



Thomas Grube, Reinhard Menzer und Ralf Peters

*Institut für Energieverfahrenstechnik (IWW-3)
Forschungszentrum Jülich GmbH
D-52425 Jülich
th.grube@fz-juelich.de*

Transportkühlung 2010 – Nur noch mit Brennstoffzelle?

Branchentagung

„Klimaschutz und Kostensenkung durch Energieeffizienz in der
Transportkühlung: Welche Beiträge leistet die Branche?“

10. November 2005

Institut für Energieverfahrenstechnik (IWW-3)



Gliederung

- Einführung
 - ▶ Brennstoffzellen
 - ▶ Systemauswahl
- Motorgekoppelte An-Bord-Stromerzeugung
- Motorunabhängige An-Bord-Stromerzeugung mit Brennstoffzellen
- Zusammenfassung und Bewertung
- Fazit

Institut für Energieverfahrenstechnik (IWW-3)

Bild 2



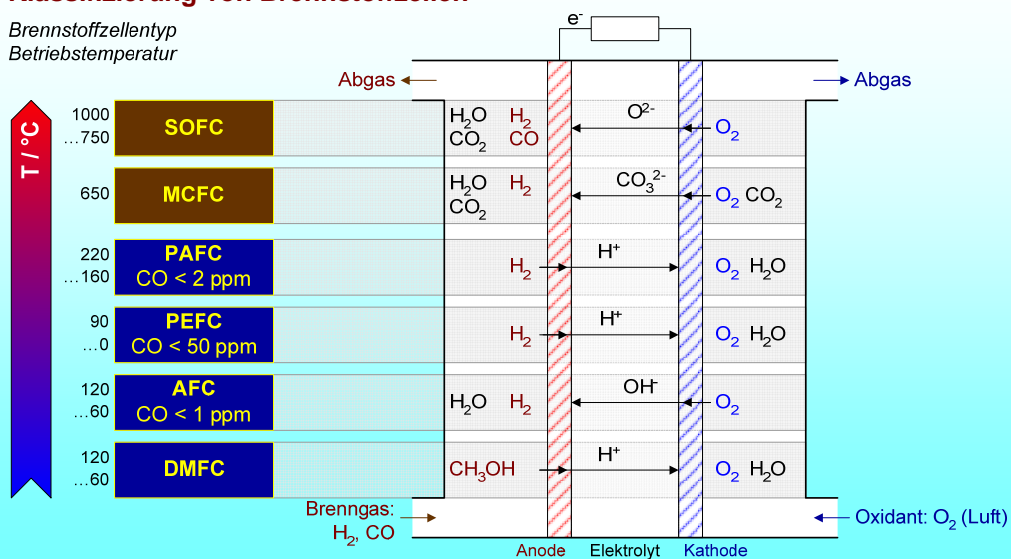
Analyse komplexer Brennstoffzellen-Systeme im IWV-3

- Erfassung der Grundvorgänge (Stoffumsatz und Wärmehaushalt)
- Rechnerische Simulation (PRO/II, CYCLE TEMPO, eigene Programme)
 - ▶ zwingt zur Erarbeitung einer umfassender Datengrundlage, inklusive der Einsatz-Charakteristik
 - ▶ und liefert ein geschlossenes Bild von Anlagen-Zuständen
- Strukturierte Darstellung der Fließbilder
 - ▶ schafft die erforderliche Übersichtlichkeit
 - ▶ zur Bewertung und ggf. Weiterentwicklung der Anlagenkonzepte



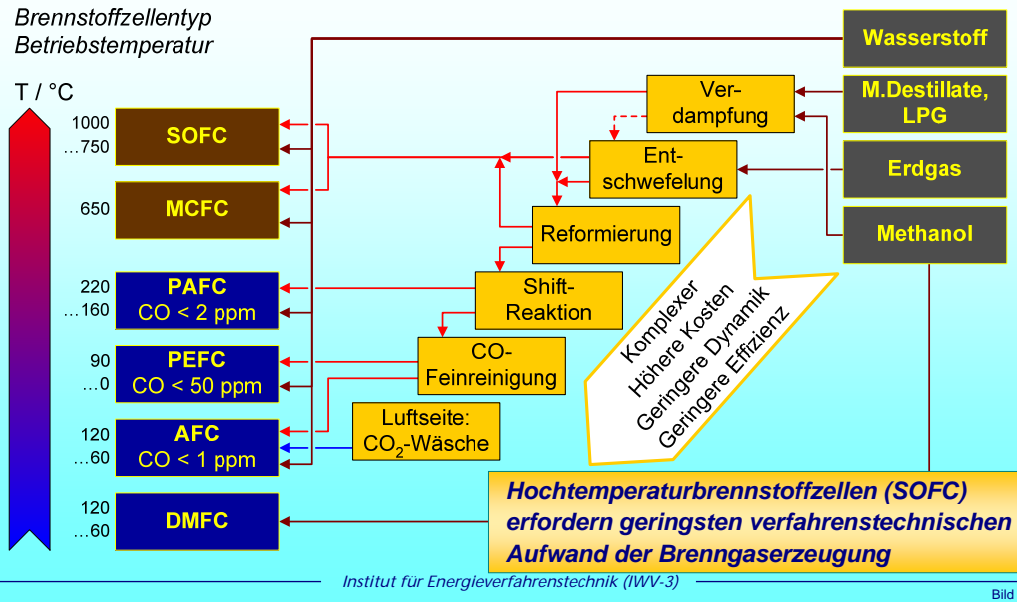
Klassifizierung von Brennstoffzellen

Brennstoffzellentyp
Betriebstemperatur

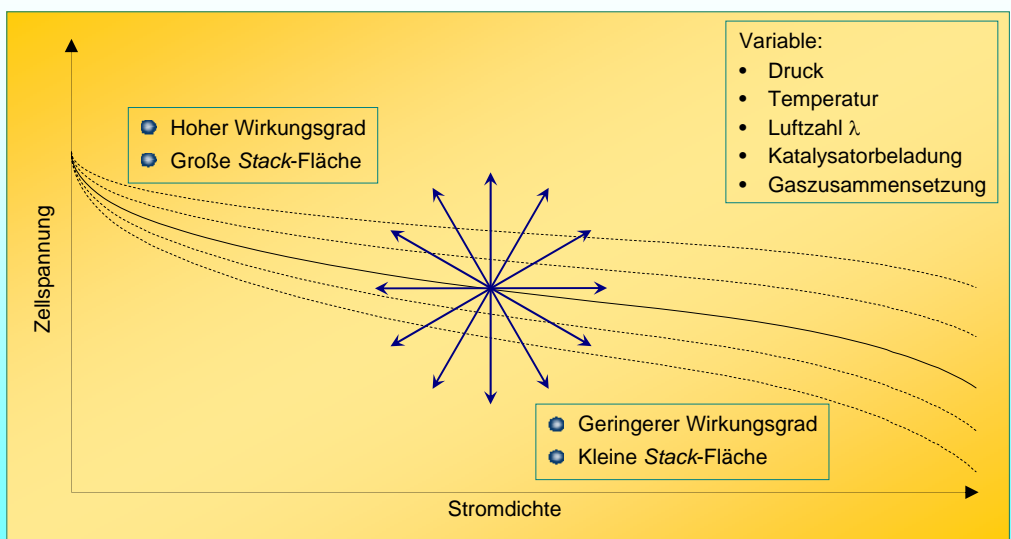




Systemauswahl: Brennstoffzellensysteme und Energieträger (nach STEELE [1999])



Kennlinien von Brennstoffzellen und deren Parameter





APUs für Pkw:

Kraftstoffeinsparung und Motor-unabhängige Stromversorgung

- **Antriebsunabhängiger Leistungsbedarf steigt, auch bei Fahrzeugstillstand :**
Klimatisierung, elektrische Einrichtungen, Komfort und Sicherheit
 - **Grad der Elektrifizierung nimmt zu,**
z.B. Klimakompressor, Wasserpumpe, Lenkhilfe
 - **Motorgekoppelte Stromerzeugung wird weiterentwickelt:**
Kurbelwellen-Startergenerator und 42V Bordnetz
- ➔ **Qualität der motorgekoppelte Stromversorgung ist abhängig vom Betriebszustand des Motors:** Geringe Leistungsfähigkeit bei Teillast und Leerlauf



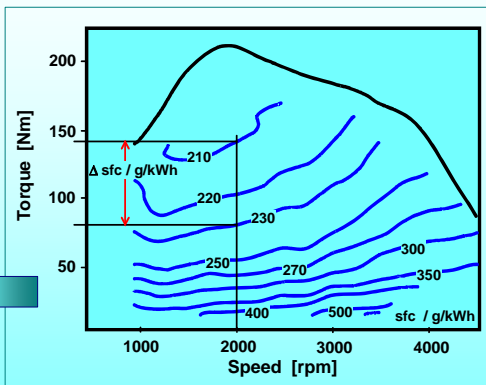
Motorgekoppelte An-Bord-Stromversorgung

Optionen

- **Konventionell:** Lichtmaschine 14 V
- **Optimiert:** Kurbelwellen-Startergenerator 42 V

Betriebszustände

- **Fahrbetrieb**
 - Differenzwirkungsgrad (Δsfc) bestimmt den Wirkungsgrad der Stromerzeugung
 - Generator evtl. zur Bremsenergieerückgewinnung
- **Motorleerlauf**
 - Alle Verluste müssen der Stromerzeugung zugerechnet werden

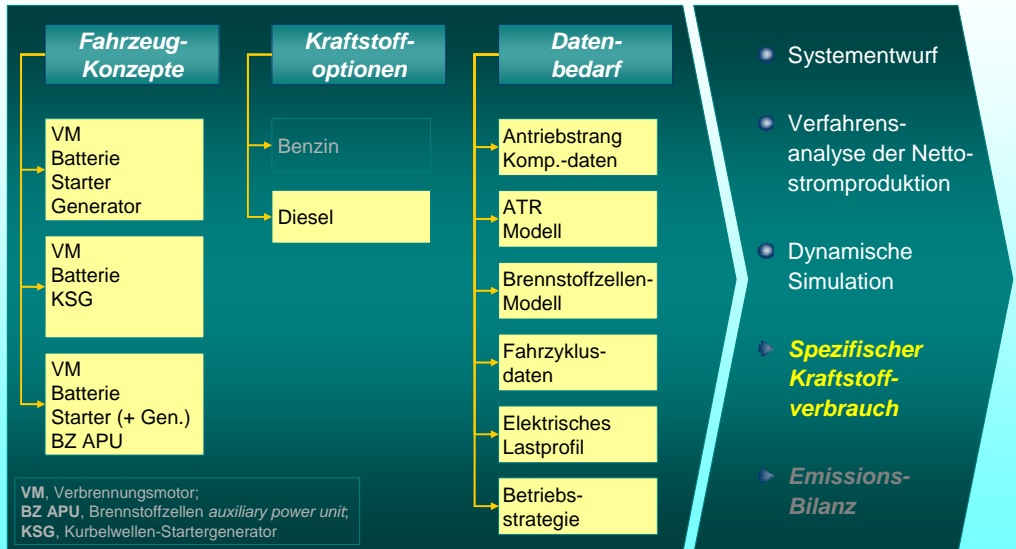


Kraftstoffverbrauchskennfeld eines Dieselmotors (VW TDI 1.9 l)

**Effizienzvorteil einer APU
besonders bei Motorleerlauf**



Vergleichende Analyse der An-Bord-Stromerzeugung

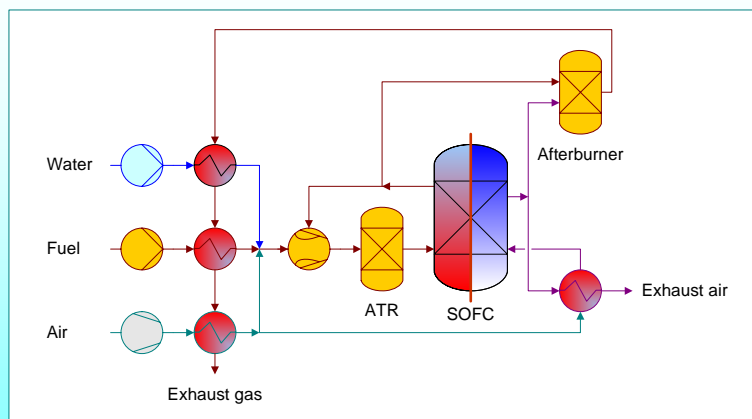


Institut für Energieverfahrenstechnik (IWW-3)

Bild 9



Fließbild eines SOFC-Systems für eine APU



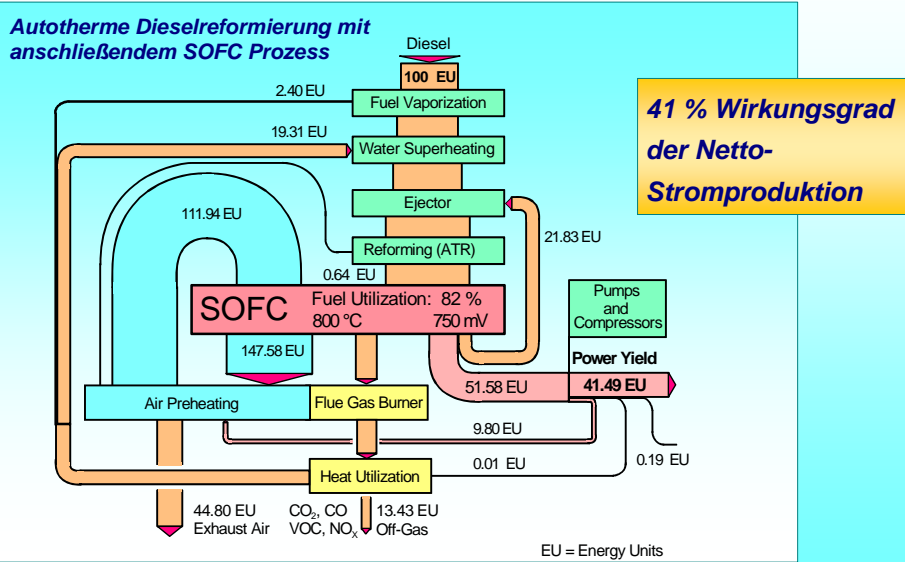
- Autotherme Dieselreformierung
- SOFC mit 82% Brennstoffnutzung und 60% elektrischem Wirkungsgrad (H_u)
- Wärmetauscher zur Dampfüberhitzung, Kraftstoffverdampfung und Luftvorwärmung
- Nachbrenner zur Wärmenutzung und Ejektor zur Anodengas-Rezyklierung

Institut für Energieverfahrenstechnik (IWW-3)

Bild 10



Energiefluss einer SOFC-APU



Institut für Energieverfahrenstechnik (IWW-3)

Bild 11



Dynamische Simulation: Spezifikation eines Mittelklasse-Pkw

• **Performance-Daten**

- ▶ Höchstgeschwindigkeit **180 km/h**
- ▶ Beschleunigungsvermögen (0...100 km/h) **< 12 s**
- ▶ Steigfähigkeit **30 %**

• **Äußere Fahrzeugdaten**

- ▶ Luftwiderstandsbeiwert **0.32**
- ▶ Querspanfläche **2.1 m²**
- ▶ Fahrzeugmasse **1 350 kg**
- ▶ Rollwiderstandsbeiwert **f(v)**

• **Betriebszustände**

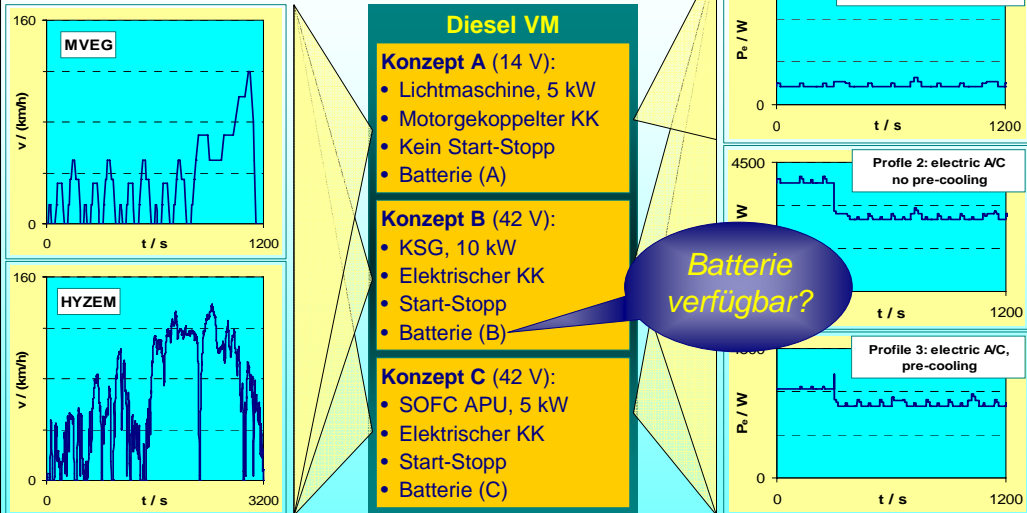
- ▶ Fahrzyklus **HYZEM & MVEG**
- ▶ Elektrische Verbraucher **Einschaltzyklen**
- ▶ Fahrzeugstillstand **Vorkühlung (5 Minuten)**

Institut für Energieverfahrenstechnik (IWW-3)

Bild 12



Mechanische und elektrische Lastprofile



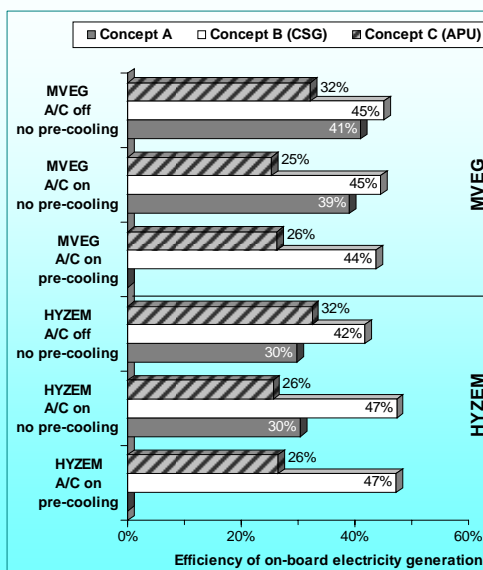
A/C, KK, Klimakompressor; KSG, Kurbelwellen-Startergenerator; SOFC APU, Solid oxide fuel cell auxiliary power unit; VM, Verbrennungsmotor – **Batteriekapazität** abhängig vom Fahrzeugkonzept (größer für Konzepte B und C)

Institut für Energieverfahrenstechnik (IWW-3)

Bild 13



Wirkungsgrad der Nettostromerzeugung in den Fahrzyklen MVEG und HYZEM



Motorgekoppelte Stromerzeugung

- Vergleichsbasis: Simulation des Fahrzeugs ohne elektrische Last
- Höhe der elektrischen Last hat begrenzten Einfluss auf den Wirkungsgrad

Stromerzeugung mit SOFC-APU

- Fahrzyklus hat kaum Einfluss auf den Wirkungsgrad
- Höhe der elektrischen Last beeinflusst deutlich den Wirkungsgrad

➔ **Größerer SOFC-Stack mit besserem Wirkungsgrad bei höheren Kosten!**

A/C, Klimakompressor; APU, Auxiliary power unit; CSG, Kurbelwellen-Startergenerator

Institut für Energieverfahrenstechnik (IWW-3)

Bild 14



Zusammenfassung

- Verfahrensanalyse zeigt Wirkungsgradpotential einer SOFC-APU mit derzeit ca. 41 %
- Bei Motorleerlauf ist die Stromerzeugung mit SOFC-APU günstiger als die motorgekoppelte
- Im Fahrzyklus-Betrieb erreicht die motorgekoppelte Stromerzeugung höhere Wirkungsgrade im Vergleich zur APU unter den hier getroffenen Annahmen
- Eine optimierte Betriebsstrategie und Auslegung des Gesamtsystems aus APU, Generator und Batterie kann den Wirkungsgrad insgesamt erhöhen
- F&E im Bereich *Stack*- und Systemkomponenten von SOFC zielt auf mehr Leistung, Zuverlässigkeit und Effizienz der Stromerzeugung



Fazit

Eine deutliche Verbesserung der Systemtechnik der SOFC-APU führt zusammen mit einer optimierten Betriebsstrategie für APU, Generator und Batterie zu einer Verbesserung der Leistungsdaten der An-Bord-Stromerzeugung.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit