

KREISLAUFWIRTSCHAFT — DEN KREISLAUF IN SCHWUNG BRINGEN

HINWEISE FÜR LEHRKRÄFTE

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.



Geeignet für Sekundarstufe II

Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 30 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 1,5 Schulstunden)

Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

Kunststoff	Eigenschaften
Polyethen (PE)	weich, Erweichungstemperatur unter 100 °C, brennt mit leuchtender, nicht rußender Flamme
Polystyrol (PS)	fest, hart, spröde, glasklar bis geschäumt weiß, löslich in Aceton, brennt mit leuchtender, stark rußender Flamme
Polypropen (PP)	härter als Polyethen, sehr spröde, höhere Erweichungstemperatur als PE, brennt mit leuchtender, nicht rußender Flamme
Polyethylenterephthalat (PET)	sehr hart, nur schwer entflammbar, brennt mit gelboranger Flamme
Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)	hart, biegefest, brennt flackernd mit gelber, stark rußender Flamme



REDUKTION VON METALLOXIDEN MIT KUNSTSTOFFABFÄLLEN

HINWEISE FÜR LEHRKRÄFTE

Geeignet für Sekundarstufe I/II

Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 30 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 1 Schulstunde)

Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

Die Mischung ist magnetisch geworden. Das PE hat das Eisenoxid zu Eisen reduziert. Führt man den Versuch mit schwarzem Kupferoxid durch, erhält man einen Kupferspiegel am Glas.

Diskussion

Verbundkunststoffe, die im Rahmen der Rückgewinnung nicht ökonomisch zu trennen sind, lassen sich anstelle von Kohle oder Gas sinnvoll für die Reduktion von Metalloxiden verwenden. Langfristig sollten Kunststoffe jedoch recycelt werden.



Geeignet für Sekundarstufe II

Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 30 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 1 Schulstunde)

Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

Nur Thermoplaste lassen sich Umschmelzen. Beispiele hierfür sind Polyethen, Polypropen, Polyvinylchlorid (PVC), Polystyrol oder Polyethylenterephthalat (PET). Nicht Umschmelzen lassen sich Duroplaste (z.B. Amino- und Phenoplaste sowie Polyesterharze) und Elastomere.

Nach kurzer Zeit beginnt PE bzw. PP seine Form zu verändern, es schmilzt und kann in der Schmelze durch vorgegebene Formen entsprechend umgeformt werden.



Geeignet für Sekundarstufe II

Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 30 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 1 Schulstunde)

Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

Beobachtung

Nach kurzer Zeit bildet sich Kondensat im Reagenzglas (dies kann verflüssigtes Ethen, aber auch Ethin sein); zudem kann auch Wasserstoff gebildet werden sowie Methan. Zugabe von Bromwasser führt zur Entfärbung. Es werden bromierte Ethanmoleküle gebildet.



Geeignet für Sekundarstufe II / Demonstrationsexperiment

Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 20 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 1 Schulstunde)

Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

Beobachtung

Nach wenigen Minuten beginnt der Kunststoff sich aufzulösen. Ein Teil des Natriumsalzes der Terephthalsäure scheidet sich als weißer Schlamm ab.

Auswertung

Nachweis von Terephthalsäure

Durch Ausfällen und in Lösung bringen von Terephthalsäure kann dies als Nachweis gelten. Zugabe von HCl conc. scheidet sich ein milchiger Brei ab. Zugabe von NaOH (40%) bringt diesen wieder in Lösung.

Nachweis von Ethylenglycol

Die bei diesem Nachweis entstehenden farbigen Komplexe sind sogenannte Cer(IV)-Alkohol-Komplexe, genauer gesagt, Cer(IV)-Ethylenglycol-Komplexe. Diese bilden sich durch die Wechselwirkung zwischen dem Alkohol (Ethylenglycol) und den Cer(IV)-Ionen aus der Ammoniumcer(IV)-nitrat-Lösung. Der entstehende Cer(IV)-Ethylenglycol-Komplex ist nicht lange stabil, da Cer(IV) eine stark oxidierende Wirkung hat. Dies kann zu einer Oxidation des Ethylenglycols und/oder einer Reduktion des Cer(IV)-Ions zu Cer(III) (Ce^{3+}) führen. Durch diesen Prozess verblasst die rote Farbe.

Isolierung von Terephthalsäure

Terephthalsäure fällt aus, weil sie im sauren Medium nur schwach polar ist und sich daher nicht gut in Wasser löst.

Nebenprodukte wie Ethylenglycol bleiben in der Mutterlauge gelöst, da sie sehr gut wasserlöslich sind. Die Methode zur Isolierung von Terephthalsäure basiert auf ihrer schlechten Wasserlöslichkeit im sauren Medium, kombiniert mit einfachen physikalischen Trennverfahren wie Filtration, Waschen und Trocknen.



HERSTELLEN EINES KUNSTSTOFFES AUS MILCHSÄURE (POLYMILCHSÄURE)

HINWEISE FÜR LEHRKRÄFTE

Geeignet für Sekundarstufe I/II

Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 20 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 1 Schulstunde)

Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

Beobachtung

Durch Erhitzen der Milchsäure (Zugabe von Zinn(II)-chlorid) entsteht nach ca. 10–15 Minuten eine orange-braune Flüssigkeit; Dampf entweicht.

Die orangebraune Flüssigkeit wird bei Abkühlung zähflüssiger – es ist Polymilchsäure entstanden – diese kann mit einem Glasstab zu Fäden gezogen werden. Mit Kupfersulfat-Papier (weiß) kann Wasser nachgewiesen werden. Der entstandene Dampf färbt das Kupfersulfat-Papier blau.



EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DAS GLEICHGEWICHTSSYSTEM

HINWEISE FÜR LEHRKRÄFTE

Geeignet für Sekundarstufe II

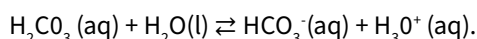
Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 30 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 1 Schulstunde)

Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

1. Während des Erhitzens dehnt sich der Luftballon aus, während des Abkühlens fällt er in sich zusammen. Zugleich steigt der pH-Wert beim Erhitzen.
2. Diese Aufgabe kann zum Anlass genommen werden, über die grundsätzliche Bedeutung von Blindproben nachzudenken. Im konkreten Fall geht es darum, den Effekt, der durch das Schütteln der Kolben verursacht wird, zu ermitteln. Nur so kann eine realistische Aussage über den Einfluss der Temperatur gemacht werden.
3. Bedeutsam ist neben der Löslichkeit die Reaktion des Kohlenstoffdioxids mit Wasser:
$$\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$$

sowie die anschließende Reaktion der Kohlensäure:



Die Erhöhung der Temperatur verringert die Aufnahmekapazität des Wassers für Kohlenstoffdioxid, da zum einen die Löslichkeit, zum anderen aber auch die nachfolgenden Reaktionen exotherm sind und eine Energiezufuhr daher zu einem verstärkten Entweichen bzw. einer verstärkten Rückreaktion zu Kohlenstoffdioxid und Wasser führt.

4. In den Ozeanen ist die Aufnahmekapazität für Kohlenstoffdioxid in den Regionen mit kälteren Wassertemperaturen (also im Tiefenwasser und in polnahen Regionen) größer. Eine allgemeine Erwärmung der Ozeane wirkt der Fixierung von Kohlenstoffdioxid also entgegen.



EINFLUSS DES DRUCKES AUF DAS GLEICHGEWICHTSSYSTEM

HINWEISE FÜR LEHRKRÄFTE

Geeignet für Sekundarstufe II

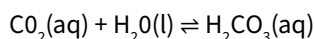
Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 30 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 1 Schulstunde)

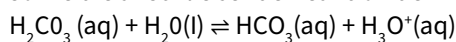
Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

1. Wird auf den Kolben des Kolbenprobers Druck ausgeübt, sinkt der pH-Wert. Entsprechend verändert sich die Farbe des Indikators. Dieser Vorgang lässt sich durch Erzeugung eines Unterdruckes umkehren.

2. Bedeutsam ist neben der Löslichkeit die Reaktion des Kohlenstoffdioxids mit Wasser:



sowie die anschließende Reaktion der Kohlensäure mit Wasser:



Eine Erhöhung des äußeren Drucks erhöht auch die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser. Kohlenstoffdioxid geht in Lösung, und der pH-Wert verschiebt sich ins Saure. Bei Druckerniedrigung geht CO_2 aus der Lösung, der pH-Wert verschiebt sich ins basische.

3. Höhere Drücke, etwa in den Tiefen der Ozeane, führen zu einer verstärkten Lösung von Kohlenstoffdioxid im Wasser.



DER EINFLUSS DES PH-WERTS AUF DAS GLEICHGEWICHTSSYSTEM

HINWEISE FÜR LEHRKRÄFTE

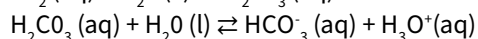
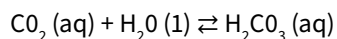
Geeignet für Sekundarstufe II

Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 30 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 1 Schulstunde)

Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

1. Die Zugabe von Säure setzt die Aufnahme von Kohlenstoffdioxid herab, die Zugabe von Lauge verstärkt die Aufnahme. Die Löslichkeit der nachfolgenden Reaktionen sind umkehrbar, es stellt sich nach jeder Zugabe wieder ein bestimmtes und in Grenzen reproduzierbares Gasvolumen ein.
2. Dieser Effekt kann mithilfe der ablaufenden Reaktionen gedeutet werden.



Die Zugabe von Lauge führt zu einer Entfernung der entstehenden Hydronium-Ionen aus dem Gleichgewicht und dadurch zur Reaktion weiterer Kohlenstoffdioxidmoleküle mit Wassermolekülen („Verschiebung“ des Gleichgewichts durch Entfernen der Produkte).

3. Bezogen auf die Aufnahmekapazität der Ozeane bedeutet dieser Befund, dass ein höherer pH-Wert die Aufnahmekapazität positiv beeinflussen würde. Aktuell sinkt der pH-Wert der Weltmeere jedoch aufgrund der gestiegenen Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre.

Geeignet für Sekundarstufe II

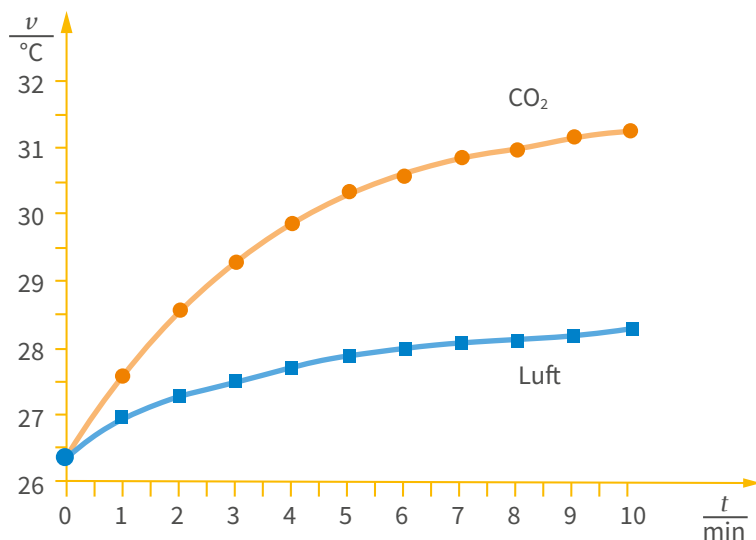
Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 30 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 1 Schulstunde)

Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

In dem Versuchsansatz mit CO_2 steigt die Temperatur schnell an. Im Ansatz ohne CO_2 bleibt die Temperatur konstant etwas über der Raumtemperatur, ggf. steigt sie ein wenig.

1. Die Lampe symbolisiert die Sonne, die Wasserschale den Wasserdampfgehalt und Wolken, die Gasfüllung die Gashülle der Atmosphäre und die schwarze Pappe den Erdboden. Es ist ein deutlicher Unterschied zwischen einer Luft- und einer Kohlenstoffdioxidatmosphäre zu erkennen.



2. Das Wasser und das Kohlenstoffdioxid im Gefäß absorbieren IR-Strahlung der Lampe. Die sichtbare Strahlung wird an der Pappe absorbiert, umgewandelt und als IR-Strahlung wieder emittiert. Diese IR-Strahlung wird wiederum von Kohlenstoffdioxid im Gefäß absorbiert, was zu einer messbaren Temperaturerhöhung führt.



MODELLVERSUCH ZUR SPEICHERUNG VON KOHLENSTOFFDIOXID IN KOHLEFLÖZEN

HINWEISE FÜR LEHRKRÄFTE

Geeignet für Sekundarstufe II

Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 30 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 1 Schulstunde)

Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

Leitet man Kohlenstoffdioxid über Aktivkohle, so nimmt das messbare Volumen ab.

1. Diese exemplarischen Messwerte können beobachtet werden:

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	100	0	0
Rechts	0	63,5	57

- Die Volumenveränderungen nach dem Überleiten über die Aktivkohle (Schritt 2 zu Schritt 3) können mit Hilfe der Adsorptionseigenschaften der Aktivkohlenoberfläche erläutert werden. Das Kohlenstoffdioxid haftet an der Oberfläche der Aktivkohle und reichert sich daran an (Adsorption). Schon nach der einfachen Überleitung in Schritt 3 kann so eine Abnahme der Gasvolumina 36,5% beobachtet werden.
- Die Druckerhöhung in Schritt 4 beeinflusst das Volumen. Die Adsorptionsrate kann auf 43% gesteigert werden. Die Druckausübung simuliert die Hochdruckverpressung von Kohlenstoffdioxid in unterirdischen Kohleflözen. Durch den erhöhten Druck kann mehr Kohlenstoffdioxid tiefer in die porösen Strukturen der Aktivkohle (Porenraum, Risse und Klüfte) eindringen und dort adsorbiert werden als in Schritt 3.
- Der Vorteil der geologischen Speicherung von CO₂ in Kohleflözen ist, dass das Kohlenstoffdioxid an die Kohlevorkommen adsorbiert und so gebunden werden kann. Dieser Prozess konnte durch den Modellversuch visualisiert werden.



MODELLVERSUCH ZUR SPEICHERUNG VON KOHLENSTOFFDIOXID IN KOHLEFLÖZEN

HINWEISE FÜR LEHRKRÄFTE

Zusatzinformationen für Lehrkräfte

Damit diese Speicherungsform erfolgreich angewendet werden kann, müssen die Kohleflöze über eine gewisse Durchlässigkeit (Permeabilität) verfügen. Kommt es zu geringen Durchlässigkeiten wird der Transport von CO_2 und die anschließende Adsorption beeinträchtigt bzw. verhindert. In Deutschland kommen diese Flöze nur an sehr wenigen Standorten, mit geringer Permeabilität und in großen Tiefen von 1500 m vor, weshalb eine Nutzung der Kohleflöze zur Speicherung von Kohlenstoffdioxid nicht forciert wird. Neben sorptiven Speichern wie den Kohleflözen, gibt es auch Bestrebungen, gasförmiges Kohlenstoffdioxid in Porenspeichern wie salinen Aquiferen oder ehemaligen Erdöl- und Erdgaslagerstätten zu speichern. Letztere werden auf Grund ihrer Erschließung und vorhandenen Infrastruktur für Speichervorhaben bevorzugt.



ELEKTROLYTISCHE ABSCHIEDUNG VON KUPFER AUS EINER KUPFERLEGIERUNG

HINWEISE FÜR LEHRKRÄFTE

Geeignet für Sekundarstufe II

Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 30 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 1 Schulstunde)

Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

1.

Wert	Material
1 Euro	Ring: Nickel-Messing (75 % Cu, 20 % Zn, 5 % Ni) Kern: Kupfernichel, Nickel, Kupfernichel geschichtet (Magnimat)
2 Euro	Ring: Kupfernichel (75 % Cu, 25 % Ni) Kern: Nickel-Messing, Nickel, Nickel-Messing geschichtet

2. Kupferatome sowie unedlere Atome werden bei 4,5 V Spannung oxidiert. Edlere Elemente wie z. B. Silber, Gold oder Platin werden bei dieser Spannung nicht oxidiert. Kupferionen sollten sich am Pluspol abscheiden.

3. $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ (Pluspol), die Lösung färbt sich nach einigen Minuten blau-grün $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ (Minuspol)

Kupferionen reagieren mit Ammoniak zu $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, was zur Verstärkung der Blaufärbung führt.

Bei der Elektrolyse werden auch Nickelatome zu $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ -Ionen oxidiert. Sie lassen sich durch Zugabe von Diacethylglyoxim nachweisen, was ebenfalls zur Blaufärbung führt.

4. Es bleiben bei der Elektrolyse alle Metalle in Lösung, die in der Spannungsreihe der Metalle links vom Kupfer stehen. Edlere Metalle, wie Gold, Silber und Platin, die ggf. in der Münze vorhanden sind, gehen nicht als Ionen in Lösung.



Geeignet für Sekundarstufe II

Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 30 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 1 Schulstunde)

Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

1. Es wird erwartet, dass sich bei der Direktelektrolyse, analog zur Kupferraffination, reines Kupfer abscheidet.
2. Zinn geht bei der Direktelektrolyse vor Kupfer in Lösung. So sind am Anfang nur Zinnionen im Elektrolyten (20 %ige Schwefelsäure) enthalten, sodass sich auch nur diese am Minuspol abscheiden können. Nach einiger Zeit liegt am Pluspol kein Zinn mehr vor, und Kupfer geht nun in Lösung (Blaufärbung des Elektrolyten). Die eigentlich erwartete Kupferelektrolyse beginnt. Deshalb ist es wichtig, rechtzeitig den Minuspol zu wechseln.



Geeignet für Sekundarstufe II

Vorbereitungszeit: Materialzusammenstellung (ca. 30 Minuten)

Bearbeitungszeit: Versuchsdurchführung und Auswertung (ca. 2 Schulstunde)

Bitte beachten Sie die Gefährdungsbeurteilungen!

Aktuell wird an verschiedenen Elektrolyten und Elektrodenmaterialien der Lithium-Ionen-Technologie geforscht. Eine leistungsstärkere Alternative könnte die Lithium-Sauerstoff-Batterie sein. Diese lässt sich mit verschiedenen Versuchsaufbauten für den Chemieunterricht gut darstellen und leicht experimentell untersuchen. ⁽¹⁾

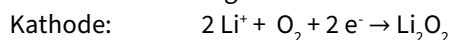
Verschiedene Spannungen sind messbar.

Zu a.:

Der Versuch zeigt, dass in dieser Anordnung eine Lithium-Sauerstoff-Batterie problemlos funktioniert. An den Elektroden laufen die folgenden Reaktionen ab: An der Anode wird metallisches Lithium unter Abgabe von zwei Elektronen zu Lithium-Ionen oxidiert:



An der Kathode reagieren Lithium-Ionen mit Sauerstoff aus der Luft zu Lithiumperoxid:



Mit diesem Experiment konnte gezeigt werden, dass die Lithium-Sauerstoff-Batterie in der einfachen Versuchsanordnung sogar mit einem leistungsstarken Motor funktioniert.

Überleitung

Für die weitere Auswertung der Batterie sollten allerdings auch die Potenziale der beiden Elektroden berücksichtigt werden. Die Potenzialmessung soll ebenfalls mit einer einfachen Anordnung mittels Silber/Silberchlorid-Elektrode erfolgen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Elektrolytlösung wasserfrei bleibt, damit es an der Lithiumelektrode zu keiner Reaktion mit Wasser unter Abscheidung von Wasserstoff kommt. Daher darf die Ionenbrücke der Silber/Silberchlorid-Elektrode nicht direkt in der Elektrolytlösung eintauchen, in der sich auch das metallische Lithium befindet. Im Folgenden wird ein solcher Versuch beschrieben.

¹ Rosenberg, D. and W. Jansen, *Lithium-Sauerstoff-Batterie*. CHEMKON, 2020. 27(3): p. 136-141.



Zu b.:

In unserem Experiment beträgt die Ruheklemmenspannung +3,13 V. Die Potenziale der Lithium-Elektrode liegen bei -2,736 V und das der Aktivkohle-Elektrode bei +0,394 V. Unter Betrieb des leistungsschwachen Motors mit einer Stromaufnahme von etwa 7 mA fällt die Spannung auf +2,58 V. Das Potenzial der Lithium-Elektrode steigt auf -2,326 V und bleibt während der Belastung konstant.

Anders hingegen das Potenzial der Aktivkohleelektrode: Es sinkt zu Beginn auf +0,244 V und fällt während der 10-minütigen Betriebsdauer auf +0,154 V. Ein sehr ähnliches Verhalten zeigt sich unter Belastung mit einem leistungsstärkeren Motor: Während das Potenzial der Lithium-Elektrode konstant bleibt, sinkt das Potenzial der Aktivkohleelektrode während der Betriebsdauer leicht. Es zeigt sich somit, dass der Spannungsabfall während der Belastung der Zelle von der Aktivkohleelektrode abhängig ist, dieser aber gering ausfällt.

Überleitung:

Nach dem Betrieb der Batterie und der Bildung von Lithiumperoxid in der Aktivkohle-Elektrode liegt die Vermutung nahe, dass die Batterie wieder aufgeladen werden kann. Wir haben zunächst ein Ladegerät verwendet, das es ermöglicht, die Ladungspotenziale an den Elektroden getrennt einzustellen.

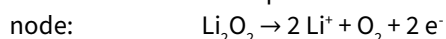
Zu c.:

Die Versuchsergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass auch in diesem einfachen Modellexperiment die Elektrodenreaktionen umkehrbar sind.

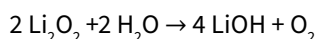
Dabei werden an der Kathode Lithium-Ionen zu Lithium reduziert:



und der Anode Lithiumperoxid zu Lithium-Ionen und Sauerstoff oxidiert:



Die bei den Experimenten verwendeten Aktivkohle-Elektroden können nach wenigen Stunden offener Lagerung wieder benutzt werden. Ein einwöchiges offenes Lagern führt allerdings zu deutlichen Einbußen bei der Spannung und der Stromstärke. Vermutlich reichert sich die Aktivkohle in der Elektrode mit Wasser aus der Luftfeuchtigkeit an, was die Ergebnisse verschlechtert. Somit ist in allen Fällen ein Füllen der Elektrode mit frischer Aktivkohle zweckmäßig. Die Aktivkohle aus dem Vorratsbehälter enthält etwa 7 bis 10 Prozent adsorbiertes Wasser. Dieses Wasser kann zur Bildung von Lithiumhydroxid aus dem gebildeten Lithiumperoxid führen:



Um zu überprüfen, ob dieses eine Auswirkung hinsichtlich der Leistung der Batterie hat, wird ein weiteres Experiment mit entwässelter Aktivkohle durchgeführt.



Zu d.:

Die Ruheklemmenspannung ist mit der getrockneten Aktivkohle mit 3,22 V etwas höher als in den vorausgegangenen Experimenten, was auf das höhere Potenzial der Aktivkohle-Elektrode mit +0,744 V zurückzuführen ist. Danach wurde sofort der leistungsstärkere Motor in den Stromkreis geschaltet. Bei einer Stromaufnahme von ca. 17 mA fällt die Spannung auf 2,29 V, und das Potenzial der Aktivkohlelektrode fällt auf +0,154 V. Somit ist das Potenzial der Aktivkohlelektrode zu Beginn etwas besser als bei den Vorversuchen, allerdings ist es unter Belastung ähnlich wie bei nicht getrockneter Aktivkohle.

Nach einem Betrieb von 10 Minuten wurde die Anordnung mit einem einfachen Ladegerät aufgeladen und der Motor erneut in Betrieb genommen. Bei diesem Experiment können etwas bessere Ergebnisse als mit nicht getrockneter Aktivkohle verzeichnet werden. Allerdings sind die Verbesserungen gering, zumal die Trocknung der Aktivkohle relativ aufwendig ist. Daher können die hier beschriebenen Experimente am einfachsten mit nicht getrockneter Aktivkohle durchgeführt werden.

Entsorgung

Aktivkohle kann im Feststoffabfall entsorgt werden. Lithium wird in Ethanol deaktiviert. Lithiumethanonat wird in organischen nichthalogenierten Abfall entsorgt. Lösungsmittelgemisch von Dimethylcarbonat und Propylencarbonat mit Lithiumperchlorat wird im organischen nichthalogenierten Abfall entsorgt. Graphitminen zwei Tage wässern und dann im Restmüll entsorgen. Lithiumhydroxid wird mit verdünnter Salzsäure neutralisiert und im Ausguss entsorgt.