

IJSO 2024 – Gib Gas!

Begleitheft für Betreuende

Zusammengestellt von

Melanie Hänel

PD Dr. Heide Peters

Dr. Stephanie Schmidt-Gattung

IPN — Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik

Hinweis

Die Zusammenstellung im Begleitheft versteht sich nicht als eigenständiger Autorenbeitrag.

Um Ihnen den Einstieg in die Themen der einzelnen Versuche zu erleichtern, wurde hier ein Zusammenschnitt von Rechercheergebnissen erstellt. Dabei beginnen die Kapitel zu den einzelnen Versuchen jeweils mit Informationen, die für die Durchführung der Experimente hilfreich sind. Zu jedem Versuch gibt es außerdem weiterführende Informationen für betreuende Lehrkräfte. Am Schluss stehen noch einige Ideen für weitere Fragestellungen.

Einige Textanteile sind, geringfügig umformuliert, aus verschiedenen im Verzeichnis angegebenen Quellen übernommen worden.

Die Begleitmaterialien werden Ihnen zum persönlichen Gebrauch im Rahmen der Wettbewerbsbetreuung in der Internationalen JuniorScienceOlympiade zur Verfügung gestellt.

Hinweis: Alle im Text angegebenen Links wurden am 26.10.2023 auf ihre Aktualität geprüft.

Inhalte

Teil A	Förderkonzepte und Tipps zur Wettbewerbsarbeit	04
A1	Allgemeine Hinweise für Wettbewerbsbetreuende	04
A1.1	MINT-Schülerwettbewerbe – den Einstieg leicht gemacht	05
A1.2	Wettbewerbsarbeit in der IJSO	07
Teil B	Durchführung der Experimente und theoretische Grundlagen	09
B1	Einführung und Materialliste	09
B1.1	Lernziele	09
B1.2	Materialliste	10
B2	Beschaffung und praktische Hinweise	11
B2.1	Experiment 1 – Luft ist nicht nichts! Hinweise zum Material	11
B2.2	Experiment 2 – Farbenspiel Hinweise zum Material	11
B2.3	Experiment 3 – Dinner mit Hefe Hinweise zum Material Tipps zum Bau der Apparatur Tipps zum Experimentieren	13
B3	Theoretische Grundlagen	15
B3.1	Experiment 1 – Luft ist nicht nichts! Thermodynamische Grundlagen System-Theorie Luft, das bekannteste Gasgemisch unseres Planeten	15
B3.2	Experiment 2 – Farbenspiel Säuren und Basen in Wasser pH-Wert pH-Indikatoren Saure und alkalische Lösungen in unserem Alltag Der pH-Wert von Wasser pH-Wert im biologischen Kontext: Hortensien als Zeigerorganismus	17
B3.3	Experiment 3 – Dinner mit Hefe Hefen Aufbau der Hefezellen Vergleich Vermehrung der Hefezellen Wachstum einer Hefepopulation Der Stoffwechsel von Hefen	21
Teil C	Forscherfragen und Projektarbeit	26
Teil D	Quellennachweis	29
D1	Literatur	29
D2	Linksammlung	29
D3	Bildnachweise	30

A1 Allgemeine Hinweise für Wettbewerbsbetreuende

Eine Wettbewerbsteilnahme ist eine Chance für alle: Für die Teilnehmenden, neue Felder zu entdecken und mit den Herausforderungen und Erfolgen zu wachsen; für die Betreuenden, ihre Schülerinnen und Schüler in diesem Prozess begleiten zu dürfen und Anregungen für den naturwissenschaftlichen Unterricht zu bekommen. Und diese Chance sollte jedem offenstehen. Auch wenn für einige das Ergebnis sein sollte, nicht erneut am Wettbewerb teilnehmen zu wollen, würde eine solche Entscheidung auf einer konkreten Erfahrung fußen und hätte damit ihren eigenen Wert, wenn es darum geht, sich zu orientieren und die eigenen Stärken und Vorlieben zu entdecken.

Aus diesem Grund plädieren wir immer dafür, eine Wettbewerbsteilnahme in der IJSO mit der ganzen Klasse oder einem Kurs durchzuführen und für ein nachhaltiges Förderkonzept möglichst früh mit der Wettbewerbsarbeit zu beginnen. Forschung heute wird in Teams geleistet. Deshalb zählt in der IJSO nicht nur Einzelleistung, sondern es gibt auch Gelegenheit zur Teamarbeit.

Das betrifft auch die Betreuungsarbeit. Suchen Sie sich Kolleginnen und Kollegen aus Biologie, Chemie oder Physik und regen eine gemeinsame Wettbewerbsarbeit an. Sorgen Sie dafür, dass der Wettbewerb einen festen Ort an Ihrer Schule und im Curriculum findet. Dann werden automatisch die Kolleginnen und Kollegen, die in diesem Jahrgang unterrichten, in die Pflicht genommen und die Lasten verteilen sich auf mehrere Schultern. Sind Sie stärker an einer systematischen Implementierung der Wettbewerbsarbeit in Unterricht und Schule interessiert, informieren Sie sich doch auf unserer Website zur Initiative „NaWigator in der IJSO“.

Als Aufgabenwettbewerb sind die Antwortformate, auch aus Gründen der Bewertung, eher geschlossen. Dennoch ist ein zentrales Element in der IJSO forschendes Lernen, verbunden mit dem Anliegen mit unseren Aufgaben dazu zu inspirieren, eigene Fragen zu stellen, weiter zu recherchieren und ggf. in eigenen Projekten zu vertiefen. Genau deshalb ermutigen wir in der Aufgabe „Noch Fragen offen?“ die Schülerinnen und Schüler aus ihrer eigenen Arbeit an den Wettbewerbsaufgaben heraus weitere „Forschungsfragen“ zu entwickeln. Der Weg in der IJSO erfordert ein hohes Maß an selbstständigem Arbeiten, soll aber auch ermuntern, sich den Rat von Expertinnen und Experten zu holen, wenn man an eine Grenze stößt. Unser Angebot versteht sich damit auch als Türöffner auf dem Weg zur Vernetzung mit anderen Förder- und Lernangeboten im MINT-Bereich.

Das vorliegende Begleitheft soll Sie in Ihrer Wettbewerbsarbeit unterstützen. (i) Betreuen Sie erstmals in einem Schülerwettbewerb finden Sie in *Teil A* eine Reihe praktischer Tipps zum Einstieg, insbesondere auch zu Förderstrategien und zur Einbindung der Wettbewerbsarbeit in den Unterricht. (ii) Wettbewerbserfahrene können diesen Teil überspringen und finden in *Teil B* zunächst zu jedem Experiment Hinweise zur Beschaffung von Materialien und zur Durchführung. Dann folgen Abschnitte mit Hintergrundwissen und Anregungen zur Vertiefung für diejenigen, deren Wissensdurst noch nicht gestillt ist. In *Teil C* gibt es Anregungen zu Forscherfragen und Projektarbeiten.

A1.1 MINT-Schülerwettbewerbe – den Einstieg leichtgemacht

Das Angebot an Schülerwettbewerben in den Naturwissenschaften ist bunt und vielfältig, eine didaktische Nische für Nachwuchsförderung und berufliche Orientierung. Wie aber entscheide ich mich als Lehrkraft für den geeigneten Wettbewerb?

Bevor Sie die Büchse der Pandora öffnen, widmen Sie sich der Frage, was Sie mit einer Wettbewerbsteilnahme erreichen wollen: Für Abwechslung im Unterricht sorgen? Für Naturwissenschaften interessieren und begeistern? Schülerinnen und Schüler mit Potenzial fördern? Reizt das sportliche Kräftermessen oder geht es um fachliche Expertise und forschendes Lernen? Soll der Klassenverband durch Teamarbeit gestärkt werden? Je präziser Sie Ihr Förderkonzept fassen können, umso leichter wird Ihnen später die Auswahl fallen.

Wie entscheide ich mich für einen Wettbewerb?

Sichten Sie das Portal des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Stichwort „Jugendwettbewerbe“ und recherchieren Sie unter „Begabtenförderung“ oder „Schülerwettbewerbe“ auf den Bildungsservern der Länder. Suchen Sie im Begabungslotsen-Portal oder beim Deutschen Bildungsserver. Die Arbeitsgemeinschaft bundesweiter Schülerwettbewerbe hat Qualitätsstandards entwickelt, zu deren Einhaltung sich ihre Mitglieds Wettbewerbe verpflichten. Die KMK hat „Qualitätskriterien für Schülerwettbewerbe“ beschlossen und führt eine Liste von Wettbewerben, die sie als empfehlenswert einstuft. Prüfen Sie die Passung Ihres Förderkonzepts mit dem Profil des Wettbewerbs. Checken Sie, ob das Wettbewerbsangebot die Qualitätskriterien erfüllt. Welche Leistungen verlangt der Wettbewerb den Jugendlichen, aber auch Ihnen ab? Stehen Wettbewerbsfristen in Konflikt mit wichtigen schulischen Terminen? Schätzen Sie Betreuungsaufwand und benötigte Ressourcen realistisch ab. Entscheiden Sie sich für den Wettbewerb, der Sie persönlich begeistert. Dann ist die Chance groß, dass der Funke auf die Beteiligten überspringen wird.

Wie werbe ich für eine Teilnahme?

Die Initiative liegt bei Ihnen, nur plakatieren reicht nicht. Stellen Sie den Wettbewerb im Unterricht vor. Oder noch besser: Lassen Sie Wettbewerbsteilnehmende von ihren Erfahrungen berichten. Teilen Sie in einem Elternbrief mit, dass Sie das Kind mit einem Zusatzangebot fördern möchten. Berichten Sie beim Elternabend. Führen Sie auf der Homepage der Schule eine Rubrik mit allgemeinen Informationen zu Wettbewerbsangeboten ein. Informieren Sie regelmäßig über aktuelle Teilnahmen und Wettbewerbs-erfolge.

Beginnen Sie früh mit der Wettbewerbsarbeit. Bahnen Sie Wettbewerbsteilnahmen an, indem Sie Wettbewerbsaufgaben aus den Vorjahren in Ihr Unterrichtsangebot aufnehmen. Grundschulkinder, die an die weiterführende Schule wechseln, sind begeisterungsfähig. Nutzen Sie diesen Elan im Sinne einer nachhaltigen Förderung. Stimmen Sie die Kinder und Jugendlichen vor Beginn auf erfüllbare Erwartungen ein. Vermitteln Sie, dass Durchhalten und Einreichen einer Ausarbeitung zählen und für sich genommen schon ein großartiger Erfolg sind.

Wie unterstütze ich?

Beschränken Sie sich auf Hilfe zur Selbsthilfe. Für eine positive Attribuierung ihrer Erfolge sollten Teilnehmende sich als autonom und selbstwirksam erleben. Einige Wettbewerbe bieten Materialien für Wettbewerbsbetreuende oder auch eigens Fortbildungen an.

Wettbewerbe verlangen häufig ein Engagement über Wochen, manchmal Monate. Unterstützen Sie Ihre Teilnehmenden, indem Sie den Zeitraum mit Etappenzielen strukturieren. Bekunden Sie Interesse am Fortgang der Arbeit und fordern Sie ein, dass Ergebnisse unmittelbar notiert und „zu Papier gebracht“ werden.

Wettbewerbsarbeit im Unterricht?

Entlasten Sie sich und die Teilnehmenden, indem Sie Wettbewerbsteilnahmen zum festen Bestandteil von Unterricht und schulischem Leben machen. Lassen Sie Experimente im Fachunterricht durchführen, geben Sie Recherche und Dokumentation portioniert als Hausaufgabe. Öffnen Sie im Nachmittagsangebot Räume für Wettbewerbsarbeit in Kleingruppen. Definieren Sie Teile des Wettbewerbs als verbindliche Unterrichtsleistung, die in die Note eingeht. Wer mehr will, kann mehr tun. Wettbewerbs-erfolge können mit einem Zeugniseintrag gewürdigt werden. Vernetzen Sie sich im Kollegium und bauen Sie ein nachhaltiges Wettbewerbskonzept über alle Klassenstufen auf.

Tipps für den Anfang

Beginnen Sie mit einer kleinen Schülergruppe. Hängen Sie die Erwartungen nicht zu hoch. Alle müssen sich erst mit den Abläufen vertraut machen. Binden Sie erfahrene Schülerinnen und Schüler und ehemalige Teilnehmende in die Betreuung ein. Evaluieren Sie die Arbeit und stecken Sie neue Ziele – und geben Sie jedem Wettbewerb, bevor Sie ihn abschreiben, mindestens eine zweite Chance!

Wie wähle ich einen geeigneten Wettbewerb aus?

1. Klären Sie zunächst eigene Ziele/Förderkonzepte, die Sie mit einer Wettbewerbsteilnahme verfolgen.
2. Verschaffen Sie sich einen Überblick über Wettbewerbsangebote und prüfen Sie die Qualität.
3. Sortieren Sie einmalige Wettbewerbsangebote aus. Sie eignen sich in der Regel nicht für den Aufbau eines nachhaltigen Förderkonzepts.
4. Treffen Sie eine Vorauswahl und fragen Sie im Kollegenkreis nach, wo es bereits Erfahrungen mit den ausgewählten Wettbewerben gibt.
5. Informieren Sie sich auf der Webseite des Organisators, wie die Passung zwischen dem Wettbewerbsprofil und Ihren Förderzielen ist. Wenden Sie sich mit Fragen ggf. direkt an die Wettbewerbsorganisatoren.
6. Verschaffen Sie sich einen Überblick, was von den Teilnehmenden und von Ihnen an Leistungen erwartet wird, und treffen Sie anschließend Ihre Wahl.

Quelle [nach H. Peters & B. Sieve (2013): Fordern und Fördern mit Wettbewerben. NiU Chemie, 136, 24, S. 8.]

Qualitätskriterien Schülerwettbewerbe

Gute Schülerwettbewerbe

- fördern die persönliche Entwicklung der Schülerinnen und Schüler
- unterstützen besondere Begabungen
- motivieren Schülerinnen und Schüler, aber auch Lehrkräfte zu zusätzlichem Engagement
- beinhalten Unterstützungssysteme für die Teilnehmenden
- weisen ein pädagogisch und wissenschaftlich begründetes Konzept aus, das von Experten begleitet wird
- haben eine Jury, die in der Beurteilung transparent ist
- geben Anregungen über den Wettbewerb hinaus
- fördern Schülerinnen und Schüler nachhaltig, indem sie langfristig motivieren
- liefern auch den Schulen und den Lehrkräften Impulse für die Unterrichtsgestaltung durch die Einbindung des Wettbewerbs bzw. der Wettbewerbsinhalte in den Unterricht
- fördern vor allem gesellschaftlich bedeutsame Leistungen
- sorgen für öffentliche Anerkennung
- unterstützen und motivieren die Teilnehmenden in ihrer Wettbewerbsleistung mit angemessenen Auszeichnungen oder Preisen
- beachten die Grundregeln des Datenschutzes

Quelle: [nach Arbeitsgemeinschaft bundesweiter Schüler- wettbewerbe www.bundeswettbewerbe.de/fileadmin/user_upload/agbsw-guteSchuelerwettbewerbe.pdf [Stand: 27.1.2017] und Greiffenstein, J. v. (2007) Wettbe- werbe in Konkurrenz. Klett-Themendienst 38(5/2007), S. 7]

Peters, H. (2017) MINT-Schülerwettbewerbe – den Einstieg leichtgemacht. MINT Zirkel, Juni 2017, 11, Klett MINT GmbH.

A1.2 Wettbewerbsarbeit in der IJSO

Teilnahmebedingungen und Registrierung

Am Auswahlwettbewerb zur IJSO 2024 teilnehmen kann, wer eine allgemein- oder berufsbildende deutsche Schule besucht und nach dem 31. Dezember 2008 geboren ist (Geburtsjahr 2009 oder jünger). Wer im Rahmen einer Arbeitsgemeinschaft oder im Klassen- bzw. Jahrgangsverband an der IJSO teilnimmt und vor dem 1. Januar 2009 geboren ist, kann maximal an den ersten drei Wettbewerbsrunden, nicht jedoch am Bundesfinale teilnehmen.

Die Aufgaben der ersten Runde sind von den Teilnehmenden eigenverantwortlich ohne fremde Hilfe zu lösen. Die Experimente dürfen nur in Gegenwart eines Erwachsenen durchgeführt werden. Dabei ist auf die Einhaltung gängiger Sicherheitsmaßnahmen und das Tragen angemessener Schutzkleidung zu achten.

Gemeinschaftslösungen von Teilnehmenden sind in der ersten Runde zulässig. Die Gruppenstärke darf maximal drei Personen umfassen. Die Namen der am Team beteiligten Schülerinnen und Schüler müssen auf der Ausarbeitung für die Lehrkraft kenntlich gemacht werden. Alle Teilnehmenden einer Gruppe erhalten dieselbe Punktzahl, werden hingegen nicht im Portal miteinander verknüpft. Jeder Teilnehmende, also auch jedes Gruppenmitglied, muss sich einzeln im Portal registrieren und zur IJSO anmelden. Dafür benötigt jeder Teilnehmende eine eigene gültige E-Mail-Adresse. Registrierung und Anmeldung können nur mit Zustimmung der Erziehungsberechtigten gemeinsam mit den Teilnehmenden vorgenommen werden. Hierfür bedarf es der E-Mail-Adresse eines Erziehungsberechtigten.

Hinweise zur Betreuung und Musterlösung

Mit Ihrer Anmeldung zur IJSO als betreuende Lehrkraft sollten Sie im Portal Zugang zum Begleitheft für Betreuende sowie zur Musterlösung zur Aufgabenrunde erhalten. Falls nicht, wenden Sie sich direkt an die Bundesgeschäftsstelle der IJSO. Die Musterlösung mit Erwartungshorizont wird bereits zum Wettbewerbsstart freigeschaltet, damit Sie schon während der Schülerbetreuungsphase abschätzen können, in welcher Tiefe wir eine Beantwortung der Frage erwarten, und Sie Ihre Teilnehmenden ansprechen können, falls sie beispielsweise die Zielrichtung einer Fragestellung missverstanden haben sollten.

Die Aufgaben der ersten Runde sind so angelegt, dass sie in einem Zeitraum von drei Wochen vollständig bearbeitet werden können. Das gibt Ihnen die Möglichkeit, im Zeitfenster von November bis Mitte Januar entsprechend der Abläufe in Ihrem Schuljahr mit Ihren Teilnehmenden flexibel einen verbindlichen Start- und Abgabetermin festzulegen. Planen Sie dabei ausreichend Zeit für die Bewertung der Ausarbeitungen und die Übermittlung der Bewertungsergebnisse ein.

Die Ausarbeitungen sind bis zum 15. Januar 2024 bei Ihnen als betreuende Lehrkraft einzureichen.

Bewertung und Übermittlung der Ergebnisse

Die Musterlösung mit Erwartungshorizont und Bewertungsschlüssel unterstützt Sie bei der Bewertung der eingereichten Ausarbeitungen Ihrer Schülerinnen und Schüler. Die Bewertungseingabe im Portal nehmen Sie bitte bis zum 31. Januar 2024 vor.

Bevor Sie mit der Eintragung Ihrer Bewertungsergebnisse beginnen, prüfen Sie bitte, ob alle Ihre Teilnehmenden korrekt Ihrem Profil zugeordnet sind. Sollten Sie Fehler in der Zuordnung entdecken, setzen Sie sich bitte umgehend über eine Nachricht an sekretariat@ijso.info mit uns in Verbindung. Zum Abschluss der Wettbewerbsrunde werden alle Wettbewerbsteilnehmenden im Februar informiert und können im Portal einsehen, ob sie in die zweite Runde aufgestiegen sind.

Alle Wettbewerbsbetreuenden werden regelmäßig mit Rundmails über Termine und weitere Abläufe der Wettbewerbsrunden sowie die Erfolge ihrer Wettbewerbsteilnehmenden informiert. Wichtige Informationen und Wettbewerbsmaterialien auch früherer Wettbewerbsjahre finden sie unter www.ijso.info.

Wie viel Unterstützung darf ich geben?

Anders als bei Schul- oder Hausarbeiten sind die Aufgaben so konzipiert, dass Inhalte und Konzepte berührt werden, die bisher nicht im Unterricht behandelt wurden und eigenständige Recherche verlangen. Auch erwarten wir nicht, dass Teilnehmende alle Aufgaben vollständig werden lösen können.

Wir werden immer wieder von Betreuenden gefragt, wie viel Unterstützung sie in der Aufgabenrunde geben dürfen. Aus unserer Sicht dürfen Sie gern Teilnehmende auf Literatur oder andere Quellen hinweisen, die ihnen den Zugang für eine eigenständige Recherche zu bestimmten Themenbereichen oder Konzepten erleichtern, vor allem auch, wenn sie den Schülerinnen und Schülern aus dem Schulunterricht noch nicht bekannt sind. Allerdings sollten Sie davon Abstand nehmen, Teilnehmende gezielt darauf hinzuweisen, wenn Teile ihrer Ausarbeitungen fehlerhaft sind, oder ihnen Lösungsansätze selbst vorzuschlagen.

Auf unserer Internetseite finden Sie unter *Material > Aktuelle Aufgaben* das Begleitheft für (vor allem jüngere) Teilnehmer:innen, welches wir als zusätzliche methodische Hilfestellung zu den Bereichen 'Fachtexte lesen', 'Skizze oder Zeichnung', 'Experimentieren', 'Messung und Messfehler' sowie 'Koordinatensystem' konzipiert haben.

Betreuen Sie Wettbewerbsneulinge oder Kinder in der Altersgruppe bis 12 Jahre, ist unter Umständen zu überlegen, ob man die Bearbeitung auf eine altersangemessene Auswahl von Teilaufgaben begrenzt. Auch diese lohnt es sich, einzureichen; denn einerseits ist ein Aufsteigen in die zweite Runde von den Punkten her durchaus möglich und andererseits werden die jüngsten Teilnehmenden in unserem Junior-Ranking noch einmal gesondert bewertet. Dadurch haben sie die Chance, an den Junior-Forschertagen teilzunehmen oder einen Sachpreis zu gewinnen.

Wir freuen uns, wenn Sie uns berichten, welche Erfahrungen Sie mit der Betreuung Ihrer Schülerinnen und Schüler in der IJSO gesammelt haben. Für Fragen stehen wir gern zur Verfügung.

Viel Spaß und Erfolg wünscht

Ihr IJSO-Team am IPN Kiel

B1 Einführung und Materialliste

B1.1 Lernziele

Die Aufgaben zur ersten Runde sollen anregen, sich intensiv und umfassend mit dem Thema Gase zu beschäftigen. Ausgangspunkt ist das Experiment 1, welches die bei Kindern aus der Primarstufe oftmals noch vorherrschende Fehlvorstellung, Luft sei aufgrund ihrer Durchsichtigkeit „nichts“, zu widerrufen sucht.¹ Wir untersuchen in einem geschlossenen System die physikalischen Eigenschaften von Luft, indem wir selbst auf sie einwirken, und binden in unsere Betrachtungen modellhaft Stickstoff und Sauerstoff, die Hauptkomponenten dieses Gasgemisches, ein. A propos Gas in Flasche: Aus dem Alltag wissen wir, wie sich stilles und sprudelndes Wasser unterscheiden; in vielen Haushalten wird mit Wassersprudlern schließlich selbst Leitungswasser mit Sprudel versetzt. Den chemischen Unterschied untersuchen wir nun in Experiment 2 mit Rotkohlsaft. Dazu kommen noch weitere Testflüssigkeiten, die das besondere Farbenspiel von Rotkohlintikator sichtbar machen und uns den Zugang zur Säure-Base-Chemie ermöglichen. In einem biologischen Exkurs gehen wir den Farben von Hortensienblüten auf den Grund, denn die chemischen Bedingungen im Boden haben sichtbare Auswirkungen auf die Hortensien. Von den Pflanzen kommen wir in Experiment 3 nun zur Hefe. Sie ist uns zwar vom Backen bekannt, genauer interessieren uns aber hier ihr Zellaufbau sowie ihre Stoffwechselprozesse, da Gas wiederum eine wesentliche Rolle spielt. Mit der bereits gewohnten Formulierung von weiteren Forscherfragen wird dazu angeregt, die gewonnenen Erkenntnisse weiterzudenken und vielleicht in die eigene Lebenswelt zu transferieren.

Über die hier formulierten Lernziele hinaus sollen die Aufgaben dafür sensibilisieren, die Relevanz von Gasen – auch wenn sie vielfach unsichtbar sind - zu erkennen und ihren Einfluss innerhalb physikalischer, chemischer und biologischer Kontexte in unserem Alltag zu erfahren.

Konkret erwerben die Schülerinnen und Schüler folgende Fähigkeiten und Kenntnisse:

- Sie lernen naturwissenschaftliche Arbeitsweisen kennen und trainieren sie.
Dabei lernen sie, wie sie
 - einen Versuch planen, aufbauen und durchführen.
 - (quantitative) Messungen exakt durchführen.
 - genau beobachten und die Ergebnisse kurz, präzise und übersichtlich – insbesondere auch mit Fotos dokumentiert – darstellen.
 - Skizzen von Hand anfertigen, Tabellen mit Messwerten anlegen und Diagramme zu den Messwerten anfertigen sowie beschriften.
 - Beobachtungen und Messdaten objektiv auswerten, angemessen erklären und kritisch beurteilen.
 - Beobachtungen/Ergebnisse und Schlussfolgerungen unterscheiden.
 - systematische Fehler erkennen und die Genauigkeit/Zuverlässigkeit eines Messverfahrens abschätzen.
- Sie lernen, dass physikalische Größen wie Druck und Temperatur einen Einfluss auf Stoffe bzw. Stoffgemische haben.
- Sie lernen den Unterschied zwischen offenen und geschlossenen Systemen und bahnen damit Systemkompetenz an.
- Sie lernen, dass sich der pH-Wert von Essig, Sprudel-, Leitungswasser und Natronlösung unterscheiden und begründen den Unterschied zwischen Leitungs- und Sprudelwasser durch das gelöste Kohlenstoffdioxid, welches in Teilen zu Kohlensäure reagiert.
- Sie wenden die Begriffe 'Säure', 'Base', 'pH-Wert' und 'Indikator' im Versuchskontext sowie im biologischen Hintergrund von Hortensien als Zeigerorganismen an.
- Sie lernen, welche Stoffwechselprozesse Hefen betreiben und differenzieren zwischen aeroben und anaeroben Bedingungen.

[1] vgl. Schäfer, B. (2020) Luft ist nicht nichts. bildung+ science, S. 16-19, Friedrich Verlag GmbH.

B1.2 Materialliste

Die Experimente sind so ausgelegt, dass die meisten Materialien in einem Haushalt verfügbar, in einem Supermarkt zu beschaffen sind oder an Schulen in den Sammlungen der Fachschaft Naturwissenschaften vorhanden sein sollten:

Für die Experimente werden benötigt:

Experiment 1: Glas-Flasche (0,75 oder 1 L, leer), 2 Schüsseln, Luftballon, Gummi, kaltes Wasser, heißes Wasser

Experiment 2: 6 Wassergläser, Schneidebrett, Messer, Sieb, Topf, weiteres Gefäß, Teelöffel, 4 Esslöffel, Rotkohl (*siehe bei Bedarf Rezeptidee für nicht verwendete Teile des Rotkohls), heißes Wasser, Leitungswasser, Essig (5%), stark kohlensäurehaltiges Mineralwasser, Natron

Experiment 3: 6 Wäscheklammern, 2 x 30 cm transparenter PVC-Schlauch (Innendurchmesser 10 oder 12 mm), Verschluss für Schlauch (Knetradiergummi, Wachspunkte o.ä.), Draht, Lineal, 3 Gläser, Teller, 2 Teelöffel, 2 Plastikpipetten (Volumen z.B. 3 mL), Zeitmesser, 1 Päckchen Trockenhefe, Zucker

B2 Beschaffung und praktische Hinweise

B2.1 Experiment 1 – Luft ist nicht nichts!

Im Experiment 1 wird der Einfluss von Temperatur und Druck auf das Gasgemisch Luft untersucht. Die Luft befindet sich in einem geschlossenen System aus einer Flasche und einem Luftballon, auf welches von außen gezielt eingewirkt wird.

Hinweise zum Material

Als Flasche eignet sich besonders gut eine Glasflasche, da Glas über eine verhältnismäßig hohe Wärmeleitfähigkeit verfügt. Mit einer dickwandigen (stabilen) PET-Flasche funktioniert das Experiment auch, nur etwas weniger schnell als mit einer Glas-Flasche.

Es sollte ein handelsüblicher Luftballon verwendet werden; der Durchmesser sollte am besten zwischen 25 und 30 cm liegen. Er sollte bitte nicht zu klein sein (auf keinen Fall Wasserbomben-Ballons) und besonders wichtig ist es, den Ballon vorzudehnen, ihn also einmal aufzupusten und die Luft wieder entweichen zu lassen. Anderenfalls ist das Material zu straff für das Experiment.

Wichtig ist es, das Gummiband fest am Flaschenhals um den Luftballonrand zu fixieren und somit das System Flasche-Luftballon gut abzuschließen. Gerne kann man hier noch mit den Händen zusätzlich festhalten, um absolut sicherzugehen, dass keine Luft entweicht.

Beim verwendeten Wasser – kalt und heiß – haben wir uns bewusst dazu entschieden, keine bestimmten Temperaturen anzugeben, denn dies ist relativ variabel. Es lässt sich problemlos mit dem aus der Leitung temperierten Wasser arbeiten: Die kälteste und die heißeste Einstellung bringen beim Experimentieren gute Ergebnisse. Natürlich könnte man dem kalten Wasser noch Eiswürfel hinzufügen, dies ist aber keineswegs notwendig. Aus Sicherheitsgründen möchten wir die Teilnehmenden nicht mit kochendem Wasser hantieren lassen, insbesondere im Kontakt mit Glas ist das zu riskant.

Die Schüsseln sollten von ihrer Größe so gewählt werden, dass das Wasser mindestens ein Drittel des Flaschenkörpers, besser sogar etwa die Hälfte bedeckt, um ausreichend Kontaktfläche zu gewährleisten.

B2.2 Experiment 2 – Farbenspiel

Im Experiment 2 werden vier Testflüssigkeiten mit Rotkohllindikator versetzt, sodass ihr unterschiedlich saures bzw. neutrales bzw. basisches Milieu – das „Farbenspiel“ – sichtbar gemacht wird. Das fünfte Glas dient als Kontrolle bzw. „Messlösung“ und soll die Schülerinnen und Schüler damit vertraut machen, in der Experimentierpraxis eine solche Referenzprobe vorliegen zu haben. Sie dient dazu, das Experiment zu überprüfen, indem man sie immer wieder zum farblichen Vergleich heranziehen kann.

Entgegen der gängigen Reihenfolge bei chemischen Experimenten, pH-Indikatoren zu Testflüssigkeiten hinzuzupipettieren, haben wir uns aus praktischen Gründen dazu entschieden, die Testflüssigkeiten direkt zu den Gläsern mit Indikator zu geben.

Die Farbumschläge bei Essig und Sprudelwasser sind sehr auffällig! Der Farbumschlag von Rotkohlsaft in Natronlösung ist weniger deutlich (Übergang zu cyanfarbend).



*Abbildung B2.1: Gläser mit Testflüssigkeiten und Rotkohllindikator
(von links nach rechts: Rotkohlsaft (Kontrolle/„Messlösung“), Essig, Sprudelwasser, Leitungswasser, Natronlösung)*

Hinweise zum Material

Rotkohl ist ein typisches Wintergemüse und zur Zeit der Aufgabenrunde problemlos zu kaufen. Um den später übrigen Kohlkopf nicht zu verschwenden und einen nachhaltigen Umgang mit Lebensmitteln zu fördern, haben wir der Experimentieranleitung eine Rezeptidee angehängt. Nicht zuletzt gibt es im Winter zahlreiche andere Gerichte mit gekochtem Rotkohl. Zerkleinert werden für das Experiment zwei Kohlblätter bzw. ein kleines abgetrenntes Stück vom Kohlkopf. Mit dem Messer kann man schmale Streifen schneiden oder mit den Händen Stückchen abreißen, wenn man auf Messer verzichten möchte. Achtung: Rotkohl färbt auf die Haut ab. Die Farbe lässt sich aber recht gut mit Seife abwaschen. Es ist darauf zu achten, dass die geschnittenen oder gerissenen Stücke des Rotkohls



Abbildung B2.2: Rotkohl färbt ab

- weder zu klein sind, wodurch sich sehr viel Farbstoff im Wasser herauslöst und die Farbstoffkonzentration eventuell so hoch ist, dass die Färbungen mit den Testflüssigkeiten zu dunkel sind.
- noch zu groß sind, wodurch sich womöglich nicht ausreichend Farbstoff für ein schönes „Farbenspiel“ lösen kann.



Abbildungen B2.3 & B2.4: Rotkohl wird portioniert und zerkleinert

Das heiße Wasser, mit welchem man den zerkleinerten Rotkohl übergießt, muss keine bestimmte Temperatur aufweisen. Auch hier reicht heißes Wasser aus der Leitung für gute Versuchsergebnisse völlig aus. Umso heißer das Wasser ist, desto mehr Farbstoff löst sich wiederum aus dem Rotkohl heraus, was wie schon bei einem zu hohen Zerkleinerungsgrad zu dem Problem führen kann, dass der Farbumschlag in den Lösungen schlechter erkennbar ist.

Für die Test-Lösungen führt der Weg in den Supermarkt – oder es genügt ein gezielter Griff in den Küchenschrank.

- Bei 5%-igem Essig handelt es sich um Haushaltssessig. Bitte nicht mit Essigessenz verwechseln, die auch viele zuhause haben, denn diese hat einen zu hohen Säuregehalt. Mit tief gefärbtem Essig wie beispielsweise Aceto Balsamico ist der Farbumschlag leider nicht erkennbar; alle leicht gefärbten Essige sind geeignet.
- Das Sprudelwasser sollte am besten stark kohlendioxidhaltig sein. Medium-Wasser eignet sich nicht.
- Natron findet man in Form von praktischen kleinen Tütchen in der Backabteilung. Diese nutzen idealerweise individuell experimentierende SuS.
Sollten die Experimente mit größeren Schülergruppen durchgeführt werden, bietet es sich alternativ an, Natron in einer größeren Packung in der Drogerie zu kaufen. Es findet sich hier bei den Reinigern und Entkalkern in der Putzabteilung oder bei den Nahrungsergänzungsmitteln.

Das Natron wird rührend in Wasser gelöst. Es bedarf ein wenig Geduld, damit sich das Natron peu à peu lösen kann, wobei die Lösung trüb ist und meistens etwas ungelöstes Natron übrigbleibt. Das ist kein Problem.

B2.3 Experiment 3 – Dinner mit Hefe

Im dritten Experiment wird die Gasbildung in einem Zuckerlösung-Hefe-Gemisch näher untersucht und auf die Stoffwechselprozesse von Hefen bezogen.

Hinweise zum Material

Der notwendige PVC-Schlauch mit dem korrekten Innendurchmesser von 10 oder 12 mm ist im Baumarkt erhältlich. Werden die Experimente in größeren Gruppen durchgeführt, lässt sich der Schlauch als Meterware erwerben und entsprechend klein schneiden.

Auch (Blumen-) Draht ist im Baumarkt oder in der Vorweihnachtszeit in Drogerien oder Blumenläden erhältlich.

Als Verschlüsse für die beiden Schlauchteile eignen sich besonders gut Wachspunkte aus der Kerzenabteilung (Drogerie, gut sortierter Supermarkt oder Fachhandel) oder alternativ Korken oder Knetradiergummi.



Abbildung B2.5: Verschiedene Verschluss-Varianten (von links nach rechts: Knetradiergummi, Wachspunkt und Kork)

Schülerinnen und Schüler, die individuell zuhause experimentieren, können versuchen, in der Apotheke nach kleinen Plastikpipetten zu fragen – manchmal bekommt man dort welche umsonst. Andernfalls können vielleicht Plastikpipetten aus der Schule für zuhause ausgeliehen werden. Es wird davon abgeraten, die Lösungen ohne Pipetten in die Gärungssaccharometer zu füllen, da in den meisten Fällen viel daneben läuft.

Trockenhefe ist genauso wie Natron aus Experiment 2 in praktischen kleinen Tütchen in der Backabteilung zu finden. Wer mag, kann auch mit Frischhefe experimentieren: Ein Tütchen Trockenhefe entspricht einem halben Würfel Frischhefe (21 g). Genauso wie die Trockenhefe wird dann auch der halbe Frischhefe-Würfel in handwarmem Leitungswasser suspendiert. Übertreiben Sie es bitte nicht mit der Temperatur des Wassers, denn die beste Aktivität haben Hefen bei ca. 30° C.

Bei dem Zucker handelt es sich um ganz normalen Haushaltszucker.

Tipps zum Bau der Apparatur

Der Bau der beiden Gärungssaccharometer erfordert etwas Fingerspitzengefühl – nur mit adäquaten, stabilen und standfesten Apparaturen lässt sich richtig experimentieren. Die Skizze in der Experimentieranleitung sollte genau beachtet werden.

Der Draht dient dazu, die gebogene Form des Schlauches gut zu stabilisieren. Damit er nicht verrutscht, sollte er auf beiden Seiten 2-3x fest herumgewickelt werden.

Die Wäscheklammern werden wechselseitig befestigt, um die Gärungssaccharometer gut aufstellen zu können.

Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die höhere Schlauchseite der Apparatur absolut luftdicht verschlossen ist. Außerdem muss der Flüssigkeitsstand von außen gut erkennbar sein.

Das selbstgebaute Gärungssaccharometer ist angelehnt an das in Laboren genutzte Gärungssaccharometer nach Einhorn (siehe Abbildung B2.7). Man nutzt dieses zur Bestimmung des Zuckergehalts in Lösungen, z. B. bei Harnuntersuchungen in medizinischen Laboren. Das Volumen an gebildetem Kohlenstoffdioxid lässt sich direkt am Glasgerät ablesen. Die Handhabung und Funktionsweise sind ansonsten analog.

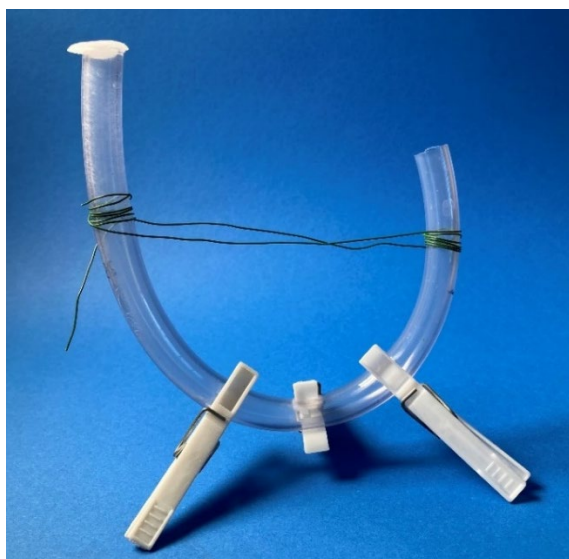


Abbildung B2.6: Selbstgebautes Gärungssaccharometer



Abbildung B2.7: Gärungssaccharometer nach Einhorn

Tipps zum Experimentieren

Mit den Messungen nimmt das Experiment an sich 70-90 Minuten ein. Der Bau und die Vorbereitung der Apparatur sollten also bereits im Vorwege geschehen. Auch empfehlen wir, das Befüllen vorher mit normalem Wasser üben zu lassen, denn es ist nicht ganz einfach.

Die Gemische aus Hefevorkultur und Wasser bzw. Zuckerlösung müssen ordentlich gerührt und nach dem Stehen immer wieder kurz aufgerührt werden. Unten setzt sich schnell etwas ab. Die Hefe sollte gleichmäßig suspendiert werden, sodass keine Brocken mehr enthalten sind.

Am besten wird das Röhrchen beim Befüllen etwas schräg gehalten. Es tritt Luft aus und man muss aufpassen, dass nicht viel Flüssigkeit überläuft. Blockierende Luftblasen müssen mit etwas Geschick im Anschrägen zum Entweichen gebracht werden. Nur wenn zuletzt keinerlei Luft unter dem Verschluss zurückbleibt, werden die unterschiedlich hohen Wasserstände auf der linken und rechten Seite des Röhrchens erreicht.

Die befüllten Gärungssaccharometer stellt man idealerweise in die Nähe einer Heizung oder an ein sonniges Fenster, da die Hefen bei circa 30° C die besten Bedingungen vorfinden. Von wärmeren Temperaturen, wie man sie z. B. an einer geöffneten Ofentür hat, raten wir hingegen ab; diese stören die Stoffwechselprozesse der Hefen empfindlich und führen ab 45° C sogar zum Absterben der Hefen.

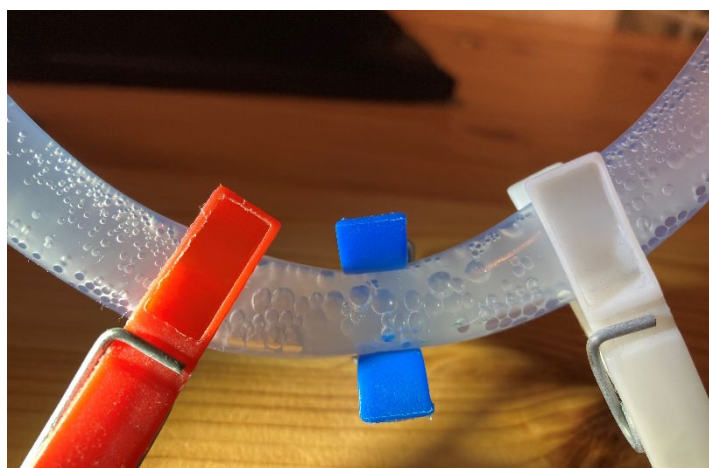


Abbildung B2.8: Bläschenbildung im Zuckerlösung-Hefe-Gemisch

Die Gasentwicklung setzt erst nach über einer halben Stunde ein. Zunächst bilden sich kleine Bläschen. Sie steigen anfangs noch nicht auf, das ist völlig normal. Aber man erkennt, dass der Prozess in Gang gesetzt ist und sich bald eine Gasblase unter dem Verschluss bilden wird. Die Messzeitpunkte sind nun individuell innerhalb einer Stunde auszuwählen und zu dokumentieren.

B3 Theoretische Grundlagen

B3.1 Experiment 1 – Luft ist nicht nichts!

Thermodynamische Grundlagen

Das Experiment 1 nimmt Bezug zur Physik der Gase. Die Theorie der idealen Gase, der spezifischen Gasgesetze und der sich daraus ableitenden idealen Gasgleichung gehören zu den Grundlagen der Thermodynamik.

Ganz allgemein vorweg: Ein Stoff liegt als Gas vor, wenn – auf der Teilchenebene betrachtet – kein fester Teilchenverband mehr vorliegt, sondern seine Teilchen sich in großem Abstand zueinander bewegen und dabei das verfügbare Volumen vollständig und statistisch gleichverteilt ausfüllen. Der gasförmige Zustand ist neben 'flüssig' und 'fest' einer der drei Aggregatzustände. Die Übergänge zwischen den Aggregatzuständen sind abhängig von der Energie.

Betrachten wir einen Luftballon, der in der Sonne liegt. Umso mehr sich der Ballon erwärmt, desto mehr wird er sich ausdehnen. Doch was steckt theoretisch dahinter? Stark vereinfacht lassen sich die Gasteilchen im Ballon als Kugeln vorstellen, die sich frei bewegen und untereinander sowie mit der Außenwand zusammenprallen. Das Modell der idealen Gase legt zugrunde, dass zwischen diesen idealen Punkt-Teilchen weder An- noch Abstoßungskräfte wirken, dass ihr eigenes Volumen vernachlässigt wird und dass einzig die Bewegungsenergie, nicht aber Energie aus Rotation oder Vibration der Teilchen Berücksichtigung findet. Es handelt sich hier also um die hypothetische Betrachtung eines Gases, mit welcher man jedoch die Eigenschaften und das Verhalten der meisten Gase angemessen beschreiben kann.

Historisch wurden die Zustandsgrößen Druck p , Volumen V , Temperatur T und Stoffmenge n von Gasen von diversen Wissenschaftlern bereits ab dem 17. Jahrhundert erforscht. Indem man zwei der Variablen konstant hielt, ließen sich die Zusammenhänge der anderen beiden Variablen untersuchen:

- 1) Bei gleichbleibendem Druck p und Stoffmenge n verhalten sich die Temperatur T und das Volumen V proportional zueinander (Gesetz nach Gay-Lussac). Umso höher die Temperatur ist, desto größer ist also auch das Volumen und anders herum (vgl. die ersten drei Versuchsteile):

$$\frac{T}{V} = \text{konst.}$$

- 2) Bei konstanter Temperatur T und Stoffmenge n ist das Produkt aus Volumen V und Druck p konstant (Gesetz nach Boyle-Mariotte). Umso geringer das Volumen ist, desto häufiger werden die Stöße der Gasteilchen und der Druck erhöht sich (vgl. letzter Versuchsteil) und anders herum:

$$p \times V = \text{konst.}$$

- 3) Bei konstantem Volumen V und Stoffmenge n verhalten sich auch die Temperatur T und der Druck p proportional zueinander (Gesetz von Amontons). Umso höher die Temperatur ist, desto höher ist also auch der Druck und anders herum:

$$\frac{T}{p} = \text{konst.}$$

- 4) Bei gleichbleibendem Druck und Temperatur T sind die Stoffmenge n und das Volumen V proportional zueinander (Satz von Avogadro). Umso höher das Volumen ist, desto höher ist also auch die Stoffmenge und anders herum:

$$\frac{n}{V} = \text{konst.}$$

Aus diesen Erkenntnissen lässt sich der folgende allgemeine Zusammenhang schließen und die universelle Gaskonstante R als konstanter Wert ableiten:

$$\frac{p \times V}{n \times T} = R$$

Die bekannte Form der idealen Gasgleichung ist diese:

$$p \times V = n \times R \times T$$

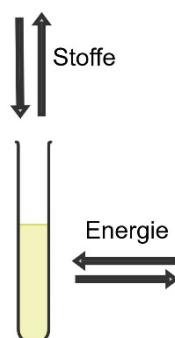
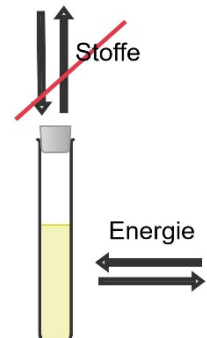
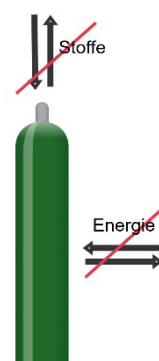
Die Theorie der realen Gase, die insbesondere die Wechselwirkungen unter den Gasteilchen mitberücksichtigt, wird für die Theorie von Experiment 1 nicht benötigt. Sie führt fachlich zu weit.

System-Theorie

Der Bereich der Systemik und Systemtheorie ist transdisziplinär und sehr weit gefasst. Die Wurzel des Systemdenkens geht auf den Biologen Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) zurück. Um 1950 wurde er zum Begründer der „Allgemeinen Systemtheorie“, an die in den folgenden Jahrzehnten viele Theorien in nahezu allen Wissensgebieten anknüpften. Abgelöst wird hiernach die Vorstellung vom Ganzen und seinen Teilen durch eine Vorstellung von Funktionseinheiten, die miteinander in Verbindung stehen, sich gegenseitig beeinflussen und abgrenzbar zu ihrer Umwelt sind. Entscheidend ist die Dynamik der Systeme und ihr komplexes Zusammenspiel.

Ein Verständnis dieser Dynamik ist für uns Menschen essenziell, um die Entwicklung globaler Themen und Herausforderungen nachzuvollziehen und die Auswirkungen unseres Handelns abzuschätzen, zum Beispiel in den Kontexten Umwelt, nachhaltiges Leben, Ökonomie und soziales Miteinander. Die Förderung einer Systemkompetenz bei Schülerinnen und Schülern ist also von weitreichender Bedeutung!

In der Thermodynamik unterscheidet man für die Anwendung der Gesetzmäßigkeiten und näheren Betrachtung der Energieübertragung verschiedene Typen von Systemen. Es handelt sich dabei gewissermaßen um die Definition von Rahmen. Dem 'eingerahmten' Bereich, also System, gegenüber steht die Umgebung. Der Rahmen selbst wird als Systemgrenze bezeichnet.

In einem offenen System ist sowohl Stoff- als auch Energieaustausch möglich. Das System ist zur Umgebung hin offen. z.B.: ein Reagenzglas oder Becherglas  <i>Abbildung B3.1: Darstellung eines offenen Systems</i>	In einem geschlossenen System ist Energieaustausch möglich, hingegen kein Stoffaustausch. Das System ist luftdicht verschlossen. z.B.: Dampfdruckkochtopf, Flasche mit Luftballon aus Experiment 1  <i>Abbildung B3.2: Darstellung eines geschlossenen Systems</i>	In einem isolierten System ist weder Stoff- noch Energieaustausch möglich. z.B.: eine Thermoskanne (jedenfalls idealerweise, wenn sie komplett dicht ist)  <i>Abbildung B3.3: Darstellung eines isolierten Systems</i>
--	---	---

Im Experiment ist das Abdichten der Flasche mit einem Gummi und ggf. zusätzlich mit den Händen derart wichtig, da nur so ein geschlossenes System gegeben ist und die Variablen (Druck bzw. Volumen) wie vorgesehen untersucht werden können.

Luft, das bekannteste Gasgemisch unseres Planeten

Die Hauptkomponenten von Luft sind Stickstoff mit 78,08% und Sauerstoff mit 20,95% Volumenanteil. Bei 25° C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 60% kommt ein Wasserdampfanteil von 1,9% hinzu. Argon ist mit einem Volumenanteil von 0,934% und Kohlenstoffdioxid von 0,04% enthalten, weitere Gase nur in Spuren.

Zur didaktischen Reduktion betrachten wir im Experiment nur die Hauptbestandteile von Luft: Stickstoff und Sauerstoff. Beide Gase bilden zweiatomige Moleküle: N_2 und O_2 .

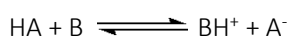
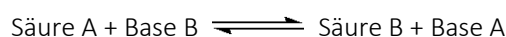
B3.2 Experiment 2 – Farbenspiel

Das Experiment ist klassisch für den Bereich der Säure-Base-Chemie. Als biologischer Kontext wurden die Hortensien als Zeigerpflanzen ausgewählt. In diesem Kapitel werden zunächst also die chemischen Hintergründe und dann das Beispiel der Hortensien biologisch sowie chemisch näher erläutert.

Säuren und Basen in Wasser

Die Erforschung der Säuren und Basen erstreckte sich vom späten 18. Jahrhundert bis in die 1930er Jahre (Lavoisier, Liebig, Arrhenius mit seinem Nobelpreis 1903, Brønsted, Lowry und Lewis). Die heute meistgenutzte Theorie ist die nach Brønsted.

Hiernach sind Reaktionen von Säuren und Basen Protonenübertragungs-Reaktionen. Nach Brønsted sind Säuren Protonendonatoren; sie geben also Protonen ab. Analog dazu sind Basen Protonenakzeptoren; sie nehmen Protonen auf. Beide sind an der Reaktion beteiligt, weshalb man auch von Säure-Base-Reaktionen spricht. Sowohl die Protonenaufnahme als auch die -abgabe sind reversibel, sodass Gleichgewichtsreaktionen der allgemeinen Form vorliegen:

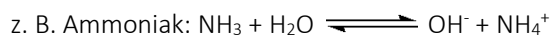
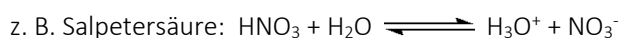


HA: Säure
A⁻: Säurerest-Anion
B: Base
BH⁺: Kation

An der Reaktion sind immer zwei sogenannte konjugierte Säure-Base-Paare beteiligt:



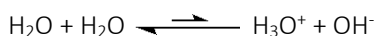
Das Lösen in Wasser bezeichnet man als Dissoziation (lat. *dissociatio* = Trennung). Auch Wasser kann als Protonendonator oder -akzeptor wirken:



Säuren und Basen haben gegensätzliche Qualitäten. Sie bilden in Wasser charakteristische Ionen: Säuren bilden Oxonium-Ionen (H₃O⁺) und Basen bilden Hydroxid-Ionen (OH⁻). Die Ionen sind der Grund für die elektrische Leitfähigkeit wässriger Lösungen aus Säuren und Basen.

pH-Wert

Da Wassermoleküle – je nach Reaktionspartner – als Säure und als Base reagieren, können sie auch in gewissem Maße mit sich selbst reagieren. Dies nennt man Eigendissoziation des Wassers. Das Reaktionsgleichgewicht liegt allerdings sehr weit auf der linken Seite (Edukt-Seite):



Die Konzentration der Oxonium- und Hydroxid-Ionen in wässrigen Lösungen kann als Maß für die Azidität bzw. Basizität einer Lösung herangezogen werden. In neutraler Lösung liegt bei der Eigendissoziation des Wassers eine Konzentration der Oxonium- und Hydroxid-Ionen von jeweils 10⁻⁷ mol/L bei Raumtemperatur vor.

Um die Zehnerpotenzen mit negativem Exponenten zu vereinfachen, führte man ein besser anzuwendendes Maß für die Konzentration ein: Der pH-Wert (lat. *pondus hydrogenii* = Potential des Wasserstoffs) ist der negative dekadische Logarithmus der Oxonium-Ionen-Konzentration:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$\text{z. B. } [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3} \text{ mol/L} \quad \text{also pH} = 3$$

Somit lassen sich alle messbaren Konzentrationen an Oxonium-Ionen in pH-Werte 'übersetzen':

[H ₃ O ⁺]	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁴
pH-Wert	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

- pH-Werte unter 7 sind im sauren Bereich, also im Bereich einer erhöhten H_3O^+ -Ionen-Konzentration. Je niedriger der pH-Wert, desto saurer ist die Lösung.
- Der pH-Wert 7 kennzeichnet den neutralen Punkt. Hier ist das Verhältnis von H_3O^+ - und OH^- -Ionen ausgeglichen.
- pH-Werte über 7 liegen im basischen/alkalischen Bereich, also im Bereich einer erhöhten OH^- -Ionen-Konzentration. Je höher der pH-Wert, desto alkalischer ist die Lösung.

pH-Indikatoren

pH-Indikatoren sind Stoffe, die bestimmte pH-Werte oder pH-Bereiche durch charakteristische Färbungen anzeigen (lat. *indicare* = anzeigen). Die enthaltenen Farbstoffe reagieren im unterschiedlich sauren, neutralen oder alkalischen Milieu, sodass sich ihre erkennbare Farbe ändert. Jeder pH-Indikator hat seine typischen Färbungen und Umschlagbereiche. Der wohl am häufigsten verwendete Indikator ist Universal-Indikator, den es auch in praktischen Test-Streifen gibt.

Besonders alltagsnah als pH-Indikator ist Rotkohlsaft. Der Farbstoffextrakt, den man aus gewöhnlichem Rotkohl gewinnt, zeigt Säuren und Basen sogar sehr differenziert an – sein 'Farbenspiel' ist schön anzusehen (siehe Abbildung B3.4). Das liegt am Anthocyan-Farbstoff des Rotkohls Cyanidin. Das Farbstoffmolekül kann an seinen funktionellen Gruppen im Sauren Protonen aufnehmen und im Basischen Protonen abgeben, sodass sich das sogenannte konjugierte π -Elektronensystem verkürzt oder verlängert und sich das Absorptionsspektrum verschiebt. Daraus resultieren für unsere Augen unterschiedliche Farben.



Abbildung B3.4: Farbspektrum von Rotkohlindikator

(Abbildung mit freundlicher Genehmigung, Thomas Seilnacht, www.seilnacht.com)

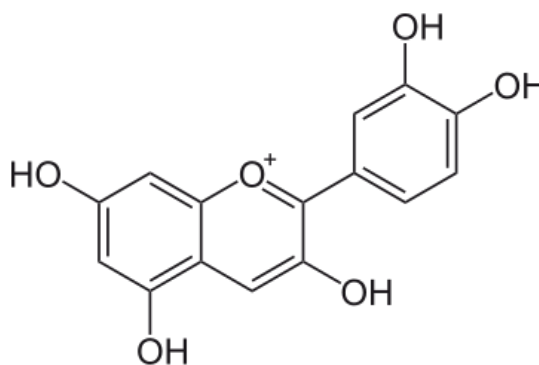


Abbildung B3.5: Strukturformel von Cyanidin (als Kation), der Farbstoff im Rotkohl

Saure und alkalische Lösungen in unserem Alltag

Uns sind sehr viele Stoffe und Produkte bekannt, die sauer oder basisch reagieren (siehe Abbildung B3.6). Aus der Küche kennen wir beispielsweise Essig, Zitronensaft und saure Milch. Sie enthalten Essigsäure, Citronensäure und Milchsäure in stark verdünnter Form.

Demgegenüber stehen typische basische Produkte, z. B. Seifen und Waschmittel mit enthaltenem Natrium- oder Kaliumhydroxid, die in Wasser alkalische Lösungen bilden.

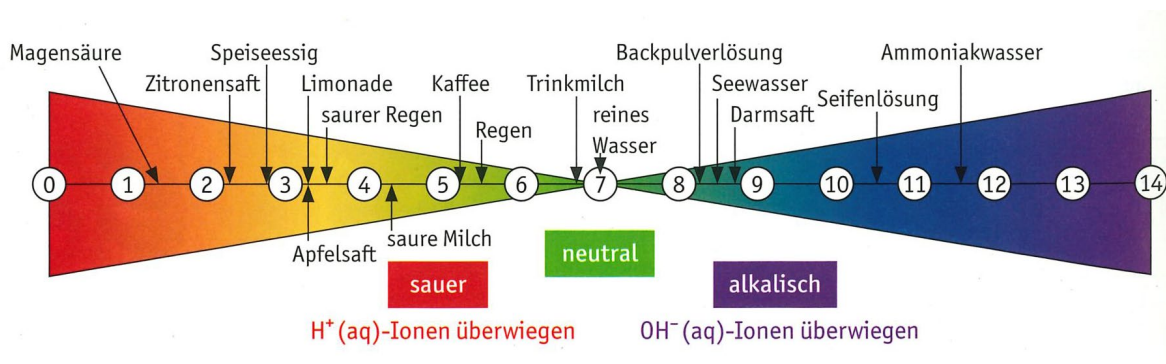


Abbildung B3.6: Beispiele für pH-Werte von Lösungen im Alltag (im Farbverlauf von Universalindikator)

(Abbildung mit freundlicher Genehmigung, Chemie heute – S I Gesamtband (2013). Schroedel)

Der pH-Wert von Wasser

Bei Standardtemperatur hat reines Wasser einen pH-Wert von 7. Es ist die Referenz für den Neutralpunkt, da die Konzentration der Oxonium- und Hydroxid-Ionen ausgeglichen ist (s. o.). Reines Wasser liegt praktisch jedoch nur selten vor, z. B. wird es in der Industrie eingesetzt.

Regenwasser ist hingegen mit einem pH-Wert von circa 5-6 leicht sauer. Aufgrund der menschenverursachten Luftverschmutzung gelangen Säurebildner in die Luft, die das Regenwasser ansäuern. Auch der atmosphärische Kohlenstoffdioxid-Gehalt hat einen Einfluss auf das Regenwasser - selbst wenn dieses unbelastet ist –, denn ein Teil reagiert mit dem Wasser zu Kohlensäure (s. u.).

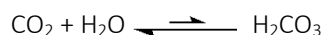


Abbildung B3.7: pH-Werte im deutschen Leitungswasser

(Abbildung mit freundlicher Genehmigung, www.alb-filter.com)

Der pH-Wert von Leitungswasser ist regional sehr unterschiedlich (siehe Abbildung B3.7). Gemäß der aktuellen Trinkwasser-Verordnung muss der pH-Wert des Leitungswassers in Deutschland im Bereich 6,5-9,5 liegen. In den Wasserwerken der regionalen Versorger wird das Wasser in der Regel so aufbereitet, dass der pH-Wert zwischen 7 und 8,5 und möglichst konstant liegt. Genauso wie die Qualität des Leitungswassers wird auch sein pH-Wert strengstens überwacht, denn das Material der Wasserleitungen und die Gesundheit der Menschen stehen auf dem Spiel. Überaus problematisch wäre beispielsweise die Korrosion von Kupferrohren bei zu niedrigen pH-Werten des Leitungswassers.

Mineralwasser gibt es im Handel in den Sorten still, medium und klassisch-sprudelig. Der pH-Wert liegt je nach Sorte bei 5,5-6: Je mehr Sprudel zugesetzt wurde, desto niedriger ist der pH-Wert des Wassers. Das ist auf die sich bildende Kohlensäure zurückzuführen. Es handelt sich um eine Gleichgewichtsreaktion, deren Schwerpunkt massiv auf der linken Seite (Edukt-Seite) liegt. Man beachte, dass nur 0,1 % des in Wasser gelösten Kohlenstoffdioxids zu Kohlensäure reagieren:



Ein geläufiger Fehler ist die Verwechslung von Kohlensäure H_2CO_3 und Kohlenstoffdioxid CO_2 in Wasser. Tatsächlich handelt es sich bei den 'Blubberblasen', die wir als Sprudel verstehen, um physikalisch gelöstes Kohlenstoffdioxid. Das Gas löst sich gut in Wasser und das umso besser unter Druck und bei niedrigen Temperaturen. Aus geöffneten Flaschen und unter Wärme entweichen die Blasen mehr und mehr.

pH-Wert im biologischen Kontext: Hortensien als Zeigerorganismus

Der pH-Wert ist für das Verständnis biologischer Zusammenhänge von entscheidender Relevanz. Die meisten Lebensvorgänge sind auf einen spezifischen pH-Wert angewiesen. Typische Beispiele sind die pH-Werte bei den verschiedenen Verdauungsabläufen, im Blut oder auf der Haut (sogenannter Säureschutzmantel). In der Natur sind Tiere und Pflanzen an einen bestimmten pH-Wert in den Gewässern und Böden angepasst. Ihr Toleranzbereich ist teilweise weiter, teilweise sehr eng gefasst, z. B. kommen verschiedene Fisch-Arten unterschiedlich gut oder schlecht bei pH-Wert-Schwankungen des Wassers zurecht.

Zeigerorganismen oder Bioindikatoren sind Arten, die auf äußere Gegebenheiten spezifisch reagieren, sodass man durch ebendiese bekannte Reaktion Rückschlüsse auf die Umweltbedingungen ziehen kann.

Ein spannendes Beispiel unter den Pflanzen sind Hortensien. Sie sind in vielen heimischen Gärten zu finden und bestechen durch ihre außerordentliche Vielfalt an Arten und Sorten, die oftmals aus Ostasien (Japan, China, Korea) oder aus Nordamerika zu uns gefunden haben. Viele Sorten, insbesondere der Bauern- sowie Tellerhortensien, haben die Besonderheit, dass sie je nach Bodengegebenheit variierende Blütenfarben zwischen blau und rosa aufweisen. Das gilt allerdings nicht für alle Hortensiensorten; z. B. die Bauernhortensie „Masja“ bleibt immer rosafarben.

Erstens muss der Boden für eine Blaufärbung der Blüten ein saures Milieu haben, idealerweise einen pH-Wert von etwa 4,5. Dies erreicht man, indem man die Pflanzen in eine Spezialerde (Hortensien-, Rhododendron- oder Moorbeet-Erde) setzt oder Maßnahmen ergreift, um den pH-Wert sukzessive zu senken, beispielsweise das Ausstreuen von Rasenschnitt oder Kaffeesatz und das Gießen mit Regen- anstatt mit Leitungswasser.

Zweitens müssen im Boden ausreichend Aluminium-Ionen vorhanden sein. Aluminium ist im neutralen Milieu nahezu unlöslich und geht erst im Säuren ($\text{pH} < 6$) in Lösung. Die Aluminium-Ionen werden über die Wurzeln aufgenommen und in die Vakuolen der Zellen transportiert, wo

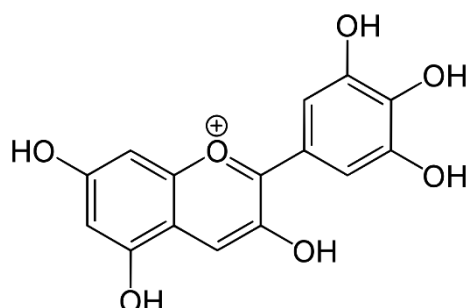


Abbildung B3.8: Strukturformel von Delphinidin (als Kation), der Blüten-Farbstoff von Hortensien

aufgenommen und in die Vakuolen der Zellen transportiert, wo Delphinidin, der Blüten-Farbstoff der Hortensien, vorliegt. Delphinidin gehört wie Cyanidin zur Gruppe der Anthocyan-Farbstoffe. Es hat lediglich eine Hydroxylgruppe (OH-Gruppe) mehr als Cyanidin.

Delphinidin bildet mit den Aluminium-Ionen (alternativ auch mit Eisen(III)-Ionen) dann optisch blau erscheinende Chelatkomplexe (siehe Abbildung B3.9).

Gärtner, die ihre Hortensien gezielt blau färben möchten, nutzen im Gießwasser gelöstes Aluminiumsulfat, z. B. im Handel erhältlich als Hortensienblau.

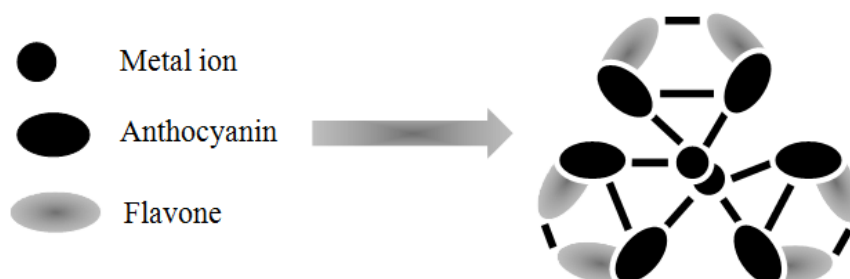


Abbildung B3.9: Veranschaulichung eines blau erscheinenden Chelatkomplexes aus 2 zentralen Metall-Ionen (hier Al^{3+} oder Fe^{3+}), 6 Anthocyan-Farbstoff-Molekülen (hier Delphinidin) und 6 Flavon-Molekülen als Copigmente



Abbildung B3.10: Blaue und rosafarbene Hortensien

(Abbildung mit freundlicher Genehmigung, Thomas Seilnacht, www.seilnacht.com)

Mit sinkendem pH-Wert und verfügbarer Menge an Aluminium-Ionen ändert sich also die Blütenfarbe: von rosa bei $\text{pH} > 7$ hin zu violett-rosa bei $\text{pH} 6,5$ zu blau-rosa bei $\text{pH} 5,5$ zu intensiv blau bei $\text{pH} 4,5$. Die Pflanze muss diese Bedingungen zum Zeitpunkt der Knospenbildung (Sommer-Herbst) und der Blütenbildung (Frühjahr) vorfinden. Die fertig ausgebildeten Blüten färben sich nur noch schwer um.

In einem pH-Bereich von 4-6 finden Hortensien insgesamt die besten Bodenbedingungen vor, auch um Nährstoffe über die Wurzeln aufzunehmen. Dies verschafft ihnen einen Vorteil in der Konkurrenz mit anderen Arten, die ein derart saures Milieu nicht gut vertragen. Ist der pH-Wert hingegen zu niedrig oder zu hoch, zeigen die Hortensien ein schlechtes Wachstum oder gehen ein.

B3.3 Experiment 3 – Dinner mit Hefe

Hefen

Hefen sind einzellige Pilze und gehören dadurch zu den Mikroorganismen. Sie sind in Bezug auf ihre Nahrung und Umweltbedingungen eher anspruchslos und zeigen meist ein schnelles Wachstum (je nach Gegebenheiten und Phase: Verdoppelung der Population in >20 Minuten, siehe auch S. 24). Man kennt heute circa 700 Hefearten mit über 5000 Stämmen, die sehr heterogen sind und manchmal nicht eindeutig differenzierbar von anderen Pilzgruppen. Auch liegt bisher keine verbindlich abgrenzende Definition für Hefen vor, da nicht alle Eigenschaften auf alle Hefen bezogen werden können und gleichzeitig die entsprechenden Eigenschaften nicht nur ihnen eigen sind.

Wenige Hefearten wurden so genau beschrieben wie *Saccharomyces cerevisiae*, die Wein-, Bier- und Bäckerhefe. Dieser Hefepilz hat nicht nur kulturgeschichtlich eine immense Bedeutung (schon frühe Hochkulturen nutzten Hefe für Brot, Wein und Bier), sondern ist heutzutage auch im kommerziellen Sinne in der Herstellung von Nahrungs- und Genussmitteln unverzichtbar. Louis Pasteur forschte in den 1850er und 1860er Jahren an der Hefe, der Hefegärung und der Pasteurisierung, damals vor allem im Kontext des Bierbrauens.

Saccharomyces cerevisiae kann man als Modellorganismus der zellbiologischen, genetischen sowie biochemischen Grundlagenforschung ansehen, denn an ihm wurden grundlegende Prozesse des Lebens aufgeklärt – von Pasteur bis heute. So wie Menschen, Tiere und Pflanzen sind Hefen nämlich **Eukaryoten**, also Lebewesen, deren Zellen einen Zellkern aufweisen. Die zelluläre Ähnlichkeit der Eukaryoten hat den Vorteil, dass wissenschaftliche Erkenntnisse, die man an Hefen aufdeckt, die Forschung an menschlichen, tierischen und pflanzlichen Zellen unterstützen kann. Mit den Hefen kann praktisch im Labor gearbeitet werden und es gibt im Gegensatz zur Forschung mit Tieren und Menschen keine ethischen Bedenken. 1996 wurde dank weltweiter Wissenschaftskooperationen die vollständige Sequenz des Hefegenoms als erstem eukaryotischen Genom veröffentlicht. Zudem wurden bereits mehrere Nobelpreise zu Entdeckungen rund um die Hefe verliehen (u. a. Regulation des Zellzyklus, Funktion des intrazellulären Vesikeltransports). Vielfach wird heute im Kontext der Krebsmedizin geforscht. Außerdem werden Hefen aufgrund ihrer leichten genetischen Modifizierbarkeit in der synthetischen Biologie, der Pharma- und Lebensmittelindustrie gezielt eingesetzt, u. a. für die Herstellung von Hepatitis B-Impfstoff, Insulin-Präparaten, Malaria-Wirkstoff, Geschmacks-, Geruchs- sowie Farbstoffen. Das Potenzial ist riesig.

Saccharomyces cerevisiae wurde im Jahr 2022 von der Vereinigung für Allgemeine und Angewandte Mikrobiologie zur 'Mikrobe des Jahres' gekürt.

Aufbau der Hefezellen

Hefen sind eukaryotische Einzeller, die sich über Knospung/Sprossung vermehren. Sie verfügen über eine typische Kompartimentierung mit den Zellorganellen Zellkern, Vakuole, Mitochondrien, Endoplasmatisches Retikulum, Golgi-Apparat (in Abbildung B3.11 Teil des Endomembransystems), Zellmembran und Zellwand.

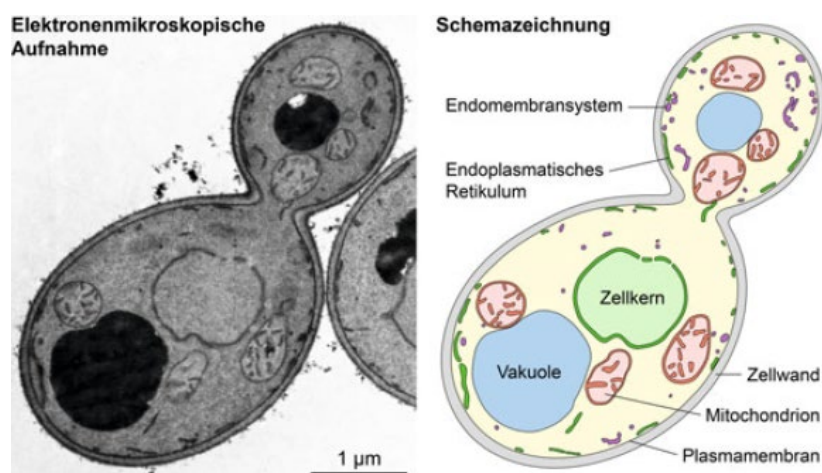


Abbildung B3.11: Eine knospende Hefezelle mit ihren Zellorganellen im Elektronenmikroskop (links) und als Schemazeichnung (rechts)

(Abbildung mit freundlicher Genehmigung, Christina Schug, Universität Bayreuth)

- Im **Zellkern** liegt das Steuerzentrum der Zelle. Ein Großteil der DNA, also der Erbinformation, ist in den Chromosomen im Zellkern gespeichert. Ferner findet die DNA-Replikation und die Transkription (Bildung von mRNA) hauptsächlich im Zellkern statt. Er ist von einer Membran umgeben.
- Die **Vakuole**, die nur in Pflanzen- und Pilzzellen vorkommt, ist aufgrund ihrer relativen Größe sofort in der Zelle erkennbar. Im Grunde ist die Vakuole ein mit Zellsaft gefüllter, membranumgebener Raum. Er dient der Stabilisierung und Festigkeit der Zelle sowie der Einlagerung und dem Abbau von (Gift-)Stoffen.
- **Mitochondrien** treten gehäuft in der eukaryotischen Zelle auf und gelten als „Kraftwerke“ der Zelle. Sie können eine kugelige oder stäbchenförmige Gestalt haben und sind von einer Doppelmembran umgeben. In ihnen laufen räumlich voneinander getrennt die Zellatmung und der Citratzyklus ab. Vereinfacht gesagt werden hier energiereiche Glucose-Bausteine zerlegt und mit Sauerstoff oxidiert. Bei den Prozessen wird Energie in Form von Adenosintriphosphat (ATP) frei, das sowohl gespeichert als auch der Zelle zur Verfügung gestellt werden kann. Darüber hinaus ist ein kleiner Teil der genetischen Information in den Mitochondrien als mitochondriale DNA gespeichert und wird hier repliziert sowie transkribiert. Die Mitochondrien enthalten auch Ribosomen.
- Das **Endoplasmatische Retikulum** (kurz: ER, lat. für 'innerplasmatisches Netzchen') hat seinem Namen entsprechend eine netzartige Membranstruktur. Es ist ein verzweigtes Netzwerk aus Kanälen und Hohlräumen und steht mit der Kern- und Zellmembran in Verbindung. Das ER ist dynamisch; seine Gestalt, Größe und Lage verändern sich kontinuierlich, indem neue Netzstrukturen wachsen und alte abgebaut werden. Durch das ausgedehnte Membran-Netzwerk des ER wird der Stofftransport innerhalb der Zelle ermöglicht. Man unterscheidet:
 - o das raue ER, welches direkt von Ribosomen umgeben ist. Hier findet die Proteinsynthese stattfindet.
 - o und das ribosomfreie glatte ER. Hier werden die Bausteine für die Membranen der Zelle gebildet (v. a. Phospholipide) und in Form von Vesikeln abgeschnürt. Zudem werden Stoffe für die Zelle gespeichert und auch hergestellt (z. B. Hormone).

Fachliche Ergänzung:

Eng zusammen mit dem ER arbeitet der **Golgi-Apparat**. Er hat ebenfalls eine membranartige Gestalt. Flach-gekrümmte Scheiben (Zisternen) sind aufgeschichtet zu sogenannten Dictyosomen. Indem er die Vesikel vom ER annimmt und die enthaltenen Stoffe und Membranbausteine weiterverarbeitet und wiederum in Form von eigenen Vesikeln weiterreicht, fungiert er in der Zelle als Mittler zwischen ER und anderen Organellen, oft der Zellmembran. In der anderen Richtung werden Stoffe zum Abbau oder zur Einlagerung ans ER weitertransportiert. Bei Hefezellen tritt eine besondere Strukturvielfalt des Golgi-Apparats auf; bei *Saccharomyces cerevisiae* ist der Golgi-Apparat in der Zelle stark verteilt und bildet keine typischen Schichten bzw. Stapel.

In eukaryotischen Zellen wird das sogenannte **Endomembransystem** als Name für den Verbund an Organellen angeführt, über die Vesikel zellintern transportiert werden. Dazu gehören insbesondere das ER, der Golgi-Apparat, die Kern- und Zellmembran.

- Die **Zell- oder Plasmamembran** ist die Außenhülle der Zelle und grenzt das Cyto-/Zellplasma, also die Flüssigkeit im Zelleninneren, nach außen hin ab. Sie ist unmittelbar durchlässig für Wasser und ungeladene kleine Teilchen (semipermeabel). Der Stofftransport größerer Teilchen oder Ionen funktioniert hingegen nur über Kanäle innerhalb der Membran.
- Hefezellen haben genauso wie Pflanzenzellen zur zusätzlichen Stabilität noch eine **Zellwand** (menschliche und tierische Zellen haben keine Zellwand). Außerhalb der Zellwand liegt der extrazelluläre Raum.

Vergleich

Die Zelle als Grundeinheit des Lebens erfüllt bei den verschiedenen Gruppen von Lebewesen häufig gleiche Aufgaben und ist in ihrem Aufbau daran angepasst. Trotzdem gibt es keinen Zellaufbau, den alle Lebewesen völlig gemein haben. Zum Beispiel unterscheidet man zwischen Eukaryoten und Prokaryoten (mit und ohne Zellkern).

<u>Bakterienzellen</u>	<u>Pflanzliche Zellen</u>	<u>Tierische Zellen</u>
Bakterien sind genauso wie Hefen Einzeller.	Pflanzliche Zellen kommen in einem Zellverband vor. Sie sind Mehrzeller.	Tierische Zellen kommen in einem Zellverband vor. Sie sind Mehrzeller.
Bakterienzellen haben keinen Zellkern. Sie sind Prokaryoten. Das Bakterienchromosom liegt im Cytoplasma vor.	Pflanzliche Zellen haben einen Zellkern. Sie sind Eukaryoten. Die Chromosomen sind im Zellkern enthalten.	Tierische Zellen haben einen Zellkern. Sie sind Eukaryoten. Die Chromosomen sind im Zellkern enthalten.
Bakterienzellen haben keine membran-begrenzten Zellorganellen (keine Mitochondrien, kein ER, keinen Golgi-Apparat, keine Vakuole).	Pflanzliche Zellen haben genauso wie Hefen eine Zellwand und Vakuolen.	Tierische Zellen haben weder eine Zellwand noch Vakuolen.
Wenn die äußeren Bedingungen sehr schlecht sind, können einige Bakterienarten vorübergehend Sporen bilden, die unter Umständen Jahrzehnte ohne Stoffwechsel überleben können und sich unter besseren Bedingungen wieder zu lebenden Bakterien wandeln können.	Pflanzliche Zellen haben als charakteristische Zellorganellen Plastiden; zum Beispiel Chloroplasten, die insbesondere für die Fotosynthese benötigt werden. Sie wandeln die Energie des Sonnenlichts um und speichern diese.	
An der Oberfläche vieler (nicht aller!) Bakterienzellen findet man Geißeln zur Fortbewegung oder Pili/Fimbrien zur Haftung.		

Grün: Gemeinsamkeiten mit Hefezellen

Rot: Unterschiede zu Hefezellen

Vermehrung der Hefezellen

Die meisten Hefezellen vermehren sich asexuell durch Knospung/Sprossung. Die genaue Dauer der Knospung ist abhängig von den Gegebenheiten. Die Knospe (Tochterzelle) bildet sich als Ausstülpung an einer Stelle der Zellwand der Mutterzelle. Im Rahmen der Zellkernteilung verdoppeln sich die Chromosomenpaare im Zellkern, sodass je ein Paar in den neuen Kern und somit auf die Tochterzelle übergeht. Ist die Tochterzelle groß genug, wird sie von der Mutterzelle abgeschnürt. Sie ist unmittelbar selbst vermehrungsfähig. An der Abschnürungsstelle der Mutterzelle verbleibt eine Narbe.



Abbildung B3.12: Knospung von Hefezellen (3D-Aufnahme)

Hefen vermehren sich auf diesem Wege nur, wenn genügend Nährstoffe in Form von Zuckern, Stickstoffverbindungen und Mineralstoffen verfügbar sind. Eine besonders starke Knospung findet unter aeroben Bedingungen statt, wenn also Sauerstoff vorliegt.

Die ideale Vermehrungstemperatur von *Saccharomyces cerevisiae* beträgt 28° C. Diese Hefepilze sterben ab einer Temperatur von 45° C.

Wachstum einer Hefepopulation

Die Vermehrung von Hefezellen steht im übergeordneten Zusammenhang mit der Veränderung der Gesamtgröße ihrer Population über die Zeit, also mit der Populationsdynamik. Es treten typische Entwicklungsphasen ein, die in einem Wachstumsmodell veranschaulicht werden:

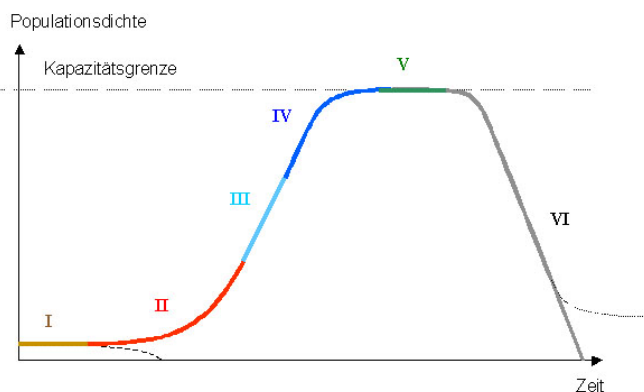


Abbildung B3.13: Entwicklung einer Modellpopulation

- Phase I, die 'Lag-Phase', ist die Anlaufphase, in der die Population nahezu konstant auf ihrem niedrigen Ausgangsniveau bleibt. Die Hefen müssen sich erst noch an das Substratangebot anpassen, ggf. ihren Stoffwechsel umstellen.

- Das Wachstum beginnt aufgrund der günstigen Lebensbedingungen zunächst exponentiell mit der 'Log-Phase' (Phase II). Es kommt zur Massenvermehrung, die im weiteren Verlauf linear weiterverläuft (Phase III). Je näher die Population in Bezug auf die Lebensbedingungen (insbesondere Nährstoffe und Populationsdichte) an die Kapazitätsgrenze gelangt, desto mehr wird das Wachstum ausgebremst (Phase IV).

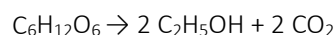
- Es stagniert schließlich auf dem Niveau der Kapazitätsgrenze (Phase V), bevor die Hefezellen angesichts der hohen Ethanolkonzentration aus der alkoholischen Gärung beginnen abzusterben (Phase VI).

Der Stoffwechsel von Hefen

In Experiment 3 wird der Stoffwechsel von Hefen in einem Gärungssaccharometer untersucht. Man unterscheidet die alkoholische Gärung unter anaeroben Bedingungen und die Zellatmung unter aeroben Bedingungen.

- Bei der alkoholischen Gärung setzen die Hefepilze Glucose in zahlreichen Zwischenschritten zu Ethanol und Kohlenstoffdioxid um. Dabei machen sie sich Enzyme zunutze. Die Oxidationsenergie wird in Form von ATP frei bzw. gespeichert. Die beste Temperatur für diesen Vorgang liegt bei 32° C. Stark vereinfacht sieht die Gesamtreaktion wie folgt aus:

Alkoholische Gärung (anaerob): Glucose (Traubenzucker) → Ethanol + Kohlenstoffdioxid



Es handelt sich um eine ganze Reihe komplexer ablaufender chemischer Reaktionen, die man insgesamt auch als anaerobe Glykolyse betitelt. In zehn Reaktionsschritten wird zunächst Glucose zu zwei Molekülen Pyruvat umgesetzt. Es wird Energie gewonnen ($2 \text{ADP} + 2 \text{P}_i \rightarrow 2 \text{ATP}$). Andererseits reagiert das Coenzym NAD^+ zu NADH und H^+ . In der Folge muss dies wieder zu NAD^+ regeneriert werden. Pyruvat wird anaerob decarboxyliert; dabei werden Ethanal und Kohlenstoffdioxid gebildet. Ethanal wird in einem letzten Reaktionsschritt zu Ethanol reduziert:

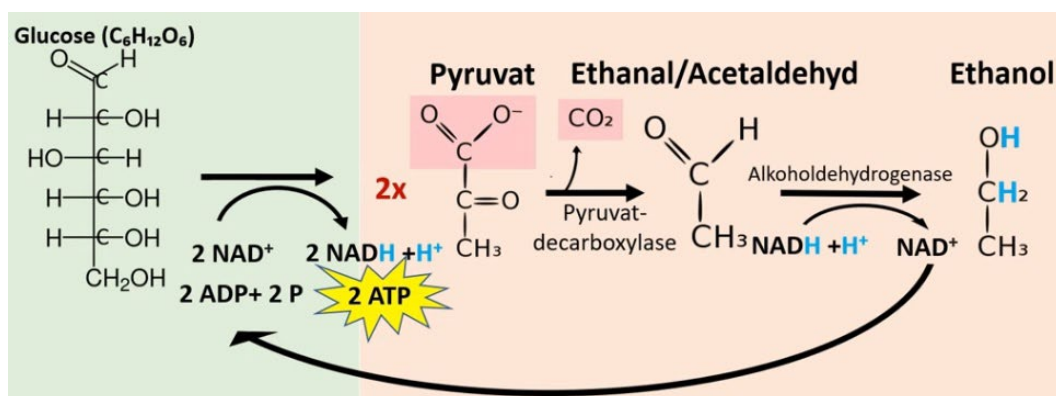


Abbildung B3.14: Alkoholische Gärung, vereinfacht dargestellt

(Abbildung mit freundlicher Genehmigung, Tobias Puley, TeacherToby bei Youtube)

Ist die Glucose verbraucht, können die Hefepilze zur weiteren Vermehrung noch Energie aus der Oxidation des selbsthergestellten Ethanol gewinnen. Bei einer zu hohen Konzentration an Ethanol kommt es allerdings zur Hemmung und dann zum Absterben der Hefepilze, denn Ethanol ist ein Zellgift.

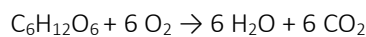
Anmerkung zu Experiment 3:

Wir nutzen beim Experimentieren Haushaltszucker (Saccharose). Saccharose ist ein Zweifachzucker aus α -D-Glucose und β -D-Fructose. Die Hefen verfügen über ein Enzym, welches die Saccharose spalten kann, sodass Glucose folglich verstoffwechselt werden kann.

Langkettige Kohlenhydrate wie Stärke können von den Hefen nicht enzymatisch gespalten werden. Indes kommen im Getreide Amylasen vor, die Stärke in den Zweifachzucker Maltose zerlegen können. Von den Enzymen der Hefe kann dann Maltose wiederum in seine zwei D-Glucose-Bausteine gespalten und anschließend weiter verstoffwechselt werden. Dies ist u. a. entscheidend beim Brotbacken und Bierbrauen.

- Die Zellatmung ist für die Hefen die Form des Stoffwechsels mit dem deutlich höheren Energiegewinn. Liegt Sauerstoff vor, wird deshalb stets dieser Prozess bevorzugt. Die Hefepilze setzen Glucose und Sauerstoff mittels Enzymen zu Wasser und Kohlenstoffdioxid um. Die Gesamtreaktion kann man wie folgt stark vereinfachen:

Zellatmung (aerob): Glucose (Traubenzucker) + Sauerstoff $\rightarrow$ Wasser + Kohlenstoffdioxid



Genauso wie bei der alkoholischen Gärung wird erst ein Glucosemolekül in den zehn selben Reaktionsschritten zu zwei Pyruvat-Molekülen umgesetzt und daraus etwas Energie gewonnen. Im Rahmen dieser aeroben Glykolyse schließt sich nun eine dreistufige Reaktionsfolge an: die Pyruvatoxidation, der Citratzyklus und zuletzt die äußerst energieliefernde Atmungskette, für die alle vorher gebildeten Reduktionsäquivalente der Coenzyme benötigt werden (siehe Abbildung B3.15). Der genaue Ablauf der vielen Teilreaktionen ist äußerst komplex.

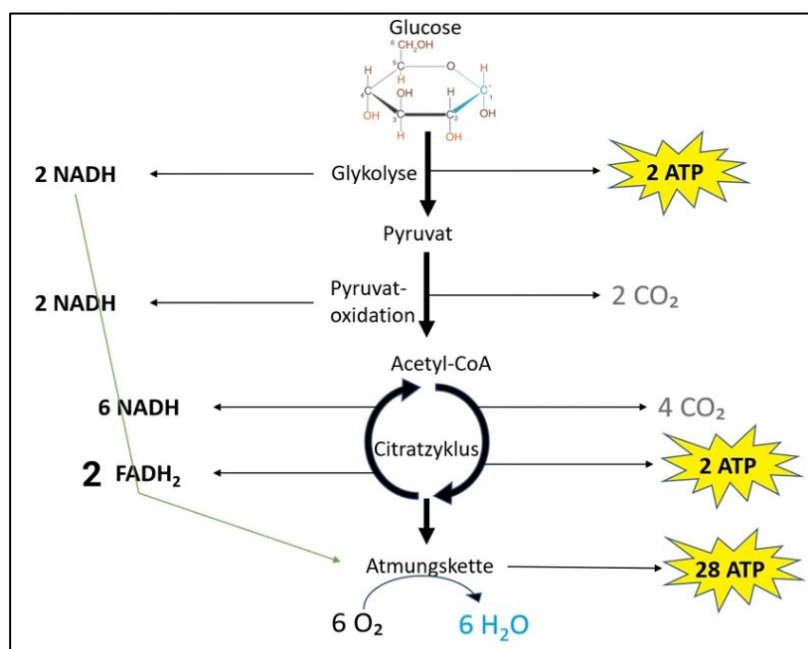


Abbildung B3.15: Zellatmung, vereinfacht dargestellt

(Abbildung mit freundlicher Genehmigung, Tobias Puley, TeacherToby bei Youtube)

Mit den Experimenten und den vertiefenden Fragen der IJSO-Wettbewerbsaufgaben wollen wir Neugierde wecken und forschendes Lernen unterstützen. Beim Experimentieren ergeben sich zwangsläufig Situationen, in denen etwas nicht „funktioniert“, oder das Ergebnis des Experiments von den Erwartungen abweicht. Und schon taucht die erste Frage auf: Woran liegt das? Was muss ich ggf. anders machen?

Auch stößt man immer wieder an Grenzen und stellt fest, dass man eine Frage nicht abschließend beantworten kann, weil Informationen fehlen. Und schon ist man mittendrin im Grübeln, Recherchieren und Planen weiterführender Experimente.

So ging es auch uns im Vorfeld mit der einfachen Frage, wie die Stoffwechselaktivität von Hefen untersucht werden könnte. Wie ließe sich eine entsprechende Apparatur konzipieren und bauen? Verstoffwechseln Hefen nur handelsüblichen Haushaltszucker oder auch Stärke, Honig oder Zuckeraustauschstoffe? Wie stark sind die Hefesuspension und Zuckerlösung zu konzentrieren? Welchen Einfluss hat die Umgebungstemperatur? Über welchen Zeitraum sollte das Experiment durchgeführt werden, um gut auswertbare Ergebnisse zu liefern? Fragen über Fragen!

Weitergehende Versuche können aber auch Erkenntnisse vertiefen oder weitere Aspekte verdeutlichen. Vielleicht lassen sich mit den hier genannten Hinweisen Forscherfragen und neue Projekte entwickeln, die weit über die IJSO-Aufgaben hinausreichen.

Die Neugierde und das Hinterfragen, aber auch den eigenen Antrieb, nicht locker zu lassen und Dingen auf den Grund zu gehen, wollen wir mit den Wettbewerbsaufgaben stärken. Ähnlich wie wir beim Entwickeln der Aufgaben werden die Schülerinnen und Schülern bei der Bearbeitung der Aufgaben über zahlreiche Fragen stolpern. Weil wir diesen Prozess so wichtig finden, bitten wir die Schülerinnen und Schüler jedes Jahr in der letzten Aufgabe zwei Forschungsfragen zu formulieren. Ermutigen und inspirieren Sie Ihre Teilnehmenden, ihren eigenen Fragen nachzugehen. Unterstützen wollen wir damit aber auch Sie, wenn Sie Kinder und Jugendliche in Projekt(wettbewerb)en begleiten wollen und auf der Suche nach geeigneten Themen sind.

Zum Thema Luft ist nicht nichts!

- Könnte man die Luft in der Flasche so stark erhitzen, dass der Luftballon platzt?
- Kann ich die Bestandteile von Luft trennen und nachweisen?

Schülerinnen und Schüler beschäftigt sicherlich die Frage, wie weit man mit diesem Experiment gehen könnte, denn in Youtubevideos oder in spektakulären Experimenten im Fernsehen werden die Versuchsparameter nicht selten ins Extreme gezogen. Natürlich kann diese Frage unter unseren Bedingungen auf keinen Fall praktisch geklärt werden. Indes bietet sich diese Frage gut an, um sie in der Theorie zu diskutieren: Welchen Einfluss hat der äußere Luftdruck auf das System Flasche-Luftballon?

Da die Schülerinnen und Schüler mit den verschiedenen Bestandteilen des Gasgemisches Luft konfrontiert sind, stellt sich die Frage, ob und wie man diese trennen könnte. Es liegt nahe, dass dies möglich ist, aber leider nicht unter unseren Bedingungen, sondern man benötigt dafür ein professionelles Labor bzw. eine industrielle Anlage. Die klassischen Gasnachweise wie die Glimmspanprobe und Kalkwasserprobe ließen sich gut im naturwissenschaftlichen Unterricht unter Lehrkräfteaufsicht durchführen.

Zum Thema Farbenspiel

- Wie färbt sich der Rotkohlsaft bei der Zugabe anderer Testflüssigkeiten (z. B. Zitronensaft, Putzmittel, Waschmittel)?
- Kann ich den rotgefärbten Rotkohlsaft auch wieder blau färben, wenn ich etwas anderes hinzugebe?
- Kann ich Hortensien selber umfärben?

Im Bereich der Säure-Base-Chemie lassen sich viele Stoffe aus unserem Alltag untersuchen. Es finden sich auch Ideen in der Abbildung C1 und weiter oben im Text in der Abbildung B3.6. Es ist unbedingt auf sicheres Experimentieren zu achten! Feststoffe können entweder vorher in Wasser gelöst oder direkt zum Rotkohlsaft gegeben werden und eingerührt werden. Die Farbe der Testflüssigkeit oder -substanz kann die Färbung mit dem Rotkohlsaft beeinflussen, sodass man eventuell kein treffendes Ergebnis erzielt (z. B. bei Cola). Dieses Problem sollte vorher oder nachher gemeinsam reflektiert werden.



Abbildung C1: Gläser mit anderen Alltagsprodukten und Rotkohllindikator
(von links nach rechts: Rotkohlsaft (Kontrolle/'Messlösung'), Zitronensäure, Apfelsaft, Allzweckreiniger, Waschmittel)

Wenn die Schülerinnen und Schüler auf die Idee kommen, Testlösungen durch Hinzugeben von anderen Testlösungen wieder umzufärben, entsteht womöglich ein wichtiger Aha-Effekt bezüglich der pH-Skala und dem Neutralpunkt.

Je mehr man sich mit dem Thema der Hortensien beschäftigt, desto mehr Hortensien entdeckt man in seinem Umfeld. Es wird einem nicht nur die Sortenvielfalt bewusst, sondern auch die vielen verschiedenen Färbungen. Man findet sogar Hortensien, die auf einer Seite der Pflanze rosa und auf der anderen Seite blau gefärbt sind – die lokalen Gegebenheiten der Wurzeln und einzelnen Kanäle innerhalb der Pflanze sind ausschlaggebend. Für die Schülerinnen und Schüler ist es sicher spannend, herauszufinden, ob und wie schnell sie Hortensien umfärben können. Auch wir vom IJSO-Team haben uns viel über Hortensien ausgetauscht und Lust bekommen, privat an unseren Pflanzen herumzuexperimentieren :-). Allerdings lässt sich die Frage nicht allzu schnell beantworten und erfordert Geduld.

Zum Thema Dinner mit Hefe

- Macht es einen Unterschied, wie viel Hefe und wie viel Zucker man verwendet?
- Was würde mit Süßstoff oder anderen Zuckern (z. B. Honig, Stärke etc.) passieren?
- Kann ich Hefezellen unter dem Mikroskop sehen?

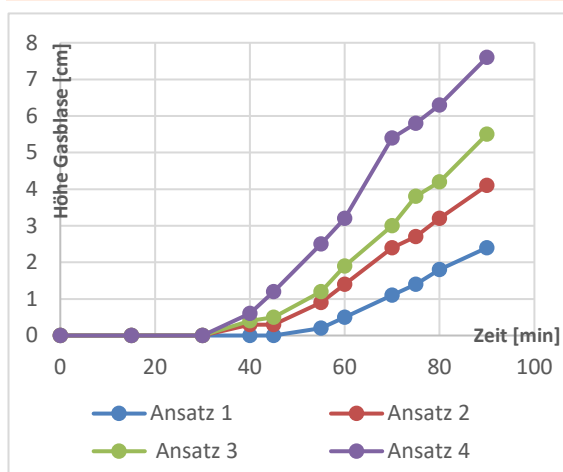


Abbildung C2: Messreihen mit verschiedenen Konzentrationen, beispielhaft:

- Ansatz 1: Hefe konz. + 1 Zuckerwürfel
- Ansatz 2: Hefe konz. + 2 Zuckerwürfel
- Ansatz 3: Hefe hochkonz. + 1 Zuckerwürfel
- Ansatz 4: Hefe hochkonz. + 2 Zuckerwürfel

Es könnten noch weitere Testreihen experimentell aufgenommen werden; und zwar einerseits mit verschiedenen konzentrierten Hefesuspensionen und Zuckerlösungen (logischerweise haben die Konzentrationen einen Einfluss auf das Experiment, siehe Abbildung C2) und andererseits mit alternativen Zuckern oder Zuckeraustauschstoffen.

- Mit Honig kommt es zu einer ähnlich starken Gasbildung wie bei Haushaltszucker. Honig hat einen Zuckeranteil von ca. 80 %, darunter hauptsächlich Glucose und Fructose.
- Mit Stärke kommt es im Zeitrahmen des Experiments zu keiner Gasbildung, da die langkettigen Stärkemoleküle von den Hefeenzymen nicht unmittelbar gespalten werden können.
- Da Süßstoffe chemisch ganz anders aufgebaut sind als Zucker, können sie von den Hefen nicht verstoffwechselt werden und führen daher zu keiner Gasbildung.

Um Experiment 1 und 3 miteinander zu kombinieren, könnte auch das Zuckerlösung-Hefe-Gemisch in eine Flasche gegeben und wiederum mit einem Luftballon verschlossen werden. Danach die Flasche für etwa 1,5 Stunden an einen warmen Ort stellen (siehe Abbildung C3):

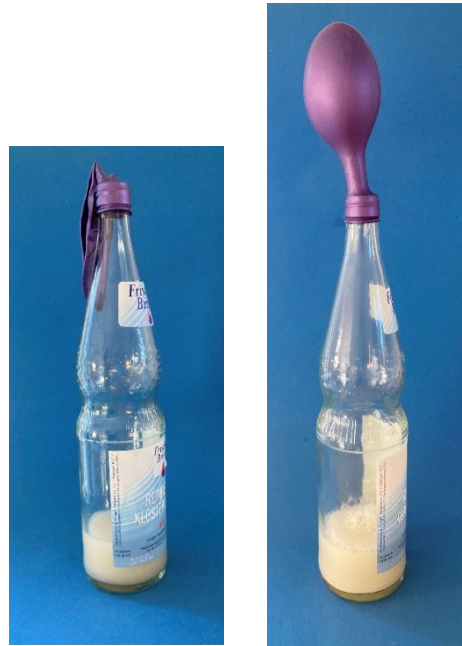


Abbildung C3: Zuckerlösung-Hefe-Gemisch in Flasche (links $t = 0$, rechts $t = 90 \text{ min}$)

Hier läge der Fokus nicht auf der Menge an gebildetem Kohlenstoffdioxid; vielmehr würde die Gasentwicklung mit dem Luftballon lediglich sichtbar gemacht werden. Eventuell ließe sich ein Gasnachweis anschließen: negative Glühspanprobe oder positive Kalkwasserprobe (nur im naturwissenschaftlichen Unterricht unter Lehrkräfteaufsicht möglich).

Hefezellen haben eine Größe von 5-10 Mikrometern und können deshalb unter dem Mikroskop in der Schule sichtbar gemacht werden (übliche Modelle mit 40-400-facher Vergrößerung).

D1 Literatur

Asselborn, W.; Jäckel, M. et al. [Hg.]. (2013) Chemie heute – Sekundarbereich I Gesamtband. Schroedel.
Binnewies, M.; Finze, M. et al. (2016) Allgemeine und anorganische Chemie. Springer Spektrum.
Brown, T. L.; LeMay, H. E.; Bursten, B. E.; Bruice, P. Y. (2013) Chemie für die gymnasiale Oberstufe. Pearson.
Bundesministerium für Gesundheit (2023) Zweite Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung.
Campbell, N. A.; Reece, J. B. et al. (2016) Campbell Biologie – Gymnasiale Oberstufe. Pearson.
Grehn, J.; Krause, J. (2020) Metzler Physik. Westermann.
Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur des Landes Schleswig-Holstein (2022) Fachanforderungen Chemie.
Schäfer, B. (2020) Luft ist nicht nichts. bildung+ science, S. 16-19, Friedrich Verlag GmbH.
Serges Medien (2000) Grundstock des Wissens.
Westermann, B.; Klecker, T. (2022) Hefe *Saccharomyces cerevisiae* – Mikrobe des Jahres 2022. Vom Bierbrauen zur Forschung im 21. Jahrhundert. BIO Spektrum, S. 11-13, Springer. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12268-022-1687-8>.
Wolf, C. (2002) Blüten-Farbstoffe. Universität Bayreuth. Verfügbar unter: <https://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/bluetenfarbstoffe/Bluetenfarbstoffe.pdf>
Zeeck, A.; Grond, S. et al. (2014) Chemie für Mediziner. Urban & Fischer.

D2 Linksammlung

Luft ist nicht nichts!

https://de.wikipedia.org/wiki/Ideales_Gas
<https://systemmagazin.com/ludwig-von-bertalanffy-19-9-1901-2-6-1972/>
https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/nawi.inst.251/Didactics/thermodynamik/INHALT/DEF.HTM

Farbenspiel

<https://www.seilnacht.com/Lexikon/Indikato.htm>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Cyanidin>
<https://chemiezauber.de/inhalt/basic-3-kl-9/rund-um-die-kohlensaure/die-kohlensaure.html>
<https://www.ndr.de/ratgeber/gesundheit/Wie-gesund-ist-Mineralwasser,mineralwasser174.html>
<https://alb-filter.com/blogs/ratgeber/ph-wert-wasser>
<https://www.mein-schoener-garten.de/gartenpraxis/ziergaerten/hortensien-arten-die-grosse-vielfalt-8686>
<https://hortensien.eu/pflege/ph-wert-alaun-co-so-stimmt-die-chemie-1068/>
<https://www.hauert.com/ch-de/angebot/privatkunden/ratgeber/detail/so-bleiben-ihre-hortensien-blau>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Delphinidin>

Dinner mit Hefe

<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/hefen/31015>
<https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/hefe-778>
<https://science.apa.at/power-search/18004758636932088376>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Hefen>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Golgi-Apparat>
<https://www.u-helmich.de/bio/lexikon/E/eukaryoten.html>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Endomembransystem>
<https://www.onmeda.de/krankheiten/krankheitserreger/bakterien/bakterien-aufbau-id200903/>
<https://www.keinsteins-kiste.ch/experiment-gaerung-die-superheldenkraft-der-hefe/>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Backhefe>
<https://www.seilnacht.com/Lexikon/gaerung.html>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Populationsdynamik>

D3 Bildnachweise

Bildnachweis zu Abbildungen B2.1-B2.8:

Foto: S. Schmidt-Gattung, IPN

Bildnachweis zu Abbildungen B3.1-B3.3:

Gestaltung mit Chemix: M. Hänel, IPN

Bildnachweis zu Abbildungen B3.4-B3.15:

B3.4 Abbildung mit freundlicher Genehmigung von Thomas Seilnacht (www.seilnacht.com)

URL: <https://www.seilnacht.com/Lexikon/Indikato.htm>

B3.5 NEUROtiker unter public domain

URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4507983>

B3.6 Abbildung mit freundlicher Genehmigung vom Verlag (Westermanngruppe)

Asselborn, W.; Jäckel, M. et al. [Hg.]. (2013) Chemie heute – Sekundarbereich I Gesamtband. Schroedel, S. 226.

B3.7 Abbildung mit freundlicher Genehmigung von Benjamin Maywald (www.alb-filter.com)

URL: <https://alb-filter.com/blogs/ratgeber/ph-wert-wasser>

B3.8 Yikrazuul unter public domain

URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3834781>

B3.9 Marco Landi: Scientific Figure on ResearchGate (Can Anthocyanins be Part of the Metal Homeostasis Network in Plant? (2015))

URL: https://www.researchgate.net/figure/Tipycal-structure-of-a-Metallo-Anthocyanin-MA-2-metal-ions-6-anthocyanins-and-6_fig2_286442220

B3.10 Abbildung mit freundlicher Genehmigung von Thomas Seilnacht (www.seilnacht.com)

URL: <https://www.seilnacht.com/Lexikon/Indikato.htm>

B3.11 Abbildung mit freundlicher Genehmigung von Benedikt Westermann: Christina Schug, Universität Bayreuth

URL: <https://vaam.de/infoportal-mikrobiologie/mikrobe-des-jahres/kontakt-presse/pressebilder/>

B3.12 Ernesto Del Aguila III, NHGRI/NIH unter public domain

<https://www.flickr.com/photos/nihgov/52705877137>

B3.13 Hati lizenziert unter CC BY-SA 3.0

URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12016322>

B3.14 Abbildung mit freundlicher Genehmigung von Tobias Puley, TeacherToby bei Youtube

Alkoholische Gärung [Gärung, anaerobe Stoffwechselprozesse, 2/2] - [Biologie, Oberstufe]

URL: <https://www.youtube.com/watch?v=1SWrPPZCJJI>

B3.15 Abbildung mit freundlicher Genehmigung von Tobias Puley, TeacherToby bei Youtube

Zellatmung / aerobe Atmung - Überblick & Zusammenfassung [1/6] - [Biologie, Oberstufe]

URL: <https://www.youtube.com/watch?v=bEV3TJTWKis>

Bildnachweis zu Abbildungen C1-C3:

Foto, Diagramm: S. Schmidt-Gattung, IPN