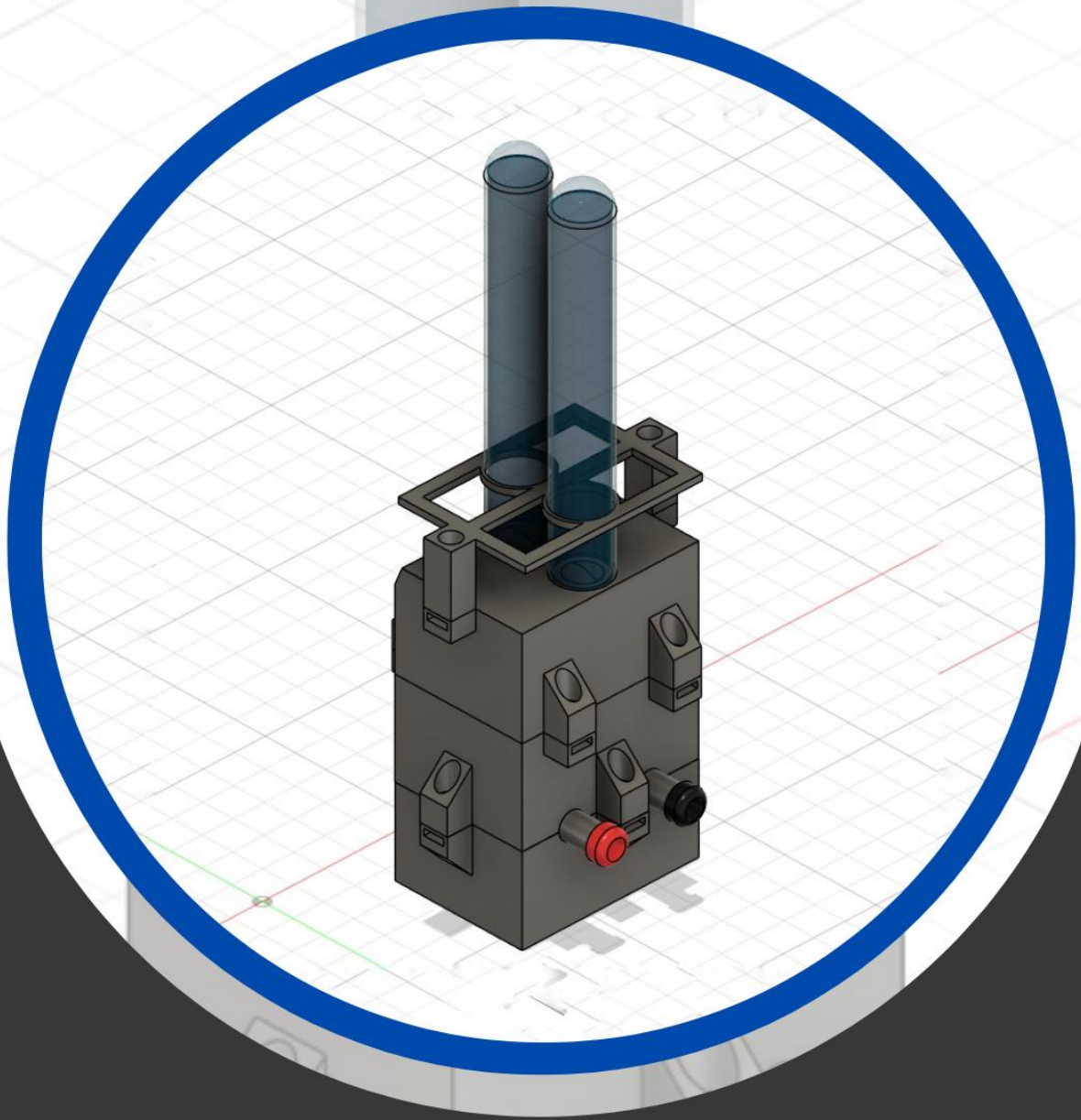
BAU DEINEN EIGENEN ELEKTROLYSEUR

ANLEITUNG



JONAS TRABER

www.tectraon.ch

info@tectraon.ch

by Tectraon

3. Auflage

Inhalt

1 Einleitung ... 3

2 Materialliste ... 4

2.1 Bau der Elektrolyseurkonstruktion ... 4

2.2 Experimente mit der Elektrolysekonstruktion ... 4

2.3 Bau des Elektrolyseurs ... 5

2.4 Einsatz des Elektrolyseurs ... 5

3 Sicherheitshinweis ... 6

3.1 Wasser und Strom – eine gefährliche Kombination ... 6

3.2 Wasserstoff – unsichtbar und leicht entflammbar ... 7

3.3 Säuren – von harmlos bis hoch ätzend ... 7

3.4 Graphit – leicht zerbrechlich ... 8

3.5 Abschlusshinweis ... 8

4 Bau der Elektrolysekonstruktion ... 9

4.1 Arbeitsplatz vorbereiten ... 9

4.2 Vorbereitung der Gewinde ... 10

4.3 Montage der ersten Elektrode ... 11

4.4 Diaphragma befestigen ... 12

4.5 Montage der zweiten Elektrode ... 13

4.6 Stromanschluss ... 14

5 Experimente mit der Elektrolysekonstruktion ... 15

5.1 Sicherheit und Arbeitsplatz ... 15

5.2 Verantwortlichkeitsprinzip 16
5.3 Bestimmung der Anode und Kathode 17
5.4 Auswirkungen des Elektrolyten 19
6 Bau des Elektrolyseurs 25
6.1 Arbeitsplatz vorbereiten 25
6.2 Einsetzten in Unterteil 25
6.3 Montage des Oberteils 26
6.4 Montage der Gastrennung 27
6.5 Vorbereitung der RG-Halterung 27
7 Einsatz des Elektrolyseurs 28
7.1 Sicherheit und Arbeitsplatz 28
7.2 Verantwortlichkeitsprinzip 29
7.3 Einsatzbereitschaft erstellen 31
7.4 Gasvolumenverhältnis 33
7.5 Volumenberechnung eines Reagenzglases 35
7.6 Wirkungsgrad berechnen 36
8 Rückbau des Elektrolyseurs 39
9 Schlusswort 40
10 Anhang 41
10.1 Komponentenverzeichnis 41
11 Rechtlicher Hinweis 44

1 Einleitung

Die Klimakrise ist keine ferne Bedrohung mehr – sie ist längst Realität. Um ihre Folgen zu begrenzen, muss die Menschheit ihre Energieversorgung grundlegend transformieren. Der Ausstieg aus fossilen Energieträgern ist unausweichlich, denn sie setzen Treibhausgase frei, die Atmosphäre und Erde weiter aufheizen. Die Lösung liegt in erneuerbaren Energiequellen wie Sonnen-, Wind- und Wasserkraft. Doch obwohl sie emissionsfrei und technisch ausgereift sind, teilen sie eine zentrale Schwäche: ihre Unbeständigkeit.

Gerade dann, wenn der Energiebedarf besonders hoch ist – etwa im Winter – , liefern Sonne und Wind oft nicht genug Strom. Für eine verlässliche Versorgung braucht es daher effiziente Speicherlösungen, die auch eine saisonale Energiespeicherung ermöglichen.

Eine vielversprechende Technologie ist die Elektrolyse. Dabei wird mithilfe elektrischer Energie Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Der Wasserstoff speichert die Energie in chemischer Form und lässt sich – bei Bedarf – etwa in einer Brennstoffzelle wieder in Strom umwandeln. Im Gegensatz zu elektrischer Energie ist Wasserstoff lager- und transportfähig.

Doch seine Bedeutung reicht über die Speicherung hinaus. In Sektoren, die sich nur schwer elektrifizieren lassen – wie die Luftfahrt, die Stahlindustrie oder die Düngemittelproduktion – kann Wasserstoff der Schlüssel zu einer nachhaltigen Zukunft sein. Entscheidend ist dabei, dass er mit grünem Strom erzeugt wird.

In diesem Projekt werdet ihr selbst einen kleinen Elektrolyseur bauen – und damit im Kleinen nachvollziehen, was in der Welt der Energie gerade im Grossen diskutiert und erforscht wird. Ihr werdet erleben, wie sich elektrische Energie in chemische Energie umwandeln lässt, und die Faszination der Naturwissenschaft hautnah spüren.

Lasst uns gemeinsam entdecken, wie Wasserstoff als Energieträger der Zukunft funktioniert – und warum genau ihr als nächste Generation eine Schlüsselrolle dabei spielt.

Viel Freude und Neugier beim Experimentieren!

2 Materialliste

Bilder zu den verschiedenen Komponenten findet ihr im Kapitel 10 unter *«Komponentenverzeichnis».*

2.1 Bau der Elektrolyseurkonstruktion

3D-gedruckt:

- 1x Iso-Gewindeanfang
- 1x Kon-Gewindeanfang
- 2x Iso-Röhre (weiss)
- 2x Iso-Scheibe (weiss)
- 4x Mutterschutz
- 1x Diaphragma
- 2x SA-Schutz
- 1x EK-Halterung

Zusätzlich:

- 2x Gewinde
- 6x Mutter
- 2x Graphitelektrode
- 1x Laborbuchse rot
- 1x Laborbuchse schwarz

2.2 Experimente mit der Elektrolysekonstruktion

- 1x Elektrolysekonstruktion
- 1x Messleitung rot
- 1x Messleitung schwarz
- 1x zertifiziertes Labornetzgerät
- 1x Wasserbecken
- 1x Litermass
- 1x Einweghandschuhe (pro Person)
- 1x Laborschutzbrille (pro Person)
- 1x Waage
- 1x Wägeschale
- Zitronensäure
- 1x Kunststofflöffel
- 1x Trocknungstuch
- 1x Taschenrechner

2.3 Bau des Elektrolyseurs

3D-gedruckt:

- 1x Unterteil
- 1x Oberteil
- 1x Gastrennung
- 1x RG-Halterung

zusätzlich:

- 10x Vierkantmutter
- 10x Zylinderkopfschraube
- 2x Reagenzglas
- 1x Inbusschlüssel

2.4 Einsatz des Elektrolyseurs

- 1x Elektrolyseur
- 1x RG-Halterung mit Reagenzgläsern
- 1x Inbusschlüssel
- 1x Messleitung rot
- 1x Messleitung schwarz
- 1x zertifiziertes Labornetzgerät
- 1x Wasserbecken
- 1x Litermass
- 1x wasserfester Filzstift
- 1x Einweghandschuhe (pro Person)
- 1x Laborschutzbrille (pro Person)
- 1x Waage
- 1x Wägeschale
- Zitronensäure
- 1x Kunststofflöffel
- 1x Trocknungstuch
- 1x Taschenrechner

3 Sicherheitshinweis

Dieses Projekt bringt gewisse Risiken mit sich. Daher ist es wichtig, dass ihr den folgenden Abschnitt aufmerksam durchlest und die Sicherheitsmassnahmen konsequent umsetzt. So lassen sich Unfälle vermeiden und das Experiment kann sicher durchgeführt werden.

3.1 Wasser und Strom – eine gefährliche Kombination

Bei diesem Experiment wird Wasser mithilfe elektrischer Spannung in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Auch wenn reines Wasser ein schlechter Leiter ist, steht das gesamte Wasserbecken während der Elektrolyse unter Spannung. Um Stromschläge zu vermeiden, haltet euch bitte an folgende Regeln:

- ! Verwendet **niemals Strom direkt aus der Steckdose**. Nutzt ausschliesslich ein **zertifiziertes Labornetzgerät**, das …
  - …. bei der **Elektrolysekonstruktion** die Gleichspannung auf **maximal 10 Volt** und der Gleichstrom auf **maximal 0.1 Ampère** begrenzt.
  - …. beim **Elektrolyseur** die Gleichspannung auf **maximal 20 Volt** und der Gleichstrom auf **maximal 0.2 Ampère** begrenzt.
- ! Platziert das Netzgerät **ausserhalb der Reichweite** des Wasserbehälters, damit es auch bei möglichem Verschütten nicht nass werden kann.
- ! Verwendet **nur intakte und gut isolierte Kabel** ohne Schäden.
- ! Haltet den ganzen Arbeitsplatz **trocken und frei von nicht benötigen elektronischen Geräten**.
- ! **Fasst niemals ins Wasser**, solange die Spannungsquelle angeschlossen ist – auch nicht mit einem Werkzeug. Beobachtet das Experiment ausschliesslich von aussen.
- ! Lasst den Elektrolyseur nach der Nutzung **mit ausreichend Abstand zu elektrischen Geräten trocknen**, bevor ihr ihn wieder verwendet oder einlagert.
- ! Arbeitet **niemals mit nassen Händen** an elektrischen Komponenten

3.2 Wasserstoff – unsichtbar und leicht entflammbar

Ziel des Experiments ist die Erzeugung von Wasserstoffgas. Wasserstoff ist farb- und geruchlos, sehr flüchtig und bildet mit Luft bereits in geringen Mengen ein explosionsfähiges Gemisch. Um gefährliche Situationen zu vermeiden, beachtet daher Folgendes:

- ! Führt das Experiment **ausschliesslich im Freien** durch. So kann der entstehende Wasserstoff sicher entweichen.
  Ausnahme: *In professionell ausgerüsteten Fachlaboren mit geeigneten Abluft- oder Lüftungssystemen darf das Experiment auch in Innenräumen durchgeführt werden.*
- ! Haltet **alle Zündquellen** vom Versuchsaufbau fern – dazu zählen offene Flammen, heisse Oberflächen, elektronische Bauteile sowie Arbeiten wie Schneiden, Schleifen oder Löten.
- ! Tragt immer eine **Schutzbrille**, um Augen bei einer Reaktion von Fremdkörpern zu schützen.

3.3 Säuren – von harmlos bis hoch ätzend

Zur Verbesserung der Leitfähigkeit kann dem Wasser eine Säure zugesetzt werden. Zitronensäure ist im Alltag verbreitet, wird hier aber in erhöhter Konzentration eingesetzt. In dieser Form kann sie reizend auf Haut, Augen und Schleimhäute wirken. Daher:

- ! Tragt immer **Schutzbrille** und **Einweghandschuhe**, wenn ihr mit Zitronensäure arbeitet.
- ! Vermeidet **jeden Kontakt mit Augen, Mund oder offenen Hautstellen**.
- ! Bei Kontakt **sofort gründlich mit Wasser abspülen**.

3.4 Graphit – leicht zerbrechlich

Graphitelektroden sind im Vergleich zu elektrischen und chemischen Gefahren eher harmlos. Dennoch sollten ein paar Punkte beachtet werden:

- ! **Graphit ist spröde** und bricht leicht. Achtet darauf, dass die Elektroden nicht herunterfallen, verklemmt oder stark belastet werden. Kein übermässiges Anziehen der Muttern!
- ! **Fasst die Elektroden möglichst nur an den Seitenflächen** an, um Abnutzung und Beschädigungen zu vermeiden.
- ! Lagert die Elektroden **nur im trockenen Zustand** ein. Nässe kann zu Oberflächenveränderungen führen und bei Resten von Elektrolytlösungen die Materialeigenschaft beeinträchtigen.

3.5 Abschlusshinweis

Behandelt alle Materialen und Geräte mit Sorgfalt. Wenn ihr euch an die Sicherheits- und Verhaltenshinweise haltet, könnt ihr das Experiment sicher und kontrolliert durchführen und spannende Erkenntnisse gewinnen.

4 Bau der Elektrolysekonstruktion

Ziel dieses Kapitels ist der Bau des Herzstückes des Elektrolyseurs, die Elektrolysekonstruktion. Ein Gewinde dient als Pluspol, das andere als Minuspol. Die beiden Graphitelektroden werden so eingesetzt, dass sie jeweils nur über eines der Gewinde elektrischen Kontakt haben und dadurch Anode und Kathode bilden. Zwischen ihnen wird ein Diaphragma eingesetzt, das eine weitgehende Trennung der entstehenden Gase ermöglicht.

4.1 Arbeitsplatz vorbereiten

Achtet darauf, dass ihr eine leere und trockene Tischfläche zur Verfügung habt, an der ihr als Gruppe gut arbeiten könnt – so vermeidet ihr, dass etwas versehentlich herunterfällt. Legt mit der Materialliste alle Materialen bereit, welche unter *«Bau der Elektrolysekonstruktion»* aufgeführt sind und nehmt das *«Komponentenverzeichnis»* in *Kapitel 10* zur Hilfe.

4.2 Vorbereitung der Gewinde

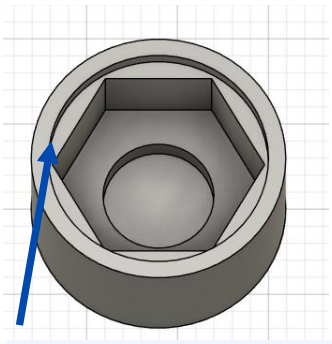
1 Nehmt den *Iso-Gewindeanfang* und den *Kon-Gewindeanfang* zur Hand. Zur Unterscheidung: Der Iso-Gewindeanfang besitzt zusätzlich einen Ring auf der Sechskantform (1).

2 Drückt in beide Gewindeanfänge jeweils eine *Mutter* und legt sie so hin, dass die Muttern nach oben zeigen (2, 3).

3 Dreht nun je ein *Gewinde* mit viel Feingefühl in die Muttern, bis ihr einen spürbaren Widerstand merkt – das ist der Anschlag. Achtet unbedingt darauf, dass sich die Mutter dabei nicht aus ihrer ursprünglichen Position hebt. Eine präzise Ausrichtung ist an dieser Stelle entscheidend (4, 5).

4 Setzt auf das Gewinde mit dem Iso-Gewindeanfang eine ***weisse*** *Iso-Röhre*, mit dem Boden nach unten. Schiebt sie vollständig hinunter, sodass der Boden bündig im Iso-Gewindeanfang verschwindet (6).

1



Ring auf Sechskantform

2

3

4

5

6

Mutter darf sich nicht herausheben

4.3 Montage der ersten Elektrode

1 Nehmt eine *Graphit-Elektrode* zur Hand und betrachtet nur die beiden äusseren Bohrungen. Achtet darauf, welches der beiden grösser ist (7).

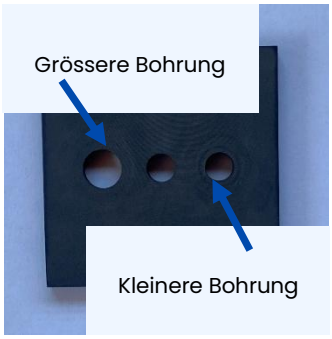
2 Lasst die Gewindeanfänge weiterhin auf dem Rücken liegen. Führt das kleinere, der äusseren Löcher über das Gewinde mit sichtbarer Mutter (Kon-Gewindeangang) und das grössere über das Gewinde mit dem Iso-Gewindeanfang - bis ganz nach unten. Das Iso-Röhr sollte aus der Elektrode hervorschauen (8).

3 Setzt nun auf das Gewinde mit der Iso-Röhre eine *Iso-Scheibe*, wobei die Einbuchtung zur Elektrode zeigt (9, 10).
Auf dieser Seite ist die Graphit-Elektrode jetzt elektrisch abisoliert.

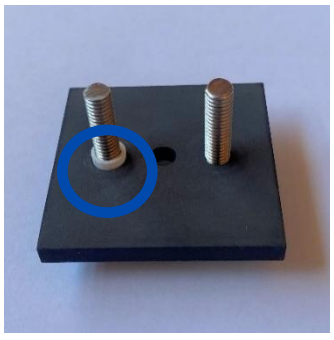
4 Auf das andere Gewinde dreht ihr eine *Mutter* bis zur Elektrode – zieht sie leicht fest – und setzt anschliessend einen *Mutterschutz* darauf (11).
Hier besteht elektrischer Kontakt zu Graphit-Elektrode.

5 Die Elektrode muss jetzt lückenlos zwischen den Teilen eingeklemmt sein (12).

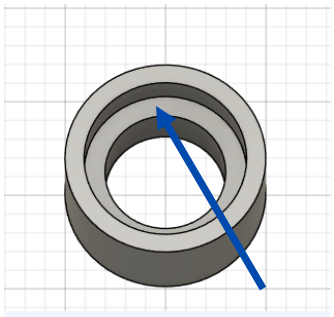
7



8

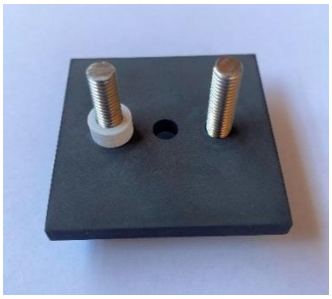


9



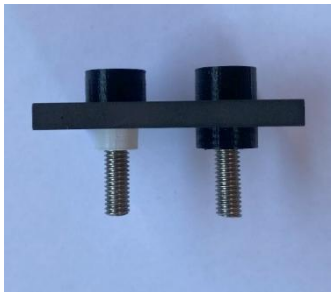
Einbuchtung

10



11

12



4.4 Diaphragma befestigen

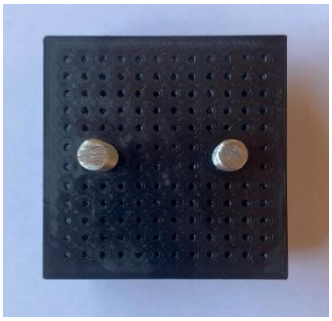
1. Merkt euch gut, auf welchem Gewinde die Elektrode isoliert ist und auf welchem der elektrische Kontakt besteht - bei der nächsten Elektrode muss es umgekehrt sein (16).
   Die weissen Iso-Scheiben helfen euch dabei, die isolierte Seite leicht zu erkennen.

2. Führt nun das *Diaphragma* auf beiden Gewinden bis ganz nach unten (13).

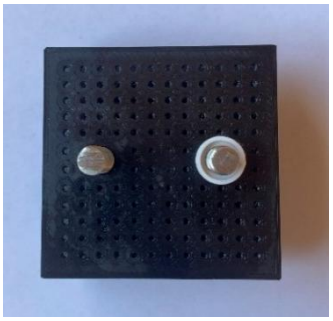
3. Auf der Seite, an der zuvor der elektrische Kontakt war, schiebt ihr jetzt eine *Iso-Scheibe* auf das Gewinde. Die Einbuchtung zeigt dabei weg vom Diaphragma (14).

4. Auf der zuvor isolierten Seite dreht ihr eine *Mutter* bis zum Diaphragma und schützt sie mit einem *Mutterschutz* (15).

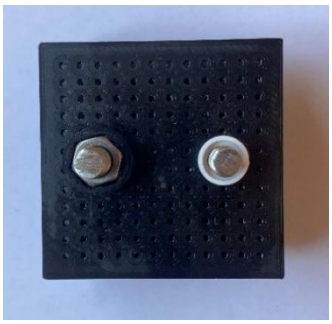
13



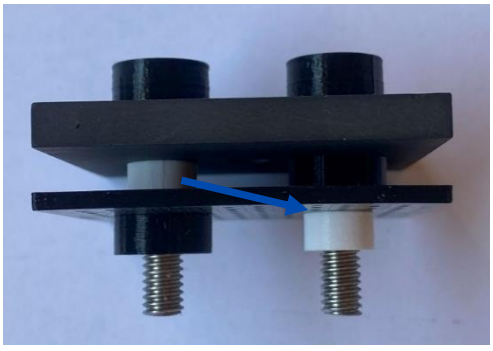
14



15



16



4.5 Montage der zweiten Elektrode

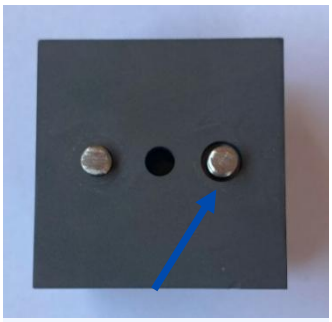
1. Führt die zweite *Graphit-Elektrode* über beiden Gewinde nach unten. Achtet darauf, dass die grössere Bohrung über der Iso-Scheibe liegt und die kleinere Bohrung auf der Mutter aufsitzt (17).

2. Schiebt nun eine ***weisse*** *Iso-Röhre* mit dem Boden nach oben über das Gewinde mit der grösseren Bohrung und durch die Elektrode, bis der Boden lückenlos auf der Elektrode aufliegt (18).

3. Dreht auf beide hervorstehenden Gewinde jeweils eine *Mutter* und zieht diese mit Gefühl an. Es ist richtig, dass die Mutter nicht mehr vollständig auf das Gewinde passt – wichtig ist, dass die gesamte Konstruktion fest und sicher sitzt (19).

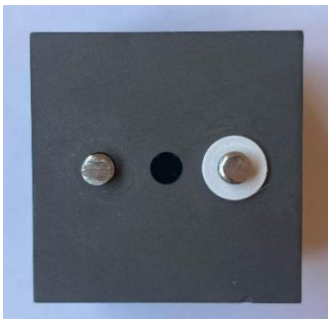
4. Schützt die Muttern jeweils mit einem *Mutterschutz*. Damit ist die zweite Elektrode montiert (20) – mit umgekehrter Isolation und umgekehrtem elektrischem Kontakt im Vergleich zur ersten (21).

17

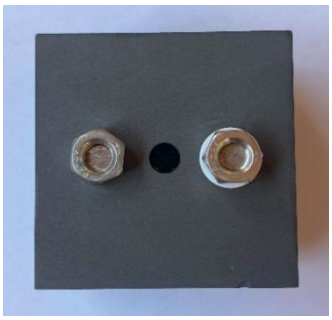


grössere Bohrung auf Iso-Scheibe

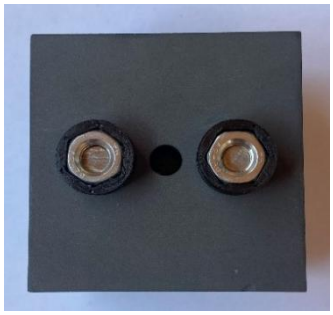
18



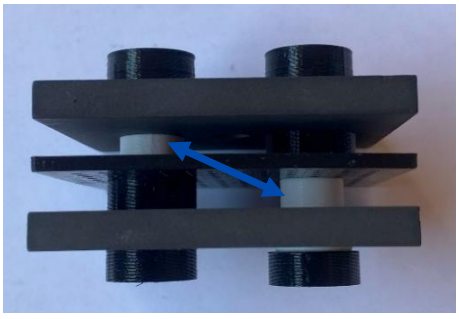
19



20



21



4.6 Stromanschluss

1 Nehmt einen *SA-Schutz* und einen *Laborbuchse* zur Hand und bringt den SA-Schutz auf das Gewinde der Laborbuchse auf, sodass der Boden des SA-Schutzes vom Laborbuchsen-Kopf weg zeigt (22).

2 Wiederholt diesen Schritt mit dem zweiten *SA-Schutz* und der anderen *Laborbuchse* (23).

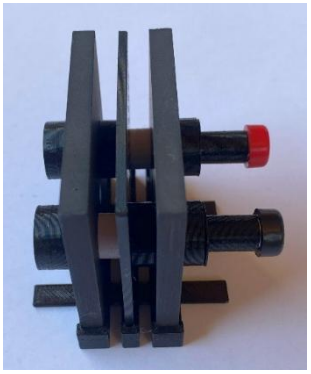
3 Schraubt beide Laborbuchsen in die hervorstehenden Muttern. Nach etwa einer halben Umdrehung sollten sie sicher und fest sitzen (24).

4 Zum Abschluss stellt ihr die fertige Elektrolysekonstruktion in die *EK-Halterung* (25).

22

23

25



24

5 Experimente mit der Elektrolysekonstruktion

In diesem Kapitel testet ihr die Elektrolysekonstruktion, bevor sie in den Elektrolyseur eingebaut wird. Zudem beobachtet ihr die Wasserelektrolyse anhand der Gasbildung genauer und untersucht die Wirkung des Elektrolyten.

5.1 Sicherheit und Arbeitsplatz

Jetzt wird experimentiert – aber sicher! Damit alles sicher abläuft, beachtet die folgenden Punkte. Diese sind auch Bestandteil des bereits bekannten *«Sicherheitshinweises»* in Kapitel 3.

1. **Materialien bereitlegen**: Verwendet die Materialliste im Abschnitt *«Experimente mit der Elektrolysekonstruktion»*, um alles Notwendige vorzubereiten.
2. **Arbeitsplatz einrichten**: Kontrolliert mit der folgenden Checkliste, ob euer Arbeitsplatz sicher vorbereitet ist:

Checkliste:

- Alle Personen tragen **Laborschutzbrille** und **Einweghandschuhe**, die vor Zitronensäure schützen.
- Der **entstehende Wasserstoff kann sofort entweiche** – es darf sich kein Wasserstoff ansammeln.
- Mögliche **Zündquellen** sind vom Arbeitsplatz **entfernt**.
- Auf dem Tisch befinden sich **nur benötigte Materialien**.
- Die **Arbeitsfläche ist trocken** und bleibt es auch.
- Das **Labornetzgerät** ist so platziert, dass es **vor Feuchtigkeit geschützt** ist – auch vor versehentlichem Verschütten.
- **Messleitungen sind unbeschädigt**. Kontrolliert die Isolation auf Defekte.
- Ihr wisst, wo ihr euch **bei Kontakt mit Zitronensäure abspülen** könnt.

5.2 Verantwortlichkeitsprinzip

Nie in die Flüssigkeit greifen, solange Strom anliegt! Auch nicht mit einem Fremdkörper.

Niemals zuerst die Messleitung aus dem Elektrolyseur herausziehen. Immer zuerst aus dem Labornetzgerät.

Damit das sicher eingehalten wird, müsst ihr **klar in der Gruppe kommunizieren**. Teilt dafür zwei Rollen ein:

- Verantwortlichkeit für das **Labornetzgerät**
- Verantwortlichkeit für das **Wasserbecken**

Aufgaben der verantwortlichen Person für das Labornetzgerät:

- Die Messleitungen sind **niemals im Labornetzgerät eingesteckt**, wenn die Elektrolysekonstruktion spannungsfrei sein soll.
- Bevor Spannung angelegt wird, **informiert sie die Wasserbecken-Verantwortlichen** und steckt die Messleitungen **erst nach deren „Go“** ein.
- Bleibt während des gesamten Experiments bereit, um **im Notfall die Messleitungen zu ziehen.**

- Nach dem Experiment: **Messleitungen aus dem Labornetzgerät ziehen** und sicherstellen, dass keine Spannung mehr anliegt.

Aufgaben der verantwortlichen Person für das Wasserbecken:

- Achtet darauf, dass ab dem Moment, in dem die Labornetzgerät-Verantwortlichen **Strom ankündigen**, **niemand mehr ins Wasserbecken fasst** – auch nicht mit Werkzeugen oder anderen Gegenständen.
- Gibt das **Wasserbecken erst wieder frei**, wenn sie sich **selbstständig davon überzeugt** hat, dass die **Messleitungen aus dem Labornetzgerät** gezogen sind und keine Spannung mehr anliegt.

5.3 Bestimmung der Anode und Kathode

Die untenstehende theoretische Darstellung habt ihr nun mit eurer Elektrolysekonstruktion in der Praxis umgesetzt. Nehmt eure Elektrolysekonstruktion zur Hand und beantwortet die folgenden Fragen:

Welche Elektrode ist die Anode, welche die Kathode? Woran erkennt ihr das?

Wie lauten die chemischen Reaktionen an Anode und Kathode in einer Zitronensäure-Lösung?

An welcher Elektrode an der Elektrolysekonstruktion entsteht Wasserstoff, an welcher Sauerstoff auf?

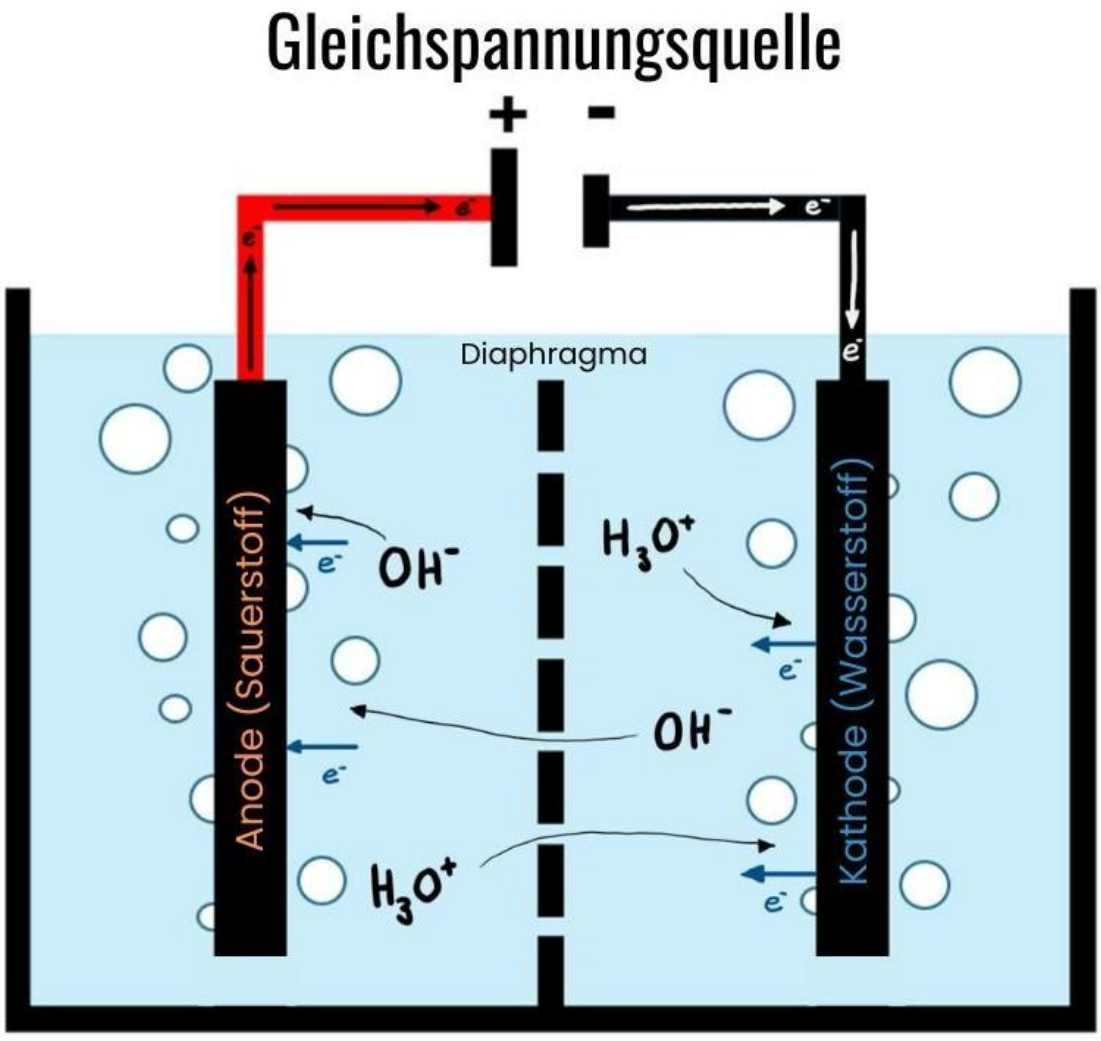


Abbildung 1: Elektrolyse

5.4 Auswirkungen des Elektrolyten

1 Steckt die rote und die schwarze Messleitung in die gleichfarbigen Stromanschlüsse der Elektrolysekonstruktion - **aber noch nicht ins Labornetzgerät!**

2 Stellt das Wasserbecken vor euch hin und setzt die Elektrolysekonstruktion auf den Boden des Beckens, sodass die Kabelenden für das Labornetzgerät ausserhalb des Beckens bleiben (26).

3 Füllt das Wasserbecken mit Leitungswasser auf, bis die Elektrolysekonstruktion vollständig mit Wasser bedeckt ist (27). Messt dabei ab, wie viel Wasser ihr eingefüllt habt.

Wassermenge in Litern:

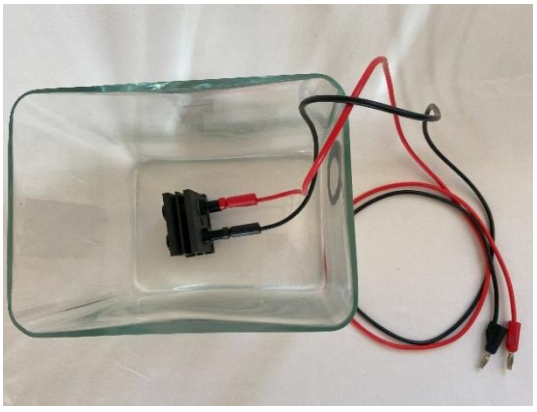
4 Berechnet nun die Menge Zitronensäure, die ihr für eure Wassermenge benötigt, um eine Konzentration von 10g/l zu erreichen.

Masse der Zitronensäure:

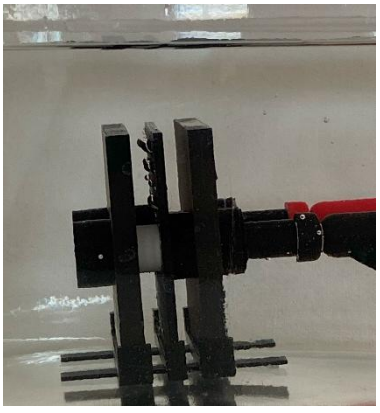
5 Wiegt diese Menge an Zitronensäure ab und haltet sie bereit. Sie wird erst zu einem späteren Zeitpunkt benötigt.

6 Schaltet das Labornetzgerät an, **Kabel nicht einstecken**, und begrenzt die Stromstärke auf **maximal 0.1 Ampère**.

26



27



7 Erinnert euch daran, wer für das Netzgerät und wer für das Wasserbecken verantwortlich ist. Stellt nun 2 Volt ein. Nach Absprache in der Gruppe können die Kabel in das Labornetzgerät eingesteckt werden.

8 Lest die Stromstärke ab und beobachtet die Elektrolyse etwa eine Minute lang. Tragt den Wert und eure Beobachtungen in die Tabelle ein.

9 Wiederholt diesen Schritt 8 für 4V, 6V, 8V und 10V. Die Spannung kann dabei während des laufenden Versuchs schrittweise erhöht werden.

Tabelle ohne Elektrolyten

Spannung	Stromstärke	Beobachtungen (Entsteht Wasser-/Sauerstoff? Wo? Wieviel? Weitere Auffälligkeiten?)
2 V		
4 V		
6 V		
8 V		
10 V		

10 Trennt die Elektrolysekonstruktion korrekt vom Strom. **Zuerst die Messleitungen aus dem Labornetzgerät ziehen!**

11 Beantwortet anschliessend die folgenden Fragen mithilfe der Werte und Beobachtungen aus euerer Tabelle.

Hat die Elektrolyse funktioniert? Woran habt ihr das erkannt?

Ab welcher Spannung hat die Elektrolyse eingesetzt?

12 Gibt nun die abgewogene Zitronensäure vorsichtig ins Wasser bei und rührt mit einem Kunststofflöffel so lange, bis sich die Zitronensäure vollständig gelöst hat. Das Wasser sollte wieder klar sein.

13 Wiederholt anschliessend die Schritte 7 bis 9 und tragt die neuen Werte und Beobachtungen in die Tabelle ein.

Tabelle mit Elektrolyten

Spannung	Stromstärke	Beobachtungen (Entsteht Wasser-/Sauerstoff? Wo? Wieviel? Weitere Auffälligkeiten?)
2 V		
4 V		
6 V		
8 V		
10 V		

14 Trennt die Elektrolysekonstruktion korrekt vom Strom. **Zuerst die Messleitungen aus dem Labornetzgerät ziehen!**

15 Wenn keine Spannung mehr anliegt, nehmt die Elektrolysekonstruktion vorsichtig aus dem Wasserbecken und spült sie gründlich mit Wasser ab.

16 Lasst die Elektrolysekonstruktion an einem sicheren Ort trocknen und entsorgt nach Absprache mit eurer Lehrperson die Wasser-Zitronensäure fachgerecht.

17 Beantwortet die folgenden Fragen, nachdem ihr euer Arbeitsplatz sauber aufgeräumt habt:

Was hat sich nach dem Hinzufügen von Zitronensäure als Elektrolyt verändert? Vergleicht die beiden Tabellen.

Welche Bedeutung hat diese Erkenntnis für die Effizienz der Elektrolyse und ihren Einsatz im Zusammenhang mit erneuerbaren Energien?

Wie könnte man die Elektrolyse effizienter gestalten?

6 Bau des Elektrolyseurs

Nachdem ihr die Elektrolysekonstruktion erfolgreich getestet habt, beschäftigt ihr euch in diesem Kapitel mit dem nächsten Schritt: dem Einbau der Elektrolysekonstruktion in die Elektrolyseurkomponenten, die eine Trennung der beiden entstehenden Gase ermöglichen. Ziel ist es, den erzeugten Wasserstoff und Sauerstoff weitgehend zu separieren und jeweils in einem eigenen Reagenzglas aufzufangen und zu speichern.

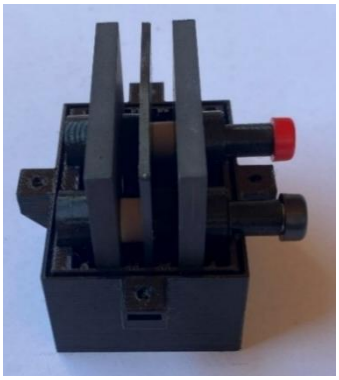
6.1 Arbeitsplatz vorbereiten

Achtet darauf, dass ihr eine leere und trockene Tischfläche zur Verfügung habt, an der ihr als Gruppe gut arbeiten könnt – so vermeidet ihr, dass etwas versehentlich herunterfällt. Legt mit der Materialliste alle Materialen bereit, welche unter «Bau des Elektrolyseurs» aufgeführt sind und nehmt das *«Komponentenverzeichnis»* in Kapitel 10 zur Hilfe.

6.2 Einsetzten in Unterteil

1 Nehmt die *Elektrolysekonstruktion* aus der EK-Halterung und setzt sie ins *Unterteil* ein. Es sollte keine Kraft notwendig sein. Schaut andernfalls, wo sie ansteht (28).

28



6.3 Montage des Oberteils

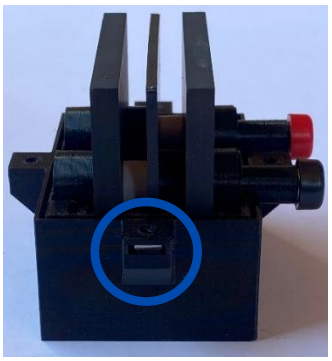
1. Steckt in jede der vier Schlitze im Unterteil eine *Vierkantmutter*. Nutzt bei Bedarf den Inbusschlüssel, um die Vierkantmuttern komplett hineinzudrücken. Dies braucht etwas Kraft (29).

2. Setzt das *Oberteil* auf das Unterteil und achtet dabei auf die korrekte Ausrichtung. Es sollte wieder keine Kraft nötigt sein (30).

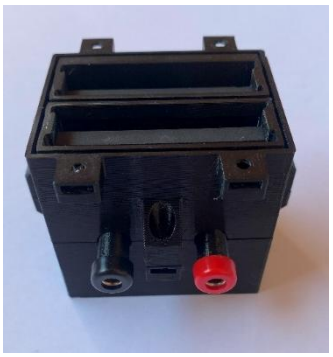
3. Verschraubt Ober- und Unterteil an allen vier Stellen mit den *Zylinderkopfschrauben* und dem *Inbusschlüssel* (31).

   Hinweis: Dreht zuerst alle Zylinderkopfschrauben so weit hinein, dass sie in die Muttern beissen. In einem zweiten Schritt könnte ihr dann ganz anziehen.

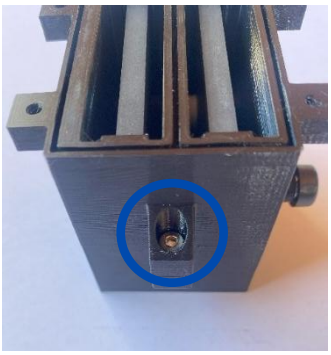
29



30



31



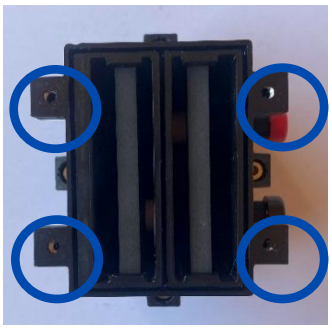
6.4 Montage der Gastrennung

1 Drückt je eine *Vierkantmutter* mit Hilfe des Inbusschlüssel in die vier Schlitze im Oberteil (32).

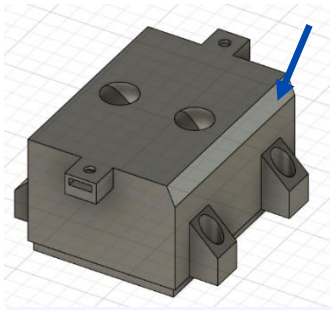
2 Setzt die *Gastrennung* vorsichtig auf das Oberteil. Die Abschrägung der Gastrennung zeigt weg vom Stromabschluss (33).

3 Verschraubt die beiden Teile an den vier Stellen mit *Zylinderkopfschrauben*. Zuerst wieder alle Schrauben anbeissen lassen und dann vollständig anziehen (34).

32

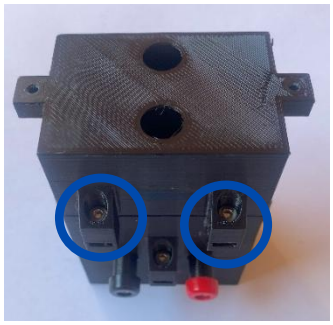


33



Abschrägung

34



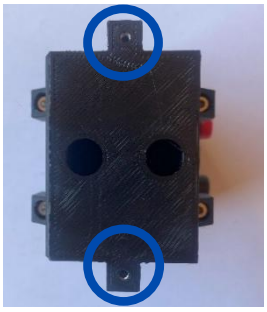
6.5 Vorbereitung der RG-Halterung

4 Fügt je eine *Vierkantmutter* in die beiden Schlitze der Gastrennung ein (35).

5 Setzt die beiden *Reagenzgläser* in die *RG-Halterung* ein. Mit einer Drehbewegung gleiten sie einfacher durch die Öffnung (36).

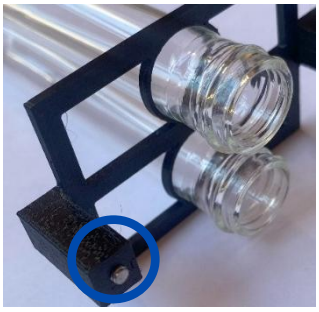
6 Schraubt je eine *Zylinderkopfschraube* in die beiden vorgesehenen Öffnungen in der RG-Halterung, sodass die Schraubenspitzen unten leicht hervorschauen (37).

35



36

37



7 Einsatz des Elektrolyseurs

Gratulation, euer Elektrolyseur ist nun fertig gebaut. Nun gilt es zu prüfen, ob er im praktischen Einsatz wie geplant funktioniert. Dabei wollen wir das Gasverhältnis zwischen Wasserstoff und Sauerstoff abschätzen und den Wirkungsgrad vom Elektrolyseur bestimmen.

7.1 Sicherheit und Arbeitsplatz

Jetzt wird experimentiert – aber sicher! Damit alles sicher abläuft, beachtet die folgenden Punkte. Diese sind auch Bestandteil des bereits bekannten *«Sicherheitshinweises»* in Kapitel 3.

1. **Materialien bereitlegen**: Verwendet die Materialliste im Abschnitt *«Einsatz des Elektrolyseurs»*, um alles Notwendige vorzubereiten.
2. **Arbeitsplatz einrichten**: Kontrolliert mit der folgenden Checkliste, ob euer Arbeitsplatz sicher vorbereitet ist:

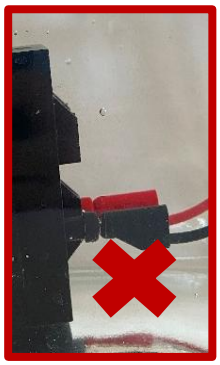
Checkliste:

- Alle Personen tragen **Laborschutzbrille** und **Einweghandschuhe**, die vor Zitronensäure schützen.
- Der **entstehende Wasserstoff kann sofort entweiche** – es darf sich kein Wasserstoff ansammeln.
- Mögliche **Zündquellen** sind vom Arbeitsplatz **entfernt**.
- Auf dem Tisch befinden sich **nur benötigte Materialien**.
- Die **Arbeitsfläche ist trocken** und bleibt es auch.
- Das **Labornetzgerät** ist so platziert, dass es **vor Feuchtigkeit geschützt** ist – auch vor versehentlichem Verschütten.
- **Messleitungen sind unbeschädigt**. Kontrolliert die Isolation auf Defekte.
- Ihr wisst, wo ihr euch **bei Kontakt mit Zitronensäure abspülen** könnt.

7.2 Verantwortlichkeitsprinzip

Nie in die Flüssigkeit greifen, solange Strom anliegt! Auch nicht mit einem Fremdkörper.

Niemals zuerst die Messleitung aus dem Elektrolyseur herausziehen. Immer zuerst aus dem Labornetzgerät.



Damit das sicher eingehalten wird, müsst ihr **klar in der Gruppe kommunizieren**. Teilt dafür zwei Rollen ein:

- Verantwortlichkeit für das **Labornetzgerät**
- Verantwortlichkeit für das **Wasserbecken**

Aufgaben der verantwortlichen Person für das Labornetzgerät:

- Die Messleitungen sind **niemals im Labornetzgerät eingesteckt**, wenn der Elektrolyseur spannungsfrei sein soll.
- Bevor Spannung angelegt wird, **informiert sie die Wasserbecken-Verantwortlichen** und steckt die Messleitungen **erst nach deren „Go“** ein.
- Bleibt während des gesamten Experiments bereit, um **im Notfall die Messleitungen zu ziehen.**

- Nach dem Experiment: **Messleitungen aus dem Labornetzgerät ziehen** und sicherstellen, dass keine Spannung mehr anliegt.

Aufgaben der verantwortlichen Person für das Wasserbecken:

- Achtet darauf, dass ab dem Moment, in dem die Labornetzgerät-Verantwortlichen **Strom ankündigen**, **niemand mehr ins Wasserbecken fasst** – auch nicht mit Werkzeugen oder anderen Gegenständen.
- Gibt das **Wasserbecken erst wieder frei**, wenn sie sich **selbstständig davon überzeugt** hat, dass die **Messleitungen aus dem Labornetzgerät** gezogen sind und keine Spannung mehr anliegt.

7.3 Einsatzbereitschaft erstellen

1 Setzt den Elektrolyseur mit eingesteckten Messleitungen in das Wasserbecken. Die losen Enden der Messleitungen sollen sich dabei ausserhalb des Wasserbeckens befinden, aber noch **nicht im Labornetzgerät eingesteckt** sein (38).

2 Füllt das Wasserbecken mit Wasser, bis der ganze Elektrolyseur vollständig mit ca. 2 cm Wasser bedeckt ist (39). Messt die dafür benötige Wassermenge.

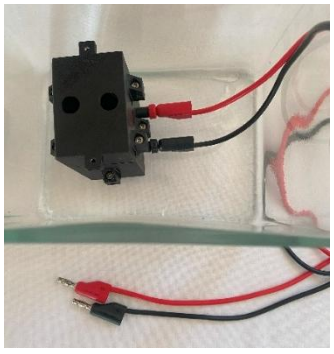
Wassermenge in Liter:

3 Berechnet die erforderliche Menge Zitronensäure, um eine Konzentration von 10g/l zu erhalten?

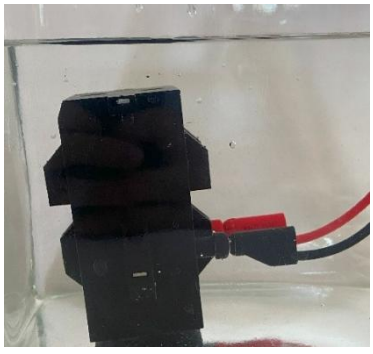
Masse der Zitronensäure:

4 Gebt die Zitronensäure ins Wasser und rührt mit dem Kunststofflöffel so lange, bis sich die Zitronensäure vollständig aufgelöst hat und die Lösung klar ist.

38



39



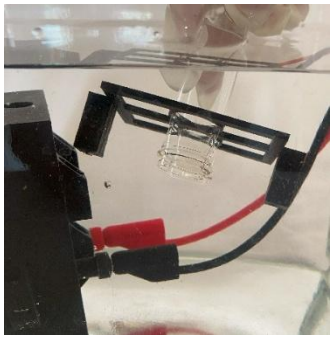
1 Nehmt die RG-Halterung mit den eingesetzten Reagenzgläsern und taucht sie so ins Wasser, dass die Reagenzgläser komplett gefüllt werden (40).

2 Dreht die RG-Halterung unter Wasser um, sodass keine Luft mehr in die Reagenzgläser hineinkommt. Schraubt die RG-Halterung mit an der Gastrennung fest (41, 42).

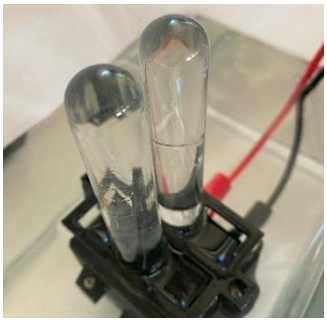
3 Drückt die Reagenzgläser leicht gegen die Gastrennung. Dadurch sollte eine anfällige Lücke zwischen ihnen geschlossen werden (43).

40

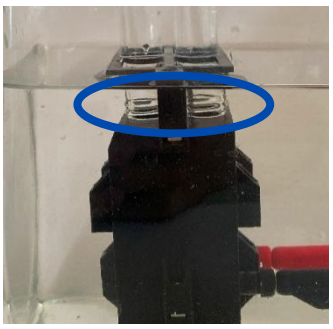
41



42



43



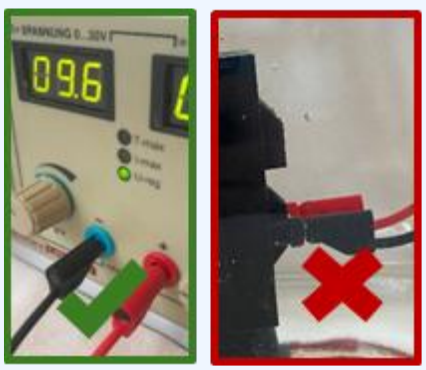
7.4 Gasvolumenverhältnis

Welches Gasvolumenverhältnis erwartet ihr zwischen Sauerstoff und Wasserstoff? Begründet eure Antwort mit der Reaktionsgleichung der Wasserelektrolyse.

1 Sobald ihr Verantwortlichkeiten von Labornetzgerät und Wasserbecken zugeteilt habt, **begrenzt den Strom auf 0.2 A** und stellt die Spannung auf 20 V ein.
Wenn die Verantwortlichen das «okay» geben, können die Messleitungen ins Labornetzgerät eingesteckt werden.

2 Lasst die Wasserelektrolyse so lange laufen, bis das erste Reagenzglas etwa zu einem Viertel mit Gas gefüllt ist.

3 Trennt den Elektrolyseur korrekt vom Strom. Merkt euch, auf welcher Seite Wasserstoff aufgestiegen ist, und beantwortet anschliessend die folgende Frage.



Woran erkennt ihr, auf welcher Seite Wasserstoff und auf welcher Seite Sauerstoff aufsteigt?

Konntet ihr eure Vermutung zum Gasvolumenverhältnis bestätigen? Wenn nicht, woran könnte das liegen?

7.5 Volumenberechnung eines Reagenzglases

1 Wenn ihr sichergestellt habt, dass der Elektrolyseur nicht mehr am Strom angeschlossen ist, schraubt die RG-Halterung ab, lasst den Wasserstoff sicher entweichen und spült die RG-Halterung mit den Reagenzgläsern gründlich mit Wasser ab.

2 Nehmt ein Reagenzglas heraus und zieht im ungefähr in der Mitte mit einem wasserfesten Filzstift einen Messlinie (44).

3 Wiegt das leere Reagenzglas und notiert die Masse.

Masse vom leeren Reagenzglas:

4 Füllt das Reagenzglas bis zur Messlinie mit Wasser und wiegt es erneut.

Masse vom vollen Reagenzglas:

5 Berechnet das Volumen des Inhaltes bis zur Messlinie anhand des Massenunterschieds und der Dichte von Wasser. Geht dabei von einer Wassertemperatur von 20 °C aus (ρ = *0.998 g/ml* [1]).

44

[1] https://www.internetchemie.info/chemie-lexikon/daten/w/wasser-dichtetabelle.php

7.6 Wirkungsgrad berechnen

Der Wirkungsgrad gibt an, wie viel Prozent der eingesetzten elektrischen Energie in chemische Energie, also in Wasserstoff, umgewandelt wird. Bei der Elektrolyse geht ein Teil der ursprünglichen Energie immer «verloren» - zum Beispiel durch Wärmeentwicklungen, Nebenreaktionen oder Überspannung an den Elektroden.

Für die Berechnung des Wirkungsgrads müssen sowohl die aufgewendete elektrische Energie als auch das erzeugte Wasserstoffvolumen gemessen werden. Das Ziel ist es nun, das Reagenzglas bis zur Messlinie mit Wasserstoff zu füllen und dabei die elektrische Energie zu erfassen.

1. Setzt das Reagenzglas zurück in die RG-Halterung und montiert diese wieder auf dem Elektrolyseur, sodass keine Luft mehr in den Reagenzgläsern verbleibt. Achtet darauf, dass das Reagenzglas mit der Messlinie über dem Loch sitzt, aus dem der Wasserstoff aufsteigt.

2. Wenn die verantwortlichen Personen bereit sind, stellt 20 V und **maximal 0.2 A** ein. Sobald ihr die Messleitung ins Labornetzgerät steckt, beginnt ihr die Zeit zu messen.

3. Füllt das Reagenzglas möglichst genau bis zur Messlinie mit Wasserstoff. Schreibt die anliegende Spannung und Stromstärke auf und stoppt die Zeit, sobald ihr die Messleitungen wieder aus dem Labornetzgerät zieht. Beachtet, dass auch nach dem Ausschalten des Labornetzgeräts noch etwas Wasserstoff nachströmen kann. Ihr könnt den Prozess unterstützen, indem ihr den Elektrolyseur vorsichtig schüttelt, **sobald keine Spannung mehr anliegt.**

Zeit:
Spannung:
Stromstärke:

4 Stellt sicher, dass der Elektrolyseur vom Strom getrennt ist, damit ihr bereit für die Berechnungen seid.

5 Da ihr das Volumen bis zur Messlinie bereits vorher bestimmt habt, könnt ihr mit dem Heizwert von Wasserstoff die enthaltene chemische Energie berechnen.
Heizwert von Wasserstoff: $H = 10.79\ J/cm^3$ [2]

chemische Energie:

6 Die elektrische Energie lässt sich aus Spannung, Stromstärke und Zeit berechnen.
Hinweis: $E_{El} = U \cdot I \cdot t$

elektrische Energie:

7 Den Wirkungsgrad berechnet ihr, indem ihr das Verhältnis der chemischen zur elektrischen Energie bildet.

Wirkungsgrad des Elektrolyseurs:

[2] https://www.pemfc.de/hydrogen.html

Wie schätz ihr euren errechneten Wirkungsgrad ein?

Was könnte den Wirkungsgrad gesenkt haben?

Wie könnte der Wirkungsgrad verbessert werden?
(Zum Vergleich: In der Industrie liegen die Wirkungsgrade von Elektrolyseuren meist zwischen 60% und 85%. [3])

[3] https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/energie/wasserstoff/herstellung/elektrolyse-von-wasser/

8 Rückbau des Elektrolyseurs

Es ist noch nicht ganz vorbei! – Nehmt nochmals all eure Energie zusammen und bleibt auch beim Aufräumen aufmerksam. Achtet darauf, die Sicherheitsmass-nehmen einzuhalten. Beachtet die folgende Reihenfolge, damit der Rückbau und das Aufräumen sicher und geordnet verlaufen.

1. Stellt zuerst sicher, dass kein Strom mehr auf dem Elektrolyseur anliegt und nehmt das Wasserbecken zu einem Waschtrog mit. Achtet darauf, dass ihr nichts verschüttet.

2. Nehmt den Elektrolyseur vorsichtig aus dem Wasser und schraubt die Gast-rennung ab.

3. Spült den Elektrolyseur gründlich mit Wasser ab, um Zitronensäure-Reste zu entfernen.

4. Entsorgt die Wasser-Zitronensäure-Lösung fachgerecht in Absprache mit der Lehrperson. Spült das Wasserbecken gründlich aus und legt es an-schliessend an einen sicheren Ort zum Trocknen.

5. Baut den Elektrolyseur in umgekehrter Reihenfolge wieder auseinander.

   - Lasst die Vierkantmuttern in den Schlitzen stecken - diese sind schwer herauszunehmen.
   - Nehmt das Gewinde zur Hilfe, um Muttern aus den Gewindeanfängen herauszuziehen.
   - Spült alle Teile nochmals gründlich mit Wasser ab.

6. Legt alle Teile an einen sicheren Ort zum Trocknen und räumt sie, sobald sie trocken sind, ordentlich in die Box zurück.

9 Schlusswort

Ihr seid am Ende des Projekts angekommen – herzlichen Glückwunsch zu eurer Ausdauer, eurer Sorgfalt und eurem Engagement! Ich hoffe, dass ihr Freude daran hattet, ein Konzept aus der Theorie einmal selbst in die Praxis umzusetzen und dabei besser zu verstehen.

In diesem Projekt habt ihr nicht einfach nur ein Gerät zusammengebaut oder experimentiert. Ihr habt euch mit einem Thema auseinandergesetzt, das uns alle betrifft und das auch viele Wissenschaftlerinnen, Ingenieure und Entscheidungsträger heute beschäftigt: Wie können wir unsere Zukunft mit einer nachhaltigen Energieinfrastruktur gestalten?

Wasserstoff könnte dabei ein wichtiger Teil der Lösung sein. Doch bis Wasserstofftechnologien wirklich grossflächig und klimafreundlich genutzt werden können, sind noch viele Fragen zu klären – zum Beispiel, wie der Wirkungsgrad von Elektrolyseuren verbessert werden kann, damit die Energieumwandlung so effizient wie möglich erfolgt.

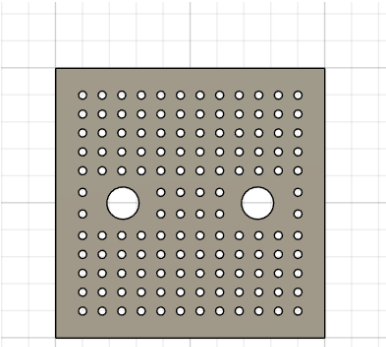
Ich hoffe, dass euch dieses Projekt den Wasserstoff nähergebracht hat – dass ihr nun versteht, wie Wasserstoff mithilfe der Elektrolyse nachhaltig erzeugt werden kann und welche Rolle er für eine klimaneutrale Gesellschaft spielen könnte. So seid ihr gut gerüstet, um bei Diskussionen über unsere Energiezukunft mitreden zu können.

Ich danke euch für eure Arbeit und euren Einsatz und hoffe, dass ihr euch weiterhin neugierig mit den grossen Fragen unserer Zeit beschäftigt. Die Zukunft der Energie liegt auch in euren Händen!

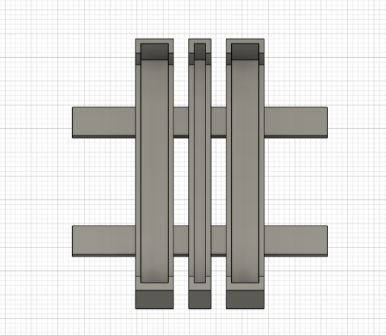
10 Anhang

10.1 Komponentenverzeichnis

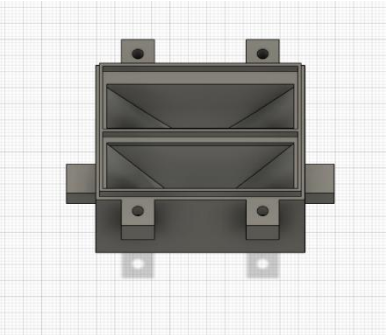
3D-gedruckt:



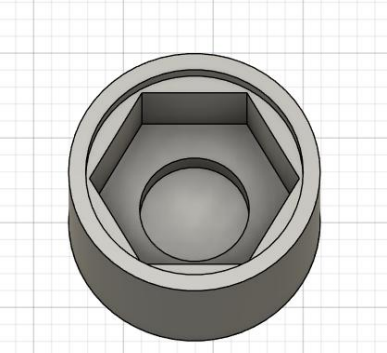
Diaphragma



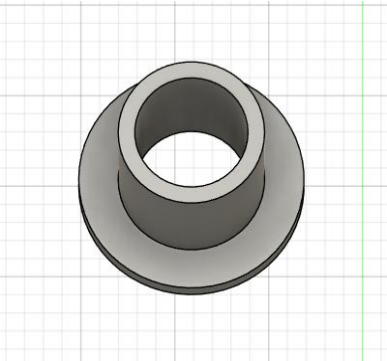
EK-Halterung



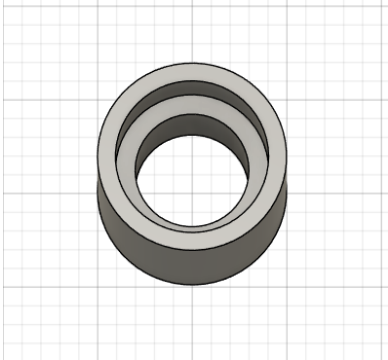
Gastrennung



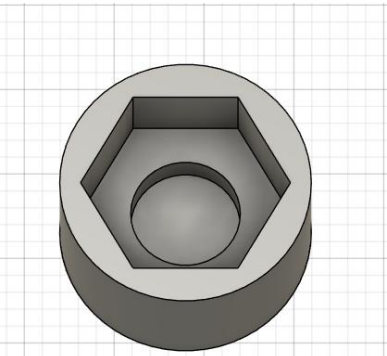
Iso-Gewindeanfang



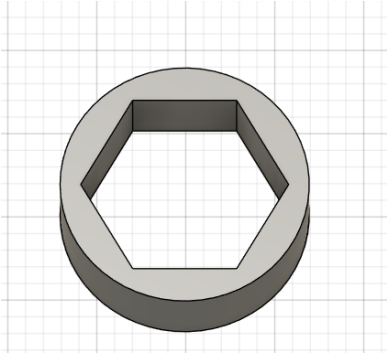
Iso-Röhre (weiss)



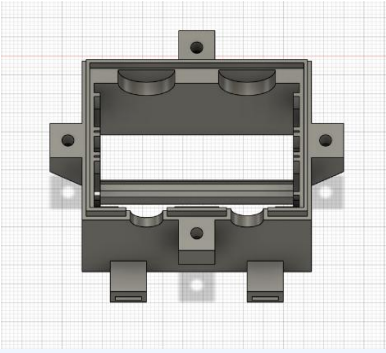
Iso-Scheibe (weiss)



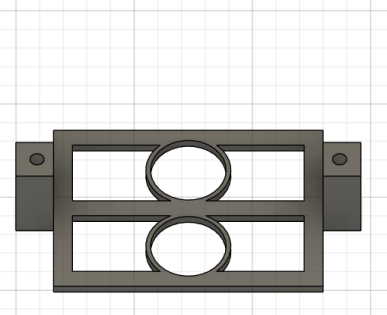
Kon-Gewindeanfang



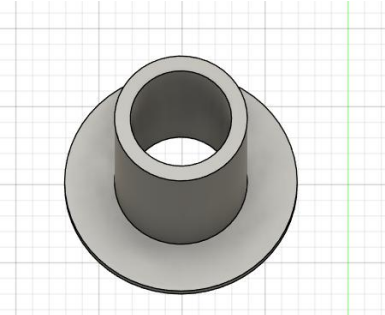
Mutterschutz



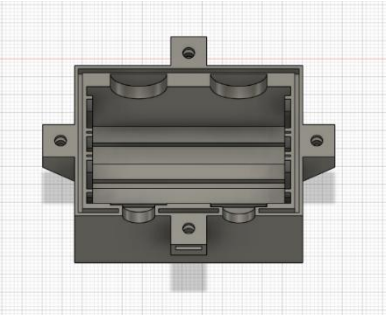
Oberteil



RG-Halterung



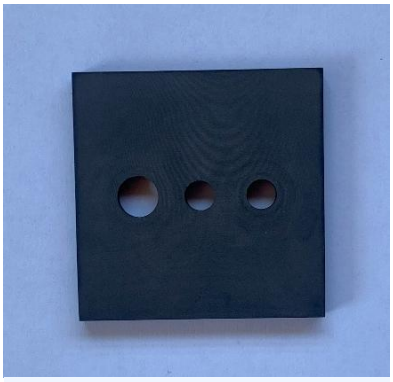
SA-Schutz



Unterteil

Nicht 3D-gedruckt:

Gewinde



Graphitelektrode

Inbusschlüssel

Laborbuchse rot

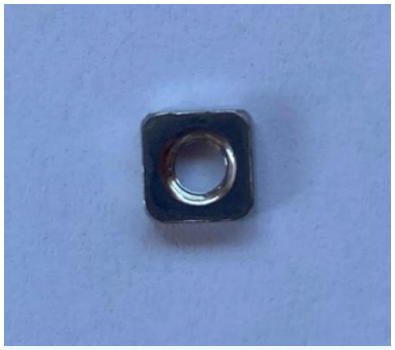
Laborbuchse schwarz

Messleitung rot

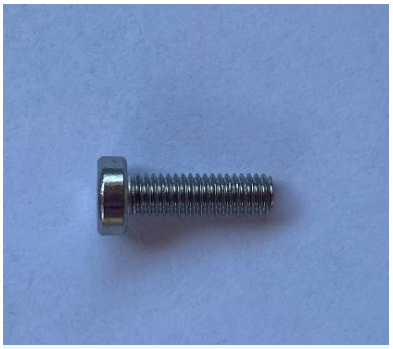
Messleitung schwarz

Mutter

Reagenzglas



Vierkantmutter



Zylinderkopfschraube

11 Rechtlicher Hinweis

Siehe *«Begleitung – Bau deinen eigenen Elektrolyseur»* in Kapitel 15 *«Rechtlicher Hinweis»*.