

C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette

Hier handelt es sich um ein typisches Einstiegsexperiment in den Themenkomplex Energieversorgung im menschlichen Körper, Zellatmung und Atmungskette. Drei einfache Teilexperimente (Zuckerverbrennung ohne und mit Katalysator und der Nachweis von Wasser und Kohlenstoffdioxid [CO₂] in der Atemluft) legen die Erklärung nahe, dass auch im menschlichen Körper Zucker verbrannt wird. Mit der Analogie heterogene Katalyse bei der Zuckerverbrennung im Experiment und biokatalytische Verbrennung im Körper kommt man so zum Thema Energiestoffwechsel und Zellatmung im menschlichen Körper. In der Altersstufe bis 16 Jahre mag eine qualitative Deutung der experimentellen Ergebnisse reichen. Die Lehrkraft muss im Fachunterricht der Altersstufe 16+, wo genügend Vorkenntnisse vorausgesetzt werden können, das Thema unabhängig vom Experiment ganz erheblich vertiefen.

1 Zentrale Fragestellung

Zucker (Saccharose) gehört zur Stoffgruppe der Kohlenhydrate und verbrennt als solches zu Wasser und Kohlenstoffdioxid. Doch wie „verbrennt“ Zucker im menschlichen Körper und ist er wirklich der Hauptenergielieferant im menschlichen Stoffwechsel? Von einem Teilexperiment zur katalytischen Zuckerverbrennung über zwei weitere Teilexperimente zu Nachweisreaktionen zu den Produkten der Zellatmung kommen wir zum Energieumsatz auf Zellebene. Die Schülerinnen und Schüler erhalten einen Einblick in die oxidativen Abbauprozesse im menschlichen Körper auf der Zellebene, die der Energieumwandlung von energiereichen Nährstoffen zu ATP dienen. Die Bestandteile der Nahrung, insbesondere Kohlenhydrate und Fette, werden hierzu über die drei Reaktionswege der Zellatmung – Glykolyse bzw. β -Oxidation, Zitronensäurezyklus und oxidative Phosphorylierung abgebaut. Durch Reaktion mit Sauerstoff entstehen dabei die energiearmen Produkte Wasser und Kohlenstoffdioxid. Die Nachweisreaktionen zeigen diese beiden Abbauprodukte, die bei der Ausatmung an die Umwelt abgegeben werden.

Zum gesamten Themenkomplex „Verdauung und Energiehaushalt des Menschen“ gibt es auch noch die Experimente **C2 Kohlenhydrate als Energielieferanten des Stoffwechsels – Stärke und Zucker** und **C3 Wie zerlegt die menschliche Verdauung Fette? – Verseifung von Speiseöl**. Fachmethodisch werden die Schülerinnen und Schüler mit der systematischen Variation von Variablen beim Experimentieren vertraut gemacht, um den Nachweis auf genau eine Substanz zurückführen zu können.

2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

2.1 Fachliche Grundlagen

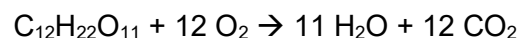
Diese Teilexperimente zum Thema Gesundheit eröffnen einen experimentellen Zugang zum Themenkomplex Ernährung, Atmung, Stofftransport und Energieumwandlung. Im Rahmen des Unterrichts sollte insbesondere auf die Herstellung von Zusammenhängen zwischen den verschiedenen Themenbereichen geachtet werden. Was haben die Atmung und der Blutkreislauf mit der Ernährung zu tun? Der Zusammenhang von Aufnahme, Transport und Abgabe von Stoffen und Energie sollte explizit thematisiert werden.

Die oxidativen Prozesse in der Zelle sind gerade für jüngere Schülerinnen und Schüler schwer vorstellbar, da sie sich nicht sichtbar vollziehen und nur indirekt durch Wärmeentwicklung des Körpers z. B. bei körperlicher Aktivität spürbar werden. Auch haben Kinder nur wenig Zugang zur Stoffumwandlung auf der Teilchenebene; Atome werden nach ihren Vorstellungen durch die Zähne zerkleinert, im Darm verdaut oder in der Lunge „vernichtet“. Zum Verständnis der Stoffwechselvorgänge in der Zelle, insbesondere der Atmungskette auf molekularer Ebene, sollten für die qualitative Behandlung zumindest Reaktionsgleichungen und Verbrennungsprozesse bekannt sein. Für die vertiefende Behandlung ist die Kenntnis von Redox-Reaktionen erforderlich.

Für das Verständnis der sauren Reaktion von Kohlenstoffdioxid in Wasser, werden Grundkenntnisse über Säuren und Basen vorausgesetzt.

2.1.1 Qualitativer Zugang in der Altersstufe 10 bis 16 Jahre

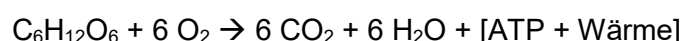
Rohrzucker (Saccharose) verbrennt mit Sauerstoff zu Wasser und Kohlenstoffdioxid. Das können wir theoretisch über eine Reaktionsgleichung verifizieren.



Doch im Teilexperiment 1 sehen wir, das Verbrennen von Zucker geht in der Praxis gar nicht so einfach: Man benötigt einen Katalysator. Ähnlich ist es im menschlichen Körper. Der dort als Hauptenergieträger dienende Zucker, die Glukose (u. a. ein Umwandlungsprodukt der Saccharose), setzt seine Energie nur über eine komplexe Kette von chemischen Reaktionen frei. Diese werden durch Enzyme katalysiert (Enzym = Biokatalysator).

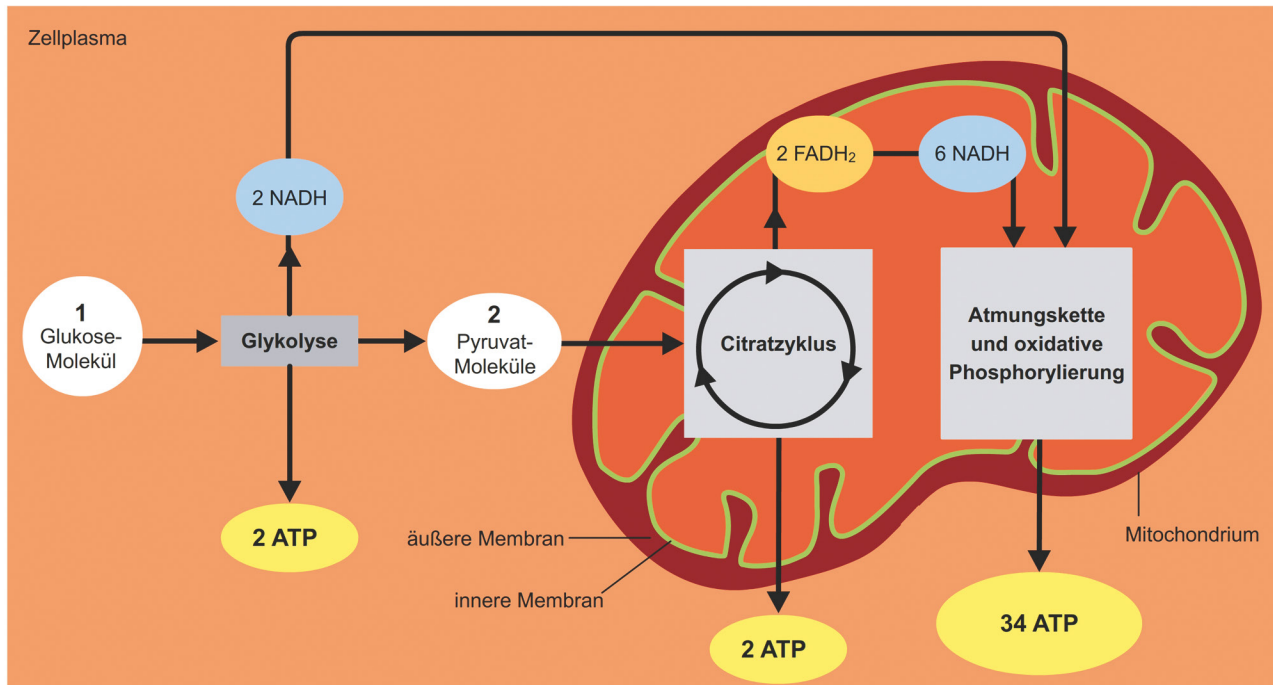
In unserem zweiten Teilexperiment verifizieren wir diesen Tatbestand über die Zellatmung. Die Zellatmung verbindet die Vorgänge der Ernährung und Verdauung mit dem Gaswechsel. Der Transport der Ausgangsstoffe für die Zellatmung wird durch das Blut gewährleistet. Es bringt die energiereichen Verbindungen (z. B. Kohlenhydrate, Glukose, Fette), die durch den mechanischen und enzymatischen Abbau der Nahrung in Mund, Magen und Darm entstehen, sowie den Sauerstoff zu den Geweben im Körper. Die energiereichen Verbindungen und der Sauerstoff treten vom Blut in die Gewebezellen über und reagieren hier in einer komplexen Reaktionsfolge zu den energiearmen Verbindungen Wasser und Kohlenstoffdioxid. Die energiereichen Verbindungen werden also durch den Sauerstoff oxidiert („verbrannt“). Die Reaktionsenergie wird zum Aufbau eines elektrochemischen Gradienten und nachfolgend zur Synthese von ATP genutzt.

Alternativ können auch Fettsäuren durch Sauerstoff oxidiert werden. Für die Oxidation von energiereichen Verbindungen am Beispiel der Glukose kann folgende Reaktionsgleichung aufgestellt werden:



2.1.2 Vertiefende Klärung der Prozesse für die Altersstufe 16+

Die Stoffwechselvorgänge zur Oxidation der energiereichen Verbindungen finden in unterschiedlichen Teilen der Zelle statt:

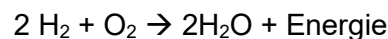


■ ATP = Adenosintriphosphat ■ NADH = Nicotinamadenindinukleotid ■ FADH₂ = Flavinadenindinukleotid

Abb. 1: Übersicht über die Zellatmung.

In der **Glykolyse** wird das Kohlenstoffgerüst eines Glukosemoleküls mit sechs Kohlenstoffatomen zu zwei Molekülen mit drei Kohlenstoffatomen umgebaut; die entstehende Verbindung heißt Pyruvat. Die Glykolyse findet im Zytoplasma der Zellen statt.

Das Pyruvat wird in die Mitochondrien transportiert. In Vorbereitung auf den **Citratzyklus** wird das Kohlenstoffgerüst des Pyruvats von drei auf zwei Kohlenstoffatome verkürzt und an das Coenzym A gebunden. Daraus entsteht das Acetyl-Coenzym A (oder Acetyl CoA bzw. aktivierte Essigsäure). Dabei wird Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff freigesetzt. Der Wasserstoff wird auf das Coenzym NAD⁺ übertragen, dabei entsteht NADH+H⁺. Im Citratzyklus wird das verbleibende Kohlenstoffgerüst mit zwei Kohlenstoffatomen am Acetyl-Coenzym A durch Sauerstoff oxidiert. Dabei wird wiederum Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid freigesetzt, der Wasserstoff wird abermals auf das Coenzym NAD⁺ übertragen. NADH+H⁺ wird an der inneren Mitochondrienmembran mit dem eingeatmeten Luftsauerstoff oxidiert:



Die Reaktion entspricht formal der Knallgasreaktion und setzt große Mengen Energie frei. Damit die Zellen keinen Schaden nehmen, erfolgt diese Redox-Reaktion über die **Atmungskette**. Über mehrere hintereinander geschaltete Proteinkomplexe in der inneren Mitochondrienmembran werden Elektronen zwischen den Komplexen übertragen. Auf diese Weise wird immer nur ein Teil der gesamten Reaktionsenergie frei. Der letzte Proteinkomplex in der Atmungskette überträgt die Elektronen gemeinsam mit Protonen (H⁺-Ionen) aus der Mitochondrienmatrix auf Sauerstoff. Dabei entsteht Wasser als Endprodukt der Atmungskette.

Die Reaktionsenergie wird an den Proteinkomplexen der Atmungskette genutzt, um Protonen aus dem Inneren des Mitochondriums in den Spalt zwischen den beiden Mitochondrienmembranen zu schaffen. Dadurch entsteht ein Protonengradient über der inneren Mitochondrienmembran, der als vorläufiger Energiespeicher dient. Fließen Protonen entlang ihres Gradienten aus dem Spalt zwischen den beiden Mitochondrienmembranen durch das Enzym ATP-Synthase in die Mitochondrienmatrix zurück, wird die freiwerdende Energie für die Bildung von ATP genutzt.

Fazit: Die Reaktionsprodukte Kohlenstoffdioxid und Wasser entstehen in zwei unterschiedlichen Stoffwechselvorgängen. Während das Kohlenstoffdioxid bereits im Citratzyklus entsteht, wird das Wasser am Ende der Atmungskette gebildet. Bei den Reaktionen in den Mitochondrien entsteht außerdem das reduzierte Coenzym $\text{NADH} + \text{H}^+$, dessen Oxidation mit Sauerstoff die Energie für die ATP-Synthese liefert.

2.2 Lehrplanrelevanz

Während die Anatomie und die physiologischen Vorgänge auf der Organebene bei der Ernährung, Verdauung und Atmung in der Altersstufe 12 bis 16 Jahre thematisiert werden, werden die stoffwechselphysiologischen Vorgänge auf der Zellebene unter Rückgriff auf Vorkenntnisse aus der allgemeinen und organischen Chemie mehrheitlich erst ab Altersstufe 16+ behandelt.

Dennoch können die Nachweisreaktionen für die Abbauprodukte des Stoffwechsels als qualitative Experimente ab der Altersstufe 10+ dienen. Hier empfiehlt sich die Aktivierung des Vorwissens bezüglich einfacher Verbrennungsprozesse (Kerze, Verbrennung von Zucker mit/ohne Katalysator). Verbrennungsprozesse können aus der chemischen Perspektive reflektiert werden. Oxidation und Reduktion sollten als Elektronenübergänge thematisiert werden, um ihre Anwendung auf der Ebene der Zellatmung verstehen zu können. Die fächerübergreifende Komponente ist damit durch die Oxidation und Reduktion im biologischen Kontext der Zellatmung gegeben.

Themen und Begriffe: Atmungskette, ATP, Biokatalysator, Citratzyklus (Zitronensäurezyklus), Cytoplasma, Energielieferant, Enzym, Fett, Glykolyse (β -Oxidation), Katalyse, Knallgasreaktion, Kohlenhydrate, Kohlenstoffdioxid, Mitochondrien, NAD, oxidative Phosphorylierung, pH-Wert, Protonen, Pyruvat, Redox-Reaktion, Sauerstoff, Säure-Base-Reaktion, Stofftransport, Stoffwechsel, Verbrennungsvorgang, Wasser, Zellatmung, Zitronensäurezyklus, Zucker

2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- können das Prinzip der Zuckerverbrennung auf die Stoffwechselvorgänge übertragen.
- können die Zelle als System, in dem unterschiedliche Stoffwechselvorgänge zusammenwirken, beschreiben.
- können Grundprinzipien der Energieumwandlung durch Stoffabbau zusammenfassen.
- können die Zellatmung in groben Zügen erläutern und die Bruttogleichung formulieren.
- können den Zusammenhang zwischen dem Gasaustausch in der Lunge und der Zellatmung erklären.
- können geeignete qualitative Experimente zum Nachweis von Stoffwechselprodukten aussagekräftig planen, durchführen und auswerten.

2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

2.4.1 Teilexperiment 1: Zucker lässt sich verbrennen

Das Teilexperiment dient der Aktivierung von Vorwissen zu Verbrennungsvorgängen. Es illustriert auch die Besonderheit der Zuckerverbrennung: Zucker lässt sich nicht entzünden bzw. brennt nicht fort. Die Schülerinnen und Schüler versuchen zunächst erfolglos ein Stück Zucker zu entzünden. Dann entzünden sie ein mit Papierasche eingeriebenes Stück Würfelzucker. Ein Reagenzglas wird einige Sekunden über die Flamme gehalten. Wir erkennen: Zuckerverbrennung bedarf eines Katalysators. Bei der Verbrennung entsteht offensichtlich Wasserdampf, der am kalten Becherglas kondensiert.

Hinweis zur Entzündung des Zuckers: Die Entzündung von Zucker wurde erfolgreich mit der Asche verschiedenster Papierarten getestet. Besonders mit der Asche von Zellstoff-Papiertüchern funktioniert der Versuch sehr gut. Trotzdem kommt es mitunter zu Misserfolgen, wenn die Experimentieranleitung nicht sorgfältig befolgt wird. Halten Sie also ihre Schülerinnen und Schüler zu exaktem Arbeiten an. (Vielleicht sollten Sie das Experiment auch erst einmal für sich alleine selbst ausprobieren, bevor Sie es die Schülerinnen und Schüler durchführen lassen.) Zum Entzünden des Zuckers sind Streichhölzer ungeeignet. Nur die heiße und gerichtete Flamme eines Stabfeuerzeugs lässt das Experiment gelingen. Falls der Versuch nicht gelingt, ist es hilfreich, den Zuckerwürfel auf ein Metallgitter o. Ä. zu legen und von unten her zu erhitzen.

Tipp: Auch wenn es aus im Hinblick auf den Wert „Gesundheitsbewusstsein“ etwas ungünstig erscheint: Mit Zigarettenasche funktioniert das Experiment im Gegensatz zur Papierasche immer.

Fachliche Erklärung: Zur Wirkung der Asche gibt es viele falsche Erklärungen, wie z. B. die „Dochtwirkung“. Da jedoch nicht der flüssige Zucker verbrennt, sondern die Zersetzungsgase des Zuckers, ist diese Erklärung mit Sicherheit falsch. Die richtige Erklärung ist die Katalysatorwirkung der Asche. Im Internet und in der Literatur gibt es dazu die Erklärung, dass in der Zigarettenasche enthaltene Eisen bzw. Eisenoxid wirke als Katalysator. Versuche mit Eisen und Eisenoxid konnten das jedoch nicht bestätigen. Ein anderer Vorschlag ist es, statt Asche Braunstein (MnO_2) zu verwenden. Aber der Braunstein wirkt wohl eher als Sauerstoffhaltiges Oxidationsmittel und nicht als Katalysator. Und was ist nun in der Asche von Papier bzw. der Zigarette enthalten, das wirkt? Jedenfalls nicht Braunstein. Auch statt Asche Aktivkohle zu verwenden, ist didaktisch fraglich. Aktivkohle dürfte zwar zunächst als heterogener Katalysator wirken: Der Luftsauerstoff adsorbiert an der Aktivkohle und diese gibt den Sauerstoff direkt an die Zuckermoleküle weiter. Doch nur so lange, bis die Aktivkohle selbst verbrannt ist. Die wahrscheinlichste Erklärung ist wohl diese: Die in vielen Aschen enthaltenen Alkalioxide wirken als homogene Katalysatoren für die hydrolytische Zersetzung des Zuckers bei höheren Temperaturen. Die niedermolekularen Bruchstücke bilden nun gut brennbare Gase, die sich mit dem Luftsauerstoff vermischen und eine selbstständig weiter brennende Flamme ermöglichen. Da Tabakasche mehr von diesen Alkalioxiden enthält als Papierasche, wirkt sie besonders gut.

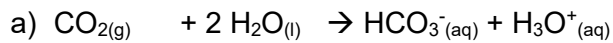
2.4.2 Teilexperiment 2: Nachweis der Reaktionsprodukte in der Atemluft: Stoff A (Wasser)

Das beschlagene Reagenzglas deutet auf kondensierten Wasserdampf hin, der sich in der ausgeatmeten Luft befindet. Hier kann direkt an die Beobachtung aus Teilexperiment 1 angeknüpft werden.

2.4.3 Telexperiment 3: Nachweis der Reaktionsprodukte in der Atemluft: Stoff B (Kohlenstoffdioxid)

Bei diesem Telexperiment wird der Kohlenstoffdioxidgehalt der Lösung in den drei Versuchsanordnungen systematisch variiert.

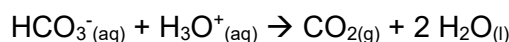
Kohlenstoffdioxid löst sich einerseits physikalisch in Wasser, reagiert andererseits in einer Säure-Base-Reaktion mit dem Wasser unter Bildung von Hydrogencarbonat (HCO_3^-) bzw. Carbonat (CO_3^{2-}) und Oxonium-Ionen (H_3O^+):



Reaktionsgleichung 1: Säure-Base Gleichgewicht des Kohlenstoffdioxids, Hinreaktion.

Die gebildeten Oxonium-Ionen lassen sich durch die pH-Wert-Messung mit pH-Papier oder einem anderen Indikator nachweisen – die Lösung reagiert schwach sauer, das Gleichgewicht liegt auf der Seite der Ausgangsstoffe. Kohlenstoffdioxid wird z. B. Mineralwässern beigegeben. Das hat im Wesentlichen zwei Gründe: Das Wasser bleibt durch die leicht konservierende Wirkung länger frisch und der empfundene Durstlöscheffekt ist größer.

Zum Weiterforschen: Das Gas lässt sich alternativ auch durch Natron (Natriumhydrogencarbonat, NaHCO_3) und Essigsäure ($\text{CH}_3\text{-COOH}$) herstellen. Bei dieser Reaktion läuft die Rückreaktion der Reaktion 2.4.3 a) ab, sodass Kohlenstoffdioxid aus der Lösung entweicht:



Reaktionsgleichung 2: Säure-Base Gleichgewicht des Kohlenstoffdioxids, Rückreaktion zu 2.4.3 a).

Bei der Zellatmung entsteht gleichfalls Kohlenstoffdioxid, das bei der Ausatmung an die Umwelt abgegeben wird. Wird die ausgeatmete Luft in Wasser eingebracht, vollzieht sich die Reaktion ebenfalls gemäß Reaktionsgleichung 2.4.3 a). Diese Lösung reagiert daher gleichfalls schwach sauer. Die Referenz für den Neutralpunkt stellt in diesem Experiment die Probe mit reinem Wasser dar.

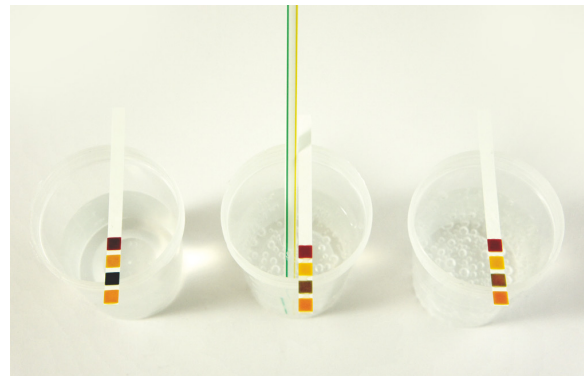


Abb. 2: Bei richtiger Durchführung ist im Gegensatz zu reinem Wasser (links) bei den Proben mit Kohlensäure (Mitte aus Atemluft, rechts Mineralwasser) eine Absenkung des pH-Werts an der Verfärbung des grünen Farbfelds zu erkennen.

Die saure Reaktion von Kohlenstoffdioxid in wässriger Lösung kann in didaktisch vereinfachter Form auch auf den Kohlenstoffdioxidtransport im Blut übertragen werden. Etwa 10 % des Kohlenstoffdioxids, das bei der Zellatmung entsteht, löst sich physikalisch im Blutplasma. Der überwiegende Teil des hydratisierten Kohlenstoffdioxids diffundiert in die roten Blutkörperchen und reagiert hier enzymatisch katalysiert nach Reaktionsgleichung 2.4.3 a) zu Hydrogencarbonat und Protonen. Das Hydrogencarbonat wird z. T. aus den roten Blutkörperchen ins Blutplasma entlassen und in gelöster Form zur Lunge transportiert. Die Protonen werden an verschiedene Blutproteine gebunden, sodass der pH-Wert des Blutes weitestgehend konstant bleibt (Pufferwirkung des Blutes). In der Lunge wird Kohlenstoffdioxid aus allen Transportformen wieder abgegeben.

2.5 Durchführungsvarianten

Die Experimente zur Verbrennung sowie zu den Produkten des Stoffwechsels sind wenig material- und zeitintensiv und können als Demonstrations- oder Schülerexperimente in Einzel- oder Partnerarbeit in den Unterricht integriert werden. Aufgrund der Komplexität des Themenfeldes bieten sich schüleraktivierende Unterrichtsmethoden an, die neben dem experimentellen Zugang weitere Materialien für die Hintergrundinformationen vorhalten. Solche Arbeitsformen können z. B. Lernen an Stationen oder das Gruppenpuzzle sein. Diese Methoden sind gleichfalls gut dazu geeignet, dem individuellen Lerntempo und Lernfortschritt der Schülerinnen und Schüler Rechnung zu tragen.

3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

Inhaltliche Anregung:

Organisierende Gesamtübersicht für das Themenfeld Ernährung, Atmung, Stofftransport und Energieumwandlung mit Auflistung der Experimente als Mind-Map (kann gleichfalls ein Arbeitsauftrag für die Schülerinnen und Schüler am Beginn der Unterrichtseinheit sein)

Methodische Anregung:

Zusätzliche Materialien für eine Stationenarbeit, z. B. Lerndominos, Infoblätter und Rechercheaufträge, Modelle, Simulation zur Atmungskette und ATP-Synthese mit Lernaufgaben

4 Hinweise zur Durchführung der Teilexperimente

4.1 Räumlichkeiten

Die Experimente können unter Beaufsichtigung der Lehrkraft von den Schülerinnen und Schülern selbstständig in jedem gut zu belüftenden Klassenraum durchgeführt werden.

4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung	Durchführung	Auswertung und Besprechung
Teilexperiment 1	3 min	3 – 5 min	ca. 15 min
Teilexperiment 2	2 min	2 min	ca. 15 min
Teilexperiment 3	5 min	10 min	ca. 15 min

4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr beim Arbeiten mit Feuer. Vor der ersten Benutzung der Feuerzeuge sind diese von der Lehrkraft auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen, insbesondere die Regulierung der Flammengröße.
- Unterbinden Sie Zündeln! Bei den Teilexperimenten 1 und 3 kann die Schale aus Alu als feuerfeste Unterlage verwendet werden.
- Die Lebensmittel sind nicht zum Verzehr geeignet.

4.4 Benötigte Materialien

Sicherheitsrelevante Materialien und Geräte sind vor Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu testen.

Für **eine** Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Becher, 100 ml	3
Für das Teilexperiment 1: ein Feuerzeug (wenn möglich ein Stabfeuerzeug). Bitte auf keinen Fall Streichhölzer anstatt eines Feuerzeugs verwenden, da der Versuch sonst nicht funktioniert.	1
Leitungswasser (ein pH-Wert von ca. 7,0 – 7,5 ist gut geeignet)	nach Bedarf
evtl. Mineralwasser	nach Bedarf
etwas Papier	nach Belieben
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
pH-Messstäbchen, Packung	1 für die ganze Klasse
Reagenzglas aus Glas	1
Schale aus Alu	1
Strohhalme	1
Teelicht bzw. Teelichtschale	1
evtl. destilliertes Wasser	nach Bedarf
Würfelzucker	1 Würfel



Abb. 1: Geräte bzw. Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.