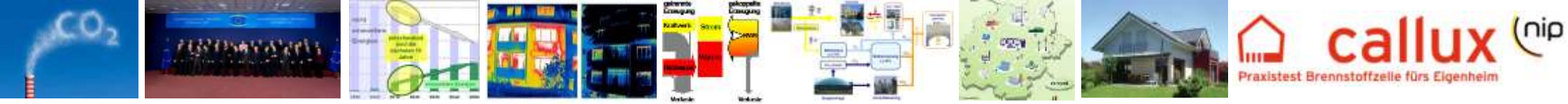
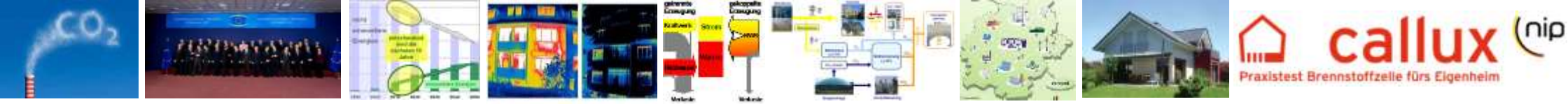


Bedeutung der μKWK mit Brennstoffzellen - Erfahrungen aus dem Callux-Projekt

Dr. Marc-Simon Löffler
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
Baden-Württemberg (ZSW)
www.zsw-bw.de

Workshop im Rahmen des EU-Projekts ene.field
28. November 2013
Düsseldorf

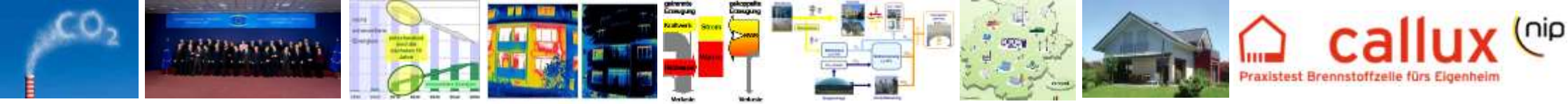


Inhalt

- **Energiewende - Treiber und Ziele**
- **KWK als Baustein der Energiewende**
- **Bedeutung der μKWK mit Brennstoffzellen**
- **Erfahrungen aus dem Callux-Projekt**

  → Ergebnisse aus den Callux-Feldtests

  → Begleitende Maßnahmen zur Marktvorbereitung



Inhalt

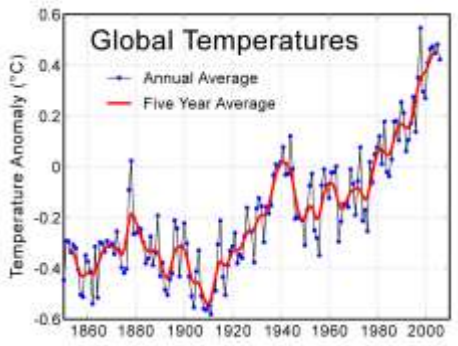
- **Energiewende - Treiber und Ziele**
- **KWK als Baustein der Energiewende**
- **Bedeutung der μKWK mit Brennstoffzellen**
- **Erfahrungen aus dem Callux-Projekt**

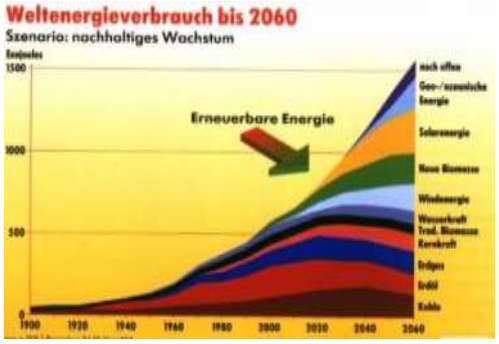
  → Ergebnisse aus den Callux-Feldtests

  → Begleitende Maßnahmen zur Marktvorbereitung

Energiewende - warum?
Treiber für den Wandel

- Globaler Klimawandel und lokale Luftverschmutzung
- Unbeherrschbare Risiken der Atomenergie
- Alarmierende Zunahme des Weltenergiebedarfes
- Begrenzte fossile Brennstoffe - Peak Oil
- geopolitische Abhängigkeiten bei der Energieversorgung

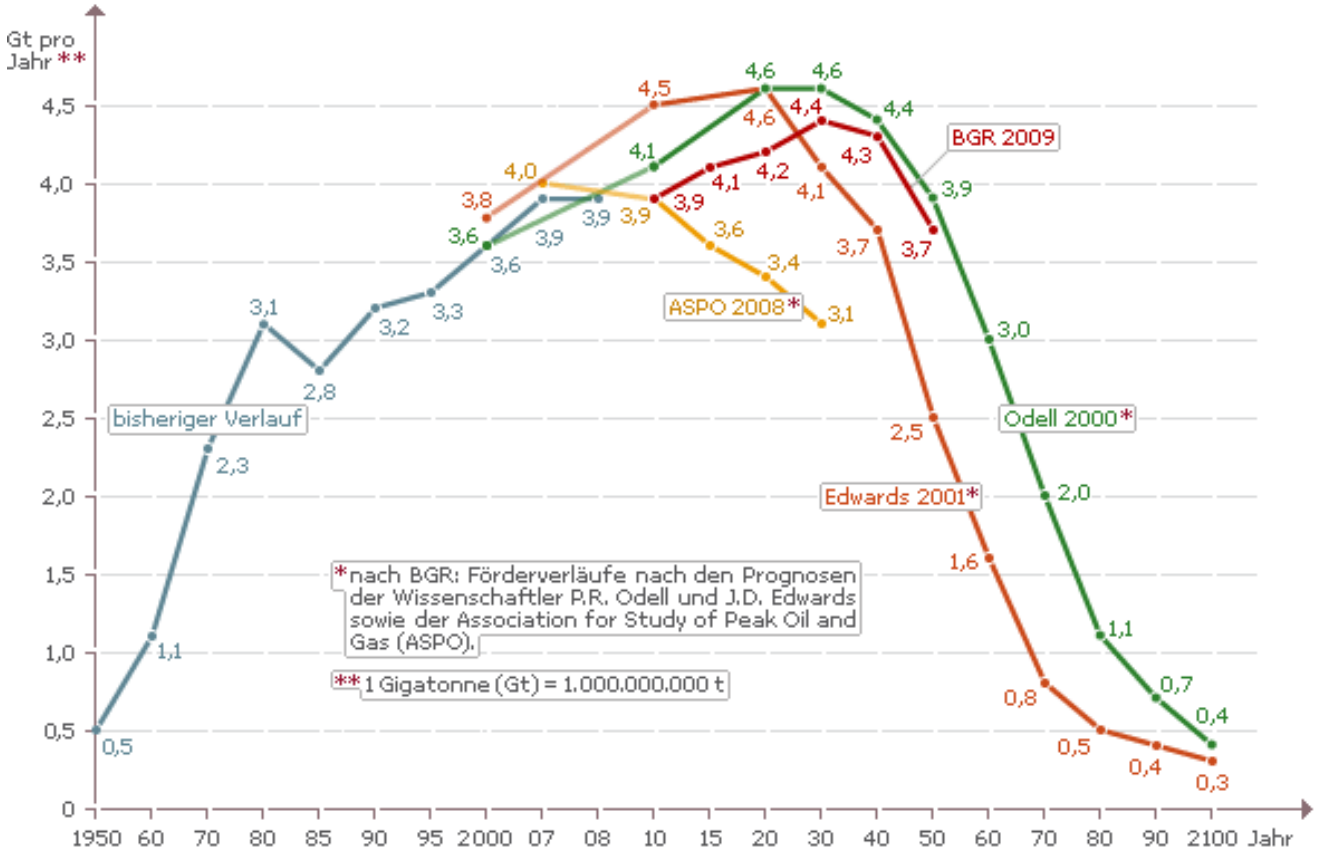




Peak Oil - begrenzte fossile Ressourcen

Peak Oil – Fördermaximum von konventionellem Erdöl

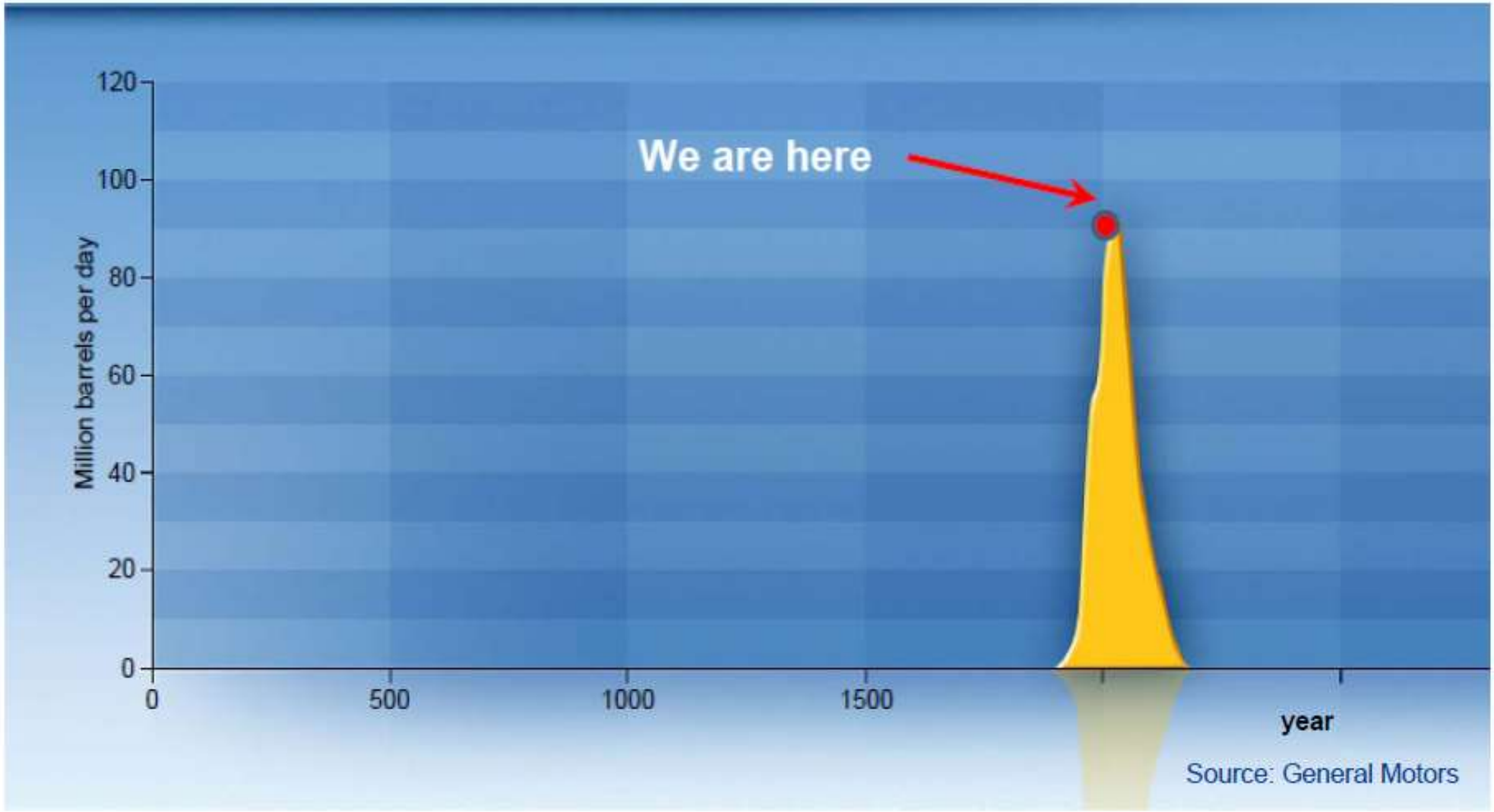
Beispiele für prognostizierte Förderverläufe mit Peak Oil, Produktion in Gigatonnen, weltweit 1950 bis 2100



Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Energierohstoffe 2009

Lizenz: Creative Commons by-nc-nd/3.0/de
Bundeszentrale für politische Bildung, 2010, www.bpb.de
(cc) BY-NC-ND

Peak Oil - begrenzte fossile Ressourcen

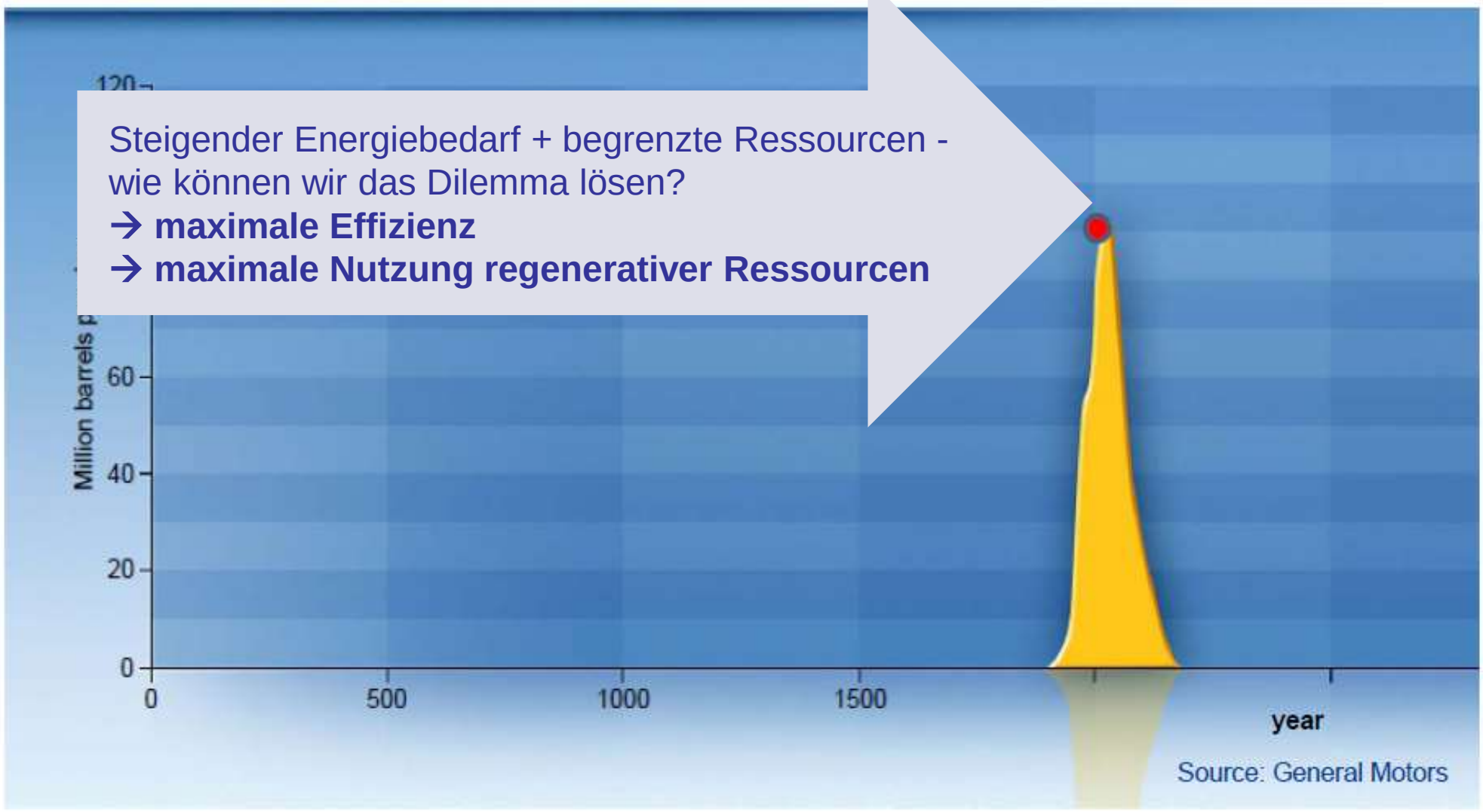


Peak Oil - begrenzte fossile Ressourcen

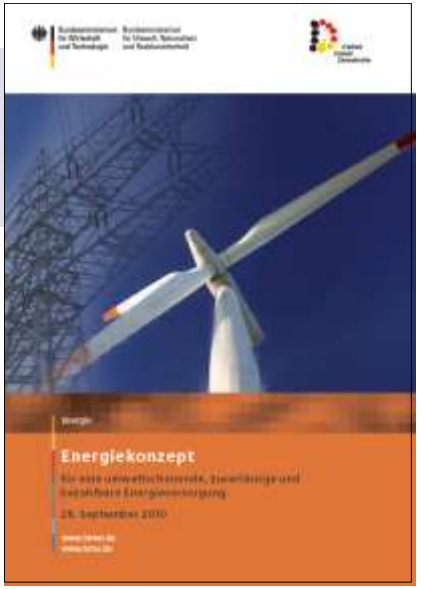
Steigender Energiebedarf + begrenzte Ressourcen - wie können wir das Dilemma lösen?

→ **maximale Effizienz**

→ **maximale Nutzung regenerativer Ressourcen**

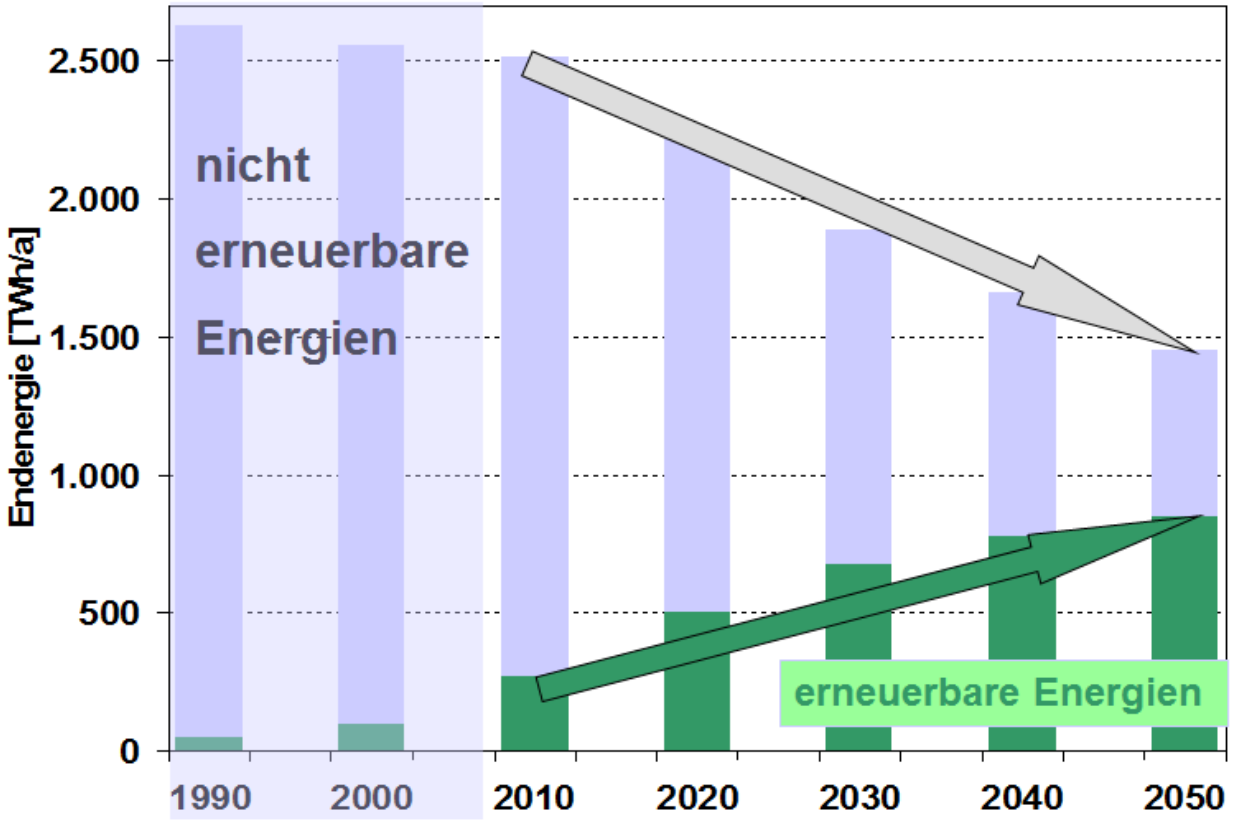


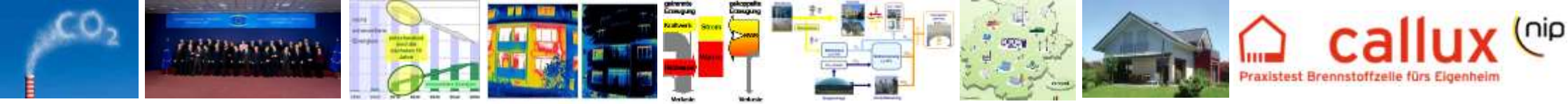
Die einfache Logik des Energiekonzepts



Reduzierung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80% bis 95% gegenüber 1990 durch

1. Halbierung des Primärenergieverbrauchs und
2. Deckung größtenteils aus erneuerbaren Energien





Inhalt

- **Energiewende - Treiber und Ziele**
- **KWK als Baustein der Energiewende**
- **Bedeutung der μKWK mit Brennstoffzellen**
- **Erfahrungen aus dem Callux-Projekt**

  → Ergebnisse aus den Callux-Feldtests

  → Begleitende Maßnahmen zur Marktvorbereitung

Ziele der Energiewende bis 2020 (Auswahl)

Oberziele

- **Reduktion der Treibhausgasemissionen** -40% ggü. 1990
- **Ausstieg aus der Kernenergie** (bis 2022)

Unterziele 1. Ebene

- **Anteil erneuerbarer Energien am Brutto-Endenergieverbrauch:** 18%
- ⟺
- **Reduktion Primärenergie-verbrauch:** -20% ggü. 2008

2. Ebene

- **erneuerb. Kraftstoffe** 12%
- **erneuerb. Wärme** 14%
- **erneuerb. Strom** mind. 35%
- ⟺
- **Red. Strom-verbrauch** -10% ggü. 2008
- **Red. EEV Raumwärme** -20% ggü. 2008
- **Red. EEV Verkehr** -10% ggü. 2005
- **Biomethan-Einspeisung** 6 Mrd. m³ in 2020
- **Strom aus KWK** 25% in 2020

3. Ebene

- 1 Mio. Elektrofahrzeuge in 2020
- Offshore-Windleistung 25 GW in 2030
- energetische Sanierungsrate 2%/a in 2020

Maßnahmen

EEG (Novelle), KfW-Programm Offshore-Wind, KWKG (Novelle), Mini-KWK-Richtlinie, EEWärmeG, MAP, NABEG, Energie-und Klimafonds, EnWG (Novelle), GasNZV, BioKraftFÄndG

Ziele der Energiewende bis 2020 (Auswahl)

Oberziele

- **Reduktion der Treibhausgasemissionen** -40% ggü. 1990
- **Ausstieg aus der Kernenergie** (bis 2022)

Unterziele 1. Ebene

- **Anteil erneuerbarer Energien am Brutto-Endenergieverbrauch:** 18%
- ⟺
- **Reduktion Primärenergie-verbrauch:** -20% ggü. 2008

2. Ebene

- **erneuerb. Kraftstoffe** 12%
- **erneuerb. Wärme** 14%
- **erneuerb. Strom** mind. 35%
- ⟺
- **Red. Strom-verbrauch** -10% ggü. 2008
- **Red. EEV Raumwärme** -20% ggü. 2008
- **Red. EEV Verkehr** -10% ggü. 2005
- **Biomethan-Einspeisung** 6 Mrd. m³ in 2020
- **Strom aus KWK** 25% in 2020

3. Ebene

- 1 Mio. Elektrofahrzeuge in 2020
- Offshore-Windleistung 25 GW in 2030
- energetische Sanierungsrate 2%/a in 2020

Maßnahmen

EEG (Novelle), KfW-Programm Offshore-Wind, KWKG (Novelle), Mini-KWK-Richtlinie, EEWärmeG, MAP, NABEG, Energie-und Klimafonds, EnWG (Novelle), GasNZV, BioKraftFÄndG

Ziele der Energiewende bis 2020 (Auswahl)

Oberziele

- **Reduktion der Treibhausgasemissionen** -40% ggü. 1990
- **Ausstieg aus der Kernenergie** (bis 2022)

Unterziele 1. Ebene

- **Anteil erneuerbarer Energien am Brutto-Endenergieverbrauch:** 18%
- ⟺
- **Reduktion Primärenergie-verbrauch:** -20% ggü. 2008

2. Ebene

- **erneuerb. Kraftstoffe** 12%
- **erneuerb. Wärme** 14%
- **erneuerb. Strom** mind. 35%
- ⟺
- **Red. Strom-verbrauch** -10% ggü. 2008
- **Red. EEV Raumwärme** -20% ggü. 2008
- **Red. EEV Verkehr** -10% ggü. 2005
- **Biomethan-Einspeisung** 6 Mrd. m³ in 2020
- **Strom aus KWK** 25% in 2020

3. Ebene

- 1 Mio. Elektrofahrzeuge in 2020
- Offshore-Windleistung 25 GW in 2030
- energetische Sanierungsrate 2%/a in 2020

Maßnahmen

EEG (Novelle), KfW-Programm Offshore-Wind, KWKG (Novelle), Mini-KWK-Richtlinie, EEWärmeG, MAP, NABEG, Energie-und Klimafonds, EnWG (Novelle), GasNZV, BioKraftFÄndG

Ziele der Energiewende bis 2020 (Auswahl)

Oberziele

- **Reduktion der Treibhausgasemissionen** -40% ggü. 1990
- **Ausstieg aus der Kernenergie** (bis 2022)

Unterziele 1. Ebene

- **Anteil erneuerbarer Energien am Brutto-Endenergieverbrauch:** 18%
- **Reduktion Primärenergie-verbrauch:** -20% ggü. 2008

2. Ebene

- **erneuerb. Kraftstoffe** 12%
- **erneuerb. Wärme** 14%
- **erneuerb. Strom** mind. 35%
- **Red. Strom-verbrauch** -10% ggü. 2008
- **Red. EEV Raumwärme** -20% ggü. 2008
- **Red. EEV Verkehr** -10% ggü. 2005
- **Biomethan-Einspeisung** 6 Mrd. m³ in 2020
- **Strom aus KWK** 25% in 2020

3. Ebene

- 1 Mio. Elektrofahrzeuge in 2020
- Offshore-Windleistung 25 GW in 2030
- energetische Sanierungsrate 2%/a in 2020

Maßnahmen

EEG (Novelle), KfW-Programm Offshore-Wind, KWKG (Novelle), Mini-KWK-Richtlinie, EEWärmeG, MAP, NABEG, Energie-und Klimafonds, EnWG (Novelle), GasNZV, BioKraftFÄndG

Ziele der Energiewende bis 2020 (Auswahl)

Oberziele

- **Reduktion der Treibhausgasemissionen** -40% ggü. 1990
- **Ausstieg aus der Kernenergie** (bis 2022)

Unterziele 1. Ebene

- **Anteil erneuerbarer Energien am Brutto-Endenergieverbrauch:** 18%
- **Reduktion Primärenergie-verbrauch:** -20% ggü. 2008

2. Ebene

- **erneuerb. Kraftstoffe** 12%
- **erneuerb. Wärme** 14%
- **erneuerb. Strom** mind. 35%
- **Red. Strom-verbrauch** -10% ggü. 2008
- **Red. EEV Raumwärme** -20% ggü. 2008
- **Red. EEV Verkehr** -10% ggü. 2005
- **Biomethan-Einspeisung** 6 Mrd. m³ in 2020
- **Strom aus KWK** 25% in 2020

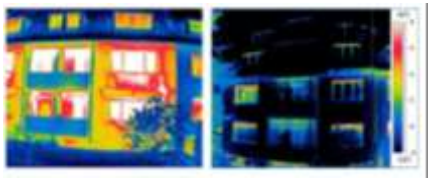
3. Ebene

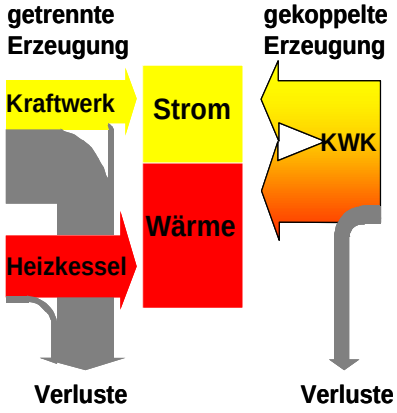
- 1 Mio. Elektrofahrzeuge in 2020
- Offshore-Windleistung 25 GW in 2030
- energetische Sanierungsrate 2%/a in 2020

Maßnahmen

EEG (Novelle), KfW-Programm Offshore-Wind, KWKG (Novelle), Mini-KWK-Richtlinie, EEWärmeG, MAP, NABEG, Energie-und Klimafonds, EnWG (Novelle), GasNZV, BioKraftFÄndG

KWK als Teil einer Dreifach-Strategie zur Zielerreichung im Wärmesektor





Sanierung des Altbaubestands

⇨ Dämmung, Modernisierung / Effizienzsteigerung Heizanlage

Ausbau Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien

⇨ Solarthermie, Bioerdgas, Zuwachs von Biomassewärme jedoch nur noch in netzgebundener Wärmeversorgung mittels KWK

Steigerung des Anteils von KWK-Wärme

⇨ **Ausbau dezentraler objektbezogener Erdgas-KWK** in Einzelobjekten und Nahwärmeversorgungen.

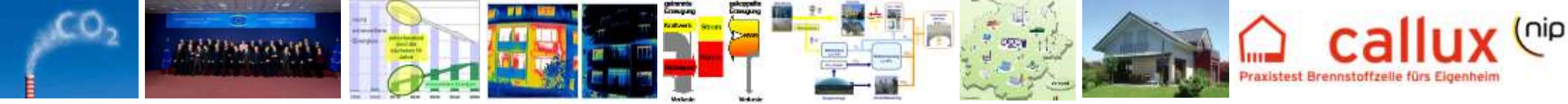
⇨ Erhalt / **Weiternutzung bestehender Fernwärme-versorgungen** und mittelfristig **Ersatz von Kohle durch Erdgas**.

⇨ Kraft-Wärme-Kopplung auf Basis **erneuerbarer Energien** (Bioerdgas, "Power to Gas").

KWK als flexibles, dezentrales Element im zukünftigem Kraftwerkspark

- ⇨ Insbesondere objektbezogene KWK-Anlagen (mit Wärmespeichern) können flexibel die fluktuierende Stromerzeugung aus **Wind und Sonne ergänzen** und das System stabilisieren (z. B. saisonale Antikorrelation zu Photovoltaik, Power to Heat).
- ⇨ Die Vernetzung dezentraler KWK-Systeme zu **virtuellen Kraftwerken** dient der gesicherten Deckung der Residuallasten sowie der Bereitstellung von Systemdienstleistungen.
- ⇨ Über die **KWK** können zeitnah schrittweise dezentrale Stromerzeugungskapazitäten vor Ort aufgebaut werden
- ⇨ Die dezentrale KWK kann einen wichtigen Beitrag zur **Netzentlastung** und -stabilisierung leisten.

Quelle: VDE



Inhalt

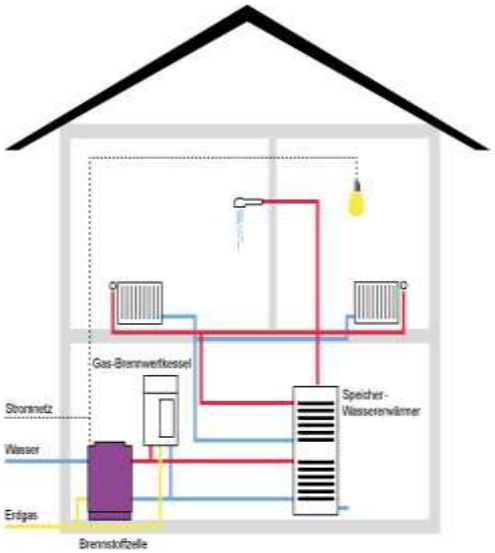
- **Energiewende - Treiber und Ziele**
- **KWK als Baustein der Energiewende**
- **Bedeutung der μKWK mit Brennstoffzellen**
- **Erfahrungen aus dem Callux-Projekt**

  → Ergebnisse aus den Callux-Feldtests

  → Begleitende Maßnahmen zur Marktvorbereitung

Kraft-Wärme-Kopplung - die Bedeutung von µKWK und Brennstoffzellen

- **Brennstoffzellen-Heizgeräte** erreichen von allen µKWK-Technologien die **höchsten elektrischen Wirkungsgrade (30%...60%)** und damit die günstigste Klimabilanz.
- Wegen der hohen Stromkennzahl und der guten leistungsseitigen Skalierbarkeit sind Brennstoffzellen-Heizgeräte **auch für den sanierten Gebäudebestand mit niedrigem Wärmebedarf geeignet.**
- µKWK-Systeme können bei **verteiltem Investitionsrisiko** vorhandene Heizkessel in Ein- und Zweifamilienhäusern ersetzen und zusätzlichen Investitionsaufwand vermeiden (z.B. für Nahwärmenetz).
- Einsatz fossiler (Erdgas) und regenerativer Energieträger (Bioerdgas, Erdgas-Substitut, H2) möglich.



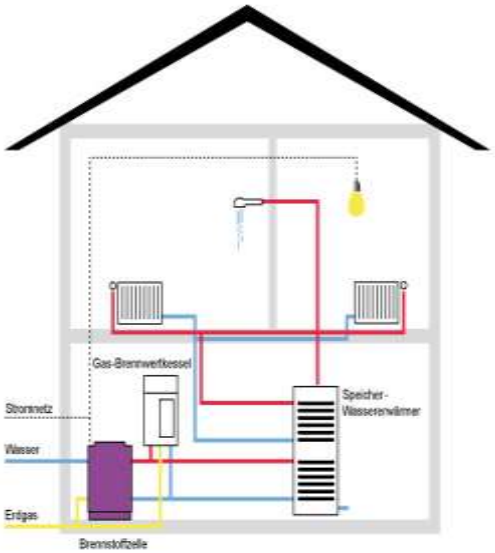
Quelle: IBZ

Kraft-Wärme-Kopplung - die Bedeutung von µKWK und Brennstoffzellen

- **Brennstoffzellen-Heizgeräte** erreichen von allen µKWK-Technologien die **höchsten elektrischen Wirkungsgrade (30%...60%)** und damit die günstigste Klimabilanz.
- Wegen der hohen Stromkennzahl und der guten leistungsseitigen Skalierbarkeit sind Brennstoffzellen-Heizgeräte **auch für den sanierten Gebäudebestand mit niedrigem Wärmebedarf geeignet.**
- µKWK-Systeme können bei **verteiltem Investitionsrisiko** vorhandene Heizkessel in Ein- und Zweifamilienhäusern ersetzen und zusätzlichen Investitionsaufwand vermeiden (z.B. für Nahwärmenetz).
- Einsatz fossiler (Erdgas) und regenerativer Energieträger (Bioerdgas, Erdgas-Substitut, H2) möglich.

- ***Das Marktpotenzial ist vorhanden…***

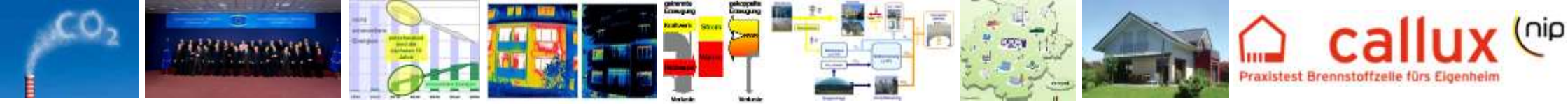
  im Jahr 2011 wurden in Deutschland 640.000 Heizungen für Wohngebäude verkauft, davon 476.000 auf Erdgasbasis (BDH 2012). **3,4 Millionen Heizkessel in Deutschland sind älter als 24 Jahre** (BGW 2008). Ein Großteil dieser Altgeräte steht in Ein- und Zweifamilienhäusern.



Quelle: IBZ

callux

Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim



Inhalt

- **Energiewende - Treiber und Ziele**
- **KWK als Baustein der Energiewende**
- **Bedeutung der μKWK mit Brennstoffzellen**
- **Erfahrungen aus dem Callux-Projekt**

  → Ergebnisse aus den Callux-Feldtests

  → Begleitende Maßnahmen zur Marktvorbereitung

NIP-Leuchtturmprojekt Callux (2008-2016)
Praxistest Brennstoffzellen-Heizgeräte (BZH)

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

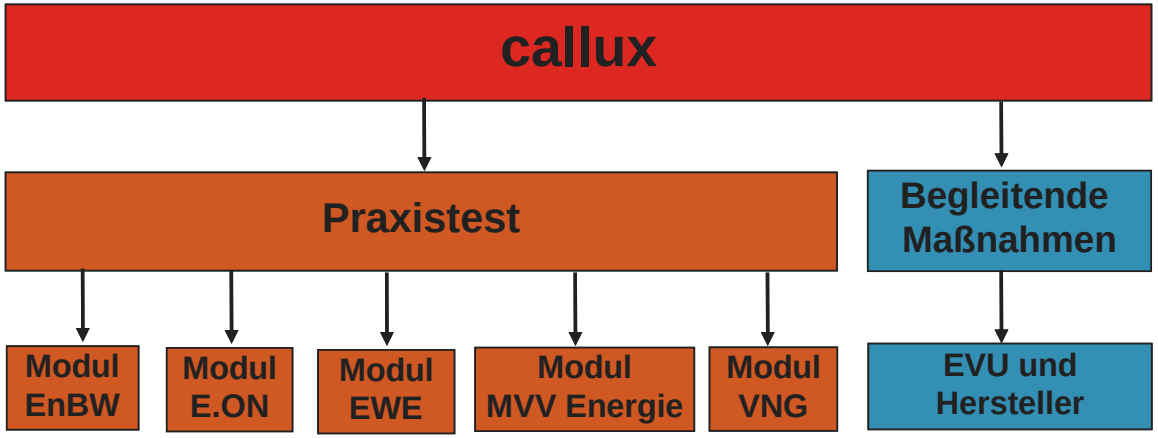
EnBW
e·on | Ruhrgas
EWE
MVV Energie
Verbundnetz Gas AG
BAXI INNOTECH fuel cell heating
HEXIS
Vaillant
ZSW

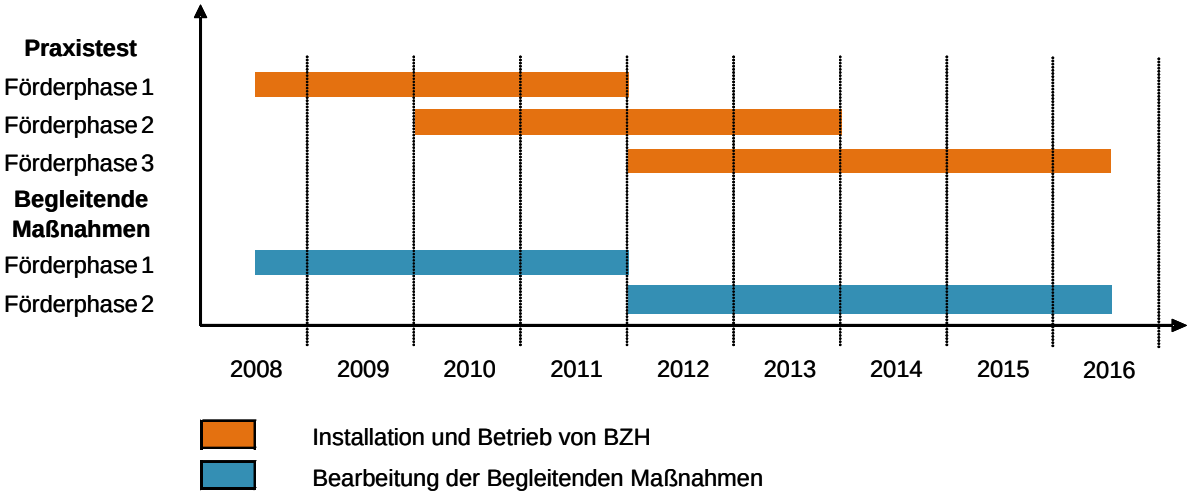
Ziel: Vorbereitung der Markteinführung erdgasbetriebener BZH

- Technologie: PEM / SOFC 1 kW_{el}
- Demonstration in Privathaushalten in den EVU-Versorgungsgebieten
- Weiterentwicklung der technischen Reife hin zu marktfähigen Produkten
- Aufbau von Lieferketten → Kostensenkung
- „Begleitende Maßnahmen“
  - → Qualifikation der Marktpartner
  - → Entwicklung Kommunikationsschnittstelle
  - → Marktforschung
  - → Projektkommunikation
- ZSW: Projektkoordination und wiss. Begleitung

ZSW

Leuchtturmprojekt Callux
Projektstruktur und Ablauf

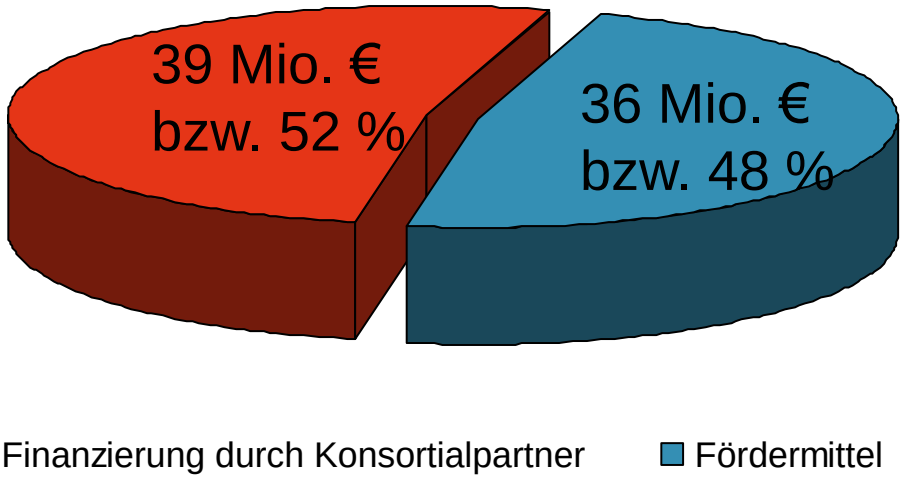




- Der Praxistest findet **vor allem in Privathaushalten** in ausgewählten Regionen Deutschlands statt.
- Die **EVU erwerben, installieren und betreiben** unabhängig voneinander die Brennstoffzellen-Heizgeräte.
- Der Praxistest ist in **drei Phasen** aufgeteilt, die durch **Assessments** abgegrenzt sind.
- Für den Praxistest liegen **einheitliche Feld-Zielwerte** vor, die für alle Hersteller identisch sind.

Leuchtturmprojekt Callux
Projektfinanzierung

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim



Gefördert durch:
Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
nip
NOW
Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

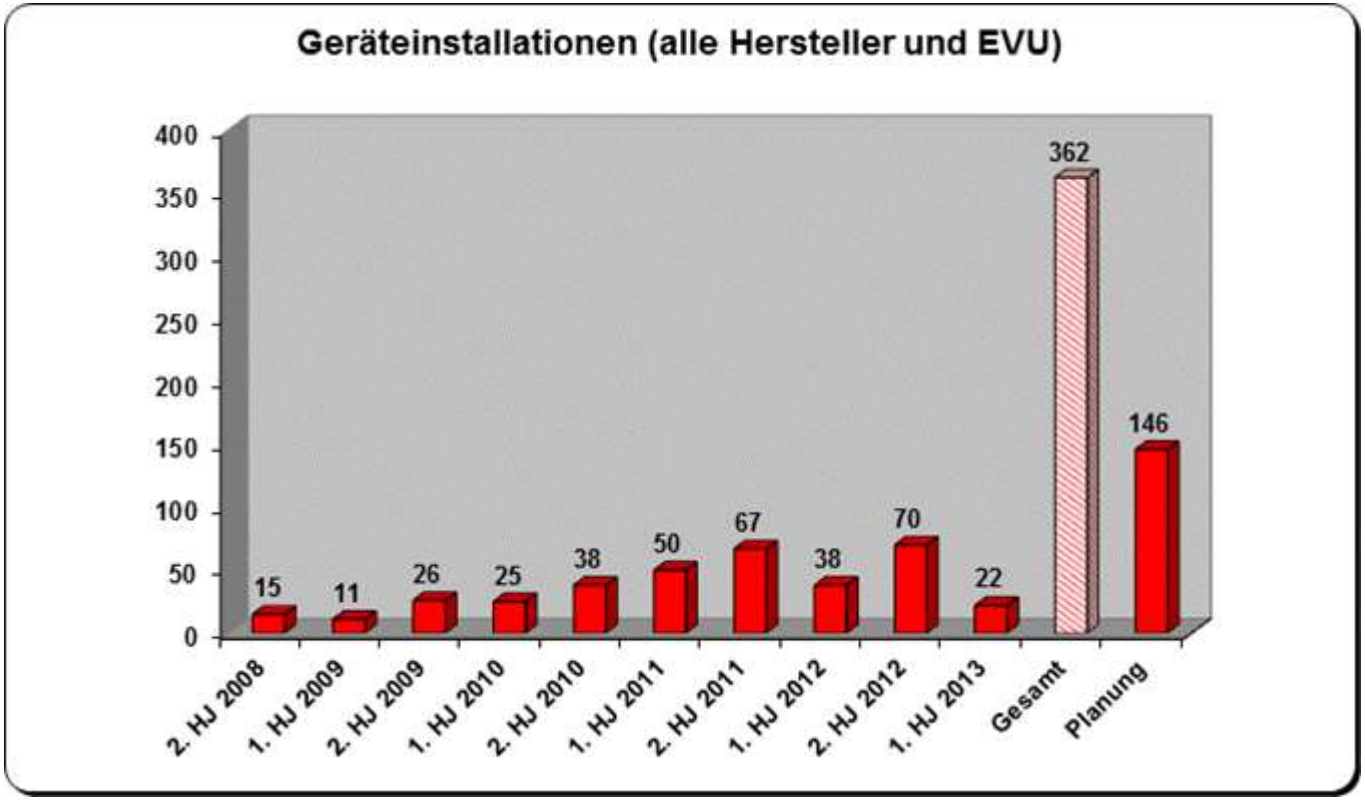
Callux hat bei geplanter Umsetzung ein Gesamtvolumen von ca. 75 Millionen Euro, davon werden 39 Millionen Euro durch die Konsortialpartner finanziert.

Leuchtturmprojekt Callux
Ausgewählte Ergebnisse Feldtest

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

Bislang sind ca. **380 Geräte ins Feld gegangen**; Ziel: > 500 Geräte bis Anfang 2014.

Bis dato konnten etwa **3 Mio. Stunden Betriebserfahrung** gesammelt werden.



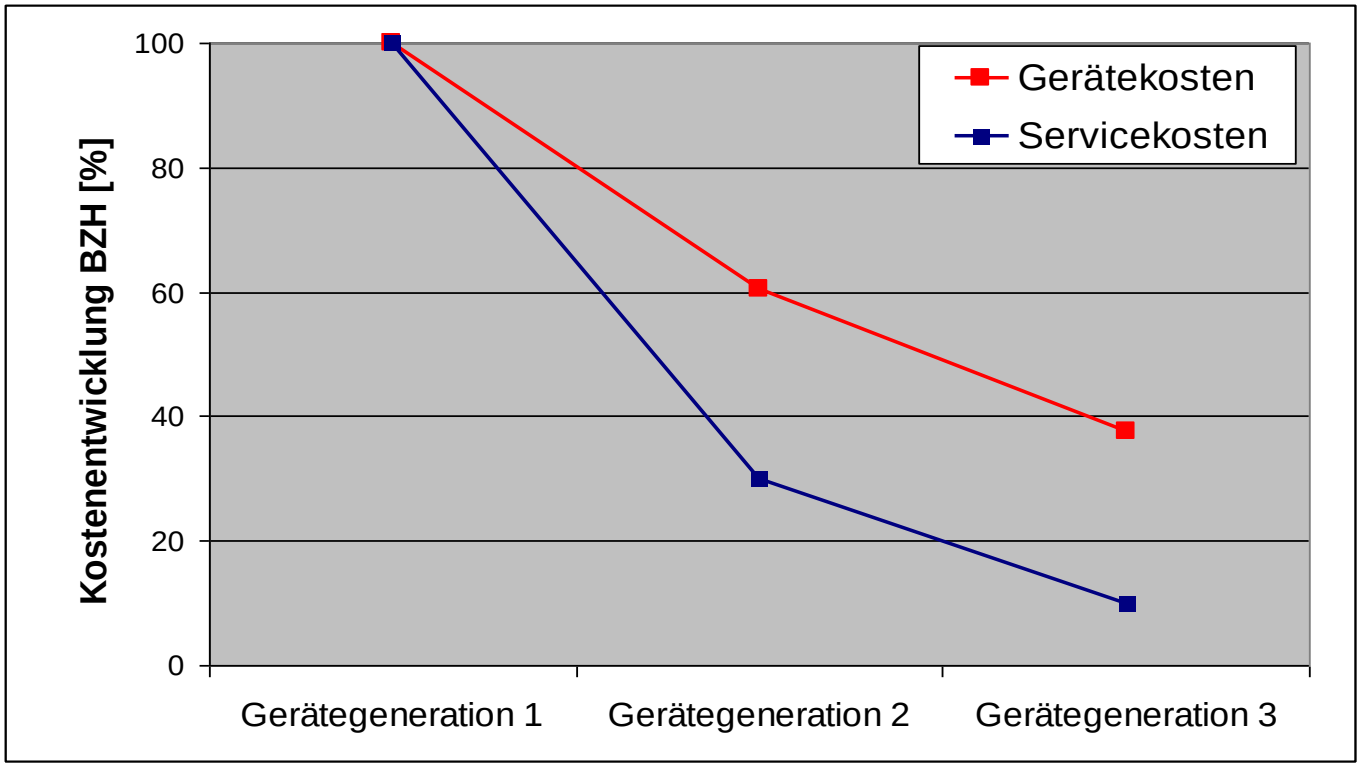
Stand 30.06.2013

Leuchtturmprojekt Callux
Ausgewählte Ergebnisse Feldtest

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

Im Laufe des Feldtests wurden die **Gerätekosten um ca. 60 % gesenkt**.

Die Kosten für den Geräteservice und die Vorhaltung von Ersatzteilen konnten um über 90 % reduziert werden.



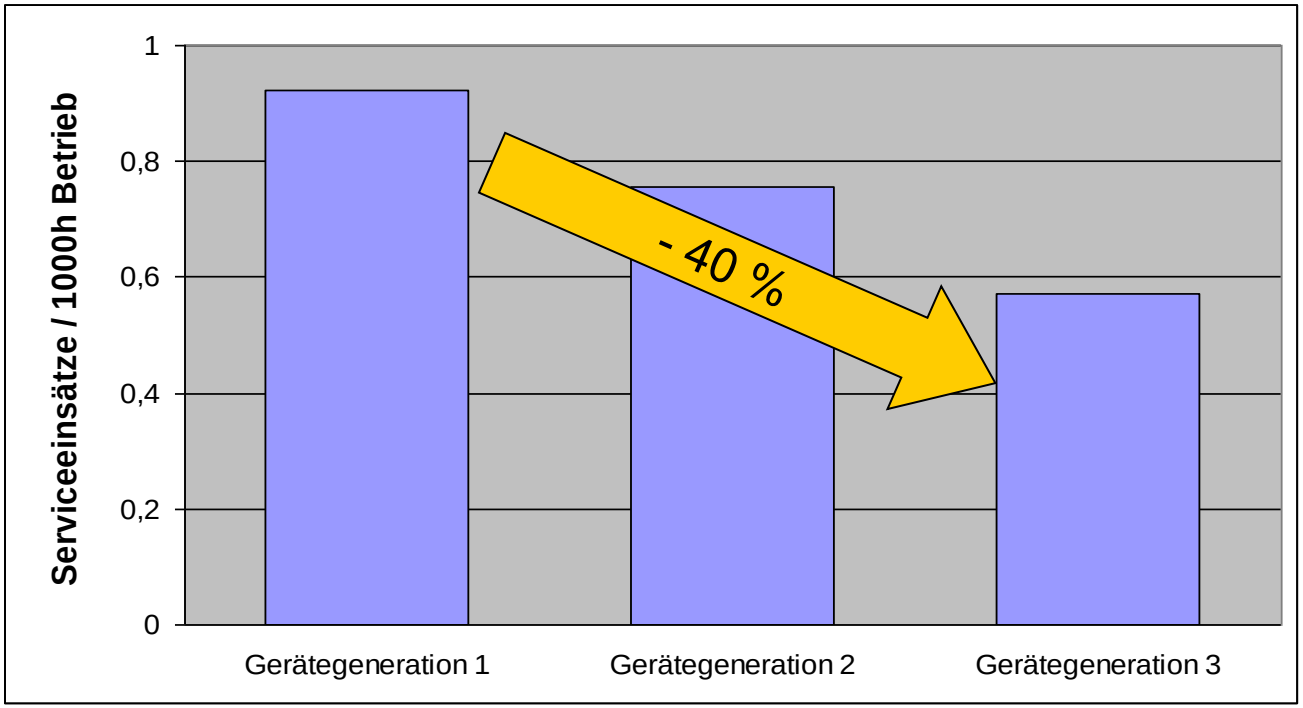
Mittelwerte über alle Gerätehersteller

Leuchtturmprojekt Callux
Ausgewählte Ergebnisse Feldtest

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

Im Projektverlauf wurde die **Anzahl der Serviceeinsätze stetig reduziert**.

Die Zuverlässigkeit der Hauptkomponenten Stack und Reformer konnte deutlich verbessert und die **Anlagenverfügbarkeiten auf über 97 % gesteigert** werden.



Mittelwerte über alle Anlagen, Betrachtungszeitraum 06/2008 – 12/2012

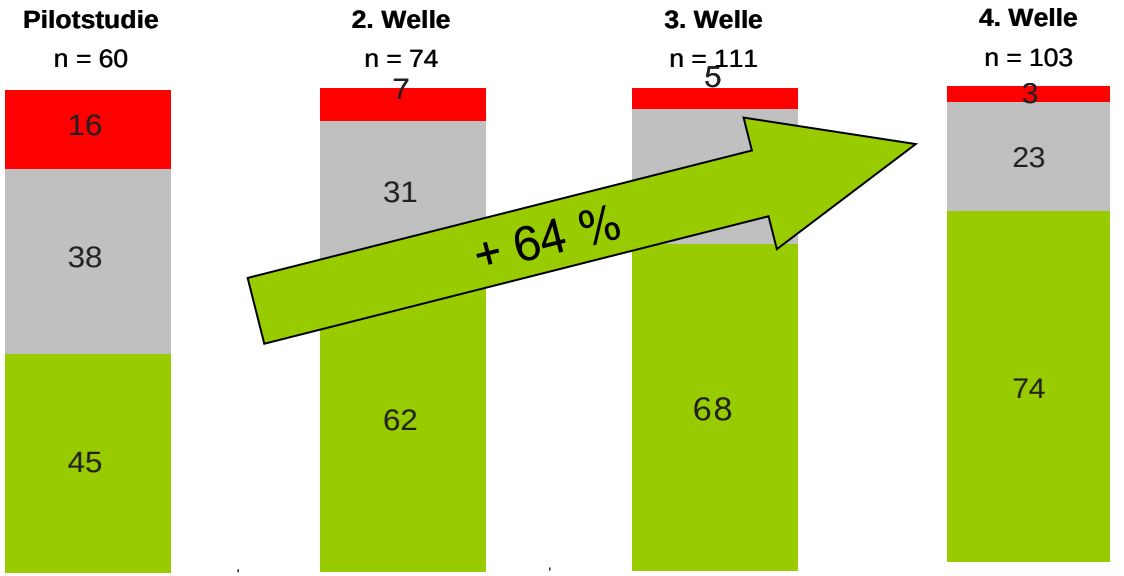
Leuchtturmprojekt Callux
Ausgewählte Ergebnisse Feldtest

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

Im Projektverlauf wurde die **Anzahl der Serviceeinsätze stetig reduziert**.

Die Zuverlässigkeit der Hauptkomponenten Stack und Reformer konnte deutlich verbessert und die **Anlagenverfügbarkeiten auf über 97 % gesteigert** werden.

Anteil sehr zufriedener Kunden stetig gestiegen

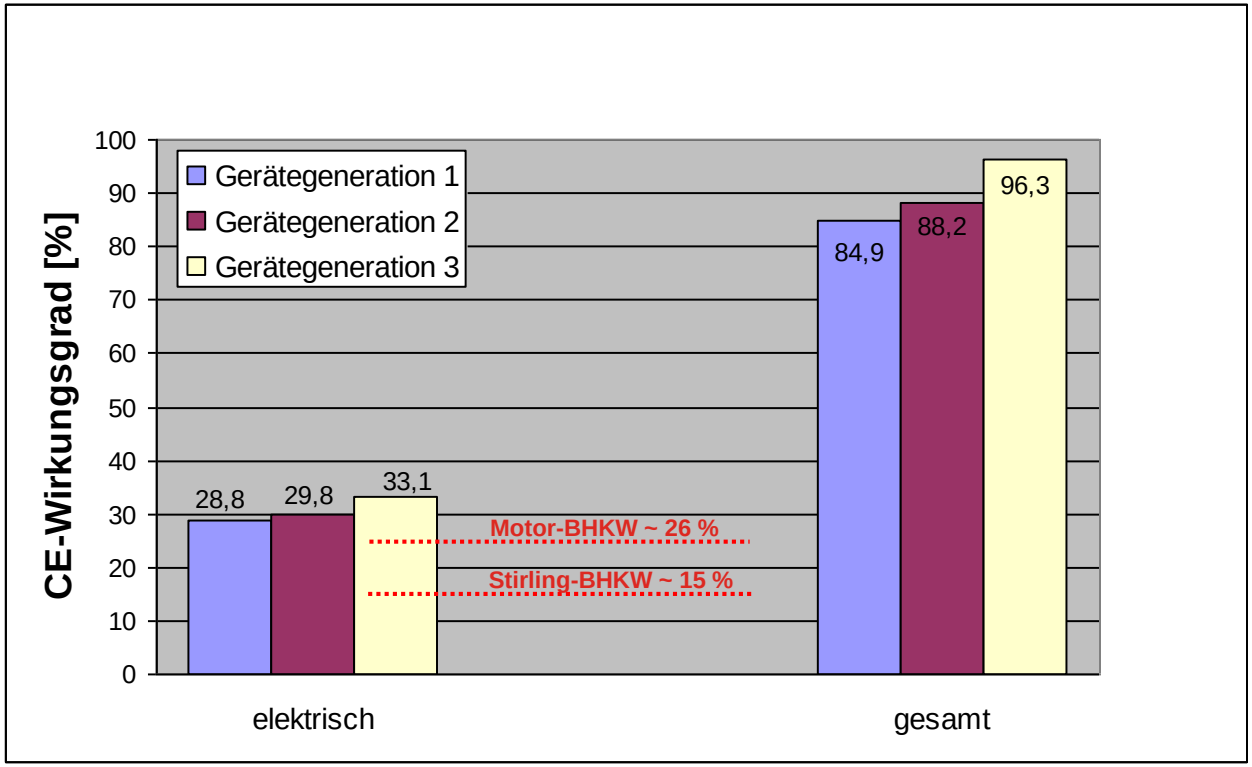


Wie zufrieden sind Sie mit dem Brennstoffzellen-Heizgerät?
Befragung der Callux-Feldtestkunden zwischen Januar 2011 und Mai 2012, **Angaben in %**

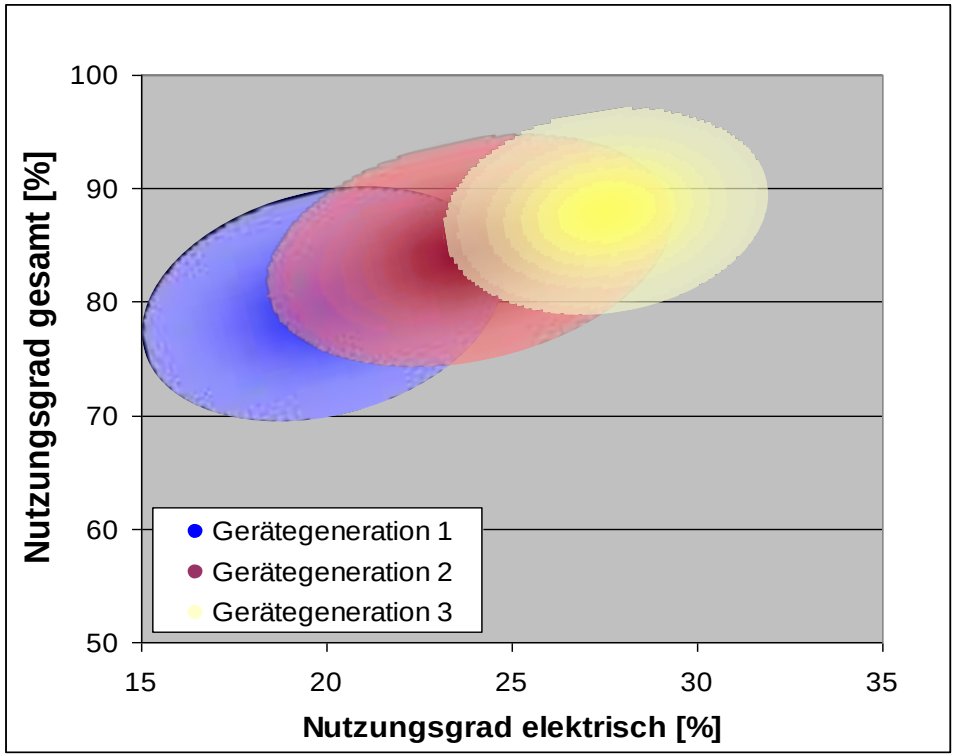
Leuchtturmprojekt Callux
Ausgewählte Ergebnisse Feldtest

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

Im Projektverlauf wurden die **Wirkungsgrade und Nutzungsgrade kontinuierlich verbessert** und dabei elektrische Nutzungsgrade > 30 % und Gesamtnutzungsgrade > 95 % nachgewiesen.



Mittelwert alle Gerätehersteller, bezogen auf unteren Heizwert H_u

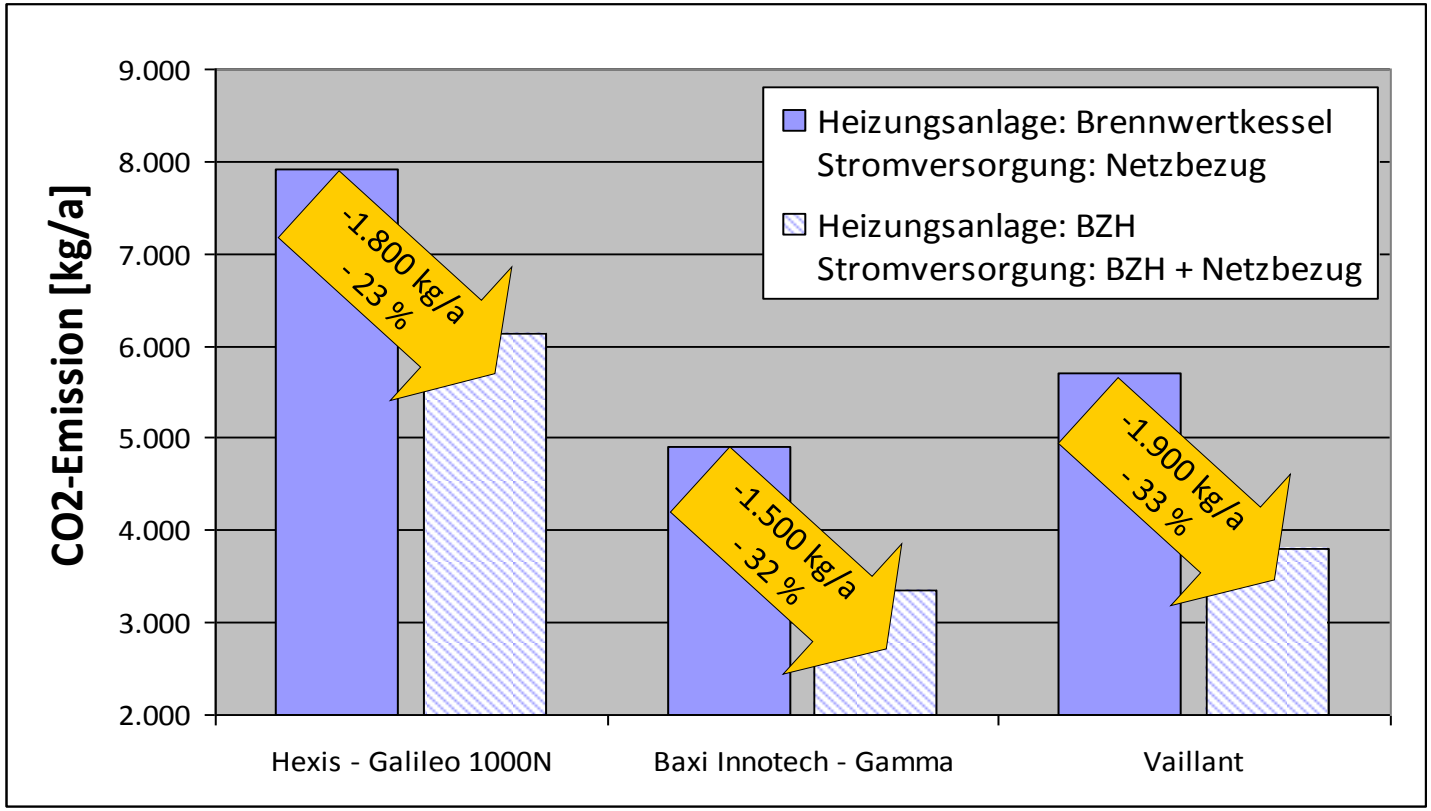


alle Anlagen, bezogen auf H_u, Betrachtungszeitraum 06/2008 – 06/2013

Leuchtturmprojekt Callux
Ausgewählte Ergebnisse Feldtest

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

Es konnten im Feld jährliche **CO_2-Minderungen von durchschnittlich ca. 1,2 t** und maximal ca. 2 t nachgewiesen werden (Vergleich BWT + Netzbezug); dies entspricht gebäudeabhängig einer **CO_2-Reduktion von bis zu 33 %.**



Ausgewählte Anlagen; Berechnung nach Stromrestwertmethode

Leuchtturmprojekt Callux
Ausgewählte Ergebnisse Feldtest

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

Weitere qualitative Fortschritte

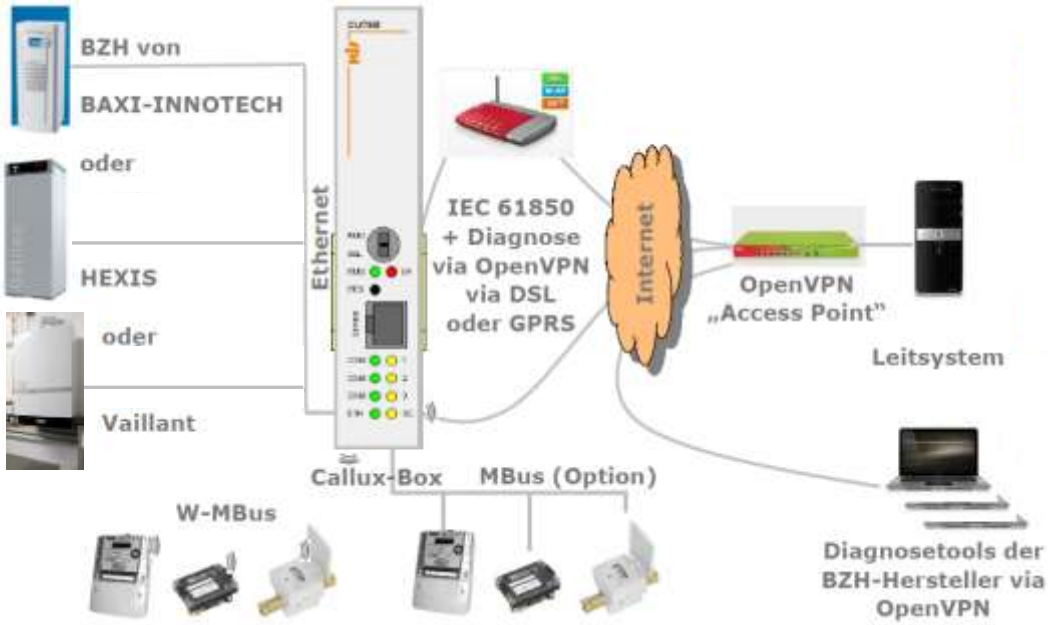
- Deutliche Reduktion von Geräteabmessungen und –gewicht (bis zu 50 %)
- Bestätigung niedrige Schadstoff- und Lärmemissionen
- Zunehmende Vereinfachung der Installation in die vorhandene Haustechnik
- Deutliche Reduzierung der Wartungseinsätze
- Erhöhung der jährlichen Betriebszeiten durch bedarfsgerechte Modulation und Erhöhung der Stromkennzahl
- Stacklaufzeiten von deutlich mehr als 15.000 h in den Feldtests nachgewiesen
- Weitere Senkung der Stack-Degradationsraten auf bis zu < 0,2 % pro 1000 h

Leuchtturmprojekt Callux
Begleitende Maßnahmen: Infrastruktur

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

→ Monitoringkonzepte / Datenerfassung und Auswertung der Feldtest-Ergebnisse

→ Entwicklung einer standardisierten Kommunikationsschnittstelle



- ✓ Aufnahme Gebäude- und Gerätedaten
- ✓ Übertragung Stör-/ Fehlermeldungen
- ✓ BZH-Steuerung durch Vorgabe von Fahrplänen innerhalb eines virtuellen Kraftwerks / Netzlastmanagements
- ✓ nutzbar für andere KWK-Technologien

Leuchtturmprojekt Callux
Begleitende Maßnahmen: Marktpartner

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

- → Gezielter Know-how-Aufbau bei Anwendern wie Handwerkern oder technischen Planern
- → Motivation und Abbau von Hürden bei der Einführung der Heizgeräte-Innovation
- → Ansprache und Ausbildung der Anwender über Bildungseinrichtungen, bundesweit und flächendeckend

Interaktives Informationsprogramm

→ *Download www.callux.net*

Leuchtturmprojekt Callux
Begleitende Maßnahmen: Marktforschung

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

→ Analyse von Anforderungsprofilen und Markteintrittsbarriere (Endkunden, Installateure,...) und Marktanalyse Wärme-/ Heizungsmarkt

Beispiel: Ausgewählte Ergebnisse der Befragung von 103 Feldtestkunden im Mai 2012

- **8 von 10** befragten Feldtestkunden der Feldtestkunden haben an dem Feldtest teilgenommen, weil sie das Brennstoffzellen-Heizgerät für **das System der Zukunft** halten.
- **9 von 10** befragten Feldtestkunden **würden das Brennstoffzellen-Heizgerät** anderen Menschen in der selben Wohnsituation **empfehlen**.
- **8 von 10** befragten Feldtestkunden empfinden die Anlage im Betrieb als **leise**.
- **9 von 10** befragten Feldtestkunden sagen, dass die Anlage ein **ansprechendes Design** hat.
- **8 von 10** befragten Feldtestkunden sagen, dass die Anlage von den Handwerkern schnell und **unkompliziert eingebaut** wurde.
- **9 von 10** befragten Feldtestkunden sagen, dass der **Kundendienst Probleme schnell und zuverlässig löst**.
- **9 von 10** befragten Feldtestkunden werden **gerne an** einem **Folgetest** mit einem Nachfolgegerät **teilnehmen**.

Leuchtturmprojekt Callux
Begleitende Maßnahmen: Kommunikation

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

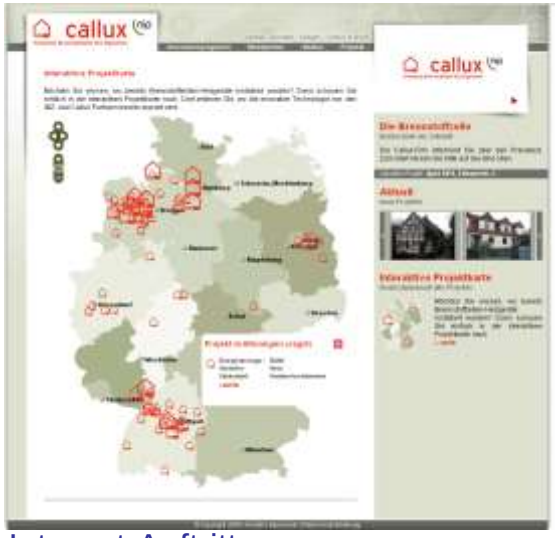
Einweihung der Anlage im BMU

Parlamentarischer Abend in Berlin

Callux-Newsletter

Hannover Messe 2013

Einweihung einer Anlage

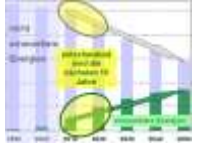


Internet-Auftritt

Leuchtturmprojekt Callux
Fazit & Ausblick

callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

- Die Callux-Projektziele wurden größtenteils erreicht bzw. übertroffen (Performancesteigerung, Kostensenkung, Nachweis der prognostizierten CO_2-Minderungspotentiale etc.).
- Die in Callux gewonnenen Feldtest-Erfahrungen sowie die Ergebnisse und Vorarbeiten im Rahmen der „Begleitenden Maßnahmen“ sind Grundlage für die Markteinführung der Geräte.
- Fortführung der Geräteinstallationen in Callux bis Anfang 2014 und Weiterbetrieb der Anlagen bis Mitte 2016; u.a. Erprobung des Fahrplanbetriebs der Geräte für einen zukünftigen Einsatz in virtuellen Kraftwerken.



callux
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim
nip

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Marc-Simon Löffler
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
Baden-Württemberg
marc-simon.loeffler@zsw-bw.de
www.zsw-bw.de