

A photograph of a glowing yellow lightbulb and a whole orange. The lightbulb is on the left, tilted slightly to the right, and is illuminated from within, casting a soft glow. The orange is on the right, resting on a white surface. The background is a plain, light color.

## ■ Energierevolution Brennstoffzelle? Heizkraftwerke für den Hauskeller

*Dr. Martin Pehnt*

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

[martin.pehnt@ifeu.de](mailto:martin.pehnt@ifeu.de) [www.ifeu.de](http://www.ifeu.de)

# Das IFEU-Institut Heidelberg

Kleine KWK    Prinzip Brennstoffzelle    Die Konkurrenten    Ökonomie und Ökologie



IFEU = Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, seit 1978

Unabhängige Wissenschaft

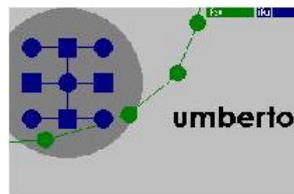
– organisiert als private gemeinnützige GmbH – rund 40 Mitarbeiter/innen

Internet: <http://www.ifeu.de>

## Fachbereiche:

- Verkehr und Umwelt
- Ökobilanzen
- Energie
- Abfallwirtschaft

## Software:



A photograph of a glowing yellow lightbulb and a whole orange. The lightbulb is on the left, tilted slightly to the right, and is emitting a bright yellow glow. The orange is on the right, partially overlapping the base of the lightbulb. The background is a plain, light-colored surface.

## ■ Energierevolution Brennstoffzelle? Heizkraftwerke für den Hauskeller

*Dr. Martin Pehnt*

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

[martin.pehnt@ifeu.de](mailto:martin.pehnt@ifeu.de) [www.ifeu.de](http://www.ifeu.de)



<b>1996</b> RWE AG Germany	<b>1999</b> - produces gas Germany	<b>1999</b> - 1st 13 nuclear power plants in Germany	<b>2000</b> - Deutsche Telekom AG acquires Germany gas supplies	<b>2001</b> - first fuel cell power plant in Germany	<b>Working Hours</b> - www.rwe.com - +49 2101 40 30 00
----------------------------------	--	--	---	--	--

Electricity. Gas. Water. Recycling. Services.  **RWE**  
One Group. Multi Utilities.

# Nur ein Glas Wasser....

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



HIER DAS ERGEBNIS DER ZUSAMMENARBEIT DER CHEFS  
VON FORD, DAIMLER-CHRYSLER, SHELL, TEXACO, ARCO  
UND DER VEREINIGTEN STAATEN.



Null Emission schon  
2004 in Serie.  
Die Brennstoffzelle  
produziert keine  
Schadstoffe, sondern  
nur ein paar Tropfen  
Wasser.

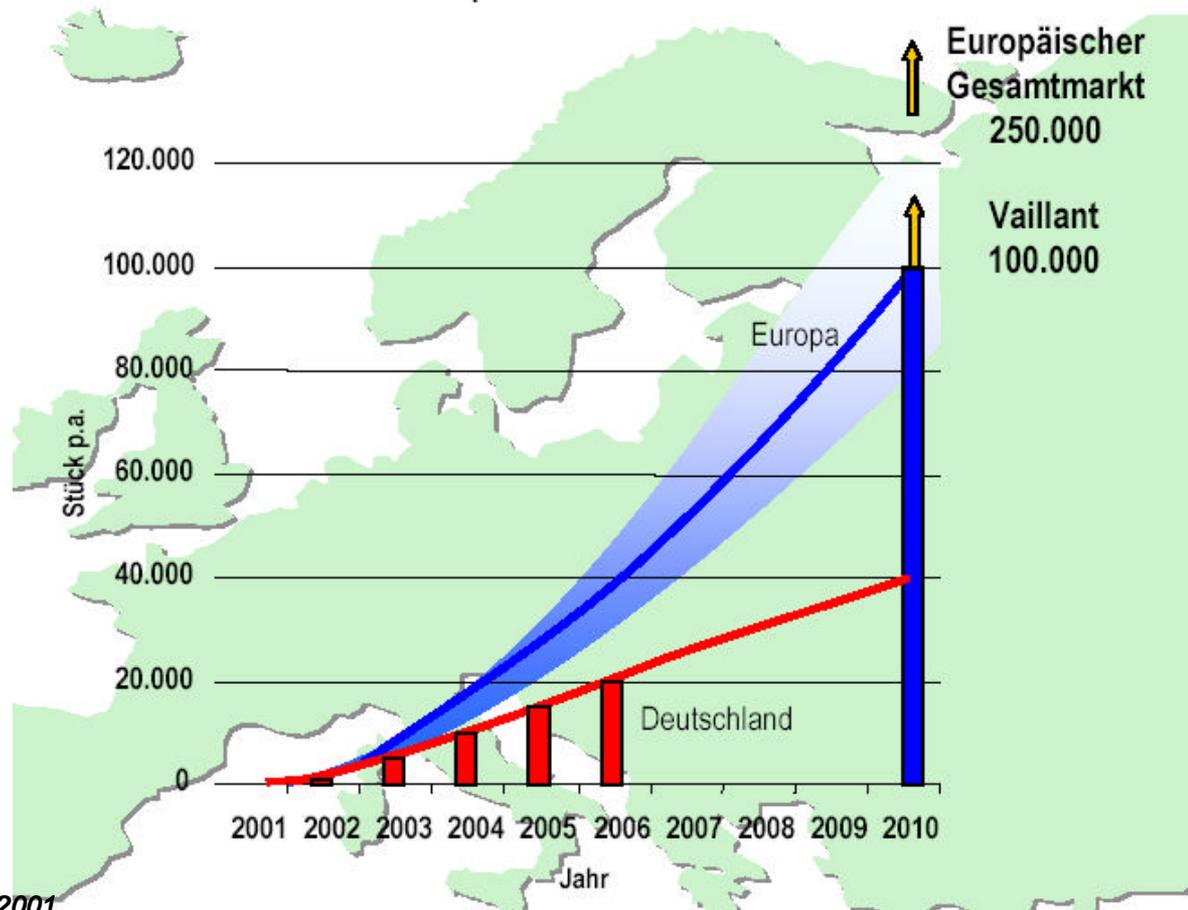
# Prognose für kleine BZ-KWK aus dem Jahr 2001

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie

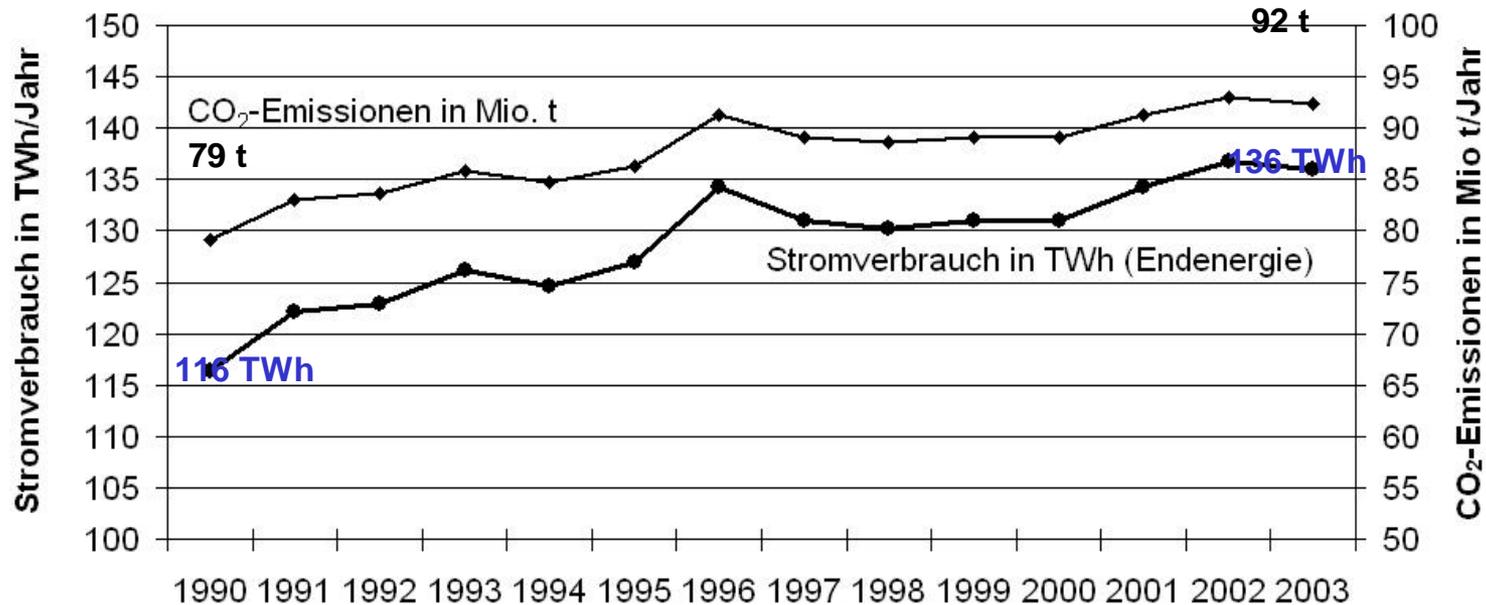


Quelle: Vaillant 2001

# Strom kommt nicht einfach aus der Steckdose



## Entwicklung von Stromverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen der privaten Haushalte in Deutschland



Zunahme von 1990 bis 2003: 17%  
Bevölkerungswachstum: 3,5%

# Energieeffizienz (Strom): „Kleinvieh macht auch Mist.“



Thema / Ansatz	Nutzerverhalten	Kleininvestition	Kaufentscheidung
<b>Haushalts- geräte</b>	Kühlschranktemperatur anpassen Kühlgeräte nicht neben Herd Wäsche auf der Leine trocknen	Wasserkocher Thermoskanne (statt Heizplatte der Kaffeemaschine)	Kühlgeräte mit A++ -Label , sonst A angepasste Gerätegröße kaufen Gasherd statt E-Herd
<b>Unterhaltungs- elektronik</b>	Geräte <u>ganz</u> ausschalten Energiesparfunktion am PC aktivieren	Steckerleiste für PC, Drucker, Hifi-Anlage	Bei Gerätekauf auf „Ausschalter“ achten <u>Nicht</u> kaufen: Plasma-Fernseher
<b>Beleuchtung</b>	Licht ausschalten	Energiesparlampen Steckerleiste für Trafo von Halogenlampen	Bei Lampenkauf beachten: Passen Energiesparlampen? <u>Nicht</u> kaufen: Deckenfluter
<b>Sonstige Geräte</b>	Keine unnötigen Geräte kaufen		Ventilator statt Raumklimagerät <u>Nicht</u> kaufen: Zusatzheizgeräte
<b>Warmwasser</b>	Duschen statt Baden	Zeitschaltuhr für Warmwasserboiler	Durchlauferhitzer statt Boiler
<b>Heizungs- pumpen</b>	Richtige Stufe einstellen (Sommer / Winter)	Zeitschaltuhr für Warmwasser-Zirkulations-Pumpe	effiziente Heizungspumpen

# Das Prinzip Kraft-Wärme-Kopplung

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



Dr. Martin Pehnt [www.ifeu.de](http://www.ifeu.de)



Quelle: BKWK

# Das Prinzip Kraft-Wärme-Kopplung

Kleine KWK

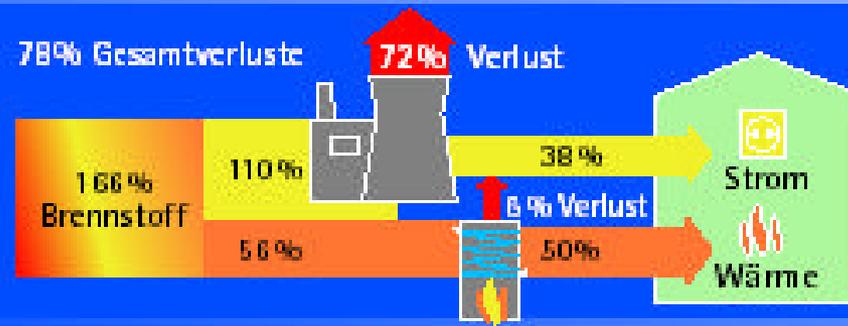
Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



## GETRENNTE ERZEUGUNG (Strom im Kraftwerk/Wärme im Kessel)



# Das Prinzip Kraft-Wärme-Kopplung

Kleine KWK

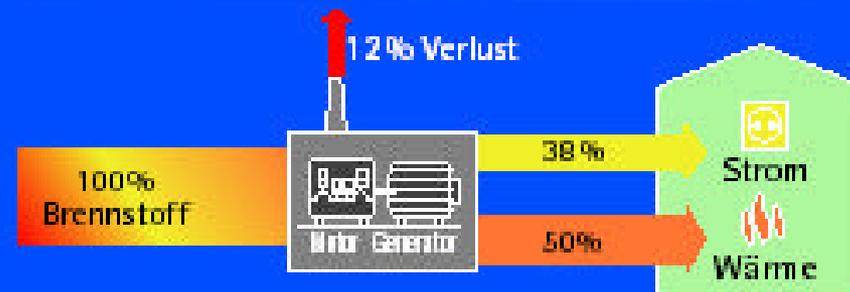
Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

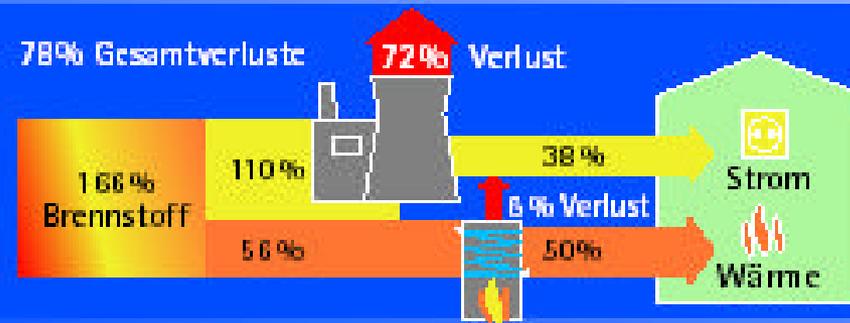
Ökonomie und Ökologie



## KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG (Blockheizkraftwerk)



## GETRENNTE ERZEUGUNG (Strom im Kraftwerk/Wärme im Kessel)



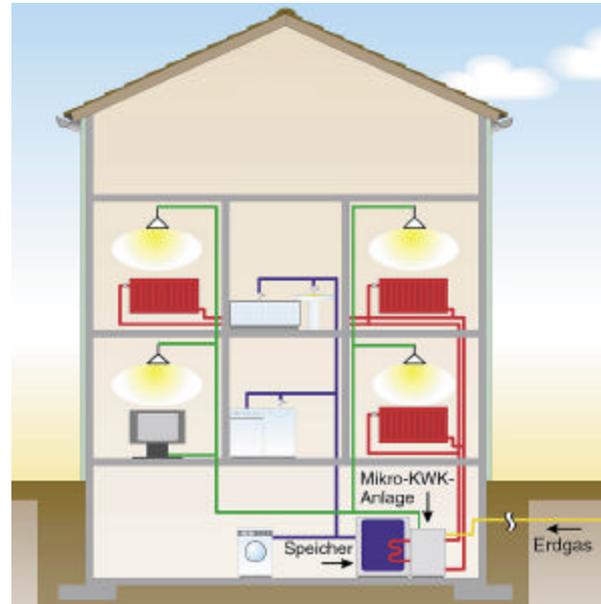
# Definition Mikro-KWK = stromerzeugende Heizung

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



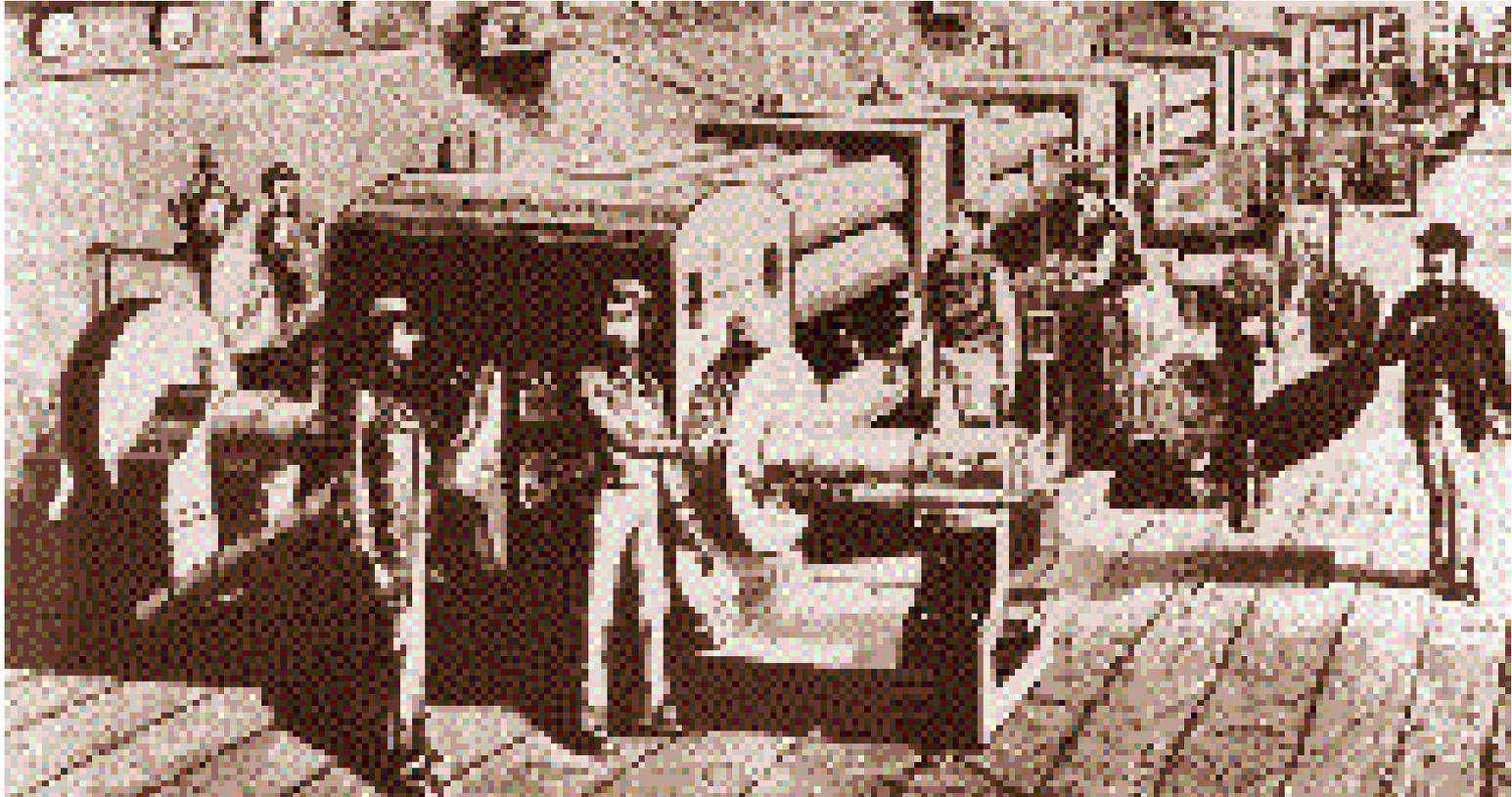
## Definition

Mikro-KWK ist die gekoppelte Strom- und Wärme-erzeugung in einem einzelnen Versorgungsobjekt auf Basis einer kleinen Energieumwandlungseinheit.

Hier:  $< 15 \text{ kW}_{el}$

# Das kleine Kraftwerk ... bereits vor über 120 Jahren

Kleine KWK    Prinzip Brennstoffzelle    Die Konkurrenten    Ökonomie und Ökologie



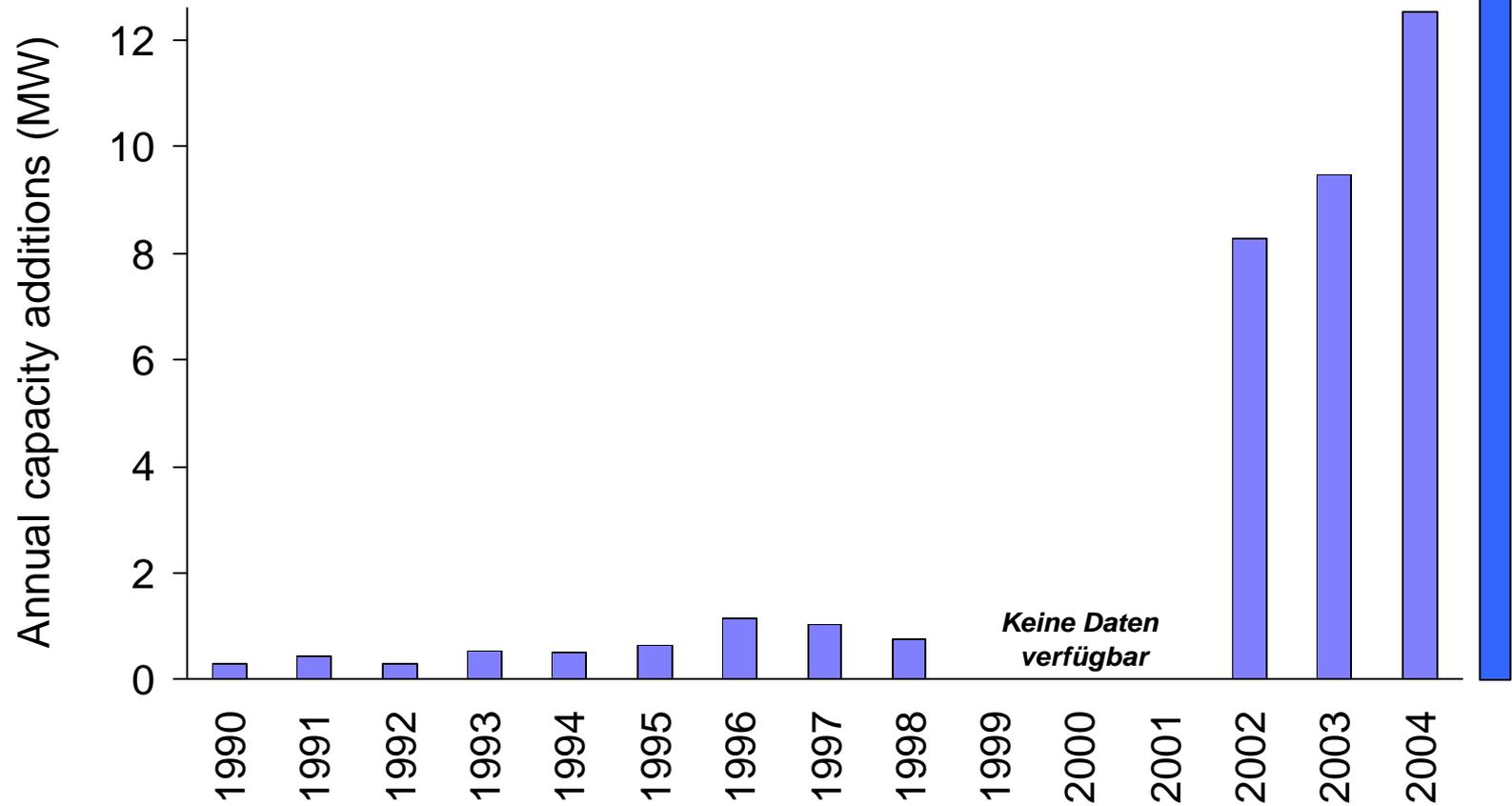
# Jährlicher Zubau von Mikro-KWK in D (< 15 kW)

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



# Mikro-KWK: Die stromerzeugende Heizung

- **20 000 Mikro-KWK-Einheiten**
  - ▶ ... Aber 40 Mill. Haushalte
- **Zuwachsrate 50 %**
  - ▶ ... Aber nur 0,1 % der Stromerzeugung
- **Zugpferd: Brennstoffzelle**
  - ▶ ... Aber nur rund 30 BZ-“Hauskraftwerke“ in Betrieb

→ „Kritischer Optimismus“

# Grundreaktion von Brennstoffzellen

Kleine KWK

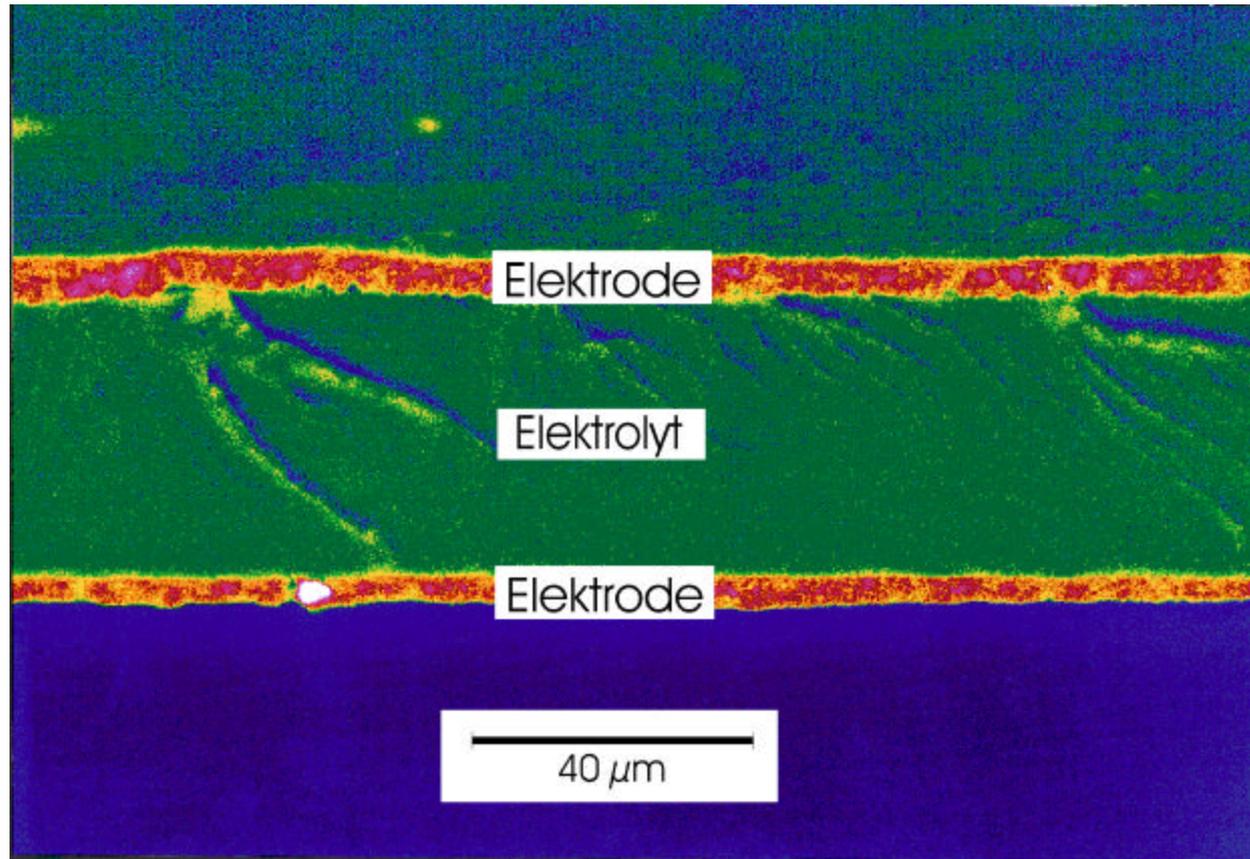
Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



# Schnitt durch eine Brennstoffzelle



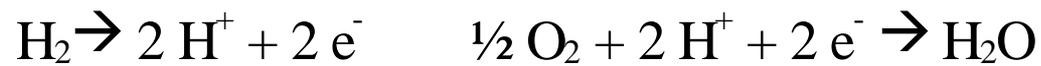
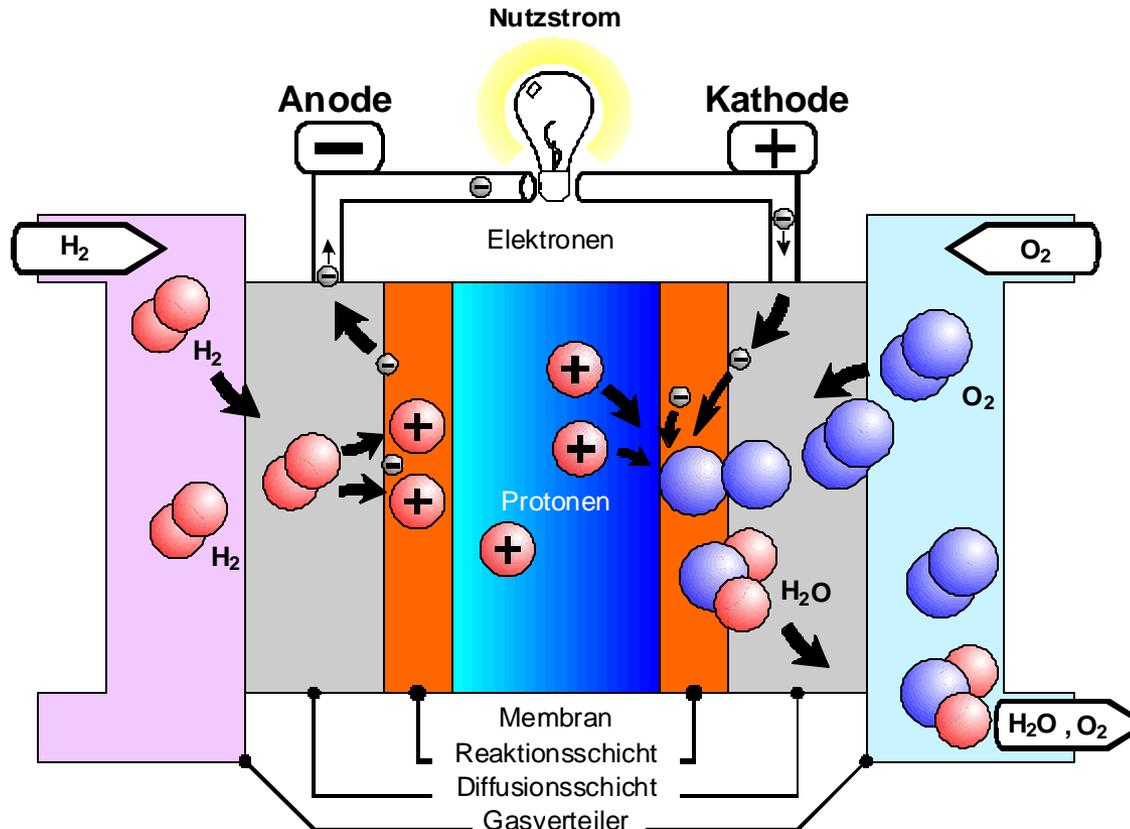
# Prinzip Brennstoffzelle

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



# Brennstoffzellen: Anwendungen

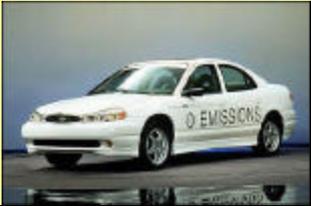
Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



Sektor	Anwendung	Herausforderung
<p>portabel</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Notstrom</li> <li>•Bürokommunikation</li> <li>•Freizeit</li> <li>•Inselbetrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•gewichtsspez. Leistung (Speicher!)</li> <li>•Wiederaufladung, H<sub>2</sub>-Distribution</li> <li>•Zuverlässigkeit, Sicherheit</li> </ul>
<p>mobil</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>•PKW</li> <li>•Nutzfahrz./Busse</li> <li>•Schienentraktion</li> <li>•Schiffe, Flugzeuge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Kosten, Kaltstart, Kilogramm, Kraftstoff (Wirkungsgrad), Kühlung, Kunde, Katalysator</li> </ul>
<p>stationär</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hausheizungen</li> <li>•dezentrale BHKWs</li> <li>•industrielle KWK</li> <li>•zentrale Stromerz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Kosten (liberalisierter Strommarkt!)</li> <li>•Lebensdauer</li> </ul>

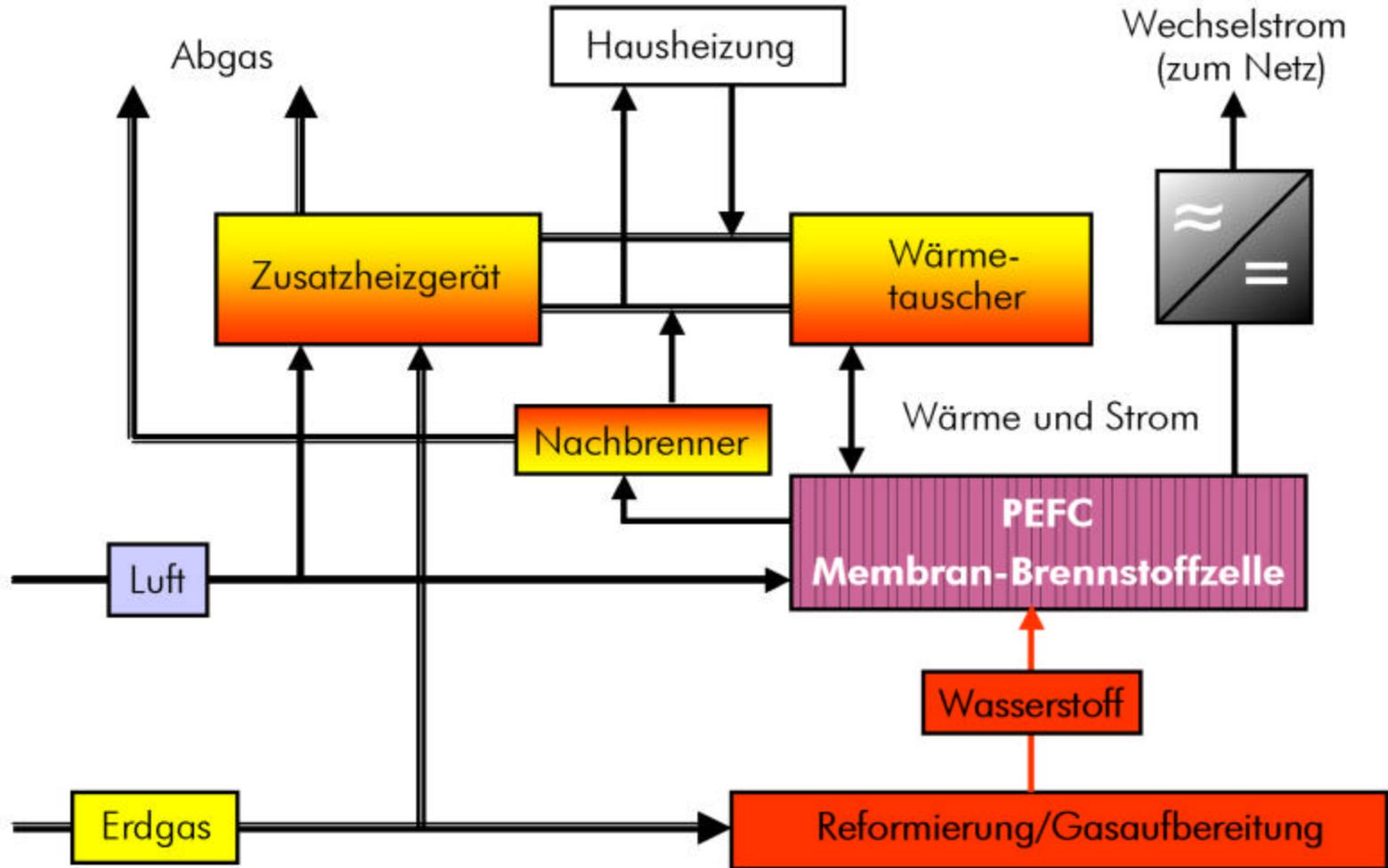
# Von der Brennstoffzelle zum Heizkraftwerk

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie





## ■ PEMFC

- ▶ Bislang Konzepte für 2 bis 5 kWel
- ▶ zahlreiche Hersteller (z. B. Vaillant/Plug Power, Viessmann, Buderus/RWE/Idatech, EFC/Baxi)
- ▶ Vaillant: 56 Geräte installiert
- ▶ Kommerzialisierung nach 2010

## ■ SOFC

- ▶ V. a. HEXIS (100 Systeme)
- ▶ Sulzer hat sich zurückgezogen, Stiftung hat Firma übernommen, Sulzer Hexis heisst jetzt HEXIS

## ■ Herausforderungen

- ▶ Lebensdauer
- ▶ Elektr. Nutzungsgrad  $\leq 30\%$ , Ziel 30 – 35 %, Gesamtnutzungsgrad Ziel 80 – 90 %
- ▶ Kosten
- ▶ Integration und Systemvereinfachung (Reformer)



# Mikro-KWK-Technologien

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



## Forschung

- Entwicklung einer neuen technischen Idee
- Komponentenforschung und Laborentwicklung

## Entwicklung und Demonstration

- Aufskalierung zu kommerzieller Größe
- Systemdemonstration
- Pilotanlagen/Prototypen

## Kommerzialisierung

Erste Einführung der neuen Technologie in den kommerziellen Markt

## Marktdurchdringung

Schrittweise Annahme der neuen Technologie durch Anwender

# Mikro-KWK-Technologien

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



Forschung

Entwicklung und  
Demonstration

Kommerzialisierung

Marktdurchdringung

Ottomotor

Beispiele  
für Mikro-KWK



**Honda**

$$P_{el} = 1 \text{ kW}$$

$$P_{therm} = 3,25 \text{ kW}$$

$$\eta_{elektrisch} = 20 \%$$

$$\eta_{gesamt} = 85 \%$$



**Senertec Dachs**

$$P_{el} = 5 - 5,5 \text{ kW}$$

$$P_{therm} = 12 \text{ kW}$$

$$\eta_{elektrisch} = 25\%$$

$$\eta_{gesamt} = 85-90\%$$

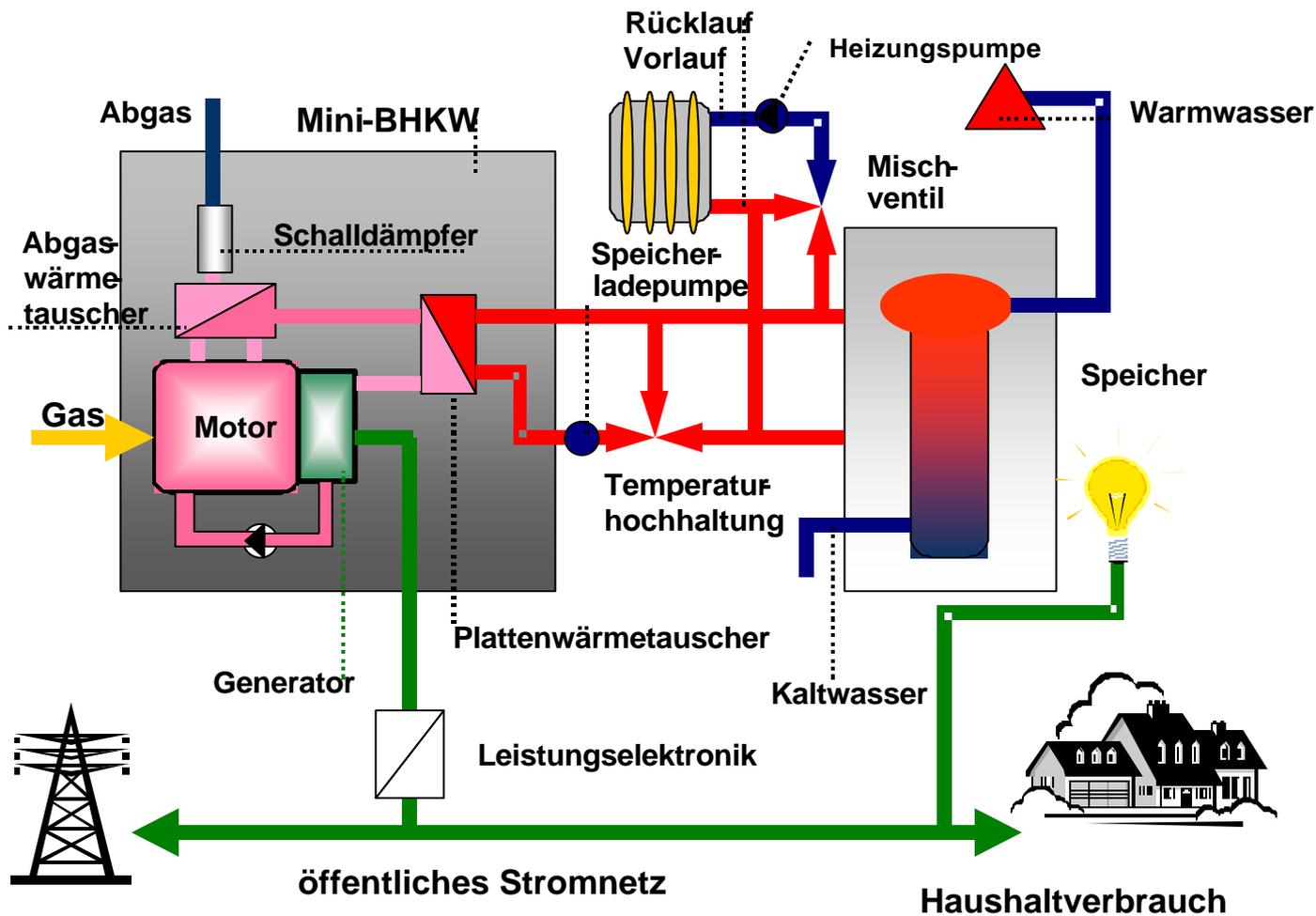
# Ottomotor

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



Quelle: nach Ecopower

# Mikro-KWK-Technologien

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



Forschung

Entwicklung und  
Demonstration

Kommerzialisierung

Marktdurchdringung



**Solo V 161**  
Leistung:

$$P_{el} = 9,5 \text{ kW}$$

$$P_{therm} = 26 \text{ kW}$$

$$\eta_{elektr} = 24\%$$

$$\eta_{gesamt} = 95\%$$

Stirlingmotor

*E.ON UK hat 80 000 Stück bis 2010 bestellt*



**Whisper Tech**  
Leistung:

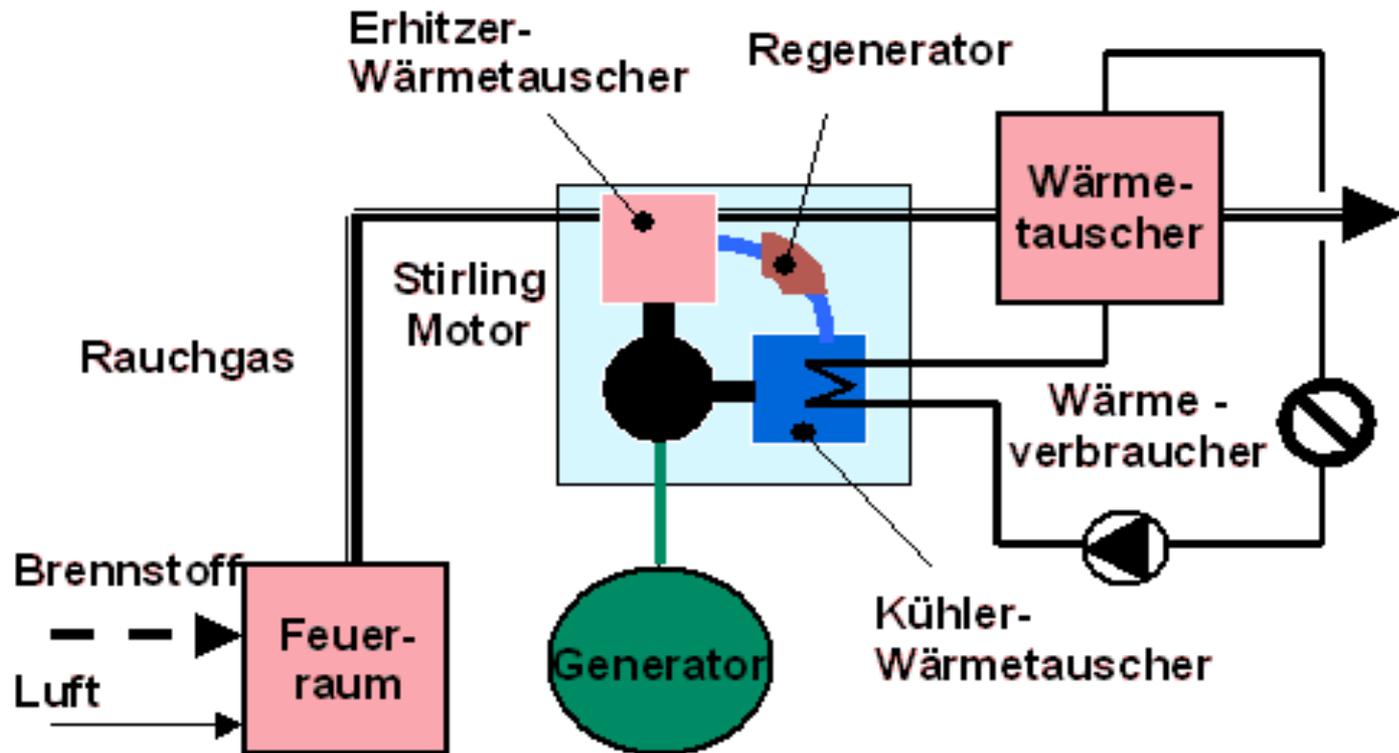
$$P_{el} = 0,8 \text{ kW}$$

$$P_{therm} = 6 \text{ kW}$$

$$\eta_{elektrisch} = 10-12\%$$

$$\eta_{gesamt} = 85-90\%$$

# Stirling-Motor



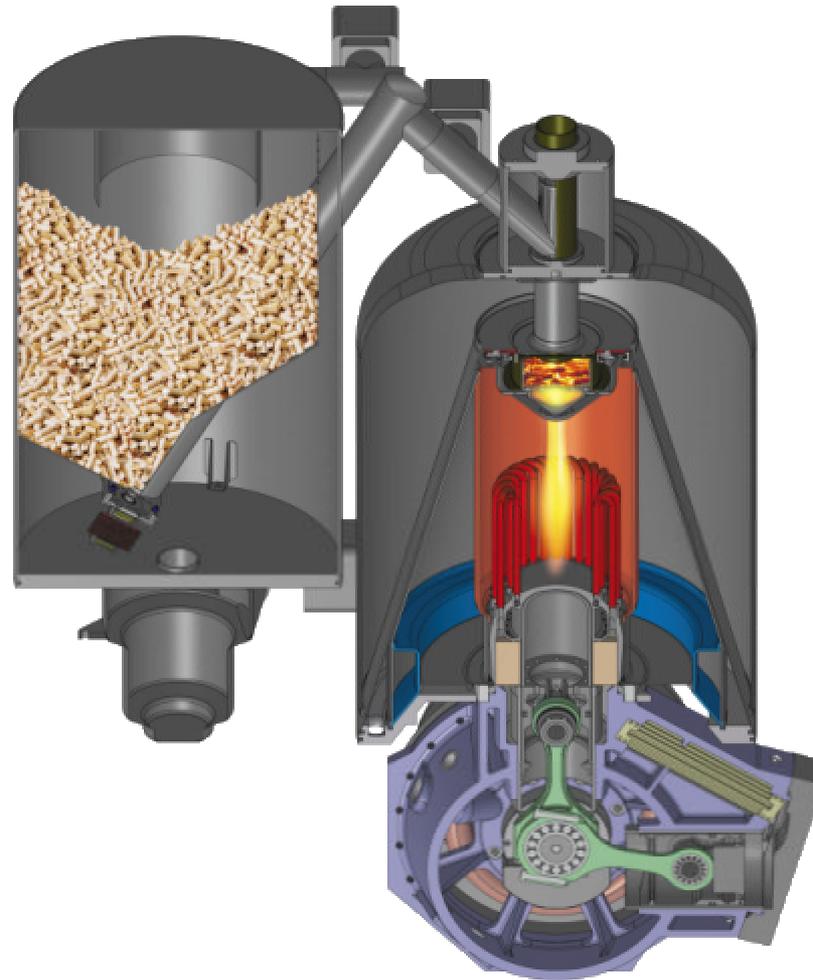
# Beispiel Pellet-Stirling Sunmaschine

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



**Vorserie 35 Stück**

# Dampfexpansionsmaschine: Beispiel Lion

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



- **Hersteller: OTAG GmbH**
  - ▶ Enginion hat Entwicklung eingestellt
- **Technische Daten**
  - ▶ Brennstoff: Erdgas, Pelletsversion ab 2007
  - ▶  $P_{el}$ : 0,2 – 3 kW
  - ▶ Wirkungsgrad
- **28 Stück produziert (April 2006)**
- **600 Vorbestellungen**
- **Kostenziel: 15 bis 17.000 Euro**



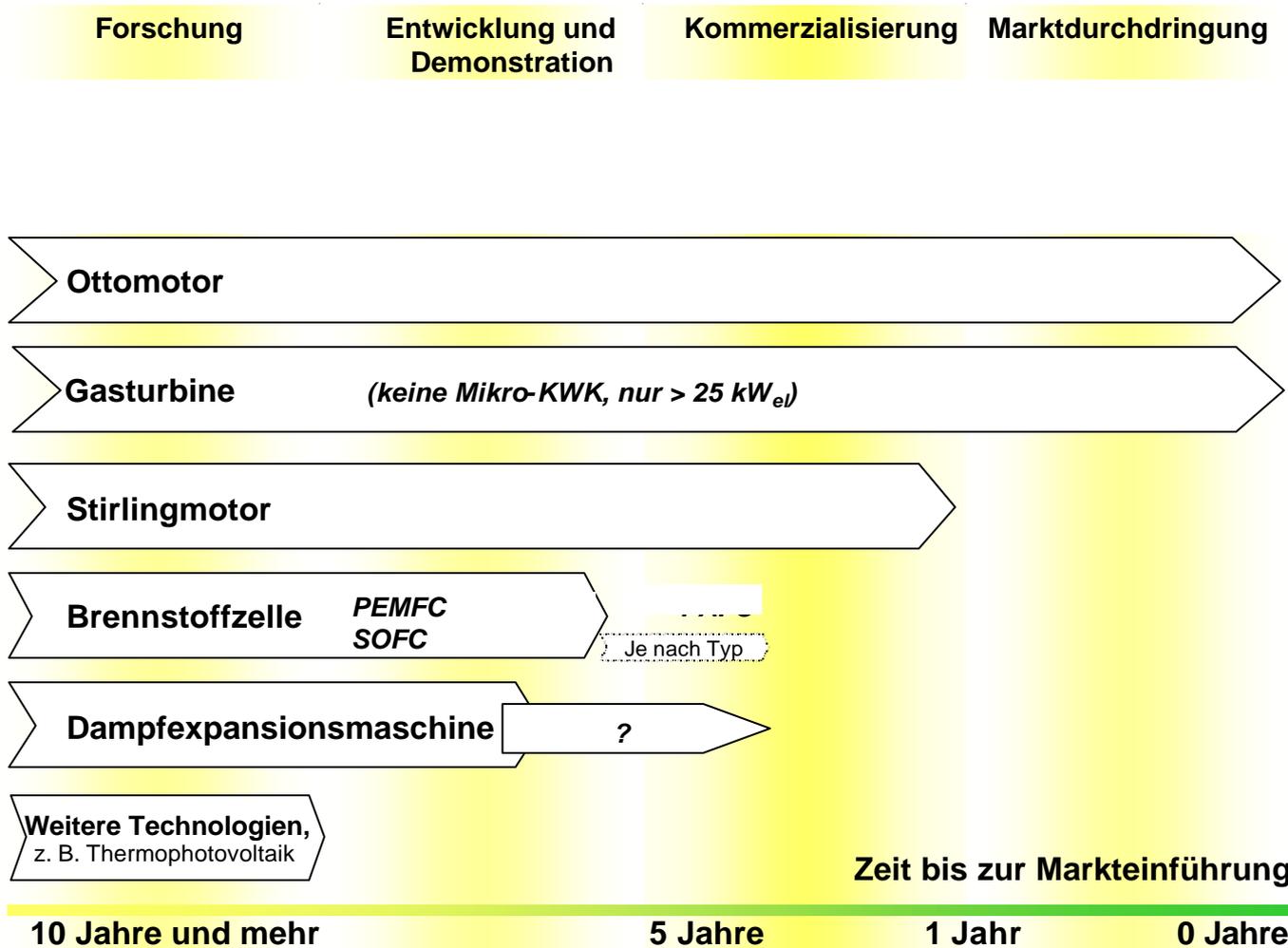
# Mikro-KWK-Technologien

Kleine KWK

Prinzip Brennstoffzelle

Die Konkurrenten

Ökonomie und Ökologie



- **Von der Wiege bis zu Bahre**
  - ▶ einschließlich Anlagenherstellung, Energieträgerbereitstellung, Betrieb, Entsorgung
- **Wichtig: Was ist die Fragestellung?**
  - ▶ Welche Umwelteffekte ergeben sich, wenn ich bei einer Neuinvestition in einem Objekt mit Erdgas-Anschluss eine Mikro-KWK-Einheit installiere anstelle eines Konkurrenzsystems?
    - Berücksichtigung des Kuppelprodukts Wärme mit Erdgas-Brennwertkessel: Erteilung einer Gutschrift
    - Brennstoff Erdgas

**Dies ist für die KWK die vorsichtigste Gutschriftvariante.**

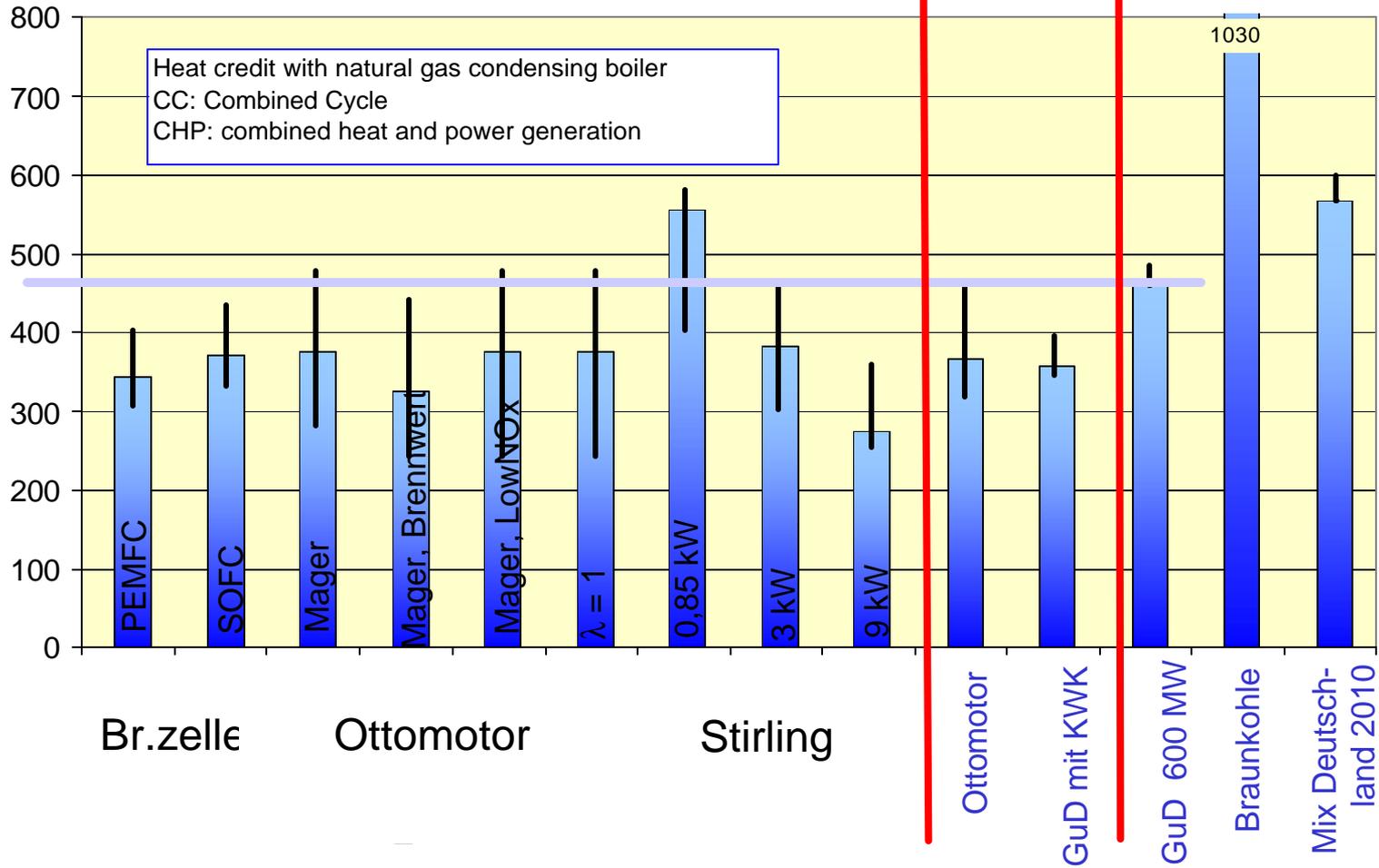
# Treibhausgasemissionen KWK (Erdgas) (g CO<sub>2</sub>-Äq./kWh<sub>el</sub>)



## MikroKWK

## KWK Nah/Fern

## Ungekoppelt



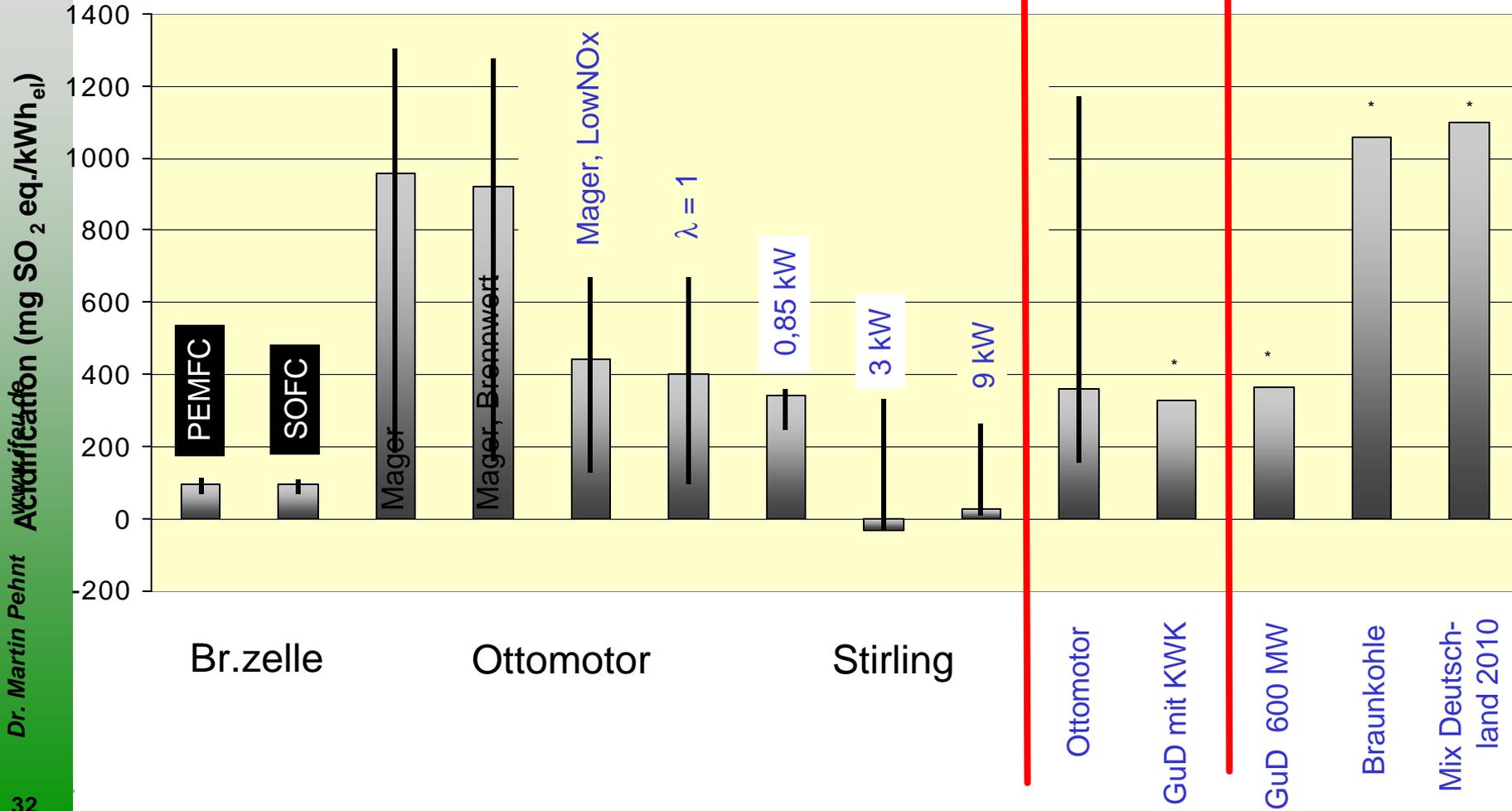
# Versauernde Emissionen (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>) (mg SO<sub>2</sub>-Äq./kWh<sub>el</sub>)



## MikroKWK

KWK  
Nah/Fern

Ungekoppelt



# Erdgas als Energie“träger“

Kleine KWK    Prinzip Brennstoffzelle    Die Konkurrenten    Ökonomie und Ökologie



**Einen Ballon voller Erdgas** tragen diese beiden chinesischen Frauen nach Hause. Sie haben sich den Brennstoff an einem Bohrloch der staatlichen Ölgesellschaft Zhongyuan Pe-

troleum in Puyang besorgt. Diese Art der Energieversorgung ist zwar auch in China illegal, unter der Landbevölkerung aber nicht ungewöhnlich. Durch die falsche Lagerung in

den Häusern kommt es immer wieder zu tödlichen Unfällen und schweren Verbrennungen. Der gefüllte Plastikballon der beiden Frauen reicht etwa zwei Wochen. Foto: dpa

# Andere Brennstoffe für Mikro-KWK

Kleine KWK    Prinzip Brennstoffzelle    Die Konkurrenten    **Ökonomie und Ökologie**



Nehmen Sie die Zukunft in die Hand!

Strom und Wärme aus Holzpellets

A white and black wood pellet boiler is shown. The text 'Wood Pellets' is printed on the side of the boiler. The background is dark with some blurred lights.

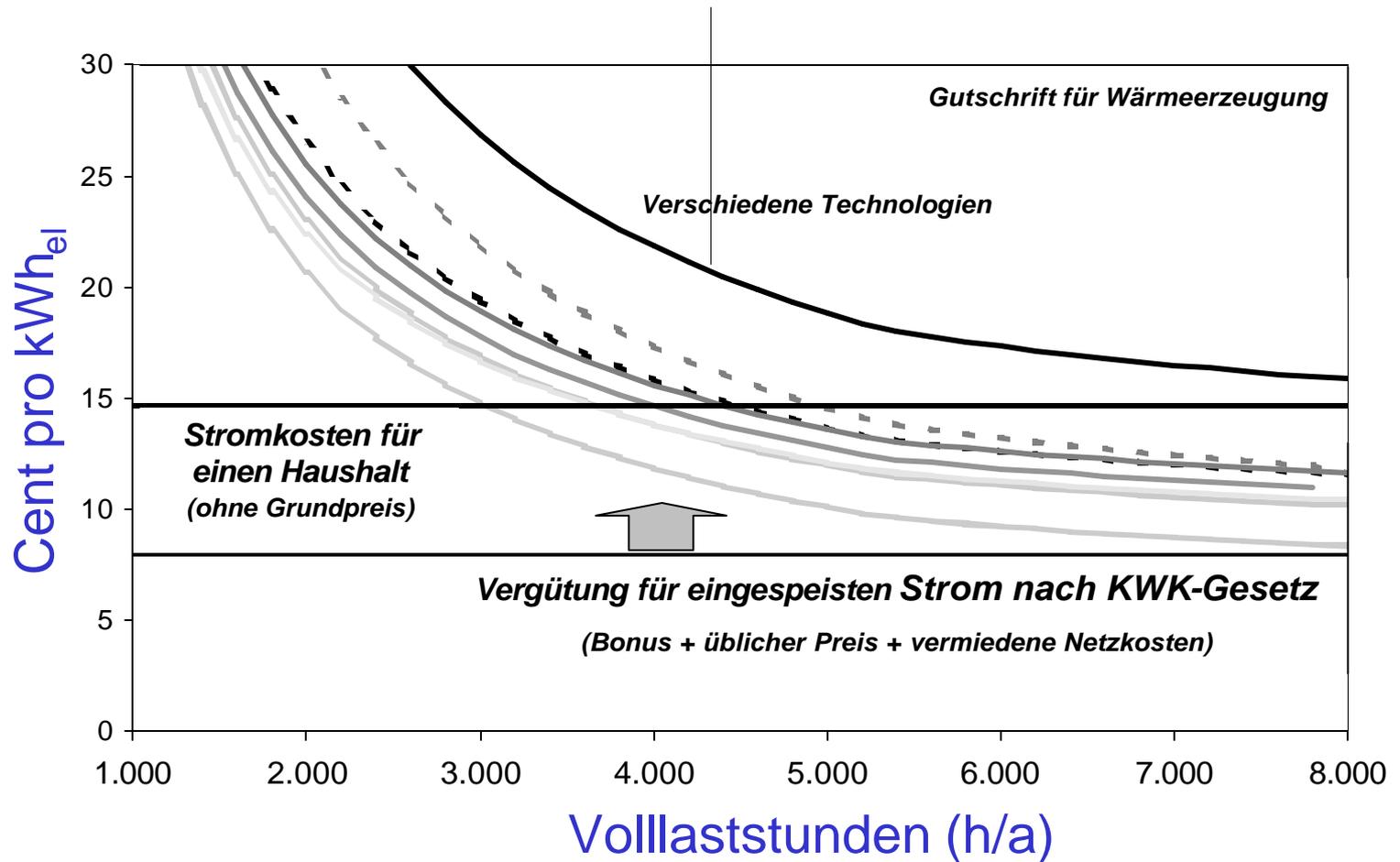
*..... möglich, aber noch nicht Stand der Technik.*

# Institutionelle Bedingungen und Markt

- + **Ins Netz eingespeister Strom wird nach dem KWK-Gesetz vergütet.**
  - + **KWK-Bonus (5,11 Ct/kWh) + Üblicher Preis + vermiedene Netznutzung**
- + **Erstattung der Mineralölsteuer für hocheffiziente KWK und der Stromsteuer für kleine BHKW auch nach neuem Energiesteuergesetz**
- + **Mit erneuerbaren Energien betriebene KWK wird nach dem Erneuerbare Energien-Gesetz vergütet (z. B. Pflanzenöl- und Biogasanlagen)**

# Wirtschaftlichkeit: Stromgestehungskosten (2000er Preise)

Kleine KWK    Prinzip Brennstoffzelle    Die Konkurrenten    Ökonomie und Ökologie



# Bevorzugte Anwendungen für kleine BHKW

- **Möglichst hoher, einfach erschließbarer Eigenstrombedarf**
- **Möglichst lange jährliche Laufzeit**
  - ▶ Konstanter Wärmebedarf
  - ▶ Angepasste Auslegung
- **Beispiele:**
  - ▶ Gewerbebetriebe, Hotels
  - ▶ Altersheime
  - ▶ Krankenhäuser
  - ▶ Mehrfamilienhäuser
  - ▶ Hallenbäder
  - ▶ Sportstätten, Schulen mit Sporteinrichtungen
  - ▶ Verwaltungsgebäude

# Beispiel: Hotel

- **Hotel mit 28 Betten, Restaurant, 800 m<sup>2</sup>**
  - ▶ **Modulierendes Klein-BHKW (Power Plus)**
  - ▶ **21.000 kWh<sub>el</sub>, komplett im Objekt genutzt (= 1/4 des Strombedarfs)**
  - ▶ **55.500 kWh<sub>th</sub> (= 1/3 des Wärmebedarfs)**
  - ▶ **4400 Betriebsstunden/a**
  - ▶ **Annahme: Installation 2004**
  - ▶ **Investitionskosten 16 500 Euro netto**
- **Statische Amortisationszeit: 7 Jahre**
- **Reduktion CO<sub>2</sub> gegenüber vorher: rd. 35 %**



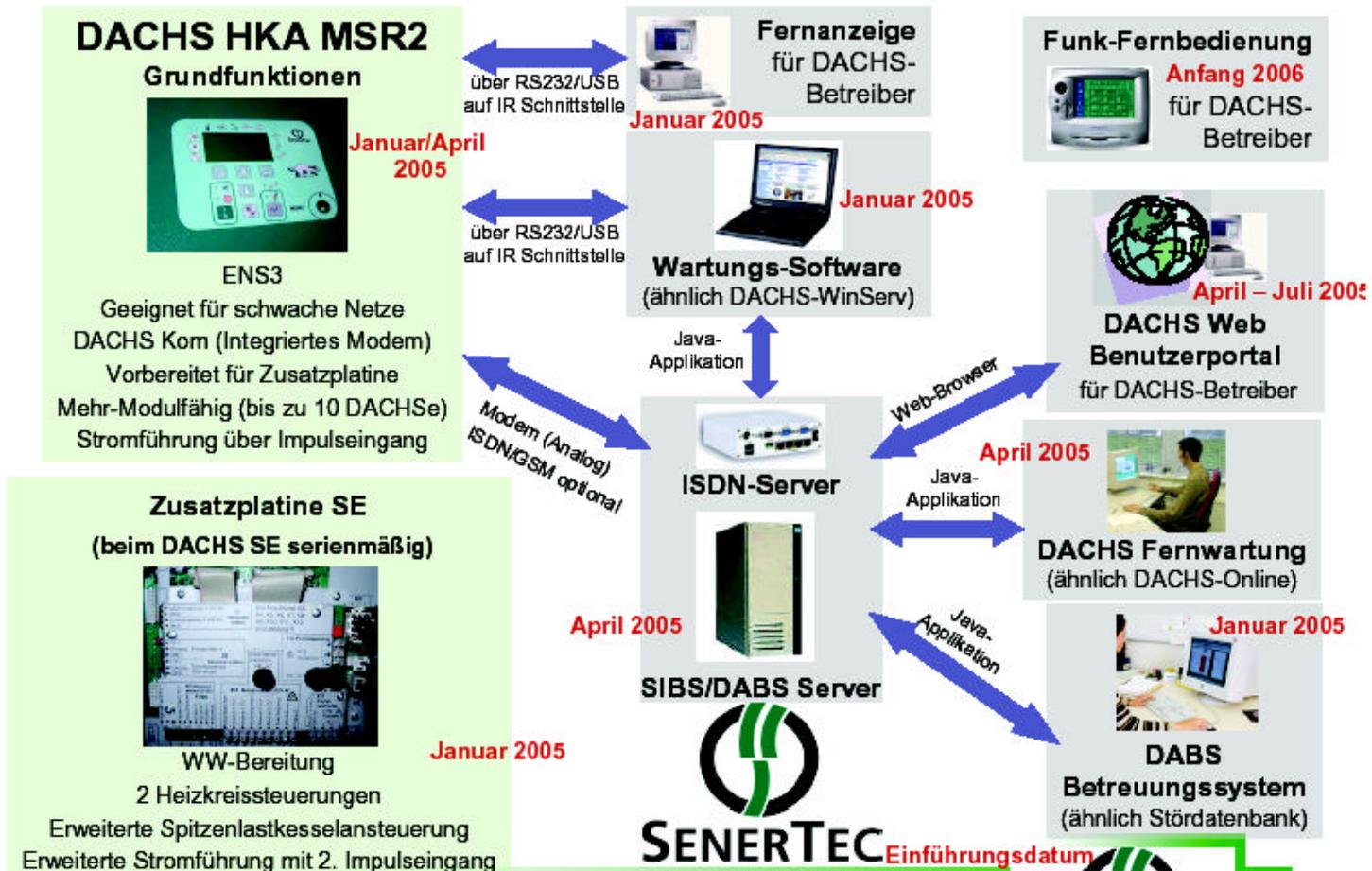
*Quelle:*

*Hervorragende Best-Practice-Sammlung unter [www.hessen-energie.de](http://www.hessen-energie.de)*

# Weitere Hemmnisse: Beispiel Mietwohnungsbau

- **Umlagefähigkeit der BHKW-Investitionskosten, Umlage nach Heizkostenverordnung offen**
- **Stromeigennutzung sehr vorteilhaft für Wirtschaftlichkeit**
  - ▶ **Zustimmung aller Mieter zu Stromlieferung bzw. Contracting oft schwierig**
  - ▶ **§110 EnWG: Ist ein hausinternes Netz Kundenanlage oder Objektnetz (für letzteres sind Rechte des Mieters eingeschränkt)**
  - ▶ **Reststrom-Deckung**

# Beispiel für Vernetzung

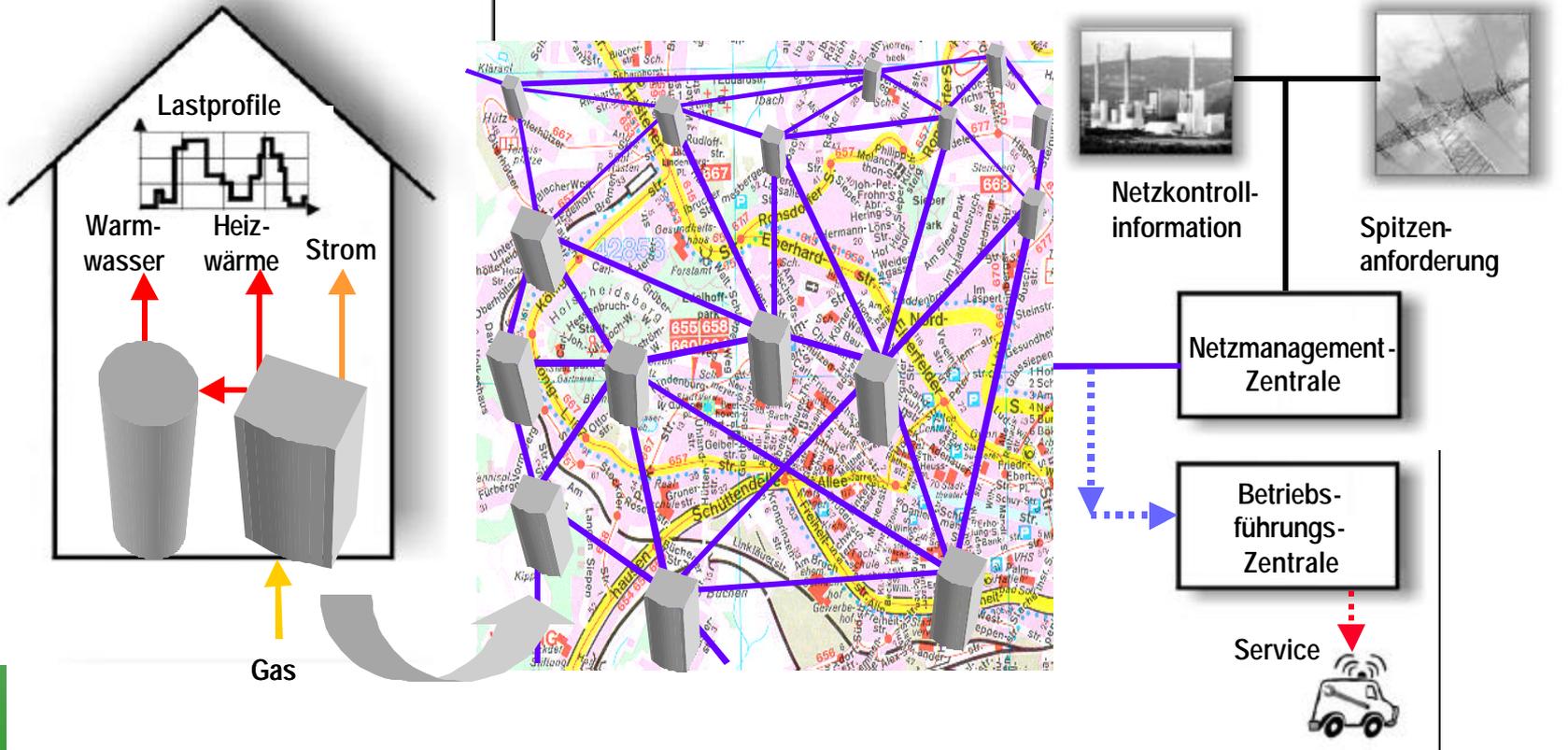


# Virtuelles Kraftwerk

Kleine KWK    Prinzip Brennstoffzelle    Die Konkurrenten    Ökonomie und Ökologie



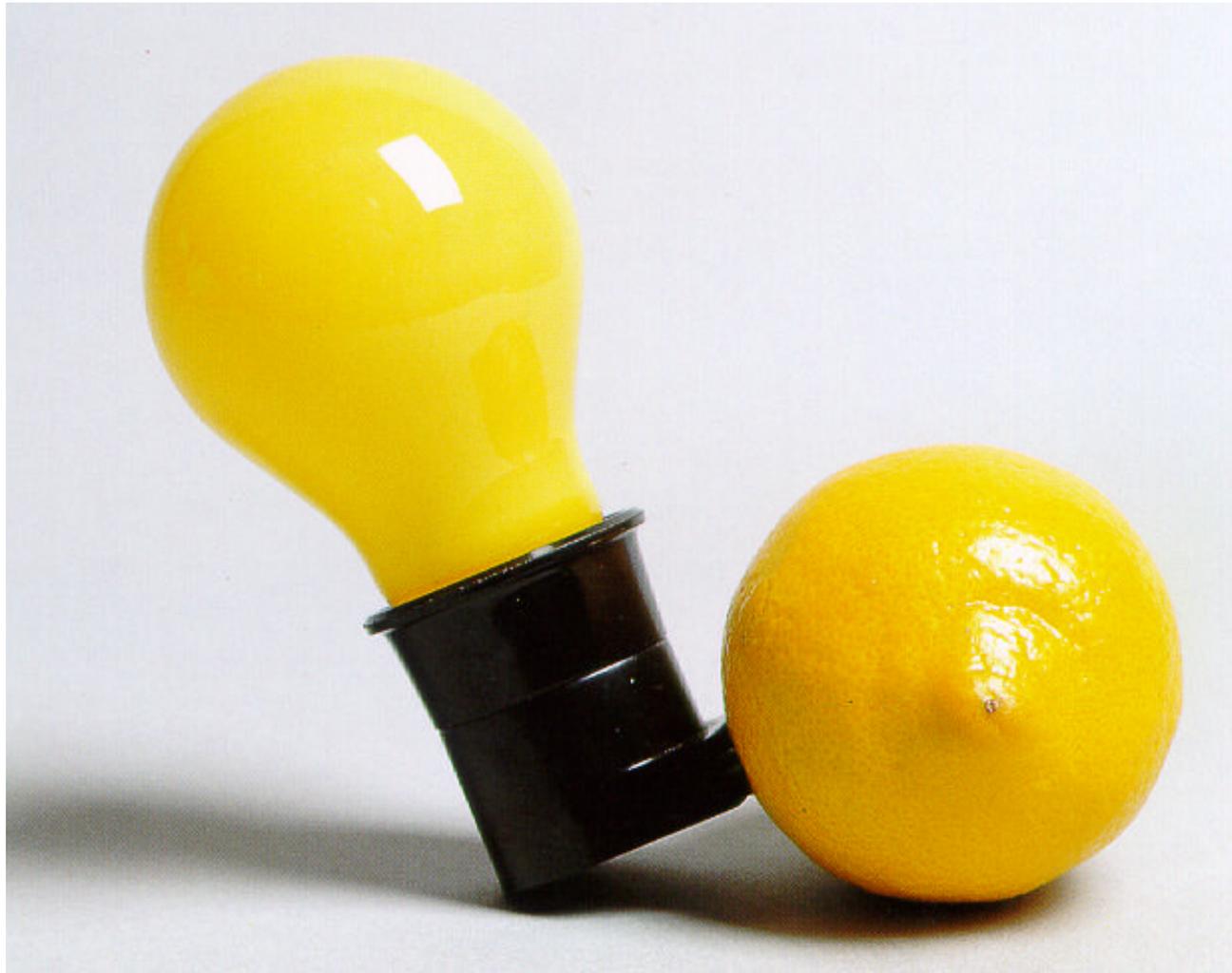
- **Virtuell:** „to be in effect, but not in appearance“



Quelle: Vaillant

# Der Beweis für die globale Klimaerwärmung...

Kleine KWK    Prinzip Brennstoffzelle    Die Konkurrenten    Ökonomie und Ökologie



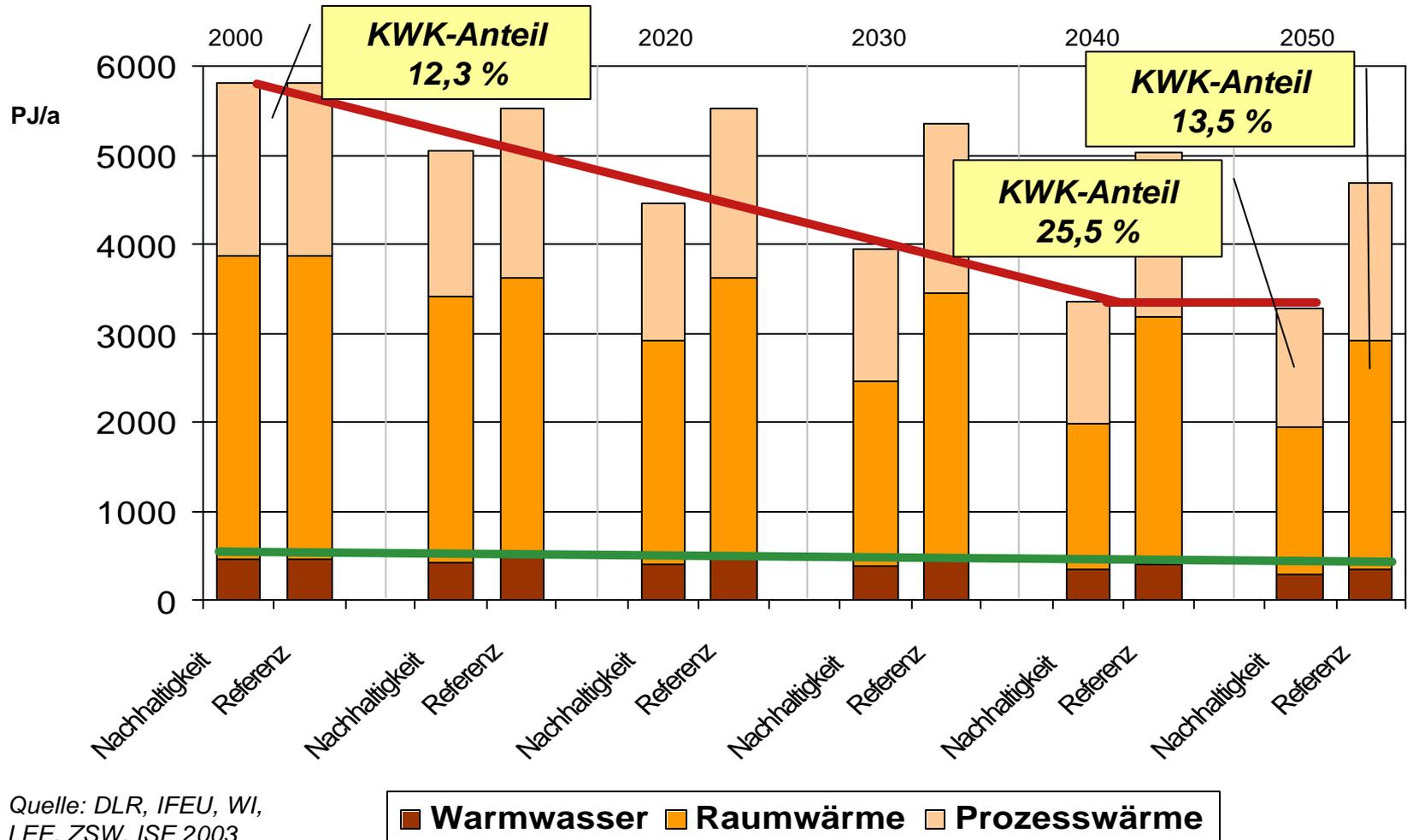


# Entwicklung Raumwärmebedarf

Kleine KWK Prinzip Brennstoffzelle Die Konkurrenten Ökonomie und Ökologie



Referenzszenario gemäß Enquete-Kommission  
Nachhaltigkeitsszenario gemäß BMU-UBA-Szenario (- 80 % CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050)



Quelle: DLR, IFEU, WI, LEE, ZSW, ISE 2003



# Kennziffern verschiedener Anwendungen



	Schule	Sporthalle + Schwimmen	Verwaltungsgebäude	Gewerbe	Hotels	Altenheime	Kindergärten	EFH + ZFH	MFH
<b>Vollbenutzungsstunden (h/a)</b>	5.860	6.700	5.880	5.590	6.660	6.830	4.750	3.910	5.440
<b>spez. Investitionskosten (Euro/kW<sub>el</sub>)</b>	2.460	2.510	2.600	2.510	2.670	2.480	2.350	2.750	2.810
<b>Verhältnis thermische Leistung BHKW zu Heizkessel (%)</b>	5	5	13	15	12	11	11	35	20
<b>Anteil Eigennutzung an Erzeugung BHKW-Strom (%)</b>	85	93	80	85	85	81	73	46	61
<b>Anteil Eigennutzung BHKW-Strom an Strombedarf (%)</b>	45	27	48	50	53	50	68	74	71
<b>Stromerzeugungskosten (ct/kW<sub>h<sub>el</sub></sub>)</b>	8,2	7,5	8,5	9,5	8,2	8,2	9,4	12,4	9,3
<b>Strombezugskosten (ct/kW<sub>h<sub>el</sub></sub>)</b>	9,6	7,2	8,8	9,7	9,3	8,6	15,9	11,7	10,5
<b>Brennstoffkosten (ct/kW<sub>h<sub>el</sub></sub>)</b>	2,5	2,1	2,4	2,6	2,8	2,5	3,4	3,0	2,8
<b>statische Amortisationszeit (a)</b>	7,7	8,0	7,8	8,3	6,4	7,0	3,9	12,6	8,3

Quelle: Hessen-Energie, Auswertung von 469 realisierten Klein-BHKW-Anlagen unter 30 kW

# Beispiel Pellet-Stirling Sunmaschine

Thermische Leistung:      4,5 - 10,5 kW  
Netzeinspeiseleistung:    1,5 - 3 kW  
elektrischer Wirkungsgrad: 20 - 25%  
Gesamtwirkungsgrad:      ca. 90%

Vorlauftemperatur:      max. 85° C  
Rücklauftemperatur:      opt. 30° C  
Rücklauftemperaturanhebung nicht nötig

Schallemissionen:        45 - 54 dB

Farbe:                      RAL 5001  
                                    (blaugrün)

Gewicht:                    ca. 350 kg  
Maße LxBxH in mm:      1200x800x1500

Kosten:                     23.500,00 Euro exkl. MwSt.



# Potenziale der dezentralen KWK in zwei Energieszenarien

GW <sub>el</sub>	2000	2050	
		Referenz (Business as usual)	Nachhaltig (hoher Anteil erneuerbarer E., - 80 % CO <sub>2</sub> )
Mikro-KWK	≈ 0	0.6 ◊	3.3 ◊
Nah- und Fernwärme	1.2	2.8	7.9
Industrielle KWK	2.7	8.1	10.3
<b>Total</b>	<b>3.9</b>	<b>11.5</b>	<b>21.5</b>

**3,3 GW entspricht bei 4000 Volllaststunden/a circa 13 TWh/a, weniger als 3 % der voraussichtlichen Stromerzeugung im Jahr 2050.**

Quelle: DLR, IFEU, WI 2004 im Auftrag des BMU

# Stufen der Vernetzung

- **Unabhängiges Netz von zusammengeschalteten Erzeugern („Micro Grid“)**
- **Verbindung zu Datenserver**
  - ▶ Automatische Datensammlung (Bafa, Zollamt-Erklärung)
  - ▶ Home load management
  - ▶ Automatisierter Service
- **Virtuelles Kraftwerk**
  - ▶ Oftmals mit Vorhersage-Modellen und gekoppelt mit erneuerbaren Energien (fluktuierende Einspeisung!)
  - ▶ Verschiedene Kommunikationswege, z. B. ISDN, DSL, Powerline, Rundsteuerung, UMTS
  - ▶ Auch Einbeziehung von Lastmanagement möglich

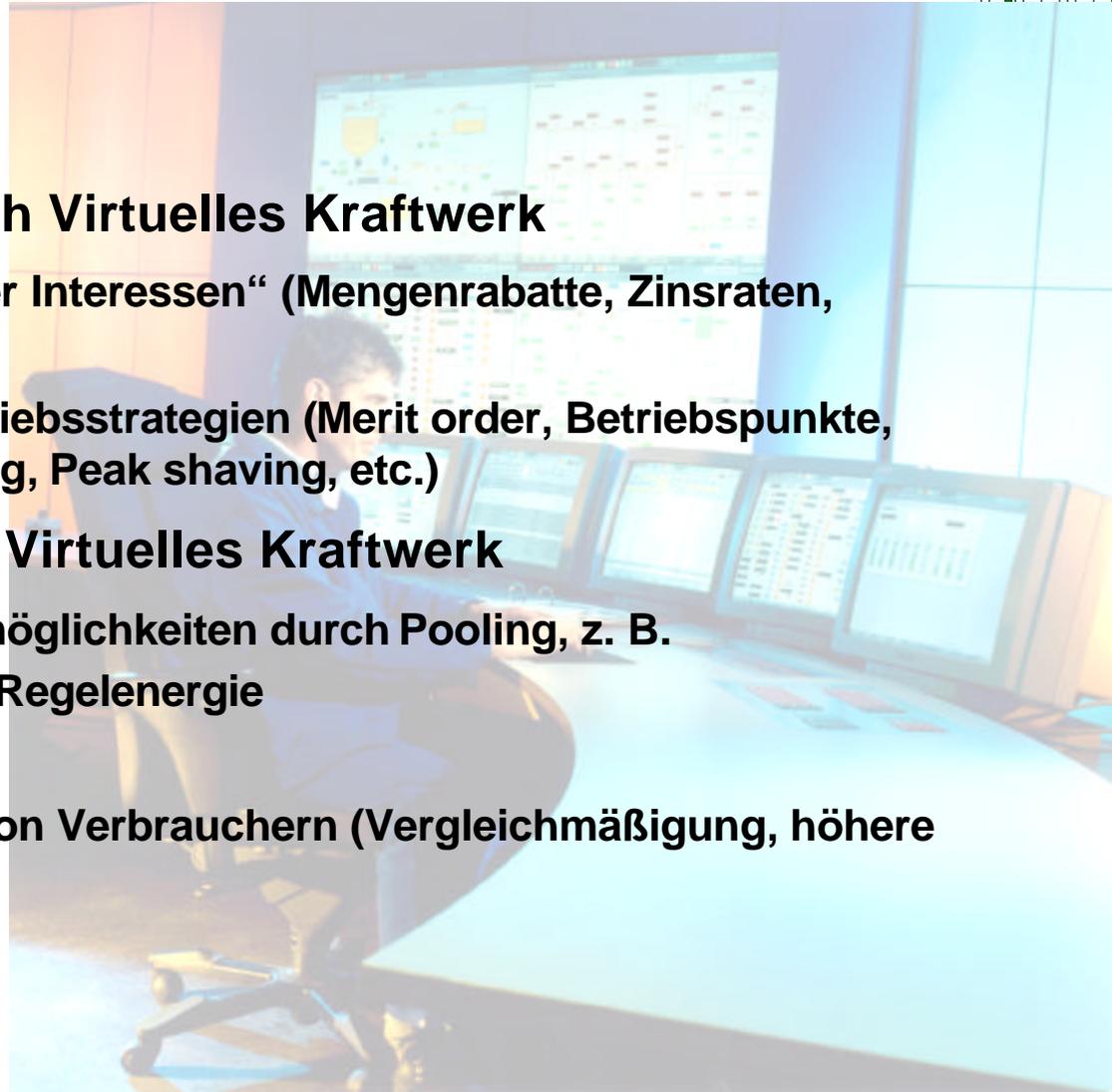
# Wirtschaftliche Aspekte des virtuellen Kraftwerks

## ▪ Kostenreduktion durch Virtuelles Kraftwerk

- ▶ durch „Clusterung der Interessen“ (Mengenrabatte, Zinsraten, Standardisierung)
- ▶ durch optimierte Betriebsstrategien (Merit order, Betriebspunkte, Verteilnetz-Auslastung, Peak shaving, etc.)

## ▪ Erlöserhöhung durch Virtuelles Kraftwerk

- ▶ Neue Vermarktungsmöglichkeiten durch Pooling, z. B.
  - Ausgleichs- und Regenergie
  - Spotmarkt
- ▶ Direkte Belieferung von Verbrauchern (Vergleichmäßigung, höhere Deckungsbeiträge)



# Beispiele virtueller KW-Ansätze

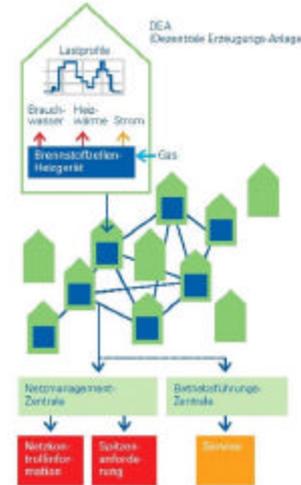
Kleine KWK    Prinzip Brennstoffzelle    Die Konkurrenten    Ökonomie und Ökologie



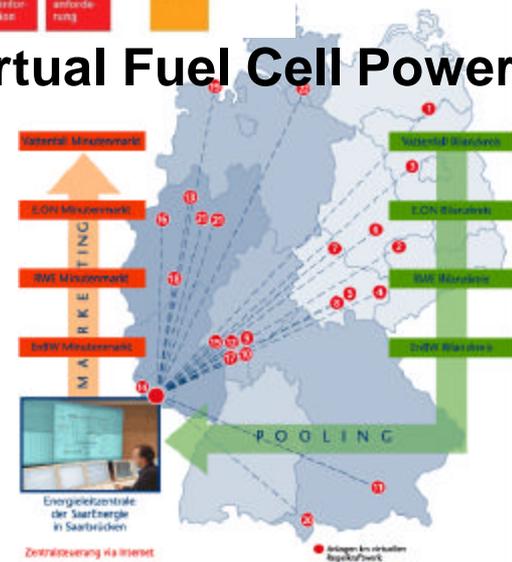
Stadtwerke Unna



Dispower

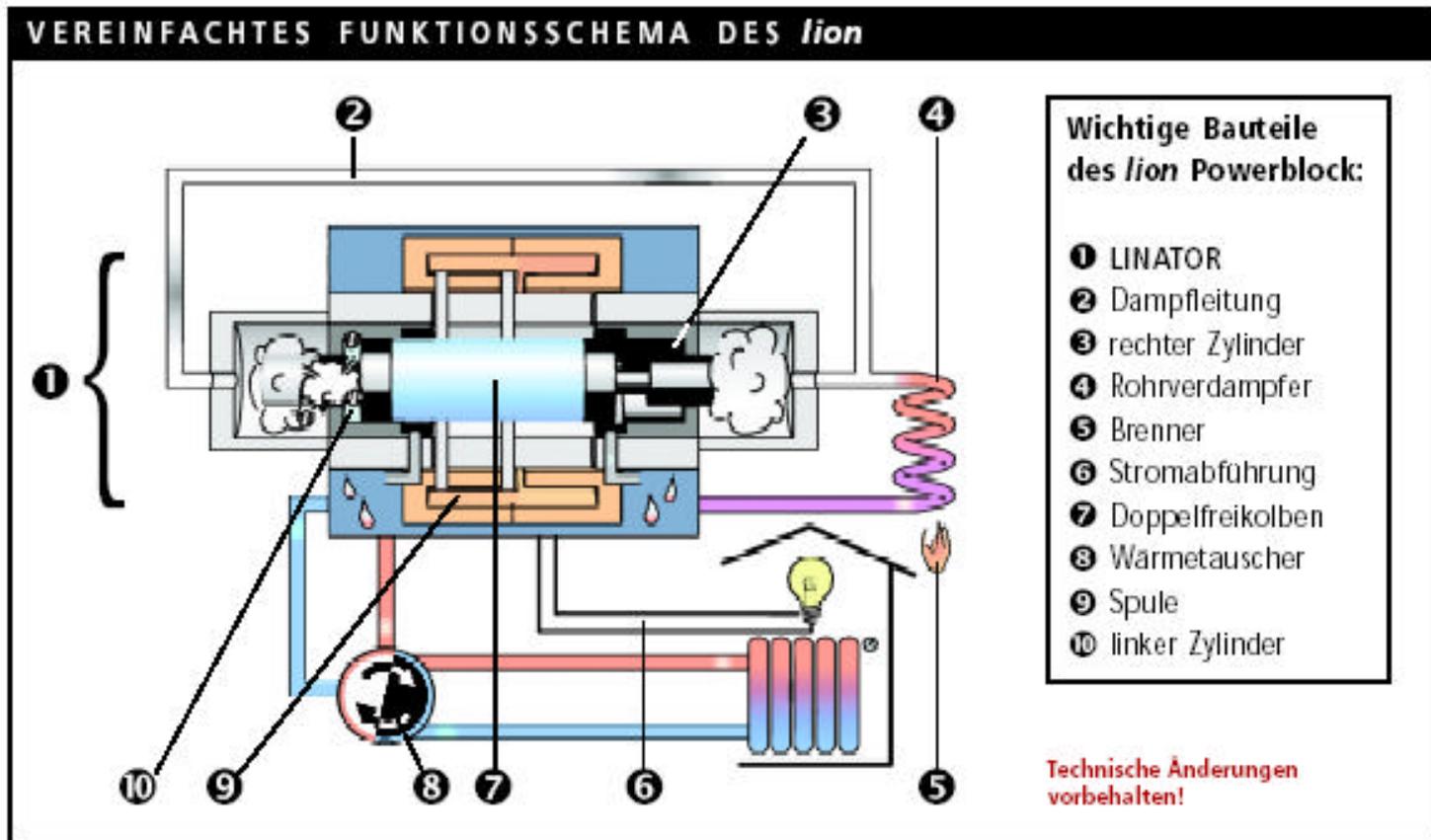


EU Projekt: Virtual Fuel Cell Power Plant



Virtuelles Regelkraftwerk SaarEnergie

# Dampfexpansionsmaschine: Lion



# Virtuelles Kraftwerk mit Mikro-KWK

- **Problem: kleine Anlagen, zusätzliche Einbindungskosten**
- **Wärmenachfrage begrenzt Potenzial der zusätzlichen, zeitlich flexiblen Stromerzeugung**
  - ▶ Vor allem in Übergangszeit
  - ▶ Im Winter Stromnetzentlastung
  - ▶ Im Sommer kaum Potenzial (Wärmespeicher!)
- **Anreiz zum Peak shaving besteht auch ohne Vernetzung**
  - ▶ Substitution von Eigenstrombedarf ist lukrativer als Einspeisung
  - ▶ differenzierte Tarifstruktur könnte zusätzliche Anreize bieten
- **Eigenstromerzeugung heute lukrativer als Börse, Regelenergie etc.**
- **Institutionelle Hemmnisse**
  - ▶ Z. B. Präqualifizierung, Mindestgröße (30 MW), Marktgröße

# Ein Erfolgsbeispiel: die MCFC von MTU CFC Solutions

Kleine KWK    Prinzip Brennstoffzelle    Die Konkurrenten    Ökonomie und Ökologie



- 250 kW<sub>el</sub>
- Elektrischer Wirkungsgrad über 47%
- Gesamtwirkungsgrad über 80 %, in Einzelfällen/ Betriebspunkten bis zu 90 %
- Laufzeiten über 20.000 Stunden
- Brennstoffe: Erdgas, Biogas, Methanol, Klärgas
- Kooperation von MTU Friedrichshafen und RWE Fuel Cells