

Herbst 2016

Elektrochemie

Prof. Petr Novak

Übung 9: Elektrolyse und Galvanotechnik

Assistent:

Michel Suermann

OSUA/208

5232 Villigen PSI

056 310 5763

michel.suermann@psi.ch

Aufgabe 1

Im Zuge der Energiestrategie 2050 hat die Schweiz beschlossen, endliche Energieressourcen (Uran, Erdgas, Erdöl) durch erneuerbare Energiequellen (Biomasse, Wind, Wasser, Solar) weitestgehend zu ersetzen. Hierbei wird die Wasser-Elektrolyse in Wasserstoff und Sauerstoff (Alkalische, *polymer electrolyte membrane* PEM, *solid oxide electrolysis cell* SOEC) als Schlüsseltechnologie betrachtet.

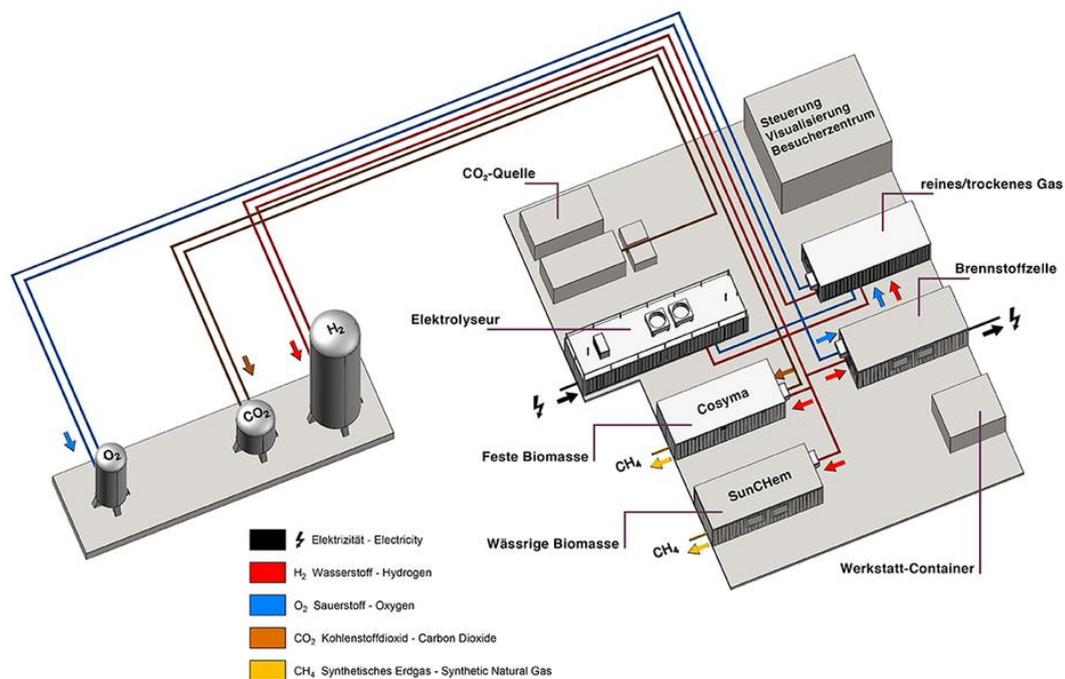


Abb. 1: Energy System Integration (ESI) Plattform am PSI.

a) Erklären Sie stichwortartig, warum die Speicherung von (elektrischer) erneuerbarer Energie in chemischer Energie zunehmend wichtiger wird? (1P)

b) In diesem Kontext wurde am PSI eine Pilotanlage mit dem Namen „Energy System Integration“ (ESI) aufgebaut (s. Abb. 1). Hierbei wird u. a. elektrischer Strom aus einer Photovoltaik-Anlage bzw. aus dem Stromnetz zur PEM-Elektrolyse von Wasser verwendet. Geben Sie die dazugehörige Anoden-, Kathoden- und Gesamtreaktion an. **(1.5P)**

c) Berechnen Sie die theoretische reversible Zellspannung (E_{rev}^0 , nur elektrischer Bedarf) und die thermoneutrale Zellspannung (E_{th}^0 , elektrischer und Wärmebedarf) mithilfe der Gibbs-Energie ($\Delta_r G^0 = 237 \text{ kJ/mol}$) und der Reaktionsenthalpie ($\Delta_r H^0 = 286 \text{ kJ/mol}$). **(1P)**

d) Der an der ESI-Plattform hergestellte Wasser- und Sauerstoff soll in Gastanks zwischengespeichert werden. Bei Bedarf können diese Gase mithilfe einer Brennstoffzelle zurückverstromt und ins Stromnetz eingespeist werden. Nennen Sie 3 weitere Möglichkeiten/Anwendungen, wofür der hergestellte Wasserstoff verwendet werden kann? **(1.5P)**

Aufgabe 2

Üblicherweise bestehen bei der PEM-Elektrolyse die Membranen aus einem stark sauren, sulfonierten Tetrafluorethylen-Polymer (wie z. B. Nafion, s. Abb. 1). Neben der Membran werden weitere Bauteile wie Stromaufnehmer und Bipolarplatte benötigt (s. Abb. 2). Diese bestehen meist aus Titan. Bei der PEM-Elektrolyse werden an der Anode Spannungen von ca. 1,4 bis 1,8 V erreicht. Zum Schutz können die Oberflächen der Bauteile z. B. galvanisch mit Platin, Gold oder Titannitrit überzogen werden.

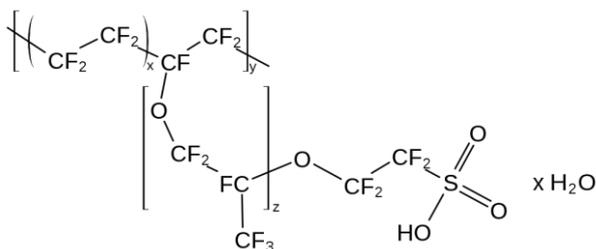


Abb. 2 Strukturformel Nafion

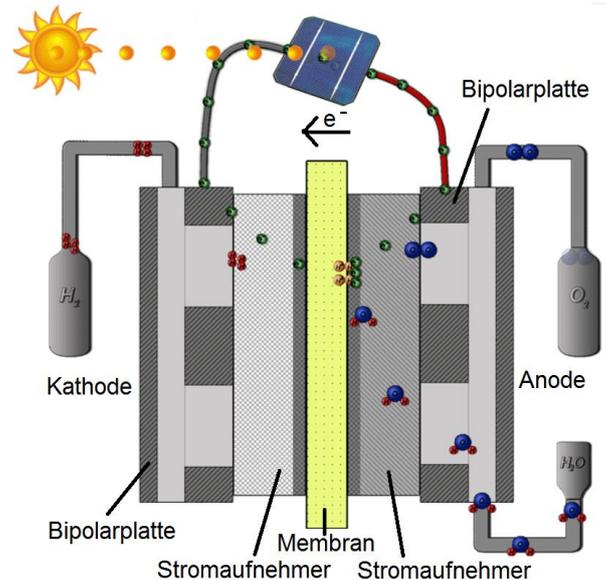


Abb. 3 Prinzipskizze PEM-Elektrolyse

a) Nennen Sie mindestens eine Eigenschaft, welche die drei obigen Beschichtungen gemeinsam haben und beziehen Sie es auf die Funktion der Bauteile der Zelle (s. Abb. 2 & 3). (1P)

b) Bei dem Stromaufnehmer handelt es sich meist um eine poröse Struktur aus Titan. An dessen Oberfläche bildet sich eine Titandioxid-Schicht aus. Diese Schicht kann zwar den Bedingungen in der elektrochemischen Zelle trotzen, warum ist es dennoch vorteilhaft diese TiO_2 -Schicht vor dem Galvanisieren zu entfernen? (1P)

c) Nennen Sie eine Möglichkeit diese Schicht zu entfernen! (1P)

d) Dank der festen Membran kann die PEM-Elektrolyse sowohl unter Differenzdruck ($p(\text{H}_2) > p(\text{O}_2)$) als auch unter Gleichdruck ($p(\text{H}_2) = p(\text{O}_2)$) betrieben werden. So wird z. B. innerhalb ESI-Anlage der Elektrolyseur mit bis zu 50 bar Gleichdruck betrieben und die produzierten Gase anschliessend aufgereinigt/getrocknet und in Gastanks gespeichert. Nennen Sie jeweils 2 Vor- und Nachteile in Bezug auf Herstellung, Lagerung, Sicherheit, usw. (2P)

Aufgabe 3

Im Folgenden soll die Elektrolyse von in Bauxit enthaltenem Al_2O_3 (etwa 60% Anteil im Bauxit) untersucht werden. Um den Schmelzpunkt von Al_2O_3 (ca. 2050°C) zu senken wird als Elektrolyt flüssiges Kryolith (Na_3AlF_6) benutzt, dadurch reichen schon etwa 950°C .

a) Geben Sie die Primär- und gegebenenfalls (wichtigsten!) Sekundär-Reaktionen an der Kathode und Anode (Graphit), sowie die Gesamtreaktion an. (Tipp: Das Kryolith bildet nur in sehr geringer Menge Nebenprodukte (welche z.B.?) und kann für die Betrachtung der Reaktionen vernachlässigt werden)

b) Berechnen Sie wie viel Energie (in kWh), wie viel Bauxit und wie viel Graphit (an der Anode) zur Herstellung von 1 t Aluminium notwendig ist. Wie lange könnte ein Schweizer Durchschnittsbürger mit diesem Strom auskommen (pro Kopf Verbrauch 2007: 7540 kWh)? (Die Stromausbeute bei der Elektrolyse liegt bei 95%, die Spannung beträgt 5 V).