

KREISLAUFWIRTSCHAFT — DEN KREISLAUF IN SCHWUNG BRINGEN

Experimente	Thema	Niveau	Kapitel
1.1	Identifizierung verschiedener Kunststoffe	SEK II	1.2
1.2	Reduktion von Metalloxiden mit Kunststoffabfällen	SEK I/SEK II	1.4
1.3	Umschmelzen eines Thermoplasts	SEK II	1.4
1.4	Pyrolyse von Polyethen	SEK II	1.7.1
1.5	Hydrolyse von Polyethylenterephthalat	SEK II (Demonstrationsexperiment)	1.7.3
1.6	Herstellen eines Kunststoffs aus Milchsäure	SEK I/SEK II	1.8
2.1	Einfluss der Temperatur auf das Gleichgewichtssystem	SEK II	2
2.2	Einfluss des Druckes auf das Gleichgewichtssystem	SEK II	2
2.3	Einfluss des pH-Werts auf das Gleichgewichtssystem	SEK II	2
2.4	Modellexperiment zum Bau eines Treibhauses	SEK II	2.1
2.5	Modellversuch zur Speicherung von CO ₂	SEK II	2.7
3.1	Elektrolytische Abscheidung von Kupfer an Kohle aus einer Kupferlegierung	SEK II	3.3.1
3.2	Direktelektrolyse von Leiterplatinen	SEK II	3.3.1
4.1	Lithium-Sauerstoff-Batterie	SEKI/SEK II	4.7



Das Inhaltsverzeichnis ist verlinkt. Klicken Sie auf den gewünschten Inhalt und Sie gelangen direkt dorthin. Möchten Sie wieder zurück, klicken Sie rechts oben auf das Home-Icon.



IDENTIFIZIERUNG VERSCHIEDENER KUNSTSTOFFE

In den gebräuchlichen Kunststoffprodukten werden ganz unterschiedliche Kunststoffsorten verwendet, die sich hinsichtlich ihres chemischen und physikalischen Verhaltens unterscheiden. Diese Unterschiede können zur Identifizierung dieser Kunststoffsorten genutzt werden, indem man die Eigenschaften mit denen bekannter Proben vergleicht.






Aufgabe

Fertigen Sie eine Tabelle mit den unterschiedlichen Eigenschaften der verschiedenen Kunststoffe an.

Kunststoff	Eigenschaften

Geräte

Heizplatte, Bechergläser (50 ml), Tiegelzange, Stahlblech, Bunsenbrenner, Thermoelement, Waage, Aluminiumfolie

Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Aceton (F, Xi)	 	225-319-336	210-240-305+351 +338-403+233	Gefahr
Kunststoffabfälle aus dem Haushalt	-	-	-	-
Proben einiger bekannter Kunststoffe zum Vergleich	-	-	-	-
Produkte	  	Bei hohen Temperaturen zersetzen sich die Makromoleküle zu vielfältigen, teils giftigen Produkten, die je nach funktioneller Gruppe sauer oder alkalisch reagieren.		Gefahr



IDENTIFIZIERUNG VERSCHIEDENER KUNSTSTOFFE

Durchführung

- Die Bruchfestigkeit prüfen Sie durch mehrmaliges Abknicken der Kunststoffteile.
- Halten Sie zur Überprüfung der Brennbarkeit die Kunststoffstreifen in die Flamme eines Brenners. Beobachten Sie auch, ob die Flamme stark rußt und ob der Kunststoff außerhalb der Brennerflamme weiterbrennt (Abzug!).
- Für die Feststellung der Erweichungstemperatur legen Sie ein Stahlblech auf die Heizplatte, die Kunststoffstreifen werden nebeneinander auf dem Blech platziert. Nun wird die Heizplatte langsam erwärmt, wobei mithilfe des Thermoelements die Temperatur des Bleches verfolgt wird.
- Überprüfen Sie das Verhalten der Kunststoffteile in Aceton, indem Sie diese genau wiegen und das Gewicht notieren. Die Kunststoffteile danach in Bechergläser geben, mit Aceton übergießen die Gläser mit Alufolie abdecken. Nach einigen Stunden nimmt man die Proben aus der Flüssigkeit, trocknet sie gut ab und überprüft das Gewicht. Gewichtszunahme bedeutet „Quellbarkeit“, Gewichtsabnahme „Löslichkeit“ des Kunststoffs in Aceton.

Entsorgung

Reste der Kunststoffe in den Hausmüll, Lösungen in Sammelbehälter für organische Reste – halogenfrei.



REDUKTION VON METALLOXIDEN MIT KUNSTSTOFFABFÄLLEN


Kunststoffabfälle lassen sich in manchen Bereichen als Alternative zu Erdöl, Kohle oder anderen organischen Substanzen einsetzen. Eine solche Verwendungsmöglichkeit ist die Metaldarstellung durch Reduktion aus den Metalloxiden mithilfe von Kunststoffen.

Aufgabe

Notieren Sie Ihre Beobachtungen und diskutieren Sie den Sinn des Einsatzes von Kunststoffen für die Reduktion von Metalloxiden.

Geräte

Reagenzglas, Reagenzlashalter Magnet, Bunsenbrenner

Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Eisen(III)-oxid	-	-	-	-
Polyethylenpulver	-	-	-	-
Kupfer(II)-oxid		410 302	273 260	Achtung

Durchführung

- Mischen Sie trockenes Eisen(III)-oxid mit der doppelten Menge an Kunststoffpulver und erhitzen Sie es über der Bunsenbrennerflamme, bis das Gemisch im unteren Bereich einmal gut durchgeglüht ist.
- Lassen Sie das Gemisch im Reagenzglas abkühlen und untersuchen Sie den Inhalt dann mit einem Magneten.
- Statt des Eisen(III)-oxids kann Kupfer(II)-oxid eingesetzt werden.

Entsorgung

Reste in Sammelbehälter für Hausmüll



UMSCHMELZEN EINES THERMOPLASTS

Einige Kunststoffe lassen sich schmelzen, ohne dass sie sich zersetzen, sodass man sie auf diese Weise in eine neue Form bringen und somit wiederverwenden kann.

Aufgabe

Geben Sie Beispiele für geeignete und ungeeignete Kunststoffe für diese Art der Wiederverwertung.

Geräte

Bunsenbrenner, Plätzchenform aus Metall, Aluminiumfolie, Schere, Dreifuß mit Keramikplatte.

Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Polyethen (PE) oder Polypropen (PP) (z. B. gebrauchte Spülmittelflaschen)	-	-	-	-

Sicherheitsvorschriften

Durch das Schmelzen von PE oder PP können ggf. bei zu großer Hitze Dämpfe entstehen, die Gesundheitsgefährdend bez. selbstentzündliche sein können. Zudem sind die Schmelzen sehr heiß.

Durchführung

- Reinigen Sie zunächst die alten Kunststoffteile und sortieren Sie sie sortenrein.
- Schneiden Sie die Kunststoffteile mit der Schere in kleine Stücke.
- Kleiden Sie die Metallform doppelt mit Aluminiumfolie aus und füllen Sie sie 0,5 cm hoch mit den Kunststoffschnipseln.
- Erhitzen Sie nun langsam die gefüllte Form.

Entsorgung

Die geschmolzenen Kunststoffreste im Hausabfall entsorgen.

PYROLYSE VON POLYETHEN

Eine Möglichkeit des Recyclings von Kunststoffen ist die Pyrolyse, ein Verfahren, das in gewisser Weise dem Cracken von Erdöl vergleichbar ist.

Aufgabe

Führen Sie das Experiment durch und notieren Sie Ihre Beobachtungen.

Geräte

Reagenzglas mit durchbohrtem Stopfen, gewinkeltes Glasrohr, Reagenzglas mit angesetztem Glasrohr und durchbohrtem Stopfen, Schlauchstücke, Glasspitze, Becherglas, Bunsenbrenner

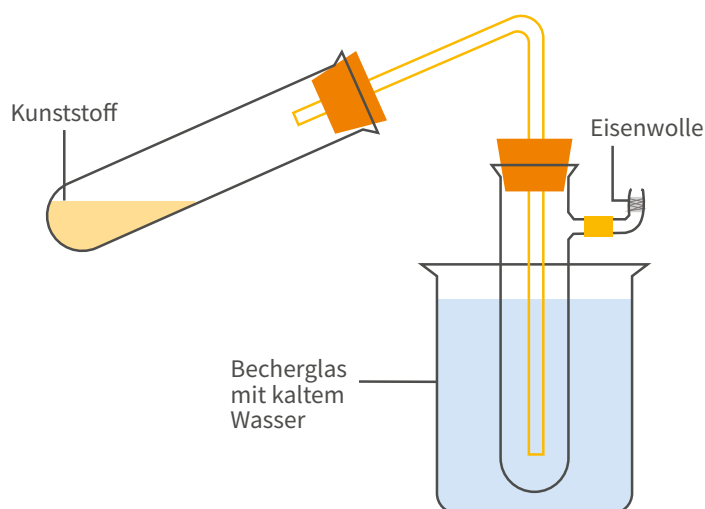
Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Polyethen (PE, aus Spülmittelflaschen)	-	-	-	-
Bromwasser (3,4%, gesättigt)		302+332 314	304+340 305+351+338 310	Gefahr
Eisenwolle		228	370+378b	Gefahr

Sicherheitsvorschriften

Mit Bromwasser unbedingt im Abzug arbeiten. Eisenwolle kann sich selbst entzünden. Die gebildeten Pyrolyseprodukte (Ethen, Ethin, Methan und Wasserstoff) sind brennbar und können bei entsprechenden Luft-Gas-Gemischen explosionsartig reagieren.

Durchführung

- Bauen Sie den Versuch wie in der Abbildung gezeigt auf.
- Erhitzen Sie einige Stücke Polyethen in einem Reagenzglas mit heißer Brennerflamme.
- Die entstehenden Dämpfe werden in einer Kühlfalle kondensiert, und die entweichenden Gase werden an der mit Eisenwolle gesicherten Glasrohrspitze entzündet, nachdem Sie zuvor eine Knallgasprobe durchgeführt haben.
- Geben Sie einige Tropfen Bromwasser zu dem Kondensat.



Entsorgung

Rückstände des pyrolysierten Kunststoffs im Feststoffabfall entsorgen. Kondensationsprodukte werden im halogenierten organischen Abfall entsorgt.

HYDROLYSE VON POLYETHYLENTEREPHTHALAT

Polyethylenterephthalat (Kurzzeichen PET) ist ein durch Polykondensation hergestellter thermoplastischer Kunststoff aus der Familie der Polyester. PET hat vielfältige Einsatzbereiche und wird unter anderem zur Herstellung von Kunststoffflaschen (PET-Flaschen), Folien und Textilfasern verwendet. Die Monomere, aus denen PET hergestellt wird, sind Terephthalsäure (1,4-Benzoldicarbonsäure) und Ethylenglykol (1,2-Dihydroxyethan, 1,2-Ethandiol). Die großtechnische Herstellung erfolgt teilweise noch durch Umesterung von Dimethylterephthalat mit Ethandiol.

Aufgabe

Führen Sie das Experiment durch und notieren Sie Ihre Beobachtungen.

Geräte

Rundkolben (250 ml), Zweihalsaufsatz, Schliffstopfen, Rückflusskühler, Magnetrührer, Heizpilz, Bechergläser (400 ml), Saugflasche mit Nutsche, Filtriervorrichtung, Sublimationsvorrichtung, Glasstab, Schliff fett.

Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Polyethylenterephthalat (PET, Stücke von Getränkeflasche)	-	-	-	-
NaOH, 40%		290 340	280, 305+351+338 308+310 303+361+353	Gefahr
HCl, 37%		314 335 290	260, 280 305+351+338 303+361+353 304+340	Gefahr
HNO ₃ , 50%, farblos		290 314 331	260, 280, 310 303+361+353 305+351+338 EH071	Gefahr
Cerammoniumnitrat-Reagenz (1 g Ce(SO ₄) ₂ oder (NH ₄) ₂ [Ce(NO ₃) ₆] in 2,5 ml HNO ₃ (c(HNO ₃)=2M		272 302 314	221, 280 305+351+338 301+330+331 308+310	Gefahr
Cer(IV)-sulfat		315 319 335	305+351+338	Achtung
HNO ₃ , 2M		314 219	260, 280 303+361+353 305+351+338	Gefahr

HYDROLYSE VON POLYETHYLENTEREPHTHALAT

Sicherheitsvorschriften

Abweichend vom technischen Verfahren wird hier nicht mit alkoholischer Natronlauge gearbeitet. Auf den Alkoholzusatz wird verzichtet, damit das Reaktionsprodukt Ethylenglykol nachgewiesen werden kann.

Durchführung

1. Hydrolyse von Polyethylenterephthalat:

In der Rückfluss-Apparatur mit gut gefetteten Schlifften bringen Sie 100 ml Natronlauge zum Sieden. Anschließend füllen Sie etwa 5g kleingeschnittene Polyethylenterephthalat-Stücke ein und verschließen die Apparatur. Rühren Sie gut um.

Nach wenigen Minuten beginnt der Kunststoff sich aufzulösen. Ein Teil des Natriumsalzes der Terephthalsäure scheidet sich als weißer Schlamm ab. Weitere 20 Minuten sieden lassen, dann die Heizquelle entfernen und abkühlen lassen.

2. Nachweis der Produkte:

Filtern Sie für die Nachweise einige Milliliter der abgekühlten Reaktionsmischung und verteilen Sie sie auf zwei Reagenzgläser.

Terephthalsäure

Säuern Sie eine Probe des Filtrats vorsichtig mit konzentrierter Salzsäure an (Schutzbrille). Es scheidet sich ein milchiger oder weißer Brei ab. Bei Zugabe von Natronlauge geht der Niederschlag wieder in Lösung. Dies ist ein Hinweis auf das Vorliegen einer schwerlöslichen Säure, die mit Natronlauge unter Bildung löslicher Salze reagiert.

Ethylenglykol

Die zweite Probe wird mit halbkonz. Salpetersäure deutlich sauer eingestellt. (Nicht Salzsäure nehmen, da diese mit dem Nachweisreagenz für Alkohole ebenfalls farbige Komplexe bildet.) Mit pH-Papier prüfen. Die ausfallende Terephthalsäure wird abfiltriert. Zum Nachweis muss die Lösung gekühlt werden.

Tropfen Sie dann Cerammoniumnitrat-Reagenz im Überschuss (!) zu. Die Lösung färbt sich unter Bildung eines Cer(IV)-Alkohol-Komplexes deutlich tiefrot. Die Farbe ist nicht lange stabil. Zum besseren Erkennen wird in einer Blindprobe das Reagenz zu der gleichen Menge destilliertem Wasser gegeben.

3. Isolierung der Terephthalsäure:

10 ml der Reaktionsmischung werden in 50 ml Wasser gegossen und gerührt. Dann wird filtriert. Säuern Sie das Filtrat mit Salzsäure an. Die ausflockende Terephthalsäure wird abfiltriert, gewaschen und anschließend getrocknet. Die Säure kann durch Sublimation gereinigt werden. Das in der Mutterlauge befindliche Ethylenglykol wird im Schulversuch nicht isoliert.

Entsorgung

Isolierte Terephthalsäure, Ethylenglycol wird im organischen nicht-halogenierten Abfall entsorgt. Vorgelegte Salpeter- und Salzsäure werden mit NaOH (40%) neutralisiert und im Abfluss entsorgt.

HERSTELLEN EINES KUNSTSTOFFES AUS MILCHSÄURE (POLYMILCHSÄURE)

Milchsäure wird technisch durch Vergärung von Milch oder Molke mithilfe besonderer Lactobazillen hergestellt. Die Verwendung ist vielfältig und reicht vom Einsatz als Säuerungsmittel und Konservierungsmittel bis zum biologisch abbaubaren Kunststoff (Polylactid). Dieses auch als Polymilchsäure bezeichnete thermoplastische Polymer eignet sich sowohl für Verpackungen als auch für chirurgisches Nahtmaterial, das vom Körper nach einiger Zeit resorbiert wird. Für die Herstellung von Polymilchsäure lässt man Milchsäure (2-Hydroxypropansäure) unter Wasserabspaltung zunächst zu einem Oligomer reagieren. Bei Zugabe eines geeigneten Katalysators ist auch eine Weiterreaktion zum Polymer möglich. Im folgenden Versuch wird sich aus Zeitgründen auf die Darstellung des Oligomers beschränkt.

Aufgabe

Führen Sie das Experiment durch und notieren Sie Ihre Beobachtungen.

Geräte

Reagenzgläser, Reagenzglashalter, Bunsenbrenner, Kunststoffschälchen, Siedesteinchen, Mikrospatel, Glasstab

Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Zinn(II)-chlorid		290 302+332 314, 317 335, 373 412	280 301+330+331 304+340 303+361+353 305+351+338 310	Gefahr
Milchsäure (2-Hydroxypropansäure)		318 315	280, 305+351+338	Gefahr
Kupfersulfat-Papier (CuSO ₄)		302 315 319 410	273, 305+351+338 302+352	Achtung



HERSTELLEN EINES KUNSTSTOFFES AUS MILCHSÄURE (POLYMILCHSÄURE)

Sicherheitsvorschriften

Milchsäure wird erhitzt; die Lösung ist sehr heiß und kann bei Siedeverzug herauspritzen.

Durchführung

In ein Reagenzglas werden 5 ml Milchsäure, eine Mikrospatelspitze Zinn(II)-chlorid-Kristalle und ein Siedesteinchen gegeben. Circa zehn Minuten unter Schütteln kräftig erhitzen (Vorsicht: Siedeverzüge!). Ein Kupfersulfatpapier wird in den entweichenden Dampf gehalten. Bei Einsetzen einer orangebraunen Färbung wird die noch heiße, flüssige Lösung in ein Kunststoffschälchen gegossen. Nach etwa einer halben bis einer Minute lassen sich aus der Lösung mit dem Glasstab Fäden ziehen.

Entsorgung

Polymilchsäure kann nach dem Erhärten in den Restmüll gegeben werden. Zinn(II)-chlorid-Lösung wird in dem anorganischen, alkalischen Abfallbehälter entsorgt. Kupfersulfat-Papier wird in den Feststoffabfall gegeben.



EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DAS GLEICHGEWICHTSSYSTEM


Das chemische Gleichgewicht ist ein dynamisches Gleichgewicht. Hin- und Rückreaktionen erfolgen in einem bestimmten Verhältnis. Die Lage des Gleichgewichtes gibt die Gleichgewichtskonstante K wider. Ändert man die Parameter (Temperatur T , Druck p , Konzentration c) so verschiebt sich das Gleichgewicht. Es gilt nach Henry Le Chatellier das Prinzip des kleinsten Zwanges!

Aufgaben

1. Führen Sie das Experiment durch und notieren Sie ihre Beobachtungen.
2. Überlegen Sie sich, warum man zwei Versuchsansätze wählen muss.
3. Stellen Sie das Reaktionsschema für die Gleichgewichtsreaktion auf und erklären Sie damit Ihre Beobachtung.
4. Diskutieren Sie auf der Basis Ihrer Ergebnisse über die mögliche Verteilung von Kohlenstoffdioxid in den Ozeanen. Welches Fazit lässt sich formulieren?

Geräte

2 Erlenmeyerkolben (300 ml), 2 Luftballons, Wanne mit Eis, Bunsenbrenner

Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Mischindikatorlösung (pH = 5)		225-319	210 233 305+351+338	Gefahr
Mineralwasser („kohlenensäurehaltig“)	-	-	-	-

Durchführung

- Füllen Sie die beiden Erlenmeyerkolben mit je 100 ml Mineralwasser und geben Sie einige Tropfen des Indikators hinzu.
- Verschließen Sie die Erlenmeyerkolben mit den zuvor gedehnten Luftballons.
- Schütteln Sie nun gleichzeitig beide Erlenmeyerkolben kräftig.
- Erhitzen Sie einen der beiden Kolben unter Schwenken über der Bunsenbrennerflamme.
- Lassen Sie diesen Kolben etwas abkühlen und stellen Sie ihn anschließend in ein Eisbad.
- Wiederholen Sie ggf. den Vorgang des Erhitzens und des Abkühlens.
- Der andere Ansatz wird bei Raumtemperatur aufbewahrt.

Entsorgung

Lösungen in den Sammelbehälter für Abwasser.



EINFLUSS DES DRUCKES AUF DAS GLEICHGEWICHTSSYSTEM






Verschiedene äußere Bedingungen haben Einfluss auf das Gleichgewicht einer chemischen Reaktion. Für die realen Bedingungen in den Tiefen des Ozeans ist der Druck von entscheidender Bedeutung.

Aufgaben

1. Führen Sie das Experiment in einer der Varianten durch und notieren Sie Ihre Beobachtungen.
2. Erklären Sie Ihre Beobachtungen mithilfe von Reaktionsgleichungen.
3. Diskutieren Sie auf der Basis Ihrer Ergebnisse über die mögliche Verteilung von Kohlenstoffdioxid in den Ozeanen. Welches Fazit lässt sich formulieren?

Geräte

Kolbenprober mit Hahn, Becherglas (250 ml), 2 Kolbenpipetten, Becherglas (100 ml), Pasteurpipette

Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Kohlenstoffdioxid		280	403	Achtung
Mischindikatorlösung (pH = 5)		226	210, 280, 303+361+353 305+351+338	Gefahr
Universalindikator-Lsg.		225	210, 233 370+378a 403+235	Gefahr
Ammoniak-Lsg. (w=1%)	 	290, 314, 335, 400	260-273-280- 301+330+331- 303+361+353- 305+351+338	Gefahr
Leitungswasser	-	-	-	-
Mineralwasser (kohlensäurehaltig)	-	-	-	-



EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DAS GLEICHGEWICHTSSYSTEM

Durchführung

Variante 1:

- Füllen Sie ein Becherglas mit Mineralwasser, und geben Sie einige Tropfen des Indikators hinzu, sodass die Lösung eine violette Farbe annimmt.
- Saugen Sie etwa 20 ml der angesetzten Lösung in den Kolbenprober und schließen Sie den Hahn.
- Schütteln Sie den Kolbenprober und ziehen Sie dabei den Kolben heraus.
- Drücken Sie anschließend den Kolben unter Schütteln kräftig wieder hinein.
- Wiederholen Sie den Vorgang einige Male.

Variante 2:

- Geben Sie in das Becherglas 100 ml Leitungswasser und etwa 2 ml Universalindikatorlösung, sodass die Lösung kräftig grün gefärbt ist (ggf. mit Ammoniaklösung einstellen).
- Füllen Sie in den Kolbenprober 10 ml Kohlenstoffdioxid ein.
- Saugen Sie aus dem Becherglas 20 ml der grün gefärbten Lösung in den Kolbenprober ein. Dabei darf keine Luft aufgenommen werden.
- Schütteln Sie den Kolbenprober bei geschlossenem Hahn und drücken Sie den Kolben kräftig hinein.
- Anschließend ziehen Sie den Kolben kräftig zurück, sodass ein Unterdruck entsteht.

Entsorgung

Lösungen in Sammelbehälter für Abwasser.



DER EINFLUSS DES PH-WERTS AUF DAS GLEICHGEWICHTSSYSTEM





Wird Kohlenstoffdioxid in Wasser eingeleitet, so wird es zunächst gelöst (hydratisiert). Ein Teil dieses hydratisierten Kohlenstoffdioxids reagiert mit Wasser. Auch in der Natur spielt diese Reaktion bei der Aufnahme von atmosphärischem Kohlenstoffdioxid in Oberflächengewässern eine bedeutende Rolle. Mit diesem Experiment können Sie erarbeiten, welchen Einfluss der pH-Wert auf die Gleichgewichtsreaktion ausübt.

Aufgaben

1. Führen Sie das Experiment durch und notieren Sie Ihre Beobachtungen.
2. Erklären Sie Ihre Beobachtungen mithilfe der zuvor aufgestellten Reaktionsgleichungen.
3. Diskutieren Sie auf der Basis Ihrer Ergebnisse die mögliche Verteilung von Kohlenstoffdioxid in Gewässern, z. B. in den Ozeanen. Welches Fazit lässt sich formulieren?

Geräte

Erlenmeyerkolben (100 ml) mit durchbohrtem Stopfen, Einwegspritzen (10 ml) mit Kanülen, Zange zum Durchstechen des Stopfens mit der Kanüle, Kolbenprober mit Hahn, Magnetrührer mit Rührfisch, Schlauchmaterial

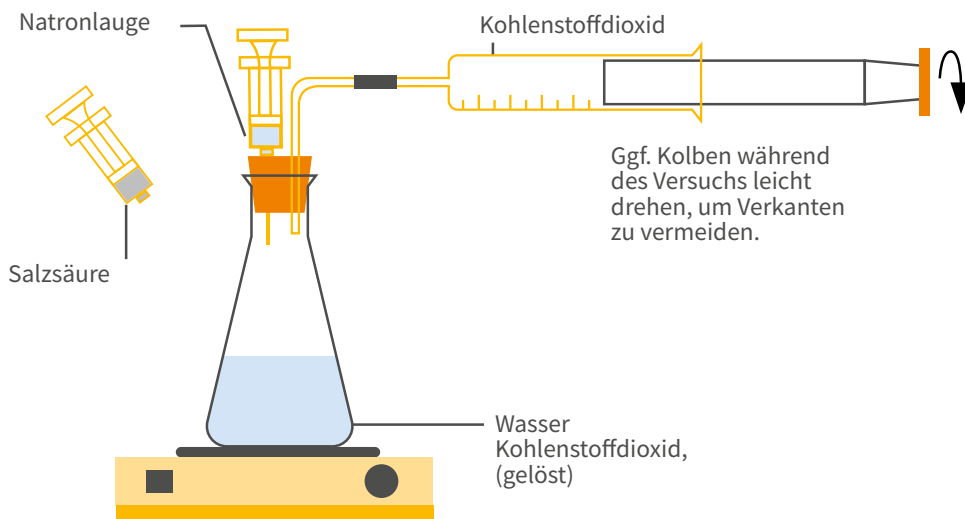
Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Natronlauge (c= 0,5 mol/l)		290-314	280-301, 330+331, 305-338, 308, 310	Gefahr
Salzsäure (c= 0,5 mol/l)		290	-	Achtung
Universalindikator- Lsg.		225	210, 233 370+378a 403+235	Gefahr
Kohlenstoffdioxid		280	403	Achtung

Sicherheitsvorschriften

Achtung bei Druckgasflaschen; diese müssen immer in entsprechender Transportsicherung transportiert werden. Zudem muss die Flasche am Pult sicher festgemacht werden.

DER EINFLUSS DES PH-WERTS AUF DAS GLEICHGEWICHTSSYSTEM

Versuchsaufbau



Durchführung

- ⦿ Stechen Sie die Kanüle mithilfe der Zange durch den Gummistopfen.
- ⦿ Geben Sie 200 ml destilliertes Wasser in eine Waschflasche und leiten Sie für einige Zeit Kohlenstoffdioxid hindurch.
- ⦿ Geben Sie 10 ml der Kohlenstoffdioxidlösung in den Erlenmeyerkolben, versetzen Sie diese mit 4 Tropfen Universalindikatorlösung und geben Sie den Rührfisch hinein.
- ⦿ Füllen Sie den Kolbenprober mit 100 ml Kohlenstoffdioxid.
- ⦿ Spülen Sie den Gasraum über der Lösung mit Kohlenstoffdioxid.
- ⦿ Verschließen Sie den Erlenmeyerkolben mit dem Stopfen.
- ⦿ Schließen Sie den Kolbenprober an und öffnen Sie den Hahn (Magnetrührer starten).
- ⦿ Geben Sie mit einer Spritze durch die Kanüle 10 ml Natronlauge hinzu.
- ⦿ Drehen Sie den Stempel des Kolbenprobers und beobachten Sie so lange, bis keine Veränderung mehr eintritt.
- ⦿ Geben Sie nun durch die Kanüle mit der zweiten Spritze 10 ml der Salzsäure zu.
- ⦿ Wenn wiederum keine Veränderung mehr am Kolbenprober zu beobachten ist, geben Sie erneut 10 ml Natronlauge durch die erste Kanüle hinzu.
- ⦿ Wiederholen Sie den Vorgang mehrmals.

Entsorgung

Saure/alkalische Lösungen werden mit der entsprechenden Lauge bzw. Säure neutralisiert und im Ausguss entsorgt.

MODELLEXPERIMENT ZUM BAU EINES TREIBHAUSES

Aufgaben


1. Führen Sie das Modellexperiment durch und stellen Sie Analogien zwischen den Bauteilen der Apparatur und der Erdatmosphäre her.
2. Interpretieren Sie die Vorgänge in diesem Modelltreibhaus ebenfalls mithilfe der zentralen Begriffe Absorption, Emission, Reflexion.

Geräte

Halogenglühlampe mit Fassung (250 W), Kristallisierschale (Ø= 22 cm), PE-Flasche (700 ml), mit abgeschnittenen Oberteil und seitlicher Öffnung für Thermoelement, Styroporgefäß, Thermoelement mit Messgerät (bzw. Digitalthermometer mit Außenfühler), Pappkarton (schwarz), PE-Folie, Knetmasse.

Sicherheitsvorschriften

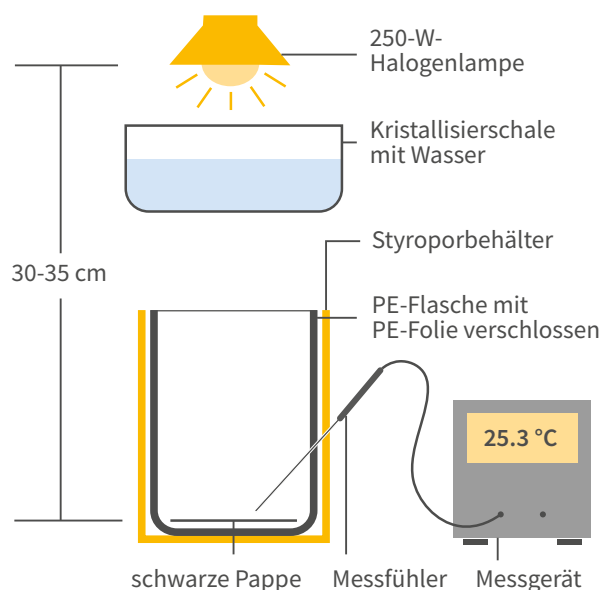
Achtung bei der Arbeit mit Druckgasflaschen. Diese müssen in entsprechenden Transportwägen transportiert werden; die Flaschen müssen entweder im Transportbehälter fixiert sein oder am Lehrerpult festgemacht werden.

Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Kohlenstoffdioxid		280	403	Achtung

Durchführung

- Bauen Sie die Apparatur wie in der Abbildung angegeben auf.
- Die Kunststoffflasche wird mit PE-Folie verschlossen und zur zusätzlichen Isolierung in einen Styroporbehälter gestellt.
- Das Thermoelement bzw. Thermometer wird nun durch die seitliche Öffnung eingeführt, sodass es sich mit seiner Spitze etwa 1–2 cm oberhalb der Pappe befindet.
- Die seitliche Öffnung wird mit Knetmasse abgedichtet.
- Die Lampe wird eingeschaltet, und der Temperaturanstieg in der Flasche wird nach 1–2 Minuten ermittelt. Anschließend wird Kohlenstoffdioxid in die Kunststoffflasche gefüllt, und die Messung wird wiederholt.

Versuchsaufbau



MODELLVERSUCH ZUR SPEICHERUNG VON KOHLENSTOFFDIOXID IN KOHLEFLÖZEN

Die Notwendigkeit der Reduktion der Kohlenstoffdioxidemissionen hat in den letzten Jahren viele verschiedene Ansätze hervorgebracht. Eine davon beschäftigt sich mit der Speicherung des Stoffes unter der Erde in verschiedenen geologischen Formationen (Carbon Capture and Storage). Mit diesem Modellexperiment können Sie erarbeiten, ob eine Injektion von (überkritischem) Kohlenstoffdioxid in Kohleflöze und eine dortige adsorptive Speicherung möglich ist.

Aufgaben

1. Führen Sie das Experiment durch und notieren Sie Ihre Beobachtungen in der Tabelle.

Kolbenprober	Volumen zu Beginn des Versuchs (in ml) Schritt 2	Volumen nach Überleitung in (in ml) Schritt 3	Volumen nach Druckausübung in (in ml) Schritt 4
Links	-	-	-
Rechts	-	-	-

2. Erläutern Sie die Volumenveränderungen nach dem Überleiten des Gases über die Aktivkohle (Schritt 2 zu Schritt 3). Nutzen Sie die Informationen zu Aktivkohle und beziehen Sie die Adsorptionseigenschaften der Aktivkohlenoberfläche in Ihre Schilderungen mit ein.
3. Die Ausübung von Druck in Schritt 4 simuliert die Hochdruckverpressung von CO_2 unter der Erde. Erläutern Sie, welchen Einfluss die Druckerhöhung auf das Volumen von CO_2 hat.
4. Beurteilen Sie das Potenzial der geologischen Speicherung von CO_2 in Kohleflözen anhand Ihrer Versuchsergebnisse.

INFORMATIONEN ZUR AKTIVKOHLE

Aktivkohle besteht zu über 90% aus Kohlenstoff. Sie hat eine hochporöse Struktur, die ähnlich wie bei einem Schwamm strukturiert ist. Dadurch entsteht eine sehr große Oberfläche, die pro Gramm Aktivkohle bis zu 2000 m^2 groß sein kann. Zwei Gramm Aktivkohle hätten dann in etwa eine Oberfläche, die der Fläche eines kleinen Fußballfeldes entspräche. Aktivkohle ist in Form von Pulver, Granulat oder Pellets oder auf Gewebe aufgebracht verfügbar.

Das Haupteinsatzgebiet von Aktivkohle ist die Verwendung als Adsorptionsmittel. An der Oberfläche können verschiedenste Stoffe, z.B. Farb-, Geschmacks- oder Geruchsstoffe aus Flüssigkeiten oder Gasen haften, d.h. von der Aktivkohle adsorbiert werden. Umgekehrt ist es auch möglich, Aktivkohle durch Erhitzen zu reaktivieren, wobei die adsorbierten Stoffe wieder freigesetzt werden. Aktivkohle wird u.a. in der Wasseraufbereitung, als Luftfilter oder in der Automobilindustrie und Medizin eingesetzt.

MODELLVERSUCH ZUR SPEICHERUNG VON KOHLENSTOFFDIOXID IN KOHLEFLÖZEN

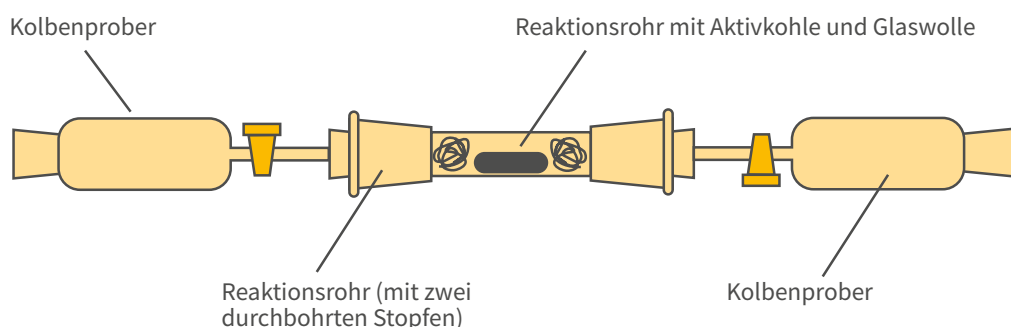
Geräte

Stativmaterial, 2 Kolbenprober, Reaktionsrohr, 2 durchbohrte Stopfen, Parafilm, Waage, Spatel, Glaswolle

Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Kohlenstoffdioxid (entfällt bei in Infusionsbeutel abgefülltem Gas)		280	403	Achtung
Aktivkohle (gepulvert)	-	-	-	-

Versuchsaufbau

Der linke Kolbenprober ist zu Beginn mit 100 ml Gas befüllt, der rechte ist leer.



Durchführung

- Füllen Sie einen Kolbenprober mit 100 ml Kohlenstoffdioxid. Wiegen Sie 3,2 g Aktivkohle ab und verteilen Sie sie möglichst großflächig in einem Reaktionsrohr. Platzieren Sie an beiden Enden etwas Glaswolle.
- Bauen Sie die Apparatur auf, indem Sie die zwei Kolbenprober mit Stativmaterial befestigen (siehe Skizze). Achten Sie darauf, dass die Skalierung der Kolben so platziert ist, dass Sie später Messwerte ablesen können. Verbinden Sie nun die Kolbenprober über die Stopfen mit dem befüllten Reaktionsrohr. Dichten Sie die Übergangsstellen abschließend mit Parafilm ab. Notieren Sie die Volumina der Kolbenprober. Versuchsaufbau (der linke Kolbenprober ist zu Beginn mit 100ml Gas befüllt, der rechte ist leer)
- Leiten Sie aus dem befüllten Kolbenprober langsam zunächst 20 ml CO_2 über die Aktivkohle, ohne diese zu verwirbeln. Warten Sie 30 Sekunden, bevor Sie erneut 20 ml CO_2 über die Aktivkohle strömen lassen. Wiederholen Sie diesen Vorgang, bis der Kolbenprober leer ist. Notieren Sie die Volumina beider Kolbenprober.
- Verschließen Sie den nun „leeren“ Kolbenprober mit dem Dreiwegehahn. Üben Sie anschließend sanften Druck (um ca. 5–10 ml) auf den Stempel des nun gefüllten Kolbenprobers aus.
- Halten Sie den Druck für ca. 10 Sekunden konstant. Notieren Sie die Volumina der Kolbenprober.

Entsorgung

Aktivkohlereste im Feststoffabfall entsorgen. Kohlenstoffdioxid wird in die Umgebungsluft entlassen.



ELEKTROLYTISCHE ABSCHIEDUNG VON KUPFER AUS EINER KUPFERLEGIERUNG






Die Raffinationselektrolyse von Rohkupfer dient der Gewinnung von hochreinem Kupfer, das für Stromleitungen und elektronische Bauteile benötigt wird. Die Grundzüge dieses Verfahrens lassen sich in einem Experiment veranschaulichen.

Aufgaben

1. Informieren Sie sich über die Zusammensetzung von 1-Euro- und 2-Euromünzen.
2. Überlegen Sie, was bei einer Elektrolyse einer solchen Münze als Anode und einer Kohlelektrode als Katode zu beobachten sein wird.
3. Erläutern Sie die chemischen Vorgänge, die zur Kupferabscheidung führen.
4. Was geschieht mit Legierungsbestandteilen, die edler bzw. unedler als Kupfer sind?

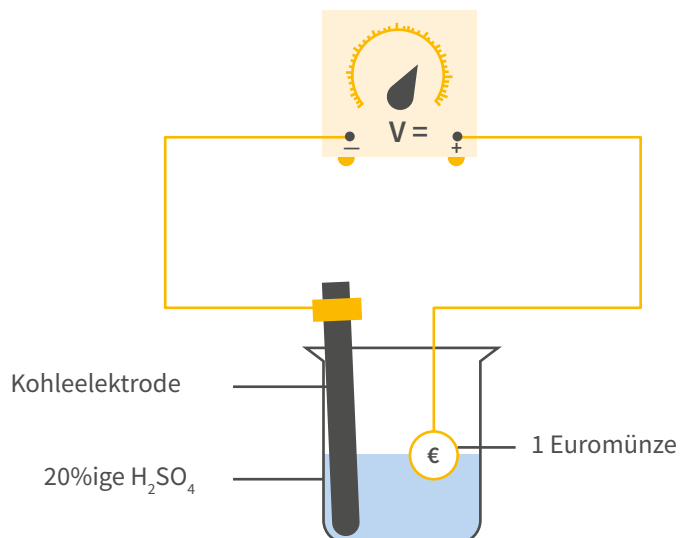
Geräte

Gleichstromquelle, Strommessgerät, Spannungsmessgerät, Verbindungskabel, Krokodilklemmen, Scheuerpulver, 1- oder 2-Euromünze, Kohlelektrode, Becherglas, 100 ml.

Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Schwefelsäure (w = 20%)		290-314	280-301+330+331-303+361+ 353-305+351+338+310	Gefahr
verd. Ammoniakwasser	  	290, 314, 335, 400	260-273-280-301+330+331- 303+361+353-305+351+338	Gefahr
Diacetyldioxim		228	210-240-241-280-370+378	Achtung

ELEKTROLYTISCHE ABSCHIEDUNG VON KUPFER AUS EINER KUPFERLEGIERUNG

Schaltplan



Durchführung

- Die Münze wird mit etwas Scheuerpulver gereinigt.
- Die Elektrolysezelle wird gemäß der Abbildung aufgebaut, wobei die Kohlelektrode als Minuspol, die Münze als Pluspol geschaltet wird. Der Kontakt wird mit einer Krokodilklemme hergestellt.
- Nun elektrolysiert man in 20%iger Schwefelsäure so lange bei ca. 4,5 V, bis eine Blaufärbung des Elektrolyten zu erkennen ist.
- Bereits nach kurzer Zeit erkennt man am Minuspol Veränderungen, die mit zunehmender Dauer der Elektrolyse an Deutlichkeit gewinnen.
- Stoppen Sie die Elektrolyse und fügen Sie einige ml Ammoniak-Lösung hinzu.

Entsorgung

Elektrolyt in Sammelbehälter für anorganische Chemikalienreste. Elektroden nach Reinigung wiederverwenden.



DIREKTELEKTROLYSE VON LEITERPLATINEN

Da Leiterplatten sehr reines Kupfer enthalten, kann man sich fragen, ob es auch möglich ist, sie direkt als „Anoden“ im Rahmen einer Raffinationselektrolyse einzusetzen.

Das im Folgenden beschriebene Experiment zeigt, dass eine solche direkte Elektrolyse durchaus denkbar ist, dass aber störende Einflüsse ihre großtechnische Umsetzung unmöglich machen.

Aufgaben

1. Formulieren Sie vor dem Versuchsstart, welche Beobachtungen Sie bei der Direktelektrolyse erwarten.
2. Leiterplatten enthalten neben Kupfer vor allem große Mengen an Lötzinn, eine Legierung, die als Hauptbestandteile vor allem Zinn und Blei enthält. Da beide Metalle unedler als Kupfer sind, werden sie zu Beginn der Elektrolyse bevorzugt oxidiert. Erläutern Sie mithilfe dieser Information die Vorgänge bei der Direktelektrolyse.

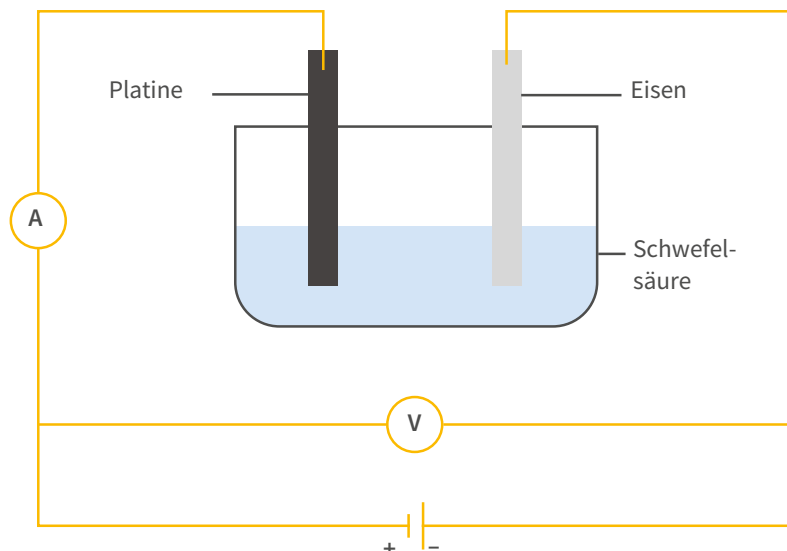
Geräte

Gleichstromquelle, Strommessgerät, Spannungsmessgerät, Schmirgelpapier, 2 Stücke Edelstahl oder Eisen mit möglichst großer Oberfläche (z. B. Gitter, Blech oder aufgedrehter Draht), Leiterplatte mit möglichst großen Leiterbahnen, Kristallisierschale oder DC-Kammer.

Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Schwefelsäure (w = 20%)		290-314	280-301+330+331-303+361+ 353-305+351+338+310	Gefahr

DIREKTELEKTROLYSE VON LEITERPLATINEN

Schaltplan der Direktelektrolyse



Durchführung

- ⦿ Die Platine wird zur Entfernung der Kunststoffschicht zunächst vorsichtig geschmirgelt, bis die Leiterbahnen sichtbar werden.
- ⦿ Die Elektrolysezelle wird gemäß der Abbildung aufgebaut, wobei das Eisen- bzw. Edelstahlstück als Minuspol geschaltet wird. Es ist darauf zu achten, dass die Leiterbahnen der Platine auch mit der Spannungsquelle in Berührung kommen. Der Kontakt wird mit einer Krokodilklemme hergestellt.
- ⦿ Nun elektrolysiert man in 20%iger Schwefelsäure so lange bei ca. 3,5 V, bis eine Blaufärbung des Elektrolyten zu erkennen ist.
- ⦿ Die äußere Spannung wird abgeschaltet, und das Eisen- bzw. Edelstahlblech wird durch ein neues ersetzt. (Vorsicht! Abscheidungen an der Elektrode nicht berühren!). Nach Einführen des neuen Bleches in die Elektrolysezelle wird eine Spannung von nicht mehr als 0,5 V angelegt.
- ⦿ Bereits nach kurzer Zeit erkennt man am Minuspol Veränderungen, die mit zunehmender Dauer der Elektrolyse an Deutlichkeit gewinnen.

Entsorgung

Elektrolyt und erste Edelstahlelektrode in Sammelbehälter für anorganische Chemikalienreste. Weitere Elektroden wiederverwenden.

LITHIUM-SAUERSTOFF-BATTERIE

Batterien auf Lithium-Ionen-Basis sind in der heutigen Zeit die meistverwendeten Energiespeicher für Elektronikgeräte wie Tablets, Smartphones und Co. Auch in der Automobilbranche, im Bereich der Elektro- und Hybridfahrzeuge sowie bei der Energiewende gelten sie als Hoffnungsträger zur Energiespeicherung. Dabei wird vor allem an verschiedenen Elektrolyten und Elektrodenmaterialien der Lithium-Ionen-Technologie geforscht. Eine leistungsstärkere Alternative könnte die Lithium-Sauerstoff-Batterie sein.

a. Lithium-Sauerstoff-Batterie

Aufgabe

Führen Sie die Messung durch.

Geräte

Multimeter als Volt- und Amperemeter, Kabelmaterial sowie Krokodilklemmen, 150-mL-Becherglas, Siebhülse $\varnothing=16$ mm und L=5 mm (Baumarkt), Bleistiftmine $\varnothing = 65$ mm (Faber-Castell Art.-Nr. TK 9071)

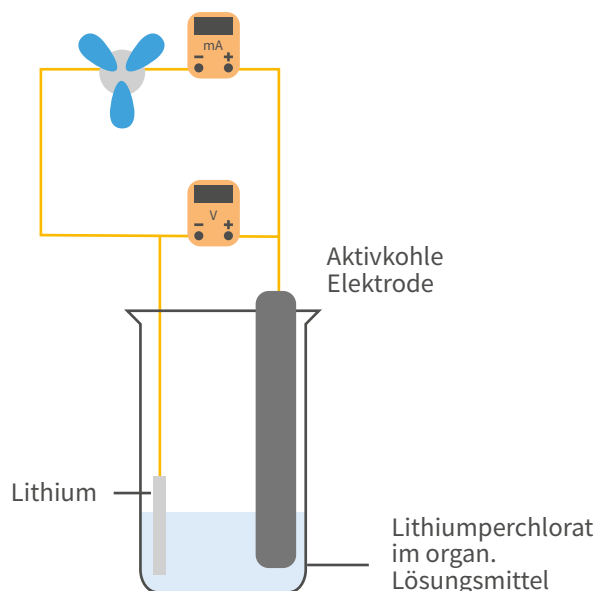
Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Lithium (z.B. Draht)		260, 314	223, 280 231+232 305+351+338 370+378b 422a EUH014	Achtung
Dimethylcarbonat		225	210, 240 403+233	Gefahr
Propylencarbonat		319	305+351+338	Achtung
Lithiumperchlorat		271, 315, 319, 335	220 261 305+351+338	Gefahr
Aktivkohle, grobe Körnung (1-3mm)	-	-	-	-

Sicherheitsvorschriften

Lithiumperchlorat ist stoßempfindlich. Vorsichtige Handhabung! Lithium ist als Alkalimetall reaktiv und reagiert mit Luftsauerstoff spontan.

LITHIUM-SAUERSTOFF-BATTERIE

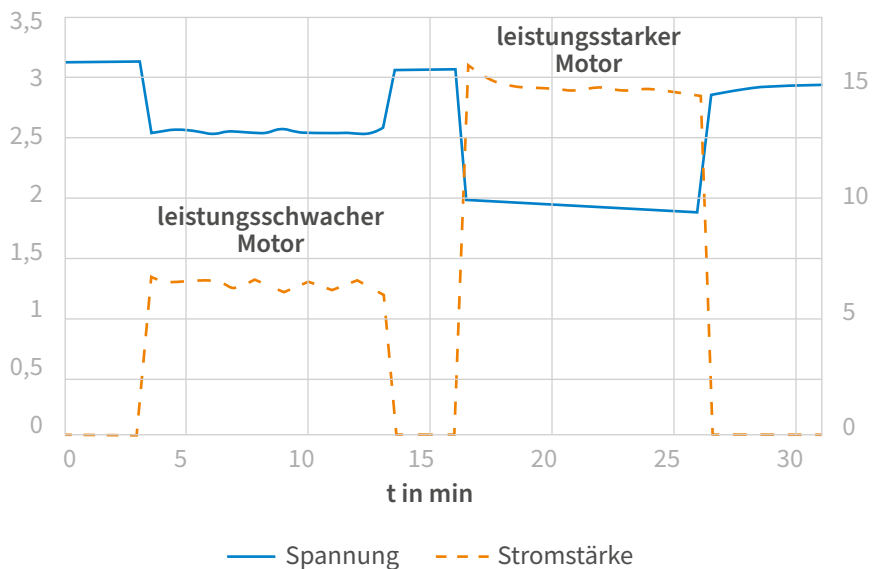
Abbildung 1



Durchführung

In einer Lösung von 40 ml Dimethylcarbonat und 60 ml Propylencarbonat werden 10 g Lithiumperchlorat unter Umrühren gelöst. Etwa 80 ml dieser Lösung werden in das Becherglas gegeben. Ein Stück Lithiumdraht von etwa 3 cm Länge wird an einem Ende platt geklopft und mit einem feinen Schmirgelpapier abgerieben. Das platt geklopft Ende wird mit Hilfe einer Krokodilklemme an einem Kabel befestigt und in die Lösung eingetaucht. In der Siebhülse wird die Bleistiftmine in der Mitte als Ableitelektrode eingebracht, sodass sie etwa 1 bis 2 cm aus der Siebhülse herausragt, dann wird mit der nicht vorbehandelten Aktivkohle befüllt. Die Siebhülse wird oben mit etwas Knete abgedichtet und ebenfalls in das Becherglas eingestellt. Die elektrische Schaltung wird wie in Abbildung 1 gezeigt vorgenommen. Nun wird für 3 Minuten die Ruheklemmenspannung gemessen.

In unseren Experimenten beträgt diese 2,95 bis 3,15 V. In der Literatur wird ein Wert von 2,96 V angegeben. Nun schaltet man für einige Minuten den leistungsschwachen Motor in den Stromkreis. Der Propeller des Motors dreht sich lebhaft. In den Versuchen fällt die Spannung auf etwa 2,55 V ab und die Stromstärke beträgt etwa 6,5 mA. Danach wird der Motor wieder aus dem Stromkreis entfernt und für einige Minuten erneut die Ruheklemmenspannung gemessen. Abschließend wird noch einmal ein leistungsstärkerer Motor in den Stromkreis geschaltet. Auch hier dreht sich der Propeller des Motors bei einer Stromstärke von etwa 15 mA zügig und die Spannung fällt auf etwa 1,95 V ab. Die gesamten Versuchsergebnisse sind aus Abbildung 2 ersichtlich.

LITHIUM-SAUERSTOFF-BATTERIE
Abbildung 2

b. Lithium-Sauerstoff-Batterie mit Potenzialmessung
Aufgabe

Führen Sie die Messung durch.

Geräte

wie in Experiment a., zusätzlich zwei 100-ml-Bechergläser, Silber/Silberchlorid-Elektrode und zwei weitere Multimeter für die Potenzialmessung.

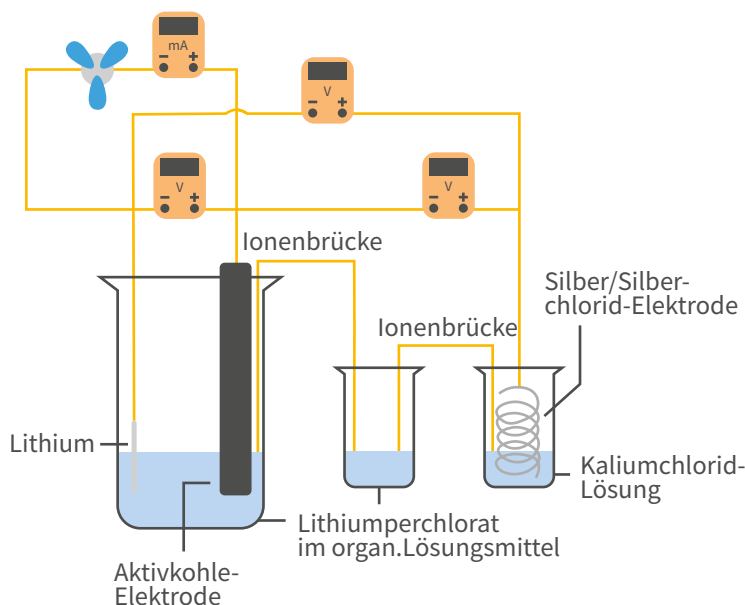
Chemikalien

wie in Experiment a., zusätzlich

Chemikalien	Gefahrensymbole	H-Sätze	P-Sätze	Signalwort
Kaliumchlorid-Lösung (c(KCl) = 1M)	-	-	-	-

LITHIUM-SAUERSTOFF-BATTERIE

Abbildung 3



Durchführung

Um die Potenziale der Elektroden gegen die Silber/Silberchlorid-Elektrode zu messen, werden zunächst zwei Filterpapierstücke mit der organischen Carbonat-Lösung (Elektrolyt aus Dimethylcarbonat und Propylencarbonat) befeuchtet. Sie dienen als Ionenbrücken. Die erste Ionenbrücke wird mit dem einen Ende in das Becherglas mit der Silber/Silberchlorid-Elektrode in die Kaliumchlorid-Lösung getaucht, und das andere Ende wird in ein weiteres kleines Becherglas mit etwa 20 mL organischer Carbonat-Lösung gegeben. Die zweite Ionenbrücke geht von dem kleineren Becherglas mit organischer Carbonat-Lösung in das Becherglas mit den beiden Elektroden. Die Elektrolytlösung mit den Elektroden wird somit vor Wasserzutritt geschützt. Der Versuchsaufbau sowie die Schaltung der Multimeter zur Messung der Potenziale sind in Abbildung 3 dargestellt. Das Potenzial der Silber/Silberchlorid-Elektrode beträgt in der 1-molaren Kaliumchlorid-Lösung +0,234 V.

c. Wiederaufladen der Lithium-Sauerstoff-Batterie

Aufgabe

Führen Sie die Messung durch.

Geräte

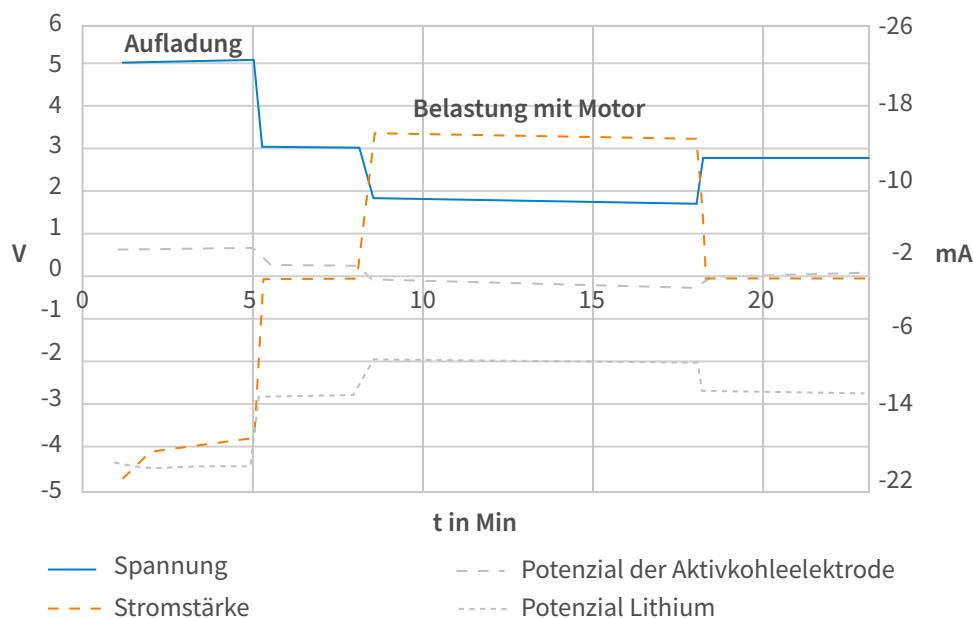
wie in Experiment b., zusätzlich eine Spannungsquelle.

Chemikalien

wie in Experiment b.

LITHIUM-SAUERSTOFF-BATTERIE

Abbildung 4



Durchführung

Der Versuchsaufbau kann aus dem Vorversuch übernommen werden. Anstelle des Elektromotors wird nun nach Betrieb der Batterie in Experiment b die Spannungsquelle in den Stromkreis geschaltet. Die Aufladung der Batterie erfolgt fünf Minuten mit einer Spannung von 5,16 V. Dabei beträgt in unseren Versuchen das Potenzial der Aktivkohle-Elektrode während der Aufladung etwa +0,7 V und das der Lithium-Elektrode etwa -4,4 V. Es ist eine Stromstärke von etwa 18 mA zu verzeichnen.

Nach dem Aufladen liegt die Ruheklemmenspannung der Zelle bei 3,09 V und das Potenzial der Lithium-Elektrode beträgt -2,736 V, und das der Aktivkohlelektrode liegt bei +0,344 V. Unter Belastung mit einem leistungsstarken Motor zeigen sich ähnliche Spannungs- und Potenzialverläufe wie in Experiment b. Die Ergebnisse sind aus Abbildung 4 ersichtlich. Damit zeigt sich, dass die Lithium-Sauerstoff-Batterie wieder aufladbar ist.

d. Lithium-Sauerstoff-Batterie mit getrockneter Aktivkohle

Aufgabe

Führen Sie die Messung durch.

Geräte

wie in Experiment c.

Chemikalien

wie in Experiment c.



LITHIUM-SAUERSTOFF-BATTERIE

Durchführung

Für das Wiederaufladen wird ebenfalls eine Spannungsquelle verwendet, die eine separate Einstellung der beiden Ladungspotenziale der Elektroden ermöglicht. Die verwendete Aktivkohle wird ein bis zwei Tage im Trockenschrank bei 200°C vorgetrocknet und kurz vor Gebrauch in einer Porzellschale zehn Minuten lang mit einem Bunsenbrenner stark erhitzt. Nach Abkühlung wird diese Aktivkohle dann in die Siebhülse eingefüllt und die fertige Elektrode in die Elektrolytlösung eingetaucht. Die Versuchsdurchführung erfolgt zunächst wie in Experiment b und für eine anschließende Aufladung wie in Experiment c.