

B7 Kondensator, Wasserstoff, Redox-Flow – Wir speichern regenerative Energie

Energiespeicher sind immer dann notwendig, wenn Ort oder Zeitpunkt der Energieerzeugung und der Energienutzung auseinander liegen. Besonders bei der vermehrten Nutzung der erneuerbaren Energien sind Energiespeicher enorm wichtig. Nicht alle Energieformen eignen sich zum Speichern und müssen daher mit „Verlust“ in andere Energieformen umgewandelt werden. So lässt sich überschüssige elektrische Energie in Pumpspeicherkraftwerken speichern und mit einem „Verlust“ von nur ca. 15 Prozent wieder in elektrische Energie zurückverwandeln.

In den folgenden Experimenten werden einige für die erneuerbaren Energien geeignete Energiespeichersysteme vorgestellt.

1 Speicherung von elektrischer Energie in chemische Energie (Wasserstoff)

Die aus Windkraftanlagen oder Sonnenkraftwerken gewonnene elektrische Energie kann durch die Elektrolyse von Wasser in Form des dabei entstehenden Wasserstoffs gespeichert werden, der dann für Brennstoffzellen oder Verbrennungsmotoren als Energieträger zur Verfügung steht. Das Prinzip dieser Wasserstofftechnologie wird in dem folgenden Experiment behandelt.

1.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Akku, 9 V	1
Digitalmultimeter	1
Doppelpropeller für Solarmotor klein	1
Einweghähne (passend zu Schlauch 7 mm/4 mm und Luer Lock)	2
Elektrolysezelle	1
Feuerzeug bzw. Streichhölzer	1
Gesättigte Soda-Lösung*	Nach Bedarf
Gummibänder zur Montage der Solarzellen	4
evtl. helle Schreibtischlampe	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Pappstreifen zur Montage der Solarzellen	nach Bedarf
Reagenzgläser aus Kunststoff (PP), mini	2
Schutzbrille	1 pro Schülerin/Schüler
gesättigte Soda-Lösung*	nach Bedarf
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA	1
Solarzellen 0,5 V/150 mA	4
Spritzen Luer Lock, 10 ml	3
Stück Silikonschlauch 7 mm/4 mm (passend zu Luer Lock), ca. 3,5 cm	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	5

*Falls noch keine Sodalösung vorhanden ist, müsst ihr sie bereiten. Eure Lehrkraft wird euch sagen, wie.

Achtung: Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

- Trage während des ganzen Versuchs eine Schutzbrille! Gelangen dennoch Spritzer der Sodalösung ins Auge oder auf die Haut, wasche sie sofort mit viel klarem Wasser ab!
- Sei vorsichtig beim Arbeiten mit Feuer, es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr!
- Das Gasmischgas darf nur in den Mini-Reagenzgläsern aus Kunststoff (PP) vorsichtig entzündet werden.
- Schließe den Akku auf keinen Fall kurz! Es besteht Explosions- und Brandgefahr!

1.3 Versuchsdurchführung

Vorbereitung:

Falls noch keine andere Gruppe vor euch diesen Versuch gemacht hat, müsst ihr die Elektrolysezelle aus den einzelnen Teilen (siehe Abb. 1) erst einmal aufbauen. Entfernt dazu die Isolation (etwa 2 cm) an den Enden der beiliegenden Kupferkabel und biegt diese nach der beigefügten Abbildung (siehe Abb. 2). Verbindet nun jeweils ein gebogenes Kupferkabel mithilfe eines Schlauchstücks mit der Graphitelektrode (siehe Abb. 3) und befestigt beide Elektroden am Becher- rand. Nun stehen die Elektroden im Becher und die Spritzenzylinder können darüber geschoben werden (siehe Abb. 4).



Abb. 1: Teile für Elektrolysezellen-Set.

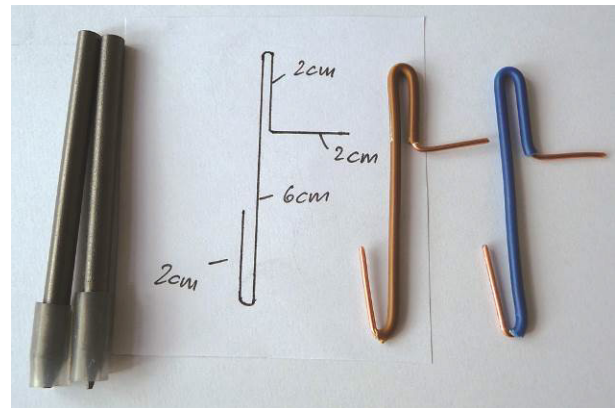


Abb. 2: Zurechtbiegen der Kupferkabel.

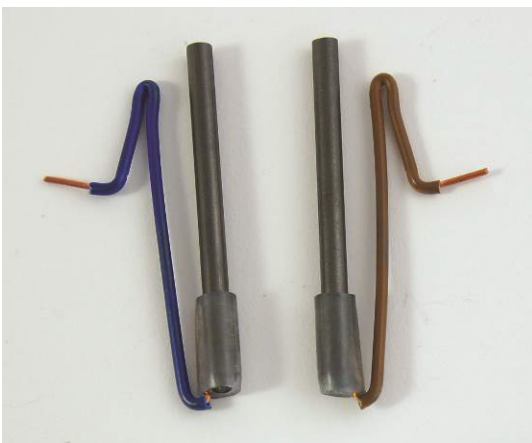


Abb. 3: Die Enden der Kupferkabel werden zwischen Schlauch und Elektrode geschoben.



Abb. 4: Endmontage der Zelle.

- Entferne aus zwei 10-ml-Spritzen die Spritzenkolben und schraube einen Einweghahn auf jede Spritze.
- Stecke nun die Spritzenzylinder bei geöffnetem Hahn auf die Graphitelektroden.
- Fülle nun etwa 100 ml gesättigte Sodalösung in die Elektrolysekammer.
- Sauge mit einer 10-ml-Spritze mit Schlauchstück die restliche Luft aus den beiden Spritzen und verschließe die Hähne (siehe Abb. 5).

1.3.1 Schritt 1: Elektrolyse von Wasser

- Schließe nun den 9-Volt-Akku an die Elektroden (beachte Minuspol und Pluspol) und beobachte die Gasbildung (siehe Abb. 6).



Abb. 5: Absaugen der restlichen Luft, die Zylinder füllen sich mit Sodalösung.



Abb. 6: Die Erzeugung von Gas nach Anschluss des Akkus.



Abb. 7: Die mit Elektrolyse-Gas aufgeladene Zelle kann auch Strom abgeben.

1.3.2 Schritt 2: Knallgasprobe

- Entnahme am Minuspol 4 ml Gas und am Pluspol 2 ml Gas mit einer Spritze und fülle damit ein PP-Röhrchen, das du mit der Öffnung nach unten hältst.
- Entzünde das Gas mit einer Flamme. Erschreke nicht!

1.3.3 Schritt 3: Windgenerator

- Schließe den Elektromotor an das Multimeter an (Messbereich 2.000 mV) und bringe den Propeller durch kräftiges Pusten zum Drehen. Zeigt der Messwert ein Minuszeichen, muss der Anschluss getauscht werden.
- Schließe nun den Solarmotor an die Elektrolysezelle an (Polung beachten) und puste etwa zehnmal kräftig auf den Doppelpropeller.
- Halte den Propeller nach dem letzten Anpusten kurz fest, lass ihn wieder los und zähle die Sekunden, die sich der Propeller weiter dreht. (siehe Abb. 7).



Abb. 8: Messanordnung zur Ermittlung der Mindestspannung bei der Elektrolyse mittels Solarzellen.



Abb. 9: Beachte, dass es beim Verkabeln nicht zum Kontakt der Krokodilklemmen und damit zu Kurzschluss kommt.



Abb. 10: Montage der Solarzellen auf einen Pappstreifen mittels Gummiband.

1.3.4 Schritt 4: Solarzellen

- Entferne die beiden Spritzen über den Graphitelektroden.
- Schließe eine Solarzelle nach der anderen in Reihenschaltung an die Elektrolysekammer an, bis die ersten Gasblasen an den Elektroden zu erkennen sind.
- Montiert dazu die Solarzellen mittels Gummibändern auf einen Pappstreifen. Achte beim Verkabeln darauf, dass es zu keinem Kurzschluss kommt (siehe Abb. 9).
- Ermittle mit dem Multimeter die Spannung, bei der die Gasbildung beginnt.

1.4 Beobachtung

- Beschreibe, in welchem Volumenverhältnis die am Minuspol bzw. Pluspol gebildeten Gase entstehen.
- Notiere, wie lange sich der angeschlossene Solarmotor (in Sekunden) bei Schritt 1.3.3 gedreht hat. Notiere auch die gemessenen Spannungen.
- Beschreibe, was beim Entzünden des Gasgemisches geschieht.

1.5 Auswertung

- a) Nenne die Gase, die am Minuspol bzw. Pluspol entstanden sind und erkläre, wie diese nachgewiesen werden können.
- b) Erstelle für die Elektrolyse von Wasser (siehe Abschnitt 1.3.1) die Reaktionsgleichung und erkläre, ob es sich hierbei um eine endotherme oder exotherme Reaktion handelt.
- c) In der Brennstoffzelle wird durch die Reaktion der vorhandenen Gase elektrischer Strom gewonnen (siehe Abschnitt 1.3.3 und 1.3.4). Erstelle hierzu die Reaktionsgleichung und erkläre, ob es sich hierbei um eine endotherme oder exotherme Reaktion handelt.
- d) Notiere, wie viele Solarzellen (0,5 Volt) notwendig sind, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff elektrolytisch zu spalten. Ermittle die Zersetzungsspannung des Wassers.
- e) Erkläre, was beim Anpusten des Propellers in der Elektrolysezelle geschieht und warum sich der Propeller nach dem kurzen Anhalten weiterdreht.
- f) Erläutere, welche technische Anlage unter Einbeziehung der Elektrolysezelle geeignet wäre, um elektrische Energie z. B. von Windkraftanlagen zu speichern. Erstelle hierzu eine beschriftete Skizze.

1.6 Fragen

Entwirf ein Konzept, wie der energiereiche Wasserstoff über große Entfernungen zum Verbraucher transportiert und dort wieder in elektrische Energie umgewandelt werden könnte.

Hinweis: Der Transport von Sauerstoff ist nicht notwendig, da er weltweit durch die Luft (Sauerstoffgehalt der Luft beträgt etwa 21 Prozent) zur Verfügung steht.

2 Direkte Speicherung von elektrischer Energie in Kondensatoren

2.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
Kondensator Gold Cap, 0,22 F	1
LED rot (rotes Gehäuse), 5 V	1
evtl. helle Schreibtischlampe	1
Pflanzenclips (als Reagenzglasständer)	2
Reagenzglas aus Kunststoff (PP), mini	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA*	1
Solarzellen, 0,5 V/150 mA	4
Uhr	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	5

*Da nur ein Motor zur Verfügung steht, muss er von den Gruppen nacheinander genutzt werden.

2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur entsprechend den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung eingesetzt werden.

2.3 Versuchsdurchführung

Bei allen Versuchen mit dem Kondensator diesen bitte nicht kurzschließen, d. h. keine direkte Verbindung zwischen Pluspol und Minuspol ohne einen Verbraucher dazwischen herstellen! Achte bitte immer auf die richtige Polung!

Es empfiehlt sich, den Kondensator in die Öffnung des Mini-Kunststoffreagenzglases zu stecken und die Polung zu markieren. Mit der Halterung im Pflanzenclip wird der Versuchsaufbau dann übersichtlicher.



Abb. 11: Gold Cap Kondensator in Halterung.

2.3.1 Schritt 1

- Schalte vier Solarzellen (0,5 Volt) in Reihenschaltung (Pluspol-Minuspol-Pluspol-...) und verbinde sie mit dem Kondensator (Pluspol an Pluspol und Minuspol an Minuspol).
- Lade den Kondensator für eine Minute.
- Sorge für eine gute Beleuchtung der Solarzellen. Steht kein kräftiges direktes Sonnenlicht zur Verfügung, ist z. B. auch eine helle Schreibtischlampe (ca. 5 – 10 cm Abstand zur Solarzelle) gut geeignet.

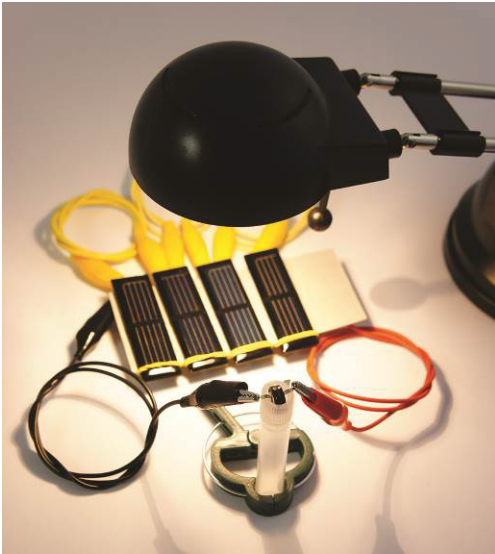


Abb. 12: Aufladen des Kondensators.

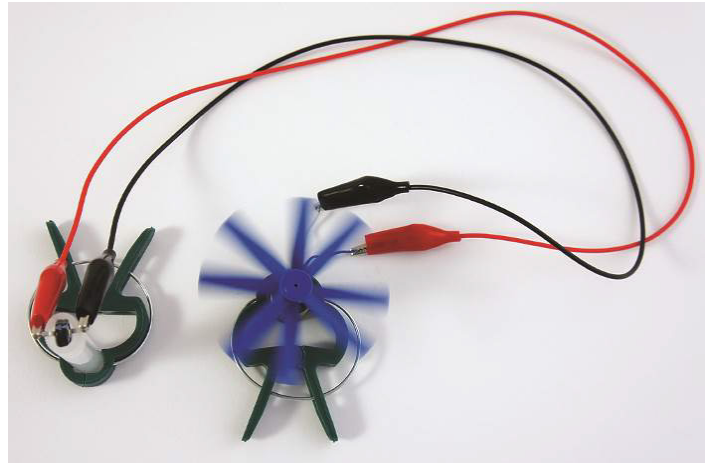


Abb. 13: Motor wird mit Kondensator betrieben. Dieselbe Anordnung gilt auch beim Laden des Kondensators mit dem „Windrad-Generator“.

2.3.2 Schritt 2

Schließe den kleinen Solarmotor (2 mA) anstelle der Solarzellen an den Kondensator an und bestimme die Laufzeit des Propellers (in Minuten) und notiere sie.

2.3.3 Schritt 3

- Lade den Kondensator wieder wie in Schritt 2.3.1 für eine Minute und schließe nun als Verbraucher eine Leuchtdiode an (Polung beachten: Langes Bein: Pluspol, kurzes Bein: Minuspol).
- Bestimme die Leuchtdauer der Diode in Minuten und notiere sie.

2.3.4 Schritt 4

- Schließe den Elektromotor an das Multimeter an (Messbereich 2.000 mV) und bringe den Propeller durch kräftiges Pusten zum Drehen. Zeigt der Messwert ein Minuszeichen, muss der Anschluss getauscht werden. Du kennst nun Plus- und Minuspol für den richtigen Anschluss des Motors an den Kondensator.
- Schließe den Solarmotor an den Kondensator an und bringe den Propeller durch zehnmaliges kräftiges Pusten zum Drehen (Polung beachten!).
- Halte nach dem letzten Pusten den Propeller kurz an, lass ihn wieder los und bestimme die Laufzeit des Propellers (in Sekunden).

2.4 Beobachtung

Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.

2.5 Auswertung

- Benenne, welches Bauteil in Schritt 2.3.4 in welcher Situation der Stromerzeuger ist und welches der Verbraucher.
- Vergleiche die Ladezeit des Kondensators mit der Laufzeit des Motors und erkläre den Unterschied.
- Vergleiche die Leuchtdauer der Diode mit der Laufzeit des Motors und erkläre den Unterschied.
- Begründe, warum sich der Solarmotor nach dem Anpusten weiter dreht und dies sogar in der gleichen Richtung.
- Beschreibe die Vorgänge im „Gold Cap“-Kondensator beim Laden und Entladen mithilfe der Abbildung. Beachte dabei, dass an die beiden Elektroden aus Aktivkohle eine Gleichspannung angelegt wird und der Elektrolyt sich in Ionen aufspalten lässt. Warum spricht man hier von einem Doppelschicht-Kondensator?

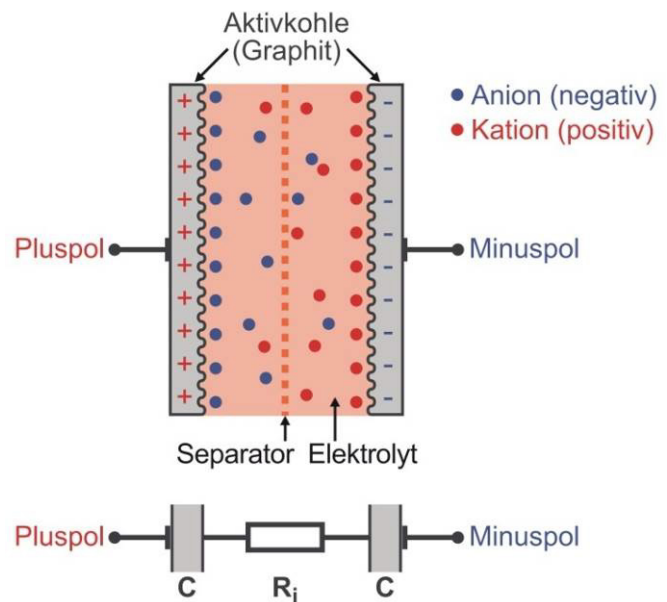


Abb. 14: „Gold Cap“-Kondensator.

2.6 Fragen

Kondensatoren und besonders „Gold Cap“-Kondensatoren werden genutzt, um kurzzeitig elektrische Energie in relativ großen Mengen zu speichern. Das ist nicht nur beim elektrischen Bremsen in Rennwagen, LKWs und Zügen der Fall. Auch in einem Handy sind „Gold Cap“-Kondensatoren vorhanden zur Kompensation von Leistungsschwankungen. Ein weiteres Anwendungsbeispiel sind sog. Solaruhren: Diese arbeiten in der Regel nicht mehr mit Akkus, sondern die in der Uhr integrierten Solarzellen laden einen „Gold Cap“-Kondensator auf. Errechne, welche Kapazität der Kondensator haben muss, wenn die Uhr bei einem Verbrauch von 0,2 mA und 3 Volt bis zu 48 Stunden ohne Sonnenlicht laufen soll.

3 Speicherung von elektrischer Energie in der Zinkiodid-Zelle (Redox-Flow)

Am Beispiel einer Zinkiodid-Zelle soll das Prinzip der Speicherung von elektrischer Energie in Redox-Flow-Zellen beschrieben werden. Große Anlagen mit diesem Zellsystem können als Energie-Puffer in modernen Stromnetzen eingesetzt werden, um Unterschiede bei Energieerzeugung und Energieverbrauch auszugleichen. In Redox-Flow-Zellen werden die bei der Elektrolyse (endotherme Reaktion) erzeugten Stoffe in getrennten Tanks gelagert, um sie bei Energiebedarf nach dem Prinzip der Galvanischen Zelle (exotherme Reaktion) wieder zur Produktion von elektrischer Energie einzusetzen.

3.1 Benötigte Materialien

Material	Anzahl
evtl. helle Schreibtischlampe	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA	1
Solarzellen, 0,5 V/150 mA	4
Verbindungskabel Kroko/Kroko	4
Zinkiodid-Zelle	1

3.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur entsprechend den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung eingesetzt werden.

Die Zinkiodid-Zelle darf nicht zerlegt werden, sie ist dann nicht mehr funktionsfähig und es könnten Chemikalien, die Reizungen hervorrufen, austreten.

3.3 Versuchsdurchführung

3.3.1 Schritt 1

- Schließe den kleinen Solarmotor mit den Krokoklemmen an die Graphitelektroden an (Polung beachten) und bringe den Propeller durch zehnmaliges kräftiges Pusten zum Drehen. Notiere, wie lange etwa (in Sekunden) sich der Propeller nach der Aufladung durch das Anpusten dreht.
- Halte beim letzten Pusten den Propeller kurz an, lass ihn dann sich selbständig weiter drehen.
- Die anderen Mitglieder in der Gruppe versuchen das Gleiche. Wer in der Gruppe schafft es, so zu pusten, dass sich der Propeller beim Entladen am längsten dreht?

3.3.2 Schritt 2

- Schließe die vier Solarzellen in Reihe geschaltet an die Zinkiodid-Zelle an. Beachte dabei die Polung (Pluspol an Pluspol und Minuspol an Minuspol). Lasse ca. 1 Minute kräftiges Licht einwirken.
- Verbinde anschließend den Solarmotor mit der Zelle. Wie lange läuft er?

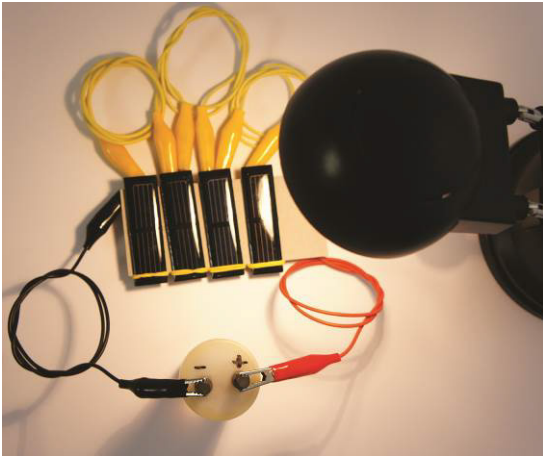


Abb. 15: Zinkiodid-Zelle beim Laden mit vier Solarzellen.

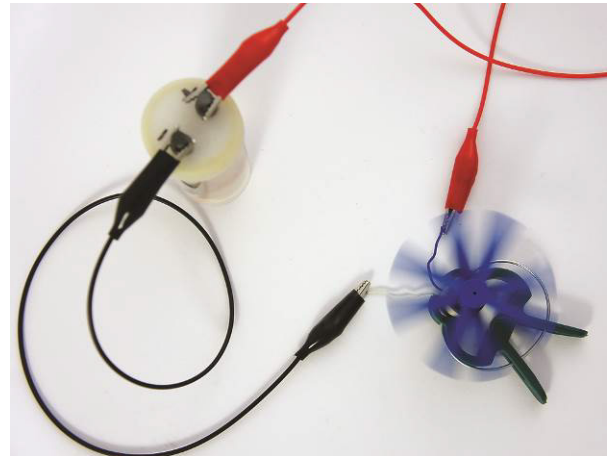


Abb. 16: Solarmotor an der Zinkiodid-Zelle.

3.4 Beobachtung

- Fasse deine Beobachtungen schriftlich zusammen.
- Konntest du eine Farbänderung an den Elektroden der Zinkiodid-Zelle erkennen?

3.5 Auswertung

- Beschreibe die Veränderungen nach dem Anpusten des Propellers bzw. nach dem Anschluss der Solarzellen am Minuspol und Pluspol.
- Beschreibe, welche chemischen Reaktionen in der Zinkiodid-Zelle stattfinden, wenn elektrische Energie zugeführt wird (Ladevorgang).
- Beschreibe, welche chemischen Reaktionen in der Zinkiodid-Zelle stattfinden, wenn ein Verbraucher an die Zelle angeschlossen ist (Entladevorgang).

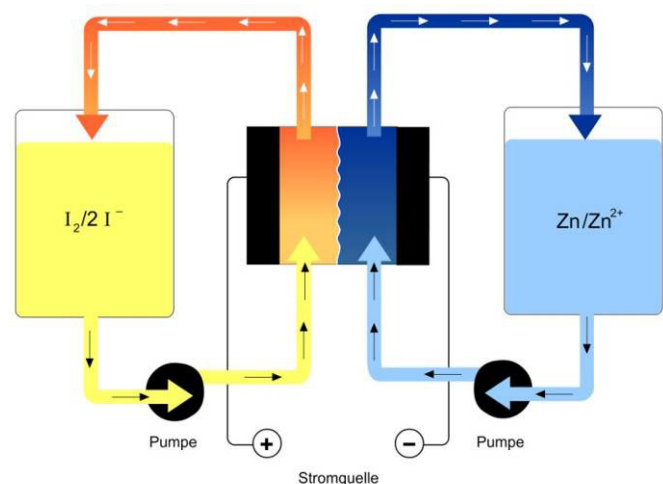


Abb. 17: Redox-Flow-Zelle.

- Mache einen Vorschlag, welche Veränderungen an der verwendeten Zinkiodid-Zelle vorgenommen werden sollten, um dem Modell einer Redox-Flow-Zelle eher zu entsprechen.

3.6 Fragen

Erläutere, wo Energiespeichersysteme, die nach dem Prinzip der Redox-Flow-Zelle arbeiten, am effektivsten eingesetzt werden könnten.