

Praktikum Energietechnik

Brennstoffzellen

Praxisteil

Fakultät für Ingenieurwissenschaften
Lehrstuhl Energietechnik
Prof. Dr. rer. nat. Angelika Heinzel

Es werden ein Taschenrechner, Zeichenmaterial und Buntstifte benötigt.

Stand: Juli 2018

1. Versuchsaufbau

Der Brennstoffzellenstack, bestehend aus 8 in Reihe geschalteten Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen (PEMFC), wird anodenseitig mit Wasserstoff (H_2) und kathodenseitig mit Umgebungsluft betrieben. Bevor die Eduktgase dem Brennstoffzellenstack zugeführt werden, können diese wahlweise befeuchtet oder über einen Bypass direkt (trocken) dem Brennstoffzellenstack zugeführt werden (s. Abb. 1.1).

Zur Befeuchtung werden mit Wasser befüllte Glasbehälter von den Eduktgasen durchströmt. Dabei werden die Eduktgase mithilfe einer Fritte in die Glasbehälter geleitet. Die Glasbehälter werden durchgehend über Heizplatten beheizt, sodass das Wasser auf eine Temperatur zwischen 60 und 90°C erwärmt wird. Nach Durchströmen des Wassers, wobei Wasserdampf in die Gasblasen diffundiert, werden die befeuchteten Gase dem Brennstoffzellenstack zugeführt. Um das Kondensieren des Wasserdampfes zu verhindern, werden die Gaszuleitungen zum Brennstoffzellenstack isoliert und mittels eines Heizdrahtes, der unter der Isolierung um die Zuleitung gewickelt wird, erhitzt (Begleitheizung). Über Sensoren können die relative Feuchte und die Temperatur der Eduktgase vor Eintritt in den Brennstoffzellenstack sowie die Temperatur vor und nach der Befeuchtung überwacht werden.

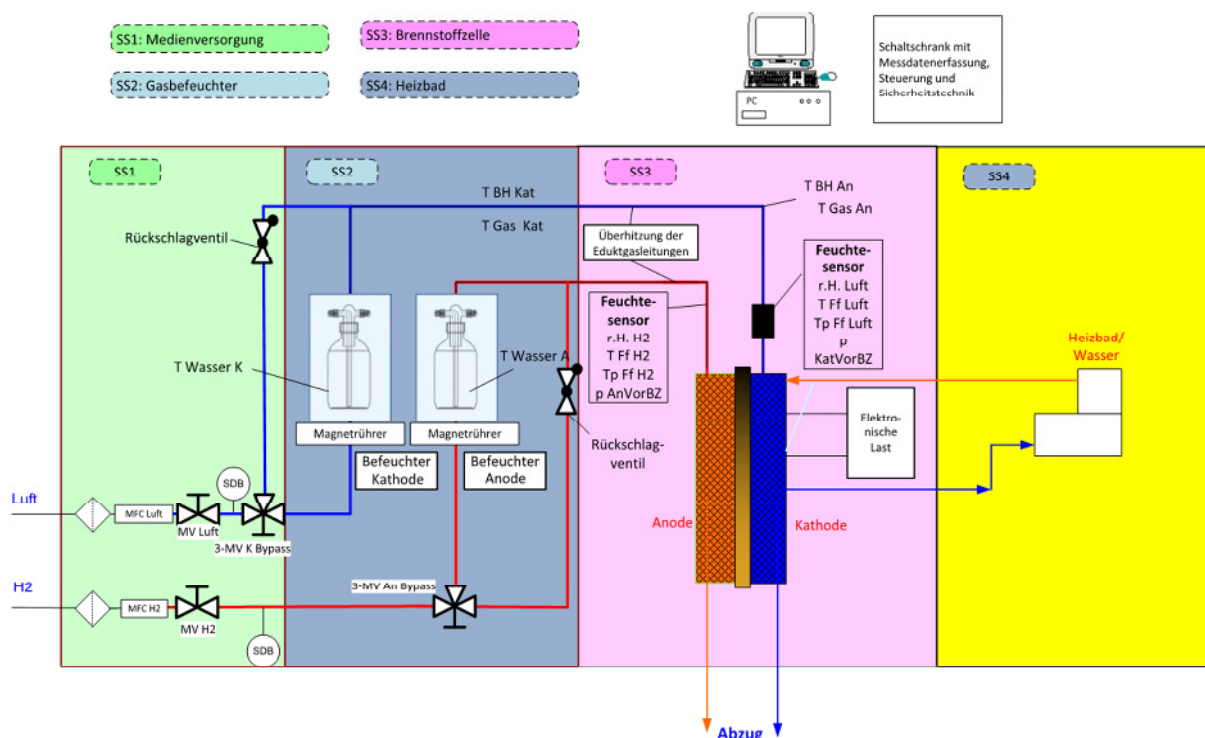


Abb. 1.1: Schematischer Versuchsaufbau: Brennstoffzelle mit Peripheriegeräten

Die Zuflussmengen der Eduktgase können mittels zweier Mass-Flow-Controller (MFC) reguliert werden. Den MFC ist jeweils ein Magnetventil nachgeschaltet. Über ein weiteres 3/2-Wegeventil können die Eduktgase jeweils entweder durch die Befeuchter oder über einen Bypass direkt in den Brennstoffzellenstack geleitet werden. Der Druck der Eduktgase kann ebenfalls vor und nach den Befeuchtern über Drucksensoren kontrolliert werden. Die Produktgase werden über einen Abzug abgeleitet.

Der Zellstack (s. Abb. 1.2) wird während des Betriebs über ein externes Heizbad auf die gewünschte Betriebstemperatur erwärmt/gekühlt. Die Zellspannungen der einzelnen Brennstoffzellen werden mithilfe von Spannungsmessgeräten separat gemessen. Der Strom kann über eine Senke (elektrische Last) variabel eingestellt werden. Alle Mess- und Regelgrößen können über die Benutzeroberfläche *LabView* auf einem Computer gespeichert und kontrolliert, bzw. variiert werden.

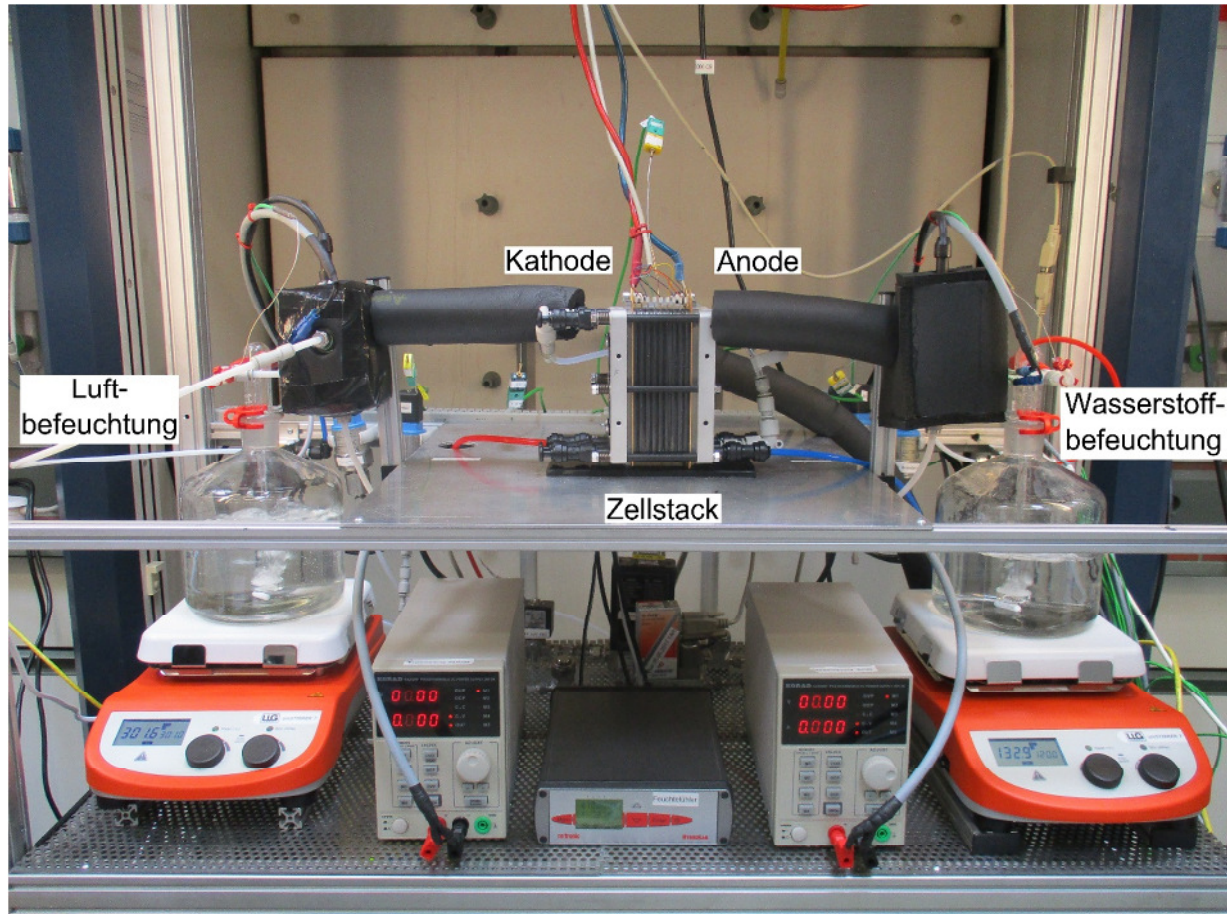


Abb. 1.2: Brennstoffzellen-Teststand

2. Versuchsdurchführung

Zu Beginn des Versuchs werden zunächst alle Apparaturen (Begleitheizung, Heizbad, Heizplatte, Druck-, Feuchte- und Temperatursensoren, Schaltschrank, sowie die Magnetrührer) eingeschaltet. Die Heizplatten sollten zu Beginn – aufgrund des schlechten Wärmeübergangs – auf eine Temperatur von ca. 300°C gestellt werden. Sobald das Wasser eine Temperatur von ca. 50°C (60°C) erreicht hat, sollen die Heizplatten so reguliert werden (zwischen 150 und 200°C), dass die Wassertemperatur konstant bei ca. 50°C (60°C) verweilt.

Danach wird auf dem Computer das Programm *LabView* gestartet. Mithilfe dieses Programms können alle weiteren Einstellungen direkt über den mit dem Schaltschrank verbundenen Computer vorgenommen werden (s. Abbildung 2.1). Die Begleitheizungen (Heizdrähte) sollten

auf eine Temperatur von ca. 55°C (65°C) eingestellt werden. Es ist wichtig, dass die Temperatur der Begleitheizung stets größer als die Temperatur der befeuchteten Eduktgase beim Ausgang aus den Glasbehältern ist. Dadurch soll das Kondensieren des Wasserdampfes verhindert werden. Das Heizbad zur Erwärmung/Kühlung des Zellstacks soll ebenfalls auf 50°C (60°C) eingestellt werden.

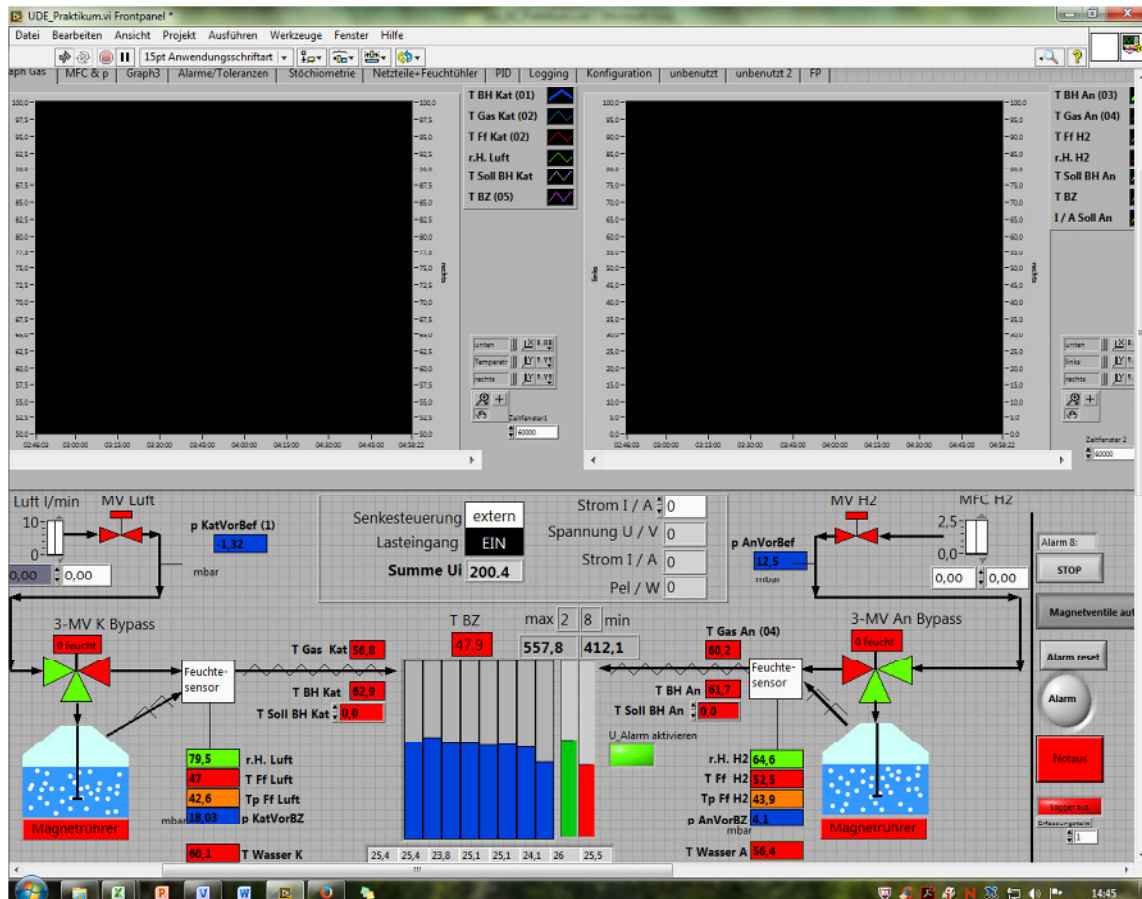


Abb. 2.1: Benutzeroberfläche LabView

Sind alle Temperaturen wie gewünscht eingestellt wird die Gaszufuhr (Anode: Wasserstoff, Kathode: Umgebungsluft) durch die Magnetventile geöffnet. Die Gasströme sollen dabei über die Mass-Flow-Controller so eingestellt werden, dass die Brennstoffzellen anoden- und kathodenseitig überstöchiometrisch betrieben werden. Im Betriebspunkt soll ein λ_{H_2} von 1,25 und λ_{O_2} von 2,25 (bezogen auf den umgesetzten Wasserstoff) erreicht werden.

Idealerweise wird eine Gasbefeuchtung von nahezu 100% (abhängig von Verweilzeit, Temperatur und Blasengröße) gemessen. Um auszuschließen, dass Wasserdampf an den Feuchtesensoren kondensiert, die Sensoren benetzt und somit verfälschte Feuchtigkeitswerte angezeigt werden, sollte die relative Gasbefeuchtung immer unter 100% betragen. Für den Fall, dass die Feuchtigkeit mit 100% gemessen wird, sollte die Gaszufuhr kurzzeitig durch das 3/2-Wegeventil auf den Bypass (trocken) umgestellt werden, bis der relative Feuchtewert wieder unter 100% sinkt.

Nachdem die Gaszufuhr reguliert wurde und alle Sensoren auf Funktion überprüft worden sind, kann über die LabView-Benutzeroberfläche die Senke (elektrische Last) zugeschaltet werden.

3. Aufgabenstellung/Experimente/Auswertung

1. Für den **ersten Versuch** sollen bei konstanter Temperatur (50°C) zwei Betriebspunkte ($I_1 = 10 \text{ A}$, bzw. $I_2 = 20 \text{ A}$) eingestellt und miteinander verglichen werden.

Berechnen Sie dazu vorab mithilfe der Formel 2.4 die Leistung des Brennstoffzellenstacks im Betriebspunkt 1 ($T = 50^\circ\text{C}$, $I_1 = 10 \text{ A}$, $\lambda_{\text{H}_2} = 1,25$, $\lambda_{\text{O}_2} = 2,25$) bei einer mittleren Zellspannung von 0,72 V und im Betriebspunkt 2 ($T = 50^\circ\text{C}$, $I_2 = 20 \text{ A}$, $\lambda_{\text{H}_2} = 1,25$, $\lambda_{\text{O}_2} = 2,25$) bei einer mittleren Zellspannung von 0,6V pro Zelle.

Berechnen Sie vorab anhand der Formel 5.3 den Stoffumsatz von Wasserstoff im Zellstack sowie den benötigten einzustellenden Volumenstrom von Wasserstoff für $\lambda_{\text{H}_2} = 1,0$ und $\lambda_{\text{H}_2} = 1,25$. Berechnen Sie den einzustellenden Luftvolumenstrom für $\lambda_{\text{O}_2} = 2,25$ bezogen auf den umgesetzten Wasserstoff ($\lambda_{\text{H}_2} = 1,0$) in den beiden Betriebspunkten 1 und 2.

2. Im **zweiten Versuch** soll die U-I-Kennlinie des Brennstoffzellensystems ermittelt werden. Hierfür werden unterschiedliche Betriebspunkte angefahren, für mindestens 5 Sekunden gehalten und die entsprechenden Daten Tab. 3.1 aufgezeichnet. Skizzieren Sie die U-I-Kennlinie in Abb. 3.1.
3. Zum Vergleich soll im **dritten Versuch** die U-I-Kennlinie des Brennstoffzellenstacks bei verändertem Temperaturniveau (60°C) in Tab. 3.1 dokumentiert und bewertet werden. Skizzieren Sie auch diese U-I-Kennlinie in Abb. 3.1.
4. Berechnen Sie dann den **Gesamtwirkungsgrad** des Brennstoffzellenstacks (bezogen auf H_u) in den Betriebspunkten 1 und 2. Verwenden Sie dazu zwei unterschiedliche Ansätze zur Ermittlung des Gesamtwirkungsgrades.

Benötigte Gleichungen

Leistung Stack:

$$P = n \cdot U \cdot I$$

Stoffumsatz Einzelzelle:

$$\dot{n} = \frac{I}{z \cdot F}$$

Stoffumsatz im Stack:

$$\dot{n}_{Stack} = \lambda \cdot n \cdot \dot{n}$$

Volumenstrom im Stack:

$$\dot{V}_{Stack} = \dot{n}_{Stack} \cdot V_m$$

Gesamtwirkungsgrad:

$$\eta_{Stack} = \frac{P_{el}}{\dot{n} \cdot H_{u,H_2}} = \frac{U_{Stack} \cdot I}{\dot{n} \cdot H_{u,H_2}}$$

$$\eta_{Stack} = \frac{\bar{U}_{Zelle}}{U_{th,u}} \cdot FU = \frac{\bar{U}_{Zelle}}{U_{th,u}} \cdot \frac{1}{\lambda_{H_2}}$$

Weitere Angaben:

Anzahl Zellen im Stack: $n = 8$

Sauerstoffanteil in Luft: 21 Vol-%

Molvolumen Idealgas: $22,414 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$

Unterer Heizwert H_2 : 241,8 kJ/mol

Anzahl der an der Reaktion beteiligte Elektronen:

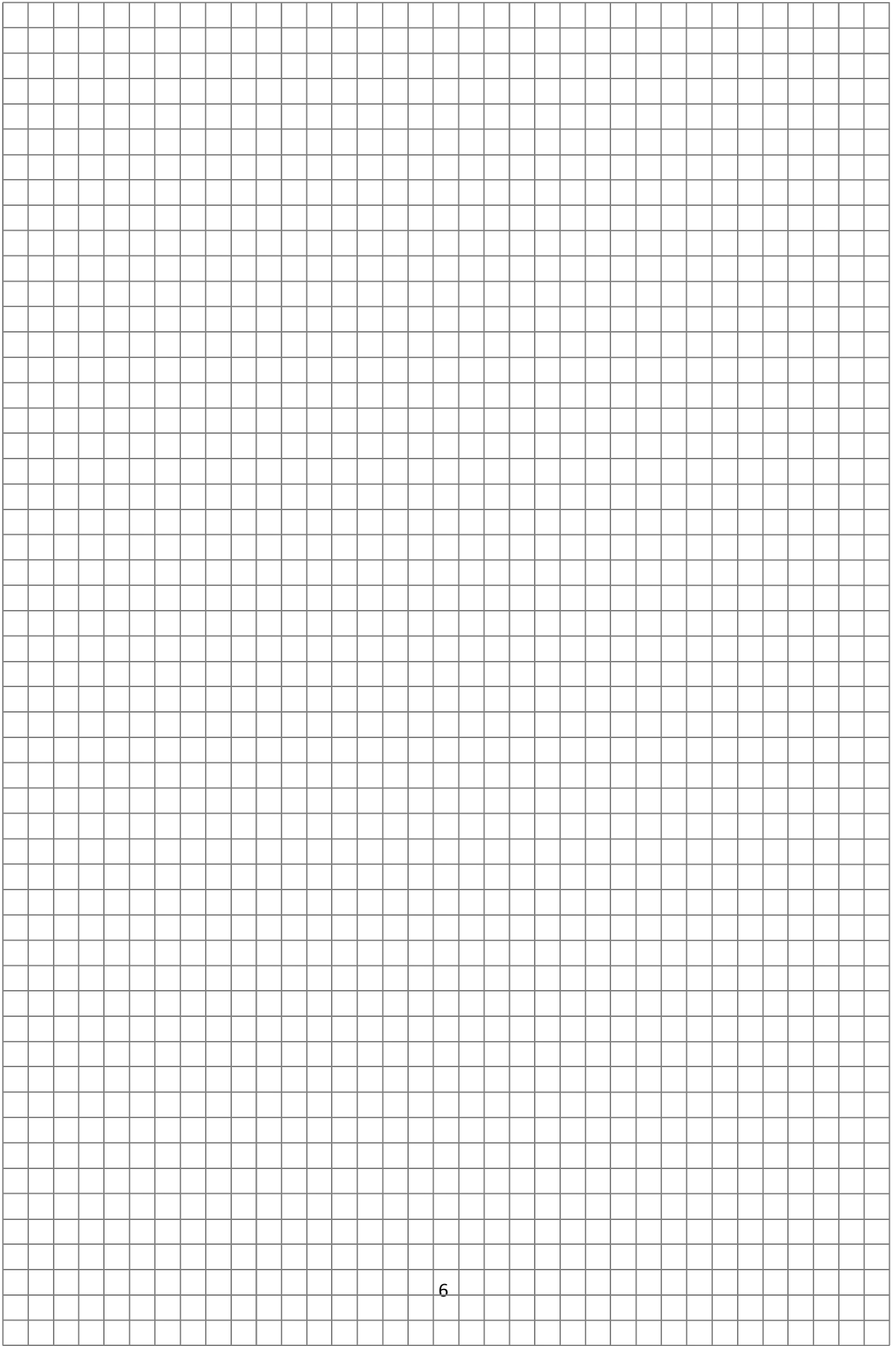
Faraday-Konstante: 96485,34 C/mol

Stickstoffanteil in Luft = 79 Vol-%

Molmasse Wasser: $M_W = 18,0153 \text{ g/mol}$

Thermoneutrale Spannung: $U_{th,u} = 1,25 \text{ V}$

$z=2$ (H_2); $z=4$ (O_2)



50°C	Strom	Spannung	Leistung
	[A]	[V]	[W]
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			

60°C	Strom	Spannung	Leistung
	[A]	[V]	[W]
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			

Tab. 3.1: Messwerte U-I-Kennlinie (50°C und 60°C)

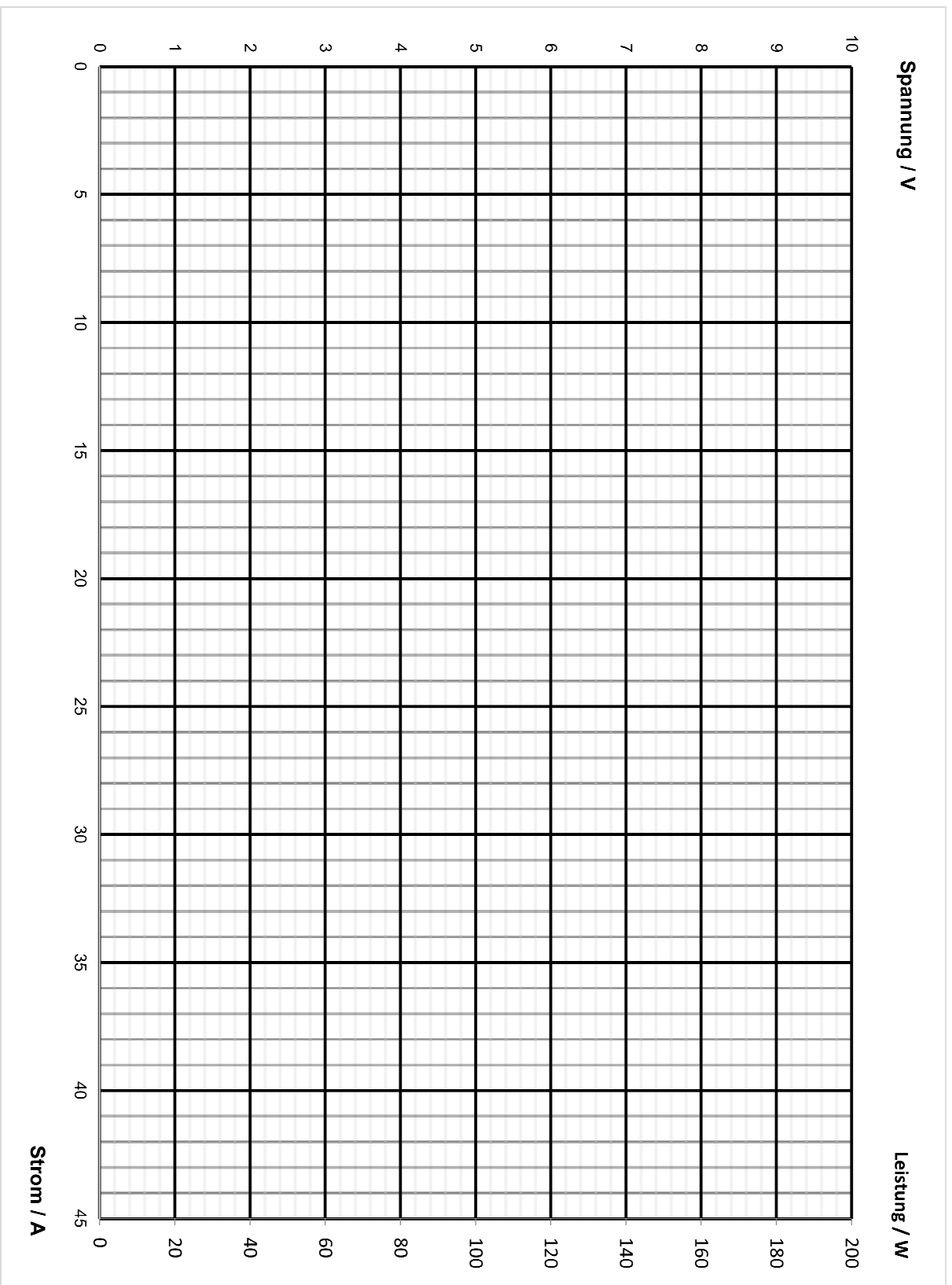


Abb. 3.1: Skizze U-I-Kennlinie und Leistung

Auszug aus der Laborordnung für das Brennstoffzellen-Praktikum

Die vollständige Laborordnung bleibt hiervon unberührt.

Die folgende Laborordnung soll der allgemeinen Sicherheit im Labor und am Versuchsstand dienen. Tätigkeiten im Labor dürfen nur nach entsprechender Einweisung durchgeführt werden, daher wird vor Versuchsbeginn eine kurze Einweisung zu den folgenden Punkten durchgeführt:

- Alarmsignale
- Flucht- und Rettungswege, Sammelpunkt
- Erste-Hilfe-Material
- Standort der Feuerlöscher und Telefone

Durch die Unterschrift in der Teilnehmerliste wird die Kenntnisnahme der Sicherheitshinweise und der erfolgten Unterweisung bestätigt.

1. Regeln für den Aufenthalt im Labor

Die Hochschule haftet nicht für persönliche und materielle Schäden, die nachweislich durch fahrlässiges oder vorsätzliches Verhalten entstanden sind. Ersatzansprüche gegen den Fachbereich sind ausgeschlossen.

Die folgenden Punkte sind während des kompletten Laboraufenthalts einzuhalten:

- Essen und Trinken ist im kompletten Labor untersagt.
- Keine offenen Flammen, Feuer oder offene Zündquellen.
- Es ist festes und geschlossenes Schuhwerk zu tragen.

2. Regeln zur Durchführung des Praktikumsversuchs

- Allen Anweisungen bzw. Maßnahmen des Betreuers sind Folge zu leisten.
- Während der Versuchsdurchführung ist ggf. eine Schutzbrille zu tragen (wird gestellt).
- Wird festgestellt, dass Einrichtungen oder Hilfsmittel sicherheitstechnisch nicht einwandfrei sind, so ist dieser Mangel unverzüglich dem zuständigen Betreuer zu melden.
- Ohne Aufforderung des Betreuers sind keine Veränderungen am Versuchstand vorzunehmen.

Das Nichtbeachten dieser Punkte kann zum Ausschluss vom Praktikum führen.