



Hochschule Kempten
University of Applied Sciences

**Tutorial „Hydrogen Production“ (HYTECH)
WS 2023/2024
Energietechnik (M. Eng.)**

Datum:

28.10.2025

Tipp: Für Naturkonstanten, Stoffgrößen, etc. können Sie die Vorlesungsfolien und/oder das Internet nutzen.

1. Produktion von Wasserstoff

a) Nennen Sie drei Methoden zur klimaneutralen Produktion von Wasserstoff:

1: _____

2: _____

3: _____

b) Welche Methoden können unter welchen Voraussetzungen sogar „klima-positiv“ sein?

2. Einsatz von Wasserstoff

- a) Nennen Sie drei Anwendungen von grünem Wasserstoff, welche zu einer Verringerung von CO₂ Emissionen führen.

1: _____

2: _____

3: _____

- b) Nennen Sie jeweils ein Beispiel für eine Anwendung, bei welcher der Einsatz von grünem Wasserstoff zur Dekarbonisierung Alternativlos erscheint, und eine, bei welcher es technische Alternativen gibt.

3. Methan-Dampf-Reformierung

Abbildung 1 zeigt schematisch einen Reaktor zur Methan-Dampf-Reformierung zur Gewinnung von Wasserstoff.

- Füllen Sie die Reaktionsgleichungen des Reformations-Schrittes von Methan (1), der partiellen Oxidation von Methan (2) sowie der Wassergas-Shiftreaktion (3) in das Schema in Abbildung 1.
- Nehmen Sie einen Reaktor ohne partielle Oxidation (Schritt 2) an. Wieviel CO_2 (in kg) wird je produziertem Kilogramm Wasserstoff frei?
- Was bedeutet „Autothermale Reformierung“?

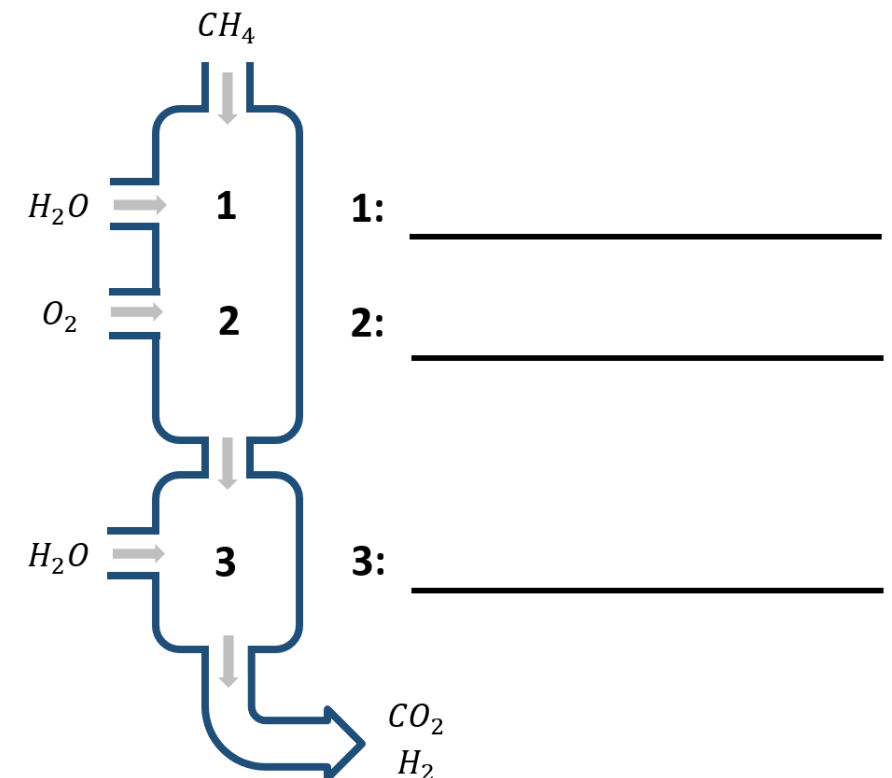


Abbildung 1: Schematische Zeichnung eines Methan-Dampf-Reformers inklusive des Reformationsschrittes (1), einer partiellen Oxidation von Methan (2) und einer Wassergas-Shiftreaktion.

4. Elektrochemische Methan-Dampf-Reformierung

In der Vorlesung haben wir gelernt, dass die Methan-Dampf-Reformierung (Reaktion 1 in Aufgabe 3) ebenfalls eine Redoxreaktion ist. Nehmen Sie an, es gäbe eine Technologie, wie man diese Reaktion auch elektrochemisch „antreiben“ könnte. Nehmen Sie an, Sie betreiben den Prozess bei Raumtemperatur (25 °C).

- a) Wie wäre hierbei die Gleichgewichtsspannung in V?
- b) Wäre dieser Prozess bei dieser Spannung eine Wärmequelle oder eine Wärmesenke?
- c) Bei welcher Spannung wäre der Prozess „thermoneutral“?

5. PEM Elektrolyse (Einzelzelle)

Sie produzieren Wasserstoff mittels Protonen-Austausch-Membran Wasserelektrolyse (PEMWE). Die kinetischen Verluste Ihres Elektrolyseurs sind in Abbildung 3 charakterisiert. Sie ermitteln, dass die Ohm'schen Verluste des Elektrolyseurs $0,2 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}^2$ betragen. Der Elektrolyseur besteht aus 200 Zellen mit jeweils 500 cm^2 aktiver Fläche.

- Zeichnen Sie die Polarisationskennlinie des Elektrolyseurs in das Diagramm in Abbildung 2.
- Wie ist die Minimalspannung für die Wasserspaltung bei Standardbedingungen (25°C , Atmosphärendruck)? Wird bei dieser Spannung Wärme frei? Begründen Sie!
- Bei welcher Spannung wird keine Wärme mit der Umgebung ausgetauscht?
- Um wie viel V ändert sich die Gleichgewichtsspannung, wenn Sie von der Temperatur bei Standardbedingungen (25°C) abweichen, und den Elektrolyseur bei 85°C betreiben? Tipp: Die Änderung der Spannung mit der Temperatur erhalten Sie durch Ableiten nach T!
- Zeichnen Sie die Polarisationskennlinie für 85°C in das Diagramm unten.
- Welche Implikationen (qualitativ) hat die Temperaturerhöhung aus d) auf die elektrische Effizienz des Elektrolyseurs?

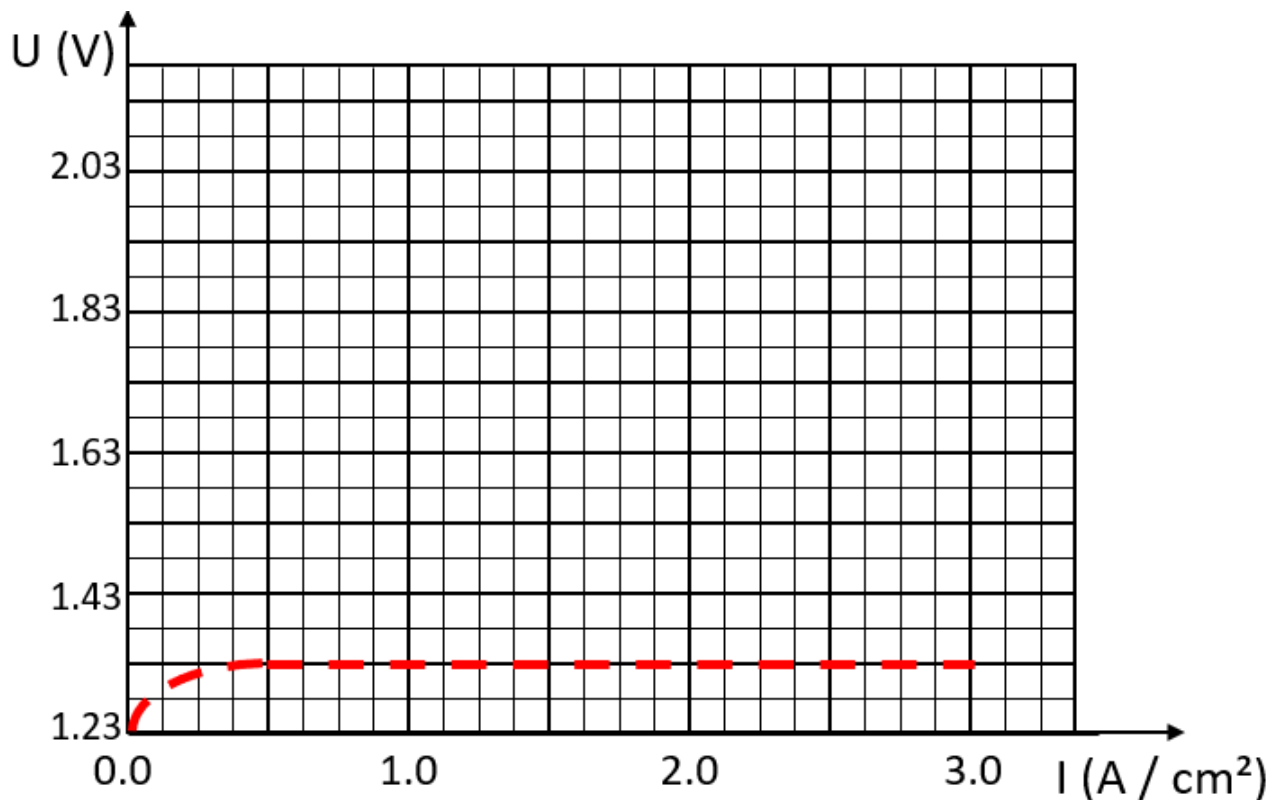


Abbildung 2: Polarisationskurve Elektrolyseur.

6. PEM Elektrolyse (System)

Betrachten Sie ein Elektrolysesystem aus 24 Stacks. Jeder Stack besteht aus 300 Zellen, welche jeweils 1000 cm^2 Fläche haben. Der Elektrolyseur ist durch die unten gezeigte Polarisationskennlinie charakterisiert (Zelle „2“, sPPS).

- Wieviel Wasserstoff (in kg) kann das System pro Stunde produzieren? Berechnen Sie für die Betriebspunkte 1,65 V (blau) und 1,8 V (gelb).
- Welche elektrische Anschlussleistungen sind für die beiden Betriebspunkte jeweils nötig?
- Wie groß ist der Bedarf an elektrischer Energie (in kWh) pro kg Wasserstoff in den beiden Betriebspunkten?
- Berechnen Sie auf dieser Basis die Effizienz der beiden Betriebspunkte mit Bezug zum unteren Heizwert von Wasserstoff.
- Welche beiden Faktoren bestimmen, ob einer der beiden Betriebspunkte wirtschaftlicher ist als der andere? Erklären Sie!
- Wir betrachten den Betriebspunkt bei 1,65 V und nehmen an, dass der Elektrolyseur mit deutschem Netzstrom versorgt wird. Letzterer verursacht pro kWh ca. 450 g CO_2 . Wieviel CO_2 emittiert der Elektrolyseur pro produziertem kg Wasserstoff? Vergleichen Sie mit Aufgabe 3 b).

