziert werden.

Brennstoffzellen-BHKW Beispiel Mehrfamilienhaus (10 WE, EnEV 2009)

Objekt Mehrfamilienhaus 10 WE

Bedarf Heizenergie	38.550 kWh
Bedarf Trinkwarmwasser	8.000 kWh
Bedarf elektr. Energie	25.000 kWh

	BHKW inhouse5000+	Konventionelle Gas- Brennwertgerät
Betriebsstunden	7.105	6.862
Start/ Stop (KWK/ ZHG)	60	62
Brennstoffbedarf (KWK+ZHG)	76.541 kWh	48.282 kWh
erzeugte therm. Leistung (KWK+ZHG)	47.338 kWh	47.269 kWh
erzeugte elektrische Energie (KWK)	21.097 kWh	0
<i>davon Eigennutzung</i>	16.822 kWh	0
<i>davon Einspeisung</i>	4.275 kWh	0
Netzbezug elektrische Energie	8.263 kWh	25.000

Brennstoffzellen-BHKW Beispiel Mehrfamilienhaus (10 WE, EnEV 2009) - Contracting

Objekt Mehrfamilienhaus 10 WE Baujahr 2009

	BHKW inhouse5000+	
Wartungskosten - Vollwartung (pro Jahr)	-2.490 €	
Brennstoffkosten (5,46 ct/kWh)*	-4.179 €	
elektrische Energie Verkauf (24,4 ct/kWh)*	6.100 €	
Netzbezug elektrische Energie (24 ct/kWh)	-1.026 €	
Wärmeproduktion (12 ct/kWh)	5.680 €	
Ergebnis pro Jahr	4.085 €	

*durchschnittlicher Strompreis 2017 29,11 ct/kWh (brutto) / Quelle <https://1-stromvergleich.com/strom-report/strompreis/>

** durchschnittlicher Gaspreis 2017 6,5 ct/ kWh (brutto) / Quelle <https://1-gasvergleich.com/gaspreise/#Gaspreisentwicklung>

*** BDEW_Gutachten_Bewertung_Contracting-Projekte_final.pdf

Brennstoffzellen-BHKW Beispiel Mehrfamilienhaus (10 WE, EnEV 2009) - Contracting

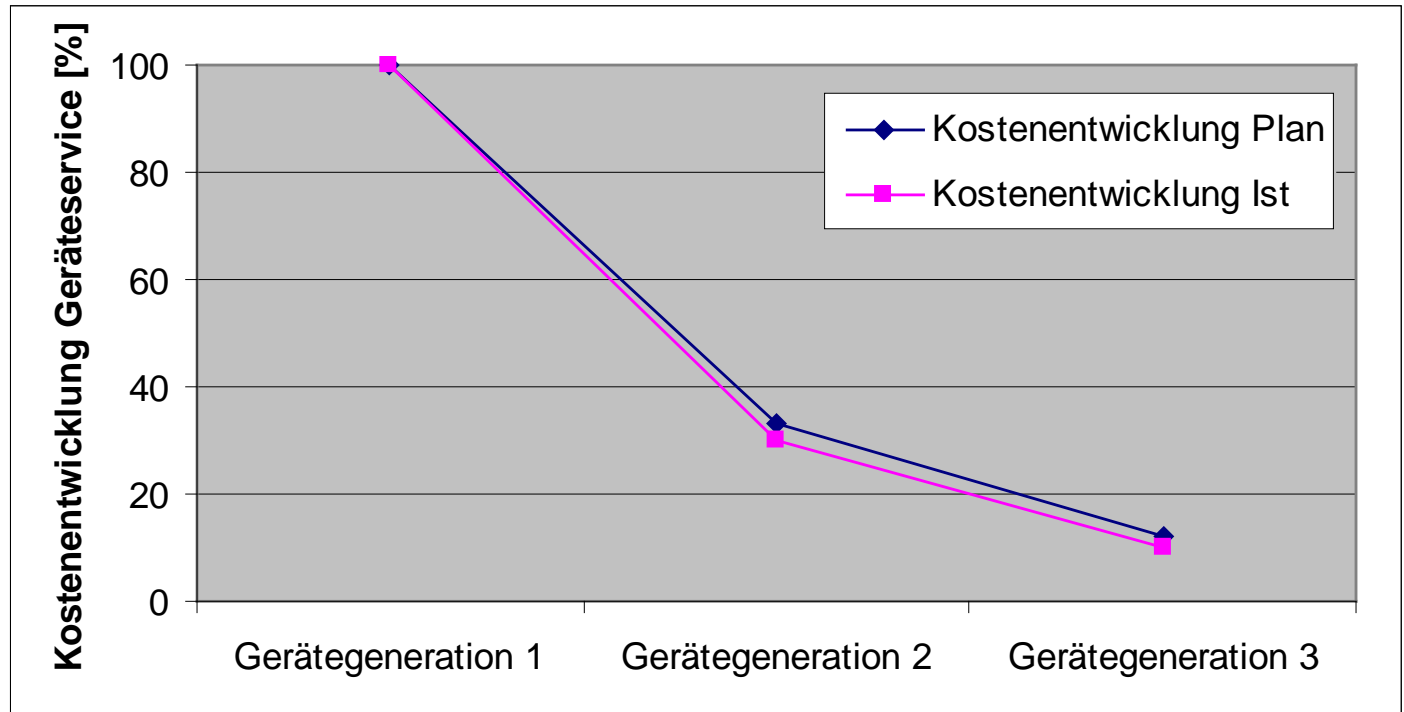
Objekt Mehrfamilienhaus 10 WE Baujahr 2009

	BHKW inhouse5000+	
Investitionskosten	60.000 €	
Installation und Inbetriebnahme in Deutschland	1.000 €	
Installationskosten (Elektro, Erdgas, Heizung, Abgas, Speicher)	7.500 €	
Betreiberförderung KfW433	-24.150 €	
Förderung BAFA (4 ct/ kWh & 8 ct/ kWh)		
Eigennutzung (4 ct/ kWh)	-6.728 €	
<i>Einspeisung (8 ct/ kWh)</i>	-3.420 €	
Verbleibender Invest	34.202 €	
Amortisation	8,4 a	

* durchschnittlicher Strompreis 2017 29,11 ct/kWh (brutto) / Quelle <https://1-stromvergleich.com/strom-report/strompreis/>

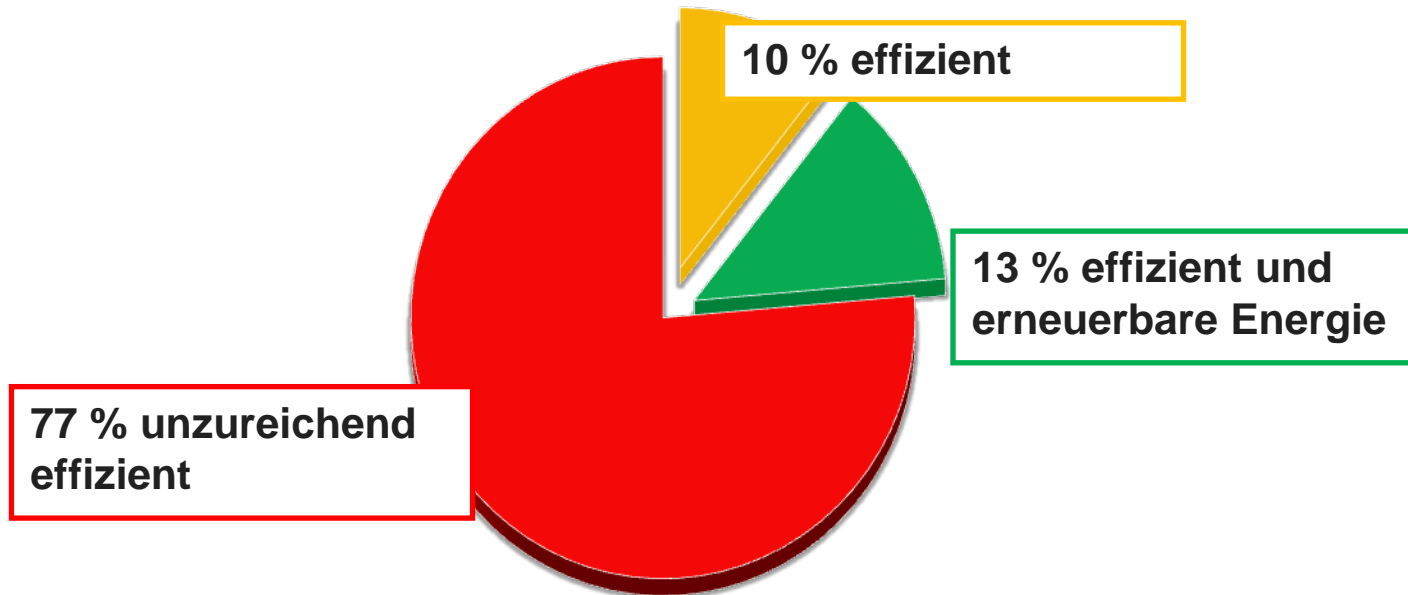
** durchschnittlicher Gaspreis 2017 6,5 ct/ kWh (brutto) / Quelle <https://1-gasvergleich.com/gaspreise/#Gaspreisentwicklung>

Kostenentwicklung Service/Ersatzteile (Mittelwerte über alle Hersteller)



→ Im Laufe des Projektes konnten die Kosten für Geräteservice und Ersatzteile um etwa 90 % reduziert werden.

Modernisierungsbedarf veralteter Heiztechnik:

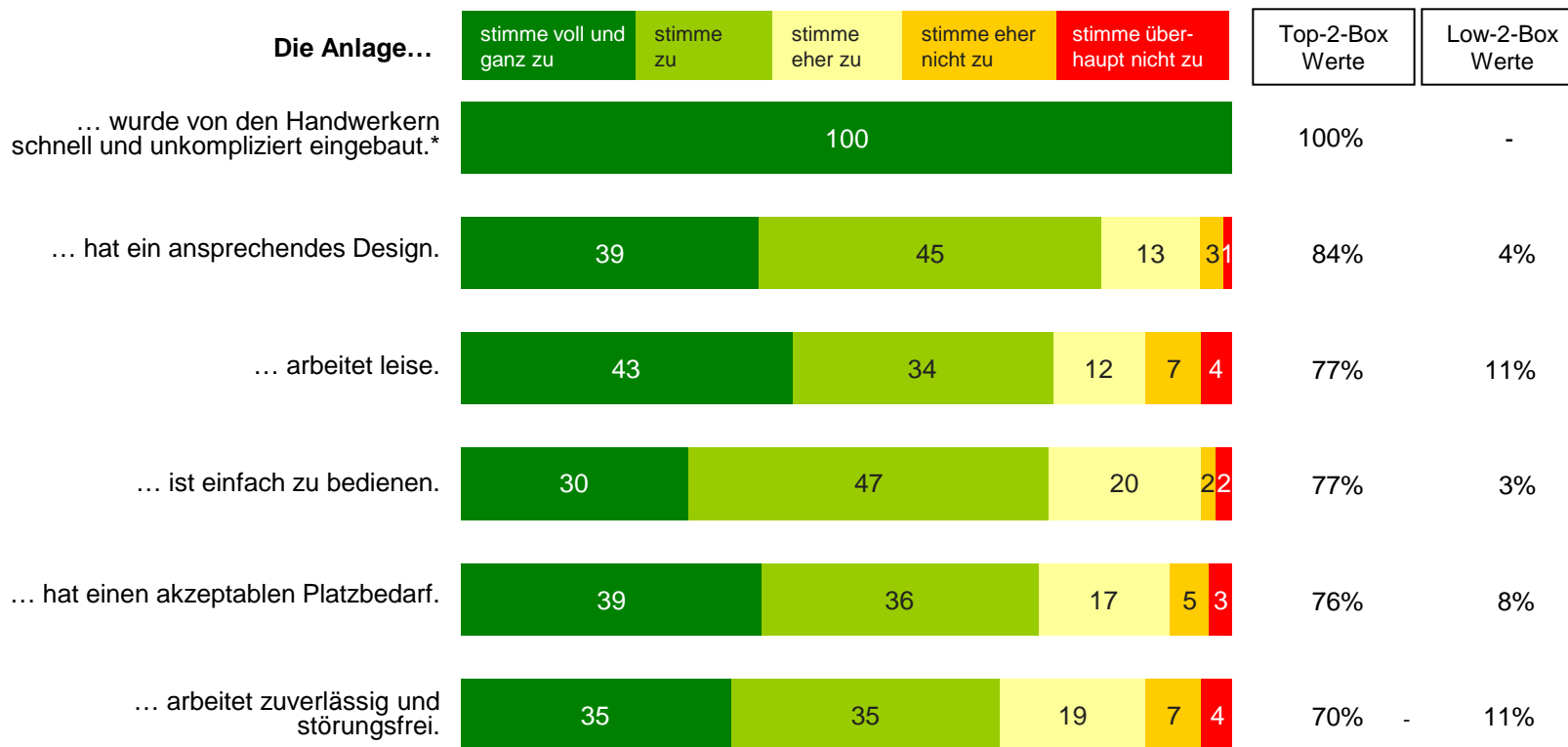


Nur 23% der 17,8 Mio. Wärmeerzeuger sind zeitgemäß effizient.

Abbildung/Quelle: Erhebung des Schornsteinfegerhandwerks für 2009, BDH Schätzung / Initiative Brennstoffzelle www.ibz-info.de

Ergebnisse aus den begleitenden Maßnahmen: AP2 Marktforschung

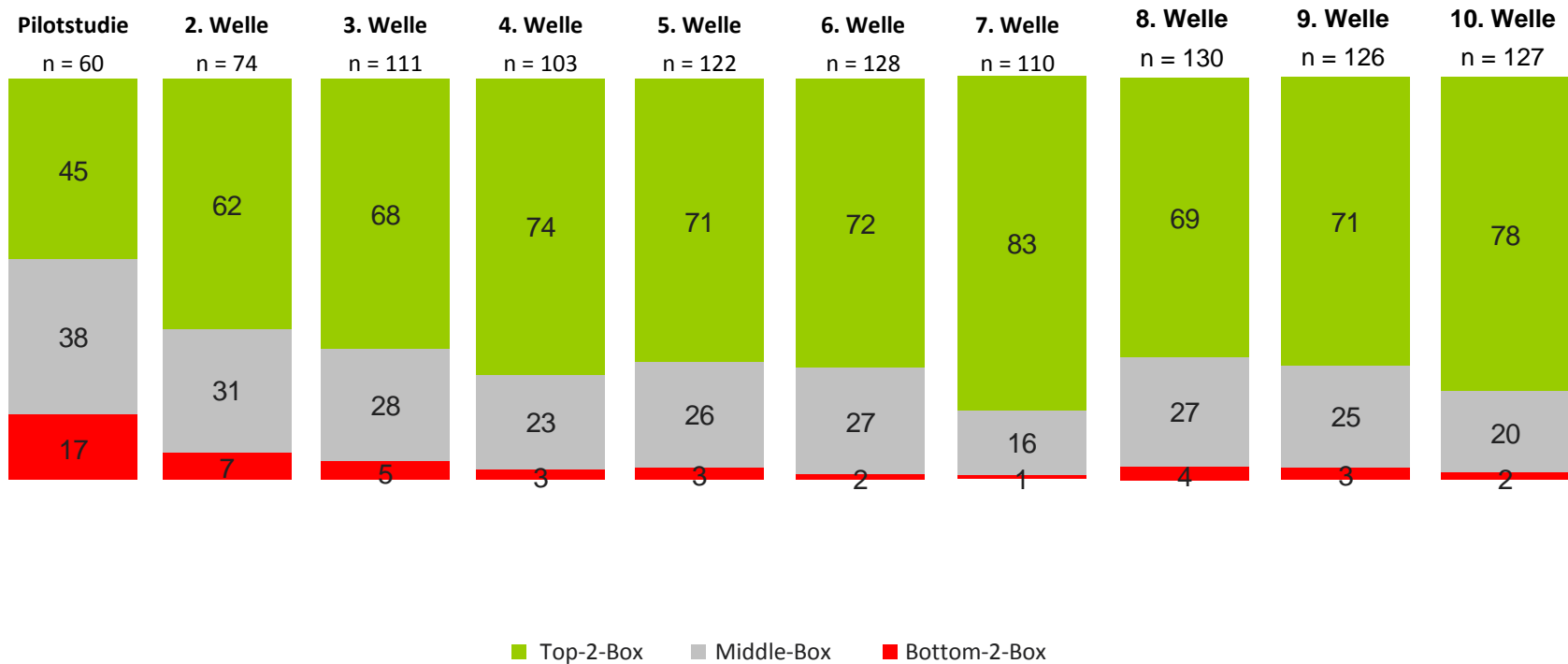
Erfahrungen mit Installation und Betrieb des BZH



* geringere Basis, da Statement nur an Befragte gestellt wurde, die in den Vorwellen noch nicht befragt wurden
 Befragung von Callux-Feldtestkunden im Mai 2015, Basis inkl. k.A.: n = 127; Basen exkl. k.A.: = 1/127/127/125/127/127

Ergebnisse aus den begleitenden Maßnahmen: AP2 Marktforschung

Anteil sehr zufriedener Nutzer bei etwa drei Viertel



Nun zu Ihren bisherigen Erfahrungen mit dem Brennstoffzellen-Heizgerät ganz allgemein.
Wie zufrieden sind Sie mit dem Brennstoffzellen-Heizgerät? Befragung von Calux-Feldtestkunden zwischen Januar 2011 und Mai 2015, Angaben in %

Fördermittelgeber (Beispiele):

- Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW):
 - Zuschuss Brennstoffzelle (433): Energieeffizient Bauen und Sanieren
 - bis 28.200 Euro Zuschuss je Brennstoffzelle (abhängig der Leistung)
 - für alle, die ein Brennstoffzellensystem in neue oder bestehende Gebäude einbauen
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA):
 - Enthalten in Typenliste
 - KWK-Zuschlag

Modelle

Brennstoffzellen-Heizgeräte gibt es von verschiedenen Herstellern. Die effizienten Anlagen, die Wärme und Strom liefern, arbeiten entweder als Vollheiz- oder Zusatzheizsystem.

BUDERUS



Die Buderus Energiezentrale Logapower BZH192IT

Die Bosch Thermotechnik GmbH bietet energieeffiziente Lösungen.

Mehr 

HEXIS



Brennstoffzellen-Heizgerät Galileo 1000 N

Die Schweizer Firma HEXIS gehört weltweit zu den führenden Unternehmen im Bereich der Hochtemperatur-Brennstoffzellentechnologie (SOFC).

Mehr 

JUNKERS



Das Junkers Heimkraftwerk Cerapower BZH192IT

Die Bosch Thermotechnik GmbH bietet energieeffiziente Lösungen.

Mehr 

SENERTEC



Dachs Innogen – Die Innovative KWK-Lösung für den kleinen Wärmebedarf

SenerTec ist europaweit Marktführer für hocheffiziente und klimafreundliche KWK-Anlagen.

Mehr 

SOLIDPOWER BLUEGEN



BlueGen – Strom selbst produzieren

Der BlueGEN ist ein hocheffizientes, erdgasbetriebenes Mikrokraftwerk, das die Brennstoffzellentechnologie nutzt, um Gebäude mit Strom und Wärme zu versorgen.

Mehr 

VAILLANT



Das Vaillant-Brennstoffzellen-Heizgerät für das Einfamilienhaus

Die Vaillant Group gehört zu den Pionieren bei der Entwicklung von Brennstoffzellen-Heizgeräten.

Mehr 

VISSMANN



Brennstoffzellen-Heizgerät Vitovalor 300-P

Die Viessmann Group hat als erster Hersteller ein in Serie gefertigtes Brennstoffzellen-Heizgerät in den Markt eingeführt.

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung Fazit

1. Technische Funktion

2. Einbindung ins Energiesystem

3. Einbindung ins Objekt

4. Wirtschaftlicher Betrieb

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung

Fazit

1. Technische Funktion

- Brennstoffzellen sind technisch ausgereift.
- Am Markt sind mehrere Produkte verfügbar.

2. Einbindung ins Energiesystem

3. Einbindung ins Objekt

4. Wirtschaftlicher Betrieb

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung

Fazit

1. Technische Funktion

- Brennstoffzellen sind technisch ausgereift.
- Am Markt sind mehrere Produkte verfügbar.

2. Einbindung ins Energiesystem

- KWK wird (mittelfristig) ein wichtiger Beitrag im Energiesystem beigemessen
- Der Ausbau ist erwünscht und wird gefördert.

3. Einbindung ins Objekt

4. Wirtschaftlicher Betrieb

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung

Fazit

1. Technische Funktion

- Brennstoffzellen sind technisch ausgereift.
- Am Markt sind mehrere Produkte verfügbar.

2. Einbindung ins Energiesystem

- KWK wird (mittelfristig) ein wichtiger Beitrag im Energiesystem beigemessen
- Der Ausbau ist erwünscht und wird gefördert.

3. Einbindung ins Objekt

- Brennstoffzellen bieten wenig Mehraufwand in der Installation ggü. Brennwertthermen
- Bestehende Produktpalette deckt viele Einsatzfälle ab.
- Voraussetzung ist die Verfügbarkeit von Erdgas

4. Wirtschaftlicher Betrieb

Vier Knackpunkte der Brennstoffzelle für die Umsetzung

Fazit

1. Technische Funktion

- Brennstoffzellen sind technisch ausgereift.
- Am Markt sind mehrere Produkte verfügbar.

2. Einbindung ins Energiesystem

- KWK wird (mittelfristig) ein wichtiger Beitrag im Energiesystem beigemessen
- Der Ausbau ist erwünscht und wird gefördert.

3. Einbindung ins Objekt

- Brennstoffzellen bieten wenig Mehraufwand in der Installation ggü. Brennwerttherme
- Bestehende Produktpalette deckt viele Einsatzfälle ab.
- Voraussetzung ist die Verfügbarkeit von Erdgas

4. Wirtschaftlicher Betrieb

- Test-Kunden sind mit der Brennstoffzelle sehr zufrieden
- Realisierung ist für jedes Objekt und Situationsabhängig zu prüfen.

Links zum Thema

- Initiative Brennstoffzelle

<http://www.ibz-info.de/>

- Die Brennstoffzellen- und Batterie-Allianz Baden-Württemberg (BBA-BW)

www.bba-bw.de/

- Callux-Projekt

www.callux.net

- KfW Programm 433

<http://www.kfw.de/433>

- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)

http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft_Waerme_Kopplung/Stromverguetung/Stromverguetung_bis_50_KW/stromverguetung_bis_50_kw_node.html

// Energie mit Zukunft

// Zentrum für Sonnenergie- und Wasserstoff-
Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Stuttgart:
Photovoltaik (mit Solab),
Energiepolitik und
Energieträger, Zentralbereich
Finanzen, Personal & Recht

Widderstall:
Solar-Testfeld

Ulm:
Elektrochemische Energietechnologien,
Hauptgebäude & eLaB