

Energieperspektiven CH 2035/2050

Stand und Potenziale Brennstoffzellentechnologie

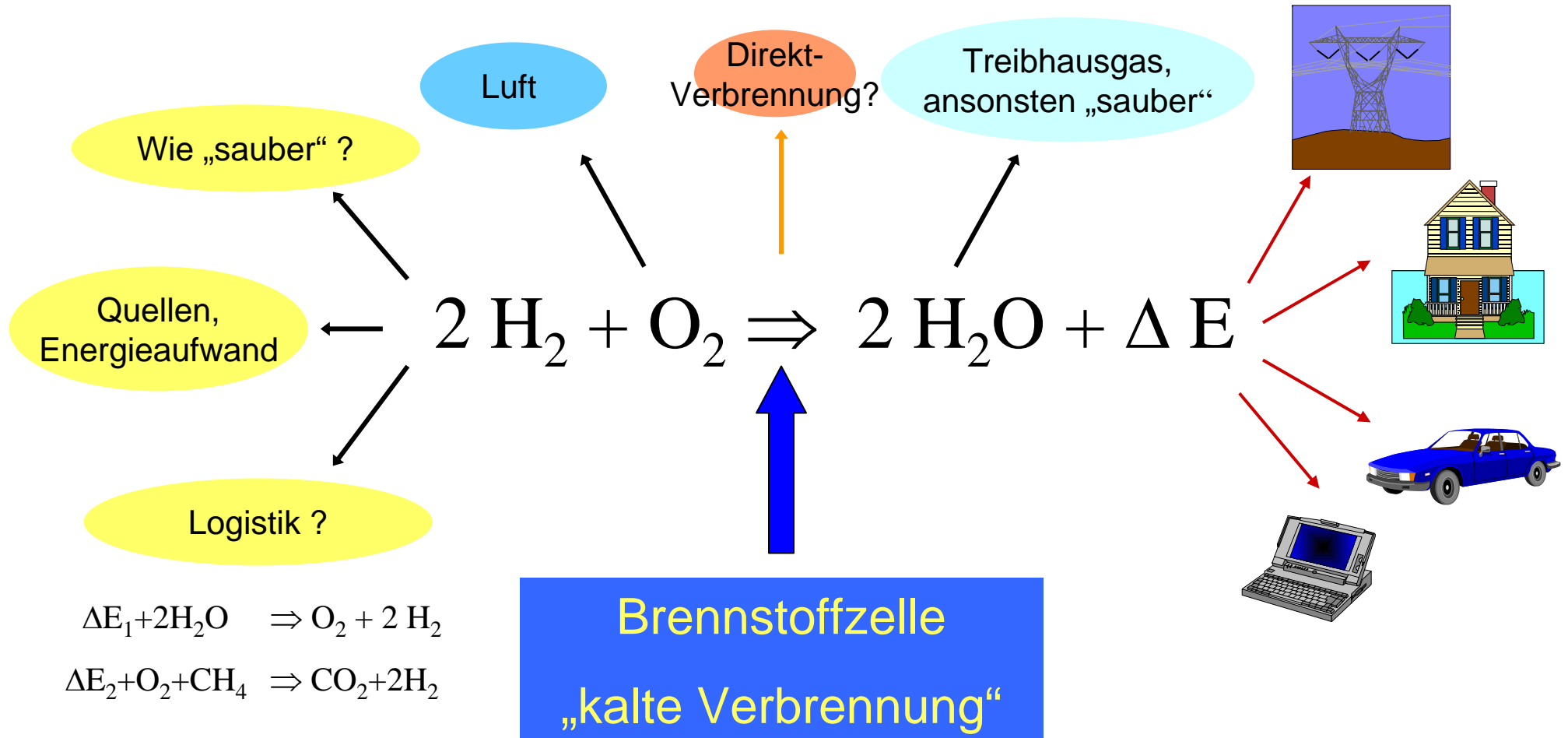
Workshop und Forum 02.07.2004

Dr. Almut Kirchner
Vincent Rits

Basel, 05.07.2004

Brennstoffzellen als Technologieoption

- Katalytisch gesteuerte und „gezähmte“ Knallgasreaktion
- Hohe Energiedichte: 3 - 4.5 kWh_{el}/Nm³H₂, 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>CH₄</i>)	Extern oder intern (<i>direkt</i> <i>CH₄</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:**

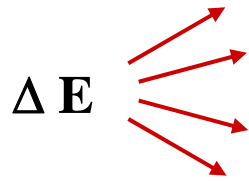
Anwendung:	Zielkosten:
Stationäre Energieversorgung – Hausenergie ($< 10\text{kW}_{\text{el}}$)	1.250 €/ kW_{el}
Stationäre Energieversorgung – Industrielle/Öffentliche WKK (bis einige MW)	< 500 €/ kW_{el}
Mobile Systeme – Antrieb (ca. 50 – 100 kW_{el})	50-150 €/ kW_{el}
Mobile Systeme – Bordenergieversorgung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

Input – Woher kommt der Wasserstoff ?

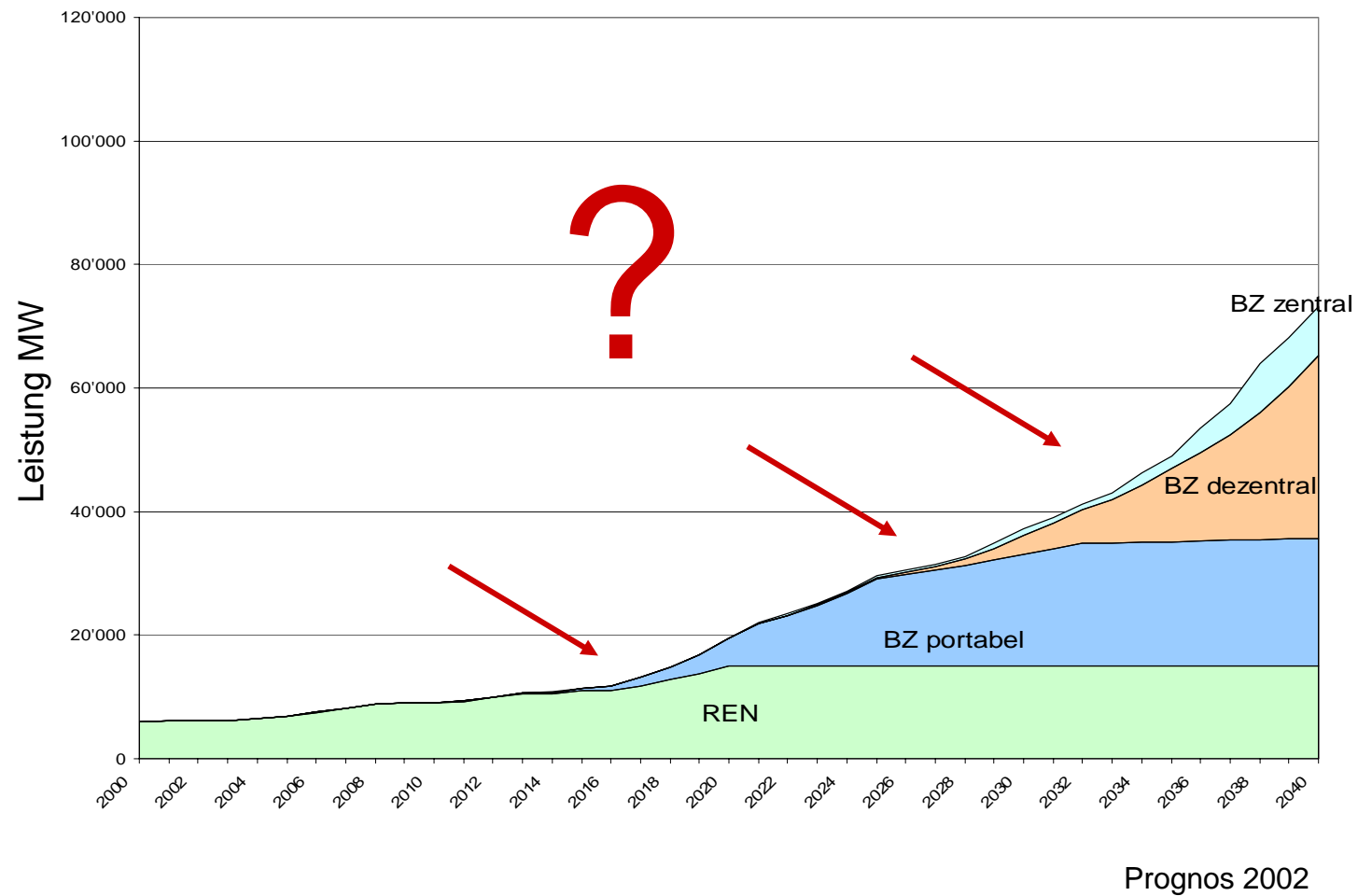
- Die Bilanzen der Zelle sind nur (höchstens) so „gut“ wie die des H₂-Inputs (**crucial**)
- klassische Elektrolyse: $\Delta H_1 + 2 \text{H}_2\text{O} \Rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$
- ökologisch vorteilhaft nur bei ΔH_1 **regenerativ** !
- **Reformerstufen** (Abspaltung aus Methan oder Methanol):
 $\Delta H_2 + \text{O}_2 + \text{CH}_4 \Rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2$
- **zentraler ökobilanzieller Punkt:**
Gesamt-Energie-Bilanz // CO₂-Bilanz ??
- vorteilhaft nur bei Kohlenstoff aus **klimateutraler** Produktion
- Interessante neue Option: Direkte katalytische Wasserzerlegung mit Licht

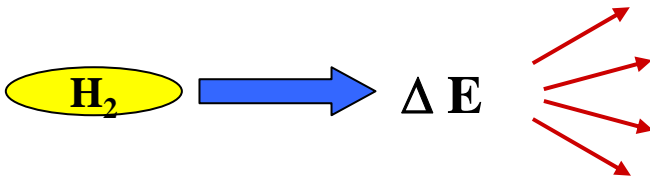
Logistik / Infrastruktur

- 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 H₂ 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)



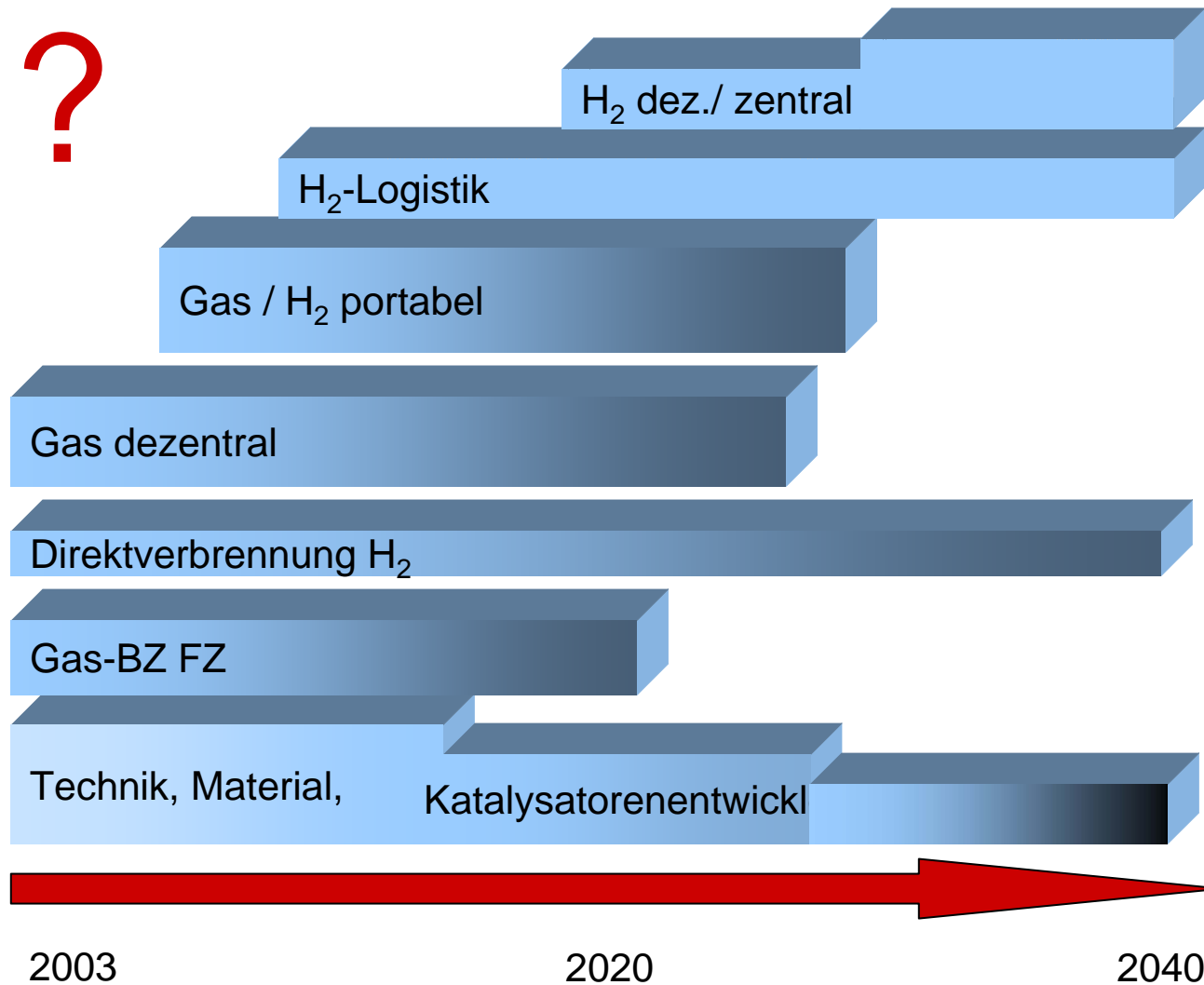
Systemeinbindung, optimistische Projektion D 2002





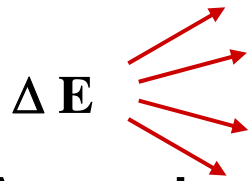
Systementwicklung

prognos



Prognos 2002

SYSTEMENTWICKLUNG

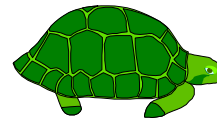


Anwendungsfelder / Systemeinbindung / Einführungshemmnisse



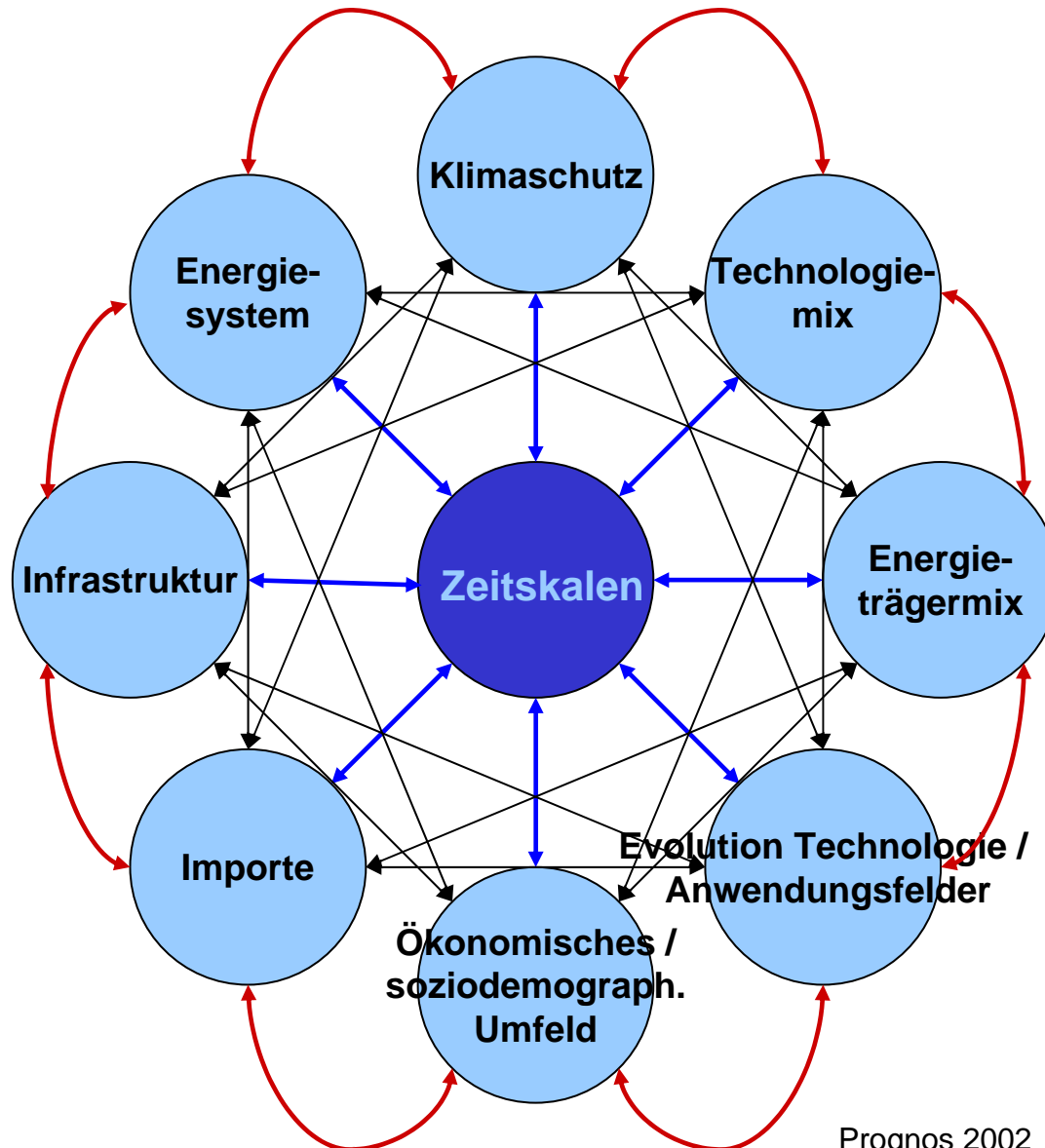
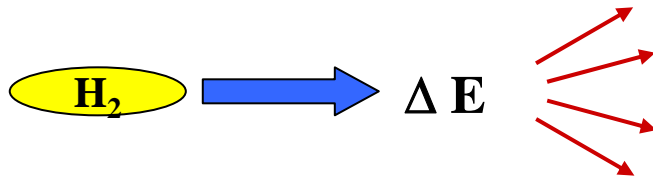
Anwendung

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



Hemmniskonstellationen

- GuD-Technologie, Wärmeabsatz, Erdgas als Brennstoff, H₂-Infrastruktur; Systemkosten
- s.o. Akteurskonstellationen; Interessen EVU;
- H₂-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. *Potenziäle der Wasserstoffwirtschaft*, 2003
- Hirschenhofer, Stauffer, Englemann, Klett, *Fuel Cell Handbook*, DOE Federal Energy Technology Center, 1999
- Basisinformationen: Informationszentrum Brennstoffzelle, www.initiative-brennstoffzelle.de
- Martin Pehnt, *Energierevolution Brennstoffzelle?* Wiley VCH Weinheim, 2002