

C3 Wie zerlegt die menschliche Verdauung Fette? – Verseifung von Speiseöl

Die einfachen Experimente zum Emulgieren und Verseifen von Fetten eignen sich gut zum Einstieg in das Thema Verdauung und Stoffwechsel im menschlichen Körper. Ausgehend vom Experiment, das nur zeigt, dass Fette in Fettsäuren aufgespaltet werden können, kann dann das Thema auf die menschliche Verdauung übertragen werden. Dazu gibt diese Anleitung für die Lehrkraft einige Informationen und Anregungen. Durch den Bezug zur Ernährung und Verdauung kann auch der Wert Gesundheitsbewusstsein gestärkt werden.

1 Zentrale Fragestellung

Diese Experimentenreihe dient zur Hinführung zum Thema der Fettverdauung im menschlichen Körper auf Organ- und Zellebene. Hierzu werden die Eigenschaften und Reaktionen von Fetten und Ölen als Nahrungsbestandteile experimentell zugänglich gemacht und ihre chemische Struktur erarbeitet. Auch sollen die gesundheitlichen Aspekte der Fettverdauung im Unterricht besprochen werden.

2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

2.1 Fachliche Grundlagen

Der Themenkreis Ernährung ist den Schülerinnen und Schülern häufig schon aus dem Primarbereich geläufig. Sie bringen Vorkenntnisse darüber mit, dass wir essen müssen, um aktiv sein zu können: Nahrung liefert die Energie zum Leben. Die Schülerinnen und Schüler kennen zumeist die Hauptbestandteile der Nahrung Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße. Auch ist ihnen der Verdauungsprozess als Phänomen aus eigener Erfahrung bekannt. Diese Vorkenntnisse können genutzt werden, um eine detaillierte Betrachtung der Nahrungsbestandteile (hier Fette), ihre Verarbeitung, Umwandlung und Nutzung im menschlichen Körper anzuschließen.

2.1.1 Qualitativer Zugang in der Altersstufe 10 bis 16 Jahre

Verschiedene Nährstoffe haben unterschiedliche Aufgaben im Körper. Die Fette dienen der Energiespeicherung, als Transportvehikel für fettlösliche Vitamine und sind wichtige Baustoffe für die Zellen (z. B. für Biomembranen). Für die Energieversorgung nicht benötigte Fette werden als Depot- und als Baufett gespeichert.

Bei körperlicher Betätigung werden zunächst die Kohlenhydrate für die Energieversorgung der Muskeln verbraucht (siehe Experiment **C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette** bzw. **C2 Kohlenhydrate als Energielieferanten des Stoffwechsels – Stärke und Zucker**), erst im Anschluss wird auch auf die Energie aus den Fettdepots zurückgegriffen. Dies geschieht erst nach etwa 30 Minuten kontinuierlicher körperlicher Belastung! Der Fettstoffwechsel wird vor allem bei leichteren Ausdauerbelastungen aktiviert. Je intensiver die sportliche Aktivität ist, desto größer ist die Energiedeckung durch die schneller verwertbaren Kohlenhydrate. Auch bei längeren Hunger- und Mangelzuständen greift der Körper auf die Fettreserven zurück.

Fette haben darüber hinaus eine wärmeisolierende Funktion; die ist besonders auffällig bei Tieren, die in den Polarregionen leben (z. B. Wale und Robben). Aber auch der Mensch verfügt über eine isolierende Fettschicht unter der Haut.

Die Fettaufnahme im menschlichen Körper verläuft über mehrere Stationen. Aufgrund ihrer schlechten Wasserlöslichkeit bedarf es einer besonderen Behandlung der Fette im Magen-Darm-Trakt, um sie für die Energieumwandlung aufzuschließen. Die Fettverdauung beginnt im **Magen**. Hier werden die Fette durch die Muskelbewegung mechanisch emulgiert und in Tröpfchen bis zu einem Durchmesser von 0,5 – 2 µm zerkleinert. An diesen Tröpfchen können nun fettspaltende Enzyme, die Lipasen, angreifen und das Fett in seine Bestandteile – die langkettigen Fettsäuren und das Glycerin – zerlegen. Im Magen werden so ca. 15 – 30 % der Fette verdaut. Sobald der Speisebrei den Zwölffingerdarm erreicht, übernimmt die Bauchspeicheldrüse eine zentrale Funktion bei der weiteren Fettverdauung: Ihre Lipasen und Gallensalze werden aktiv und sorgen dafür, dass die Fetttröpfchen noch feiner verteilt werden und sich Mizellen bilden, die so klein sind (max. 50 nm), dass sie zwischen die Mikrovilli des Darmsaums drängen und sich an die Zellmembranen anlagern können. Die Mizellen bestehen aus den ersten Abbauprodukten (Fettsäuren, Mono- und Diglyceriden), Gallensalzen und anderen fettähnlichen Substanzen, wobei die wasserlöslichen Teile der Stoffe nach außen in die wässrige Phase zeigen (siehe Abb. 1). Die Aufnahme der Fettsäuren und der anderen Abbauprodukte geschieht im **Dünndarm**. Die Abbauprodukte und sonstigen fettähnlichen Substanzen gelangen durch die Membran in die Zellen und werden dort wieder zu Triglyceriden zusammengesetzt. Die neu zusammengesetzten Fette werden zusammen mit Transportproteinen verpackt und erreichen über die Lymphe den Blutkreislauf. Kurz- und mittelkettige Fettsäuren werden direkt in die Bürstensaummembran aufgenommen und gelangen von dort in das Pfortaderblut.

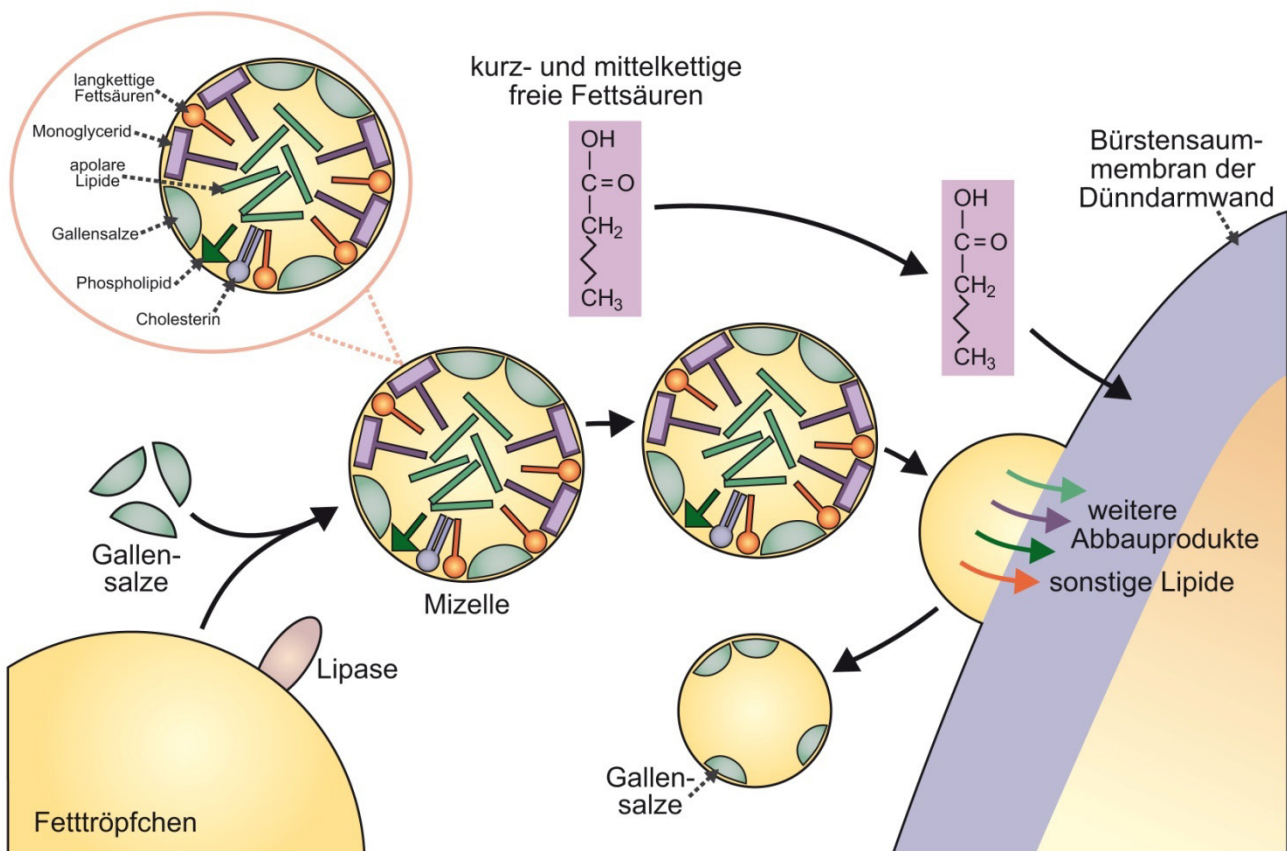


Abb. 1: Fettaufnahme im Dünndarm.

2.1.2 Vertiefende Betrachtungen für die Altersstufe 16+

Eigenschaften und Reaktionen von Fetten

Feste Fette, flüssige Fette und Cholesterin gehören zu den Lipiden. Fette entstehen durch die Veresterung des dreiwertigen Alkohols Glycerin mit unterschiedlich langen Fettsäuren (zwischen 12 und 20 Kohlenstoffatomen). Man unterscheidet dabei solche Fettsäuren, die der menschliche Körper durch Auf- und Umbau aus anderen Stoffen herstellen kann, von den essentiellen Fettsäuren, die mit der Nahrung zugeführt werden müssen. Zu diesen gehören solche, die in ihrem Kohlenstoffgerüst über eine oder mehrere Doppelbindungen verfügen (→ mehrfach ungesättigte Fettsäuren). Je größer dieser Anteil an ungesättigten Fettsäuren ist, desto flüssiger wird das Fett. Fette, die nur aus gesättigten Fettsäuren bestehen, sind fest.

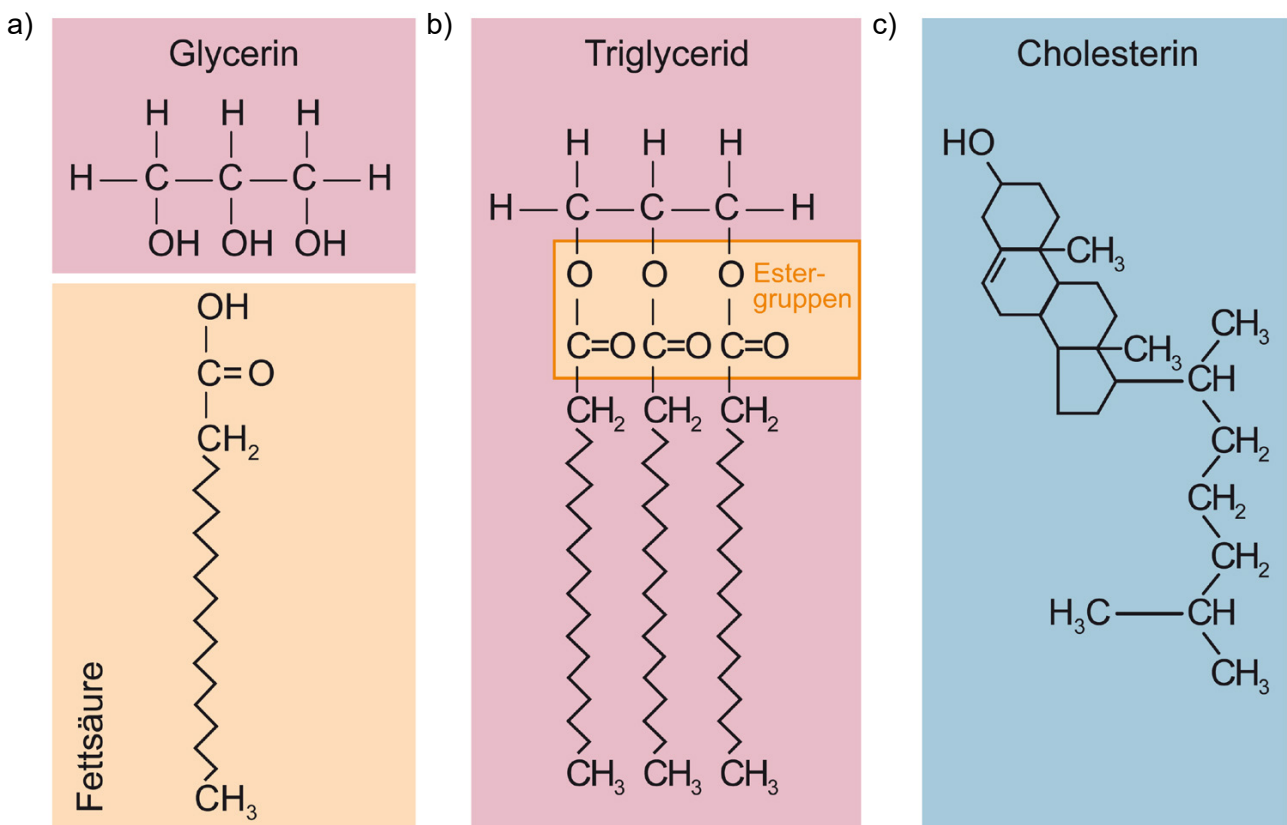


Abb. 2: a) Grundbausteine der Fette, Glycerin und Fettsäuren, sowie zwei wichtige Vertreter der Lipide: b) Triglycerid (90 % der Fette) und c) Cholesterin.

Die Estergruppen der Fette lassen sich unter sauren oder basischen Bedingungen leicht spalten. Man spricht bei der Reaktion von der Verseifung eines Fetts (siehe Abb. 3).

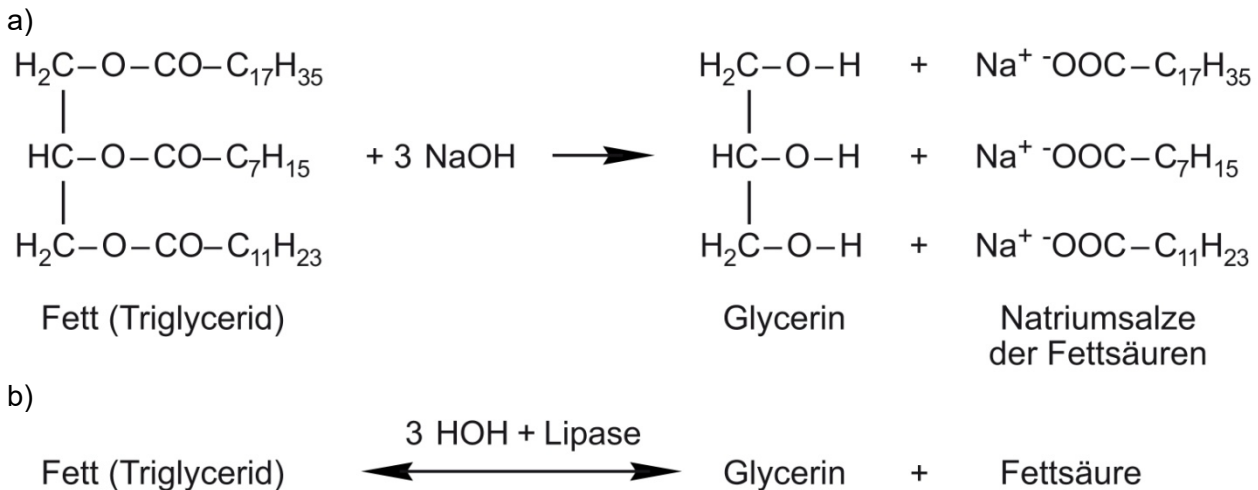


Abb. 3: a) Beispiel für eine basische Hydrolyse (alkalische Verseifung) eines Fetts.
b) Fettabbau in der menschlichen Verdauung.

Energiefreisetzung aus Fettgewebe in tierischen Zellen – die β -Oxidation

Die gespeicherten Depotfette (Trialkylglyceride) werden im Fettgewebe durch eine Lipase zu freien Fettsäuren und Glycerin hydrolysiert. Die freien Fettsäuren werden ins Blut abgegeben, an Proteine gebunden transportiert und in den Mitochondrien durch die β -Oxidation zu ATP umgewandelt. Hierfür werden die Fettsäuren zunächst durch Kopplung an Coenzym A unter ATP-Verbrauch aktiviert. Nachfolgend werden in mehreren Schritten Acetyl-CoA-Moleküle abgespalten: In je einem Zyklus entsteht ein Molekül Acetyl-CoA, das in den Zitronensäurezyklus eingeschleust wird. Die vollständige Umsetzung einer langkettigen Fettsäure liefert drei- bis viermal soviel ATP wie der Abbau eines Glukosemoleküls (siehe Experiment C1). Das bei der Hydrolyse des Fetts ebenfalls angefallene Glycerin wird nach Umwandlung zu Pyruvat gleichfalls in den Zitronensäurezyklus eingeschleust.

Während sich bei der enzymatischen Esterhydrolyse im Körper ein Gleichgewicht zwischen den Edukten und Produkten einstellt, verläuft die alkalische Verseifung unter Zugabe von Natriumchlorid (Kochsalz) irreversibel. Die entstehenden Natriumsalze der Fettsäuren fallen als schwerlösliche Seifen (Kernseife) aus und werden somit aus der Gleichgewichtsreaktion entfernt. Nimmt man die Verseifung mit Kalilauge vor, entstehen Schmierseifen. (Zur Waschwirkung der Seifen und Tenside siehe auch Experiment **C6 Haut und Hygiene – Warum waschen wir uns die Hände?**)

2.2 Lehrplanrelevanz

In der Altersstufe 10 bis 16 Jahre stehen die humanbiologischen Aspekte der Ernährung und Verdauung im Vordergrund. Das Prinzip der Fettverdauung in Magen und Darm kann durch das erste Telexperiment qualitativ dargestellt und die Wirkung von Tensiden/Gallensalzen besprochen werden. Es empfiehlt sich eine Aktivierung des Vorwissens in Bezug auf die Verdauungsorgane und in Bezug auf die Mischbarkeit von polaren und unpolaren Stoffen.

Die Chemie der Fette mit ihren Eigenschaften und Reaktionen sollte im Detail erst ab der Altersstufe 16+ behandelt werden. Hierzu sind grundlegende Kenntnisse aus der organischen Chemie unerlässlich (Alkane, Alkene, Alkohole, Ester, Carbonsäuren: Struktur und Reaktionen; Formen der Isomerie). Gleiches gilt für die stoffwechselphysiologische Behandlung des Fettabbaus auf der Zellebene. Die fächerübergreifende Komponente ist durch die Bedeutung der genannten chemischen Konzepte für die Anwendung im biologischen Kontext der Fettverdauung gegeben.

Themen und Begriffe: Alkylrest, Carboxylgruppe, Diglycerid, Emulsion, Enzyme, Ernährung, Esterhydrolyse, Fette (Lipide), Fettsäure, Fettspaltung, Gallensalz, Glycerin, hydrophil, hydrophob, Lipase, Mizelle, Monoglycerid, polar, Stoffwechsel, Tensid, Triglycerid, unpolar, Verdauung, Veresterung, Verseifung

2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben den Weg der Nahrung durch den menschlichen Körper.
- nennen die Stationen der Fettverdauung und können die dort stattfindenden Vorgänge erläutern.
- reflektieren ihr Essverhalten und diskutieren die gesundheitlichen Folgen übermäßigen bzw. defizitären Nahrungsverzehrs.
- erklären den Bau und die prinzipielle Wirkungsweise eines Tensids und können es auf die Fettverdauung anwenden.
- erläutern den chemischen Aufbau der Fette.
- formulieren die Reaktionsgleichung zur Fettverseifung.

2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

2.4.1 Telexperiment 1: Wir emulgieren Öl

Dieses Telexperiment knüpft an die alltägliche Erfahrung der Schülerinnen und Schüler an. Dass Fette schlecht mit Wasser mischbar sind, haben sie z. B. beim Spülen einer fettigen Pfanne schon einmal beobachtet. Auch dass sich Fette unter Verwendung von Spülmittel entfernen lassen, ist als Phänomen bekannt. Der experimentelle Zugang zu diesen Phänomenen bietet daher die Möglichkeit, die chemischen Grundlagen der Mischbarkeit von Stoffen noch einmal aufzugreifen und die Wirkungsweise von Tensiden explizit zu thematisieren.

2.4.2 Telexperiment 2: Verseifung von Speiseöl

Das Telexperiment zeigt die alkalische Verseifung eines Speiseöls. Diese vollzieht sich in mehreren Schritten. In Wasser löst sich das Natriumcarbonat unter Wärmeentwicklung. Es reagiert in einer Säure-Base-Reaktion mit dem Lösungsmittel unter Bildung von Hydrogencarbonat und Hydroxidionen:



Dabei entsteht eine stark basische Lösung. Die Hydroxidionen dieser Lösung greifen an den Esterbindungen im Speiseöl an und hydrolysieren diese. Dabei entstehen Glycerin und Carboxylationen nach Abb. 3. Zusätzlich in die Lösung eingebrachtes Natriumchlorid erhöht die Natriumionenkonzentration in dem Maße, dass das Löslichkeitsprodukt der Natrium-Seifen überschritten wird. (Vereinfacht ausgedrückt: Da bereits so viele Natriumionen durch das Kochsalz in der wässrigen Lösung sind, kann sich das Natriumsalz der Fettsäure nicht mehr auflösen.)

Hinweis: Man kann bei diesem Versuch auf jeden Fall die Bildung der Kernseife an der optisch gut sichtbaren Konsistenzänderung vom klaren, leichtflüssigen Öl hin zur trüben, dickflüssigen Seife erkennen. Da Kernseife im warmen Zustand relativ lange flüssig bleibt, muss man auf das Ausfällen fester Seife eventuell relativ lange warten. Möglicherweise fällt die Seife auch gar nicht

aus. Anhand der bereits nach kurzer Zeit gut erkennbaren Schaumbildung, lässt sich dennoch auf die erfolgreiche Verseifungsreaktion schließen.

2.5 Durchführungsvarianten

Die Experimente zur Emulgation und Verseifung von Speiseöl sind wenig material- und zeitintensiv und können als Schülerexperimente in Einzel- oder Zweierarbeit in den Unterricht integriert werden. Aufgrund der Komplexität des Themenfeldes Ernährung, Verdauung und Zellstoffwechsel 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 ein Gruppenpuzzle zum gesamten Themenkomplex sein. Diese Methoden sind ebenfalls 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>

Zum Weiterforschen im Anschluss auf das vorgestellte Experiment finden Sie weitere Versuche zu den Eigenschaften von Seifenlösungen ebenfalls auf dem Medienportal. Diese thematisieren zum Beispiel das Dispergiervermögen.

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
Teilexperiment 1	5 min	3 min	5 min
Teilexperiment 2	5 min	25 min	7 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 und heißer Lauge. Vor der ersten Benutzung der Feuerzeuge sind diese von der Lehrkraft auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen, insbesondere die Regulierung der Flammengröße.
- Stellen Sie sicher, dass keine Schäden an wasserempfindlichen Materialien und Geräten entstehen können.
- Unterbinden Sie Zündeln! Die Schale aus Alu kann als feuerfeste Unterlage verwendet werden.

- Bei diesem Experiment müssen die Schülerinnen und Schüler Schutzbrillen tragen. Weisen Sie die Schülerinnen und Schüler auf Maßnahmen zur ersten Hilfe bei Spritzern von Natriumcarbonat ins Auge oder auf die Haut hin.

Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS: „Achtung“



H-Sätze: H319

P-Sätze: P260, P305+P351+P338

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
Feuerzeug (wenn möglich ein Stabfeuerzeug) bzw. Streichhölzer	1
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Kochsalz, Karton	1 für die ganze Klasse
Leitungswasser	nach Bedarf
Pflanzencup (als Reagenzglasständer)	1
pH-Messstäbchen, Packung	1 für die ganze Klasse
Reagenzglas aus Glas	2
Reagenzglasklammer aus Holz	1
Reagenzglasstopfen	1
Schale aus Alu	1
Schutzbrille	1
Siedesteinchen, Fläschchen	1
Speiseöl („Pflanzenöl“), Fläschchen	1
Spülmittel, Fläschchen	1
Teelicht	1
Waschsoda (Natriumcarbonat), Packung	1 für die ganze Klasse



Abb. 4: 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 Abguss erfolgen.