

## C2 Kohlenhydrate als Energielieferanten des Stoffwechsels – Stärke und Zucker

Das Experiment ist ein Einstiegsexperiment in den Themenkomplex Verdauung und Stoffwechsel im menschlichen Körper. Zum qualitativen Einstieg in das Thema Verdauung eignet es sich für die Altersgruppe bis 16 Jahre. Die Vertiefung des Themas Stoffwechsel setzt dann allerdings erhebliche Grundkenntnisse in organischer Chemie und Biochemie voraus, die erst in der Altersstufe 16+ vorausgesetzt oder erarbeitet werden können.

### 1 Zentrale Fragestellung

Mit dieser Versuchsreihe erhalten Schülerinnen und Schüler einen Einblick in den Stoffwechsel der Kohlenhydrate im menschlichen Körper. Dazu wird gezeigt, dass viele unserer Lebensmittel Kohlenhydrate in Form von Stärke, Saccharose und Glukose enthalten. Des Weiteren werden die enzymatische Spaltung und die nachfolgenden Abbauprozesse von Mehrfachzuckern thematisiert. Dabei wird an die Verbrennungsprozesse aus Experiment **C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette** angeknüpft. Diese werden nun aus der Perspektive des zu oxidierenden Substrats Zucker besprochen. Zur Vertiefung der bekannten Phänomene kann der chemische Aufbau von Einfach- und Mehrfachzuckern behandelt werden sowie ihre chemischen Reaktionen: Oxidation der Aldehydgruppe, Halbacetalbildung beim Übergang von der Ketten- in die Ringform sowie Acetalbildung bei der Kondensation von Glukosemolekülen bzw. die (enzymatische) Hydrolyse als Umkehr dieser Reaktion.

Fachmethodisch lernen die Schülerinnen und Schüler charakteristische Nachweisreaktionen für Kohlenhydrate sowie das Prinzip katalysierter Reaktionen kennen.

### 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 haben bereits auch die Hauptbestandteile der Nahrung – Zucker, Fette und Eiweiße – kennen gelernt und können sie für eine ausgewogene und gesunde Mahlzeit, z. B. für ein Frühstück, zusammenstellen. Im darauf aufbauenden Unterricht sollten Bezüge zwischen den Themenbereichen Ernährung, Stofftransport, Atmung und Energieumwandlung hergestellt werden. Was hat die Ernährung mit dem Blutkreislauf und der Atmung zu tun? Der Zusammenhang von Aufnahme, Transport und Abgabe von Stoffen und Energie sollte explizit thematisiert werden, wenn die Nährstoffe Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße und ihre Verdauung im Detail behandelt werden.

Übrigens: Ausführliche Ideen, um das Thema Ernährung mit Wertebildung zu verknüpfen, finden Sie in der Online-Anwendung zu Experimento | 10+ auf dem Medienportal der Siemens Stiftung.

##### 2.1.1 Qualitativer Zugang in den Altersstufen 10 bis 16 Jahre

Verschiedene Nährstoffe haben unterschiedliche Aufgaben im Körper. Die **Kohlenhydrate** dienen hauptsächlich als Energielieferanten, um die Arbeit der Muskeln, die Tätigkeit aller Körperorgane und die Körperwärme aufrecht zu erhalten.

**Vom Vollkornbrot zur Glukose: Verdauung der Kohlenhydrate beginnt im Mund.** Die in der Nahrung enthaltenen Nährstoffe sind dem Zellstoffwechsel nicht direkt zugänglich, daher sind mehrere Stationen der Stoffumwandlung erforderlich. Die Zerlegung der Nahrung und die anschließende Aufnahme der Nährstoffe werden unter dem Begriff Verdauung zusammengefasst. Die ersten Verdauungsschritte beginnen bereits in der Mundhöhle. Während die Zähne die Nahrung mechanisch zerkleinern, sondern die Speicheldrüsen den Mundspeichel ab. Dieser hat zwei wesentliche Funktionen: Einerseits macht der darin enthaltene Schleim die Nahrungsbrocken schluckfähig, andererseits enthält er das Enzym Amylase, das am kettenförmigen Stärkemolekül (siehe Abb. 4) angreift und in Umkehrung der Kondensation diese Kette in kürzere Einheiten bis zur Maltose zerlegt (→ Hydrolyse von Stärke). Dieses Phänomen können Schülerinnen und Schüler unmittelbar durch längeres Kauen einer Scheibe Brot erfahren (siehe Teilexperiment 2). Der Nahrungsbrei wandert dann durch die Speiseröhre in den Magen (siehe Experiment **C4 pH-Wert von Getränken – Wie sauer ist es im Magen?**). Im Magen wird das im Speichel zur Stärkespaltung dienende Enzym durch die Magensäure deaktiviert (siehe auch unter 2.5 Durchführungsvarianten). Hier müssen nun andere Enzyme und Mechanismen wirksam werden. Ein schönes Beispiel, an dem die Schülerinnen und Schüler lernen können, dass die Verdauungsenzyme nur in bestimmten pH-Bereichen wirksam sein können.

**Die Kohlenhydrate gelangen vom Darm ins Blut.** Vom Magen aus wird die Nahrung schubweise durch Zusammenziehen der Muskeln in der Magenwand in den Dünndarm geschoben. Diese einzelnen Abschnitte des Dünndarms (z. B. der Zwölffingerdarm) sorgen für eine maximale Zerkleinerung der Nahrungsbestandteile und die Resorption der Glukosemoleküle. Dazu muss die Maltose durch weitere Enzyme des Darms in Glukosemoleküle zerlegt werden (→ Hydrolyse). Die Glukose wird mittels aktiven Transports in die Darmzellen aufgenommen und diffundiert von dort in das Blut der Pfortader. Von dort wird die Glukose zu den Zellen des Verbrauchs (z. B. Muskelzellen) transportiert und in den Prozessen der Zellatmung (Glykolyse, Zitronensäurezyklus) zu Wasser und Kohlenstoffdioxid oxidiert (siehe Experiment **C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette**). Diese Oxidationsvorgänge liefern ATP als chemischen und universell im Stoffwechsel verwendbaren Energiespeicher.

Auch andere Disaccharide wie die Saccharose werden im Darm durch die entsprechenden Enzyme in ihre Monosaccharide zerlegt. Werden zu viele Kohlenhydrate mit der Nahrung aufgenommen, wird der Überschuss an Glukose durch die Leber in Fett umgewandelt und im Körper als Reserve eingelagert. Bei einem langfristigen Ungleichgewicht zwischen aufgenommener und benötigter Energie führt dieser Vorgang zu Übergewicht. Nahrung, die nicht verwertet werden kann, werden abschließend im Dickdarm Wasser und Mineralstoffe entzogen, sodass der Nahrungsbrei eingedickt wird und über den Mastdarm und den After den Körper verlässt.

### 2.1.2 Vertiefende Betrachtungen für die Altersstufe 16+

Kohlenhydrate können nach ihrem chemischen Aufbau in Mono-, Di- und Polysaccharide (Einfach-, Zweifach- und Mehrfachzucker) unterschieden werden. Monosaccharide können als Oxidationsprodukte mehrwertiger Alkohole aufgefasst werden. Sie bestehen aus einer Kohlenstoffkette mit drei bis sechs Kohlenstoffatomen und tragen eine Aldehyd- oder Ketogruppe, die ihre chemischen Reaktionen bestimmt. Die übrigen Kohlenstoffatome tragen Hydroxygruppen. Als Substrat für den Zellstoffwechsel (siehe Experiment C1) ist die Glukose von besonderer Bedeutung. Sie kann in Ketten- oder Ringform vorliegen; beide Formen sind in einander überführbar (Halbacetalbildung, siehe Abb. 2) und liegen in wässriger Lösung mit geringem Anteil der Kettenform vor.

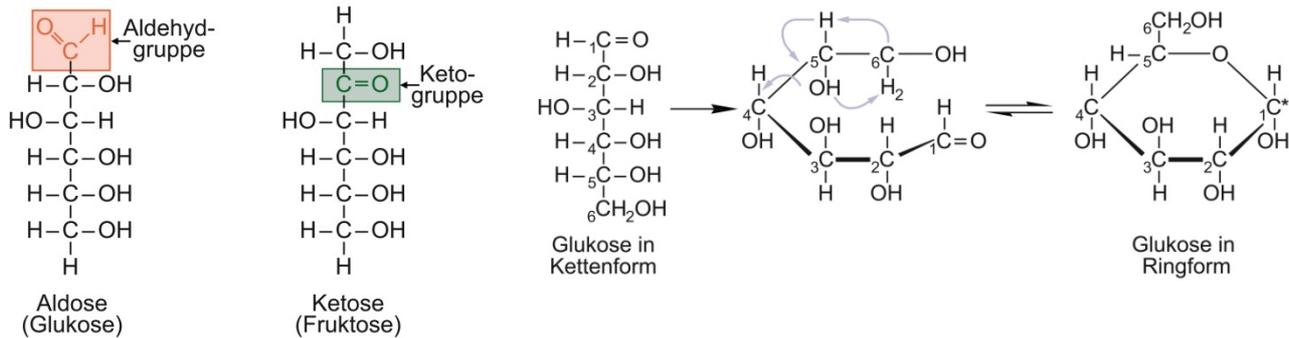


Abb. 1: Glukose und Fruktose als Beispiele für Monosaccharide.

Abb. 2: Ringschluss beim Glukosemolekül (Halbacetalbildung).

Disaccharide entstehen durch den Zusammenschluss zweier Monosaccharideinheiten. Hierbei reagiert eine Hydroxygruppe mit der Halbacetalgruppe unter Wasserabspaltung (Acetalbildung). Diese Reaktion ist am Beispiel der Vereinigung von Glukose und Fruktose in Abb. 3 gezeigt; es entsteht Saccharose, unser gebräuchlichster Zucker im Haushalt.

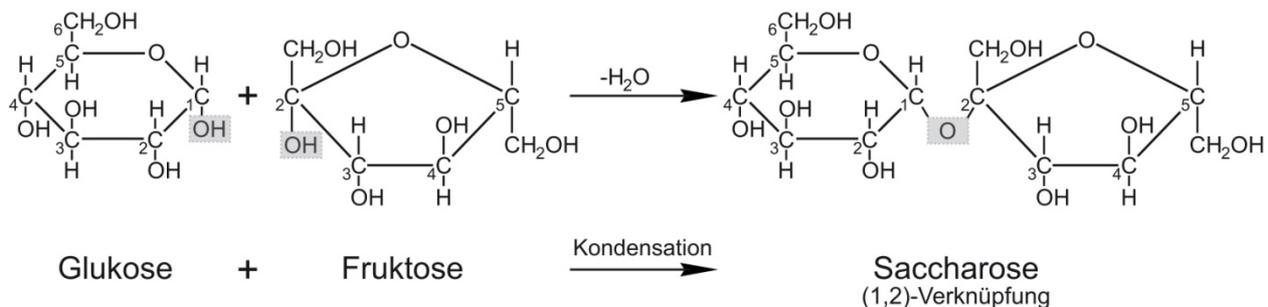


Abb. 3: Glukose und Fruktose reagieren zu Saccharose.

Vereinigen sich zwei Glukosemoleküle unter Wasserabspaltung zu einem Disaccharid, entsteht Maltose.

Ein prominenter Vertreter der pflanzlichen Polysaccharide ist die Stärke (siehe Abb. 4). Sie besteht aus verknüpften Glukoseresten. Davon sind ca. 25 % lösliche Stärke (Amylose). Die Amylose bildet lange Ketten, die sich zu einer  $\alpha$ -Helix aufwinden. Dagegen ist der unlösliche Anteil (Amylopektin, ca. 75 %) mit zusätzlichen Bindungen zwischen kürzeren Kettenstücken stark verzweigt. Das tierische Speicherkohlenhydrat Glykogen ist vergleichbar zum Amylopektin aufgebaut. Stärke (Amylose) lässt sich mithilfe von Iod spezifisch nachweisen: Das Iod lagert sich in das Innere der  $\alpha$ -Helix des Stärkemoleküls ein. Somit entsteht ein Komplex, der sich – je nach Iodkonzentration – durch seine tiefblaue, bläuliche bis schwarze Farbe auszeichnet.

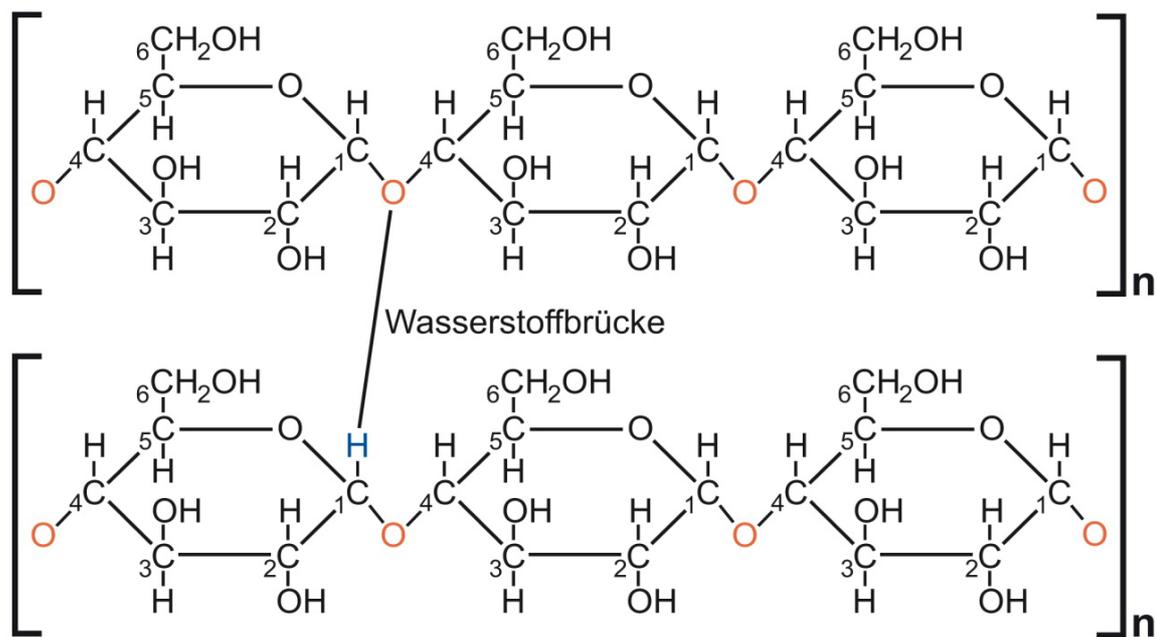


Abb. 4: Ausschnitt aus einem Stärkemolekül.

Zur Vertiefung der Stoffwechselfysiologie können die Enzymreaktionen (z. B. der Amylase) mit ihrer Kinetik behandelt werden. Des Weiteren ist die Membranphysiologie ein Thema der Altersstufe 16 bis 18 Jahre. Der Glukosetransporter im Darmlumen ist ein geeignetes Beispiel, um den sekundär aktiven Transport zu erörtern.

## 2.2 Lehrplanrelevanz

In der Altersstufe von 10 bis 16 Jahre stehen die humanbiologischen Aspekte der Ernährung und Verdauung im Vordergrund. Die Gewinnung und der Nachweis von Stärke aus z. B. Kartoffeln können als qualitative Experimente durchgeführt werden. Gleiches gilt für die katalytische Zuckerverbrennung, die das Prinzip der Zellatmung und Energieumwandlung verdeutlicht (siehe auch Experiment C1). Hier empfiehlt sich ferner die Aktivierung des Vorwissens bezüglich einfacher Verbrennungsprozesse (Kerze, Verbrennung von Zucker mit/ohne Katalysator).

Die Chemie der Kohlenhydrate sollte im Detail erst ab der Altersstufe 16+ behandelt werden. Hierzu gehören die Struktur und Reaktionen der Kohlenhydrate sowie die Erörterung der Nachweisreaktionen auf molekularem Niveau. Grundlegende Kenntnisse aus der organischen Chemie sind dafür unerlässlich (Alkohole, Aldehyde, Ketone: Struktur und Reaktionen; Formen der Isomerie). Die fächerübergreifende Komponente ist darüber hinaus durch die Oxidation und Reduktion von Kohlenhydraten im biologischen Kontext der Zellatmung gegeben.

**Themen und Begriffe:** (Halb)acetalbildung, Aldehyd, Einfachzucker (Monosaccharid), Energieumwandlung, Enzym Amylase, Glukose, Hydrolyse, Isomerie, Katalyse, Keton, Ketten- bzw. Ringform von Molekülen, Kohlenhydrat, Mehrfachzucker (Polysaccharid), Oxidation, Resorption, Saccharose, Stärke, Stoffwechsel, Wasserstoffbrückenbindung, Zucker, Zweifachzucker (Disaccharid)

## 2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- nennen die Bestandteile der Nahrung und nennen Nahrungsmittel, in welchen diese enthalten sind.
- beschreiben den Weg der Nahrung durch den Körper.
- können Nachweisreaktionen für Kohlenhydrate durchführen und die beobachteten Phänomene erklären.
- können die Struktur von Kohlenhydraten fachsprachlich erläutern (ggf. mit Strukturformeln und Reaktionsgleichungen).
- können Grundprinzipien der Energieumwandlung durch Stoffabbau zusammenfassen.

## 2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

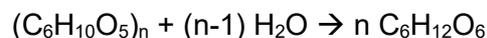
### 2.4.1 Telexperiment 1: Kartoffeln enthalten Stärke

Das optionale Experiment dient als Vorstufe zur Erkenntnis, dass Kohlenhydrate wie Stärke wesentlicher Bestandteil vieler Lebensmittel sind.

### 2.4.2 Telexperiment 2: Hydrolyse von Stärke

Das Experiment zeigt einerseits den Nachweis von Stärke, andererseits die enzymatische Hydrolyse des löslichen Anteils der Stärke, der Amylose, durch das Enzym Amylase im menschlichen Speichel. Der Nachweis resultiert aus der Einlagerung von Polyiodid-Ionen aus der Iodlösung in der spiralförmigen Amylosekette (s. o.). Dadurch entsteht die charakteristische Violett- oder Blaufärbung der Lösung.

Die Speichelamylase greift als Endoamylase oder  $\alpha$ -Amylase an beliebigen Stellen der Kette an:



**Wichtiger Hinweis:** Iodtinktur (braun) enthält in unverdünnter Form zu viel Iod. In der Folge des Iodüberschusses verfärbt sich der größte Teil der Stärke nach schwarz, ein geringer Teil nach blau. Der Anteil der bläulich verfärbten Stärke bildet dann zusammen mit der braunen, überschüssigen Iodlösung eine graugrüne Färbung der wässrigen Phase.

Auch kommt es zu Problemen, wenn die Stärkelösung zu viel Stärke enthält. Der Speichel wandelt dann nicht die gesamte Stärke in Glucose um. Es kommt dann bei Zugabe des Iods immer noch zu einer Blaufärbung oder einer graugrünen Mischfarbe.



Abb. 5: Zu viel Iod und/oder Stärke.



Abb. 6: Richtige Konzentration von Stärke und Iod. Bereits ein kleiner Tropfen verdünnte Iodlösung führt zu einer ersten Blaufärbung.

Es wird deshalb vorgeschlagen, dass die Lehrkraft die exakt dosierte Stärkelösung selbst herstellt (siehe unter 4.4 Geräte und Materialien!). Sind sämtliche Stärkemoleküle zu Glukosemolekülen gespalten worden, ließe sich die Glukose z. B. durch die Fehling-Probe nachweisen (hier nicht vorgesehen).

## 2.5 Durchführungsvarianten

Die Experimente zu Nachweis und Hydrolyse von Stärke sind wenig material- und zeitintensiv und können als Schülerexperimente in Einzel- oder Partnerarbeit in den Unterricht integriert werden. Auf das Teilerperiment 1 kann, wenn kein geeignetes Material (Kartoffel, Brot, Maniok o. Ä.) zur Verfügung steht, ggf. verzichtet 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 das Gruppenpuzzle sein. Diese Methoden sind gleichfalls gut dazu geeignet, dem individuellen Lerntempo und Lernfortschritt der Schülerinnen und Schüler Rechnung zu tragen.

**Zum Weiterforschen:** Falls man die nötigen Chemikalien hat, ist noch ein ergänzender Versuch zur Deaktivierung der Amylase möglich:

- Fülle zwei Reagenzgläser jeweils mit ca. 3 ml Stärkelösung.
- Füge in das erste Reagenzglas einige Tropfen Säure hinzu (z. B. Zitronensäure).
- Gib in das zweite Reagenzglas einige Tropfen Kupfersulfatlösung dazu.
- Gib zu beiden Reagenzgläsern etwas Speichel dazu.
- Schüttle beide Reagenzgläser ab und zu und warte ca. 15 Minuten.
- Gib nun in beide Reagenzgläser dieselbe Menge an verdünnter Iodlösung, wie bei den vorhergehenden Versuchen.

### Optional: Weitere Experimentiermöglichkeiten zu Teilerperiment 1

Optional könnte die Stärke auch aus Kartoffeln isoliert werden. Eine Anleitung dazu befindet sich im Medienportal.

### Ergänzender Versuch zur Zuckerverbrennung:

Das Teilerperiment „Zucker lässt sich verbrennen“ aus dem Experiment C1 demonstriert einerseits, dass Zucker sich oxidieren (verbrennen) lässt, andererseits, dass hierfür ein Katalysator nötig ist. Die Schülerinnen und Schüler versuchen zunächst erfolglos, ein Stück Zucker zu entzünden. Dann entzünden sie ein mit Papierasche bestreutes Stück Würfelzucker in einem Teelichtbecher. Ein Reagenzglas wird einige Sekunden über die Flamme gehalten. Dies lässt den Schluss zu, dass die Zuckerverbrennung eines Katalysators bedarf. So bietet sich ein guter Ansatzpunkt für die Besprechung der enzymatischen Vorgänge im menschlichen Stoffwechsel.

## 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>

## 4 Hinweise zur Durchführung der Telexperimente

### 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
Telexperiment 1	5 min	10 min	7 min
Telexperiment 2	5 min	10 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:

- Stellen Sie sicher, dass keine Schäden an wasserempfindlichen Materialien und Geräten entstehen können.
- 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.
- Auf nicht chemieresistenten Tischen sollte man Pappe oder Zeitungspapier unterlegen, um Iodflecken zu vermeiden.
- Iod ist nur bei Aufnahme großer Mengen in den Körper gesundheitsschädlich (Einnehmen, Einatmen, Hautkontakt). In kleinen Mengen wird es nach wie vor in der Medizin zur Desinfektion verwendet. Allergiker sollten auf jeden Fall den Hautkontakt vermeiden!

Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS: „Achtung“



H-Sätze: H373  
P-Sätze: P260, P314

#### 4.4 Benötigte Materialien

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

Material	Anzahl
Becher, 100 ml	1
Becher, 500 ml	2
Feuerzeug (wenn möglich ein Stabfeuerzeug) bzw. Streichhölzer	1
Kohlenhydrathaltiges Gemüse oder Lebensmittel wie z. B. Kartoffeln, Maniok, helles Brot	nach Belieben
Iodtinktur (Iod/Kaliumiodid-Lösung), Tropffläschchen	2 für die ganze Klasse
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Leitungswasser, evtl. destilliertes Wasser	nach Bedarf
Messer	1
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
Reagenzglas aus Glas	2
Reagenzglasklammer aus Holz	1
Reagenzglasstopfen	1
Stärke („Kartoffelmehl“)*	1
Herstellung einer 0,1 %igen Stärkelösung durch die Lehrkraft: 0,1 g Stärke (etwa das Volumen einer Erbse) werden in 100 ml destilliertem Wasser suspendiert und bis zum Kochen erhitzt. Die klare Lösung sollte vor Verwendung auf Raumtemperatur abkühlen.	1
Teelicht	1
Zeitungspapier oder Pappe als Unterlage	1

\*Die für den Versuch benötigte 0,1 %ige, gekochte Stärkelösung wird am besten von der Lehrkraft selbst vor Versuchsbeginn hergestellt, da dies für die Schülerinnen und Schüler erfahrungsgemäß zu schwierig ist.



Abb. 7: 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.

**Ausnahme:** Die im Experiment verwendeten Iodmengen sind zwar minimal, dennoch sollte man die Reste aus dem Stärkehydrolyseexperiment als anorganischen Chemieabfall entsorgen.