

C4.1 pH-Wert von Getränken – Wie sauer ist es im Magen?

Es handelt sich um ein typisches Einstiegsexperiment. Aus der experimentell gewonnenen Erkenntnis „der Mensch verträgt extrem saure Getränke“ kommt die Folgerung „im Magen muss es sehr sauer sein“. Es stellt sich die Frage nach dem „Warum“. So kommt man zwanglos zum Einstieg in das Thema Verdauungstrakt und Verdauung. Je nach Altersstufe kann und muss das Thema durch die Lehrkraft vertieft werden. Abgesehen vom Thema Verdauung im Biologieunterricht kann auch im Chemieunterricht das Grundwissen der Schülerinnen und Schüler zum Thema Säuren und Basen hervorragend experimentell angewendet werden.

1 Zentrale Fragestellung

Abweichend vom plakativen Haupttitel ist die eigentliche Fragestellung, welche Bedeutung der pH-Wert in den Verdauungsorganen im Körper hat. Für den experimentellen Einstieg in dieses Thema bietet sich der pH-Wert von Getränken an. Mit Kenntnissen über den Säure-Basen-Haushalt im Körper sowie über die Funktion der Verdauungsorgane können so verschiedene Krankheitssymptome in ihrer Entstehung verstanden werden. Darüber hinaus kann das Experiment einen Anstoß dazu geben, den Genuss mancher Getränke vor dem Hintergrund ihres (hohen oder niedrigen) Säuregehaltes zu bevorzugen oder zu vermindern und damit den Wert „Gesundheitsbewusstsein“ bei den Schülerinnen und Schülern zu fördern.

2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

2.1 Fachliche Grundlagen

Der Verdauungstrakt besteht aus einer Reihe hintereinander geschalteter Organe. Dazu gehören die Mundhöhle, der Rachen (Pharynx), die Speiseröhre (Ösophagus), der Magen (Gaster) sowie der Darm (Intestinum). In den ersten Teil des Dünndarms, den Zwölffingerdarm (Duodenum), münden die Ausführungsgänge von Bauchspeicheldrüse und Galle. An den Dünndarm schließt sich der Dickdarm (Kolon) mit einem aufsteigenden, einem querverlaufenden und einem absteigenden Teil an. An dessen Ende wird der Kot im Mastdarm gesammelt und durch den Anus ausgeschieden.

In verschiedenen Bereichen des Körpers sowie des Verdauungstraktes herrschen dabei unterschiedliche pH-Werte. pH ist die Abkürzung für potentia hydrogenii und ist ein logarithmisches Maß für die Konzentration der Protonen (H^+ bzw. H_3O^+) in einer wässrigen Lösung. Je mehr Protonen in einer Lösung vorhanden sind, desto geringer ist der pH-Wert. Säuren haben daher einen pH-Wert von 0 – 7 und Basen im Bereich von 7 – 14. Ein pH-Wert, der im Körper allgemein gute Voraussetzungen für ein Funktionieren der inneren Organe ermöglicht, liegt im schwach basischen Bereich, im Blut bei etwa 7,4. Messungen des pH-Wertes können auch über den Urin oder auf der Haut vorgenommen werden. Allerdings schwanken dort die gemessenen Werte ziemlich stark, je nach Tageszeit und aufgenommener Nahrung und Getränke bzw. der Einwirkung von Seife. Von besonderer Bedeutung für die Verdauung ist das gründliche Kauen der Nahrung. Die Speise wird dabei mit Speichel vermischt. Dieser ist mit einem pH-Wert von 7,0 – 7,1 meist neutral oder schwach basisch. Speichel enthält Amylase, ein Enzym zur Verdauung von Kohlenhydraten. Es spaltet Stärke zu Maltose.

Beim anschließenden Schlucken passiert der Speisebrei den Rachen und gelangt in die Speiseröhre und weiter durch die Öffnung des Schließmuskels zwischen Speiseröhre und Magen (Ösophagus-Sphinkter) in den Magen. Der Speisebrei wird mit Magensaft durchmischt und anschließend in kleinen Portionen in den Dünndarm weitergeleitet. Durch den starken Salzsäuregehalt des Magensafts werden Mikroben abgetötet.

Der pH-Wert des Magensafts liegt zwischen 1 und 3. Damit handelt es sich um die sauerste Substanz im menschlichen Körper. Darüber hinaus sorgt die Salzsäure zusammen mit dem Enzym Pepsin für den enzymatischen Abbau der Proteine zu Peptiden. Mithilfe des sauren Saftes ist der Magen außerdem in der Lage, sehr feste Nahrungsbestandteile zu verflüssigen. Die Art der zugeführten Nahrung hat demnach Einfluss auf ihre Verweildauer im Magen („das liegt mir schwer im Magen“). Um sich selbst vor dem aggressiven Magensaft zu schützen, muss die Magenschleimhaut mit intakten Schutzmechanismen ausgestattet sein. Eine durchgehende „säurefeste“ Schleimschicht (Mukosebarriere) sowie eine gute Schleimhautdurchblutung gehören dazu. Zu einem Rückfluss von Mageninhalt (und -säure), der sog. Refluxkrankheit, kommt es, wenn der Ösophagus-Sphinkter den Magen nicht richtig verschließt. Die Magensäure kommt dann in Kontakt zur Schleimhaut der Speiseröhre. Anders als der Magen verfügt sie jedoch nicht über die nötigen Schutzmechanismen (s. o.), um die Säure aushalten zu können. Es kommt zu einem brennenden Gefühl im Brustbereich, saurem Aufstoßen („Sodbrennen“) und Schmerzen beim Schlucken. Um Folgekrankheiten wie Speiseröhrenkrebs zu vermeiden, muss diese Refluxkrankheit unbedingt behandelt werden.

Um eine Übersäuerung im sich anschließenden Dünndarm zu vermeiden, verfügt der Körper über mehrere Steuerungsmechanismen für den Magen:

- Das Hormon Gastrin fördert die Produktion der Magensäure.
- Das Hormon Sekretin hemmt die Produktion der Magensäure.
- Der Vagusnerv (Parasympathikus) fördert Peristaltik und Entleerung des Magens.
- Peristaltik und Magenentleerung werden u. a. durch Geruch und Geschmack der Nahrung sowie den Füllungsstatus des Magens beeinflusst.

Eine Übersäuerung des Magens kann viele Ursachen haben. Manchmal kann die Ursache im allgemeinen Befinden der Person liegen. Unausgeglichene und energische Menschen neigen eher dazu, zu viel Magensäure zu produzieren, als ruhige und gelassene Typen. Mit ruhigerem Lebenswandel geht der erhöhte Säurespiegel im Magen oft von selbst zurück. Entzündungen der Magenschleimhaut klingen ab.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Ernährung. Vor allem zu viel Nahrung ist zu vermeiden. Die sonst aufkommende Überbelastung des Magens führt zu andauernd erhöhter Säureproduktion. Weiterhin sollten stark säurehaltige Lebensmittel nur in eingeschränktem Maß konsumiert werden, also z. B. Zitrusfrüchte und Säfte aus Zitrusfrüchten, kohlensäure- und zuckerhaltige Limonaden. Auf seinem Weg durch den Verdauungstrakt gelangt der saure Speisebrei in den Dünndarm. Hier werden ihm Gallen- und Bauchspeichelsekrete zugefügt. Die Gallenflüssigkeit zur Emulsion der Fette ist mit pH 7,1 leicht basisch, der Bauchspeichel (beteiligt an der weiteren Aufspaltung energieliefernder Nährstoffe) sorgt mit seinem pH-Wert von 8,0 für eine weitere Verschiebung des pH-Wertes in Richtung basischer Bereich. Nur so können im weiteren Verlauf des Dünndarms die Nährstoffe vom Organismus aufgenommen werden. Steigt der Säuregehalt im Zwölffingerdarm an, schließt sich der Magenausgang so lange, bis das Sekret der Bauchspeicheldrüse die Säure neutralisiert hat. Dann erst lässt der Magenausgang weiteren Speisebrei in den Zwölffingerdarm. Während der Nährstoffresorption im Dünndarm hat der Darminhalt einen pH-Wert von etwa 8,0 oder darüber. Kommt es durch Verdauungsstörungen, verursacht durch Gärungs- oder Fäulnisprozesse, zu einer Entstehung von Säuren im Darm, ist Durchfall die Folge.

Zuletzt wird im Dickdarm (Kolon) das Wasser aus dem Nahrungsbrei resorbiert, nützliche Bakterien bilden Vitamine (z. B. Vitamin H „Biotin“, Vitamin K, Folsäure und in geringen Mengen Vitamin B12) und im Mastdarm wird der Kot gesammelt und ausgeschieden.

Urin, der von den Nieren gebildet wird, liegt mit einem pH-Wert von 4,8 (deutlich sauer) bis zu 8,0 (basisch) oft im sauren Bereich. Das ist leicht erklärlich, denn mit dem Urin wird überschüssige Säure aus dem Körper abtransportiert. Außerdem ist ein leicht saurer Urin von Vorteil, da er das

Bakterienwachstum im Harn bremst und die Gefahr von Blasenentzündungen verringert. Parallel zur Aktivität der Leber werden in der zweiten Nachthälfte vermehrt Säuren ausgeschieden. Dies macht den Morgenurin normalerweise leicht sauer. Abendurin sollte einen pH-Wert zwischen 6,8 und 7,4 aufweisen. Die Schwankungen des pH-Wertes sind demnach normal und Zeichen für eine gelingende Regulation des Säure-Haushalts im Körper des Menschen. Im Muskelgewebe herrscht mit $\text{pH} < 7$ meist ein saurer Wert vor. Das liegt daran, dass bei der Energiegewinnung in den Muskelzellen letztlich Kohlensäure entsteht. Um die Zellen zu entsäuern, wird das entstehende Kohlenstoffdioxid mit dem Blut fortgeleitet und über die Lungenbläschen abgeatmet.

2.2 Lehrplanrelevanz

Aufbauend auf den Kenntnissen über die Funktion verschiedener Verdauungsorgane, die meist im Alter von etwa 14 Jahren erworben werden, können die hier beschriebenen pH-Wert-Zusammenhänge ab einem Alter von etwa 15 Jahren thematisiert werden.

Zum Verständnis der Vorgänge im Verdauungstrakt ist Vorwissen aus dem Fach Biologie erforderlich. Grundlagenkenntnisse des Faches Chemie erleichtern das Verständnis der pH-Wert-Zusammenhänge.

Themen und Begriffe: Amylase, Bauchspeicheldrüse, Blut, Darm (Intestinum), Dickdarm (Kolon), Eiweiß, Fette, Galle, Gastrin, Kohlenhydrate, Kohlenstoffdioxid, Magen (Gaster), Mundhöhle, Nahrungsmittel, Pepsin, pH-Wert, Rachen (Pharynx), Refluxkrankheit, Sekretin, Sodbrennen, Speiseröhre (Ösophagus), Urin, Verdauung, Verdauungsenzyme, Zwölffingerdarm (Duodenum)

2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- ermitteln den pH-Wert verschiedener Getränke.
- überprüfen ihre Messergebnisse im Vergleich mit denen anderer Schülerinnen und Schüler.
- unterscheiden Getränke mit niedrigen von solchen mit hohen pH-Werten.
- beschreiben den Weg der Nahrung durch den Verdauungstrakt.
- erklären die Verdauungsvorgänge in den verschiedenen Abschnitten des Verdauungstraktes.
- leiten auf der Basis ihrer Messergebnisse Eigenschaften des Magens ab.

2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

Die Schülerinnen und Schüler ermitteln bei dem Experiment die pH-Werte verschiedener Getränke. Die folgende Übersicht listet die pH-Werte verschiedener Flüssigkeiten auf.

Getränk	pH-Wert (ca.)
Leitungswasser	7 – 8
Wasser mit Kohlensäure versetzt	5 – 6
Bier	4 – 5
Apfel-/Orangensaft	3,5
Wein	2,5 – 4
Kaffee	2,5 – 3,5
Erfrischungsgetränke (z. B. Fanta, Cola)	2 – 4
Magensäure	1 – 3
Zum Vergleich: Batteriesäure	1,0

Der pH-Wert ist ein Maß für die Konzentration von Protonen in wässriger Lösung. Protonen können bestimmte Substanzen, mit denen sie in Kontakt treten, stark verändern („Ätzmittel“). Die Schülerinnen und Schüler kennen dies am Beispiel der Wirkung von Essigsäure zur Reinigung von Kalkbelägen in Küche und Bad.

Das mit Kohlensäure versetzte und somit angesäuerte Wasser erzeugt durch sein „Prickeln“ lediglich einen Durstlösch- bzw. Erfrischungseffekt. Darüber hinaus hat Kohlensäure im Wasser einen konservierenden Effekt. Sollte z. B. Mineralwasser nicht völlig steril abgefüllt worden sein, bleibt es durch die Kohlensäure trotzdem „frisch“. Für den Körper bzw. Magen ist die Kohlensäure hingegen völlig entbehrlich und senkt den pH-Wert im Magen unnötig ab.

Der Mensch kann, zumindest in kleinen Mengen, unbeschadet sehr saure Getränke zu sich nehmen. Das deutet darauf hin, dass auch im Magen ein sehr niedriger pH-Wert herrscht.

Trotzdem können säurehaltige Getränke im Übermaß die Magenschleimhaut belasten und diese dazu zwingen, ihre Mukosebarriere „unnötig“ zu aktivieren. Das leuchtet den Schülerinnen und Schülern aufgrund der Beobachtungen und Vorkenntnisse ein. Sie erkennen, dass verschiedene Getränke unterschiedlich magenfreundlich sind.

Wichtiger Hinweis: Der auf den pH-Messstäbchen durch Farbänderung angezeigte Wert entspricht nur unmittelbar nach dem Entnehmen des Stäbchens dem pH-Wert der zu messenden Flüssigkeit. An der Luft kann sich der angezeigte Wert im Verlauf von Minuten wieder ändern.

2.5 Durchführungsvarianten

Das Experiment kann in Einzel- oder Zweierarbeit durchgeführt werden.

Alternativ zu den hier vorgeschlagenen Getränken können die Schülerinnen und Schüler zur Vorbereitung des Experiments aufgefordert werden, von all den Getränken eine Probe mit in den Unterricht zu bringen, die sie im Laufe eines Tages zu sich nehmen. So wird die Datenbasis größer. Anschließend können die Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen ihre Getränke nach pH-Werten (vom basischen zum sauren hin) ordnen.

Zum Weiterforschen: Außerdem können die pH-Werte, wie separat beschrieben, nicht nur mit Hilfe von pH-Messstäbchen erfasst werden, sondern auch durch digitale Messwerterfassungssysteme, wie zum Beispiel einem Microcontroller (Arduino Uno).

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>

Sie finden im Handbuchordner noch weitere Experimente zu den Themen Verdauung und Stoffwechsel:

- C1 Wir verbrennen Zucker – Zellatmung und Atmungskette
- C2 Kohlenhydrate als Energielieferanten des Stoffwechsels – Stärke und Zucker
- C3 Wie zerlegt die menschliche Verdauung Fette? – Verseifung von Speiseöl
- C4.2 Digitale Ermittlung des pH-Wertes mit einem Arduino

4 Hinweise zur Durchführung des Experiments

4.1 Räumlichkeiten

Das Experiment kann in jedem Klassenraum durchgeführt werden.

4.2 Zeitbedarf

Vorbereitung und Durchführung	Auswertung und Fragen
10 min	20 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 diesem Experiment 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.
- Weisen Sie die Schülerinnen und Schüler darauf hin, dass die Getränke nicht zum Verzehr geeignet sind.

4.4 Benötigte Materialien

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

Material	Anzahl
genügend Becher zum Einfüllen der Getränkeproben	nach Bedarf
wasserlösliche Folienstifte	1 pro Gruppe
verschiedene Getränkeproben, z. B. Leitungswasser, Mineralwasser (mit Kohlensäure), Apfel-/Orangensaft, Cola (wenn irgend möglich, da Cola in der Regel extrem sauer ist)	je ca. 40 ml
pH-Messstäbchen	nach Bedarf
Papiertücher o. Ä. zum Abwischen der Hände	nach Bedarf



Abb. 1: Benötigte Geräte bzw. Materialien, 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.