

MUSTERLÖSUNGEN

**DECHEMAX-Schülerwettbewerb
2022/2023**



Wir können euch im Einzelnen keine Auskunft zur Korrektur geben.

Alle Rechte an den eingesandten Lösungen gehen an die DECHEMA e.V. über, das schließt auch die Texte und Abbildungen ein, die von der DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. uneingeschränkt verwendet und zitiert werden können. Die DECHEMA e. V. kann über die eingesandten Lösungen frei verfügen und insbesondere über deren Aufbewahrung oder Vernichtung nach der Auswertung frei entscheiden.

Bitte beachtet auch:

Die **Musterlösungen** erläutern zwar die richtigen Antworten. Wenn ihr in etwa das geschrieben habt, was hier steht, heißt das aber noch nicht, dass ihr ein Anrecht auf einen Preis habt.



Wir danken an dieser Stelle noch einmal ganz besonders den [KIVIs](#), die den Versuch für den Wettbewerb konzipiert und bereitgestellt haben!

Verständnisfragen Musterlösung

Teil 1: Veranschaulichung des Treibhauseffektes

1. Wie funktioniert der Treibhauseffekt? Welche Treibhausgase gibt es?

Die Sonne strahlt Licht mit einem breiten Wellenlängen-Spektrum ab. Dieser Bereich reicht vom ultravioletten Bereich (UV) ab ca. 250 nm bis zum infraroten Bereich von ca. 2,25 µm. Das Maximum liegt im sichtbaren Bereich bei ca. 500 nm (blau-grün). Abhängig von der Wellenlänge wird das Sonnenlicht unterschiedlich stark von der Atmosphäre ins Weltall zurückreflektiert oder Richtung Erde hindurchgelassen. Dabei dringt vor allem energiereiche kurzwellige Sonnenstrahlung zur Erdoberfläche vor. Der Zusammenhang der Energie E und Wellenlänge λ des Lichtes wird der Planck-Einstein-Beziehung beschrieben. Die Konstanten h und c beschreiben das Plancksches Wirkungsquantum und die Lichtgeschwindigkeit.

$$E = h * \frac{c}{\lambda}$$

Je nach Untergrund wird das Sonnenlicht unterschiedlich stark reflektiert und absorbiert. Zum Beispiel reflektiert Eis einen Großteil der Strahlung. Dagegen absorbiert Asphalt einen Großteil der Strahlung, wodurch sich der Asphalt im Sommer stark erwärmen kann. Der absorbierte Anteil wird zum einen in Wärme umgewandelt und zum anderen als energieärmere, langwelligere Strahlung wieder abgegeben, als so genannte Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung). Diese langwellige Wärmestrahlung wird von der Atmosphäre aufgehalten und die Wärmestrahlung kann nicht ins Weltall entweichen. Dieser natürliche Treibhauseffekt sorgt dafür, dass die durchschnittliche Temperatur auf der Erde bei ca. 15°C liegt und nicht bei -18°C. Jedoch steigt die Menge an Treibhausgasen in der Atmosphäre durch den Menschen (Energieerzeugung, Industrie, Verkehr usw.) stark an. Mit einer steigender Menge an Treibhausgasen in der Atmosphäre kann immer weniger Energie ins Weltall abgegeben werden und unser Klima auf der Erde erwärmt sich immer weiter. Die Folgen der Klimaerwärmung sind heute schon auf der Welt zu spüren.

Treibhausgase des Kyoto-Protokolls: Kohlenstoffdioxid CO₂, Methan CH₄, Lachgas N₂O, Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW), Schwefelhexafluorid SF₆, Stickstofftrifluorid NF₃

Weitere zum Treibhauseffekt beitragende Stoffe: Wasserdampf H₂O, Ozon O₃, Aerosole und Rußpartikel

2. Was repräsentiert das schwarze Blatt in Wirklichkeit?

Das schwarze Blatt repräsentiert die Erdoberfläche, die die Sonnenstrahlung absorbiert.

3. Warum wird die Plastikflasche in die Tiefkühltruhe gelegt?

Die Plastikflasche wird in den Kühlschrank gelegt, um die Luftfeuchtigkeit (Anteil des Wasserdampfes in der Luft) zu erniedrigen. Kalte Luft kann weniger Luftfeuchtigkeit aufnehmen als warme Luft, was auch den Treibhauseffekt immer mehr verstärkt (Wasserdampfdruckkopplung). In der Tiefkühltruhe wird die Luft abgekühlt und damit Luftfeuchtigkeit entzogen. Eine hohe Luftfeuchtigkeit in der Tiefkühltruhe, beispielsweise durch häufiges Öffnen der Tiefkühltruhe, sorgt für die Vereisung der Tiefkühltruhe. Zunächst kondensiert der Wasserdampf an den Wänden der Tiefkühltruhe und gefriert anschließend.

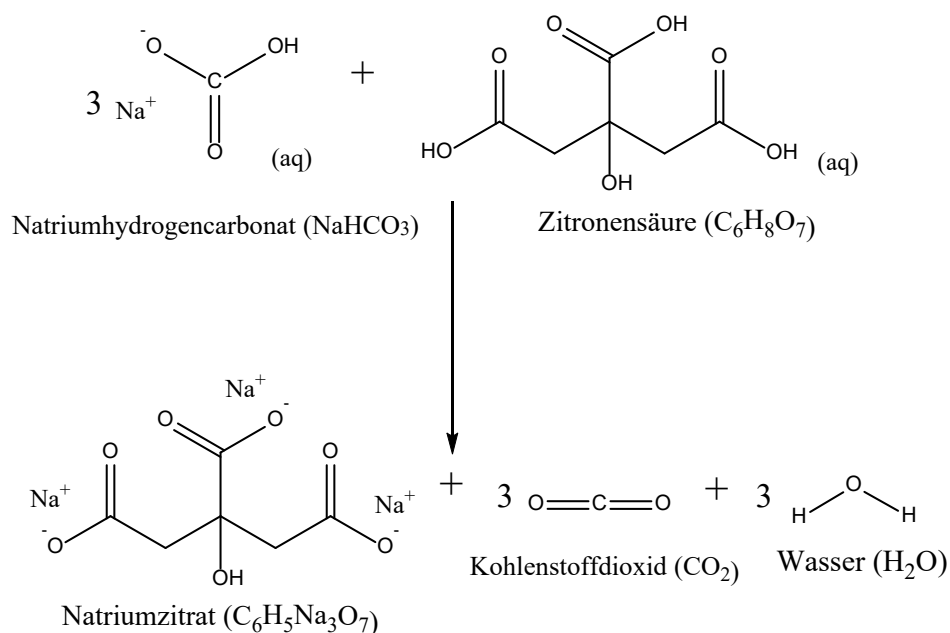
4. Welches Gas entsteht bei der Reaktion von Backpulver und Zitronensaft?

Welche Stoffe reagieren? Schreibt die Wortgleichung/Reaktionsgleichung der Reaktion auf. Bei der Reaktion reagieren Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3 , Base) und Zitronensäure in einer Säure-Base Reaktion miteinander und es entsteht Kohlenstoffdioxid (CO_2) als Gas.

Wortgleichung: Natriumhydrogencarbonat + Zitronensäure

→ Natrium-Salz der Zitronensäure (Natriumzitat) + Kohlenstoffdioxid + Wasser

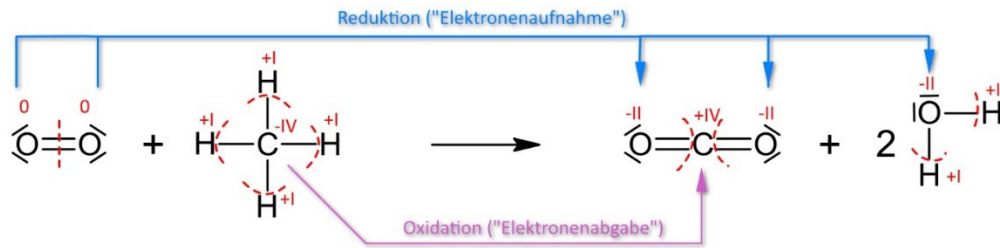
Reaktionsgleichung:



5. Wieso erlischt die Kerze?

Die leuchtende Kerze ist das Ergebnis einer schnellen chemischen (Redox-)Reaktion, bei der Licht freigesetzt wird und Wärme entsteht (exotherme Reaktion). Bei einer Redoxreaktion überträgt ein Reaktionspartner ein Elektron/mehrere Elektronen auf den anderen Reaktionspartner. Der Sauerstoff aus der Luft dient dabei als Oxidationsmittel der Reaktion und wird dabei reduziert (Elektronenaufnahme). Der Brennstoff (**Wachs**, Holz, Papier, Benzin, Methan usw.) wird bei der Verbrennung oxidiert, er gibt Elektronen an den Sauerstoff ab.

Dies wird am Beispiel der Methan-Verbrennung verdeutlicht:



In der Abwesenheit von Sauerstoff findet keine Verbrennung des Brennstoffes statt und die Flamme der Kerze erlischt. Wenn das hergestellte CO₂ aus der Flasche an die brennende Kerze gehalten wird, verdrängt das schwerere CO₂ die normale Luft in der Umgebung der Kerze. Dadurch wird die Sauerstoff-Zufuhr abgeschnitten und die Kerze erlischt.

6. Woher kommt der Temperaturunterschied bei den vier verschiedenen Versuchen?

Beim Versuch 1 (ohne schwarzes Blatt) wird die geringste Temperatur nach 30 Minuten erreicht. Mit einem schwarzen Blatt in der Flasche (Versuch 2) wird eine deutlich höhere Temperatur erreicht, da die Strahlung vom schwarzen Blatt zu einem sehr großen Anteil absorbiert und in Form von Wärme als auch langwelligerer Wärmestrahlung (wie bei der Erdoberfläche) abgegeben wird. Das Licht der Lampe sowie die Wärmestrahlung kann, vor allem vom in der Luft enthaltenen Wasserdampf (empfohlene relative Luftfeuchtigkeit in Räumen liegt zwischen 40-60%) absorbiert werden, wodurch Schwingungen und Rotationen der Wasser-Moleküle angeregt werden. Die sich dadurch schneller bewegenden Moleküle sorgen auch für eine erhöhte Temperatur. Für den 3. Versuch wird die Flasche in die Tiefkühltruhe gelegt, wodurch die Luftfeuchtigkeit in der Flasche reduziert wird. Durch die geringere Anzahl an Wasser-Molekülen wird weniger Licht und Wärmestrahlung in der Flasche absorbiert, wodurch eine geringere Temperatur als mit „normaler“ Luftfeuchtigkeit erreicht wird. Im letzten Versuch (Versuch 4) wird zusätzlich zu der „normalen“ Luftfeuchtigkeit noch hergestelltes Kohlenstoffdioxid in die Flasche gegeben. Die Temperatur nach 30 Minuten ist ähnlich zu Versuch 2, jedoch steigt die Temperatur in den ersten Minuten stärker an als in Versuch 2. Aufgrund der höheren CO₂ Konzentration wird pro Zeiteinheit mehr Strahlung absorbiert und die Temperatur steigt schneller an. Da jedoch eine ähnliche Menge an Treibhausgasen (CO₂ verdrängt Luft mit Wasserdampf) in der Flasche ist, wird eine ähnliche Endtemperatur erreicht.

Endtemperatur nach 30 Minuten Bestrahlung:

$$T(\text{Versuch 1}) < T(\text{Versuch 3}) < T(\text{Versuch 2}) \approx T(\text{Versuch 4})$$

Temperatur nach 5 Minuten Bestrahlung:

$$T(\text{Versuch 1}) < T(\text{Versuch 3}) < T(\text{Versuch 2}) < T(\text{Versuch 4})$$

Verständnisfragen Musterlösung

Teil 2: Zitronen – unsere Hoffnung gegen den Klimawandel?

1. Warum können über die Kopfhörer Geräusche wahrgenommen werden?

Durch die chemischen Reaktionen in der Zitronenbatterie wird ein elektrischer Strom und eine elektrische Spannung erzeugt. Der Strom kann über die Elektrokabeln, die an den sogenannten Elektroden (Zinkscheibe und Cent-Münze) angeschlossen sind, zum Kopfhörer transportiert werden. Werden die zwei verschiedenen Pole am Kopfhörer verbunden, ist der Stromkreis geschlossen und der durch die Kopfhörer fließende Strom kann als Knarzen wahrgenommen werden.

2. Wie funktioniert diese Zitronenbatterie? Was für chemische Reaktionen finden statt? Warum ist am Ende die verzinkte Unterlegscheibe angelaufen und die Münze aus Kupfer glänzend? Erklärt dies anhand einer Zeichnung.

Eine Zitronenbatterie funktioniert nach dem Prinzip der sogenannten galvanischen Zelle. In der Zelle finden Redoxreaktionen statt, d.h. eine Oxidations- (Abgabe von Elektronen) und eine Reduktionsreaktion (Aufnahme von Elektronen) erfolgen gleichzeitig. Hierbei reagieren in der Zitronenbatterie die Cent-Münze und die Zinkscheibe miteinander, wobei das Zink auf der Unterlegscheibe oxidiert, während Kupferionen auf der Münze und in der Zitrone reduziert werden. Das oxidierte Zink, die Zinkionen, lösen sich anschließend im Saft der Zitrone, wohingegen das aus den Kupferionen reduzierte Kupfer sich auf der Cent-Münze abscheidet. Das sogenannte Redoxpotential ist ein Maß für dafür, welche der in Kombination gebrachten Komponenten dazu neigen wird, oxidiert bzw. reduziert zu werden. Das Zink steht in der Redoxreihe unterhalb von Kupfer und wird folglich oxidiert, man spricht auch davon, dass das Zink unedler ist. Die Reaktionen lauten wie folgt:

- Oxidation von Zink: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^-$
- Reduktion von Kupferionen: $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$

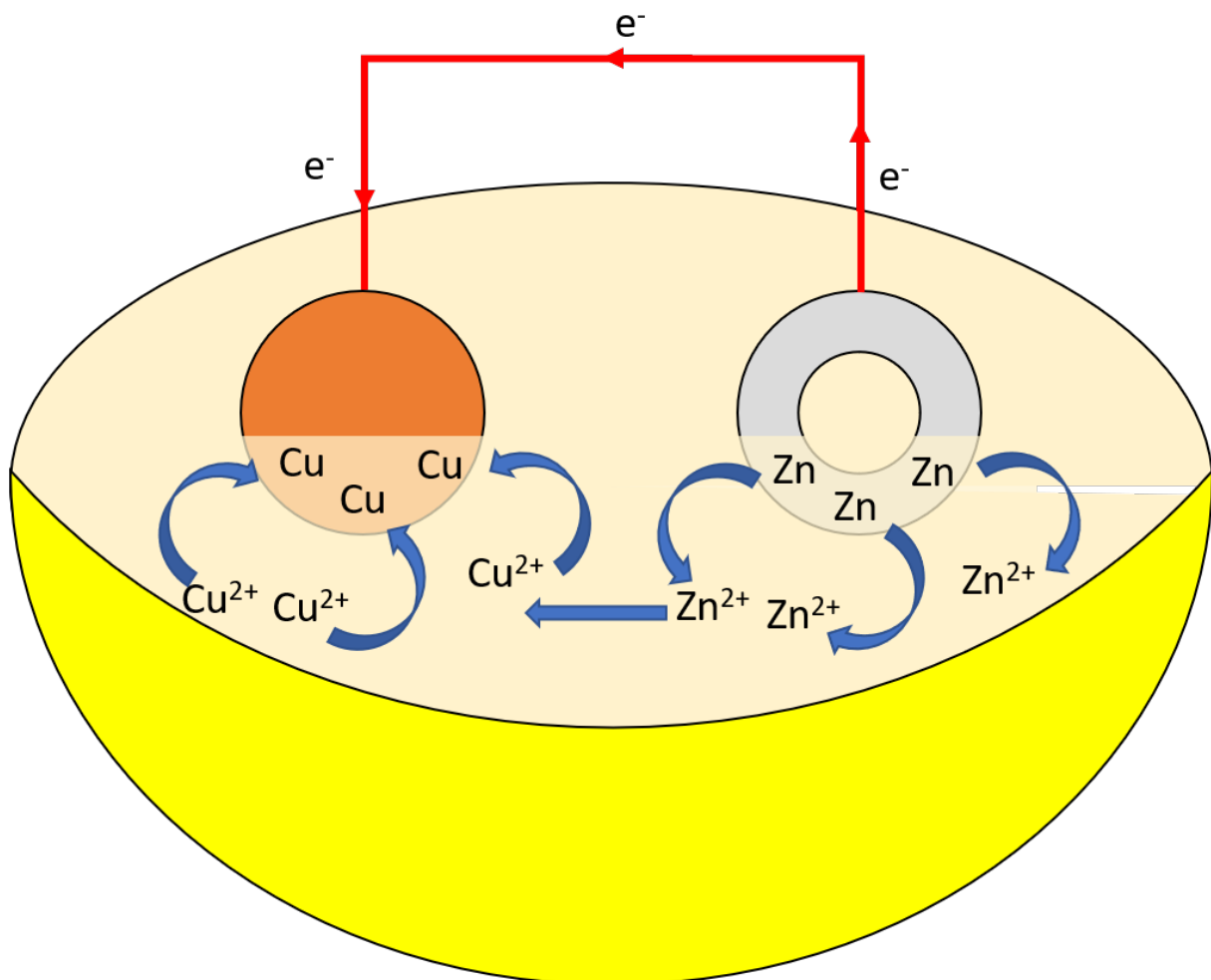
Durch die Oxidation von Zink läuft die Unterlegscheibe an und diese verliert an Glanz. Die Cent-Münze gewinnt durch das reduzierte Kupfer wieder an Glanz zurück.

Dadurch, dass die Unterlegscheibe und die Cent-Münze in der Zitronenbatterie nun nicht im direkten Kontakt zueinanderstehen, können keine Elektronen ausgetauscht werden. Es erfolgt in diesem Zustand keine Redoxreaktion. Werden die beiden Bauteile, z.B. über ein Elektrokabel, jedoch miteinander verbunden, dann kann ein Elektronenaustausch stattfinden. Die Elektronen werden aufgrund der voranschreitenden Reaktionen kontinuierlich an der verzinkten Unterlegscheibe erzeugt und an der Cent-Münze für die Reduktion verbraucht. Es stellt sich ein kontinuierlicher Fluss von Elektronen ein, also ein elektrischer Strom. Die

verzinkte Unterlegscheibe und die Cent-Münze fungieren in diesem Fall auch gleichzeitig als Elektroden (die Unterlegscheibe ist dabei die Anode und die Cent-Münze die Kathode). Das sind Bauteile, die im Kontakt mit einem Elektrolyten stehen und zur Leitung von Elektronen, Aufnahme und Abgabe von Ionen an den Elektrolyten dienen. Als Elektrolyt wird dabei eine wässrige Lösung bezeichnet, die Ionen enthält. Der Elektrolyt ist insofern wichtig, da er zum einen die für die Reduktion benötigten Ionen bereitstellt, aber auch zum anderen einen Ladungsausgleich durchführt. Da Elektronen negativ geladen sind und der Elektronenfluss in Richtung der Kupfer-Elektrode (Cent-Münze) erfolgt, würde sich diese mit der Zeit immer weiter negativ aufladen, bis der Elektronenfluss zum Erliegen kommt. Die im Elektrolyten befindlichen Ionen (auch die aus der Unterlegscheibe erzeugten Zinkionen), können sich entsprechend zur Kupfer-Elektrode bewegen.

Wird ein Verbraucher zwischen in zwischen den beiden Elektroden eingespannt, so kann der erzeugte elektrischer Strom diesen betreiben. Beispielsweise können damit Glühlampen zum Leuchten gebracht werden.

Skizze:



3. Warum dürfen die Unterlegscheibe und die Münze sich nicht gegenseitig berühren?

Sollten sich die Unterlegscheibe und die Münze sich gegenseitig berühren, dann würde der Elektronenaustausch auf direktem Weg erfolgen. Es würde kein elektrischer Strom mehr über das Elektrokabel und damit über mögliche angeschlossene Verbraucher fließen, weil der elektrische Widerstand über den direkten Kontakt wesentlich kleiner ist. Man spricht hierbei von einem sogenannten Kurzschluss. Ein Kurzschluss ist bei echten elektrischen Stromkreisen gefährlich, da in binnen von kurzer Zeit sehr viel Energie übertragen wird ohne, dass irgendein Verbraucher Energie abgreift.

4. Welche Aufgabe hat die Zitrone? Können auch andere Früchte eingesetzt werden?

Die Zitrone, besser gesagt der Zitronensaft, dient als Elektrolyt. Die im Zitronensaft enthaltene Zitronensäure, liegt im deprotonierten Zustand vor. Das heißt es sind Ionen (Protonen und die Anionen der Zitronensäure = Citrat-Anion) vorhanden, die einen Ladungsausgleich durchführen können, damit die Redoxreaktion nicht zum Erliegen kommt. Andere Früchte können auch eingesetzt werden, sofern diese über genügend Saft verfügen und auch einen gewissen Säuregrad haben, um die Ionen bereitzustellen.

5. Was passiert, wenn die Zitronen in Reihe geschaltet werden?

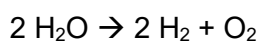
Werden die Zitronen in Reihe geschaltet, so addiert sich die erzeugte elektrische Spannung auf. Mit 12 Zitronen sowie frischen nicht oxidierten Zink Unterlegscheiben und oxidierten Kupfer Cent-Münzen kann eine Spannung von bis zu 7,2 V erreicht werden (Wert aus Referenzversuch ermittelt).

6. Warum entstehen im Glas Wasser Gasblasen an den Gabeln?

Wird eine elektrische Spannung im Wasser angelegt, die groß genug ist, so findet eine sogenannte Elektrolyse statt. Das Wasser wird hierbei zu Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Die im Wasser befindlichen Protonen nehmen Elektronen auf und bilden molekularen Wasserstoff. Die im Wasser befindlichen Hydroxid-Ionen geben ihre Elektronen ab.

7. Warum sind bei einer Gabel mehr Luftblasen zu erkennen als bei einer anderen Gabel? Welcher Vorgang findet hierbei statt?

Bei der Zerlegung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff entstehen nach der folgende Reaktionsgleichung die doppelte Menge an Wasserstoff:



Dadurch sind an der einen Gabel mehr, genauer genommen die doppelte Anzahl an Gasblasen, zu erkennen.

Die Reaktions-Gleichung kann vereinfacht unterteilt werden in zwei Teilreaktionen:



8. Warum muss dem Glas Wasser etwas Zitronensaft hinzugegeben werden?

Dem Wasser müssen Ionen in Form von der Zitronensäure, das sich im Zitronensaft befindet, zugegeben werden. Die Zitronensäure deprotoniert dabei in Protonen und den Citrat-Anionen. Die Ionen bewirken, dass das Wasser leitfähig wird und ein Ladungsausgleich besser erfolgen kann, damit die Elektrolyse nicht zum Erliegen kommt. Alternativ kann auch Kochsalz (NaCl) hinzugegeben werden. Dies sollte aber wegen der möglichen Bildung von giftigen Chlorgas vermieden werden.

9. Was haben diese Versuche mit dem Thema Energiewende zu tun?

Für die Energiewende muss auf alternative Energiequellen, statt den fossilen Brennstoffen, zurückgegriffen werden. Eine Alternative ist Wasserstoff, da es durch eine Reaktion mit Sauerstoff in einer Brennstoffzelle Strom erzeugen kann. Wasserstoff kann mit Strom in einer Elektrolyse erzeugt werden. Der Strom sollte dabei aus regenerativen Energien kommen, der über Photovoltaik oder Windkraft hergestellt wird.

Um sonnen- oder windarme Zeiten zu überbrücken, muss der an den sonnenreichen und windigen Tagen hergestellte Strom zwischengespeichert werden. Das kann beispielsweise mittels einer wiederaufladbaren Batterie (auch genannt als Akkumulatoren) erfolgen.