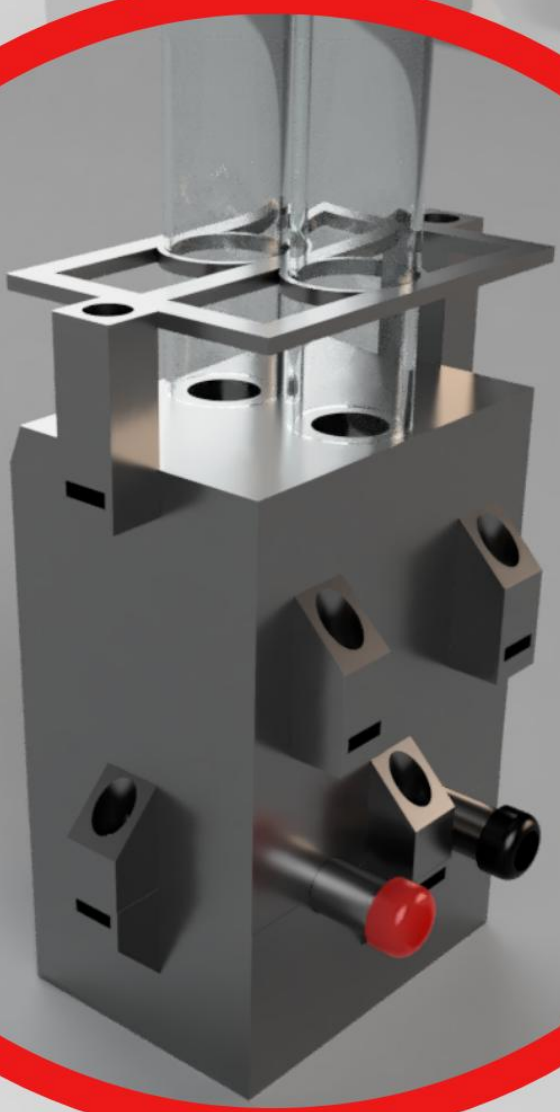
# BAU DEINEN EIGENEN ELEKTROLYSEUR

## BEGLEITUNG



JONAS TRABER

www.tectraon.ch

info@tectraon.ch

*by Tectraon*

3. Auflage

# Inhalt

1 Ziel des Projekts ..... 2
2 Überblick zum Projektmaterial ..... 3
2.1 «Anleitung – Bau deinen eigenen Elektrolyseur» ..... 3
2.2 «Theorie – Bau deinen eigenen Elektrolyseur» ..... 3
3 Lernziele und Kompetenzen ..... 4
4 Fachliche Anbindung ..... 6
5 Didaktischer Hinweis ..... 7
5.1 Baustein-Prinzip ..... 7
5.2 Mögliche Baustein-Kombinationen ..... 8
5.3 Differenzierung ..... 9
5.4 Unterstützung und Steuerung ..... 9
5.5 Selbstständigkeit und Teamarbeit ..... 9
5.6 Zeitmanagement ..... 10
6 Sicherheits- und Verantwortlichkeitshinweis ..... 11
6.1 Kommentar zum *Sicherheitshinweis* in der *Anleitung* ..... 11
7 Organisatorische Vorbereitung ..... 14
7.1 Materialbeschaffung und -bereitstellung ..... 14
7.2 Raum und Ausstattung ..... 14
7.3 Vorbereitung der Schüler:innen ..... 15
8 Lösungen zu den Aufgaben ..... 16
8.1 «5 Experimente mit der Elektrolysekonstruktion» ..... 16
8.2 «7 Einsatz des Elektrolyseurs» ..... 21
9 Erweiterungen ..... 25
9.1 «Theorie – Bau deinen eigenen Elektrolyseur» ..... 25
9.2 «Anleitung – Bau deinen eigenen Elektrolyseur» ..... 26
10 Bestellungsmöglichkeiten ..... 27
10.1 Aktuelle Angebote auf unserer Webseite ..... 27
10.2 Eigene Ideen & Kooperationen ..... 27
11 Ihr Feedback ist gefragt! ..... 29
12 Schlusswort ..... 30
13 Kontakt ..... 30
14 Quellen ..... 31
15 Rechtlicher Hinweis ..... 32

# 1 Ziel des Projekts

Dieses Projekt gibt Schüler:innen die Möglichkeit, sich selbstständig und praxisnah mit einem hochaktuellen Thema auseinanderzusetzen: der Energiezukunft und der Rolle von Wasserstoff darin. Durch den Bau eines Elektrolyseurs aus 3D-gedruckten Teilen erleben sie nicht nur naturwissenschaftliche Inhalte konkret, sondern setzen sich auch mit gesellschaftlichen Fragen auseinander.

Wasserstoff ist ein Energieträger, der regelmässig kontrovers diskutiert wird – sei es in Medien, Politik oder Forschung. Ob er künftig eine zentrale Rolle spielt oder nicht: Es ist wichtig, dass junge Menschen die grundlegenden Prinzipien verstehen und sich eine eigene Meinung bilden können. Dieses Projekt vermittelt dafür das nötige technische Verständnis und regt zur Reflexion an.

Die Theorieeinheit vermittelt Grundlagen zu Wasserstoff, Elektrolyse und möglichen Anwendungen in einem nachhaltigen Energiesystem. Im anschliessenden Bauprojekt wird dieses Wissen greifbar: Die Schüler:innen setzen die Theorie in die Praxis um und erleben unmittelbar die Funktion und Bedeutung der Technologie.

Das Projekt fördert nicht nur fachliche Kompetenzen, sondern auch wichtige überfachliche Fähigkeiten: Teamarbeit, präzises Arbeiten, Verantwortungsbewusstsein und handwerkliches Geschick. Der Umgang mit empfindlichen Teilen und sicherheitsrelevanten Aspekten erfordert Aufmerksamkeit, Kooperation und Sorgfalt – Kompetenzen, die weit über den Fachunterricht hinaus wirksam sind.

Die Durchführung ist bewusst modular und flexibel gehalten. Sie als Lehrperson entscheiden, ob Sie das Projekt stärker praktisch, theoretisch oder diskursiv ausrichten möchten. Die vorliegenden Materialien – Anleitung, Theorieteil und diese Begleitung – ermöglichen eine Umsetzung ohne aufwändige Vorbereitung oder spezielles Fachwissen.

Ziel ist es, Ihnen eine klare Struktur und gleichzeitig pädagogische Freiheit zu bieten: Sie können das Projekt niedrigschwellig in Ihren Unterricht integrieren, ohne auf Qualität oder Tiefe zu verzichten.

# 2 Überblick zum Projektmaterial

Neben diesem Lehrpersonendokument besteht das Projekt aus zwei weiteren zentralen Dokumenten, die direkt für den Einsatz im Unterricht gedacht sind:

## 2.1 «Anleitung – Bau deinen eigenen Elektrolyseur»

**Dieses Dokument führt die Schüler:innen durch den Bau und die Experimente des Elektrolyseurs.**

Es beginnt mit einer übersichtlichen Materialliste, die zu jedem Kapitel alle benötigten Mittel auflistet und den Schüler:innen eine eigenständige Kontrolle ermöglicht. Darauf folgt ein ausführlichen Sicherheitshinweis, der auf mögliche Risiken aufmerksam macht und Massnahmen vorgibt, sodass eine sichere Durchführung gewährleistet ist.

Ab Kapitel 4 beginnt das Bauen und Experimentieren. Eine Schritt-für-Schritt-Anleitung unterstützt durch Bilder und Hinweise ermöglicht das eigenständige Arbeiten. Zuerst wird die Elektrolysekonstruktion gebaut, die das Herzstück darstellt und an der sich theoretische Elektrolyse praktisch einfach nachvollziehen lässt. Nach einigen Experimenten wird diese dann im Elektrolyseur verbaut, bei welchem Wasserstoff und Sauerstoff einzeln aufgefangen wird, um eine Wirkungsgradberechnung durchzuführen.

Zum Abschluss wird der Rückbau thematisiert, damit das Material wieder bereit für eine weitere Gruppe ist.

## 2.2 «Theorie – Bau deinen eigenen Elektrolyseur»

**Dieses Dokument vermittelt die wichtigsten theoretischen Grundlagen, welche für die Durchführung des Projektes und die Einordnung des Themas in unserer Gesellschaft notwendig sind.**

Im ersten Teil wird das chemische Element Wasserstoff vorgestellt. Darauf folgt die Erklärung der Wasserelektrolyse aus naturwissenschaftlicher Sicht. Zum Schluss folgt eine kurze Auseinandersetzung mit der Rolle von Wasserstoff in einem nachhaltigen Energiesystem in der Zukunft.

# 3 Lernziele und Kompetenzen

Das Projekt ist so konzipiert, dass es fachliches Wissen mit praktischen und überfachlichen Kompetenzen verbindet. Die Umsetzung lässt sich je nach Unterrichtssituation unterschiedlich gewichten – sei es eher technisch-handwerklich, naturwissenschaftlich oder gesellschaftlich-reflexiv.

## Fachliche Kompetenzen:

Die Schüler:innen können …

- … das Prinzip der **Wasserelektrolyse** erklären und die zugrunde liegenden chemischen Reaktionen benennen.
- … den **Aufbau eines Elektrolyseurs** beschreiben und dessen Funktionen erläutern.
- … die **Rolle von Elektroden, Spannung, Stromstärke** und Elektrolyten bei der Elektrolyse verstehen.
- … mit einfachen Mitteln **Wasserstoff und Sauerstoff** erzeugen und deren Entstehung untersuchen.
- … die Bedeutung von **Wasserstoff als Energieträger** im Kontext nachhaltiger Energiesystem diskutieren.
- … grundlegende Begriffe wie **Wirkungsgrad, Gasvolumen und Sicherheitsaspekte** bei chemischen-technischen Prozessen anwenden.

## Praktisch-technische Kompetenzen:

Die Schüler:innen …

- … bauen selbstständig in Gruppen einen funktionstüchtigen **Elektrolyseur** aus bereitgestellten Komponenten.
- … setzen Werkzeuge, Materialien und Messgeräte **sachgerecht und sicher** ein.
- … beachten **Sicherheitsvorschriften** beim Umgang mit Strom, Wasserstoff und schwachen Säuren.
- … dokumentieren und analysieren Beobachtungen aus ihren Experimenten.
- … führen einfache **Berechnungen zum Wirkungsgrad** oder Gasvolumen durch.

## Überfachliche und personale Kompetenzen:

Die Schüler:innen …

- … arbeiten **verantwortungsvoll und sicherheitsbewusst** im naturwissenschaftlichen Kontext.
- … übernehmen **Rollen und Verantwortung** in Gruppen.
- … stärken ihre **Selbstständigkeit**, indem sie mit der Anleitung eigenverantwortlich arbeiten.
- … reflektieren ihr Vorgehen und ihre Lernerfahrungen.
- … setzen sich kritisch mit der **Rolle von Wasserstoff** in der Energiewende auseinander.
- … trainieren ihre **Kommunikationsfähigkeit**, z. B. bei der Präsentation von Ergebnissen oder dem Erklären von Fachbegriffen.

# 4 Fachliche Anbindung

Das Projekt ist fachlich vielseitig aufgestellt und kann mit Schwerpunktsetzung in vielen Fächern zur Anwendung kommen.

## Chemie

- **Elektrolyse und Redoxreaktionen:** Das Projekt erlaubt eine direkte Anwendung grundlegender Begriffe wie Oxidation, Reduktion, Elektronenübertragung und Ionenaustausch.
- **Energieträger und Energieumwandlung:** Es zeigt den Zusammenhang zwischen elektrischer und chemischer Energie und stellt Wasserstoff als speicherbaren Energieträger vor.
- **Nachhaltige Chemie:** Das Thema ist ideal für Diskussionen zu «grüner Chemie», Kreisläufe und Verantwortung in der Forschung.

## Physik

- **Elektrischer Strom:** Stromkreis, Spannung, Stromstärke und Leitfähigkeit werden praktisch erlebbar.
- **Energieformen:** Umwandlungen, Speicherung und Energieeffizienz lassen sich anhand des Elektrolyseurs konkret besprechen.

## Technik/MINT-Profil

- **Systemdenken und Modellbau:** Das Projekt verlangt Präzision, Teamarbeit und Sorgfalt – wie in echten Ingenieurprojekten.
- **Materialverarbeitung und Sicherheitsbewusstsein:** Das Projekt kann auch als Einstieg in die technische Ausbildung oder Forschung dienen.

## Geografie/Politik/Wirtschaft

- **Energiezukunft und Nachhaltigkeit:** Das Projekt bietet Anlass für Diskussionen zur Energiewende, globaler Ressourcennutzung und Technologiepolitik.
- **Gesellschaftlicher Diskurs:** Die Schüler:innen werden angeregt, sich eine fundierte eigene Meinung zu Wasserstoff als Zukunftstechnologie zu bilden.

# 5 Didaktischer Hinweis

## 5.1 Baustein-Prinzip

Das Projekt ist modular aufgebaut. Die Lehrperson kann die einzelnen Bausteine je nach fachlichem Schwerpunkt, Zeitbudget und Klassensituation auswählen und kombinieren. In der folgenden Tabelle sind die verschiedenen Bausteine aufgelistet:

| Bausteine | Kapitel | Inhalt | Mögliche Ziele | geschätzter Zeitaufwand |
|---|---|---|---|---|
| **Theorie – Bau deinen eigenen Elektrolyseur** | | | | |
| Theorie 1 | 2 | Element Wasserstoff: seine Eigenschaften und Bedeutung | Chemisches Grundwissen, Kontext zur Energiewende | 15 min |
| Theorie 2 | 3 | Wasserelektrolyse: chemische Grundlage | Chemisches Verständnis: Elektrochemie, Redoxchemie | 20 min |
| Theorie 3 | 4 | Wasserstoff als Energieträger der Zukunft | Nachhaltigkeit, Energiewirtschaft | 20 min |
| **Anleitung – Bau deinen eigenen Elektrolyseur** | | | | |
| Sicherheit | 3 | Mögliche Gefahren, dazugehörige Sicherheitsmassnahmen | Verantwortungsbewusstsein, konsequentes und überlegtes Handeln | 20 min |
| Bauphase 1 | 4 | Bau der Elektrolysekonstruktion: praktische Umsetzung der theoretischen Wasserelektrolyse | Theorie in Praxis umsetzen, Modellbau, Teamarbeit | 35 min |
| Experiment 1 | 5.3 | Bestimmung der Anode und Kathode | lesen von Darstellungen, technisches Verständnis | 10 min |
| Experiment 2 | 5.4 | Beobachtung der Elektrolyse, Auswirkung des Elektrolyten | Sicherheitsbewusstsein, Experimentierkompetenzen, Beobachtungsfähigkeit, Elektrizität | 45 min |
| Bauphase 2 | 6 | Bau des Elektrolyseurs: Einbettung der Elektrolysekonstruktion, Trennung und Speicherung von Wasserstoff und Sauerstoff | Funktionsverständnis, Modellbau | 20 min |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Experiment 3 | 7.3, 7.4 | Gasvolumenverhältnis | Verständnis einer Reaktion, Erkennung möglicher Ursachen | 25 min |
| Experiment 4 | 7.5, 7.6 | Volumenberechnung, Wirkungsgradberechnung | Präzision, Energieeffizienz, Ursache erkennen und mögliche Lösungsansätze finden | 35 min |
| Reflexion | | Auswertung, Diskussion, eigene Meinungsbildung zu Wasserstoff in unserem Energiesystem | Zusammenhänge erkennen, Meinungsbildung | 20 min |

## 5.2 Mögliche Baustein-Kombinationen

### Fokus Elektrolyse und Redoxreaktionen:

- Theorie 1 + 2
- Sicherheit
- Bauphase 1
- Experiment 1
- Experiment 2

### Fokus Nachhaltigkeit und Wirkungsgrad:

- Theorie 3
- Sicherheit
- Bauphase 1
- Bauphase 2
- Experiment 4
- Reflexion

### Projekttag/Freifächer:

- Theorie 1 + 2
- Sicherheit
- Bauphase 1
- Experiment 1
- Experiment 2
- Theorie 3
- Bauphase 2
- Experiment 3
- Experiment 4
- Reflexion

## 5.3 Differenzierung

Je nach Leistungsstand und Interesse der Schüler:innen können Sie Schwerpunkte setzen:

- **Leistungsstärkere Schüler:innen** können vertiefende Aufgaben zu chemischen Reaktionen, Interpretationen von Beobachtungen oder Wirkungsgradberechnung übernehmen.
- **Für leistungsschwächere Schüler:innen** eignet sich der praktische Bau des Elektrolyseurs und einfache Beobachtungsexperimente.
- **Differenzierung durch Gruppenarbeit:** Unterschiedliche Gruppen können parallel an verschiedenen Bausteinen arbeiten, um das Projekt vielseitig zu gestalten.

## 5.4 Unterstützung und Steuerung

- Beginnen Sie mit einer **klaren Sicherheitsunterweisung** – insbesondere im Hinblick auf den Umgang mit Strom, Wasser und Wasserstoff.
- Ermöglichen Sie **selbstständiges Arbeiten**, greifen Sie jedoch unterstützend ein, wenn Frustration droht oder sicherheitsrelevante Fragen auftauchen.

## 5.5 Selbstständigkeit und Teamarbeit

Das Projekt bietet vielfältige Gelegenheiten, Schlüsselkompetenzen wie eigenständiges Arbeiten, sorgfältiges Lesen der Anleitung und kooperative Teamarbeit zu fördern. Planen Sie gezielt Reflexionsphasen ein, in denen die Schüler:innen ihre Erfahrung austauschen und diskutieren können.

## 5.6 Zeitmanagement

Die Zeitangaben zu den einzelnen Bausteinen sind Richtwerte – je nach Gruppendynamik und gewünschter Vertiefung kann der Aufwand variieren.

- **Genügend Zeit einplanen:** Berücksichtigen Sie den zusätzlichen Zeitbedarf für sorgfältiges Aufbauen, Nachbereiten und Aufräumen.
- **Flexibilität durch Reservezeit und Zusatzaufgaben**: Bauen Sie Pufferzeiten ein und halten Sie Backup-Aufgaben bereit, um flexibel auf Verzögerungen oder schnell arbeitende Gruppen reagieren zu können.

# 6 Sicherheits- und Verantwortlichkeitshinweis

Die Sicherheit ist ein zentraler Aspekt dieses Projekts, da verschiedene potenzielle Gefahren berücksichtigt werden müssen. Die Schüler:innen werden in der Anleitung im Kapitel 3 *«Sicherheitshinweis»* sowie an den relevanten Stellen im Dokument über alle Gefahren und die entsprechenden Schutzmassnahmen informiert.

Auch wenn die Vielzahl an Punkten auf den ersten Blick überfordernd wirken mag, lässt sich die Umsetzung mit sorgfältiger Vorbereitung gut meistern. Viele potenzielle Risiken können bereits im Vorfeld durch geeignete Massnahmen und organisatorische Vorkehrungen minimiert oder vollständig beseitigt werden.

Ich empfehle die *«RiSU – Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht»*, auf die ich mich bei den Sicherheitsmassnahmen im Projekt mehrfach beziehe. In Kapitel 14 *«Quellen»* sind zentrale Abschnitte daraus hervorgehoben, die gezielt sicherheitsrelevante Aspekte vertiefen.

Ich empfehle, diese Stellen vor der Durchführung zu studieren, um eine sichere Umsetzung im Unterricht zu gewährleisten.

## 6.1 Kommentar zum *Sicherheitshinweis* in der *Anleitung*

### «3.1 Wasser und Strom – eine gefährliche Kombination»

Worst-Case-Szenario: Stromschlag durch Berührung der Elektroden im Wasser

Damit bei diesem Experiment keine gefährlichen Körperströme entstehen, müssen die Spannungen und Stromstärken deutlich unter den in der **RiSU** (Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht) genannten Maximalwerten liegen.

Zwar erlaubt die RiSU bei Schülerexperimenten Gleichspannungen bis **60 V** für **berührbare Spannungsquellen** und sogar bis **120 V** bei **nicht berührbaren Spannungsquellen**. Diese Werte gelten jedoch **nicht** für Experimente mit **leitfähigen**

**Flüssigkeiten** – wie in diesem Projekt. Der elektrische Widerstand der Haut wird durch den Kontakt mit Flüssigkeiten stark verringert, wodurch das Risiko eines Stromschlags deutlich steigt.

Um das Gefahrenpotenzial auszuschliessen, empfehle ich dringend folgende Maximalwerte:

- **Elektrolysekonstruktion**: **maximal 10 V Gleichspannung und 0.1 A Gleichstrom**, da die Elektroden frei zugänglich sind.
- **Elektrolyseur: maximal 20 V Gleichspannung und 0.2 A Gleichstrom**, da die Elektroden geschützt eingebaut sind.
- *zertifiziertes Labornetzgerät*: Labornetzgeräte die **offiziell geprüft und zugelassen** wurden für Schulen und über eine sogenannte «**Schutztrennung**/Schutztransformator» verfügen.

Diese technischen Schutzmassnahmen sorgen dafür, dass auch im Falle eines Stromschlags keine schwerwiegenden Folgen zu erwarten sind.

Damit es gar nicht erst zu einem Stromschlag kommt, ist das *«Verantwortlichkeitsprinzip»* innerhalb der Gruppe besonders wichtig:

- **Eine Person ist für das Labornetzgerät zuständig** – sie darf Strom nur mit Vorwarnung und in Absprache mit der verantwortlichen Person am Wasserbecken aufsetzen. Zudem ist sie immer bereit, um den Strom auszuschalten.
- **Eine andere Person überwacht das Wasserbecken**, um sicherzustellen, dass niemand hineingreift, solange Strom anliegt.

Das Verantwortlichkeitsprinzip wird in der Anleitung erst kurz vor dem Experiment eingeführt (Kapitel 5.2/7.2 *«Verantwortlichkeitsprinzip»*). Ich empfehle, es bereits vorab einzuführen und einzuüben, damit die Rollen klar sind. So kann sichergestellt werden, dass niemand versehentlich ins Wasser fasst, selbst wenn er nicht weiss, ob gerade Strom fliesst.

### «3.2 Wasserstoff – unsichtbar und leicht entflammbar»

Worst-Case-Szenario: explosionsartige Entzündung

Diese Gefahr lässt sich durch organisatorische Massnahmen zuverlässig vermeiden:

- Durchführung **nur im Freien** oder in **Fachräumen mit geeignetem Lüftungssystem**. So kann Wasserstoff gefahrlos entweichen.
- **Zündquellen im gesamten Umfeld entfernen**: Dazu gehören offene Flammen, Heizquelle, aber auch elektronische Geräte oder Werkzeuge.

Auch bei kleinen produzierten Mengen muss eine Ansammlung von Wasserstoff und damit die Bildung eines entzündbaren Gas-Luft-Gemisches verhindert werden. Daher ist das **Tragen einer Schutzbrille immer verpflichtend**, da die Augen im Ernstfall besonders gefährdet wären.

### «3.3 Säuren – von harmlos bis hoch ätzend»

Worst-Case-Szenario: Haut- oder Augenreizungen

Im vorliegenden Projekt liegt die Zitronensäurekonzentration bei maximal 10g/l, also im reizenden Bereich. Daher gilt:

- schützende **Einweghandschuhe** und **Schutzbrille** tragen
- **Kontakt** vor allem mit **Augen, Mund und Wunden vermeiden**
- Bei versehentlichem **Kontakt: sofort mit Wasser spülen**

Bedenken Sie, dass Zitronensäure-Lösungen nicht in grösseren Mengen über den Abfluss entsorgt werden sollen. Klären Sie eine anfällige Spezialentsorgung ab.

### «3.4 Graphit – leicht zerbrechlich»

Worst-Case-Szenario: Materialschaden

Graphit stellt keine sicherheitstechnische Gefahr dar, ist jedoch **empfindlich gegenüber mechanischer Belastung**. Weisen Sie auf einen achtsamen Umgang hin, um Materialschäden zu vermeiden.

# 7 Organisatorische Vorbereitung

## 7.1 Materialbeschaffung und -bereitstellung

Alle benötigten Materialien finden Sie im Kapitel 2 «*Materialliste*» im Dokument «*Anleitung – Bau deinen eigenen Elektrolyseur*».

Die projektspezifischen Bauteile können bestellt werden – nähere Informationen dazu finden Sie im Kapitel 9 «*Bestellungsmöglichkeiten*» in diesem Dokument.

Die übrigen Materialien sind **selbst zu organisieren**. Pro Gruppe wird benötigt:

- zertifiziertes Labornetzgerät
- Wasserbecken (mind. 150 x 100 x 120 mm)
- Litermass
- Einweghandschuhe (pro Person)
- Schutzbrille (pro Person)
- Laborkittel (empfohlen)
- Waage
- Wägeschale
- Zitronensäure-Pulver (im regulären Supermarkt erhältlich)
- Kunststofflöffel
- Trocknungstuch
- Taschenrechner

## 7.2 Raum und Ausstattung

Achten Sie darauf, dass der gewählte Raum folgende Voraussetzungen erfüllt:

- Der entstehende **Wasserstoff kann ungehindert entweichen** – es darf zu keiner Ansammlung kommen.
- Schüler:innen können sich bei Kontakt mit Zitronensäure **selbstständig mit Wasser abspülen**.
- **Zugang zu Leitungswasser** ist vorhanden
- **Grosse Arbeitsfläche**, die übersichtliches Arbeiten ermöglichen
- Es besteht eine Möglichkeit zur **Entsorgung der Wasser-Zitronensäure-Lösung**.
- Es gibt **ausreichend Plätze zum sicheren Trocknen** der Bauteile.
- Im Notfall ist bekannt, wo sich **Erste-Hilfe-Material** befindet.

## 7.3 Vorbereitung der Schüler:innen

Die Schüler:innen sollen von Beginn an umfassend über mögliche Gefahren informiert sein und wissen, mit welchen Schutzmassnahmen sie sich schützen können. Sie sollen zudem für den Umgang mit unerwarteten Situationen vorbereitet sein und wissen, wie sie sich im Notfall verhalten und an wen sie sich wenden können.

# 8 Lösungen zu den Aufgaben

Die folgenden Lösungen sind als Beispiellösungen zu verstehen. Viele Aufgaben haben keine festen Antworten, da sie von individuellen Messwerten oder persönlichen Beobachtungen abhängen.

Gehen Sie daher auch auf abweichende Erkenntnisse ein, die nicht aufgelistet sind, und diskutieren Sie diese gemeinsam mit den Schüler:innen. Um sicherzustellen, dass die Schüler:innen auf dem richtigen Weg bleiben, kann es hilfreich sein, gezielte Hinweise zu geben und den Fokus auf bestimmte Beobachtungsaspekte zu lenken.

## 8.1 «5 Experimente mit der Elektrolysekonstruktion»

### «5.3 Bestimmung der Anode und Kathode»

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

Die Zuordnung der Elektroden erfolgt über die Farbe der Laborbuchsen:
**schwarz** → negativen Pol
**rot** → positiver Pol

Folgt man dem Gewinde der jeweiligen Buchse, kann man anhand der weissen Iso-Scheibe erkennen, welche Elektrode elektrisch isoliert ist und welche direkt mit dem Gewinde verbunden ist.

- Die Elektrode, die mit dem negativen Pol (**schwarze** Buchse) verbunden ist → Kathode
- Die Elektrode, die mit dem positiven Pol (**rote** Buchse) verbunden ist → Anode

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

Es handelt sich um eine saure Lösung, also gilt:

Kathode (Reduktion):

$2H_3O^+ + 2e^- \rightarrow H_2 + 2H_2O$

Anode (Oxidation):

$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H_3O^+ + 4e^-$

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

Aus den Reaktionsgleichungen ist ersichtlich:

Kathode → Wasserstoff

Anode → Sauerstoff

### «5.4 Auswirkung des Elektrolyten»

Wassermenge in Litern:

1.2 Liter

(abhängig von der Wasserbeckengrösse)

Masse der Zitronensäure:

$m = 1.2l \cdot 10g/l = 12g$

(Wassermenge in Litern mit 10g/l multiplizieren → ergibt die Masse der Zitronensäure in Gramm)

## Tabelle ohne Elektrolyten

| Spannung | Stromstärke | Beobachtungen (Entsteht Wasser-/Sauerstoff? Wo? Wieviel? Weitere Auffälligkeiten?) |
|---|---|---|
| 2 V | 0.00 A | • kleine Blasen → Luft, die beim Auffüllen haften blieb<br>• keine Gasbildung → Elektrolyse ersichtlich |
| 4 V | 0.02 A | • noch immer nicht vieles erkennbar<br>• evtl. sehr kleine, vereinzelte Gasblasen |
| 6 V | 0.03 A | • kleine Gasblasen steigen über der Kathode auf → Wasserstoff<br>• vereinzelt auch Sauerstoffblasen über der Anode<br>• Blasenbildung findet vor allem am oberen Rand der Elektrode statt |
| 8 V | 0.04 A | • die Gasbildung wird sowohl bei der Kathode sowie bei der Anode stärker<br>• Gasblasenbildung verteilt sich mehr über die Elektrodenfläche<br>• am meisten noch immer am Rand der Elektroden<br>• immer noch mehr Wasserstoff als Sauerstoff |
| 10 V | 0.05 A | • Gasblasenbildung hat nochmals zugenommen<br>• fast auf ganzer Elektrodenfläche erkennbar |

Hat die Elektrolyse funktioniert? Woran habt ihr das erkannt?

Ja, es haben sich Gasblasen auf den Elektroden gebildet, was zeigt, dass eine chemische Reaktion stattgefunden hat.

Die Gasblasenbildung ist ein Hinweis, dass sich Wasser durch den elektrischen Strom in seine Bestandteile aufgespalten hat.

Ab welcher Spannung hat die Elektrolyse eingesetzt?

Der theoretische Wert liegt bei 1.23 V [1].

Meistens ist bei 2 V noch keine Gasblasenbildung erkennbar. Daher ist 4 V, die Spannung, wo die Elektrolyse einsetzt.

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Electrolysis_of_water#:~:text=Water%20electrolysis%20requires%20a%20minimum,less%20expensively%20from%20fossil%20fuels.

## Tabelle mit Elektrolyten

| Spannung | Stromstärke | Beobachtungen (Entsteht Wasser-/Sauerstoff? wo? wieviel? was fällt sonst noch auf?) |
|---|---|---|
| 2 V | 0.01 A | • vereinzelt kleine Blasen an der Kathode → Wasserstoff erkennbar<br>• bei der Anode noch nichts erkennbar |
| 4 V | 0.03 A | • bei Kathode ist die Gasblasenbildung klar erkennbar<br>• Anode vereinzelte Gasblasen erkennbar |
| 6 V | 0.07 A | • steigen über beiden Elektroden Gasblasen auf<br>• mehr Wasserstoff als Sauerstoff<br>• vermehrt auch auf den Flächen der Elektroden und nicht nur an den Kanten |
| 8 V **(7 V)** | 0.1 A (Eingriff der Strombegrenzung) | • nochmals eine Steigerung der Blasenbildung<br>• bessere Verteilung der Bildung über die Elektrodenfläche |
| 10 V **(7 V)** | 0.1 A (Eingriff der Strombegrenzung) | • Gleich wie vorher → Spannung lässt sich aufgrund der Strombegrenzung nicht erhöhen |

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

- Bei gleicher Spannung ist mehr Strom geflossen → der elektrische Widerstand der Elektrolysekonstruktion hat sich verringert.
- Dadurch wurde mehr Leistung umgesetzt ($P = U \cdot I$), obwohl die Spannung gleich blieb.
- In der Folge entstanden mehr Gasblasen – sowohl an der Wasserstoff- als auch an der Sauerstoffelektrode.

Insgesamt ist die Reaktion deutlich intensiver verlaufen, was auf die verbesserte Leitfähigkeit der Lösung aufgrund der Zitronensäure als Elektrolyt zurückzuführen ist.

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

Insgesamt verbessert sich mit dem Elektrolyten die Energieeffizienz der Elektrolyse – es wird weniger Energie verschwendet. Das macht die Speicherung von erneuerbarer Energie in Form von Wasserstoff attraktiver und praktikabler, da Verluste geringer ausfallen.

Wasserstoff kann dadurch eine effizientere Rolle als Energiespeicher in einem nachhaltigen Energiesystem einnehmen.

Wie könnte man die Elektrolyse effizienter gestalten?

- Konzentration des Elektrolyten erhöhen (höhere Leitfähigkeit)
- besseren Elektrolyten verwenden (höhere Leitfähigkeit)
- Katalysator einsetzen (Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen)
- Elektrodenmaterial optimieren (bessere Leitfähigkeit oder Reaktionsfreudigkeit)
- Abstand zwischen den Elektroden verringern (elektrischen Widerstand senken)
- Oberfläche der Elektroden vergrössern (mehr Reaktionsfläche)
- Wassertemperatur erhöhen (Reaktionsgeschwindigkeit steigern)

## 8.2 «7 Einsatz des Elektrolyseurs»

### «7.3 Einsatzbereitschaft erstellen»

Wassermenge in Litern:

> 2.1 Liter
>
> (abhängig von der Wasserbeckengrösse)

Masse der Zitronensäure:

> m = 2.1l · 10g/l = 21g
>
> (Wassermenge in Litern mit 10g/l multiplizieren → ergibt die Masse der Zitronensäure in Gramm)

### «7.4 Gasvolumenverhältnis»

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

> Die Reaktionsgleichung der Wasserelektrolyse lautet:
>
> $$\mathbf{2\,H_2O\,(l) \rightarrow 2\,H_2\,(g) + O_2\,(g)}$$
>
> Daraus ist ersichtlich, dass pro $O_2$-Molekül zweimal ein $H_2$-Moleküle entstehen. Da unter gleichen Bedingungen das Volumen eines Gases proportional zur Teilchenanzahl ist, müsste das Volumen von Wasserstoff doppelt so gross wie das von Sauerstoff sein.
>
> Erwartetes Gasvolumenverhältnis 2 : 1 ($H_2$ : $O_2$)

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

> Wenn man sich gemerkt hat, wo welche Elektrode bei Elektrolysekonstruktion war.
> (z.B. Kathode → Wasserstoff, war weiter weg vom Stromanschluss)
> Ansonsten, weiss man, auf der Seite, wo mehr Gasblasen aufsteigt, wird Wasserstoff produziert.

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

Nein, konnten das Verhältnis nicht bestätigen. Es wurde viel weniger Sauerstoff als erwartet produziert.
Gasvolumenverhältnis war eher 3:1 oder gar 4:1.

**Gründe für weniger Sauerstoff sind:**

- Sauerstoff ist besser wasserlöslich (Teil des Sauerstoffs in Wasser gelöst)
- Sauerstoff-Blasen haben stärkere Haftung (bleiben an Elektroden oder in Elektrolyseur hangen und tragen nicht zum Volumen bei)
- ist evtl. an Nebenreaktionen beteiligt, wo es verbraucht wird.

## «7.5 Volumenberechnung eines Reagenzglases»

Masse des leeren Reagenzglases:

$m_1 = 13.18$ g

Masse des vollen Reagenzglases:

$m_2 = 20.53$ g

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 ($\rho = 0.998$ g/ml [1]).

$\Delta m = m_2 - m_1 = 7.35$ g

Wasser in ml = $\Delta m/\rho = 7.36$ ml

da 1 ml = 1 $cm^3$ → $\underline{V = 7.36\ cm^3}$

## «7.6 Wirkungsgrad berechnen»

Zeit, bis Wasserstoff Messlinie erreicht, anliegende Spannung und Stromstärke:

t = 382 s
U = 19.9 V
I = 0.13 A

Chemische Energie berechnen mit dem Heizwert von Wasserstoff: H = 10.79 J/cm$^3$:

$E_{chem} = V \cdot H = 79.4$ J

Elektrische Energie berechnen:

$E_{ele} = U \cdot I \cdot t = 988.2$ J

Wirkungsgrad berechnen:

$\eta = E_{chem}/E_{ele} = 0.08 \rightarrow \underline{8\ \%}$

Wie schätz ihr euren errechneten Wirkungsgrad ein?

Ein Wirkungsgrad von 8 % ist relativ gering. Denn das bedeutet, dass weniger als ein Zwölftel der eingesetzten elektrischen Energie tatsächlich in Wasserstoff umgewandelt wird.

Was könnte den Wirkungsgrad gesenkt haben?

- Ein Teil des Wasserstoffes ist möglicherweise nicht im Reagenzglas angekommen (blieb im Elektrolyseur hängen oder entwich durch Undichtigkeiten).
- Ein Teil der elektrischen Energie wurde durch den Widerstand des Elektrolyseurs in Wärme umgewandelt, statt in chemische Energie.
- Messungenauigkeiten beim Bestimmen des Volumens bis zur Messlinie könnten sich negativ auf das Ergebnis ausgewirkt haben.
- Spannung und Storm wurden nicht während der gesamten Versuchsdauer gemessen, was die Berechnung der zugeführten Energie ungenau macht.
- Die Versuchsdauer war relativ kurz und die Messung insgesamt zu ungenau, wodurch der berechnete Wirkungsgraf verfälscht sein kann.

Wie könnte der Wirkungsgrad verbessert werden?

- Widerstand des Elektrolyseurs verringern (Leitfähigkeit erhöhen, Elektrodenabstand verringern, Katalysator hinzufügen)
- Besseres Elektrodenmaterial
- Gashaftung innerhalb des Elektrolyseurs reduzieren
- Elektrolyseur besser abdichten
- Genauere Messungen vornehmen vom Wasserstoffvolumen sowie der zugeführten elektrischen Energie
- Mehrere Durchläufe machen

# 9 Erweiterungen

Gerne möchte ich Sie ermutigen, das Projekt auch auf kreative Weise in Ihren Unterricht zu integrieren. Der Theorieabschnitt sowie die Aufgaben zur Elektrolyseurkonstruktion und zum Elektrolyseur bieten bewusst noch Spielraum für einige Ergänzungen und Vertiefungen.

Da sich das Projekt weiterhin in Entwicklung befindet, habe ich mich in dieser Version auf das Wesentliche konzentriert. In den folgenden Abschnitten finden Sie einige Ideen, wie sich das Projekt erweitern lässt.

Ich freue mich zudem über Rückmeldungen – seien es Anregungen, eigene Ideen oder auch Kritik zu den bestehenden Inhalten. So kann das Projekt gezielt weiterentwickelt und stärker an die Interessen der Lernenden und Lehrpersonen angepasst werden. Mehr dazu in Kapitel 10 *«Feedback»*.

## 9.1 «Theorie – Bau deinen eigenen Elektrolyseur»

Die Theorieabschnitt ist bewusst einfach gehalten – er besteht aus Text und einigen Darstellungen. Daher ist Ihre aktive Gestaltung besonders wichtig. Folgende Ansätze bieten sich an:

- **Gruppenarbeit zu Teilthemen:**
  Teilen Sie die drei Themen auf Kleingruppen auf. Jede Gruppe bereitet ein Thema vor und erklärt es anschliessen den anderen – z. B. mit einem Kurzvortrag oder einer digitalen Präsentation.
- **Aufgabenblatt zur Theorie:**
  Erstellen Sie ein kurzes Aufgabenblatt zum Theorieabschnitt. So erkennen Sie, bei welchen Inhalten noch Erklärungsbedarf besteht, und fördern das gezielte Lesen und Verstehen.
- **Pro- und Kontra-Debatte zum Thema «Wasserstoff als Energieträger»:**
  Teilen Sie die Klasse in zwei Gruppen: Eine sammelt Argumente für, die anderen gegen Wasserstoff als Energieträger. Sie moderieren die Diskussion. So setzen sich die Schüler:innen intensiv mit Chancen und Herausforderungen auseinander und stärken ihr Argumentationskompetenz.

## 9.2 «Anleitung – Bau deinen eigenen Elektrolyseur»

### «5. Experimente mit der Elektrolysekonstruktion»

Möglichkeiten zur Erweiterung der Experimente:

- **Beobachtung der Gasbildung:**
  An den Graphitelektroden lässt sich die Entstehung von Gasblasen gut beobachten. An welchen Stellen bilden sich die Blasen bevorzugt – und warum? Welche Rückschlüsse lassen sich daraus ziehen?
- **Untersuchung von Korrosion:**
  Entfernt man den SA-Schutz der Elektrolysekonstruktion, liegt Edelstahl frei. Im Gegensatz zum Graphit der Elektrode zeigt Edelstahl ein anderes Verhalten: Es tritt vermehrt Korrosion auf, verbunden mit einer erhöhten Gasbildung. Dies bietet Anlass für Materialvergleiche und Diskussion zur elektrochemischen Stabilität.

### «7. Einsatz des Elektrolyseurs»

Möglichkeit zur Erweiterung der Experimente:

- **Genauere Wirkungsgradmessung:**
  Die Berechnung des Wirkungsgrads ist bewusst einfach gehalten. Wenn das Material vorhanden ist, kann die Genauigkeit verbessert werden – z. B. durch präzisere Messung des Gasvolumen oder durch kontinuierliche Spannungs- und Strommessung zur exakten Leistungsbestimmung.
- **Mehrere Versuchsdurchläufe:**
  Wiederholte Messungen ermöglichen die Berechnung von Mittelwerten und die Auswertung statistischer Abweichungen. Dies stärkt das Verständnis für Messgenauigkeiten und experimentelle Unsicherheiten.
- **Anwendung des erzeugten Wasserstoffs:**
  Wenn die Kapazitäten es zulassen, kann der Wasserstoff als Energiequelle genutzt werden – z. B. zum Abtrieb eines kleinen Fahrzeugs, eines Propellers oder eines Mini-Brenners. So wird der technische Nutzen direkt erlebbar gemacht.

# 10 Bestellungsmöglichkeiten

Mit der Materialliste aus *Kapitel 7.1 «Materialbeschaffung und -bereitstellung»* in diesem Dokument *Begleitung* und den von uns angebotenen projektspezifischen Komponenten steht Ihnen alles für einen reibungslosen Projektablauf zur Verfügung. Da sich das Projekt stetig weiterentwickelt, haben wir unser Angebot erweitert, um den unterschiedlichen Bedürfnissen von Bildungseinrichtungen, Unternehmen und Privatpersonen gerecht zu werden.

## 10.1 Aktuelle Angebote auf unserer Webseite

Um stets die aktuellen Paketoptionen, Verfügbarkeiten und Preise zu garantieren, finden Sie alle Details zu den Produkten direkt auf der Webseite (*www.tectraon.ch*). Wir bieten spezifische Lösungen für folgende Bereiche an:

- **Schulen & Bildungsinstitutionen:** Probesets, Klassensätze mit Ersatzteilen und Lizenzkauf, um selbst die 3D-Teile zu drucken.
- **Unternehmen & Organisationen:** Angebote für Workshops, Events, Branding oder grössere Stückzahlen für Ausbildungszwecke.
- **Privatpersonen:** Einzel-Bausätze für Hobby, Forschung und Begeisterung an der Wasserstofftechnik

**Besuchen Sie die Webseite unter:**

***www.tectraon.ch***

## 10.2 Eigene Ideen & Kooperationen

Das Projekt hat eine modulare Basis. Wenn Sie spezielle Anforderungen haben oder das Projekt in einem anderen Rahmen (z. B. Ferienkurse, Firmenevents oder Wettbewerbe) umsetzen möchten, unterstützen wir Sie gerne dabei.

Haben Sie eigene Ideen für Erweiterungen oder benötigen Sie eine massgeschneiderte Zusammenstellung der Komponenten? Wir freuen uns über Ihre Kontaktaufnahme, um gemeinsam eine passende Lösung zu finden.

**Kontakt für Anfragen und Bestellungen:**

E-Mail: ***info@tectraon.ch***

# 11 Ihr Feedback ist gefragt!

Da sich dieses Projekt noch in der Entwicklung befindet, bin ich auf Ihre Rückmeldungen angewiesen, um es gezielt weiterzuentwickeln und zu verbessern.

Sie können jederzeit Anregungen oder Kritik per E-Mail an folgende Adresse senden: info@tectraon.ch

Unterhalb dieses Textes finden Sie zwei QR-Codes, die zu separaten Feedback-Formularen auf *Microsoft Forms* führen:

- **Für Lehrpersonen**
- **Für Schülerinnen und Schüler**

Ich danke Ihnen herzlich für Ihre Zeit und Ihre Unterstützung – jede Rückmeldung hilft!

**Feedback Lehrpersonen**

**Feedback Schülerinnen und Schüler**

# 12 Schlusswort

Mit diesem Projekt erhalten die Sie ein Werkzeug, das praxisnahes Lernen mit gesellschaftlicher Relevanz verbindet. Es bietet Ihren Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, ein zukunftsweisendes Thema nicht nur theoretisch zu verstehen, sondern im wahrsten Sinne des Wortes begreifbar zu machen. Der Bau eines funktionierenden Elektrolyseurs schafft ein Erfolgserlebnis, das Neugier weckt, motiviert und Kompetenzen auf vielen Ebenen fördert.

Ob als Einstieg in das Thema Wasserstoff, als Ergänzung im naturwissenschaftlichen Unterricht oder als fächerübergreifendes Projekt – die flexible Struktur erlaubt Ihnen, eigene Schwerpunkte zu setzen. Dabei stehen nicht nur technische Inhalte im Fokus, sondern auch das Lernen durch Erfahrung, das gemeinsame Arbeiten und der bewusste Umgang mit Verantwortung.

Ich wünsche Ihnen viel Freude und Erfolg bei der Durchführung – und Ihren Schüler:innen viele Aha-Momente, Erkenntnisse und Begeisterung für Technik, Nachhaltigkeit und Zukunftsfragen.
Vielen Dank für Ihr Interesse und Engagement!

# 13 Kontakt

Bei Unklarheiten, Bestellung oder Rückmeldung zum Projekt stehe ich Ihnen immer gerne zu Verfügung unter:

E-Mail: info@tectraon.ch

Ich freue mich über jede Rückmeldung, Anregung oder Idee zur Weiterentwicklung und bedanke mich im Voraus dafür!

# 14 Quellen

«RiSU – Richtlinien zu Sicherheit im Unterricht» heruntergeladen als «1994_09_09-Sicherheit-im-Unterricht.pdf» unter: Sicherheit im Unterricht

## Zentrale Abschnitte:

S. 36:
- I-3.11.1 Handschutz
- I-3.11.2 Augenschutz

S.91:
- I-10.1 Begriffsbestimmungen
  «Schutzkleinspannung ist von der normalen Netzspannung galvanisch getrennt, z. B. durch Sicherheitstransformatoren nach **EN 61558-2-6**.»

S.104:
- II-1.8 Elektrische Einrichtungen

S.105:
- II-2.2.2 Gemische aus entzündbaren Gasen bzw. Dämpfen mit Luft oder Sauerstoff

S.142:
- III-1.1 Naturwissenschaftliche und technische Unterrichtsräume

S. 179:
- III-2.6 Entsorgung von Gefahrstoffabfällen in Schulen

S. 261:
- III-7 Elektrische Energie

# 15 Rechtlicher Hinweis

Dieses Projektmaterial wurde mit grösster Sorgfalt und nach bestem Wissen erstellt. Es dient der Unterstützung im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht und richtet sich ausdrücklich an Lehrpersonen oder pädagogisches Fachpersonal mit entsprechender Aufsichtspflicht.

Die Durchführung – insbesondere der praktischen Teile – darf ausschliesslich unter fachkundiger Anleitung und Aufsicht erfolgen. Eine eigenständige Nutzung durch Minderjährige ohne geeignete Begleitung ist nicht vorgesehen.

Für die Einhaltung aller relevanten Sicherheitsvorkehrungen (z. B. Schutzmassnahmen im Umgang mit Wasserstoff, Stromquellen und Chemikalien) sowie für die Auswahl geeigneter Räume und Materialien sind ausschliesslich die durchführenden Lehrpersonen bzw. die verantwortliche Institution zuständig.

Der Autor übernimmt keine Haftung für Schäden oder Unfälle, die im Zusammenhang mit der Nutzung dieser Unterlagen und gekauften Komponenten entstehen. Die Nutzung erfolgt ausdrücklich auf eigene Gefahr und Verantwortung. Die Inhalte dieser Dokumente dürfen für nicht-kommerzielle Bildungszwecke verwendet, geteilt und angepasst werden, sofern auf die Quelle hingewiesen wird. Eine kommerzielle Verwendung oder Vervielfältigung bedarf der schriftlichen Zustimmung.

**Lizenz und Urheberrecht**

Die Inhalte dieses Dokuments (inkl. Anleitung, Theorie, Texte, Grafiken und Fotos) stehen unter der Lizenz CC BY-NC-SA 4.0.

Das bedeutet: Sie dürfen das Material teilen und anpassen – unter der Bedingung, dass

- der Urheber genannt wird,
- die Nutzung nicht kommerziell erfolgt,
- und Weiterverwendung unter gleichen Bedingungen erfolgt.

Bei Unsicherheiten zur Nutzung oder bei Interesse an einer kommerziellen Lizenz nehmen Sie bitte Kontakt auf.

**Erweiterter Hinweis zur Entsorgung**

**Umwelt- und Entsorgungshinweis**

Die Wasser-Zitronensäure-Lösung ist entsprechend den örtlichen und schulischen Entsorgungsvorschriften zu entsorgen. Die verantwortliche Lehrperson klärt die zulässige Entsorgung vor der Durchführung. Andere Materialien (z. B. Graphit, Edelstahl, Kunststoffteile) sind wiederverwendbar oder als Restmüll zu entsorgen.