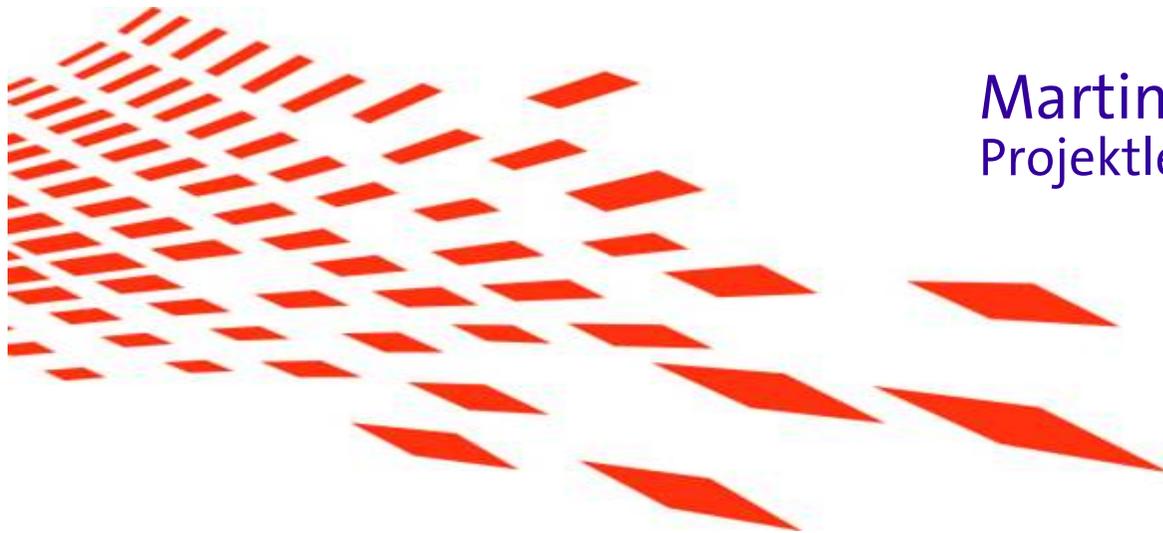


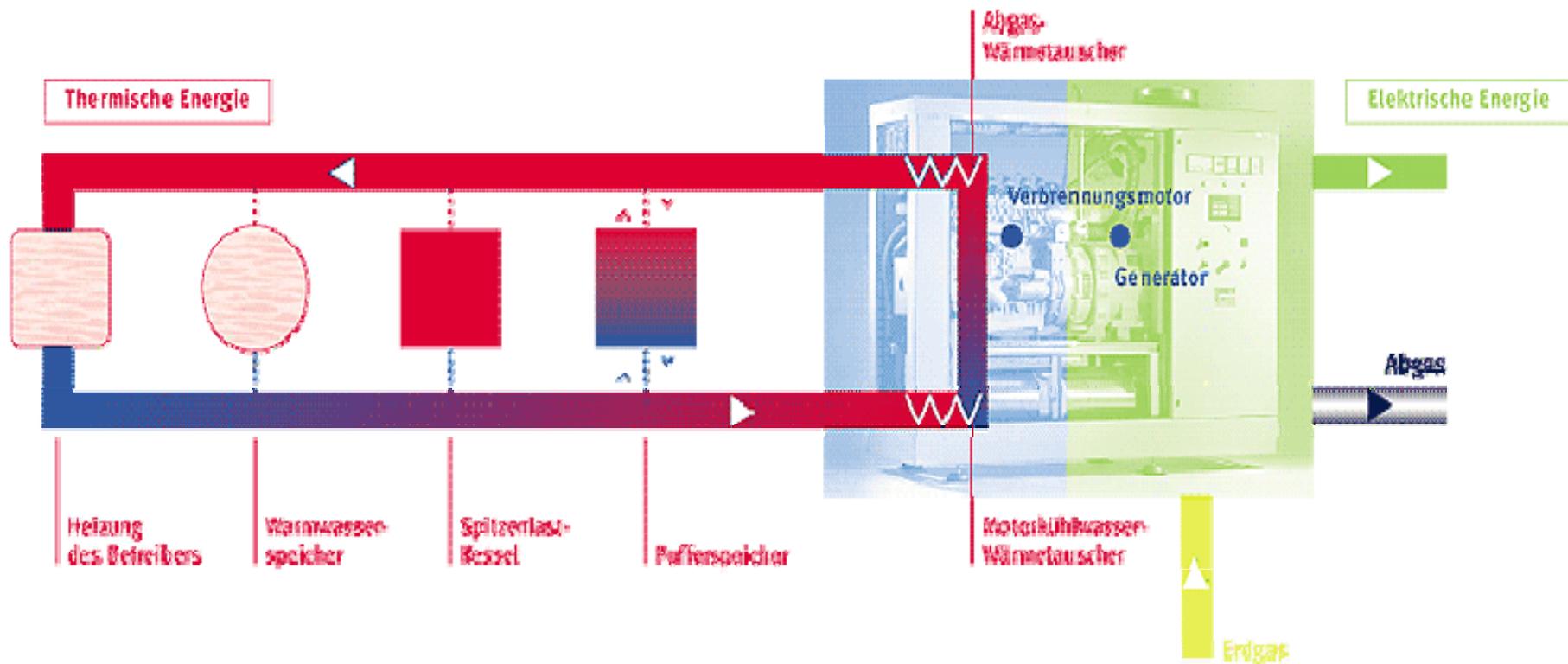
Innovative Kraft-Wärme-Kopplung mit einer Brennstoffzelle



Martin Barnsteiner
Projektleitung

Was ist Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)?

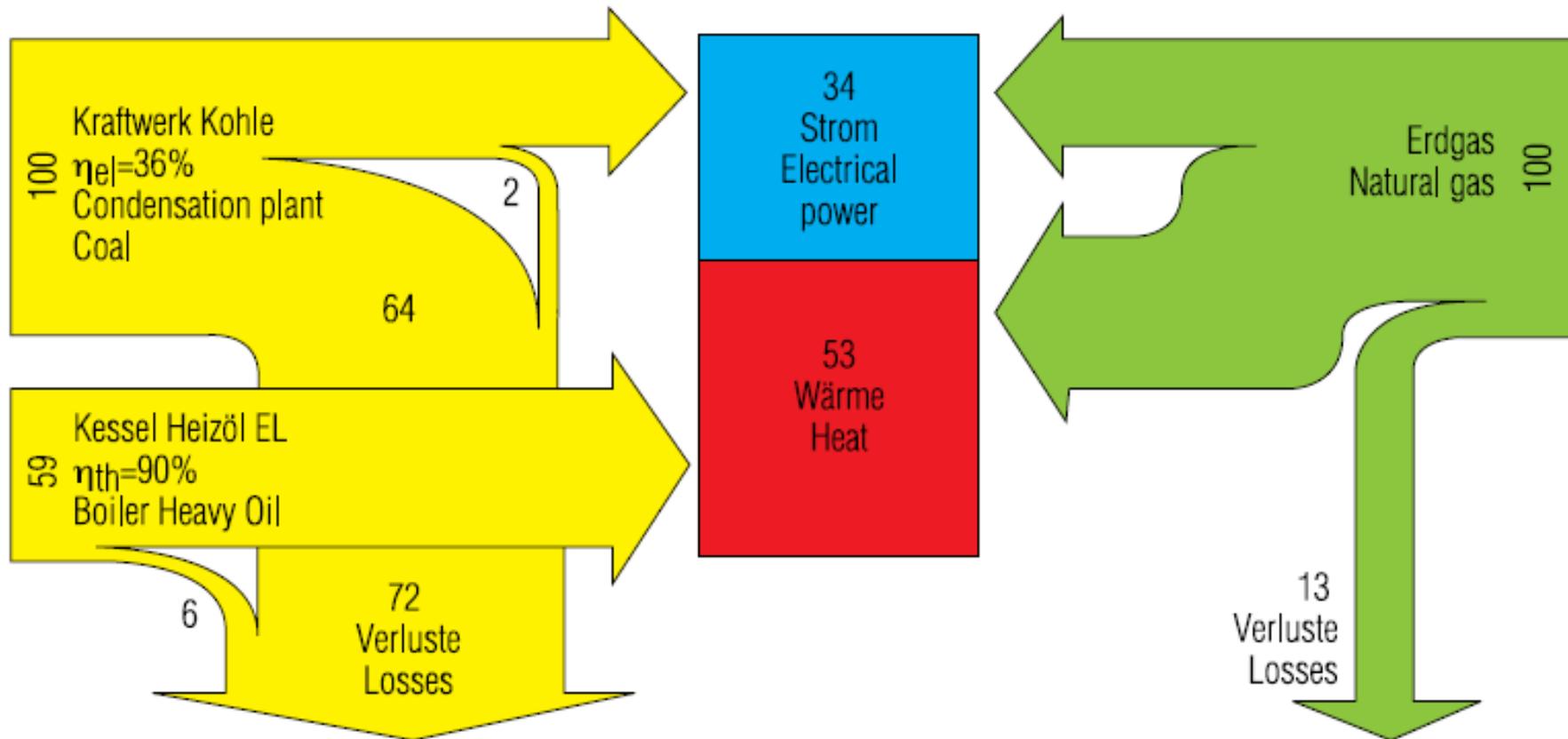
Strom und Wärme wird gleichzeitig z. B. in einen Erdgas-Motor erzeugt.



Primärenergieeinsparung durch KWK

Energieeinsatz getrennte Erzeugung 159
Energy input 159

Energieeinsatz BHKW 100
Energy input cogeneration 100

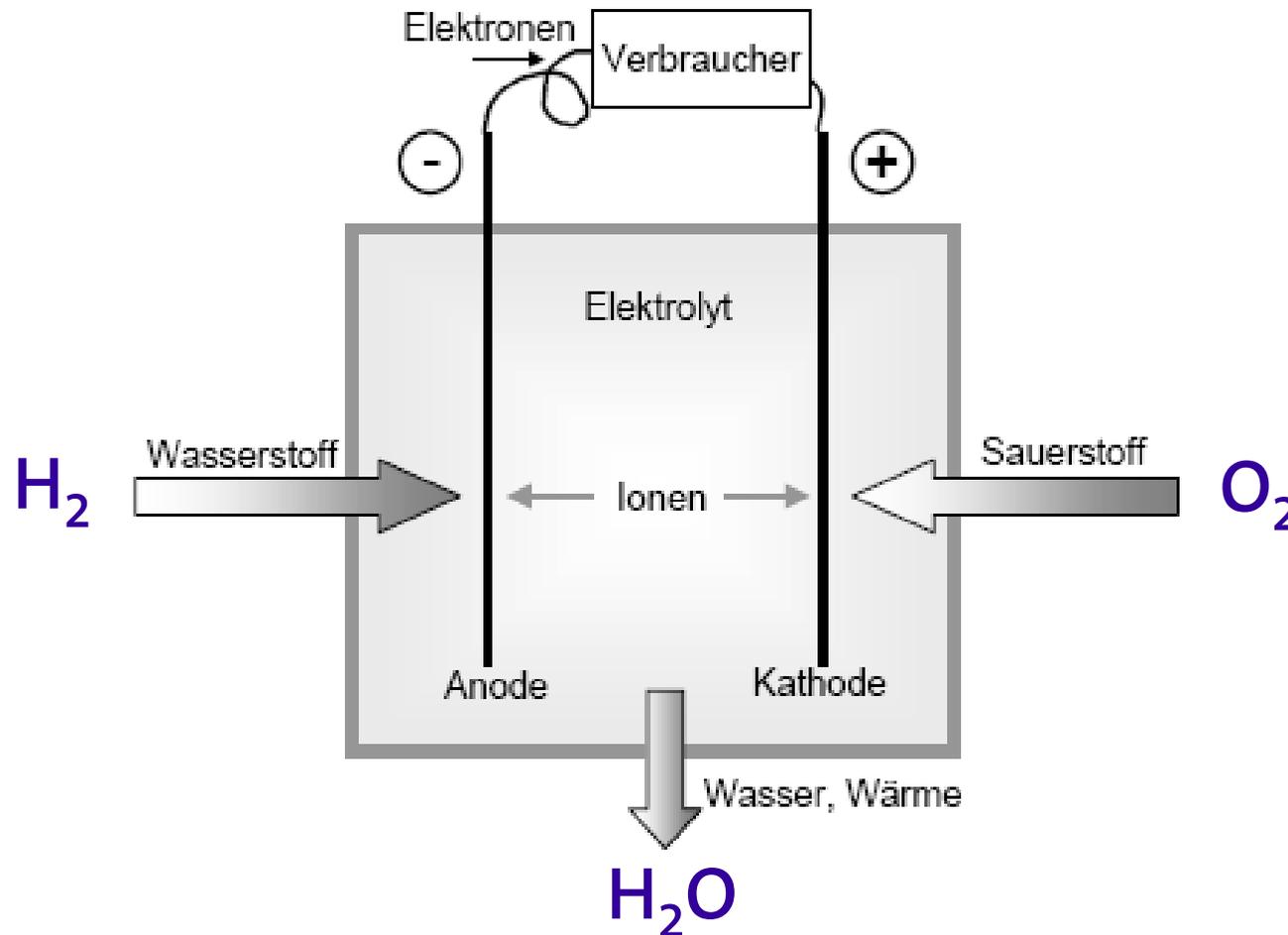


Was ist eine Brennstoffzelle?

Brennstoffzellen sind elektrochemische Energiewandler, die eine kontinuierliche Umwandlung der chemischen Energie eines Brennstoffes und eines Oxidationsmittels in elektrische Energie ermöglichen.

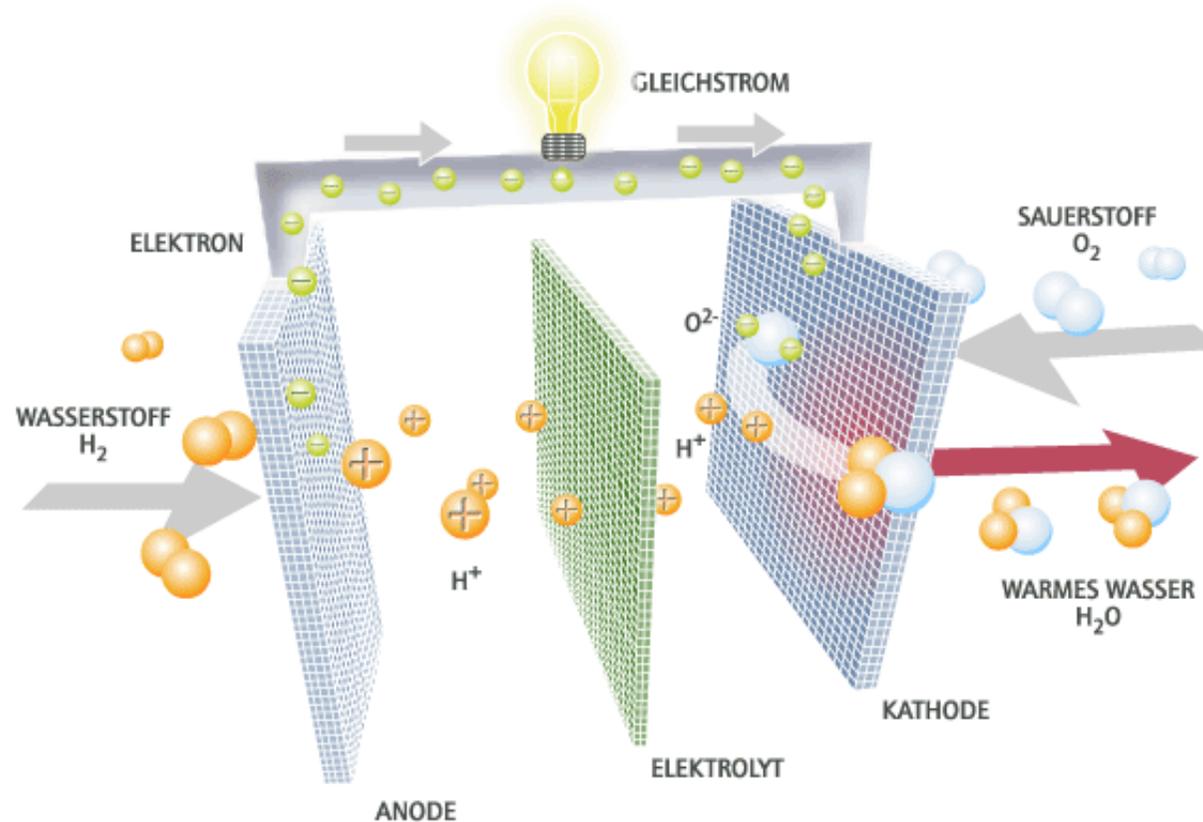
Bereits 1839 gelang dem englischen Physiker Sir William Robert Grove die Elektrolyse, d. h. die Aufspaltung von Wasserdampf in die Bestandteile Wasser- und Sauerstoff. Er wies nach, dass der Prozess der „kalten Verbrennung“ reversibel ist. Die Brennstoffzelle war geboren.

Grundreaktion in Brennstoffzellen



Bewegung der Teilchen

Unter dem Einfluss des Katalysators spaltet sich der Wasserstoff in Ionen (Protonen) und Elektronen.
Die Protonen fließen durch den Elektrolyt zur Kathode. Die Elektronen fließen über den externen Stromkreis zur Kathode. Elektrizität entsteht.



Vom Erdgas zum Wasserstoff

Endotherme Reaktion, d. h. es wird Wärme benötigt.

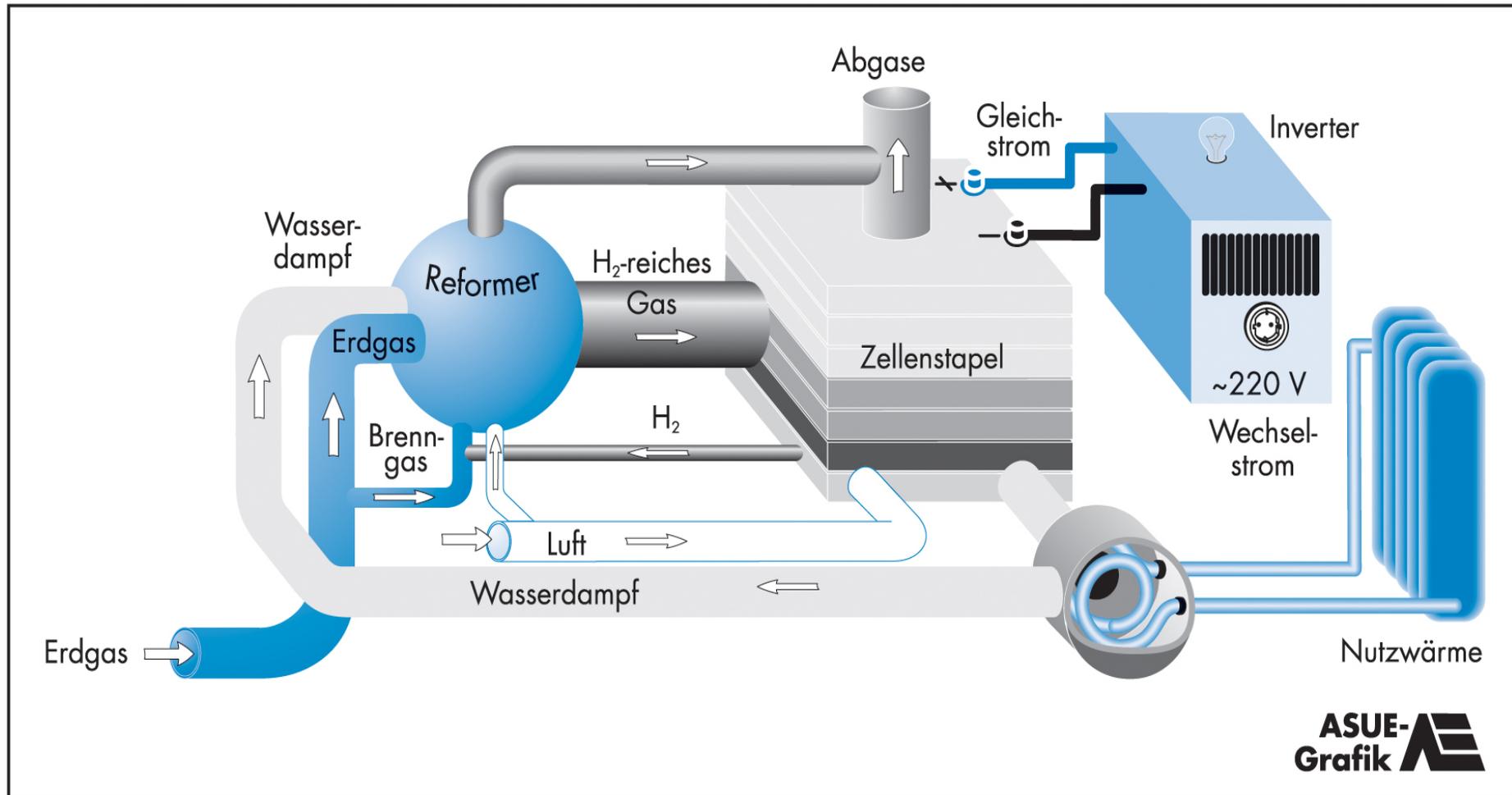


Exotherme Shift-Reaktion, d. h. es wird Wärme frei.



Die Beheizung dieser netto endothermen Reaktion geschieht durch Verbrennung eines Teils des Erdgasstromes.

Aufbau einer Brennstoffzelle



Aggregat in der Richard-Fehrenbach-Gewerbeschule in Freiburg

PEMFC (Polymer Electrolyt Membrane Fuel Cell) von BAXI Innotech



Hydraulische Einbindung in der Richard-Fehrenbach-Gewerbeschule in Freiburg

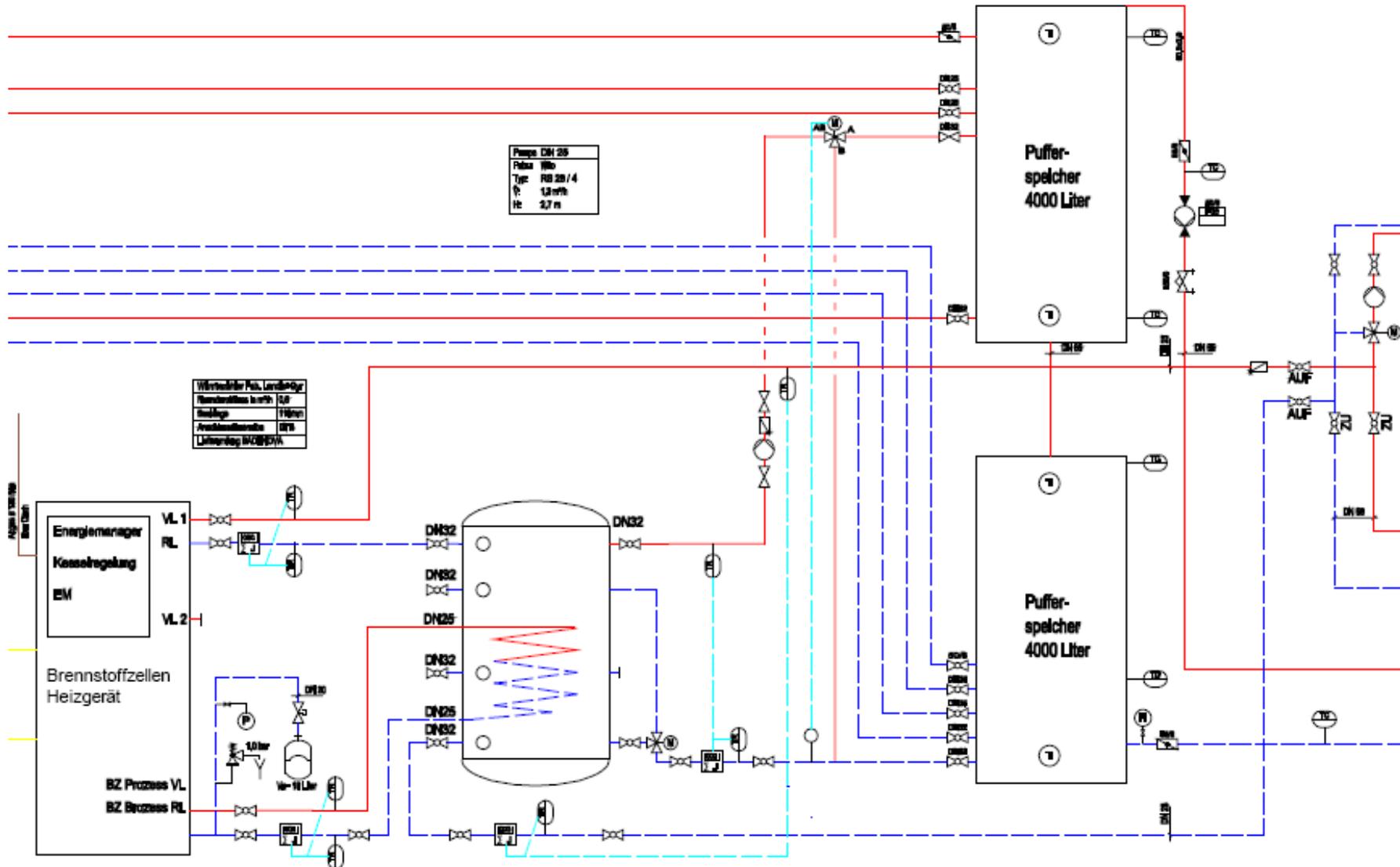
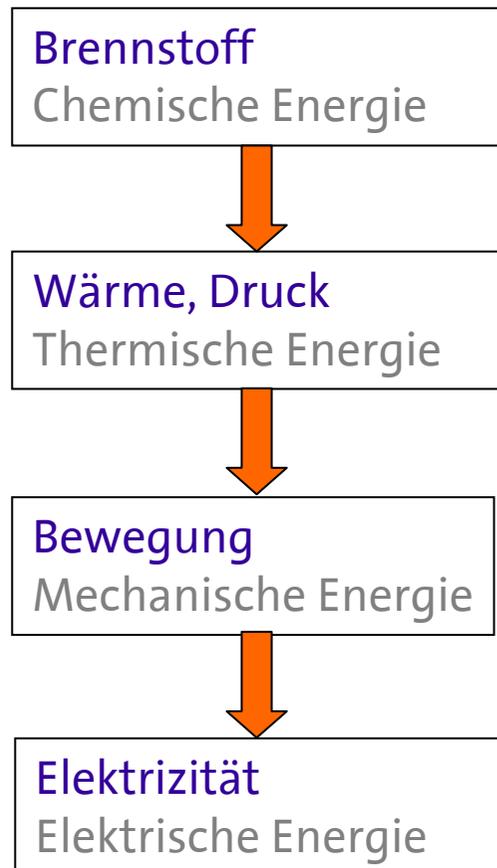


Bild 10

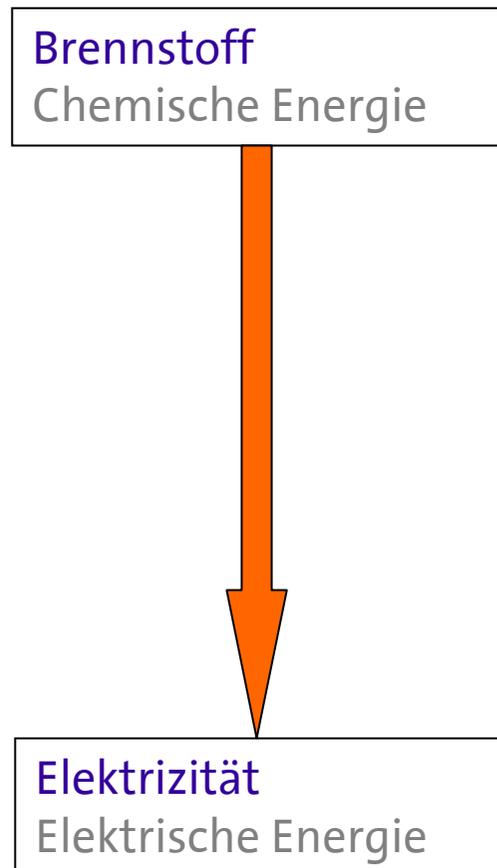
Energiewandlung im Verbrennungsmotor

Durch Verbrennung wird die chemische Energie des Kraftstoffes in Wärme und Druck umgewandelt, dieser bewegt über die Kolben die Kurbelwelle, die einen Generator antreibt. Im Generator entsteht elektrischer Strom.



Energiewandlung in der Brennstoffzelle

Durch „kalte Verbrennung“ von Wasserstoff und Sauerstoff wird die chemische Energie des Wasserstoffes direkt in elektrischen Strom und Wärme umgewandelt.



Wirkungsgrade im Vergleich

Wärmekraftmaschine, z. B. Benzin-/Gasmotor

Maximal möglicher Wirkungsgrad nach Carnot zwischen 200 und 700 °C

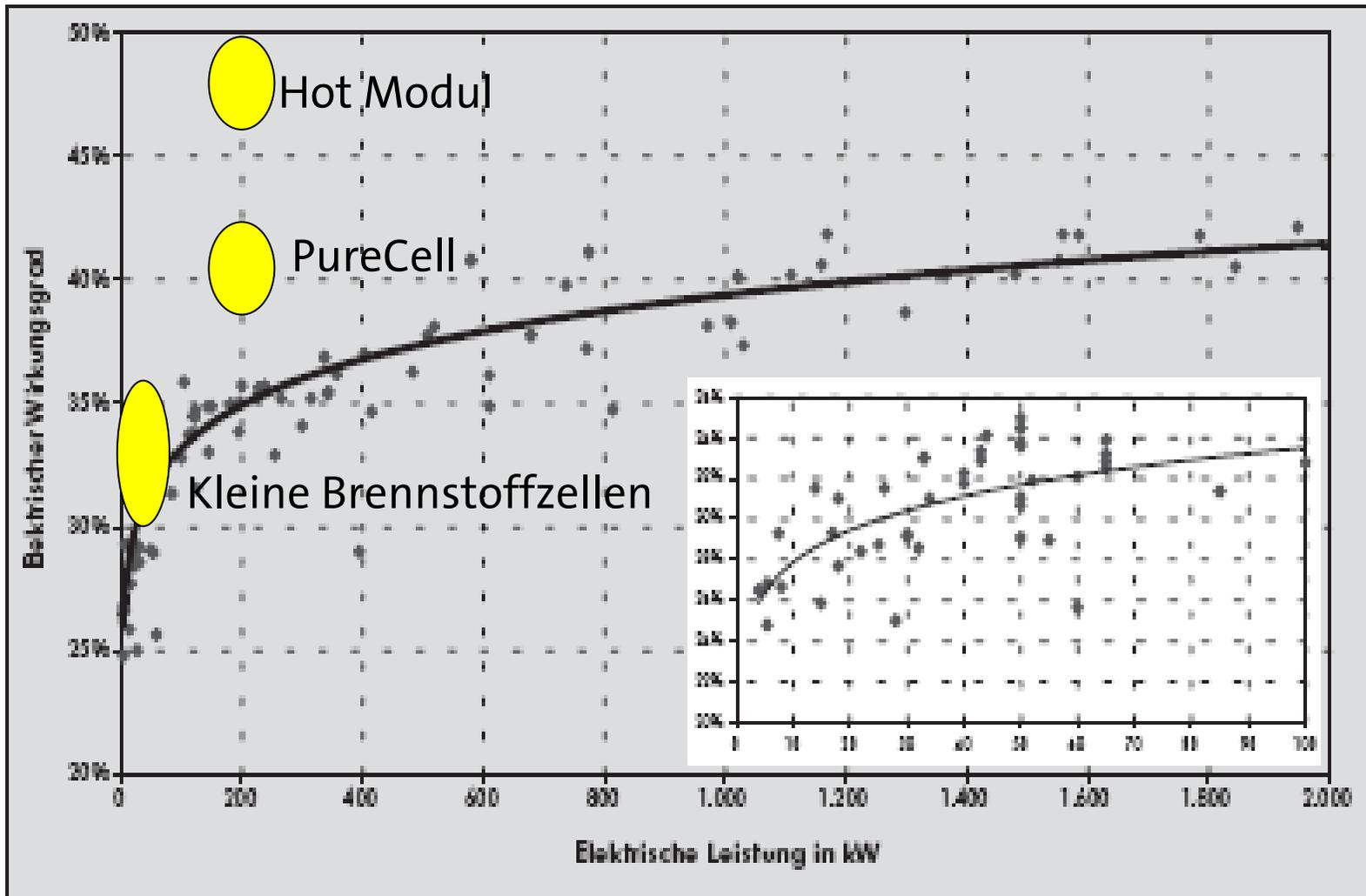
$$\eta = 1 - \frac{T_n}{T_h} = 1 - \frac{200^\circ\text{C} + 273,15\text{K}}{700^\circ\text{C} + 273,15\text{K}} = 51,4\%$$

Brennstoffzelle

Keine Begrenzung durch Carnot-Faktor, theoretisch 70 – 80 % möglich

$$\eta = 1 - T^* \frac{\Delta S}{\Delta H}$$

Wirkungsgrade von Brennstoffzellen



Die Bedeutung des el. Wirkungsgrades

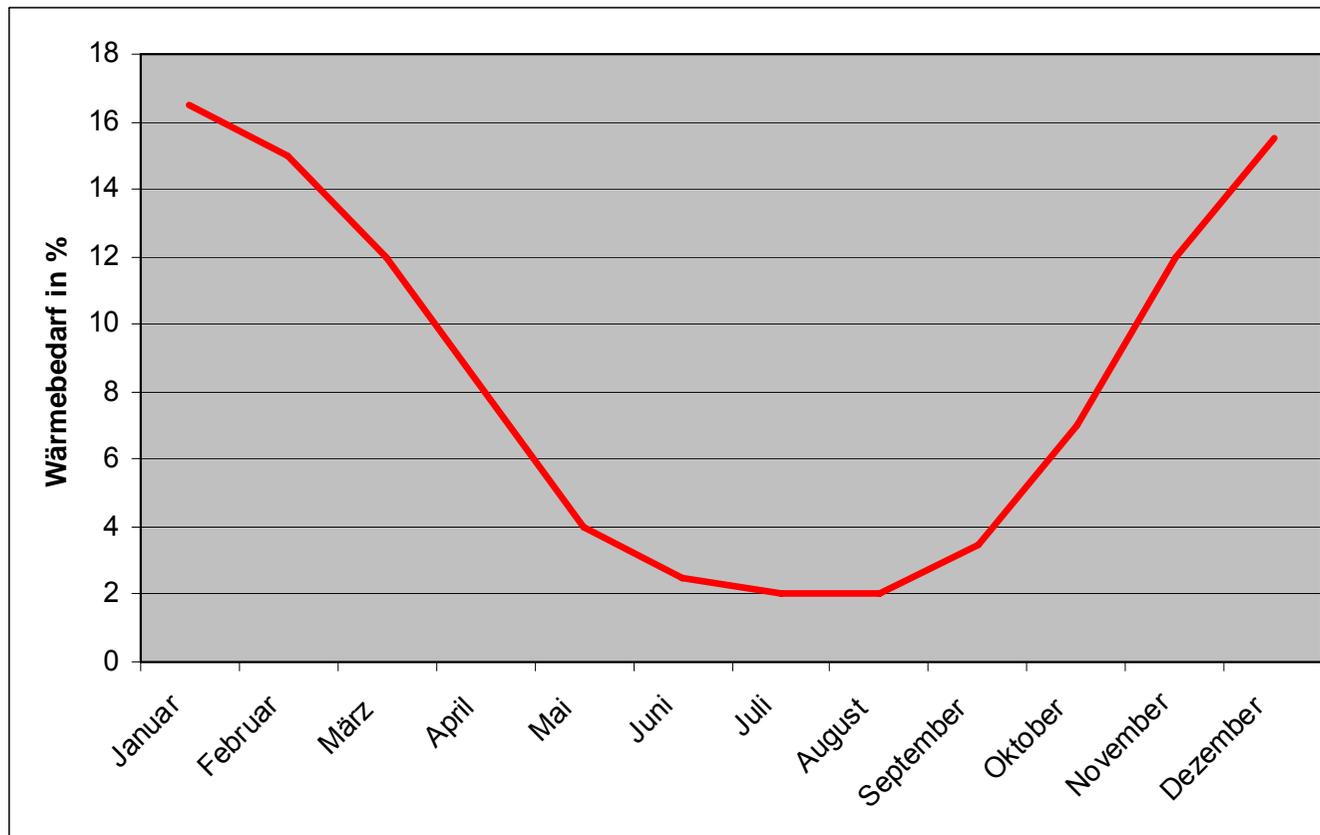
Beispiel: KWK-Modul mit $200 \text{ kW}_{\text{el}}$, $\eta_{\text{ges}} = 90 \%$

$$\eta_{\text{el}} = 35 \% \Rightarrow \eta_{\text{th}} = 55 \% \Rightarrow P_{\text{th}} = 314 \text{ kW}_{\text{th}}$$

$$\eta_{\text{el}} = 50 \% \Rightarrow \eta_{\text{th}} = 40 \% \Rightarrow P_{\text{th}} = 160 \text{ kW}_{\text{th}}$$



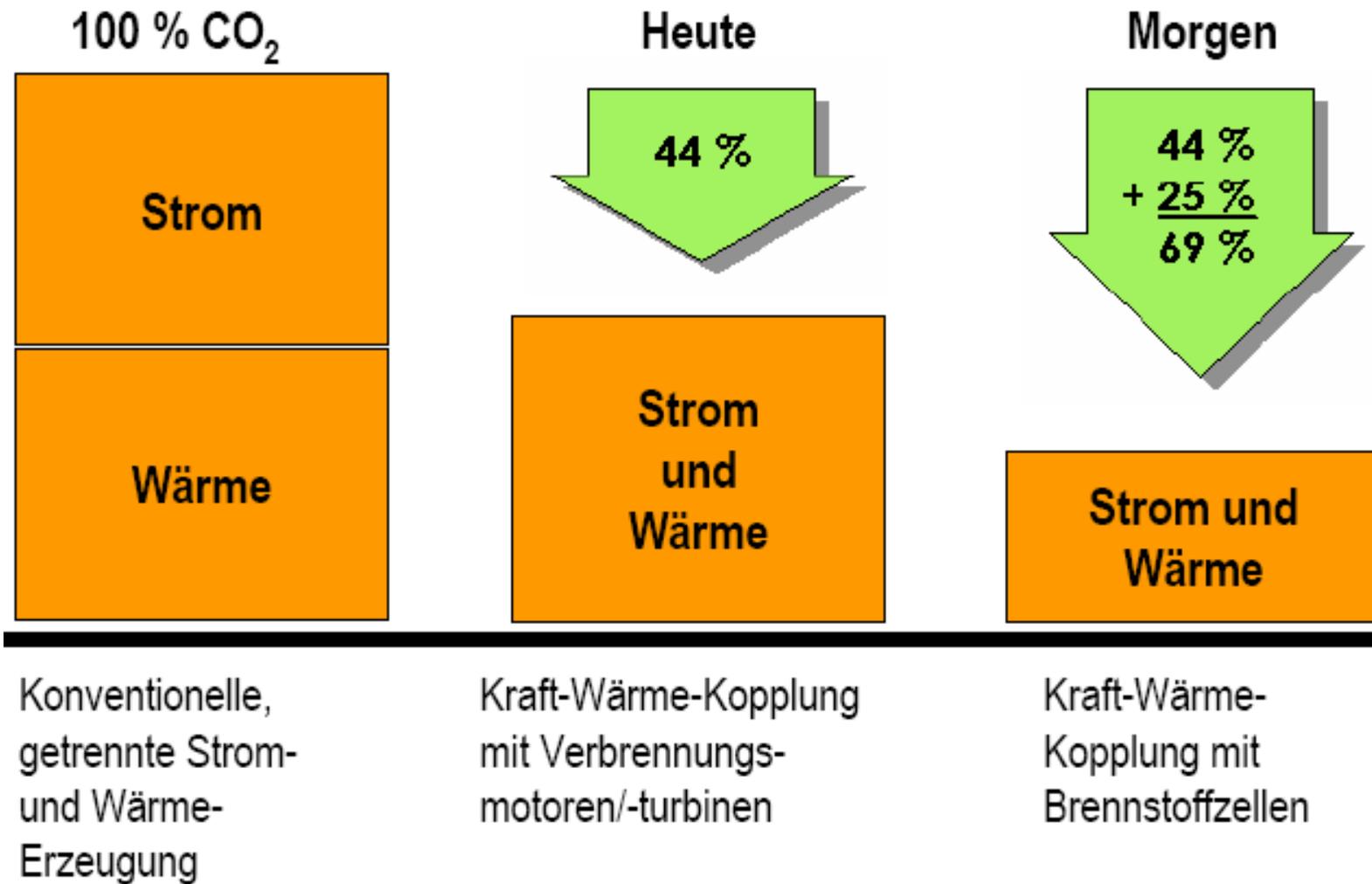
Faktor 2



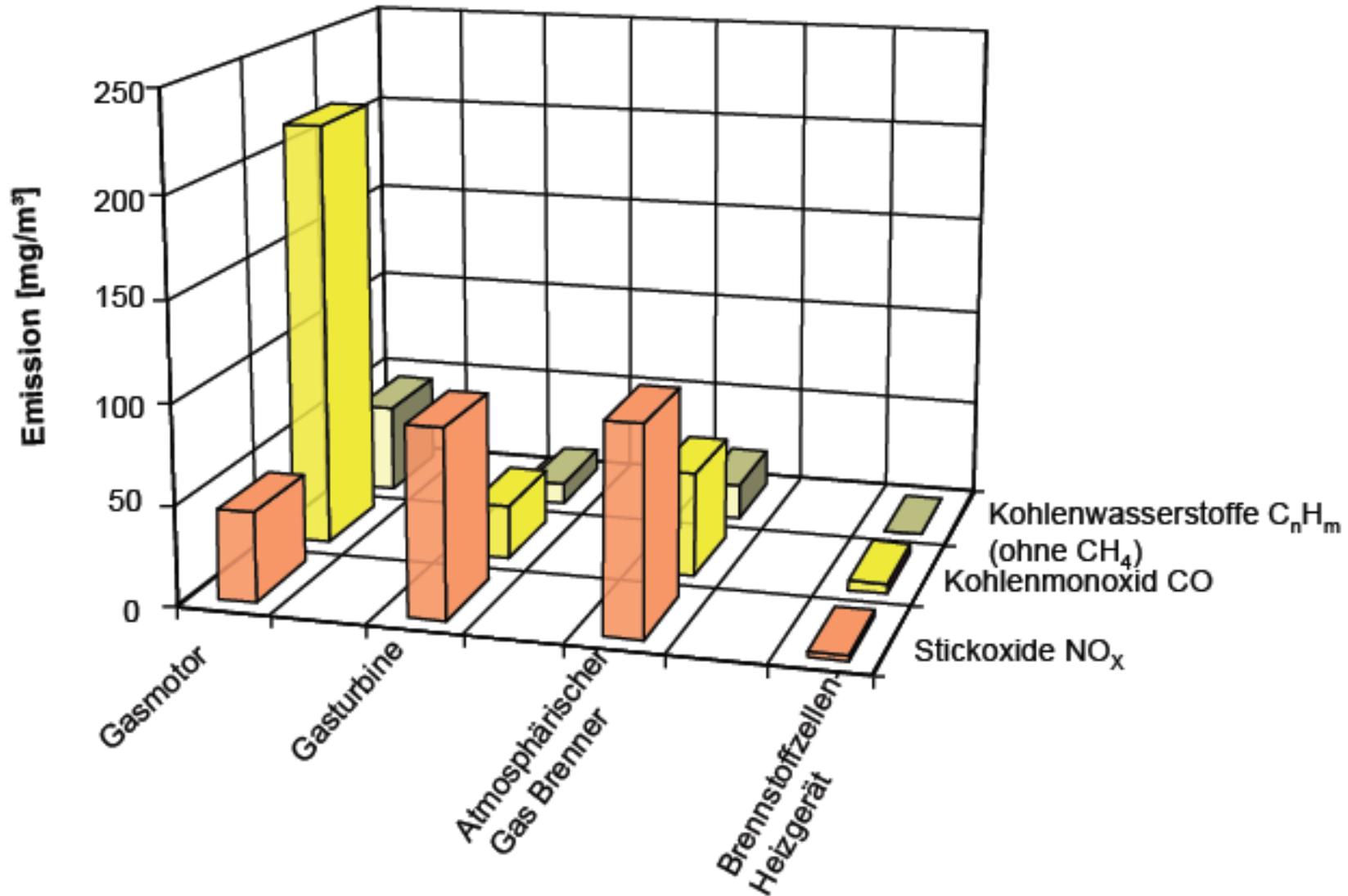
Vorteile der Brennstoffzelle

- Nahezu keine lokale Schadstoffemission
- Potenziell sehr hohe elektrische Wirkungsgrade!!!
- Hohe Stromkennzahlen (Verhältnis Strom- zur Wärmeproduktion)
- Sehr leise im Betrieb, kein Körperschall
- Hohe Modularität der Brennstoffzelle
- Durch die kleine Leistung und den Zusatzheizer für das Einfamilienhaus geeignet
- Sehr gutes Teillastverhalten, Maximum bei 30 – 50 % Last
- Verschiedene Brennstoffe möglich (Erdgas, Biogas, Wasserstoff → Speicherung erneuerbarer Energien)

CO₂-Reduktion durch KWK



Schadstoffemissionen im Vergleich



Technische Zielwerte der Beta 1.5 Plus

- Elektrische Leistung 1,5 kW
- Thermische Leistung 3,0 kW
- Gesamtwirkungsgrad KWK 80 %
- Thermische Leistung, Zusatzheizer 3,5 – 15 kW
- Erforderlicher Erdgasdruck 18 – 25 mbar
- Elektrischer Anschluss 230 V / 50 Hz
- Maße 1,00 x 0,75 x 1,80 m
- Gewicht 450 kg
- Gehäuse lackiert, voll gekapselt

- Infos im Internet www.baxi-innotech.de

Kosten des badenova-Projektes

■ Brennstoffzellen-Heizgerät	75.000 €
■ Servicevertrag mit BAXI	63.900 €
■ Planung, tga Planungsgruppe	3.200 €
■ Installation, Fa. Kreuz	32.000 €
■ Monitoring, Fraunhofer ISE	103.000 €
■ Projektmanagement, badenova	29.700 €
■ Betriebsaufwand, badenova	27.900 €
■ <u>Öffentlichkeitsarbeit</u>	<u>6.800 €</u>

Summe **341.500 €**

Förderung des Brennstoffzellen-Projektes



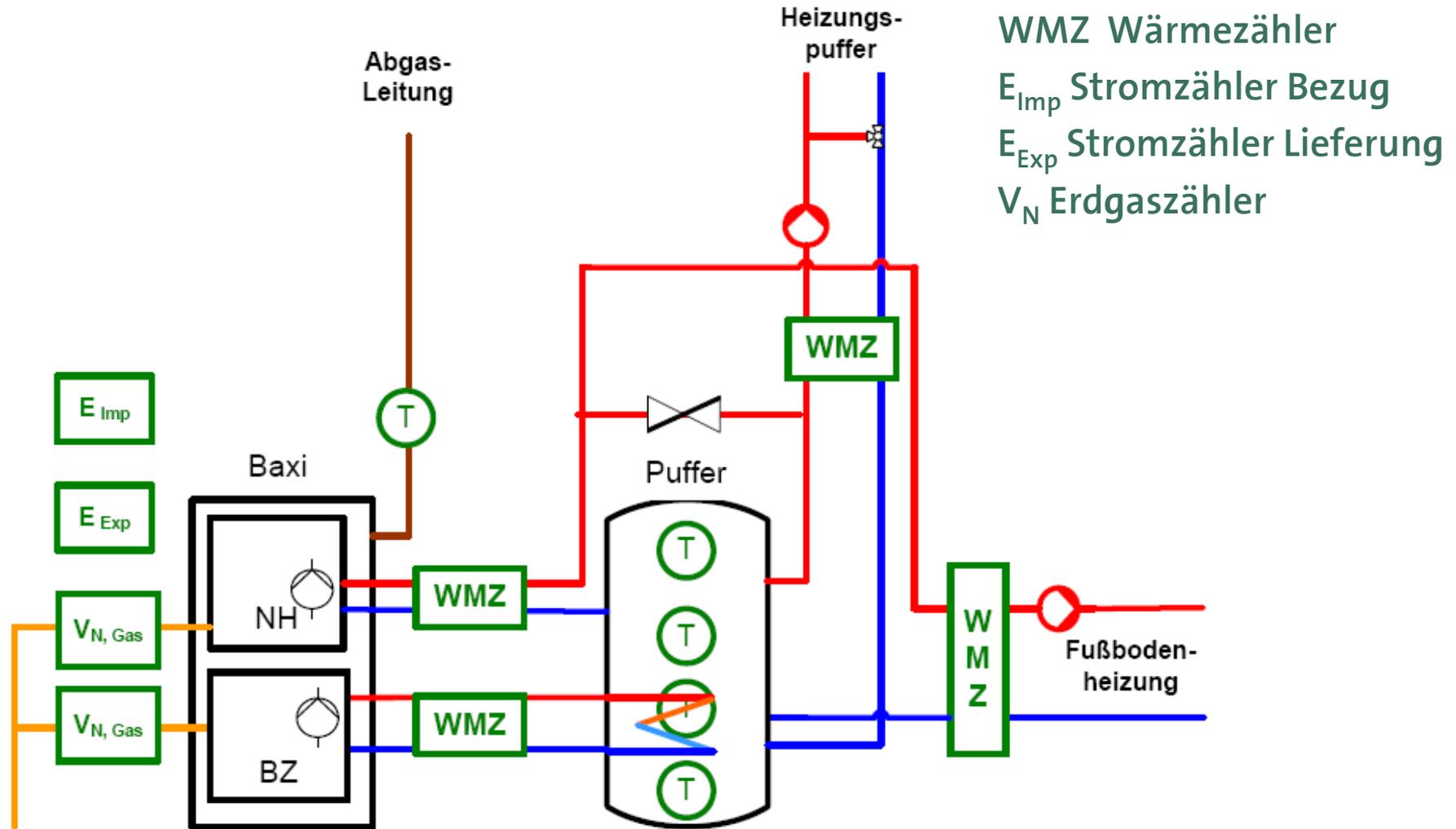
Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) fördert über den Projektträger Forschungszentrum Jülich GmbH (PtJ) 40 % der Projektkosten.

Förderbetrag: 111.000 €

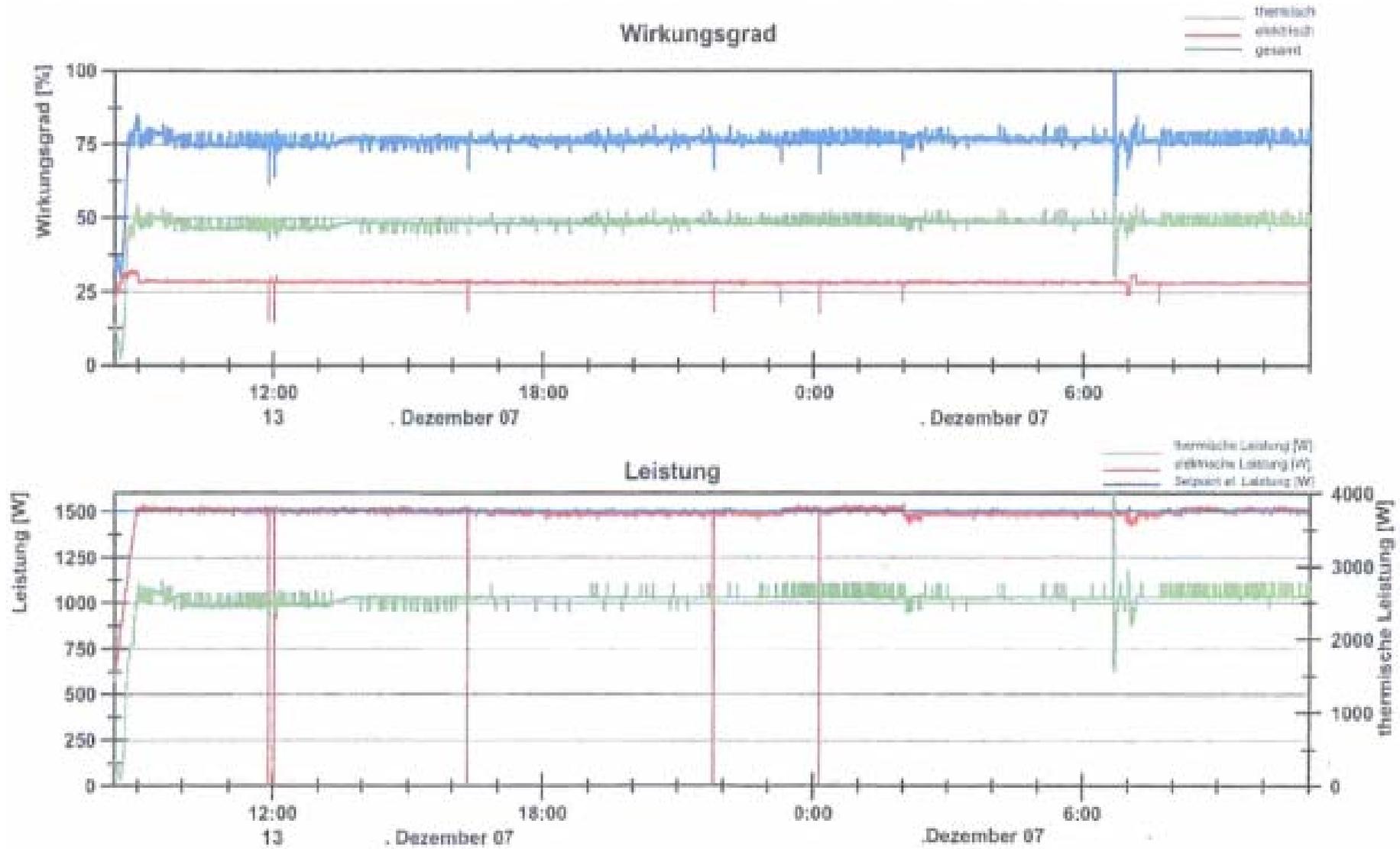
badenova fördert das Projekt über den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz

Förderbetrag: 172.000 €

Aufbau der Messung vom Fraunhofer ISE



Nutzungsgrade im 24h-Dauertest von BAXI



Nutzungsgrade im Feldtest

		Energie in kWh			
Von	bis	Q_Gas	Q_th	E_Export	E_Import
01.01.2009	31.12.2009	4566	1983	957	839
01.01.2010	30.06.2010	879	352	205	465

		Nutzungsgrad		
Von	bis	thermisch	elektrisch	gesamt
01.01.2009	31.12.2009	43%	21%	64%
01.01.2010	30.06.2010	40%	23%	63%

Der elektrische Nutzungsgrad bezieht sich nur auf die exportierte Energie und bezieht den Bezug an elektrischer Energie nicht mit ein.

Die elektrischen Nutzungsgrade sind um ca. 3 Prozentpunkte, die thermischen Nutzungsgrade um ca. 8 Prozentpunkte geringer als im 24h-Dauertest auf dem Prüfstand von BAXI Innotech.

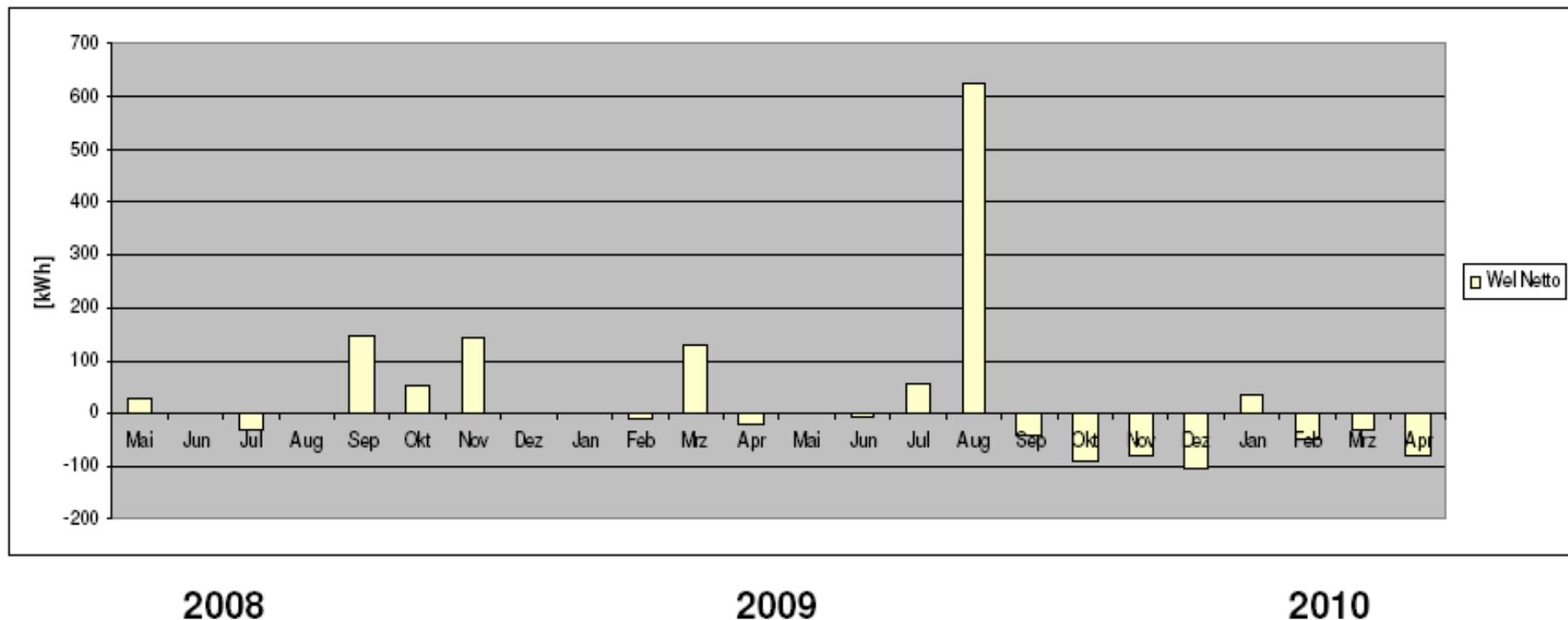
Ergebnisse ausgewählter Betriebsperioden

Zeitraum		Wärmezähler			Leistungen			Wirkungsgrad		
von	Bis	VS in m/h	T_VL in °C	T_RL in °C	Q_Gas	Q_th	E_Export	ele.	th.	ges.
17.03.09	19.03.09	78	64	53	2,56	0,95	0,46	18%	37%	55%
01.08.09	02.08.09	101	65	46	4,54	2,25	1,12	24%	49%	73%
16.08.09	18.08.09	169	63	54	3,84	1,87	0,78	20%	49%	69%
20.01.10	22.01.10	90	64	50	3,36	1,36	0,79	24%	40%	64%

Die Vorlauftemperatur ist mit 65 °C relativ gering, für den Einsatz in modernen Heizungsanlagen aber ausreichend.

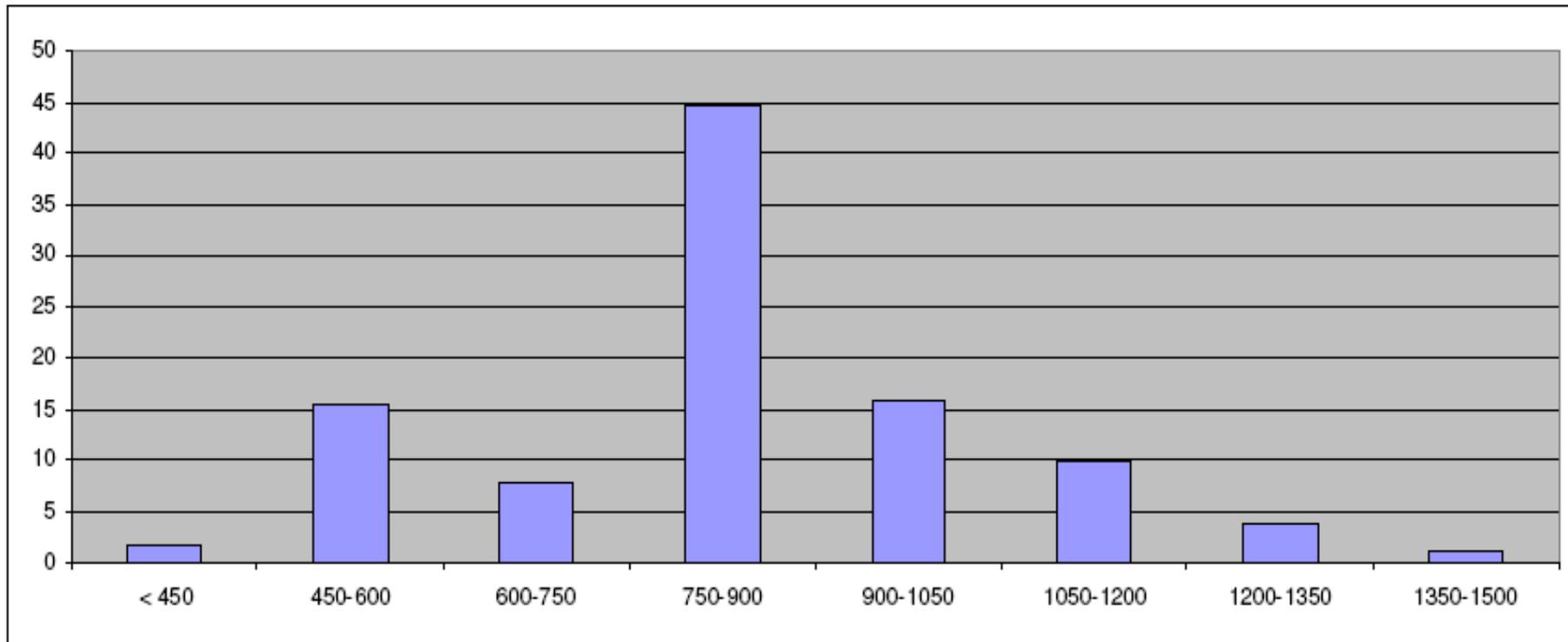
Im August 2009 lief die Brennstoffzelle nahezu ohne Unterbrechung sehr gut und hat hier auch die Planwerte bei den Wirkungsgraden erreicht.

Stromproduktion



Im August 2009 lief die Brennstoffzelle 716 von 744 möglichen Stunden und erreichte die höchste Stromproduktion während dem Feldtest. In den übrigen Monaten lief sie wenig und durch den hohen Strom-eigenbedarf ist die Netto-Stromproduktion dadurch in manchen Monaten negativ.

Lastverteilung (Gesamtlaufzeit)



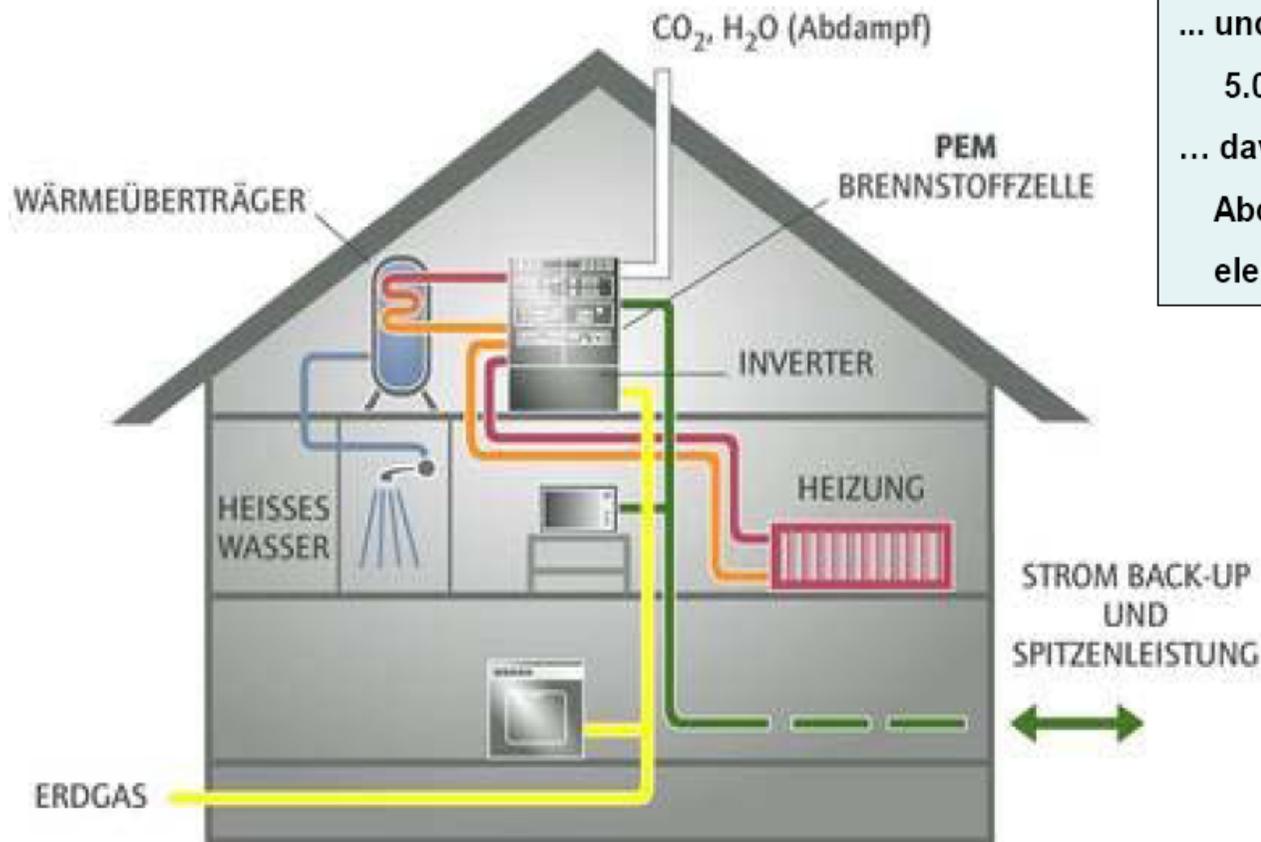
Die Brennstoffzelle wurde hauptsächlich (45 % der Gesamtlaufzeit) mit 750-900 W betrieben. Die Volllast von 1.500 W wurde nur sehr selten erreicht.

Probleme der Brennstoffzelle

- Sehr hohe Investitionskosten
- Hoher Wartungs- und Betriebsaufwand
- Aufgrund der Komplexität noch sehr störungsanfällig
- Geringe Standzeiten der Komponenten, speziell der Stacks
- Hohe Anforderungen an Brennstoff- und Luftqualität
- Pilotanlagen mit wenig Erfahrung im Betrieb
- Hohe Wirkungsgrade noch nicht erreicht

- Intensives Monitoring und Weiterentwicklung im Rahmen des Feldtestes bis voraussichtlich 2012
- Serienprodukt frühestens ab 2013
- Aggregate werden kleiner und leichter
- Nachfolgemodell GAMMA 1.0 ist bereits auf dem Markt
- Verlängerung der Lebensdauer der Komponenten
- Zielkosten bei ca. 12.000 € pro Brennstoffzellen-Heizgerät
- Zielkosten für die Wartung bei ca. 800 €/a
- Hohes Potenzial im Bereich Einfamilienhäuser
- In ferner Zukunft kommt vielleicht regenerativ erzeugter Wasserstoff zum Einsatz

Konzept für das Einfamilienhaus

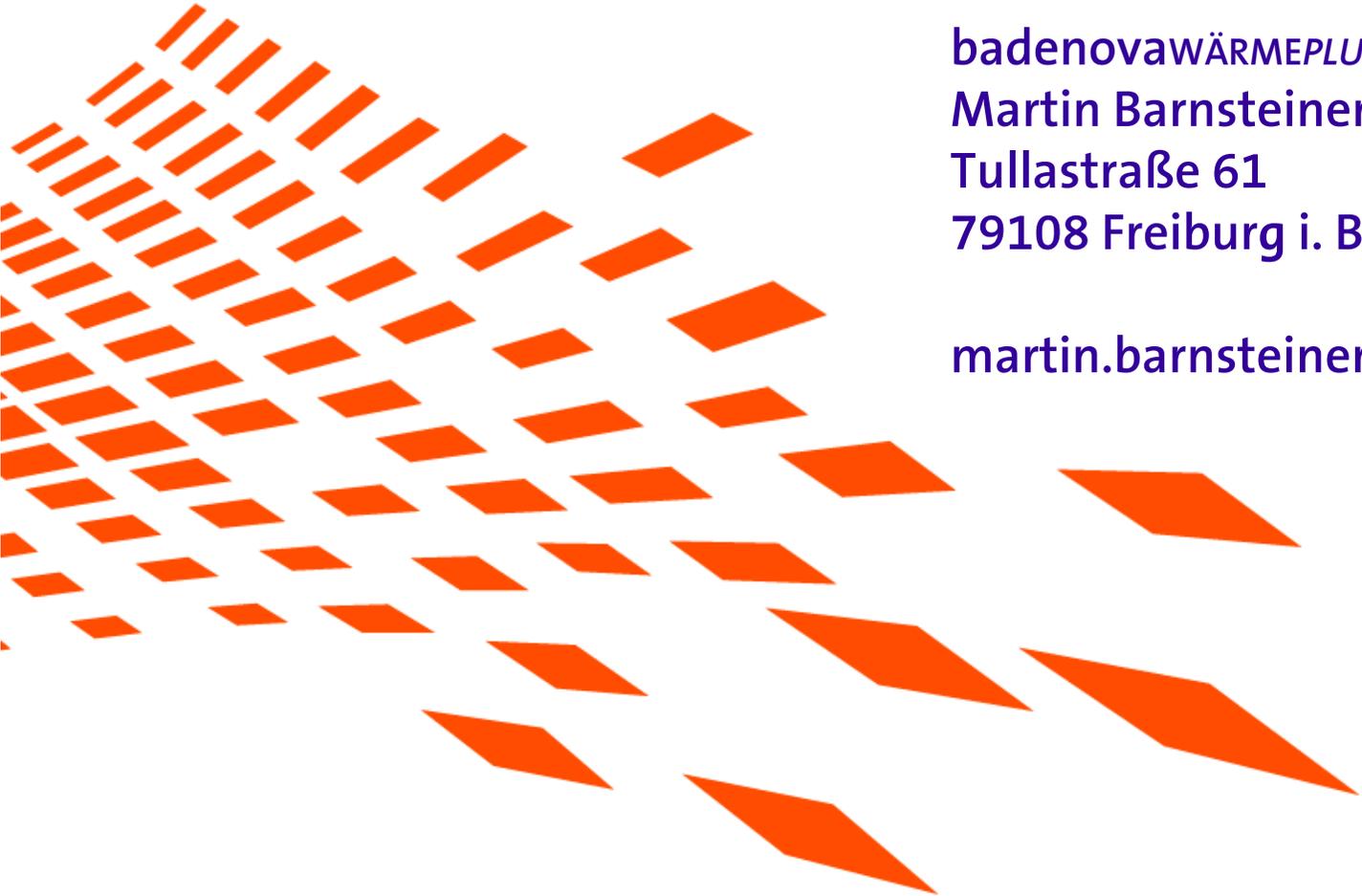


Das BZH liefert...

... die gesamten Wärme für ein EFH

**... und produziert nebenbei 4.000 bis
5.000 kWh Strom**

**... davon können 70 bis 75 % für die
Abdeckung des Eigenbedarfs an
elektrischer Energie genutzt werden.**



badenovaWÄRMEPLUS GmbH & Co. KG
Martin Barnsteiner
Tullastraße 61
79108 Freiburg i. Br.

martin.barnsteiner@badenova.de