

Energieperspektiven CH 2035/2050

# **Stand und Potenziale Brennstoffzellentechnologie**

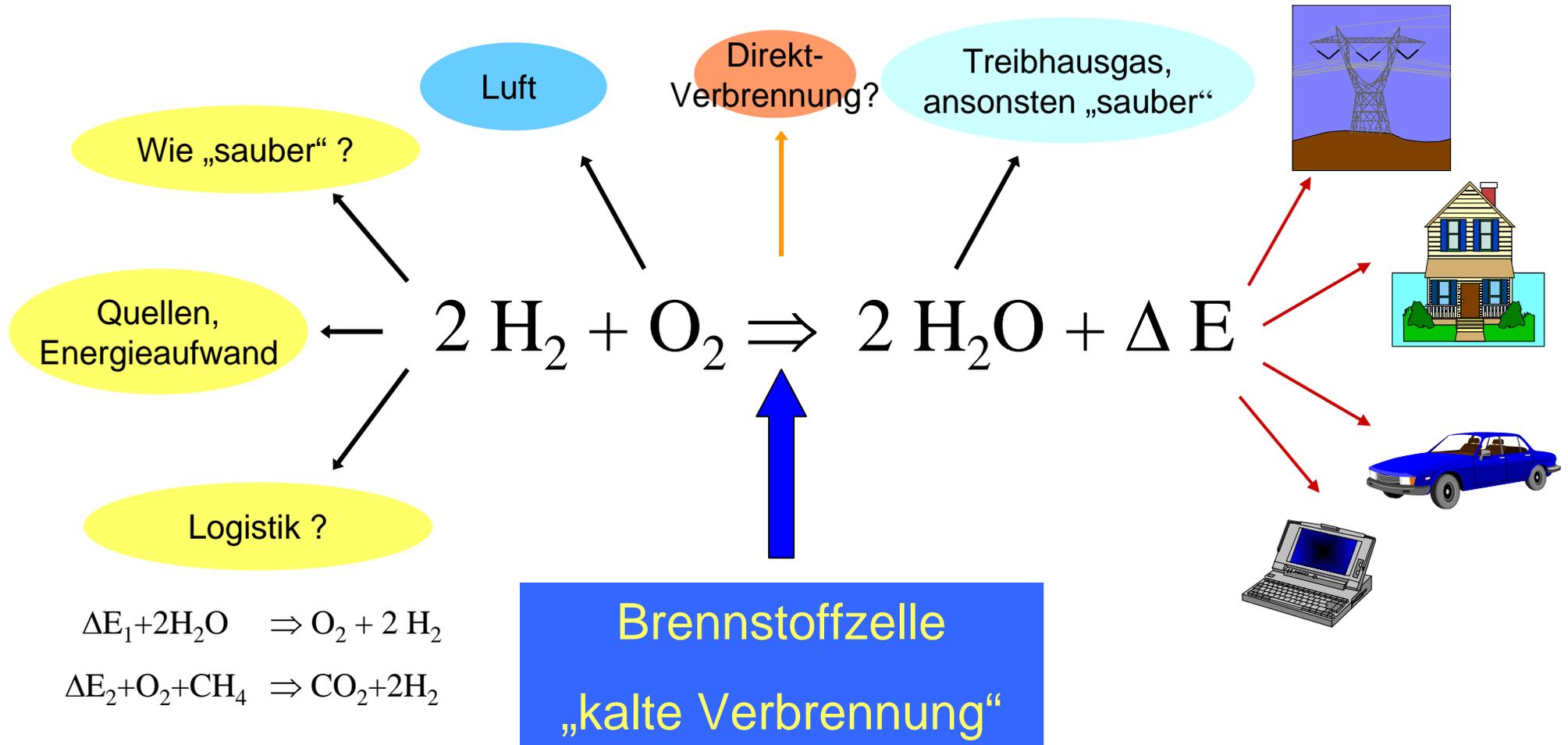
Workshop und Forum 02.07.2004

Dr. Almut Kirchner  
Vincent Rits

Basel, 05.07.2004

## Brennstoffzellen als Technologieoption

- Katalytisch gesteuerte und „gezähmte“ Knallgasreaktion
- Hohe Energiedichte: 3 - 4.5 kWh<sub>el</sub>/Nm<sup>3</sup>H<sub>2</sub>, 33 kWh/kg (ohne Tank)
- Direkte Umwandlung der chemischen Reaktionsenergie in Elektrizität (ohne thermo-mechanische Zwischenstufe) →
- Hoher Wirkungsgrad möglich; gleichmässiges Lastverhalten
- „alle“ Grössenklassen und „alle“ Anwendungen prinzipiell möglich  
Von „portabel“ (Handy, Laptop) über „mobil“ (Fahrzeuge)  
bis „dezentral“ (Hausenergiezentrale) zu „Zentral“ (Kraftwerk in allen Grössenklassen)
- Versprechen der „sauberen“ Technologie:  
geringe Emissionen, Gas / Methanol / Ethanol / Biogase als  
Übergangsenergieträger





## Technologie

- Verschiedene Technologien - AFC, PEMFC, SOFC, PAFC, MCFC
- Verschiedene Brennstoffe möglich
- Verschiedene Einsatzfelder

	Brennstoffzellentyp				
	AFC	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Betriebs- temperatur °C	50 - 100	50 - 100	~ 200 (160 - 210)	~ 650	500 - 1000
Reforming	Extern	Extern oder direkt MeOH (→ DMFC)	Extern	Extern oder intern ( <i>direkt</i> <i>CH<sub>4</sub></i> )	Extern oder intern ( <i>direkt</i> <i>CH<sub>4</sub></i> )
Feed for fuel	(Ammoniak wird getestet) (Erdgas)	Erdgas, Benzin, Diesel, MeOH	Erdgas, Methanol, LPG, Benzin, Diesel	Benzin, Diesel, Biomasse, Kohle	Erdgas, Benzin, Diesel, Kohle und Biomasse
Leistungsgrösse (wide range)	0.1 - 100 kW	0.1 - 300 kW	50 - 200 kW	100 kW - 30 MW	1 kW - >MW
Wirkungsgrad	50 - 70 %	30 - 40 %	36 - 42 %	45 - 60 %	45 - 60 %



## Technologieentwicklungen

- Verschiedene Temperaturbereiche
- Verschiedene Anwendungspräferenzen und Brennstoffe
- **Kritisch: Katalysatoren als „Flaschenhals“:**
  - Schwermetalle, Edelmetalle: Palladium, Platin
  - Selten (Verknappung !), teuer, (bisher) nicht regenerierbar, wenige globale Abbaugelände, **hochgiftig, kritische Ökobilanzen**
- **Materialforschung:** Buckyballs, fraktale Oberflächen, Komplex-Keramiken, noch in Experimentierstadien
- Weiterentwicklung Wirkungsgrade und Lastverhalten



## Technologie

- Sehr unterschiedlicher Entwicklungsstand der einzelnen Technologien
- Hauszelle: Feldversuchsphase
- „Kinderkrankheiten“, Serienfertigung verzögert sich

		Brennstoffzellentyp				
	Allgemein	AFC	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Anwendungsbereich		Raumfahrt, Militär, Portable, Transport	Transport, Portable, WKK	WKK	WKK	WKK
Kosten Heute (CHF/kW)	Sicher > 4.000	k.D.	> 8.000	> 5.000	10.000-13.000	20.000-30.000
Lebensdauer (erwartet)	15-20 Jahre				25 Jahre	ca. 15 Jahre
Phase		Kommerziell (Raumfahrt)	Prototypen / Nische	„Kommerziell“ / verfügbar	Demonstration (> 2005 verfügbar)	Demonstration (→ Nische)



## Technologie, Technologieentwicklung

- **Abhängigkeit von Entwicklung im internationalen Umfeld (EU, Amerika), Ölpreise, Verfügbarkeit**
- **Grundsatzproblem: Systemkonkurrenz Wasserstoff vs. Netzelektrizität**
- **Zielkosten:**

Anwendung:	Zielkosten:
Stationäre Energieversorgung – Hausenergie (< 10kW <sub>el</sub> )	1.250 €/ kW <sub>el</sub>
Stationäre Energieversorgung – Industrielle/Öffentliche WKK (bis einige MW)	< 500 €/ kW <sub>el</sub>
Mobile Systeme – Antrieb (ca. 50 – 100 kW <sub>el</sub> )	50-150 €/ kW <sub>el</sub>
Mobile Systeme – Bordenergieversorgung (<10 kW <sub>el</sub> )	150 €/ kW <sub>el</sub>
Portable Anwendungen (<100 W <sub>el</sub> )	2.000-2.5000 €/ kW <sub>el</sub>

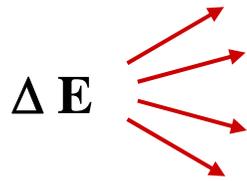
## H<sub>2</sub>

### Input – Woher kommt der Wasserstoff ?

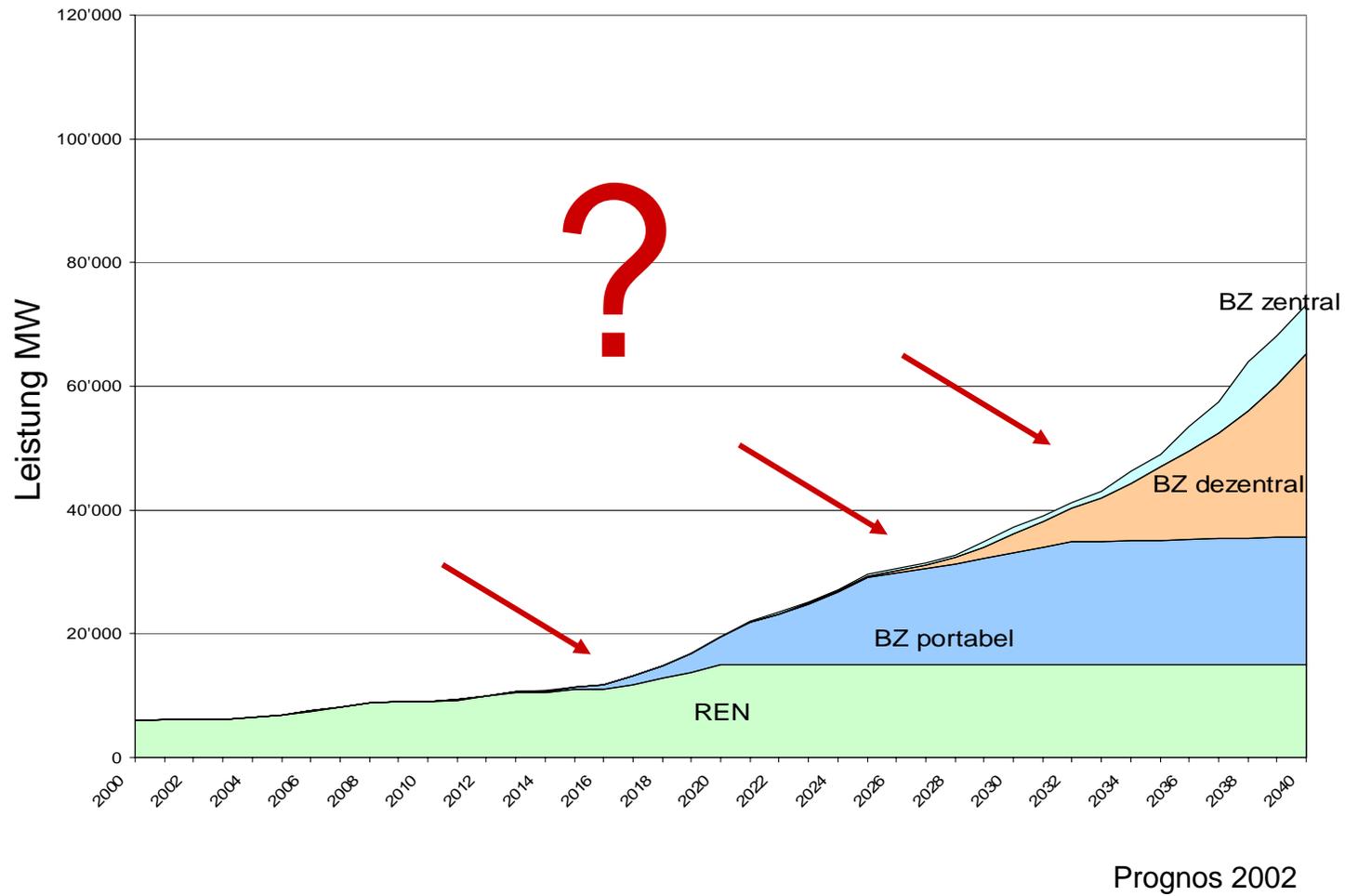
- Die Bilanzen der Zelle sind nur (höchstens) so „gut“ wie die des H<sub>2</sub>-Inputs (**crucial**)
- klassische Elektrolyse:  $\Delta H_1 + 2 \text{H}_2\text{O} \Rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$
- ökologisch vorteilhaft nur bei  $\Delta H_1$  **regenerativ** !
- **Reformerstufen** (Abspaltung aus Methan oder Methanol):  
 $\Delta H_2 + \text{O}_2 + \text{CH}_4 \Rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2$
- **zentraler ökobilanzieller Punkt:**  
**Gesamt-Energie-Bilanz // CO<sub>2</sub>-Bilanz ??**
- vorteilhaft nur bei Kohlenstoff aus **klimaneutraler** Produktion
- Interessante neue Option: Direkte katalytische Wasserzerlegung mit Licht

## Logistik / Infrastruktur

- Logistik I: Speicherung (aktive Forschungsprozesse im Gange)
  - Explosionsgefahr
  - Metallhydride
  - Kälte (energieaufwändig)
  - Nanotubes, Nanofibres
  - Keramiken
  - ...
  - Kosten ???
  - Zielkosten bei intensiver Technologieentwicklung bei 0.4-0.15 CHF/kWh H<sub>2</sub> möglich (Literatur); Zeitpunkt offen
- Logistik II : Transport
  - zentral / dezentral ?
  - Pipeline / Truck delivery / package delivery ?
  - Existierende Infrastruktur kaum nutzbar
  - Neue Infrastruktur muss parallel aufgebaut werden
  - Zwischenstufe: Gasinfrastruktur nutzen / erweitern (Tankstellen)



## Systemeinbindung, optimistische Projektion D 2002





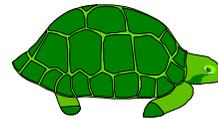


## Anwendungsfelder / Systemeinbindung / Einführungshemmnisse



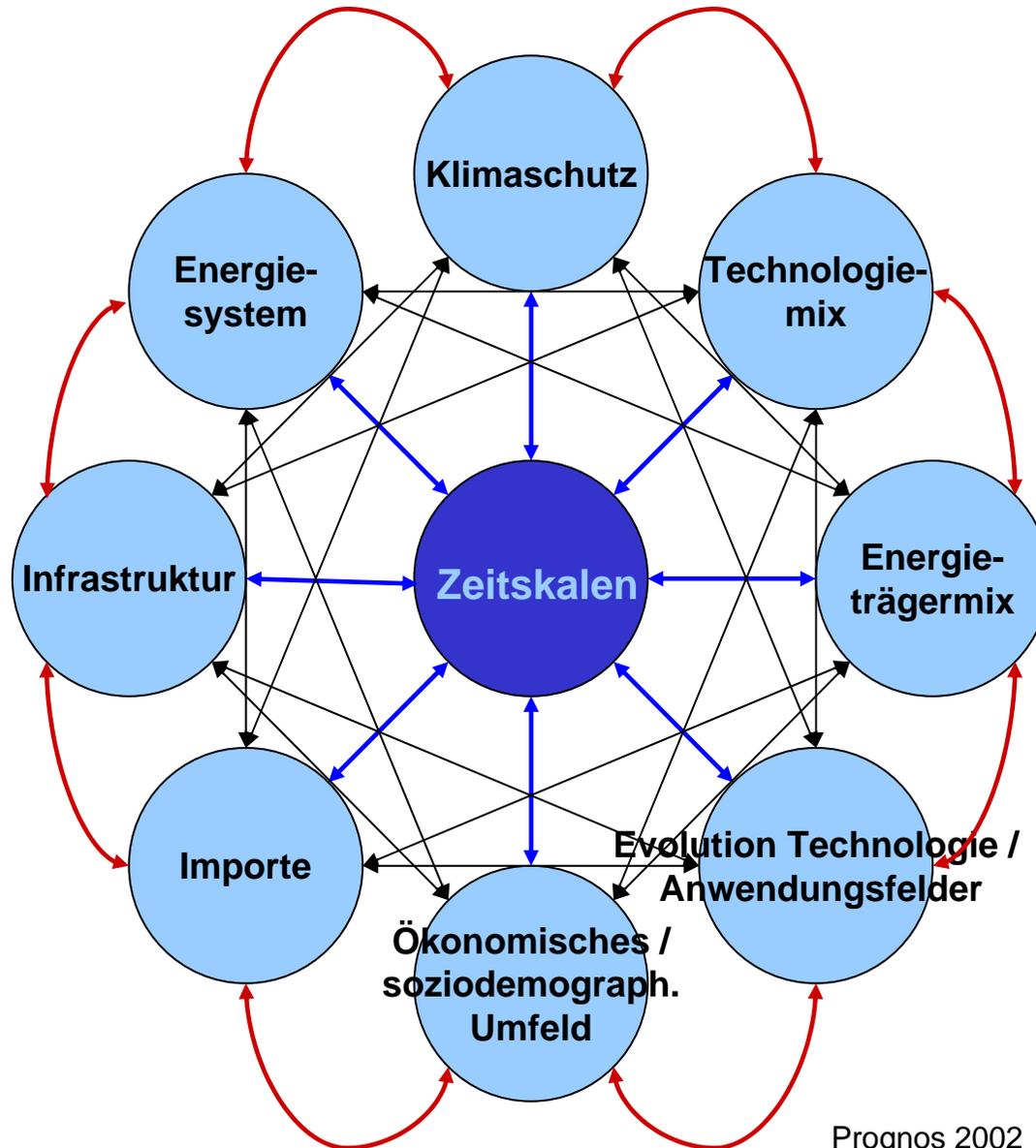
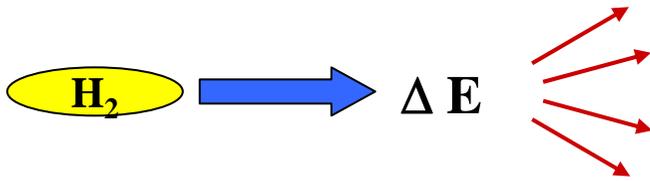
### Anwendung

- Kraftwerk, zentral
- Kraftwerk, dezentral
- Fahrzeuge
- portable Anwendungen



### Hemmniskonstellationen

- GuD-Technologie, Wärmeabsatz, Erdgas als Brennstoff, H<sub>2</sub>-Infrastruktur; Systemkosten
- s.o. Akteurskonstellationen; Interessen EVU;
- H<sub>2</sub>-Verbrennung; Gasautos; REG; Tankstelleninfrastruktur
- Miniaturisierung; Sicherheit; Verschleiß?



Prognos 2002

STRATEGIE ?

## Quellen und zum Weiterlesen

- International Energy Agency (IEA, 2003). *World Energy Investment Outlook 2003*. 2003
- Niedersächsische Energie-Agentur (2002). *Handlungsempfehlungen für eine Landesstrategie Brennstoffzellen*. Im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums
- Ogden, J.M. (1999). *Prospects for building a hydrogen energy infrastructure*. Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University (USA). Submitted to the Annual Review of Energy and the Environment.
- Pehnt, M.; Ramesohl, S. (IFEU/ Wuppertaler Institut für Klima, Umwelt und Energie, 2003). *Fuel cells for distributed power – benefits, barriers and perspectives*. Im Auftrag des WWF, 2003
- WBGU, Nitsch, J. *Potenziale der Wasserstoffwirtschaft*, 2003
- Hirschenhofer, Stauffer, Englemann, Klett, *Fuel Cell Handbook*, DOE Federal Energy Technology Center, 1999
- Basisinformationen: Informationszentrum Brennstoffzelle, [www.initiative-brennstoffzelle.de](http://www.initiative-brennstoffzelle.de)
- Martin Pehnt, *Energierévolution Brennstoffzelle?* Wiley VCH Weinheim, 2002