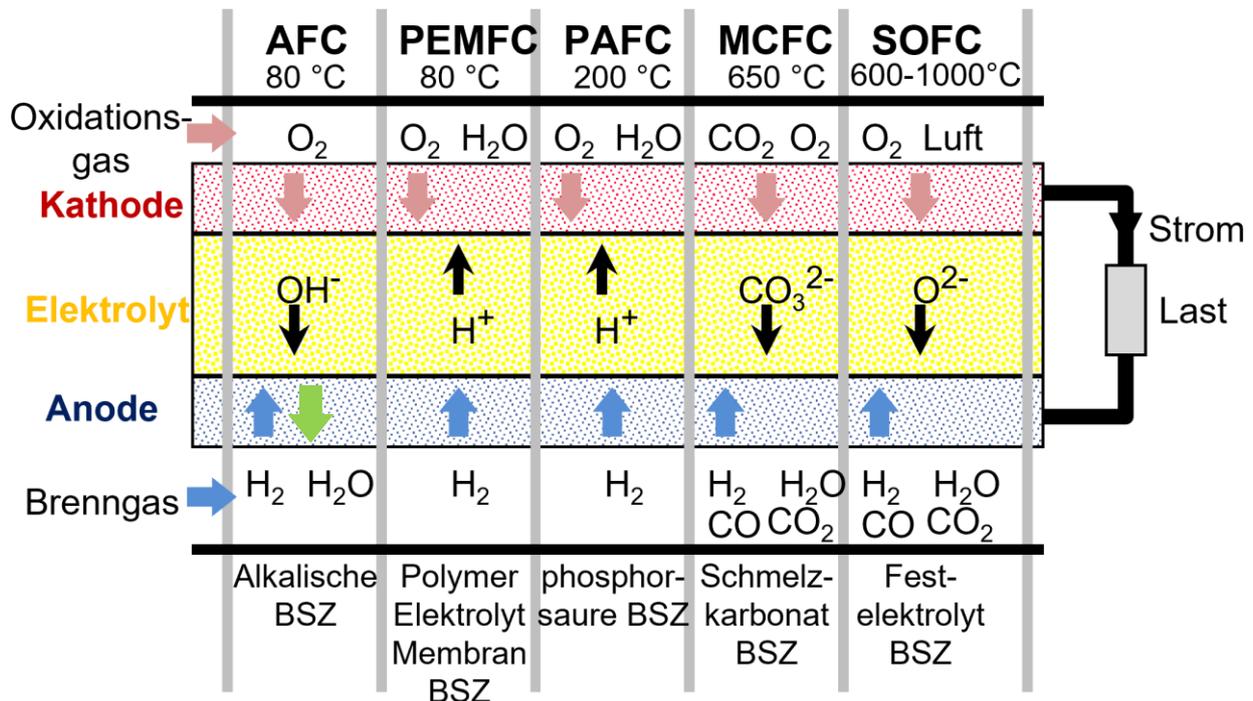


## 1. Übung Batterien und Brennstoffzellen

- Die Zellspannung ist von verschiedenen Faktoren abhängig.
  - Wie berechnet man die Standardruhespannung  $U^{00}$  einer BSZ abhängig von der **Reaktionsenthalpie**?
  - Leiten Sie die Abhängigkeit von  $U^0$  von den **Partialdrücken** auf Anoden- und Kathodenseite für den Fall einer SOFC her (Ionen-transport im Elektrolyt:  $O^{2-}$ ).
  - Berechnen Sie die Ruhespannung  $U^0$  einer Brennstoffzelle für den Fall  $T = 298 \text{ K}$ ,  $p_{O_2Kat} = 0.21 \text{ bar}$ ,  $p_{H_2An} = 0.97 \text{ bar}$ ,  $p_{H_2Oan} = 0.03 \text{ bar}$ .  $F = 93415,3 \text{ C mol}^{-1}$ ,  $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . Nutzen Sie auch Tabelle 7.
- Geben Sie die **Halbzellenreaktionen** der Anoden- und Kathodenseite folgender Brennstoffzellentypen an. Ergänzen Sie hierfür zunächst einen Pfeil, welcher anzeigt, wo die Reaktionsprodukte gebildet werden (siehe grüner Pfeil bei AFC).



- Eine Brennstoffzelle (SOFC) mit  $16 \text{ cm}^2$  aktiver Elektrodenfläche wird mit  $1000 \text{ ml/min}$  Brenngas ( $55 \% \text{ H}_2$ ,  $45 \% \text{ H}_2\text{O}$ ) bei einer Temperatur von  $25^\circ\text{C}$  und  $1 \text{ bar}$  versorgt. Nehmen Sie an, dass das Brenngas als ideales Gas angenähert werden kann. Die Zelle wird bei  $P_{Zelle} = 15.36 \text{ W}$  und  $1.2 \text{ A/cm}^2$  betrieben. Berechnen Sie die **Brenngasausnutzung** sowie das **stöchiometrische Verhältnis  $\lambda$** !

4. Die UI-Kennlinie einer Wasserstoff-Brennstoffzelle beschreibt die Arbeitsspannung der Zelle über den gelieferten Gleichstrom.
- Skizzieren Sie die UI-Kennlinie einer BSZ.
  - Welche Verlustanteile gibt es in der BSZ und was sind deren Ursachen?
  - Wie verändert sich die UI-Kennlinie mit steigender Temperatur?
5. Berechnen Sie die ohmschen Verluste der verschiedenen SOFC Brennstoffzellenkonzepte bei einer Temperatur von 950°C. Kontaktwiderstände zwischen den Materialien können vernachlässigt werden.

Angaben:

$$\sigma_{ion,YSZ} = 12 \text{ S/m}$$

$$\sigma_{electron,Ni} = 10^5 \text{ S/m}$$

$$\sigma_{electron,LSM} = 10^4 \text{ S/m}$$

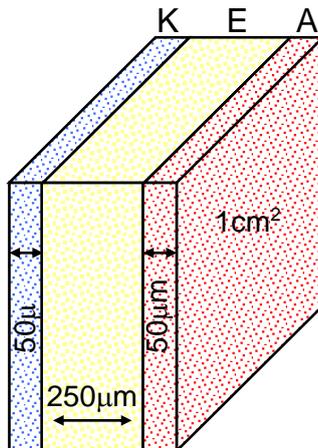
$$\tau_{Anode} = 1.3$$

$$\varepsilon_{Anode} = 30\%$$

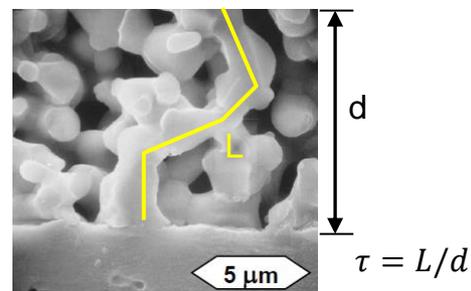
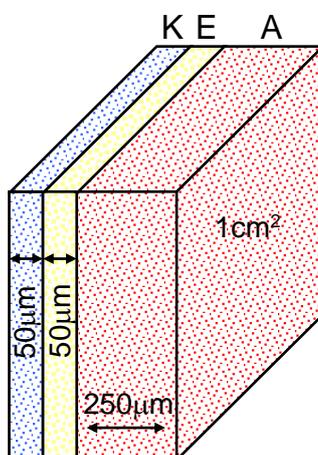
$$\tau_{Kathode} = 1.4$$

$$\varepsilon_{Kathode} = 40\%$$

1. Geometrie der elektrolytgestützten Zelle:



2. Geometrie der anodengestützten Zelle:



**Hinweis:** Die effektive Leitfähigkeit eines Materials berechnet sich aus der Porosität des Materials und dem Umwegfaktor  $\tau$  (Tortuosität) mit der Gleichung

$$\sigma_{eff} = \sigma \cdot (1 - \varepsilon_{Por}) / \tau_{Mat}.$$

## Component data for some gases

	$M$ [g/mol]	$T_b$ [K]	$\Delta_{\text{vap}}H$ [kJ/mol]	$T_c$ [K]	$p_c$ [bar]	$C_p^\ominus$ [J/K mol]	$\Delta_f H^\ominus$ [kJ/mol]	$\Delta_f G^\ominus$ [kJ/mol]
$CH_4(g)$	16.04	111.7	8.17	190.6	46.0	35.31	-74.81	-50.72
$C_2H_4(g)$	28.05	169.4	13.53	282.3	50.4	43.56	+52.26	+68.15
$C_2H_6(g)$	30.07	184.6	14.70	305.5	48.7	52.63	-84.68	-32.82
$C_3H_8(g)$	44.10	231.0	19.04	369.8	42.5	73.50	-103.85	-23.49
$C_6H_6(g)$	78.12	353.2	30.72	562.0	49.0	136.1	+49.0	+124.3
$CO(g)$	28.01	81.7	6.04	132.9	34.5	29.14	-110.53	-137.17
$CO_2(g)$	44.01	*	*	304.1	73.7	37.11	-393.51	-394.36
$HCHO(g)$	30.03	253.8	24.48	408	66	35.40	-108.57	-102.53
$CH_3OH(g)$	32.04	337.7	35.21	512.6	81.0	43.89	-200.66	-161.96
$C_2H_5OH(g)$	46.07	35.56	351.8	513.9	61.5	65.44	-277.69	-174.78
$H_2(g)$	2.016	20.3	0.89	33.2	13.0	28.82	0	0
$H_2O(g)$	18.015	373.15	40.68	647.1	220.6	33.58	-241.82	-228.57
$O_2(g)$	32.00	90.1	6.82	154.5	50.4	29.36	0	0
$O_3(g)$	48.00	161.8	14.20	261.0	55.7	39.20	+142.7	+163.2
$Ar(g)$	39.95	87.3	6.43	150.9	49.0	20.79	0	0
$Cl_2(g)$	70.91	239.1	20.41	417.0	77.0	33.91	0	0
$HCl(g)$	36.46	188.2	16.15	324.7	83.1	29.12	-92.31	-95.30
$He(g)$	4.003	4.30	0.08	5.19	2.27	20.79	0	0
$N_2(g)$	28.01	77.4	5.58	126.2	33.9	29.13	0	0
$NO(g)$	30.01	121.4	13.78	180.0	64.8	29.84	+90.25	+86.55
$NO_2(g)$	46.01	294.3	16.55	431.4	101	37.20	+33.18	+51.31
$NH_3(g)$	17.03	239.8	23.35	405.4	113.5	35.06	-46.11	-16.41
$H_2S(g)$	34.08	212.8	18.68	373.4	89.6	34.23	-20.63	-33.56
$SO_2(g)$	64.06	263.1	24.94	430.8	78.8	39.87	-296.83	-300.19

\*  $CO_2$  has no normal boiling point because it does not exist as liquid for pressures below 5.2 bar (triple point pressure). At 1 atm,  $CO_2$  sublimates (goes directly from solid to vapor) at 195 K.

- The table gives the molar mass ( $M$ ), normal boiling temperature at 1 atm ( $T_b$ ), heat of vaporization ( $\Delta_{\text{vap}}H$ ) at  $T_b$ , critical temperature ( $T_c$ ), critical pressure ( $p_c$ ), ideal gas heat capacity  $C_p^\ominus(298)$ , standard enthalpy (heat) of formation  $\Delta_f H^\ominus(298)$  and standard Gibbs energy of formation  $\Delta_f G^\ominus(298)$ . The latter three are for the standard state as ideal gas at  $p^\ominus = 1$  bar and 298.15 K.
- Since the data in this table are for gases,  $\Delta_f H^\ominus$  and  $\Delta_f G^\ominus$  are the enthalpy and Gibbs energy of reaction for forming the component as ideal gas from the elements in their standard state (everything at 1 bar and 298.15 K). The standard states for the elements in the table are:  $H_2(g)$ ,  $N_2(g)$ ,  $O_2(g)$ ,  $C(s, \text{graphite})$  and  $S(s, \text{rhombic})$ . For example, for methanol, the formation reaction is  $C(s, \text{graphite}) + 2H_2(g) + 0.5O_2(g) = CH_3OH(g)$ .

Abbildung 7: Stoffdaten nach Atkins, Physikalische Chemie