



Energiespeichersysteme

1. Wasserstofftechnologie

- a) Gewinnung von Wasserstoff
- b) Sicherheitsproblematik
- c) Speicherung, Systemlösungen

2. Konventionelle Blockheizkraftwerke - Kraft-Wärme-(Kälte-)Kopplung

3. Grundbegriffe der Brennstoffzellen-Technologie

- a) Funktionsprinzip
- b) Brennstoffzellen-"Stacks"
- c) Verschiedene Brennstoffzellentypen
- d) Reformierung (Gasaufbereitung)
- e) Gesamtsysteme

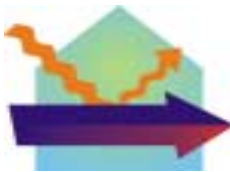
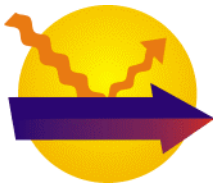
4. Technischer Einsatz von Brennstoffzellensystemen

- a) Mobile Anwendungen
- b) Stationäre Anwendungen



Vorteile des Einsatzes von Brennstoffzellen

- ➔ Hoher Wirkungsgrad
- ➔ Niedrige Emissionen
- ➔ Geräuscharm
- ➔ Vielseitige Einsatzmöglichkeiten:
 - Verkehr
 - Dezentrale Kraft-/Wärmekopplung
 - Zentrale Stromerzeugung
 - Sonderanwendungen
- ➔ Gleitender Übergang zur Wasserstoffwirtschaft möglich

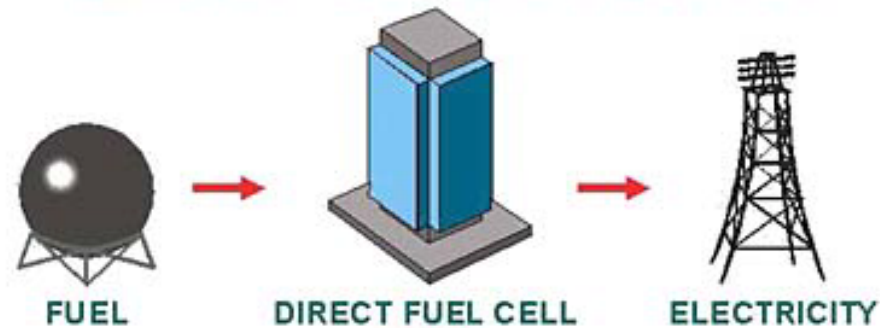


Vergleich der Stromerzeugungsketten von Wärmekraftwerken und Brennstoffzellen

CONVENTIONAL POWER PLANT

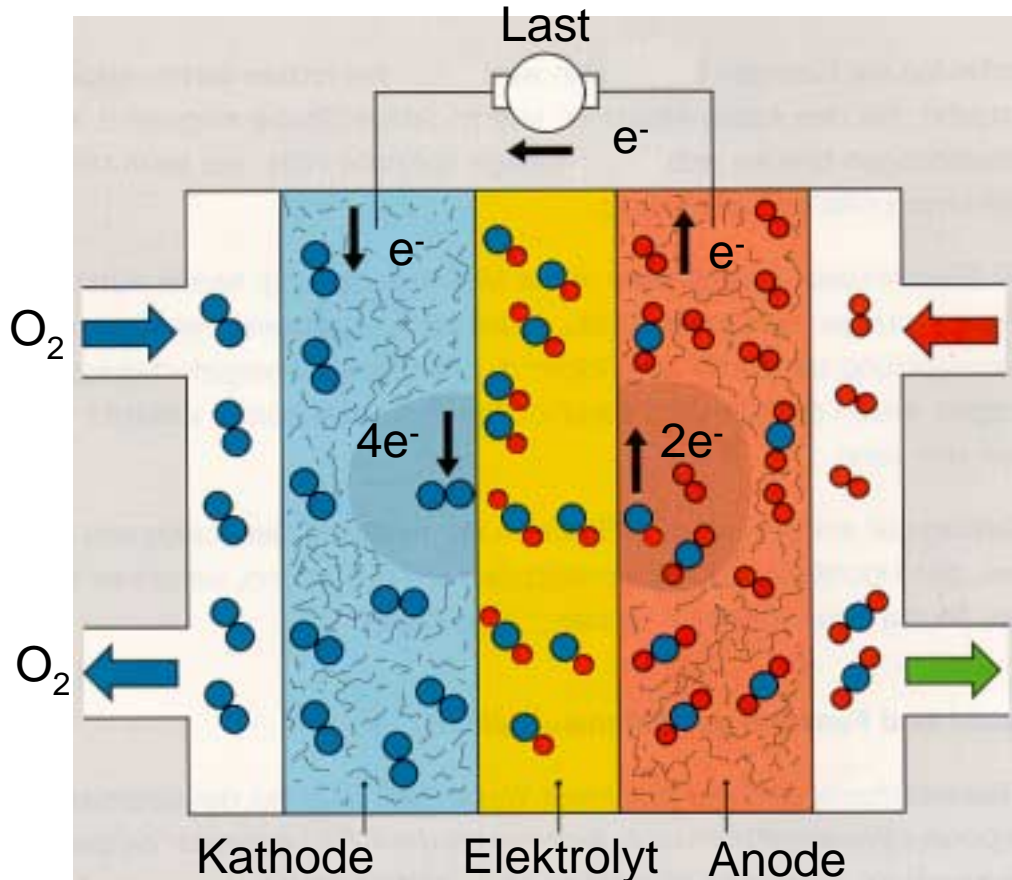


DFC POWER PLANT



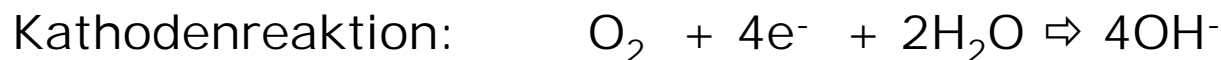
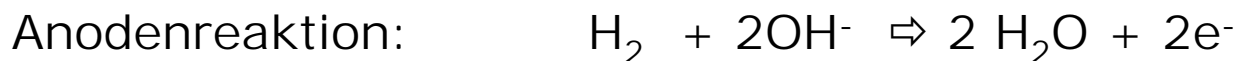


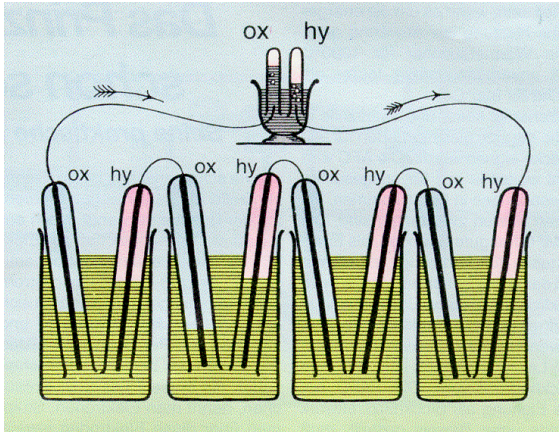
Brennstoffzelle mit ionenleitendem Elektrolyten



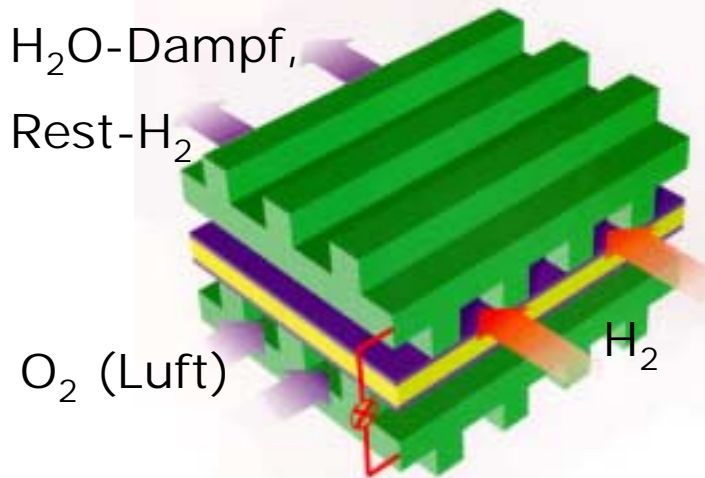
Zellspannung: $\sim 1,2 \text{ V}$

Leistungsdichte: $\sim 0,5 \text{ W/cm}^2$

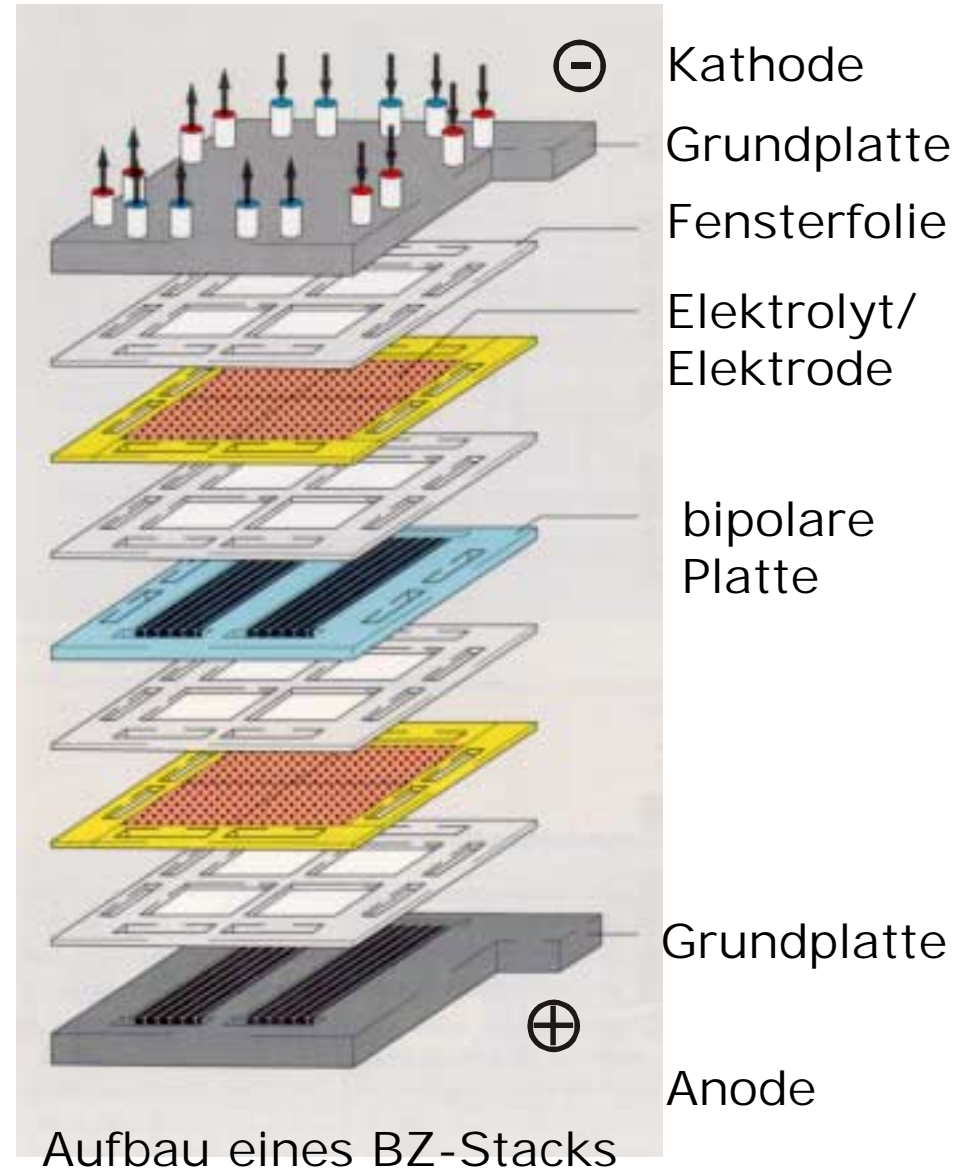




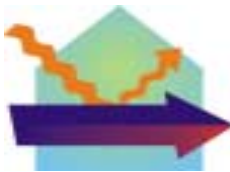
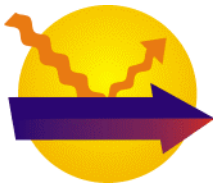
BZ-Reihenschaltung
(Sir William Grove 1839)



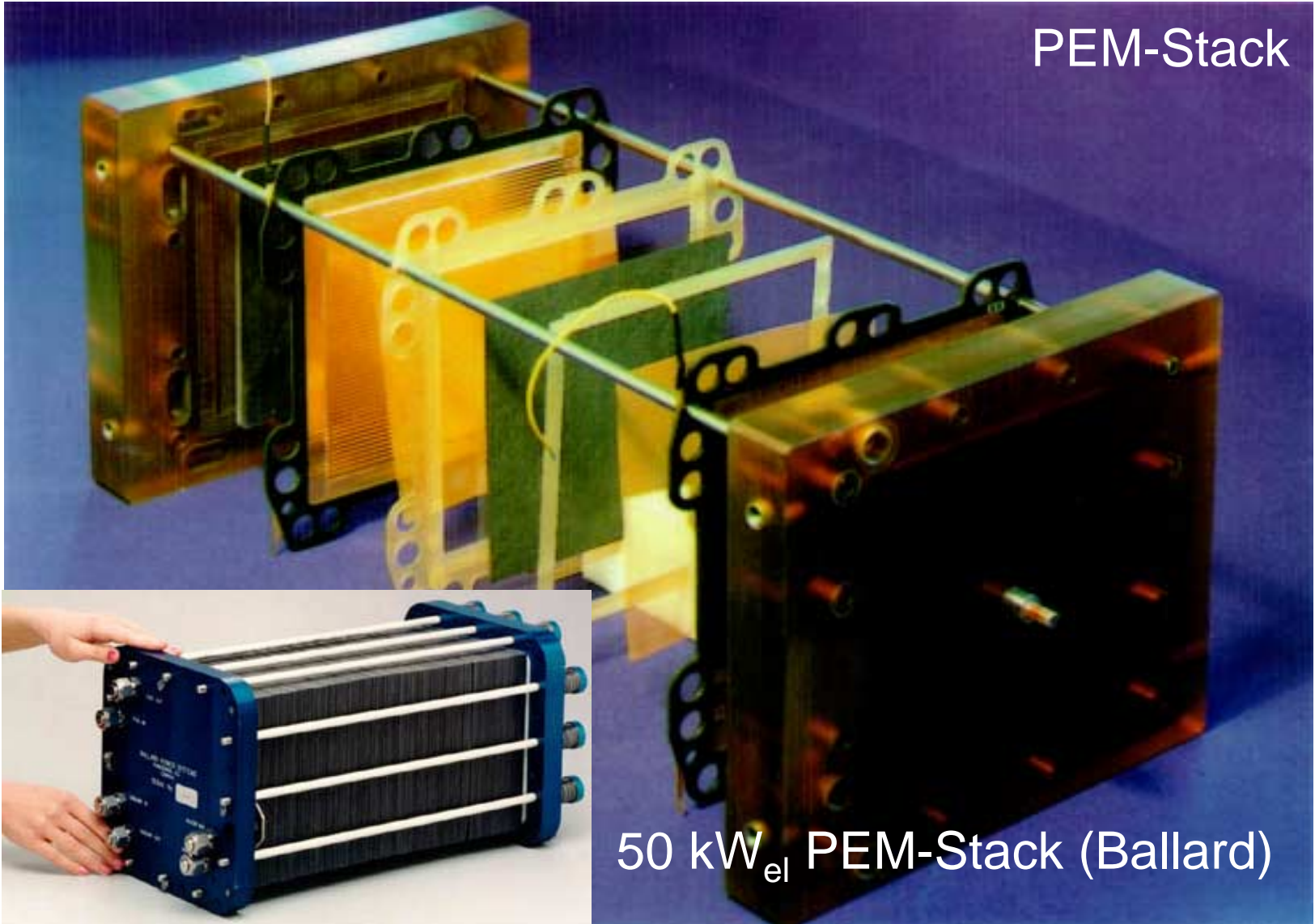
BZ mit bipolarer Platte



Aufbau eines BZ-Stacks



PEM-Stack



50 kW_{el} PEM-Stack (Ballard)



Typ	Betriebs- temperatur	Elektrolyt	Brennstoff	Oxidant	elektrischer Wirkungsgrad
AFC Alcalic Fuel Cell	80°C	KOH (Kalilauge)	H ₂	O ₂	60%
PEM Polymer Electrolyte Fuel Cell	80°C	Festpolymer- Elektrolyt- Membran	H ₂	O ₂ , Luft	60% (40%)
DMFC Direct Methanol Fuel Cell	60-130°C	Festpolymer- Elektrolyt- Membran	CH ₃ OH	Luft	40%
PAFC Phosphoric Acid Fuel Cell	200°C	H ₃ PO ₄ (Phosphorsäure)	H ₂	Luft	55% (40%)
MCFC Molten Carbonate Fuel Cell	650°C	Li ₂ CO ₃ + K ₂ CO ₃ (geschmolzene Karbonat-Salze)	Erd-, Kohle- Biogas	Luft	65% (50%)
SOFC Solid Oxyde Fuel Cell	950°C	ZrO ₂ (Y-dotiert) (Oxydkeramik)	Erd-, Kohle- Biogas	Luft	65% (55%)



Daten zur AFC-Brennstoffzelle

AFC:	Alkalic Fuel Cell
Elektrolyt:	wässrige KOH (in Keramikmatrix)
Elektroden:	Ni/Ag, Pt/Pt
Betriebstemperatur:	80°C
Brennstoff / Oxidant:	Wasserstoff / Sauerstoff
Anodenreaktion:	$\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}_-$
Kathodenreaktion:	$\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4 \text{OH}^-$
Bruttoreaktion:	$\text{O}_2 + 2 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O}$ (OH ⁻ -Leitung)
El. Wirkungsgrad:	~ 60%



Daten zur PEM-Brennstoffzelle

PEM:	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
Elektrolyt:	Polymer-Membran (z.B. Polystyrol)
Elektroden:	Pt/Pt, PtRu/Pt
Betriebstemperatur:	80°C
Brennstoff / Oxidant:	Wasserstoff, Methanol / Luftsauerstoff
Anodenreaktion:	$\text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$
Kathodenreaktion:	$\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$
Bruttoreaktion:	$\text{O}_2 + 2 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O}$ (H ⁺ -Leitung)
El. Wirkungsgrad:	60% (40% bei Methanol)



Daten zur DMFC-Brennstoffzelle

DMFC:	Direktmethanol Brennstoffzelle
Elektrolyt:	Protonenleitende Polymer-Elektrolyt-Membran
Elektroden:	Pt/Ru
Betriebstemperatur:	60 - 130°C
Brennstoff / Oxidant:	Methanol
Anodenreaktion:	$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{CO}_2 + 6 \text{H}^+ + 6 \text{e}^-$
Kathodenreaktion:	$1,5 \text{O}_2 + 6 \text{H}^+ + 6 \text{e}^- \Rightarrow 3 \text{H}_2\text{O}$
Bruttoreaktion:	$\text{CH}_3\text{OH} + 1,5 \text{O}_2 \Rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2$ (H ⁺ -Leitung)
El. Wirkungsgrad:	40%



Daten zur PAFC-Brennstoffzelle

PAFC:	Posphoric Acid Fuel Cell
Elektrolyt:	konz. Phosphorsäure (in SiC-, PTFE-Matrix)
Elektroden:	Pt/Pt
Betriebstemperatur:	200°C
Brennstoff / Oxidant:	H ₂ , (Erd-, Kohlegas) / Luftsauerstoff
Anodenreaktion:	$\text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$
Kathodenreaktion:	$\text{O}_2 + 4 \text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{O}^{2-}$
Bruttoreaktion:	$\text{O}_2 + 2 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O}$ (H ⁺ -Leitung)
El. Wirkungsgrad:	55% (40% bei Erd-, Kohlegas)



Daten zur MCFC-Brennstoffzelle

MCFC:	Molten Carbonate Fuel Cell
Elektrolyt:	Li_2CO_3 -, KCO_3 -Schmelze (in LiAlO_2 -Matrix)
Elektroden:	Ni/NiO
Betriebstemperatur:	650°C
Brennstoff / Oxidant:	Erd-, Kohle-, Biogas / Luftsauerstoff
Anodenreaktion:	$\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2 e^-$
Kathodenreaktion:	$\text{O}^2 + 2 \text{CO}_2 + 4 e^- \rightleftharpoons 2 \text{CO}_3^{2-}$
Bruttoreaktion:	$\text{O}_2 + 2 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O}$ (CO_3^{2-} -Leitung)
El. Wirkungsgrad:	65% (50% bei ext. Reformierung)



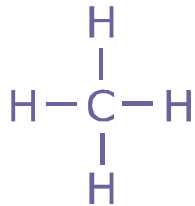
Daten zur SOFC-Brennstoffzelle

SOFC:	Solid Oxyde Fuel Cell
Elektrolyt:	Y_2O_3 - dotiertes ZrO_2 (keramischer Festk.)
Elektroden:	Ni-ZrO_2 / $(\text{LaSr})\text{MnO}_3$
Betriebstemperatur:	950°C
Brennstoff / Oxidant:	Erd-, Kohle-, Biogas / Luftsauerstoff
Anodenreaktion:	$\text{O}_2 + 4 e^- \rightleftharpoons 2 \text{O}^{2-}$
Kathodenreaktion:	$\text{H}_2 + \text{O}^{2-} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + 2 e^-$
Bruttoreaktion:	$\text{O}_2 + 2 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O}$ (O^{2-} -Leitung)
El. Wirkungsgrad:	65% (55% bei ext. Reformierung)



Geeignete Brennstoffe für Brennstoffzellen

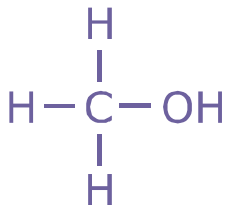
Erdgas: CH_4



Methan, auch wesentlicher Bestandteil von Kokerei- (Kohle-) und Biogas

oberer Heizwert: $\sim 41.000 \text{ kJ/m}_n^3$

Methanol: CH_3OH



Methyl-Alkohol, liegt in Pflanzenölen vor, entsteht bei Holzverkohlungs

oberer Heizwert: $\sim 36.000 \text{ kJ/m}_n^3$

Wasserstoff: H_2

Kein natürliches Vorkommen
regenerative Herstellung:

Elektrolyse \Rightarrow Verflüssigung \Rightarrow Transport

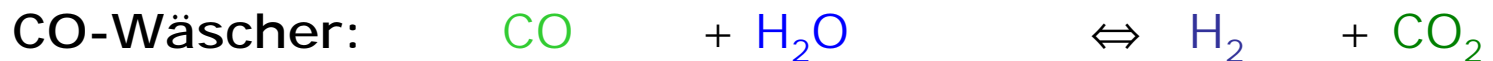
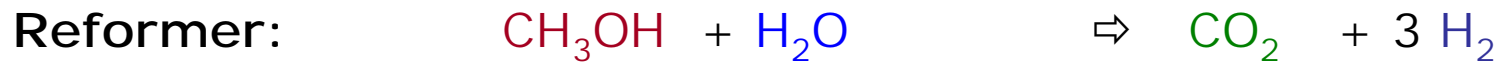
oberer Heizwert: $\sim 12.000 \text{ kJ/m}_n^3$

Reformierung

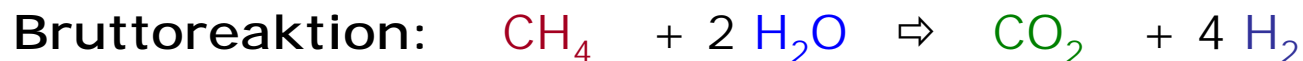
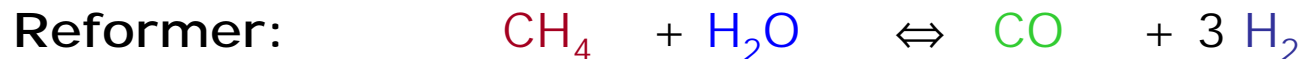




Methanol-Reformierung

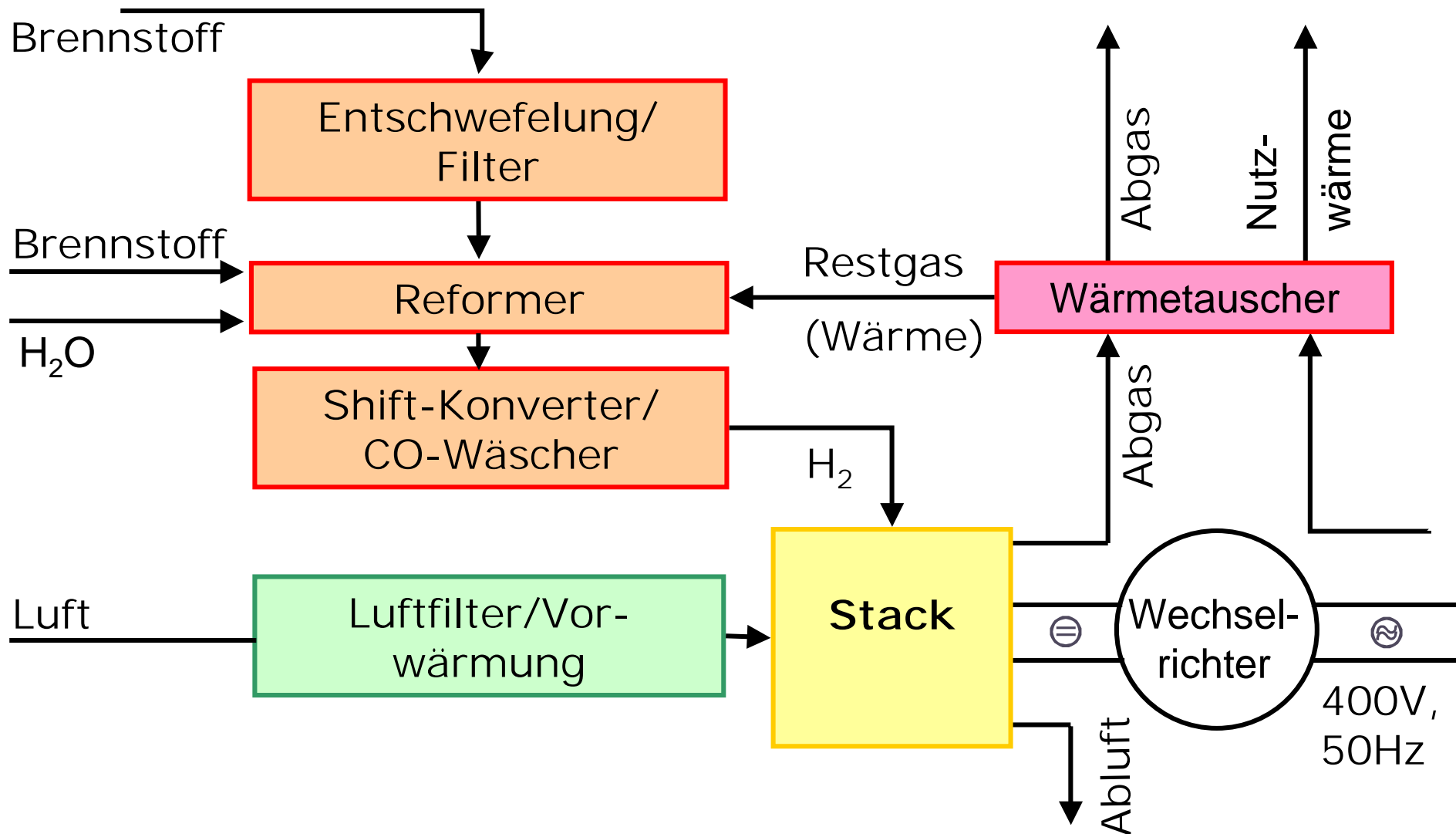


Erdgas-Reformierung





Prozessschaltbild einer Brennstoffzellen-Anlage

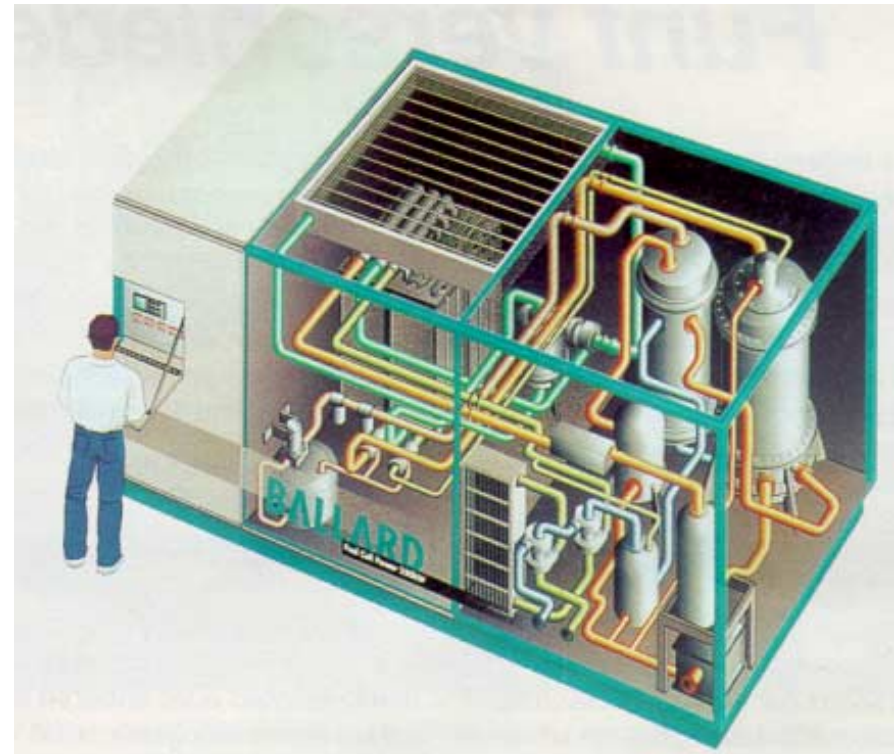




Brennstoffzellen als BHKW



250kW_{el} PEM-System (Ballard) für
Haustechnik (Kraft-/Wärmekopplung)

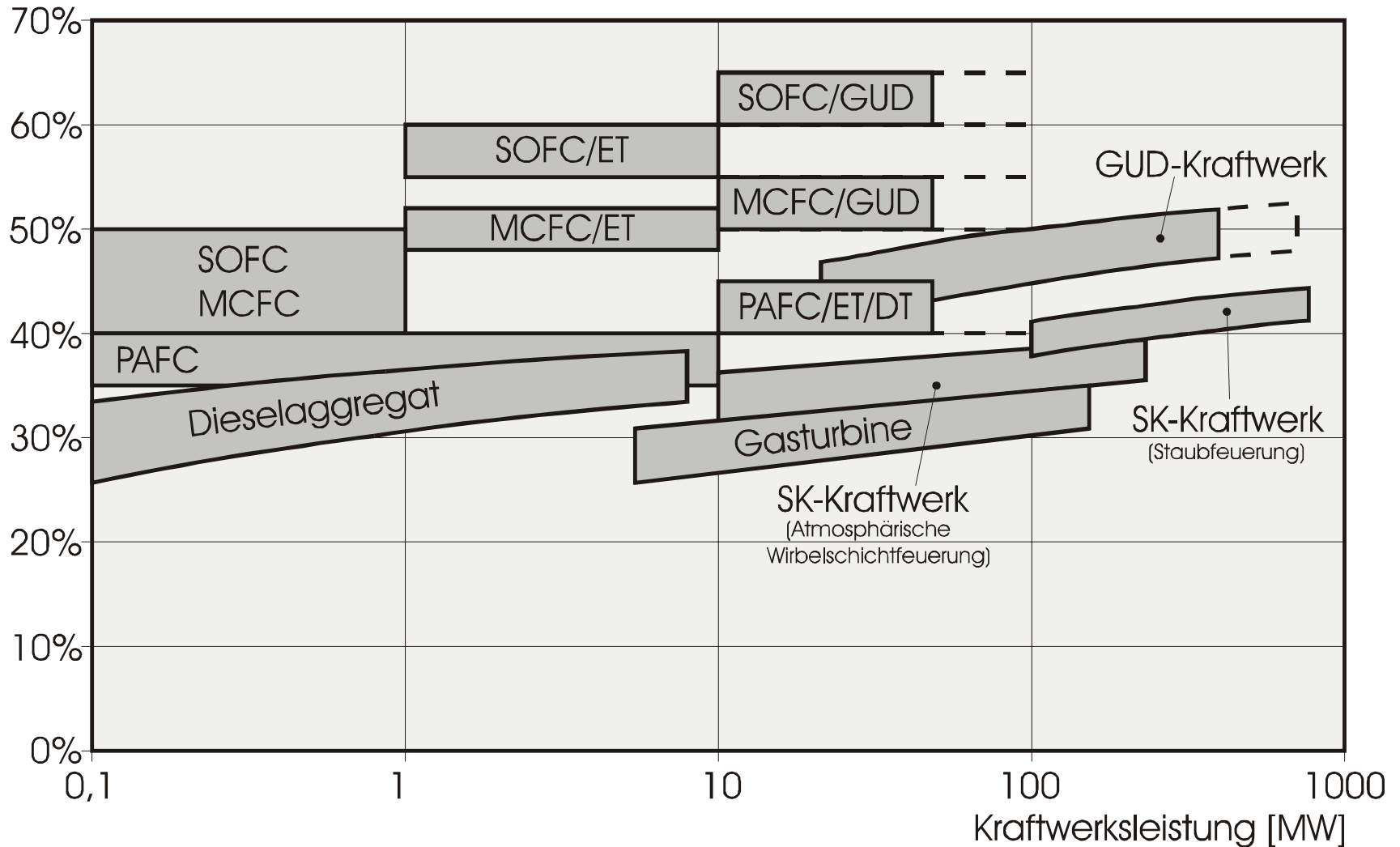


Schnittbild einer 100 kW_{el}-Anlage
(Ballard)



Wirkungsgrade verschiedener Stromerzeugungsanlagen

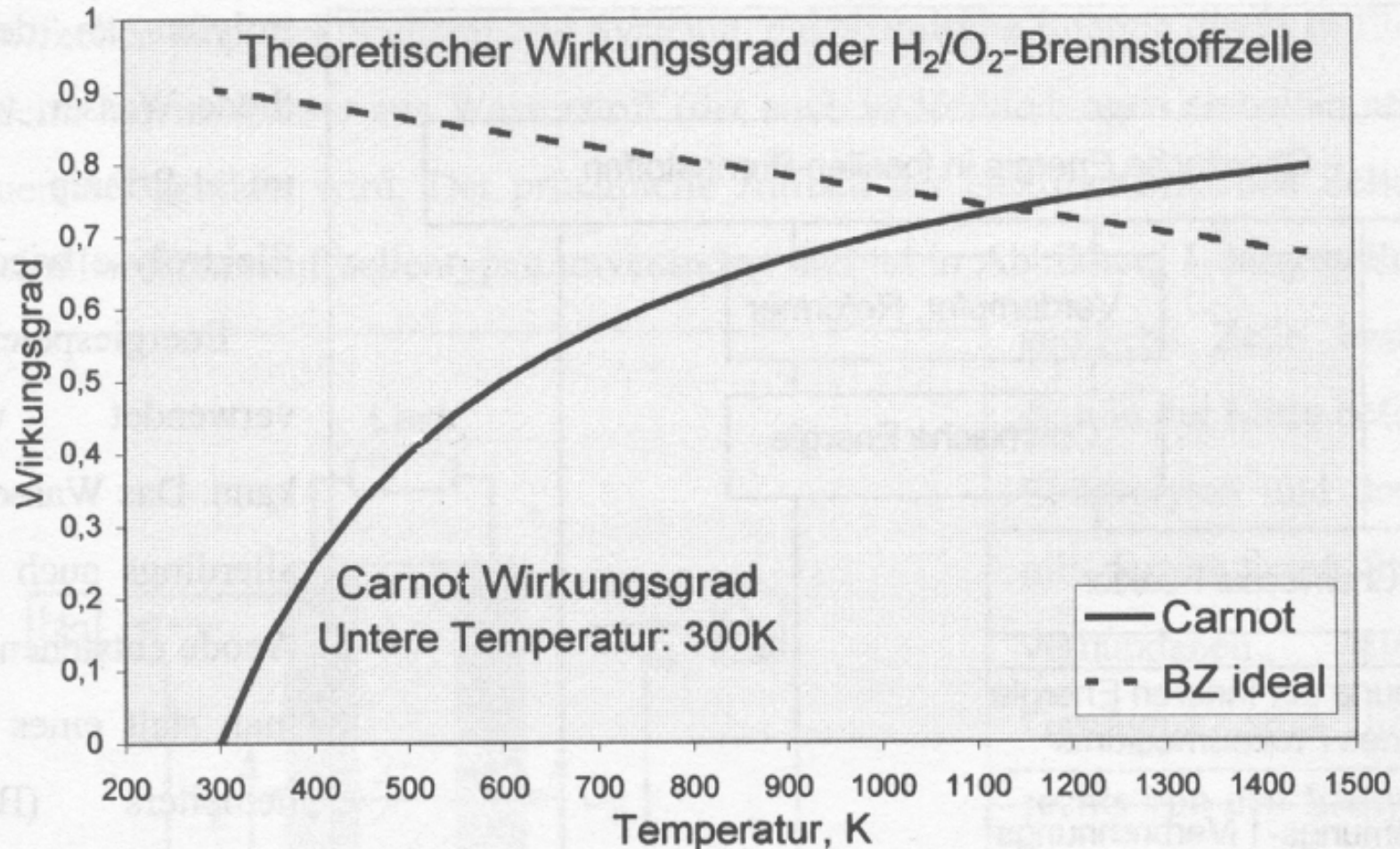
Wirkungsgrad

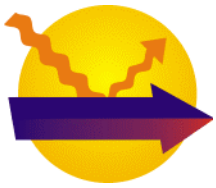




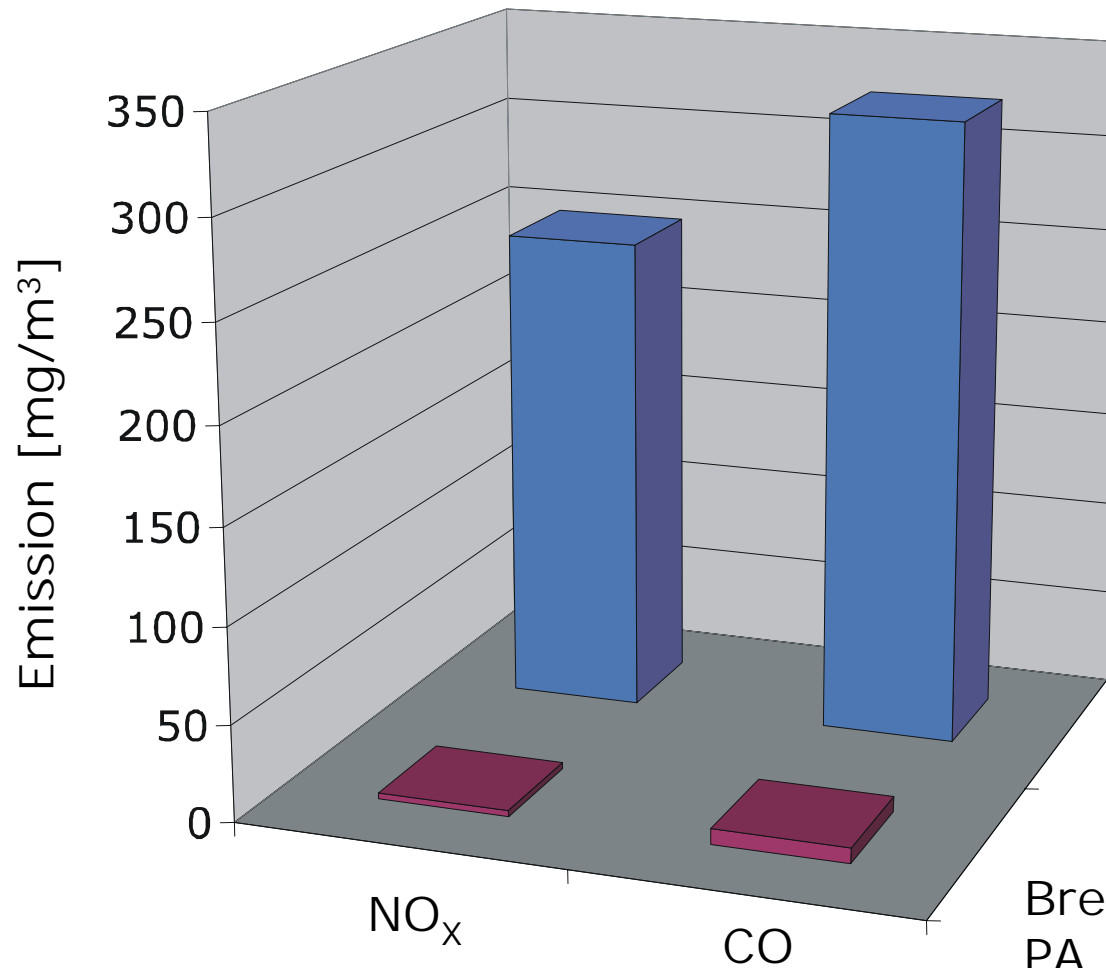
Carnot- und Brennstoffzellen-Wirkungsgrad im Vergleich

Wirkungsgrade





Emissionen im Vergleich



BHKW mit
Verbrennungsmotor
(0,5 TA Luft)

Brennstoffzelle
PA 25 C (Fa. ONSI)