



Die Brennstoffzelle: Energiequelle der Zukunft?

30.05.2001

A. Kabza, L. Jörissen

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Ulm

GB3: Elektrochemische Energiewandlung und -speicherung

Abteilung ECW: Elektrochemische Wasserstofftechnik

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Gliederung:

1. ZSW - was ist das?
2. Wie funktioniert eine Brennstoffzelle?
3. Was benötigt man zum Betrieb einer Brennstoffzelle?
4. Stand der Technik

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Gemeinnützige Stiftung des Bürgerlichen Rechts*
Gegründet 1988 (GB3 in Ulm seit 1990)

Stifter sind:

- Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg
- Universität Stuttgart
- Universität Ulm
- Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt DLR
- private Unternehmen der Wirtschaft:
Adolf Würth GmbH & Co KG, Robert Bosch GmbH
DaimlerChrysler AG, Fichtner-Beratende Ingenieure GmbH,
Martin Fritz Marketing Kommunikation, Messer-Griesheim
GmbH, MC Energie- und Umwelttechnik GmbH, CH Schlaich,
Bergemann und Partner, Verband der Elektrizitätswerke
Baden-Württemberg e.V.

* initiiert und institutionell gefördert vom Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie, Baden-Württemberg

Brennstoffzelle

ZSW Standorte

Stuttgart:

- Zentrale Dienste
- Systemanalyse
- GB1

Widderstall: PV-Freiversuchsgelände

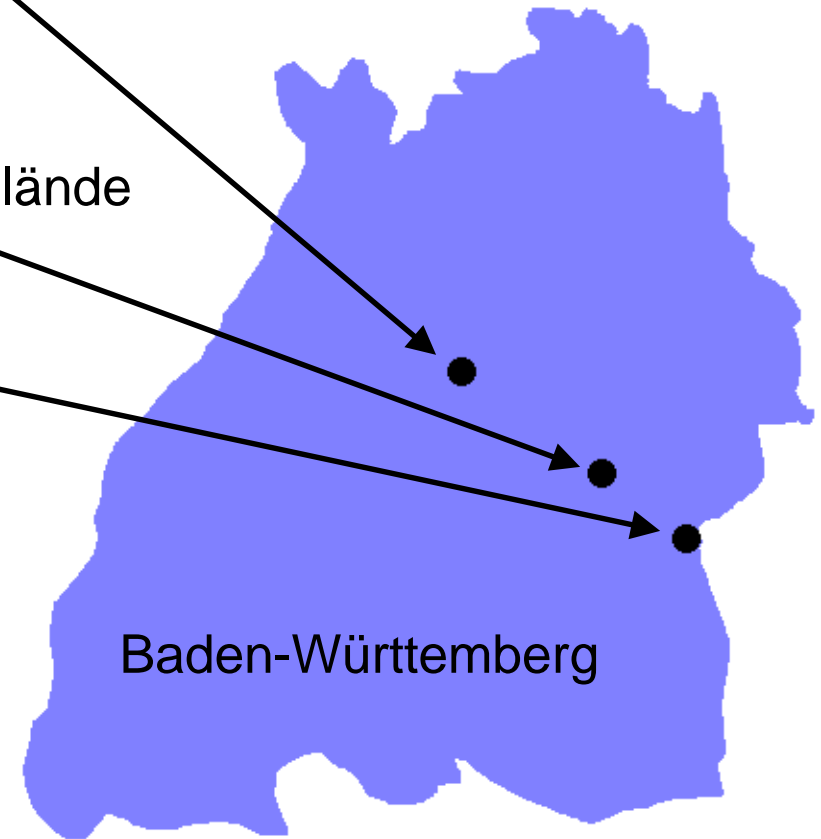
Ulm: GB3

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001



Baden-Württemberg

Brennstoffzelle

Auftrag des ZSW

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



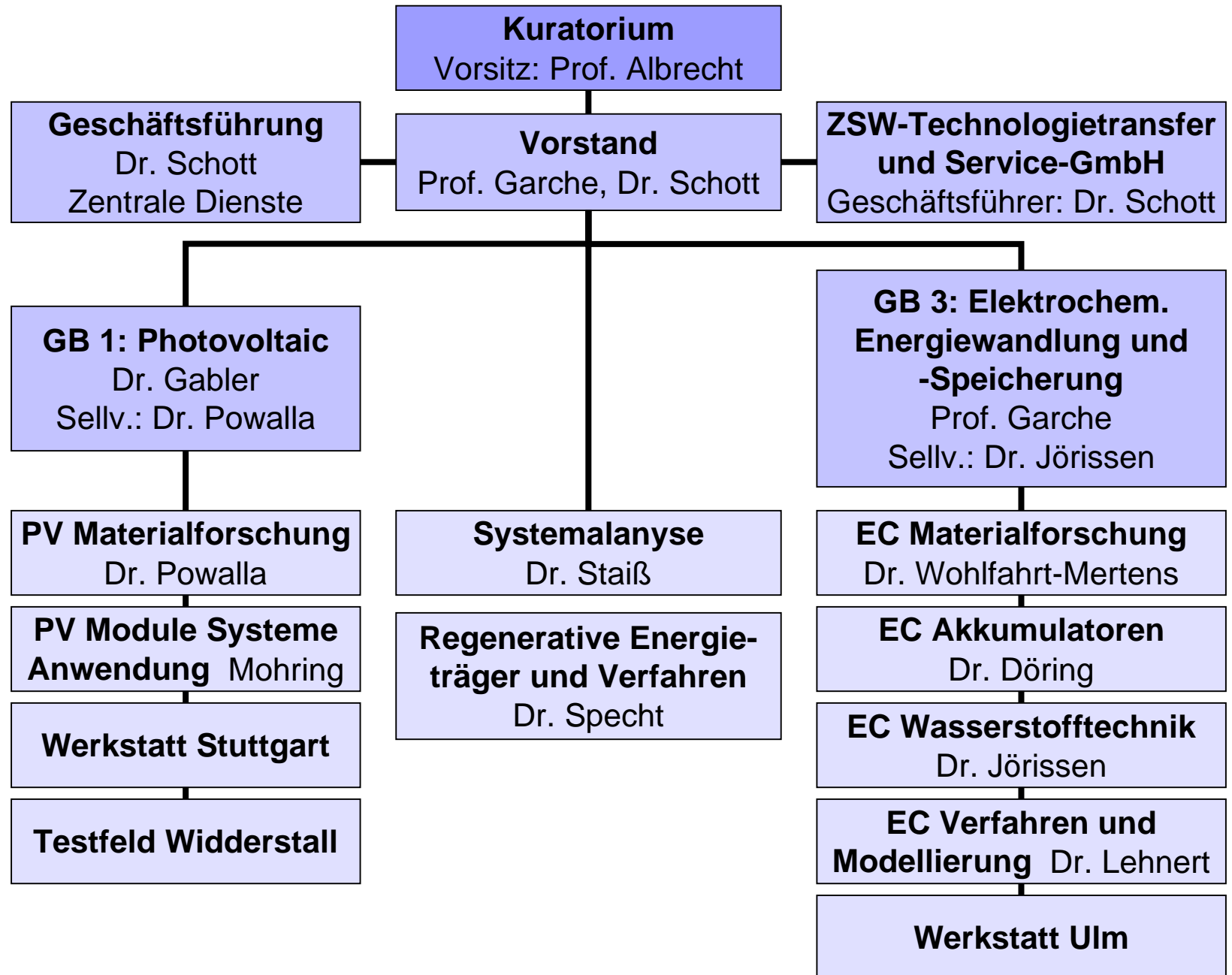
AK-05/2001

Sonnenenergie und Wasserstoff als Energieträger für die zukünftige Energieversorgung nutzbar machen

- Forschungs- und Entwicklungs-Aktivitäten
- Systemstudien
- Kooperation mit Unternehmen und öffentlichen Stellen
- Information
- Beratung

Brennstoffzelle

ZSW- Organigramm (Stand: 01/2001)



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Brennstoffzelle

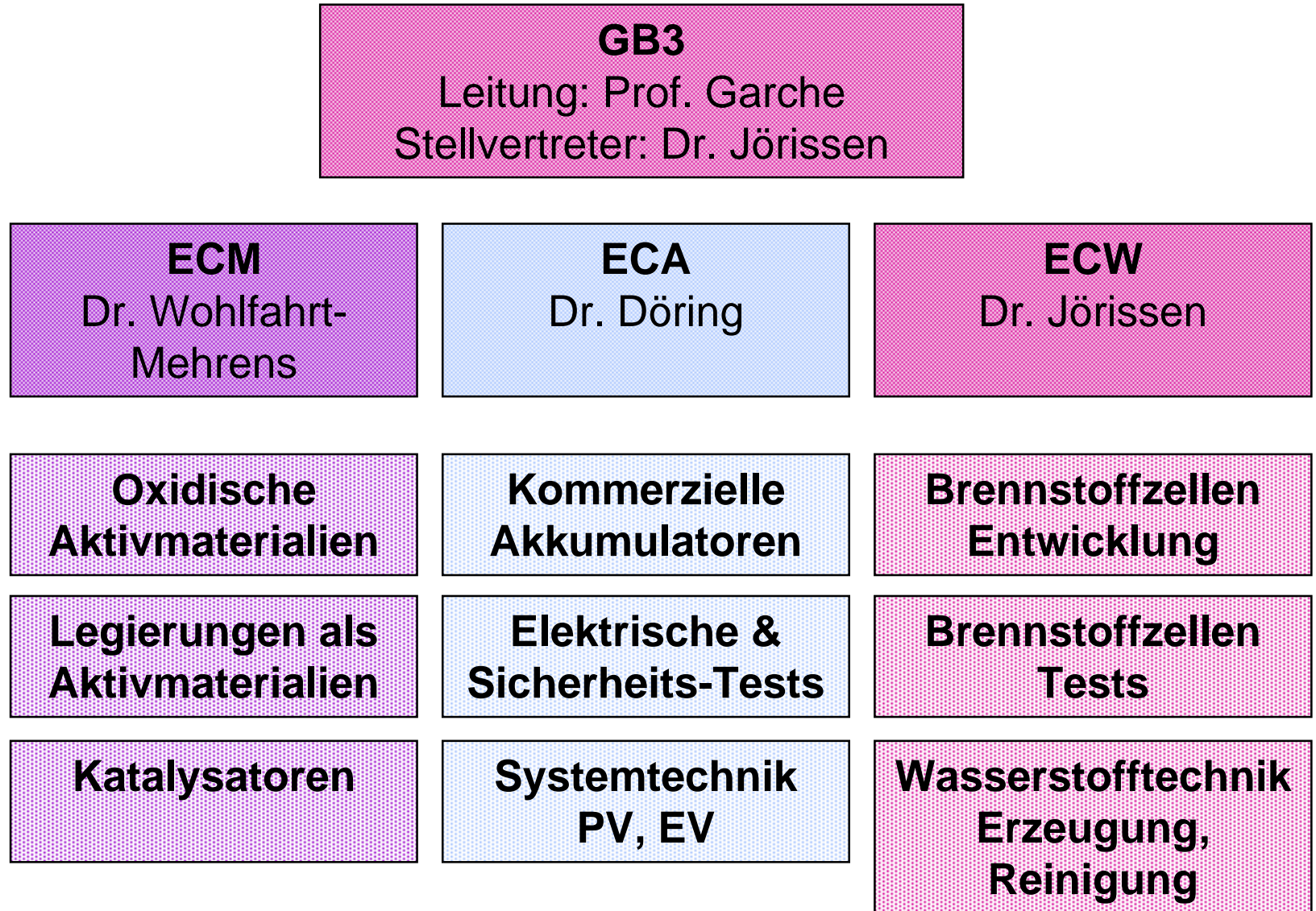
GB3:
Energie-
wandlung
und
-speicherung

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik

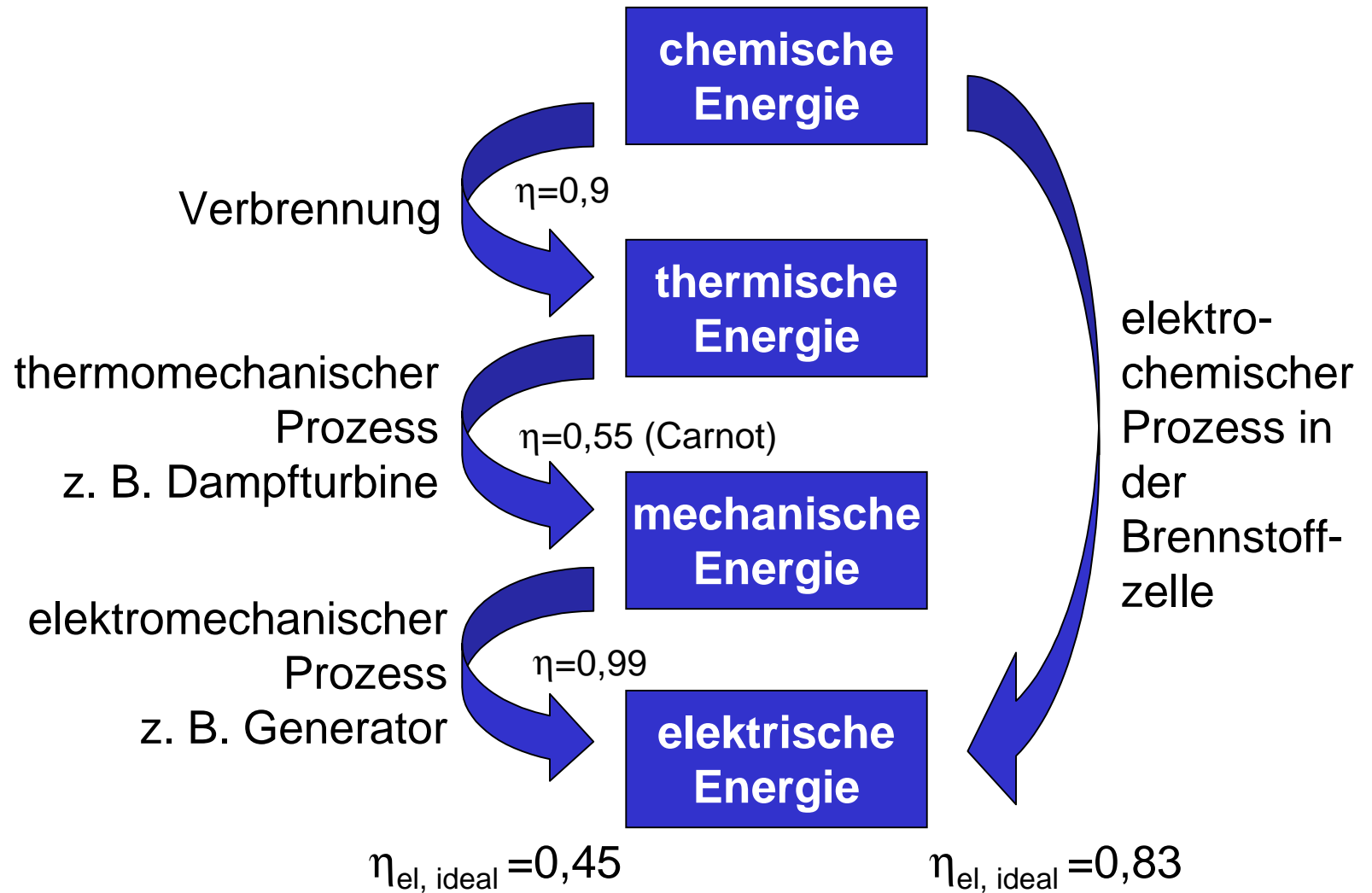


„Neben dem Computer wird vor allem die
Brennstoffzelle
das Zusammenleben der Menschen im
21. Jahrhundert verändern“

Paul Saffo (1999)
Direktor des Institute for the Future, Menlo Park, Kalifornien

Brennstoffzelle

elektrische
Energie



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Brennstoffzelle

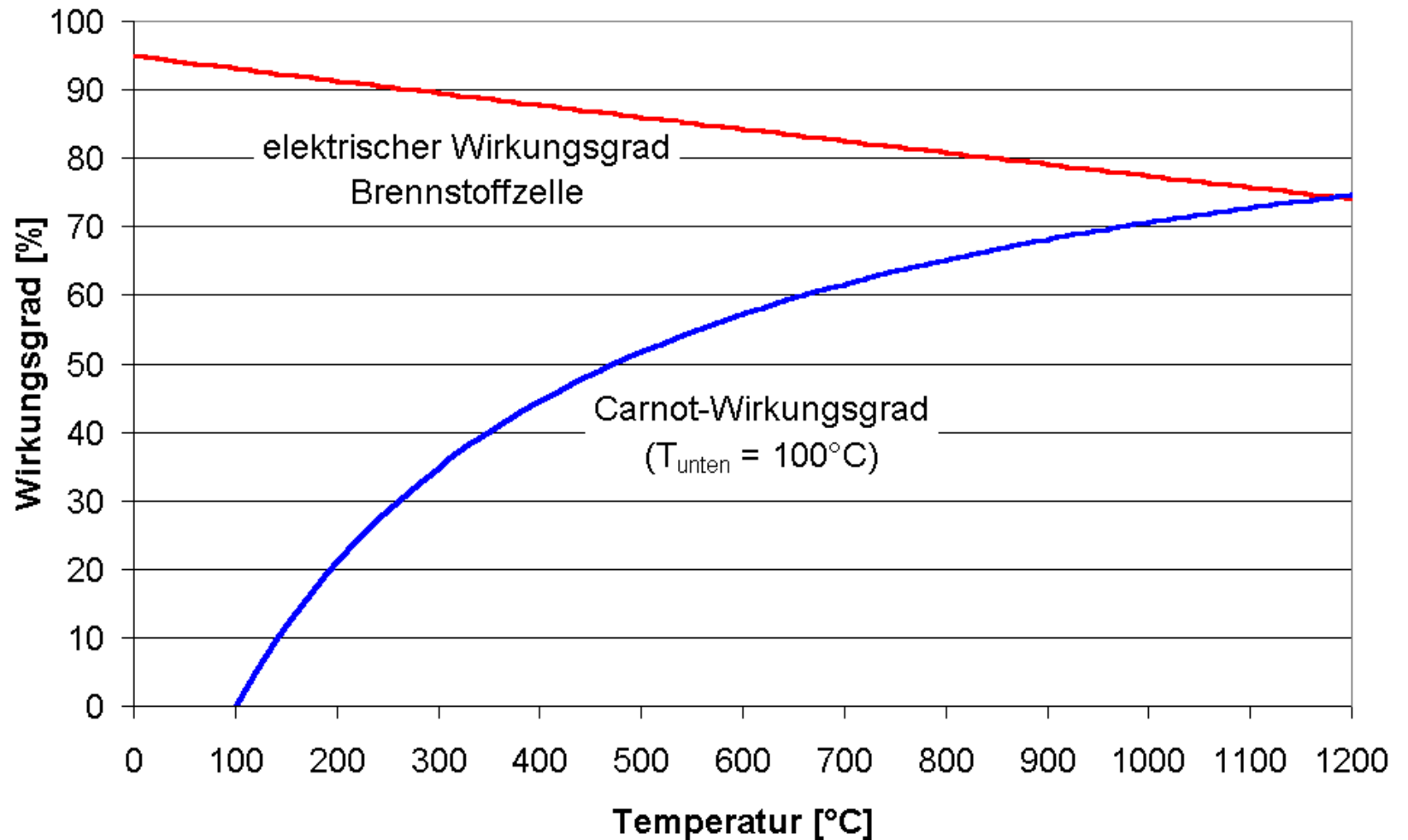
Carnot- Wirkungsgrad

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001



theoretische Wirkungsgrade

BZ: $\eta_{el} = 94,5\%$ bei 25°C

Carnot: $\eta = 55,2\%$ bei $100^{\circ}\text{C}/560^{\circ}\text{C}$

Brennstoffzelle

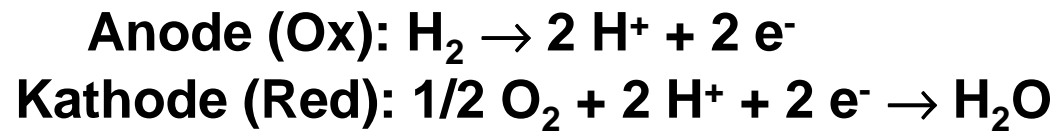
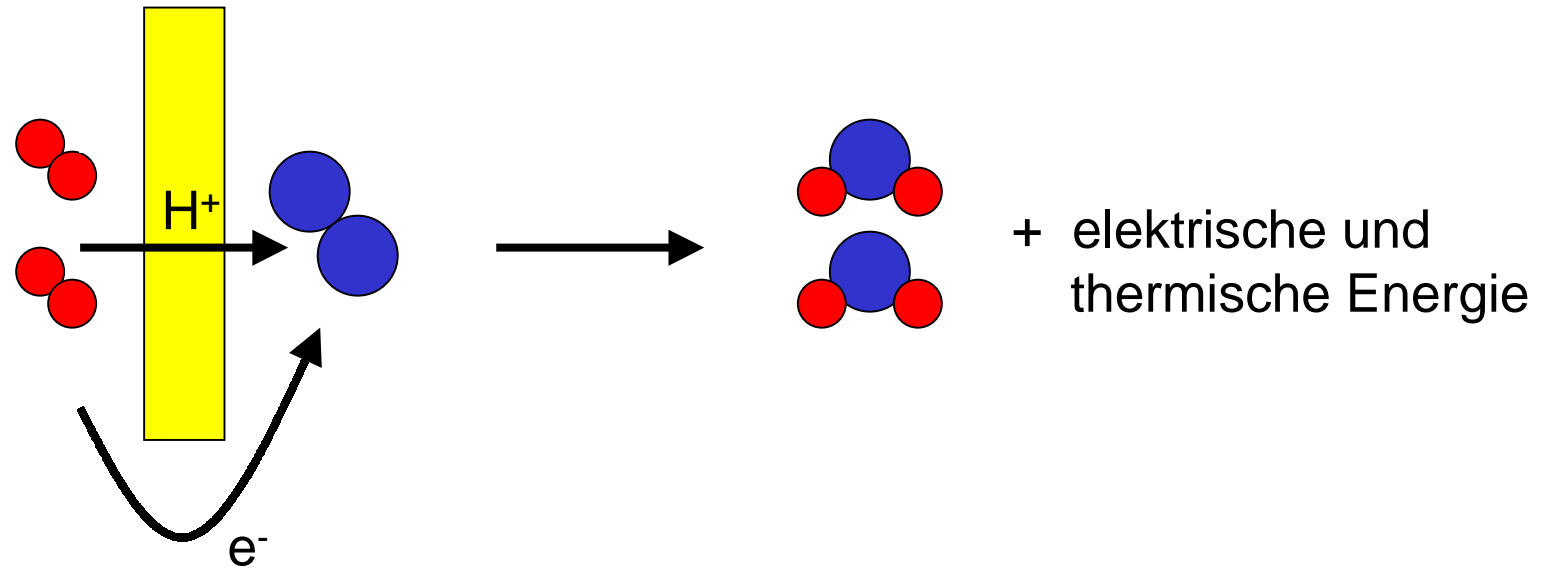
Knallgas- reaktion

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



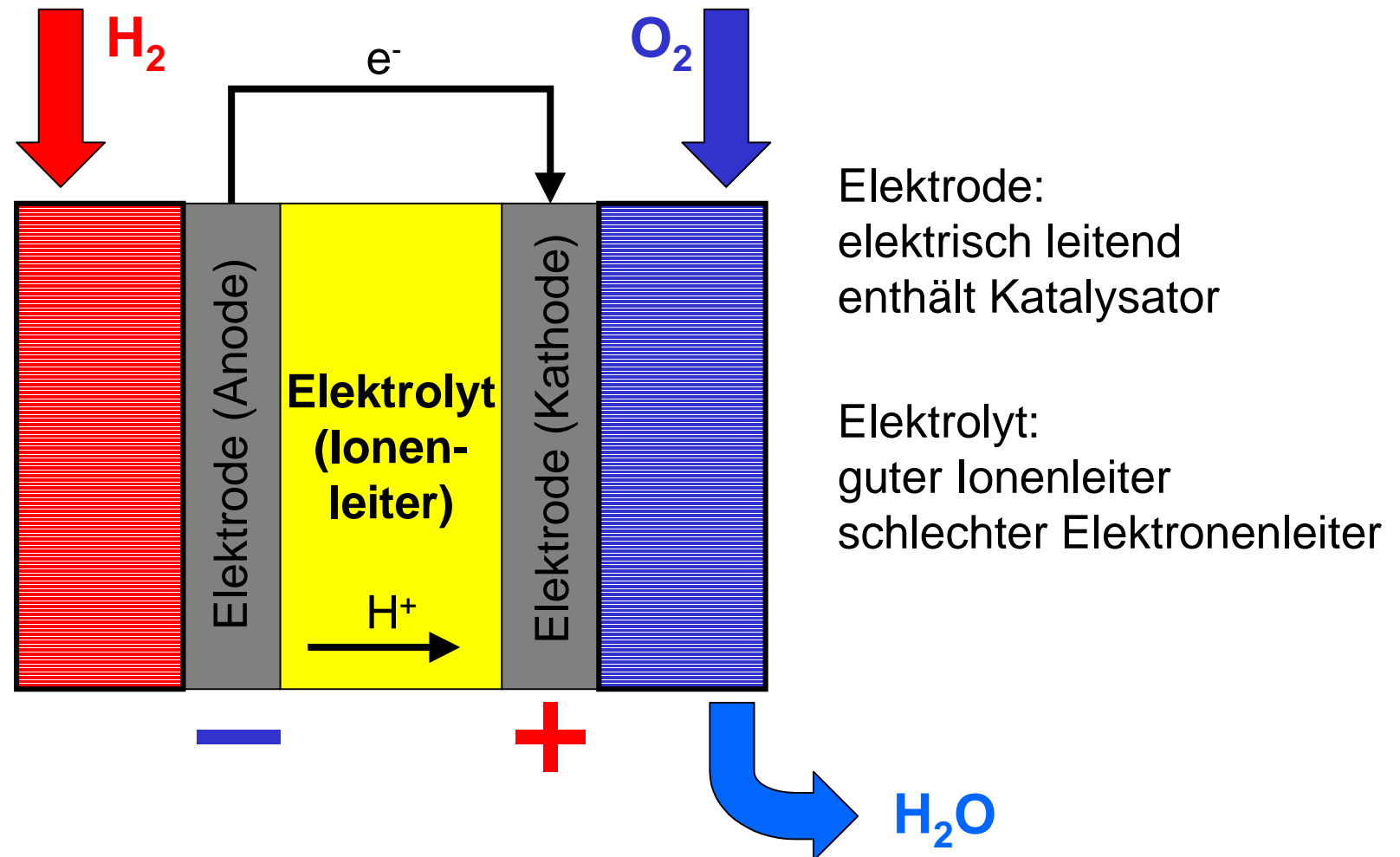
AK-05/2001



Brennstoffzelle

Funktionsweise

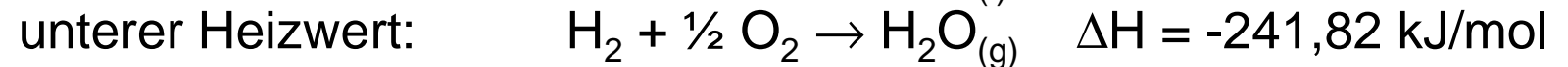
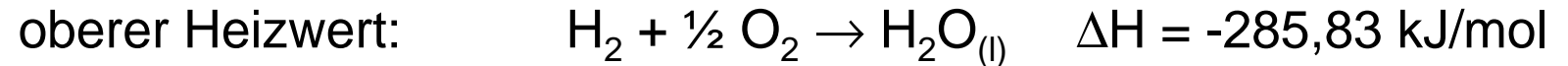
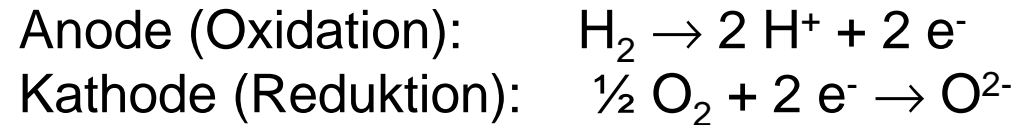
Direkte Umwandlung von chemischer in elektrische Energie durch „kalte“ Oxidation des Brennstoffs mit Sauerstoff oder Luft.



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik





Enthalpie (Reaktionswärme, chem. Energie, Heizwert):

$$\Delta H_0 = -285,83 \text{ kJ/mol}$$

Entropie (Maß für die „Ordnung“):

$$\Delta S_0 = -163,34 \text{ J/K mol}$$

negativ, weil: $3/2 \text{ Mol Gas} \rightarrow „0“ \text{ Mol Gas}$

freie Reaktionsenthalpie (Lage des Gleichgewichts):

$$\begin{aligned} \Delta G_0 &= \Delta H_0 - T\Delta S_0 \quad (\text{Gibbs-Helmholtz-Gleichung}) \\ &= -285\,830 \text{ J/mol} - 298,15 \text{ K} \cdot (-163,34 \text{ J/mol K}) \\ &= -237\,130 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Die maximale Arbeit, die von einem System geleistet werden kann, entspricht der freien Enthalpie ΔG .

Einzelzellspannung (UEZ) = elektromotorische Kraft (EMK)

$$E_0 = -\Delta G_0 / zF = 1,229 \text{ V}$$

Temperaturabhängigkeit:

$$(\partial E_0 / \partial T)_p = -\Delta S_0 / zF = 0,845 \text{ mV/K}$$

E_0 nimmt mit steigender Temperatur ab!
(z. B. bei 80°C 1,182V)

Druckabhängigkeit (Nernst-Gleichung):

$$E = E_0 - \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{H}_2} \cdot p_{\text{O}_2}^{1/2}} = 1,229 \text{ V} + \frac{0,059 \text{ V}}{2} \log(p_{\text{H}_2} \cdot p_{\text{O}_2}^{1/2})$$

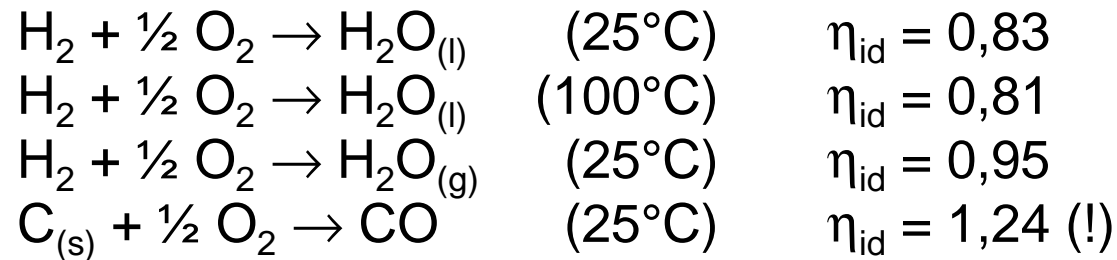
E nimmt mit steigendem H_2 - und O_2 -Druck zu!
(Druckerhöhung beider Gase von 1 auf 10 bar: $E = 1,27 \text{ V}$)

Idealer, reversibler, thermodynamischer Wirkungsgrad

$$\eta_{id} = \Delta G / \Delta H = 1 - T \Delta S / \Delta H$$

Verhältnis zwischen ΔG (maximaler Arbeit) und ΔH (Reaktionswärme)

Beispiele:



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

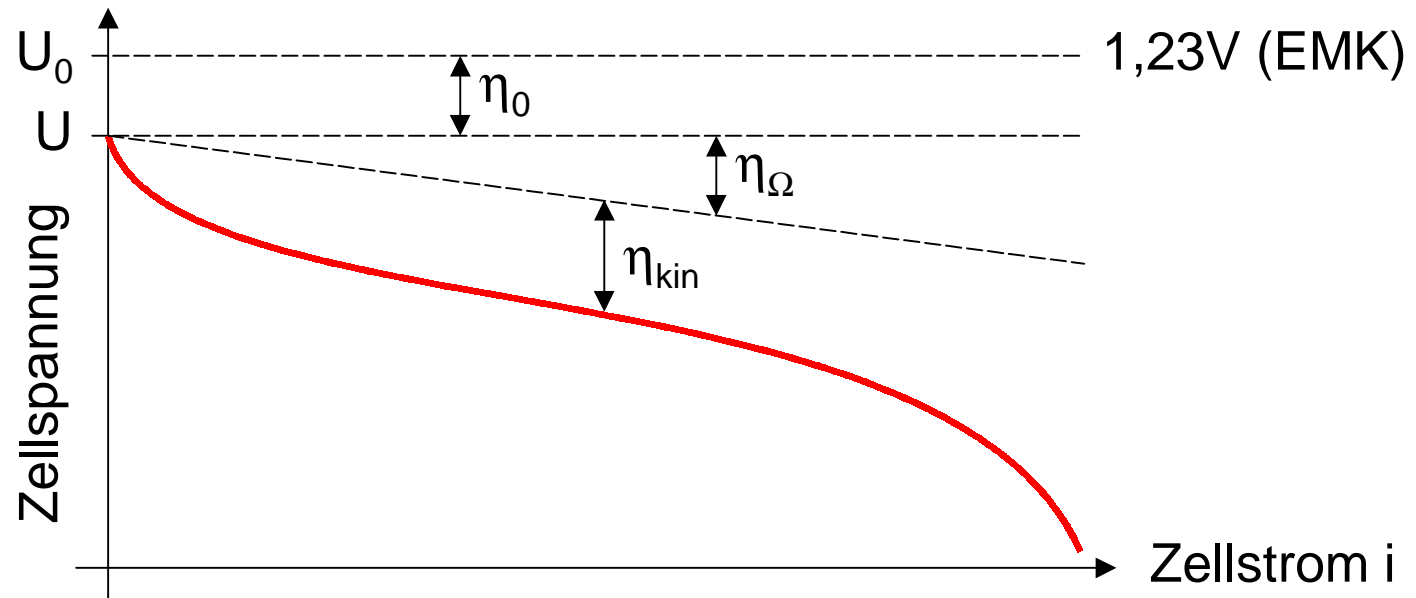
Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



idealer Wirkungsgrad = Thermodynamik, reversibel
realer Wirkungsgrad = elektrochemische Kinetik, irreversibel

Brennstoffzelle

Kinetik



GB3:

Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

Überspannung durch kinetisch gehinderte Elektrodenreaktionen

η_0 : Ruhepolarisation (Restüberspannung)

η_Ω : Spannungsabfall im Elektrolyten, $\eta_\Omega = i \cdot IR$

η_{kin} : kinetische Hinderung, $\eta_{kin} = \eta_D + \eta_d + \eta_r$ (nicht linear!)

η_D : Durchtrittspolarisation (charge-transfer)

η_d : Diffusionspolarisation

η_r : Reaktionspolarisation

$\eta_d + \eta_r =$ Konzentrationspolarisation

Brennstoffzelle

reale Wirkungs- grade

idealer Wirkungsgrad

$$\eta_{id} = \Delta G / \Delta H = 1 - T (\Delta S / \Delta H)$$

Spannungswirkungsgrad
(bezogen auf ΔG)

$$\eta_U = U \cdot 2F / \Delta G = U / U_0$$

elektrischer Wirkungsgrad
(bezogen auf ΔH)

$$\eta_{el} = U \cdot 2F / \Delta H = \eta_{id} \cdot \eta_U$$

Umsatzwirkungsgrad
(Faraday-Wirkungsgrad, Stromausbeute)

$$\eta_F$$

Betriebswirkungsgrad
(Verlust von elektrischer Leistung für Peripherie)

$$\eta_B$$

Gesamtwirkungsgrad

$$\eta = \eta_{id} \cdot \eta_U \cdot \eta_F \cdot \eta_B$$

Beispiel: Klemmspannung $U = 0,6V$, 80%iger Gasumsatz,
5% für Peripherie

$$\eta = 0,83 \cdot 0,6/1,23 \cdot 0,80 \cdot 0,95 = 0,31$$

GB3:

Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Brennstoffzelle

reale Wirkungsgrade im Vergleich

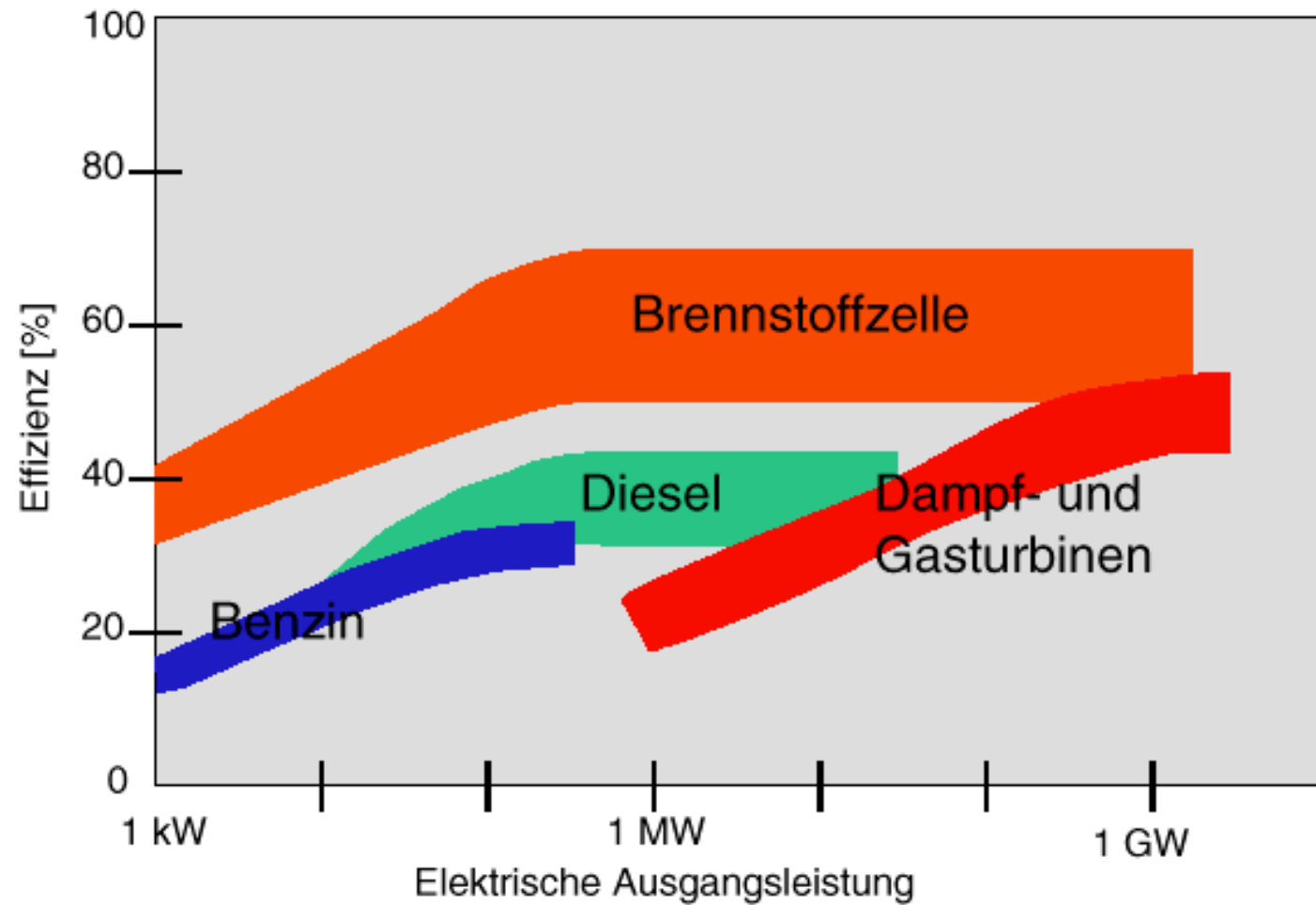
GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



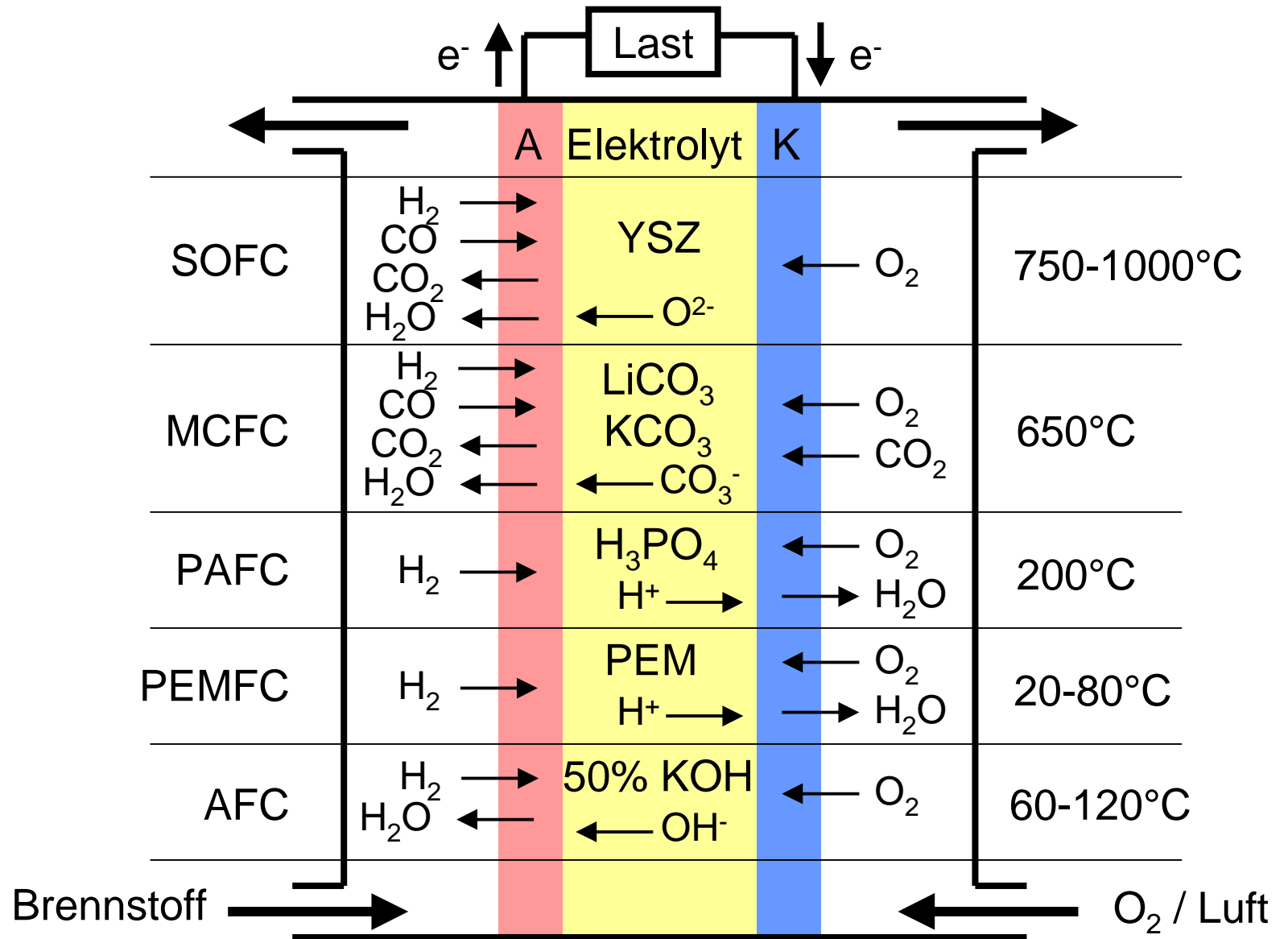
AK-05/2001

reale Systemwirkungsgrade



Brennstoffzelle

Technologien



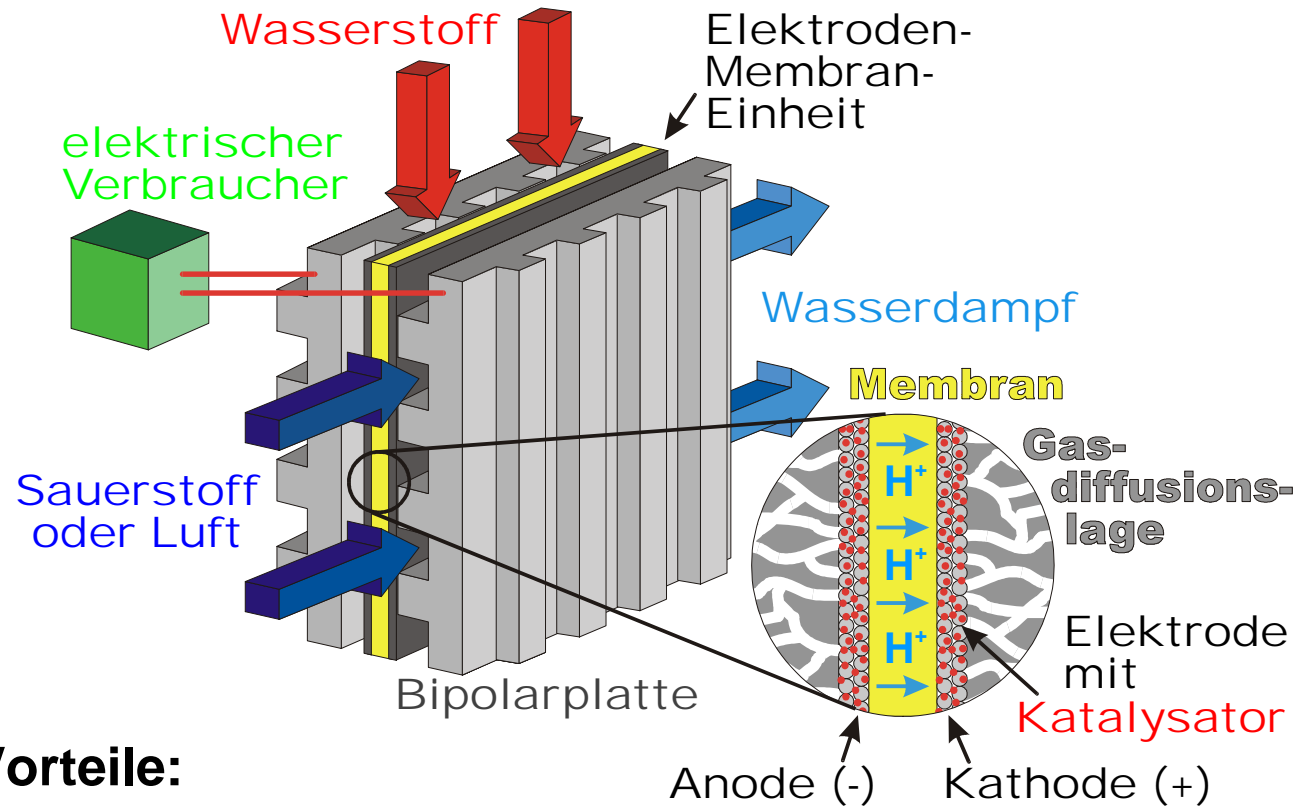
GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Brennstoffzelle

Aufbau PEMFC



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

Vorteile:

- einfacher Aufbau
- niedrige Temperatur (20-80°C)
- schnelle Lastwechsel möglich
- sofort betriebsbereit

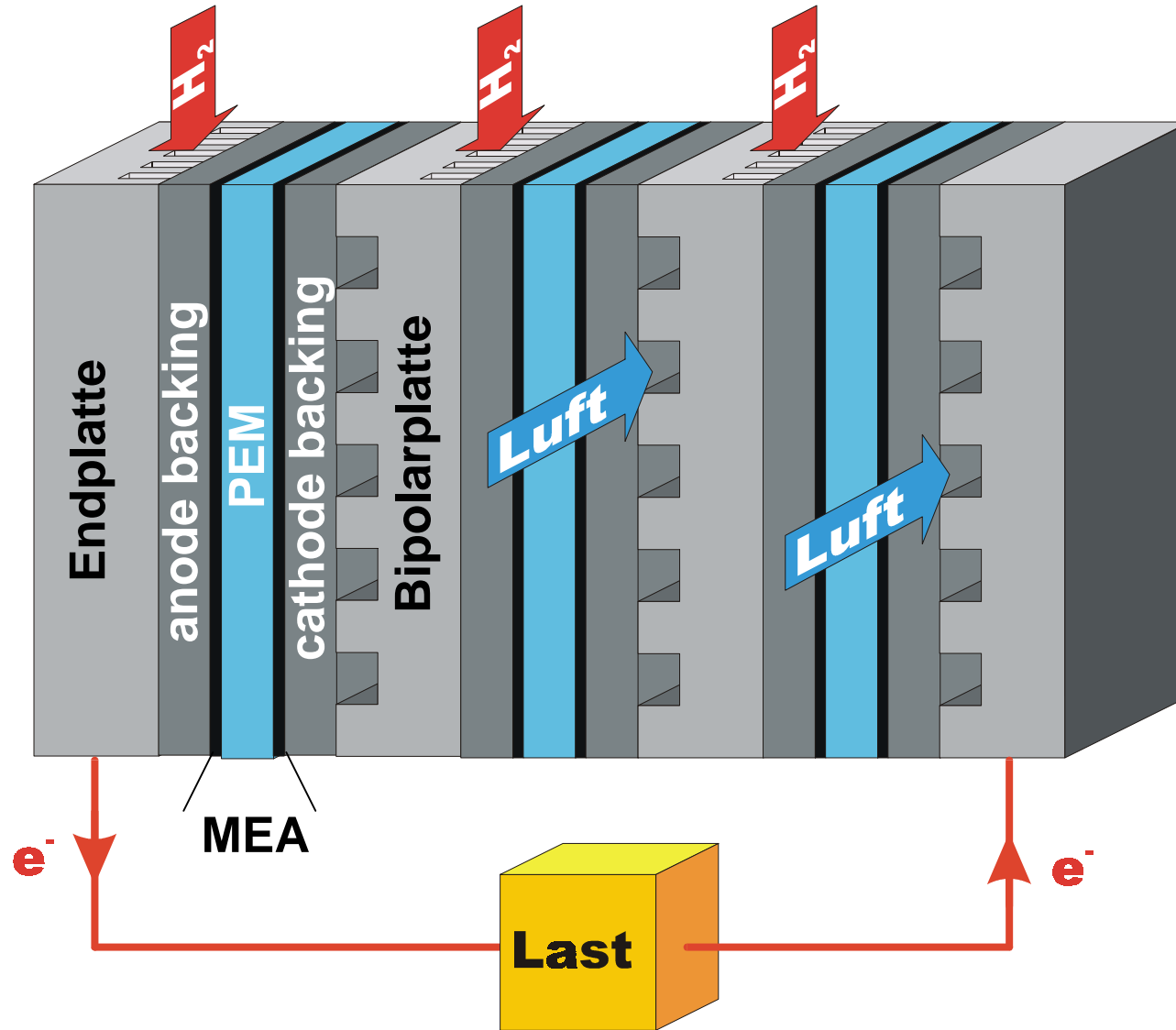
Nachteile:

- teure Katalysatoren notwendig
- empfindlich gegenüber CO
- aufwändiges Wassermanagement
- Langzeitstabilität der EME

Brennstoffzelle

Stack

mehrere Zellen in Serie = höhere Spannung im BZ-Stack



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Brennstoffzelle

Membran

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

Anforderungen an den Elektrolyten (hier: Membran):

- gasdicht
- gute Protonenleitfähigkeit
- geringe elektrische Leitfähigkeit
- stabil gegen Sauerstoff und Brennstoff (z. B. H₂)
- hohe mechanische Stabilität

Material/Eigenschaften:

- Membran aus Poly-perfluorsulfonsäure
- 30 bis 175 µm dick
- Protonenleitfähigkeit $\sigma \approx 0,2 \text{ S/cm}$ (Nafion[®] 117, 100%RH, 50°C)*
- kleiner Innenwiderstand $IR \approx 0,1 \text{ } \Omega\text{cm}^2$



vgl. Teflon[®]



Nafion[®]

Typisch: $n \sim 6$

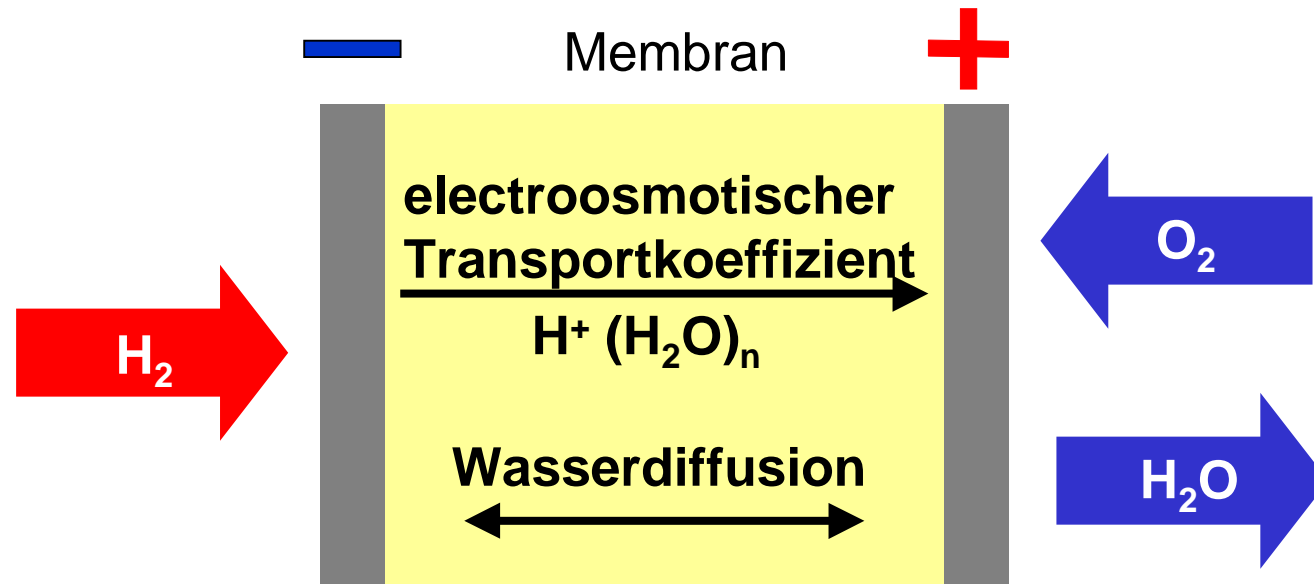
$100 < m < 1000$

$n' < 6$

* T. A. Zawodzinski et al; J. Electrochem. Soc. **140** (4) 1041 (1993)

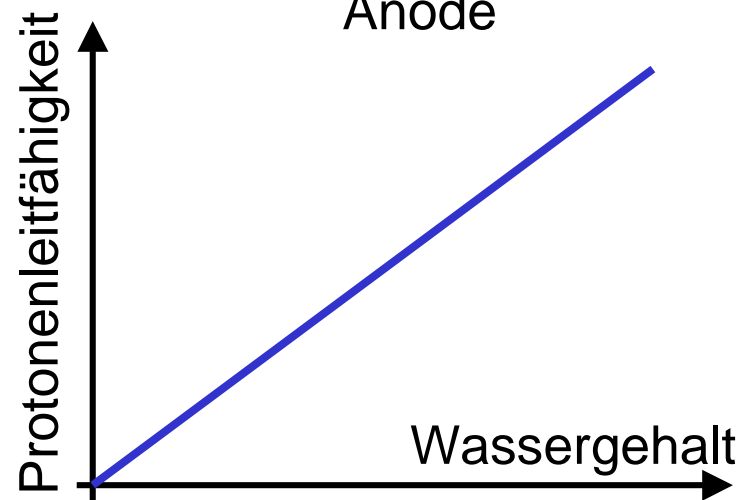
Brennstoffzelle

Membran:
Wasser-
haushalt



Anode

Kathode
(Produktwasserbildung)



Membran muss feucht gehalten werden!!!

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

Anforderungen an die Elektroden:

- gute elektrische Leitfähigkeit
- große Kontaktfläche mit dem Elektrolyten (hohe Oberfläche)
- gute Transporteigenschaften für Gase
- gute Transporteigenschaften für Ionen (H⁺)
- gute katalytische Eigenschaften
- stabil gegen H₂ und O₂

Material:

- Anode: Pt/Ru (0,4 mg/cm²) auf Kohlenstoff
- Kathode: Pt (0,4 mg/cm²) auf Kohlenstoff

Elektrode-Membran-Einheit:

Verbindung der Membran mit den beiden Elektroden

Brennstoffzelle

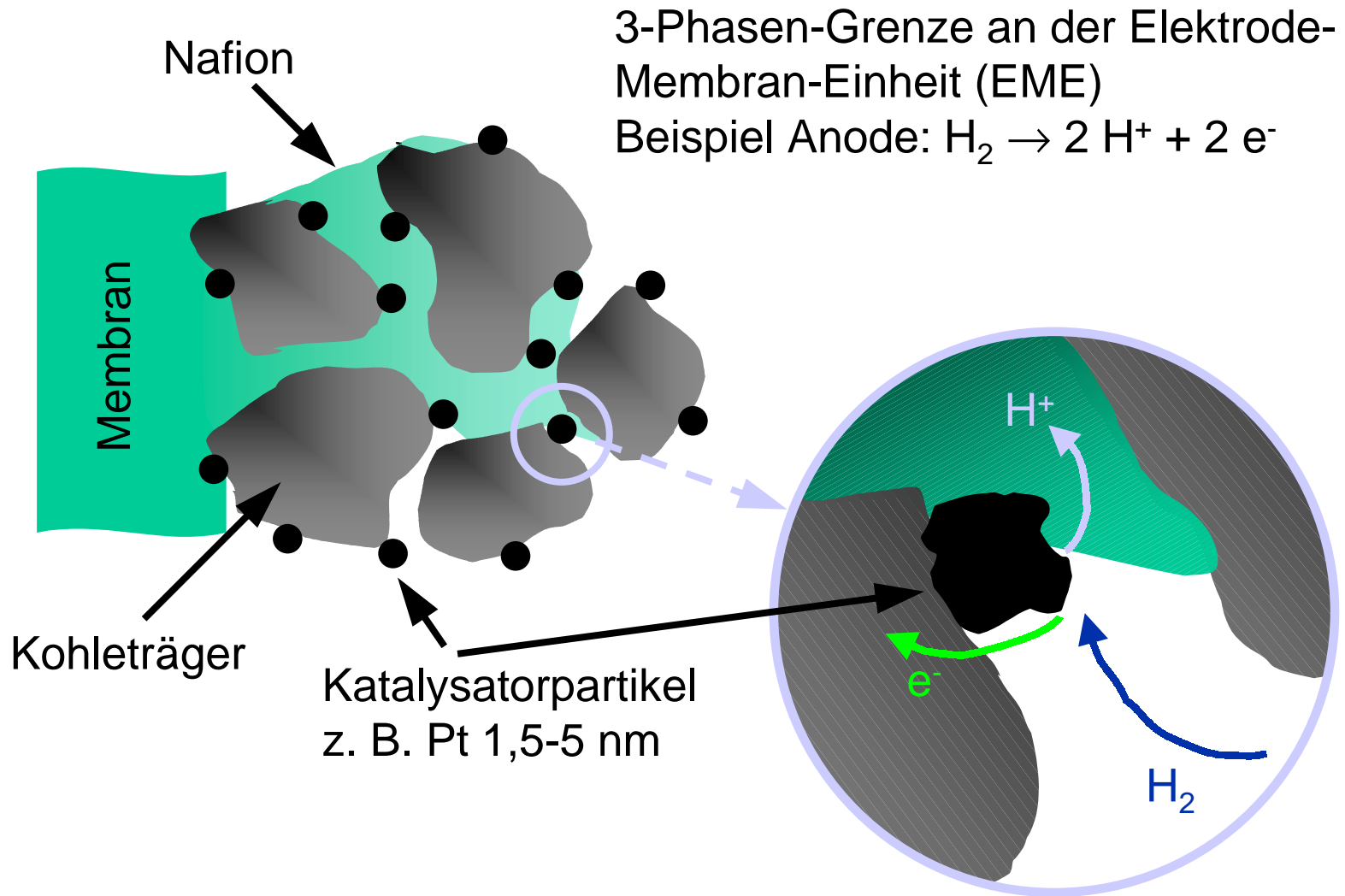
Elektrode-Membran-Einheit

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001



Gas- diffusions- lage

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Anforderungen an die Gasdiffusionslage (GDL):

- gute Transporteigenschaften für Gase
- „Bereitstellung“ von Wasser an der Anode
- Abtransport von Reaktionswasser an der Kathode
- gute elektrische Leitfähigkeit

Material:

- graphitisiertes Papier
- hydrophobisiert (tefloniert, Belegung ca. 25%)

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Anforderungen an die Bipolarplatten:

- gasdicht
- gute elektrische Leitfähigkeit
- stabil gegen Sauerstoff und Brennstoff
- mechanische Stabilität
- flächige Zuführung der Reaktionsgase an GDL

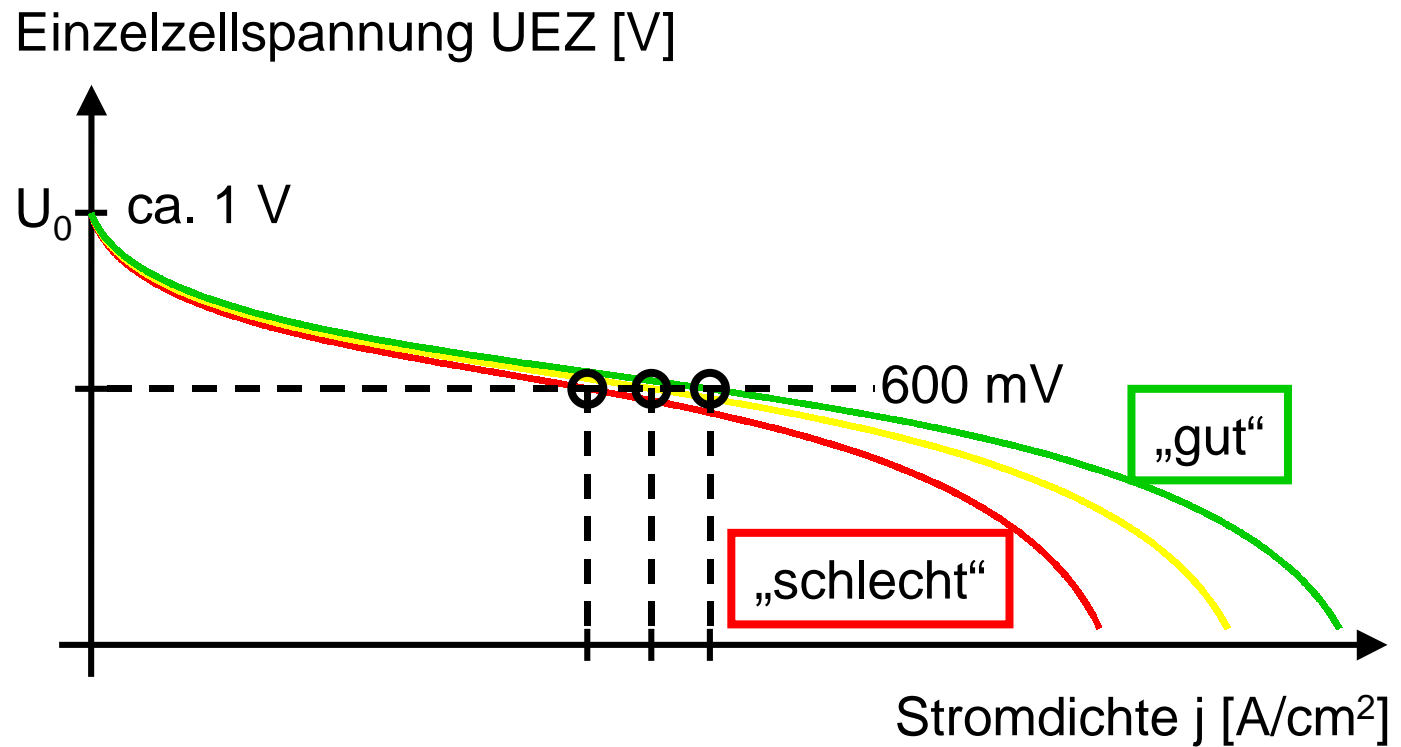
Material/Eigenschaften:

- Graphit-Composit-Thermoplast
- gute chemische Stabilität
- geringe Material- und Fertigungskosten
- Mäander- oder Netz-Flowfield

Alternativen: Graphit, Edelstahl, Aluminium, Titan

Brennstoffzelle

U/I-Kennlinie



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

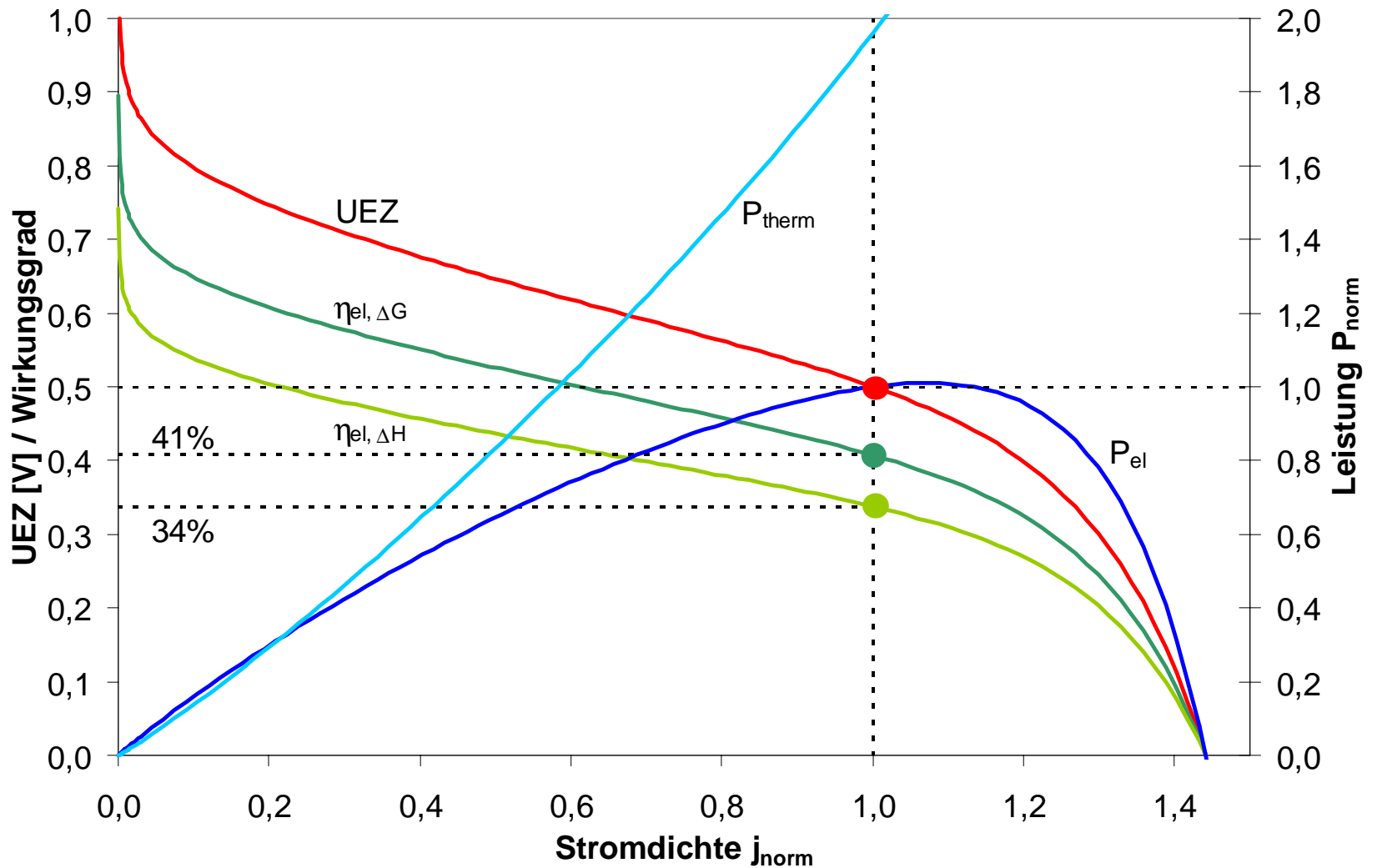
gute Performance einer BZ bedeutet:

1. hohe Stromdichte bei einer bestimmten Einzelzellspannung
2. hohes Spannungsniveau bei einer bestimmten Stromdichte

Brennstoffzelle

Leistung

el. Leistung: $P_{el} = U \cdot I$
 therm. Leistung: $P_{therm} = (1,481V - U) \cdot I$



GB3:
 Elektrochemische
 Energiewandlung
 und -speicherung

Abteilung ECW:
 Elektrochemische
 Wasserstofftechnik



Folgende Parameter beeinflussen Performance, Wirkungsgrad usw. eines BZ-Systems:

1. Der Stack selbst

- Elektrode-Membran-Einheit
- Gasdiffusionslage (GDL)
- Bipolarplatten (Material, Flowfield-Design, ...)
- etc.

2. Die Peripherie

- Stacktemperatur
- Reaktionsgase (Reinheit, Druck, Befeuchtung, Temperatur, ...)
- Wasserhaushalt der Membran
- Wirkungsgrade der peripheren Komponenten
- etc.

GB3:

Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Brennstoffzelle

Peripherie

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

Für den Betrieb eines Stacks ist eine mehr oder weniger aufwändige Peripherie notwendig. Unter anderem wird benötigt:

- Brennstoffspeicher
- Gasaufbereitung Anodengas (Reformer, Gasreinigung)
- Sauerstoff- bzw. Luftversorgung Kathode
- Befeuchtung der Reaktionsgase
- Steuerung, Regelung, Überwachung
- Sensorik:
 - Einzelspannungsüberwachung
 - Strom
 - Stacktemperatur
 - Reaktionsgase (Druck, Feuchte, Temperatur, Durchfluss)
 - Kühlwasser (Druck, Temperatur, Durchfluss)
- Leistungselektronik, Wechselrichter
- Brauchwasserspeicher bzw. Wärmetauscher
- etc.

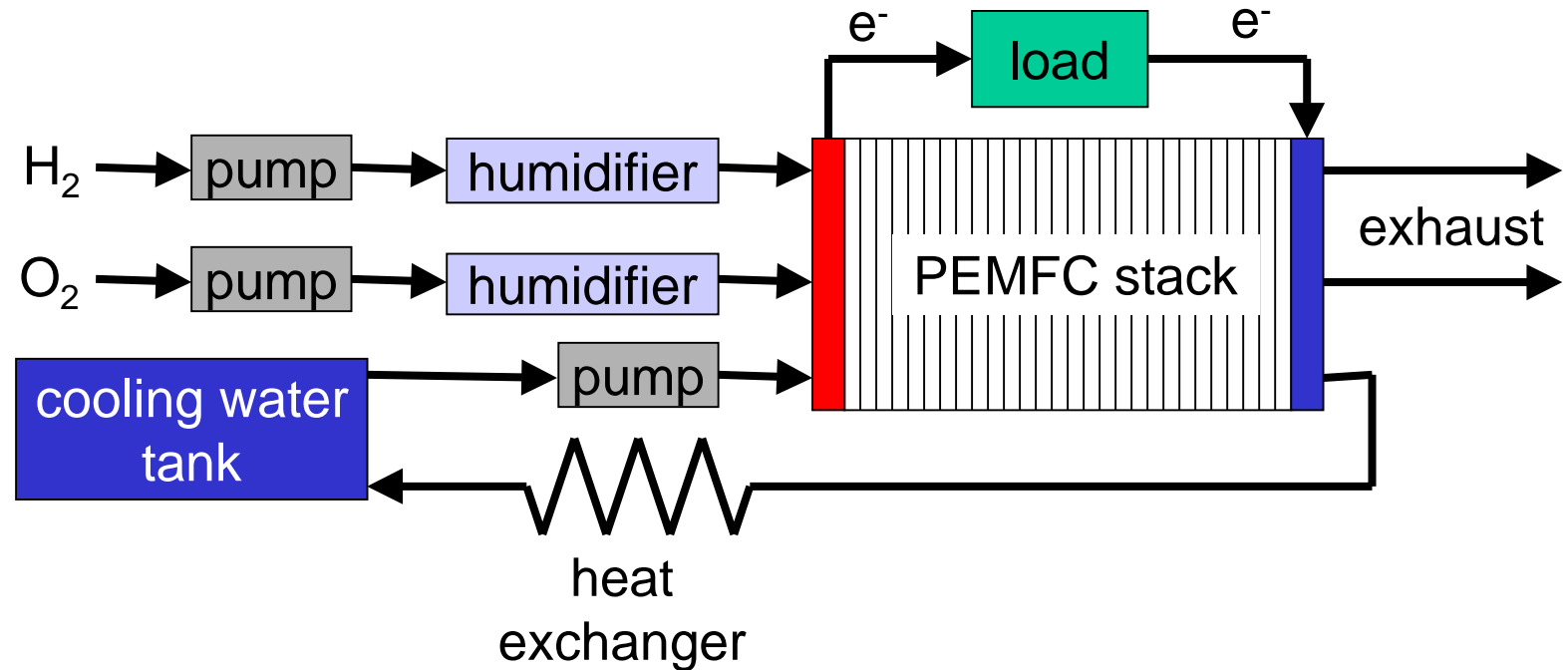
Parasitäre Komponenten sollten max. 2 bis 5% der elektrischen Leistung des Stacks verbrauchen dürfen!

Brennstoffzelle

Peripherie

Komponenten

Minimale Peripherie für den optimierten Betrieb einer wassergekühlten PEM-Brennstoffzelle



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Brennstoffzelle

Peripherie

min. / max.



minimal: 5-Zeller

- zwei Lüfter
- Wasserstoff über FlowController

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

maximal:
FHU-Anlage
5 kW_{el} mit
Reformer



Brennstoffzelle

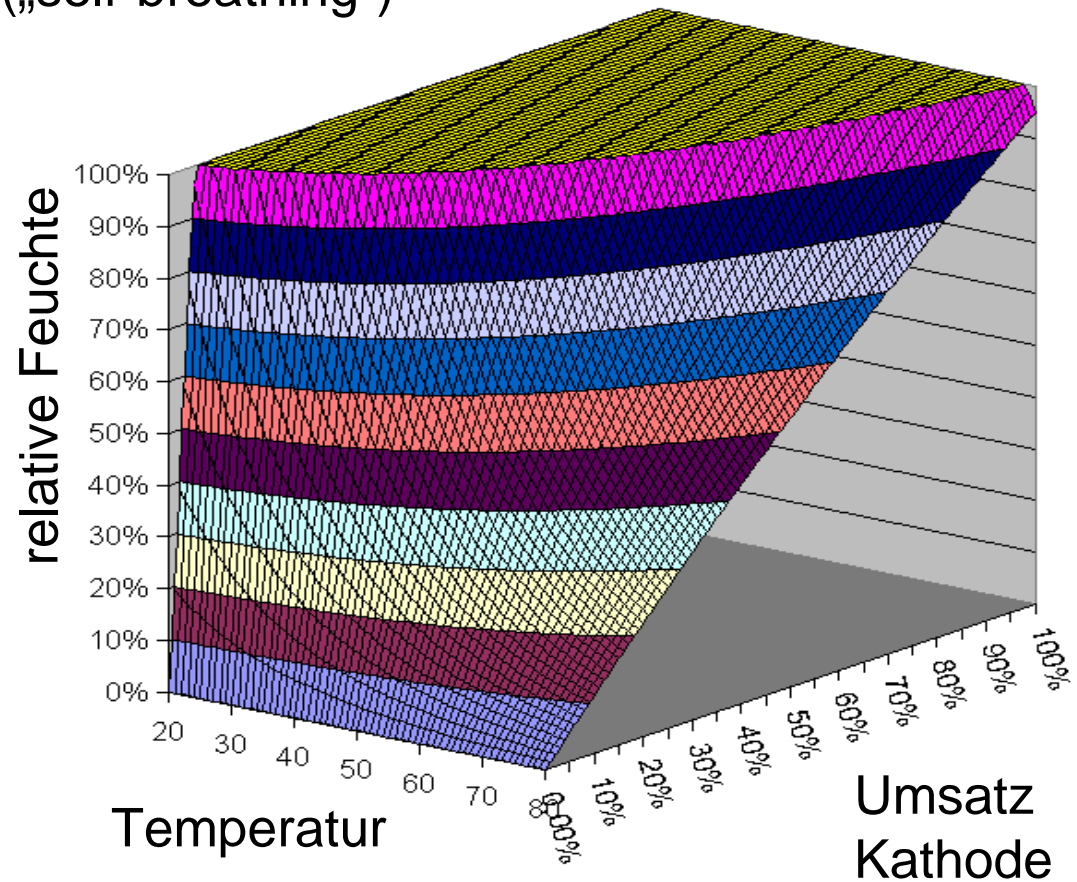
Peripherie

Minimierung

Minimierung der peripheren Verbraucher für den Bereich portabler und stationärer (!) BZ-Systeme!

Ansatz:

- Produktwasser im System halten („self-humidification“)
- Luft aus Umgebung („self-breathing“)



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Brennstoffzelle

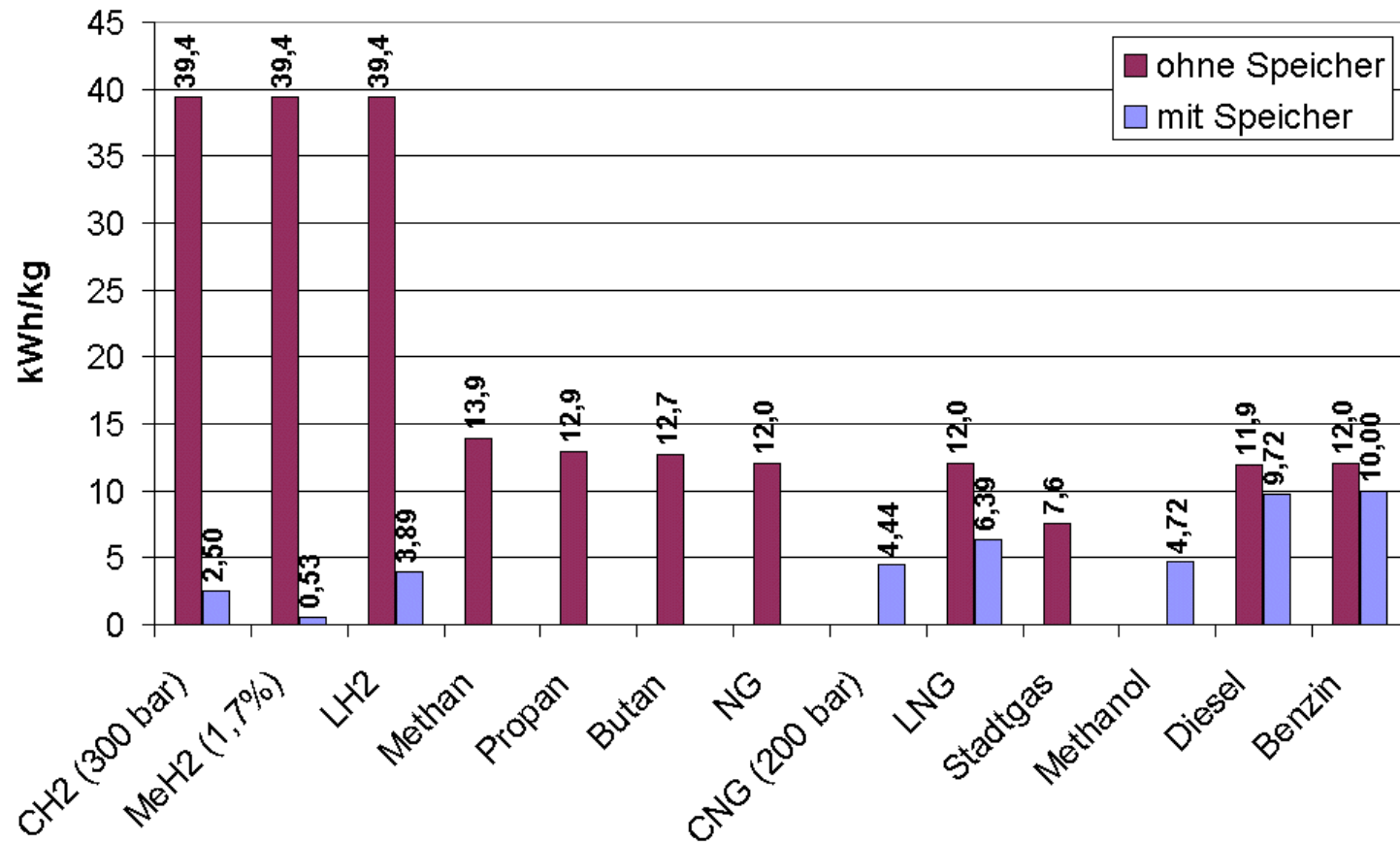
Brennstoff-Speicher gravimetrisch

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001



Wasserstoff besitzt durch sein geringes Gewicht die beste gravimetrische Speicherdichte aller Brennstoffe!

zum Vergleich: NiCd 0,1 Wh/l; Li-Ion 0,2-0,25 Wh/l

Brennstoffzelle

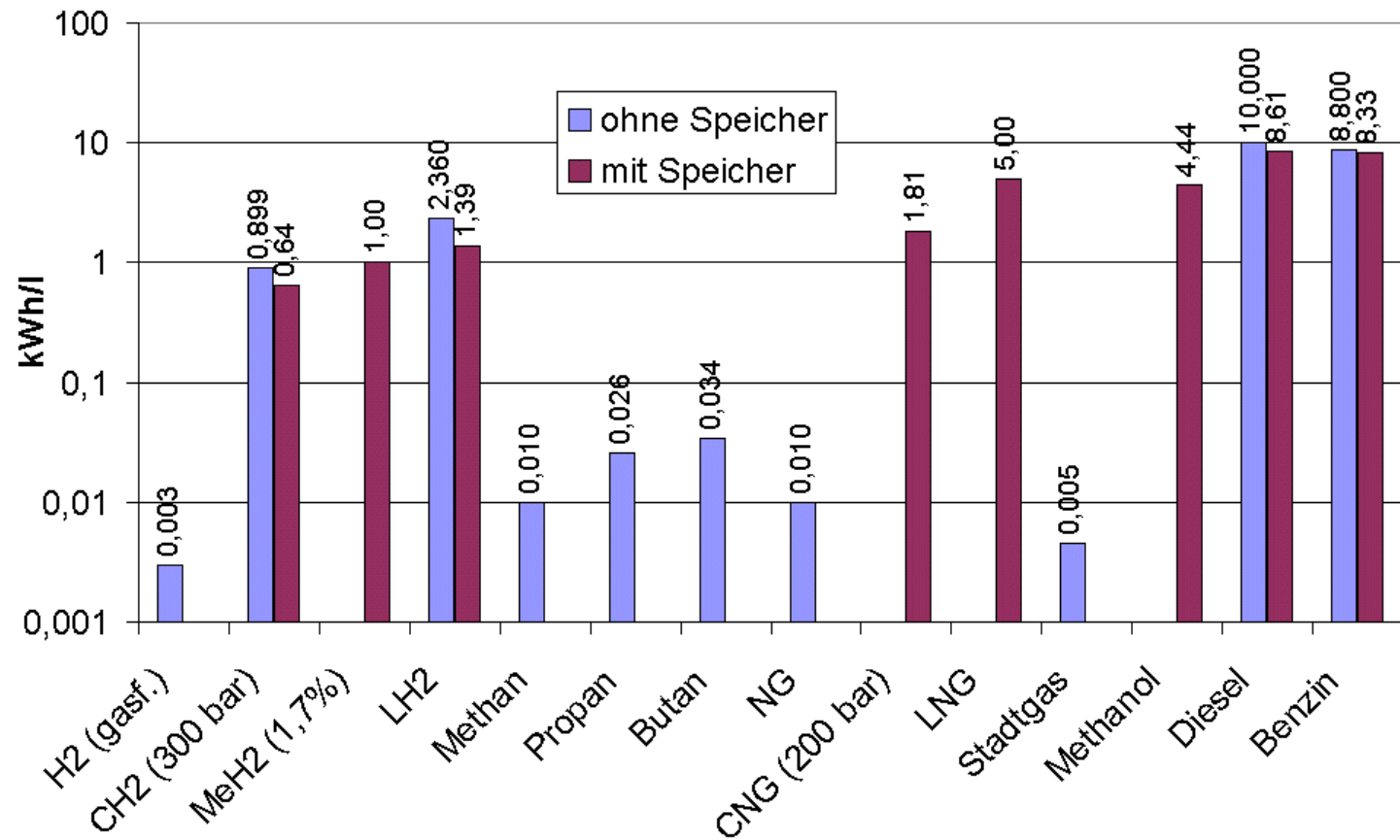
Brennstoff-Speicher volumetrisch

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001



Wasserstoff besitzt bedingt durch seine geringe Dichte eine extrem schlechte volumetrische Speicherdichte.

Abhilfe: Druck-/Kryospeicher, Metallhydridspeicher

zum Vergleich: NiCd 0,05 Wh/kg; Li-Ion 0,12 Wh/kg

Brennstoffzelle

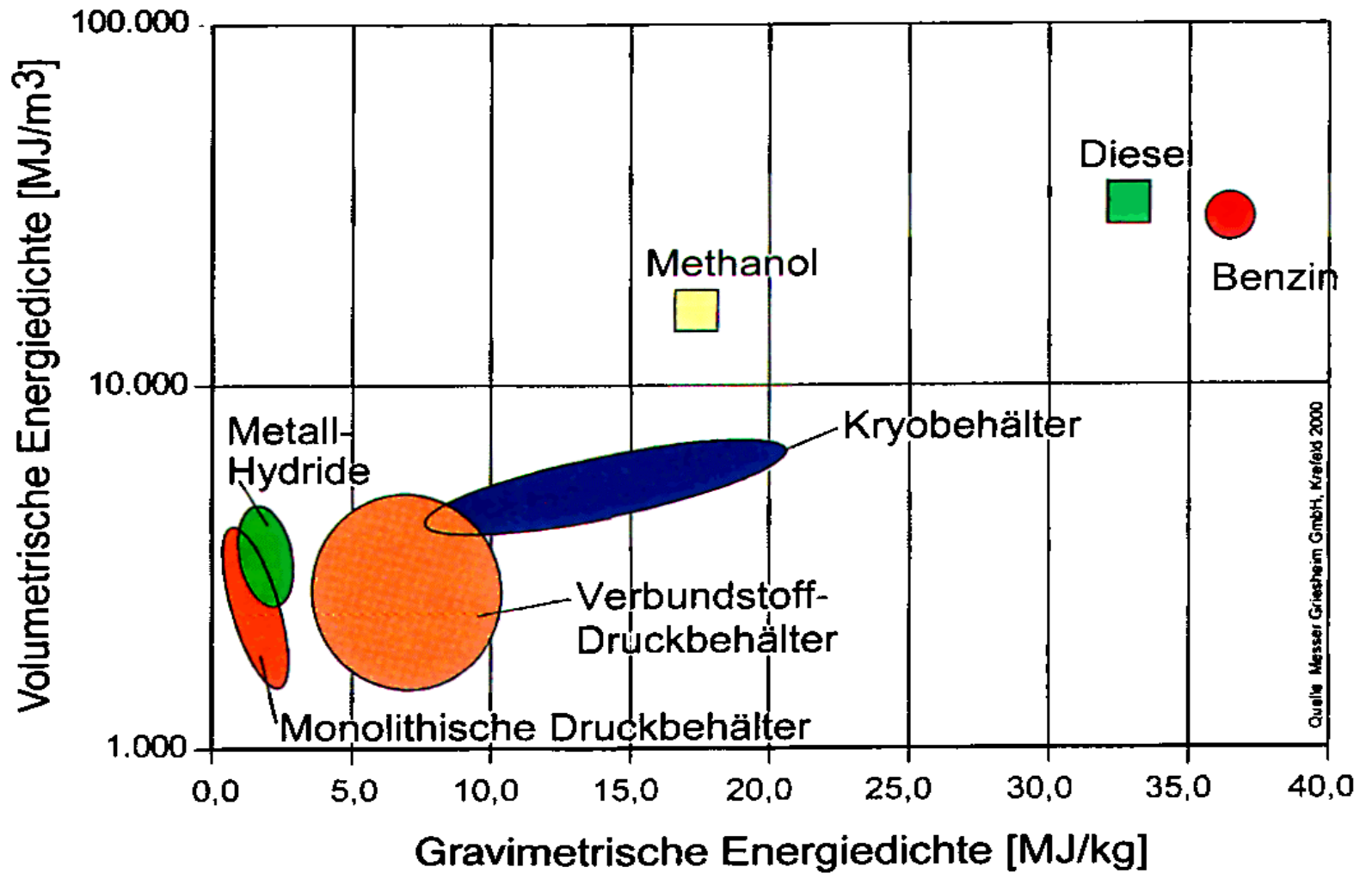
Brennstoff-Speicher

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



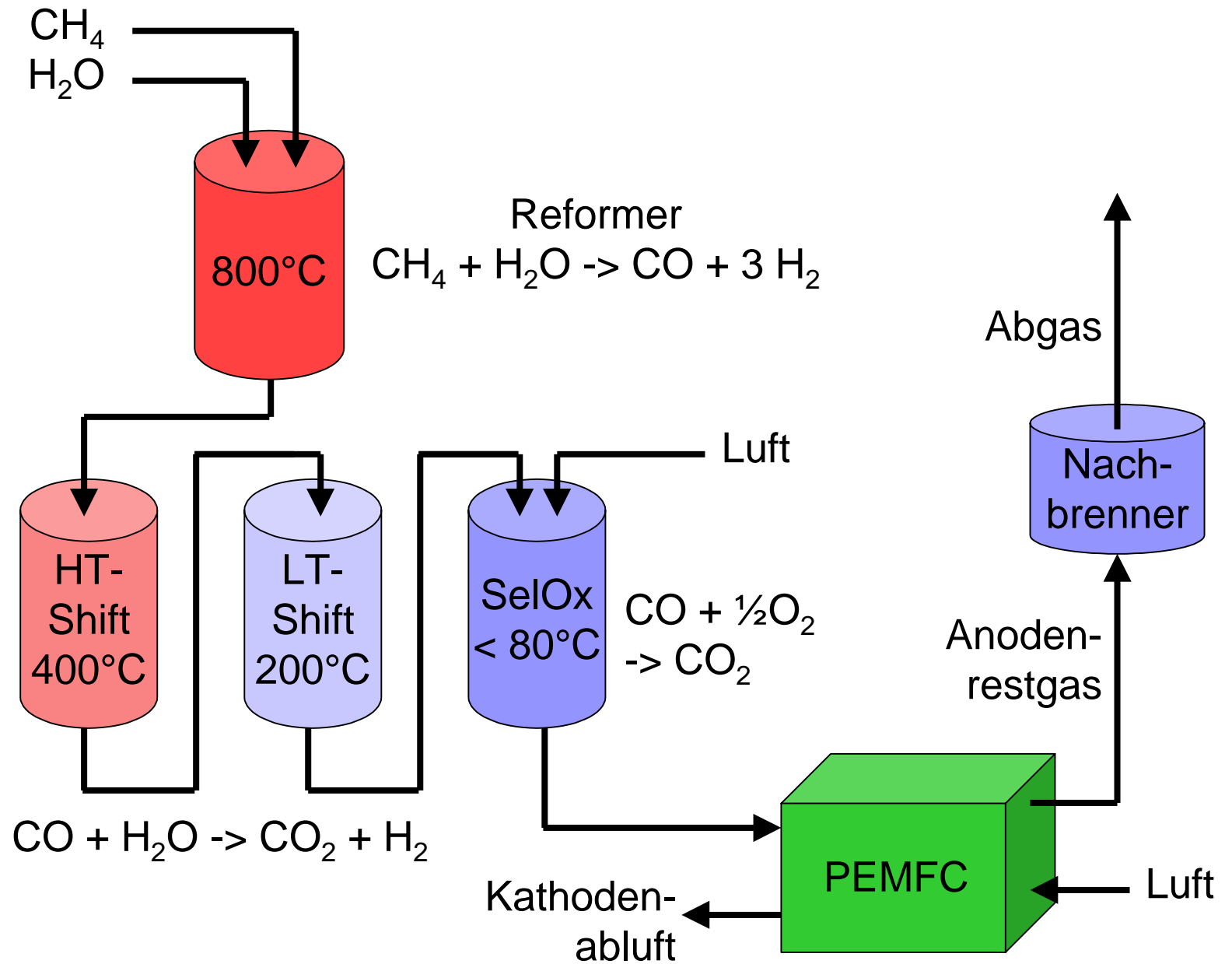
AK-05/2001



Dreier, Wagner, BWK 53(2001), Nr. 3, 47-50

Brennstoffzelle

Reforming von Kohlenwasserstoffen



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik

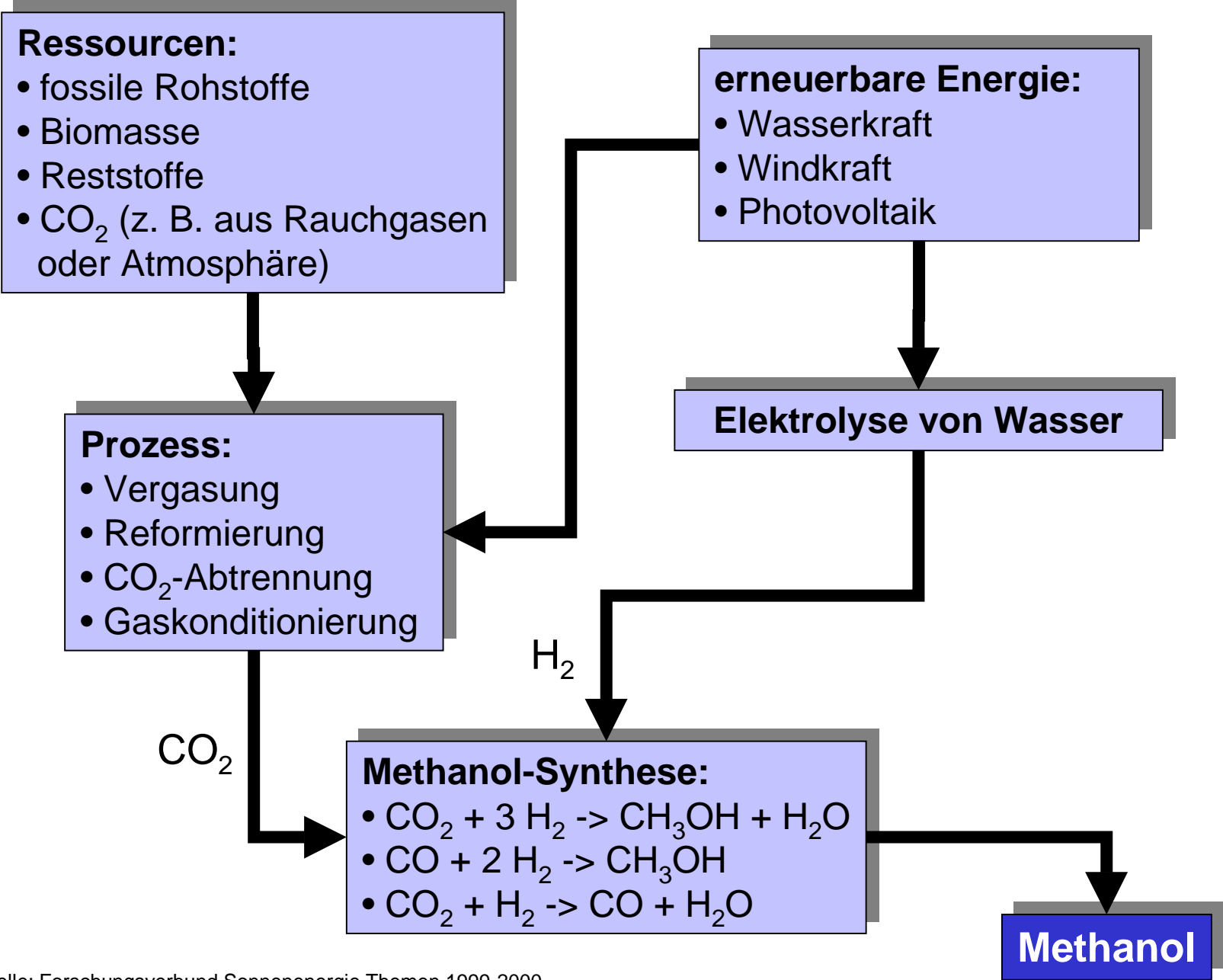


AK-05/2001

Quelle: Forschungsverbund Sonnenenergie Themen 1999-2000

Brennstoffzelle

Methanol-herstellung



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik





Wasserstoff

- Vorteil: idealer Brennstoff für alle Brennstoffzellen
- Nachteil: Speicherung, Herstellung, Verfügbarkeit

Alternative: Reformierung kohlenwasserstoffhaltiger Brennstoffe

- Vorteil: Verfügbarkeit, Speicherung
- Nachteil: eingeschränkte CO-Toleranz der PEMFC

Biogas (aus Biomasse)

40-75% CH₄, 25-55% CO₂, 0-10% H₂O
0-5% N₂, 0-2% O₂, 0-1% H₂, 0-1% NH₃, 0-1% H₂S

Wasserstoff (aus Methan-Reformat)

75-78% H₂, 10-12% CO₂, 8-10% CO, 2-5% CH₄
zuzüglich ca. 20% H₂O

Methanol (aus Biomasse)

PEMFC: sehr empfindlich gegenüber CO, deshalb aufwändiger Gasprozessor

SOFC: kann direkt mit Erdgas betrieben werden (!)

Brennstoffzelle

Anwendung

mobil
Transport und Verkehr

Anforderungen

- Leistung >50kW
- geringes Volumen
- hohe Leistungsdichte
- Lebensdauer 5000h

Kraftstoff

Methanol

stationär
BZ-BHKW
und Kraftwerk

- Leistung BHKW < 5kW,
Kraftwerk > 200kW
- hohe Lebensdauer
(40.000h)

Erdgas

portabel
Freizeit, Modellbau,
Laptop, kleine
Elektrofahrzeuge,
etc.

- Leistung 1 bis 500W
- geringes Gewicht
- kleiner Speicher

Wasserstoff

GB3:

Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Brennstoffzelle

mobile
BZ-Systeme

Wirkungsgrad

GB3:

Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

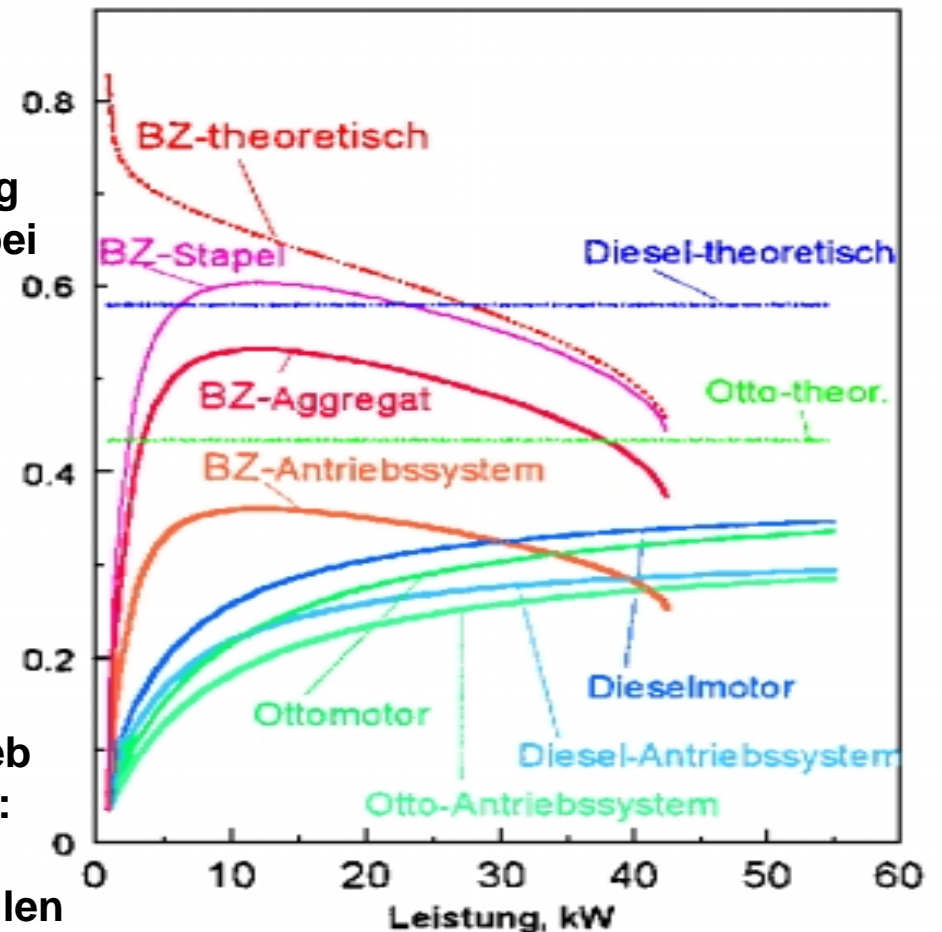
Fazit der DLR-Studie:

1. „BZ-Antriebe sind lokal im Bezug auf Schadstoffe emissionsfrei, dabei ist die Reichweite nicht, wie bei Batteriefahrzeugen, begrenzt.“
2. Globaler Emissionsvorteil gegenüber Alternativen nur dann, wenn Effizienz nicht durch zusätzliche Umwandlungsschritte kompensiert wird.
3. Eindeutige Vorteile für BZ-Antrieb bei Nutzung folgender Brennstoffe:
 - Methanol aus Biomasse
 - H₂ aus regenerativen Energiequellen

Quelle:

Energie- und Schadstoffbilanzen von Elektrofahrzeugen mit Batterien und/oder Brennstoffzellen-Antrieben im Vergleich zu Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor; C. Carpetis; STB-Bericht Nr. 16; DLR (1997)

Wirkungsgrad



Brennstoffzelle

mobile
BZ-Systeme

Beispiele I

GB3:

Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

NECAR 5:

- PEM-Stack: Ballard Mark 900, 440 Zellen, 250V bei Vollast, $\eta_{el} > 60\%$
- BZ-System von Xcellsis, A-Klasse von DC
- Methanol über Reformer
- Ziel: zwischen 2000 und 2003 mehr als 50 Fahrzeuge auf der Straße
- Markteinführung 2004, Volumenmarktphase ab 2010
- des weiteren: NEBUS auf Basis eines Mercedes-Benz Citaro

Quellen: ncar5, fahren mit Methanol; DC Research & Technology

Prof. Ferdinand Panik: Veranstaltungsreihe "Faszination Wissenschaft"; Berlin (April 2001)



ProtonMotor Fuel Cell GmbH:

- Projekt Neoplan-Bus: PEMFC-System
70kW_{el} (18 Stacks)
luftgekühltes Niederdrucksystem mit
18 kW_{el}

Quelle: www.proton-motor.de



Brennstoffzelle

mobile
BZ-Systeme

Beispiele II

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

Brennstoffzellenbus:

- Partner: MAN, Siemens AG, Linde AG
- BZ-Stack: $120\text{kW}_{\text{ges}}$, 400V bei max. Leistung, Betriebstemp. 60°C
- H_2 -Speicher: 250bar, ca. 1500l
- Projektlaufzeit: 1996 - 2001
- ab Oktober 2000 Linienbetrieb

Quelle: www.brennstoffzellenbus.de



viele weitere Projekte unter anderem von
VW, Ford, Opel, Toyota, ...

Brennstoffzelle

portable
Systeme

Beispiele

GB3:

Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

H Power Corp.:

- portable PEMFC-Systeme (35 - 500W_{el})
- aber auch Residential Co-generation Unit (RCU) bis 4,5W_{el}
- z. B. PowerPEM-SSG50 (12VDC, 50W)

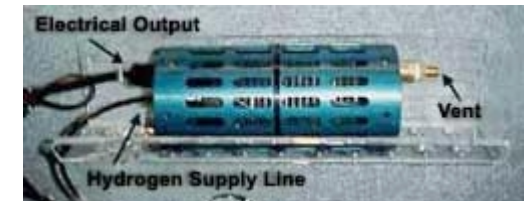
Quelle: www.hpower.com



DCH Technology: System ENABLE

- PEMFC 12W bei 12V
 - Größe einer Getränkedose, Gewicht ca. 640g
 - Direktwasserstoffbetrieb
 - laut Mitteilung auf HannoverMesse bereits lieferbar
- Vertrieb: Skeljungur Ltd. (Shell in Island)

Quelle: www.dcht.com, DWV-Pressemitteilung 2/01



ZeTek Power GmbH:

- verschiedene Systeme bis 2800W_{el}
- Mk2-Modul: AFC, 410W_{el} (107A bei 4V), H₂/Luft
- Fabrikanlage in Köln am 8. März 2001 eröffnet

Quelle: www.zetekpower.com

Plug Power Inc.:

- Stack für Vaillant GmbH
- Projekt mit Celanese GmbH

Brennstoffzelle

Beispiele für Lehr- und Demomodelle

H-TEC Wasserstoff-Energie-Systeme GmbH:
verschiedene PEMFC-Modelle bis $2 W_{el}$

Quelle: www.h-tec.com



Heliocentris Energiesysteme GmbH:
verschiedene PEMFC- und DMFC-Modelle bis $300W_{el}$

Quelle: www.heliocentris.com



GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Brennstoffzelle

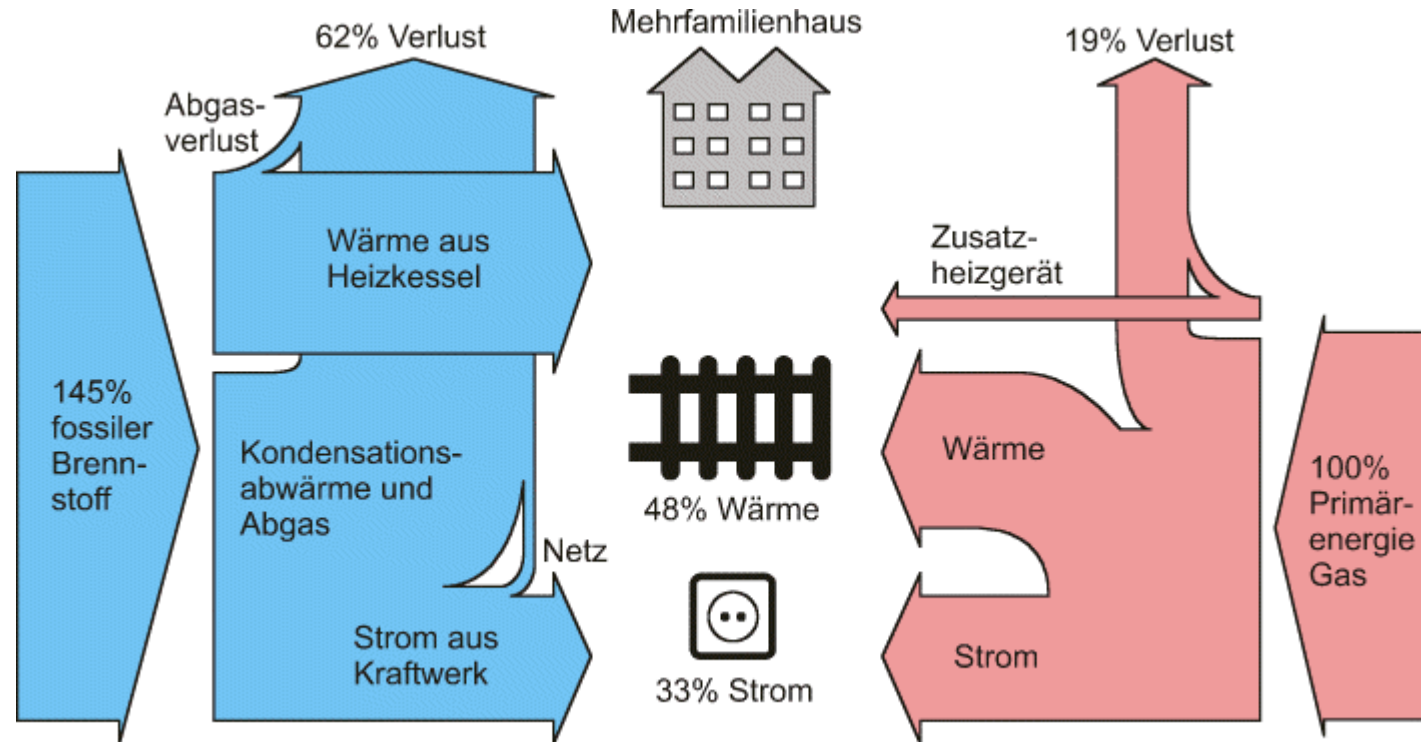
stationäre BZ-Systeme

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001



Quelle: Informationsbericht Brennstoffzellen-Heizgerät, Vaillant GmbH 3/2001

Die getrennte Erzeugung von Strom und Wärme erfordert 45% mehr Primärenergie als die gekoppelte Erzeugung mit einem Brennstoffzellen-Heizsystem.

Brennstoffzelle

stationär
BZ-Systeme

Beispiele I

GB3:

Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

Vaillant GmbH: Brennstoffzellen-Heizgerät

- PEMFC-Stack von Plug Power
- Erdgasbetrieb über Reformer
- 1 bis 4,6 kW_{el}, 1,5 bis 7 kW_{therm}
- elektrischer Wirkungsgrad > 35%, ges. > 80%
- ab 2004 Serienherstellung

Quelle: Vaillant Innovationsbericht



Sulzer Hexis: stat. System für häuslichen Bereich

- SOFC: 70 Zellen, 1kW_{el} (39V, 27A)
3kW_{therm}, el. Wirkungsgrad > 25%
- Betrieb mit Erdgas, Deponiegas und Heizöl (über Reformer)
- seit 1998 mehrere Feldtestanlagen für Langzeitversuche in Betrieb
- ab Herbst 2001 erste größere Serie

Quelle: www.hexis.ch



Brennstoffzelle

stationär
BZ-Systeme

Beispiele II

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

ONSI Corp.: PC25 FC Power Plant

- PAFC mit 200 kW_{el} mit Erdgasbetrieb
- 200 Einheiten in 15 Ländern installiert
- Wirkungsgrad: 87% total, 40% el., 50% therm.

Quelle: www.onsicorp.com



MTU Friedrichshafen: „Hot Module“

- MCFC mit 300 bis 3MW_{el} (je nach Anzahl Zellen mit je ca. 1kW_{el})
- el. Wirkungsgrad bis 65%
- Betrieb mit Erdgas, aber auch Biogas oder industrielle Restgase
- Serienfertigung ab 2004

Quelle: www.mtu-friedrichshafen.com



Brennstoffzelle

stationär
BZ-Systeme

Beispiele III

GB3:

Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

Siemens Westinghouse: SOFC/Gasturbine-Hybridanlage

- 127kW_{el} DC, 127kW_{el} AC, $64\text{kW}_{\text{therm}}$
- Erdgasbetrieb (1000°C)
- el. Wirkungsgrad ca. 60%
- Feldtest seit 1998
- 1MW-Anlage Mitte 2002 geplant

Quelle: Ulrich Eberl; Siemens Ful-Archiv 2000/1



Brennstoffzelle

Kosten

Klaus Hassmann, der Leiter der Brennstoffzellen-Entwicklung im Siemens-Bereich Energieerzeugung:

„Ein Preisniveau von unter 1000 US-\$/kW wäre für ein SOFC-GT-Kraftwerk ein sehr akzeptabler Wert.“

Quelle: Ulrich Eberl; Siemens Ful-Archiv 2000/1

H Power PowerPEM-PS250 (28VDC, 250W)

4750 US-\$



Platin: ca. 25 Euro/g (617 US-\$/Feinunze)

entspricht ca. 130 Euro/kW_{el} (bei 50 Zellen; 270mA/cm²; 600mV UEZ; 0,4 mg/cm²)

Wasserstoff:

10l-Flasche, 200bar, 1,8 Nm³, eine Füllung (ohne Flaschenpfand) ca. 30,- Euro, also ca. 16,- Euro/Nm³ (5,33 Euro/kWh)

bei großer Abnahmemenge unter 0,50 Euro/Nm³ (< 0,16 Euro/kWh)

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



Brennstoffzelle

Studien und
weitere
Information

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001

TA-Bericht Brennstoffzellen-Technologie
Deutscher Bundestag Drucksache 14/5054, Januar 2001
<http://dip.bundestag.de/>

Globale Umweltvorteile bei Nutzung von Elektroantrieben mit
Brennstoffzellen und/oder Batterien im Vergleich zu Antrieben
mit Verbrennungsmotoren
C. Carpetis, DLR, STB-Bericht Nr. 22, April 2000

weitere Projekte sind im Projektindex
Deutscher Wasserstoff-Verband aufgeführt
www.dwv-info.de

Homepage ZSW
www.zsw-bw.de

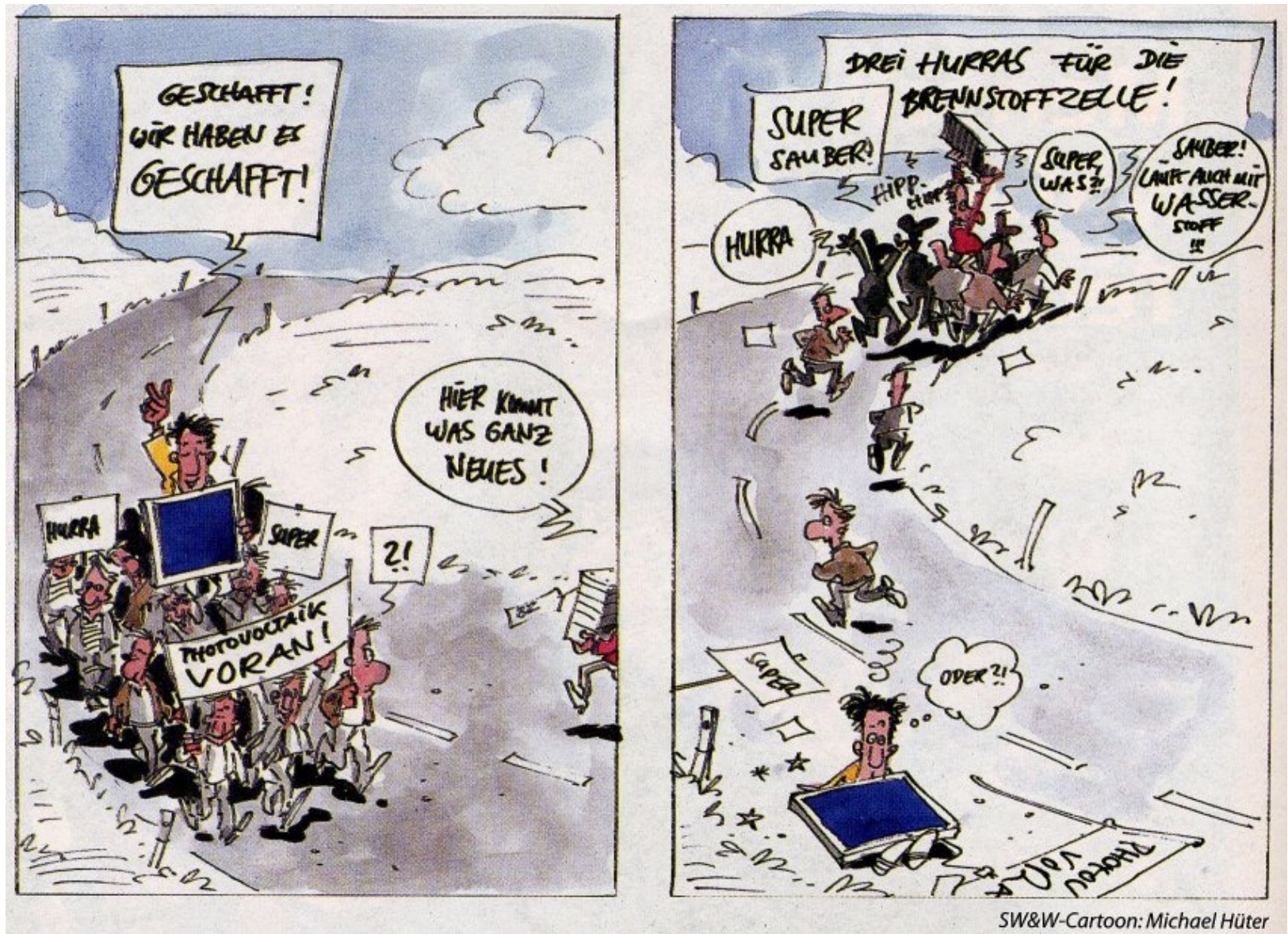
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

GB3:
Elektrochemische
Energiewandlung
und -speicherung

Abteilung ECW:
Elektrochemische
Wasserstofftechnik



AK-05/2001



SW&W-Cartoon: Michael Hüter

Quelle: Sonne Wind & Wärme 5/2001