

Stand: 30.10.2019

IJSO 2020 – Alles Tinte!

Lehrerbegleitheft

Zusammengestellt von

Dr. Stephanie Schmidt-Gattung

PD Dr. Heide Peters

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

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 betreuende Lehrkräfte hilfreich sind. Zu jedem Versuch gibt es dann aber weiterführende Informationen, Ideen für weitere Versuche, oder eine weiterführende Beschäftigung mit dem Thema, auch über die Grenzen des Naturwissenschaftlichen Unterrichts hinaus.

Einige Textanteile sind, nur 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 30.10.2019 auf ihre Aktualität geprüft.

Inhalte

Teil A	Förderkonzepte und Tipps zur Wettbewerbsarbeit	05
A0	Allgemeine Hinweise für Wettbewerbsbetreuende	05
A0.1	MINT-Schülerwettbewerbe – den Einstieg leicht gemacht	06
A0.2	Wettbewerbsarbeit in der IJSO	08
Teil B	Betreuung der Experimente	10
B0	Einführung – Beschaffung der Materialien	10
B0.1	Einleitung	10
B0.1	Materialliste mit Erläuterung	10
B1	Experiment 1 – Tintentod	11
B1.1	Praktische Hinweise zur Durchführung	11
	Wie ist ein Tintenkillerstift aufgebaut?	
	Wie öffne ich das Gehäuse des Tintenkillerstifts?	
	Worauf muss ich bei der Herstellung des „Tintenwassers“ achten?	
	Was sollte ich bei der weiteren Durchführung des Experiments beachten?	
B1.2	Hintergrundwissen	12
	Warum ist Füllertinte blau?	
	Wie wird die Tinte unsichtbar?	
	Wie kann ich die Tinte nach dem Löschen wieder sichtbar machen?	
B1.3	Vertiefung - Wer mehr wissen will	13
	Elektromagnetische Wellen	
	Sichtbares Licht und Wahrnehmung von Farben	
	Triphenylmethan-Farbstoffe	
	Fluoreszenz	
	Geheimtinten	
B2	Experiment 2 – Tintendurst	16
B2.1	Praktische Hinweise zur Durchführung	16
	Worauf sollte ich beim Kauf der Blume achten?	
	Wie baue ich den Versuch auf?	
B2.2	Hintergrundwissen	16
	Wie unterscheiden sich Tulpen und Rosen?	
	Wie trinken Pflanzen?	
B2.3	Vertiefung - Wer mehr wissen will	17
	Wie kann Wasser nach oben fließen?	
	Wie kann eine Schnittblume auch ohne Wurzel „überleben“?	

B3	Experiment 3 – Tintentreffen	19
B3.1	Praktische Hinweise zur Durchführung Funktioniert es mit jedem Teller? Worauf sollte ich beim Färben der Zuckerwürfel achten? Vorsicht beim dritten Zuckerwürfel!	19
B3.2	Hintergrundwissen Was passiert mit dem Zucker im Wasser? ...und was ist mit der Tinte?	19
B3.3	Vertiefung - Wer mehr wissen will Wie schnell diffundiert der Zucker?	20
B4	Experiment 4 – Tintenfieber	21
B4.1	Praktische Hinweise zur Durchführung Worauf muss ich beim Bau des Flaschenthermometers achten? Was muss ich bei der Temperaturmessung beachten?	21
B4.2	Hintergrundwissen Wie funktioniert ein Thermometer? Kann man mit Wasser Temperatur messen?	21
B4.3	Vertiefung - Wer mehr wissen will Schlecht für Thermometer, aber gut für Fische	23
B5	Experiment 5 – Tintenschwarz	24
B5.1	Praktische Hinweise zur Durchführung Wie koche ich den starken schwarzen Tee? Wie stelle ich das Eisenpräparat-Pulver her? Wie funktioniert das Tropfen auf ein Filterpapier?	24
B5.2	Hintergrundwissen Was ist Sepia-Tinte? Was ist Eisengallustinte? Wie unterscheiden sich blaue und schwarze Füllertinte?	24
B5.3	Vertiefung - Wer mehr wissen will Tinte beim Tintenfisch	25
Teil C Weiterführende Experimente – Arbeitsblätter		27
C1	Arbeitsblatt zu Experiment 1: Geheimtinte aus Kastanienzweigen	28
C2	Arbeitsblatt zu Experiment 2: Wassertransport in Pflanzen	30
C3	Arbeitsblatt zu Experiment 5: Papierchromatographie	32
Teil D Forscherfragen und Projektarbeit		33
Teil E Quellennachweis		35
E0	Literatur	35
E1	Linksammlung	35
E3	Bildnachweis	36
Anhang Aufgabenblatt 2020		

A0 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 offen stehen, auch wenn einige feststellen, dass sie kein Interesse an einer weiteren Teilnahme haben. Aber dann fußt diese Entscheidung auf einer konkreten Erfahrung und hat ihren eigenen Wert.

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. Auch deshalb zählen in der IJSO nicht nur Einzelleistungen, sondern es gibt 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 finden. 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 und die Inspiration nicht bei den gestellten Fragen stehen zu bleiben, sondern im Verlauf der Bearbeitung eigene Fragen zu entwickeln und ggf. in eigenen Projekten weiter zu vertiefen. Das erfordert ein hohes Maß an selbstständigem Arbeiten, aber auch den Schritt zur Kommunikation mit Experten. Unser Angebot versteht sich auch als Türöffner auf dem Weg zur Vernetzung mit anderen Förderangeboten im MINT-Bereich.

Noch ein Wort in eigener Sache: Die IJSO wurde international in 2004 gegründet. Wir freuen uns, 2020 den internationalen Wettbewerb erstmals im eigenen Land ausrichten zu dürfen. Vom 02. bis 12. Dezember erwarten wir etwa 900 Gäste aus 50 Nationen zur **17th International Junior Science Olympiad** in Frankfurt am Main. Die Wettbewerbsteilnehmenden mögen dies mit einem lachenden und einem weinenden Auge wahrnehmen, da die internationale Reise "nur" nach Frankfurt führt. Aber es bietet allen Freunden der IJSO die Chance, bei diesem Ereignis als Gastgeber mit dabei zu sein und uns bei der Organisation zu unterstützen. Mehr Informationen gibt es unter www.ijso2020.de.

Das vorliegende Begleitheft für Wettbewerbsbetreuende soll Sie in Ihrer Wettbewerbsarbeit unterstützen. Betreuen Sie erstmals in einem Schülerwettbewerb finden Sie in *Teil A* eine ganze Reihe praktischer Tipps zum Einstieg, insbesondere auch zu Förderstrategien und Einbindung der Wettbewerbsarbeit in den Unterricht. Wettbewerbserfahrene können diesen Teil überspringen und finden in *Teil B* zunächst zu jedem Experiment Hinweise zur Beschaffung von Materialien, zur Durchführung, gefolgt von Hintergrundwissen und Anregungen zur Vertiefung, für diejenigen, die mehr wissen wollen. In *Teil C* gibt es Arbeitsblätter zu weiterführenden Experimenten und in *Teil D* Anregungen zu Forscherfragen und Projektarbeiten. Aufgabenblatt und Termine befinden sich im *Anhang*.

A0.1 MINT-Schülerwettbewerbe – den Einstieg leicht gemacht

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 und für Naturwissenschaften begeistern? Schülerinnen und Schüler mit Potenzial fördern? Reizt das sportliche Kräftenessen oder geht es um fachliche Expertise und forschendes Lernen? Soll der Klassenverband durch Teamarbeit gestärkt werden? Je genauer Ihr Förderkonzept gefasst ist, umso leichter fällt die Auswahl.

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 oder beim „Deutschen Bildungsserver“. Die Arbeitsgemeinschaft bundesweiter Schülerwettbewerbe hat Qualitätsstandards entwickelt, zu deren Einhaltung sich ihre Mitgliedswettbewerbe 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 Ihr Wettbewerb 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. So ist die Chance groß, dass der Funke auf die Beteiligten überspringt.

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 Wettbewerbserfolge.

Beginnen Sie früh mit der Wettbewerbsarbeit. Bahnen Sie Wettbewerbsteilnahmen an, indem Sie Wettbewerbsaufgaben aus den Vorjahren in Ihr Unterrichtsangebot aufnehmen. Grundschulkindern, die an die weiterführende Schule wechseln, sind begeisterungsfähig. Nutzen Sie diesen Elan im Sinne einer nachhaltigen Förderung. Stimmen Sie die Kinder vor Beginn auf erfüllbare Erwartungen ein. Vermitteln Sie, dass das Durchhalten und ein Produkt einreichen schon großartige Ergebnisse 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. Wettbewerbserfolge werden mit einem Zeugniseintrag gewürdigt. 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 Schülerwettbewerbe www.bundeswettbewerbe.de/fileadmin/user_upload/agbsw-guteSchuelerwettbewerbe.pdf [Stand: 27.1.2017] und Greiffenstein, J. v. (2007) Wettbewerbe in Konkurrenz. Klett-Themendienst 38(5/2007), S. 7]

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

A0.2 Wettbewerbsarbeit in der IJSO

Teilnahmebedingungen und Registrierung

Am Auswahlwettbewerb zur IJSO 2020 teilnehmen kann, wer eine allgemein- oder berufsbildende deutsche Schule (im Bundesgebiet) besucht und nach dem 31. Dezember 2004 geboren ist (Geburtsjahr 2005 oder jünger). Wer im Rahmen einer Arbeitsgemeinschaft oder im Klassen- bzw. Jahrgangsverband an der IJSO teilnimmt und vor dem 01. Januar 2005 geboren ist, kann maximal an den ersten drei Wettbewerbsrunden teilnehmen und nicht zum Bundesfinale zugelassen werden. Auch an der Hochschule voll immatrikulierte Studierende sind von einer Teilnahme am Bundesfinale ausgeschlossen.

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 und die Namen der am Team beteiligten Schülerinnen und Schüler müssen kenntlich gemacht werden. Jeder Teilnehmende, auch Gruppenmitglieder, müssen sich *einzel*n registrieren. Dafür benötigt jeder Teilnehmende eine eigene gültige E-Mail-Adresse. Betreuen Sie größere Schülergruppen oder jüngere Teilnehmende, empfiehlt es sich, die Anmeldung mit Zustimmung der Erziehungsberechtigten gemeinsam mit den Teilnehmenden vorzunehmen.

Hinweise zur Betreuung und Musterlösung

Mit Ihrer Registrierung als betreuende Lehrkraft sollten Sie neben dem Begleitheft für Betreuende auch die Musterlösung zur Aufgabenrunde erhalten haben. Falls nicht, wenden Sie sich direkt an die Bundesgeschäftsstelle der IJSO. Sie erhalten den Erwartungshorizont bereits zum Wettbewerbsstart, 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.

Legen Sie keinen anderen Termin fest, gilt als Stichtag für die Einreichung der Ausarbeitungen der 15. Januar 2020. Entscheidend für die IJSO-Geschäftsstelle ist der Stichtag für die Online-Übermittlung der Bewertungen zur ersten Wettbewerbsrunde im Februar.

Bewertung und Übermittlung der Ergebnisse

Die Musterlösung mit Erwartungshorizont und Bewertungsschlüssel unterstützt Sie bei der Bewertung der eingereichten Schülersarbeitungen. Ihre Bewertungsergebnisse übermitteln Sie nach Aufforderung ebenfalls online über das Anmeldeportal.

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 informiert und können ihre eigene Platzierung über ein Einloggen im Portal einsehen.

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.

Wieviel 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 lösen werden können.

Wir werden immer wieder von Betreuenden gefragt, wieviel 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 gar davon, Lösungsansätze selbst vorzuschlagen.

Betreuen Sie Wettbewerbsneulinge oder Kinder in der Altersgruppe bis 12 Jahre empfehlen wir in der Regel, die Teilnahme zunächst auf die erste Wettbewerbsrunde zu begrenzen und die Teilnehmenden eine altersangemessene Auswahl von Teilaufgaben bearbeiten zu lassen. Teilen Sie Ihren Teilnehmenden ihr Bewertungsergebnis bezogen auf die maximale Punktezahl mit, die sie in den von Ihnen ausgewählten Aufgabenteilen hätten erreichen können.

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

B0 Einführung – Beschaffung der Materialien

B0.1 Einleitung

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

Für die Versuche werden ein *Tintenkiller* (Experiment 1) sowie *blaue, rote und schwarze Tinte* benötigt. Tintenkiller und Tintenpatronen lassen sich in Schreibwarenabteilungen von Einkaufsmärkten oder Drogerien beschaffen. In kleinen Fässern zu 30 mL gibt es farbige Tinte auch in Schreibwarengeschäften oder Büromärkten. Diese empfehlen sich besonders, wenn Sie größere Schülergruppen betreuen. Beim Öffnen von Tintenpatronen ohne Füllfederhalter muss man entsprechend vorsichtig vorgehen, damit die Tinte nicht herausspritzt. *Tropfpipetten* erhalten Sie einzeln in Apotheken. Manchmal bekommt man sie mit dem Hinweis auf den Verwendungszweck auch kostenlos gestellt. Als *Gefäße* eignen sich kleine Gläser, Messbecher oder wenn vorhanden kleine Bechergläser.

Experiment 2 lässt sich besser mit *Tulpen* durchführen. Die Schnitte sind leichter durchzuführen als bei den festeren Rosenstängeln. Außerdem sind in Tulpen die Leitbündel im ganzen Querschnitt gleichmäßig verteilt, so dass die Farbdifferenzierung während des Experiments deutlicher sichtbar ist. Sollten aber keine Tulpen verfügbar sein, lässt sich das Experiment auch mit *Rosen* durchführen. In jedem Fall sollten möglichst *weißblühende* Blumen verwendet werden, weil nur dort die Tinte gut sichtbar wird. Beim Schneiden z. B. mit einem *Obstmesser* sollten die Jugendlichen beaufsichtigt werden.

Das Experiment 4 ist optimiert auf *Trinkhalme* mit einem Durchmesser von 6 Millimetern. Kleinere oder größere Durchmesser wirken sich auf den Hub der Flüssigkeitssäule aus und können dazu führen, dass die Abstände der Skalierung entweder zu gering werden oder die Länge des überstehenden Trinkhalms nicht ausreicht, um bei Ausdehnung die Flüssigkeitssäule vollständig zu fassen. Als *Knetmasse* zum Abdichten des Thermometers eignet sich am Besten Knetgummi, ein verformbarer Radiergummi, der sich in Schreibwarenabteilungen finden lässt (z. B. Faber-Castell oder anderer Hersteller, ca. 0,99 €-1,89€), aber auch Plastilin aus dem Bastelladen (50 Gramm für ca. 0,90 €). Als *fester Papierstreifen* eignet sich beispielsweise eine linierte Karteikarte (DIN A6), die man mittig teilt.

Zur Herstellung der Tinte in Experiment 5 sollte ein *eisenhaltiges Nahrungsergänzungsmittel* gewählt werden, das nur einen Wirkstoff enthält und auf weitere Inhaltsstoffe verzichtet. Hier eignen sich Präparate wie Eisen Verla, Ferrosanol oder Tardyferon, die in der Apotheke oder in Drogeriemärkten erhältlich sind. Da die Eisenpräparate relativ teuer sind und man nicht viel Material benötigt, lohnt es sich vielleicht im Bekanntenkreis zu fragen, wer aufgrund eines Eisenmangels nicht mehr benötigte Reste an Eisenpräparaten hat und diese zur Verfügung stellen würde.

B0.2 Materialliste mit Erläuterungen

Für alle Experimente werden benötigt:

Tinte (blau, rot, schwarz), Tropfpipette, diverse Gefäße (durchsichtig) in verschiedenen Größen, Leitungswasser

Für die einzelnen Experimente werden benötigt:

Experiment 1: 1 Tintenkiller, Zitronensaft, Haushaltsschere oder anderes geeignetes Werkzeug zum Öffnen des Tintenkillers

Experiment 2: 1-2 Tulpen oder Rosen, 1 Messer, 1 Schneideunterlage

Experiment 3: 1 flacher Teller, Würfelzucker

Experiment 4: 1 Glasflasche (0,5 Liter), 1 Trinkhalm (Durchmesser etwa 6 Millimeter, durchsichtig), fester Papierstreifen (z. B. linierte Karteikarte), 1 Stift zum Markieren, Knetmasse (Plastilin/Knetgummi), Klebeband, Korkenzieher, Schraubenzieher, 1 Thermometer (Messbereich 0-60 Grad Celsius)

Experiment 5: 3 Beutel Schwarztee, 3 Tabletten eines eisenhaltigen Nahrungsergänzungsmittels (z. B. Eisen Verla, Ferrosanol), Filterpapier (z. B. Kaffeefilter, vorzugsweise weiß), 1 Wasserkocher, 1 Teelöffel, 1 Esslöffel, 1 Haarpinsel oder Schreibfeder, Schreibpapier

B1 Experiment 1 - Tintentod

B1.1 Praktische Hinweise zur Durchführung

Wie ist ein Tintenkillerstift aufgebaut?

Der Aufbau eines Tintenlöschstiftes ist in Abb. B1.1. dargestellt: Das Außengehäuse des Tintenlöschstiftes (a) ist ein Plastikrohr aus Polypropylen. In diesem Rohr befinden sich zwei Röhrchen (d) mit je einem weißen



Faservlies mit Löschflüssigkeit und einem blauen Vlies mit Überschreib-tinte. Eine kleine Plastikabdeckung (e) in der Mitte verhindert das Mischen der beiden Flüssigkeiten innerhalb des Stiftes.

An beiden Enden des Gehäuserohres befinden sich zwei Spitzen (b, c), aus denen ein Docht herausragt. Dieser reicht bis in das getränkte Vlies und saugt sich über Kapillarkräfte mit Flüssigkeit voll. Damit der Stift nicht austrocknet, werden Verschlusskap-pen aufgesetzt.

Abb. B1.1 | Aufbau eines Tintenlöschstiftes

Wie öffne ich das Gehäuse des Tintenkillerstifts?

Für Experiment 1 wird das mit Löschflüssigkeit getränkte, weiße Vlies (d) in Abb. B1.1 benötigt. Dafür wird das Gehäuse des Tintenkillerstiftes mit einer robusten Schere oder einem anderen geeigneten Werkzeug geöffnet. Den Schnitt setzt man am besten von der Mitte aus einen Zentimeter näher zur Löschstiftseite an und bricht dann das Gehäuse auf. Wegen Verletzungsgefahr sollten die Schüler*innen bei diesem Arbeitsschritt beaufsichtigt und unterstützt werden. Ebenso ist der Kontakt mit der Löschflüssigkeit zu vermeiden. Neben dem Tragen von Schutzhandschuhen ist es hilfreich, das Vlies an einem Ende mit einer Pinzette festzuhalten, mit einer Schere kleine Stücke abzuschneiden und in ein Glas mit etwas Wasser fallen zu lassen. Mit dem flachen Ende einer Pinzette oder mit einer Gabel lässt sich dann die Flüssigkeit aus dem Vlies pressen.

Worauf muss ich bei der Herstellung des „Tintenwassers“ achten?

Die blaue Tinte für Experiment 1 kann entweder aus normalen Füllerpatronen oder mittels Pipette aus einem Tintenfass entnommen werden. Falls eine größere Schülergruppe das Experiment durchführt, empfiehlt sich auf jeden Fall die Beschaffung eines Tintenfasses.

Um sicherzustellen, dass das Tintenwasser in den Gefäßen 1 bis 3 einheitlich blau gefärbt ist, empfiehlt es sich eine größere Menge Tintenwasser herzustellen und diese nach Umrühren sowie nach einer kurzen Wartezeit von ca. 1 Minute auf die einzelnen Versuchsgefäße zu verteilen. Das Tintenwasser sollte deutlich blau gefärbt, aber noch transparent sein. Nur so kann man im Verlauf des Experiments Entfärbung und Rückfärbung gut beobachten.

Was sollte ich bei der weiteren Durchführung des Experiments beachten?

Nach Zugabe der Tintenlöschflüssigkeit ist kein sofortiger Farbumschlag zu beobachten, der Vorgang der Entfärbung lässt sich über einen Zeitraum von einer Minute gut verfolgen. Zur Wiederherstellung der blauen Farbe eignet sich der Saft einer gepressten Zitrone, aber auch Zitronensaft aus Konzentrat oder Tafelessig.

B1.2 Hintergrundwissen

Warum ist Füllertinte blau?

Am häufigsten werden an Schulen Füllfederhalter mit Tintenpatronen der Farbe Königsblau verwendet. Neben Wasser enthält die Tintenflüssigkeit Zusatzstoffe, die zu einer besseren Haftung auf Papier führen, Konservierungsstoffe sowie Substanzen zum Schutz vor Austrocknen (z. B. Glycerin), vor allem aber auch einen Farbstoff.

Blaue Füllertinte enthält einen synthetischen Farbstoff auf der Basis von Triphenylmethan (vgl. Abb. B1.4). Triphenylmethan besteht aus einem zentralen Kohlenstoffatom mit drei aromatischen Resten. Bei den Farbstoffen (meist kationische Abkömmlinge) liegt eine planare Molekülstruktur vor, in der die π -Elektronen der Doppelbindungen frei beweglich sind. Frei bewegliche Elektronen können in einen "angeregten" bzw. konjugierten Zustand übergehen, wenn sie Licht einer bestimmten Wellenlänge aufnehmen. Licht dieser Wellenlänge fehlt dann im Spektrum des reflektierten Licht, das in das menschliche Auge gelangt. Deshalb sehen wir die Komplementärfarbe zu den absorbierten Farbanteilen, in Fall der Schultinte die Farbe Blau.

Wie wird die Tinte unsichtbar?

Das Verschwinden der Tintenschrift nach dem Überschreiben mit dem Tintenkiller beruht nicht auf einer Zerstörung der Tinte. Der Farbstoff wird nur in eine "farblose Form" überführt, in der die Elektronen nicht mehr frei beweglich sind. Dann können sie keine Lichtenergie spezifischer Wellenlänge absorbieren. Damit fehlt diese auch nicht im Spektrum des reflektierten Lichts. Die Tinte ist damit farblos und der geschriebene Text unsichtbar.

Die Tintenlöschflüssigkeit in einem Tintenkiller enthält neben Wasser und Soda (Natriumcarbonat) ein Reduktionsmittel, das mit dem Tintenfarbstoff reagiert und ihn in eine wasserlösliche "unsichtbare" Form, die sogenannte Leukoform überführt.

Als Reduktionsmittel für blaue Tinte wird häufig Natriumsulfit verwendet. In wässriger Lösung bilden sich Hydrogensulfit-Ion HSO_3^- , die sich an das zentrale Kohlenstoffatom des Tintenfarbstoffs lagern. Das Farbstoffmolekül ist dann räumlich nicht mehr planar angeordnet, sondern pyramidal. In der neuen Struktur sind die Elektronen nicht mehr frei beweglich und das Farbstoffmolekül in dieser veränderten Form nicht sichtbar. Eine weitere Möglichkeit das Tintenfarbstoffmolekül in seine Leukoform zu überführen, ist die Zugabe von Natron (Natriumhydrogencarbonat). In diesem Fall werden in wässriger Lösung OH^- -Ionen an das zentrale Kohlenstoffatom gelagert.

Wie kann ich die Tinte nach dem Löschen wieder sichtbar machen?

Damit der blaue Farbstoff wieder sichtbar wird, muss die Leukoform wieder in die ursprüngliche Farbmolekülstruktur überführt werden. So kann die Entfärbung der Tinte zum Beispiel mit der Zugabe von Zitronensäure teilweise rückgängig gemacht werden. Ein Teil der angelagerten Hydrogensulfit-Ionen HSO_3^- geht wieder in Lösung. Damit wird bei einem Teil der Farbstoffmoleküle die planare Anordnung mit frei beweglichen Elektronen wieder hergestellt. Da es sich um eine Gleichgewichtsreaktion handelt, erfolgt keine vollständige Wiederherstellung der Farbe.

Die Rückumwandlung in eine sichtbare Form kann aber auch durch Aldehyde oder dem Dampf etwa 36 %iger Salzsäure erreicht werden.

B1.3 Vertiefung - Wer mehr wissen will

Wer verstehen will, warum Tinte blau aussieht und durch die Behandlung mit dem Tintenkiller farblos wird, muss wissen, dass Licht eine elektromagnetische Welle ist und Menschen mit dem Auge nur ein bestimmtes Spektrum des von der Sonne ausgestrahlten Lichts sehen und unter bestimmten Bedingungen als farbig wahrnehmen können.

Elektromagnetische Welle

Genau wie bei Radiowellen, Mikrowellen und Röntgenstrahlen handelt es sich bei UV-Licht und sichtbarem Licht um elektromagnetische Wellen. Diese bestehen aus einem oszillierenden elektrischen Feld (E) und einem Magnetfeld (B), das sich mit der konstanten Lichtgeschwindigkeit c im Raum ausbreitet. (Abb. B1.2). Die Schwingungsebenen der Transversalwellen von elektrischem Feld und Magnetfeld stehen senkrecht aufeinander.

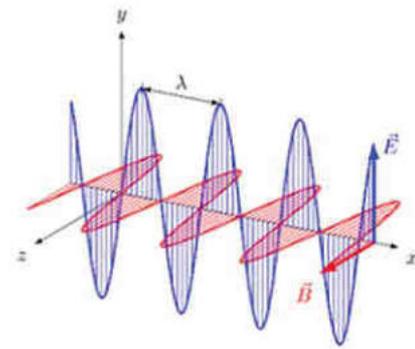


Abb. B1.2 | Elektromagnetisches Feld

Und je höher die Frequenz, umso energiereicher ist die elektromagnetische Welle. Das ergibt sich aus den Vorstellungen der Quantentheorie. Demnach entspricht eine Welle der Frequenz ν einem Photonenstrom, bei dem jedes Photon die Energie $E = h \nu$ besitzt. Dabei ist h , das Plancksche Wirkungsquantum, eine Konstante.

Sichtbares Licht und Wahrnehmung von Farben

Bei Wellenlängen zwischen 400 nm und 700 nm sind elektromagnetische Wellen für das menschliche Auge sichtbar. Die von uns wahrgenommene Farbe hängt vom Spektrum der Wellenlängen ab (siehe Abb. B1.3). Sonnenlicht erscheint durch die additive Farbmischung der verschiedenen Wellenlängen weiß. Werden jedoch bestimmte Wellenlängen aus dem Lichtspektrum absorbiert, so erscheint der Rest des Lichtes in der Komplementärfarbe. Z. B. absorbieren die Chlorophylle in Pflanzen blaues und rotes Licht und wandeln es in Energie um. Der grüne Anteil des Lichtes wird reflektiert, dadurch erscheinen die meisten Pflanzen grün.

Was aber befähigt Moleküle dazu, Licht zu absorbieren? Die Absorption von Photonen geschieht durch die Anregung von Elektronen. Ein Photon trifft dabei auf ein Molekül und bringt ein Elektron durch Abgabe seiner Energie aus einem energetisch günstigeren Zustand in einen Zustand mit höherer Energie. Dazu müssen Moleküle sogenannte Chromophore (vom griechischen Wort für "Farbträger") enthalten.

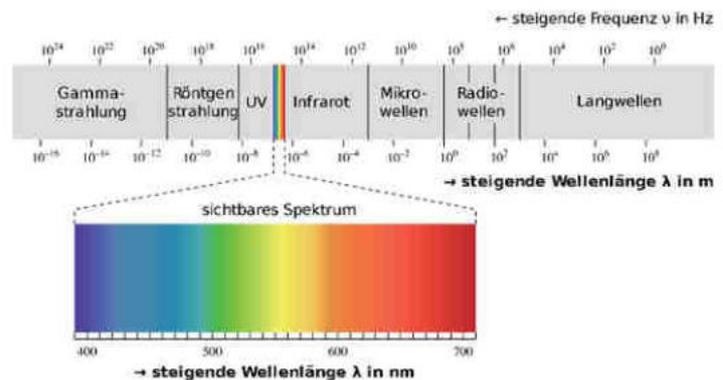


Abb. B1.3 | Die verschiedenen Bereiche des elektromagnetischen Spektrums.

Carbonylgruppen zeigen z.B. eine Absorption bei ca. 290 nm, also im UV-Bereich, weil ein nichtbindendes Elektron aus einem einsamen Elektronenpaar des O-Atoms in ein antibindendes π^* -Orbital angeregt wird. Auch eine C=C-Doppelbindung wirkt als Chromophor, da Photonen die Anregung eines π -Elektrons in ein antibindendes π^* -Orbital bewirken. Bei einer einzelnen C=C-Doppelbindung liegt die Absorption bei 180 nm, also ebenfalls im UV-Bereich.

Damit die Absorption in den für Menschen sichtbaren Bereich fällt, muss sie bei größeren Wellenlängen im Bereich 400 nm bis 700 nm stattfinden. Aus den bereits erwähnten Formeln für die Lichtgeschwindigkeit ($c = \lambda \nu$) und die Energie der Photonen ($E = h \nu$) können wir schließen, dass für die Absorption von größeren Wellenlängen weniger Energie nötig ist, als für die Absorption der kurzwelligeren UV-Strahlung. Es sind somit Elektronen nötig, die durch geringere Energiemengen in das nächsthöhere Orbital angeregt werden können. Das ist z.B. der Fall bei Molekülen, die konjugierte Doppelbindungen enthalten, denn hier liegen die Molekülorbitale energetisch dichter beieinander und es ist weniger Energie nötig, um ein Elektron zu einem ($\pi^* \rightarrow \pi$)-Übergang zu bewegen.

Triphenylmethan-Farbstoffe

Der Farbstoff in blauer Füllertinte basiert auf Triphenylmethan (Abb. B1.4). Zu den Triphenylmethan-Farbstoffen gehören auch Kristallviolett, Fuchsin, Malachitgrün und Fluorescein.

Ihre Strukturformeln samt Wellenlängen ihrer Absorption sind ebenfalls in Abb. B1.4 dargestellt. Triphenylmethan selbst ist farblos. Malachitgrün absorbiert Licht der Wellenlängen 462 nm und 623 nm, also im blauen und im roten Bereich. Deshalb nimmt das menschliche Auge den Farbstoff Malachitgrün, wie der Name schon sagt, als grün wahr.

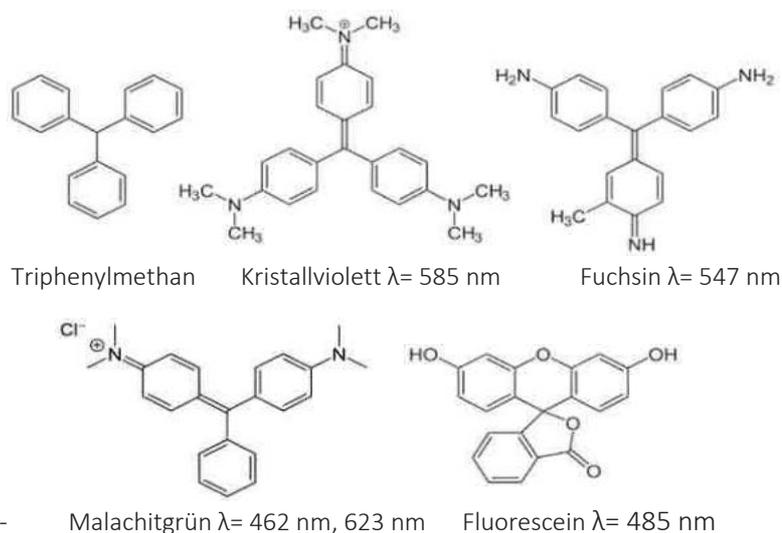


Abb. B1.4 | Strukturformeln verschiedener Triphenylmethan-Farbstoffe.

Der Farbstoff Fluorescein hat eine weitere Besonderheit. Er absorbiert nicht nur Licht einer Wellenlänge von 485 nm, also im blauen Bereich, sondern emittiert auch langwelligeres Licht. Dieses Phänomen nennt man Fluoreszenz.

Fluoreszenz

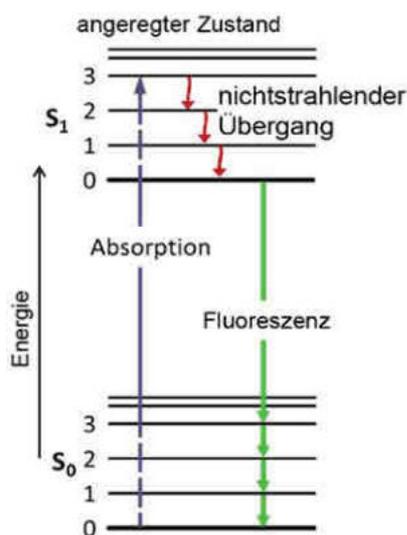


Abb. B1.5 | Anregung eines Elektrons und Schritte, die zu einer Fluoreszenz führen.

Die durch die Energie eines Photons angeregten Elektronen kehren auf unterschiedliche Arten wieder in ihren Grundzustand zurück. Größtenteils geschieht das über strahlungslose Desaktivierung. Dabei geben Elektronen Energie an umgebende Teilchen mit niedrigeren Translations-, Rotations- und Schwingungszuständen ab.

Die Elektronen mancher Moleküle zeigen jedoch eine Desaktivierung durch Strahlung (Abb. B1.5). Dabei gelangt ein Elektron durch die Erzeugung eines Photons wieder in ein Orbital geringerer Energie. Das emittierte Photon hat dabei immer eine geringere Energie als das absorbierte Photon, denn das Elektron gibt einen Teil der aufgenommenen Energie auch in Form strahlungsloser Desaktivierung (Schwingersrelaxation, vgl. Abb. B1.5) ab. Deshalb absorbiert Fluorescein Licht im blauen Bereich und emittiert im grünen Bereich Licht einer energieärmeren, längerwelligen Wellenlänge (max. 514 nm).

Geheimtinten

Geheimtinte klingt nach Rätsel, Geheimnis und Abenteuer und hat daher schon immer Kinder und Jugendliche interessiert. Geheimtinten werden verwendet, um schriftliche Botschaften unsichtbar zu einem Empfänger zu transportieren, der sie wieder sichtbar machen kann. So wissen nur Sender und Empfänger, was in der mit Geheimtinte geschriebenen Botschaft steht. Am Beispiel des Tintenkillers, der zum einen Tinte "löscht", die Tinte aber mit einem Trick wieder sichtbar gemacht werden kann, ist ein Brückenschlag zum Thema Geheimtinten möglich.

So schreibt man beispielsweise eine Botschaft mit blauer Tinte auf Papier und löscht sie hinterher mit einem Tintenkiller. Nachdem das Papier mit der geheimen Botschaft zu seinem Empfänger gelangt ist, kann dieser die Schrift sichtbar machen, indem er sie beispielsweise mit Zitronensäure bestreicht.

Eine weitere Möglichkeit ergibt sich aus der Desaktivierung von angeregten Elektronen durch Strahlung. Moleküle, die Photonen absorbieren und deren Elektronen durch Fluoreszenz wieder in ihren Grundzustand zurückkehren. Wenn man als Farbstoff ein fluoreszierendes Molekül verwendet, das Licht im UV-Bereich absorbiert, wäre der Farbstoff für das menschliche Auge farblos und damit Geschriebenes unsichtbar. Würde dieses Molekül die absorbierte Strahlungsenergie in Form von langwelliger Strahlung wieder abgeben, läge die emittierte Strahlung ggf. im sichtbaren Bereich. Tatsächlich gibt es solche Moleküle. Chinin ist ursprünglich ein aus Chinarinde gewonnenes Malariumittel. Es ist in geringen Mengen auch im Getränk "Bitter Lemon" enthalten. Chinin absorbiert im UV-Bereich und emittiert intensiv hellblaues Licht mit einer maximalen Wellenlänge von 448 nm.

Auch die in Vollwaschmittel enthaltenen Aufheller funktionieren nach diesem Prinzip. Diese Aufheller absorbieren im UV-Bereich und durch die Emission von blauem Licht wirkt die weiße Wäsche in hellem Sonnenlicht und unter Schwarzlicht leuchtend weiß. Zuerst entdeckt wurde dieser Effekt bei einem Extrakt aus der Rinde der Roßkastanie. Das darin enthaltene Esculin absorbiert UV-Licht (367 nm) und emittiert blaues Licht (454 nm).

Im Abschnitt "Teil C Weiterführende Experimente" wird beschrieben, wie aus der Rinde eines Roßkastanienbaumes ein Extrakt hergestellt werden kann, mit dem man auf Papier kaum sichtbar schreiben kann (C2). Hält man das Papier unter UV-Licht, leuchtet die Schrift blau auf und wird gut lesbar. So lässt sich aus einem leicht verfügbaren Naturstoff eine wunderbare Geheimtinte mit einem spannenden Leuchteffekt herstellen.

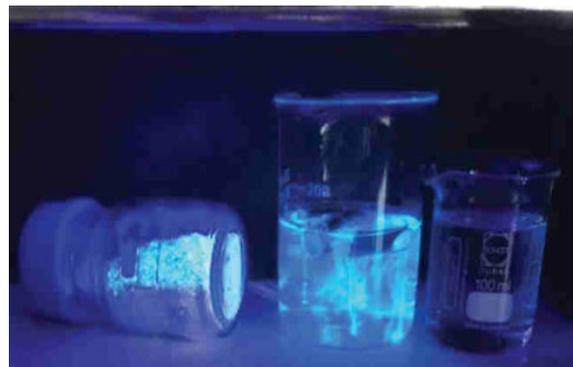


Abb. B1.6 | Blaue Fluoreszenz unter UV-Licht.
Von links nach rechts: Vollwaschmittel mit optischem Aufheller, Rosskastanienzweige in destilliertem Wasser, destilliertes Wasser.

B2 Experiment 2 – Tintendurst

B2.1 Praktische Hinweise zur Durchführung

Worauf sollte ich beim Kauf der Blume achten?

Als Blume eignet sich für das Experiment sowohl eine Tulpe als auch eine Rose. Allerdings ist das Schneiden, vor allem für die Untersuchung der Färbung, bei einer Tulpe etwas einfacher. Tulpen sind ab Dezember in Blumengeschäften erhältlich, Rosen das ganze Jahr über. Wenn eine Rose verwendet wird, sollte beim Kauf darauf geachtet werden, dass der Stängel etwas dicker ist und sich auch Blätter daran befinden.

Wie baue ich den Versuch auf?

Die Blume muss frisch angeschnitten werden, bevor sie in das Tintenwasser gestellt wird. Die Färbung des Tintenwassers in Experiment 2 muss deutlich intensiver sein als in Experiment 1 (vgl. Abb. B2.1), damit der Farbstoff auch in den Blättern noch gut zu erkennen ist.

Es sollten Gefäße benutzt werden, die dicht nebeneinander stehen können. Beim Einschneiden des Stängels muss darauf geachtet werden, dass der Schnitt mittig verläuft. Falls nur hochwandige Gefäße zur Verfügung stehen, muss der Schnitt über den Gefäßrand so weit fortgeführt werden, dass die Stängelhälften beim Hineinstellen in die Gefäße nicht brechen.

Damit die Blume im Verlauf des Experiments nicht kippt, kann sie z.B. in eine Fensterecke oder an eine geflüßte Wand gelehnt werden oder auch mit etwas Klebstreifen befestigt werden. Bereits nach wenigen Stunden kann man die Färbung in den unteren Blättern erkennen und am nächsten Tag sollte die Blume bis in die Leitbündel der Blütenblätter gefärbt sein.



Abb. B2.1 | Versuchsaufbau zu Experiment 2 "Tintendurst".

B2.2 Hintergrundwissen

Wie unterscheiden sich Tulpen und Rosen?

Unsere heutigen Blütenpflanzen gehören zu den bedecktsamigen Pflanzen (Angiospermen). Diese unterteilen sich in einkeimblättrige Pflanzen (Monokotyledonen) und zweikeimblättrige Pflanzen (Dikotyledonen). Zu den einkeimblättrigen Pflanzen zählen z. B. die Süßgräser und die Familie der Lilienartigen, zu der auch die Tulpe gehört. Dagegen gehören die Familie der Nelkenartigen, der Asterartigen und die Rosiden mit der Rose zu den zweikeimblättrigen Pflanzen.

Die beiden Gruppen unterscheiden sich nicht nur durch die Anzahl ihrer Keimblätter, sondern unter anderem auch durch die Verteilung ihrer Leitbündel im Sproß. Bei den einkeimblättrigen Pflanzen sind die Leitbündel über den ganzen Sprossquerschnitt gleichmäßig verteilt, während die Leitbündel der zweikeimblättrigen Pflanzen am Rand der Sprossachse liegen. Sie bilden eine Röhre, die auch zur Festigkeit des Stängels beiträgt. Im Querschnitt erscheinen die Leitbündel in einem Ring. Die unterschiedliche Verteilung der Leitbündel setzt sich in den Blättern fort. Bei den Monokotyledonen zeigt sich eine parallele Blattaderung mit Leitbündeln, während sich bei den Dikotyledonen eine netzartige Blattaderung ausbildet (Abb. B2.2).



Abb. B2.2 | Blattaderungen bei einkeimblättrigen (oben) und zweikeimblättrigen Pflanzen (unten).

Wie trinken Pflanzen?

Pflanzen brauchen Wasser, das ist klar, sonst vertrocknen sie. Aufgenommen wird es im Normalfall über die Wurzeln. Aber wie geht das bei Schnittblumen und so, dass alle Pflanzenteile versorgt werden? Pflanzen enthalten Leitgewebe, das dem Ferntransport dient und zu Strängen zusammengefaßt ist. Diese sogenannten Leitbündel enthalten zwei Gewebekomplexe mit unterschiedlichen Aufgaben, das Phloem und das Xylem. Das Phloem ist für den Export von Assimilaten aus den Blättern und deren Verteilung in der Pflanze verantwortlich. Das Xylem dient dem Transport von Wasser und Nährsalzen. Außerdem können ausnahmsweise Zucker oder Aminosäuren im Xylem transportiert werden.

Der Ferntransport von Wasser im Xylem geschieht über Tracheen und Tracheiden. Tracheen entstehen durch die Fusion mehrerer Zellen. Die Querwände zwischen den Zellen werden aufgelöst, wodurch eine lange Röhre entsteht. Im funktionsfähigen Zustand haben die Tracheen keinen Protoplasten mehr, es handelt sich um tote Gebilde. Auch Tracheiden sind tote Gebilde. Allerdings handelt es sich bei ihnen um spindelförmige Zellen, die über viele Tüpfel in den Zellwänden miteinander verbunden sind. Tüpfel sind Stellen, an denen die sekundäre Verdickung der Zellwand unterblieben ist. Benachbarte Zellen werden so nur durch die Mittellamelle und die Primärwand voneinander getrennt.

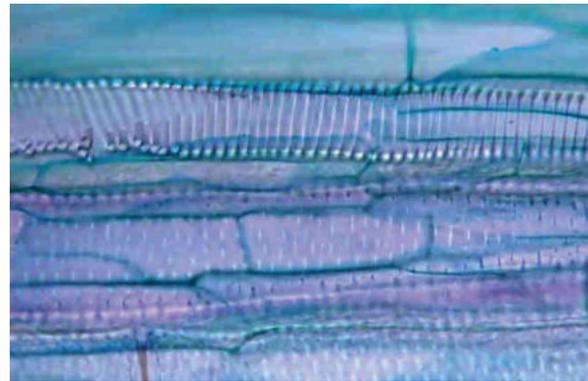


Abb. B2.3 | Mikroskopisches Bild des Stängels von *Alliaria petiolata* (Knoblauchsrauke). Oben quer Ringtrachee.

Die Zellwand ist außerdem von siebartigen Plasmodesmen-Feldern durchbrochen, um den stofflichen Austausch zwischen den Zellen zu ermöglichen. Das dadurch entstehende plasmatische Kontinuum, das über mehrere Zellen hinweg besteht, wird als Symplast bezeichnet. Da die Zellen der Tracheiden vor Erreichen ihrer Funktionalität einen programmierten Zelltod (Apoptose) durchlaufen, bleiben hier nur die dünnen Primärwände in den Tüpfeln als Barriere übrig. Wasser und gelöste Mineralsalze können dadurch rasch von einer Zelle in die Nächste gelangen. Die Tüpfel in den Wänden der Leitelemente ermöglichen ein Übertreten von Wasser auch in benachbarte Leitbahnen.

B2.3 Vertiefung - Wer mehr wissen will

Wie kann Wasser nach oben fließen?

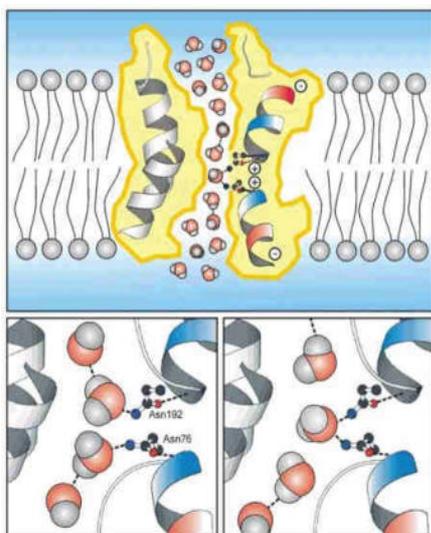


Abb. B2.4 | Wasserdurchtritt durch einen Aquaporin-Kanal.

Zwar wissen wir jetzt, auf welchen Wegen sich Wasser durch die Pflanze bewegt, aber noch ist nicht geklärt, wie das Wasser entgegen der Schwerkraft "nach oben fließen" kann. Der Schlüssel dafür liegt bei Osmose, Aquaporinen und Verdunstung.

Im Normalfall nimmt die Pflanze Wasser über die Wurzel aus dem Boden auf. Die Epidermis der Wurzel kommt im Boden zuerst mit dem Wasser in Berührung. Viele der Epidermiszellen entwickeln lange, zarte Wurzelhaare, die die Wurzeloberfläche enorm vergrößern. Diese Wurzelhaare dringen in die Spalten zwischen den Bodenpartikeln ein und nehmen aus diesen engen und verwinkelten Zwischenräumen Ionen und Wasser auf. Dieser Prozess wird durch Osmose gesteuert.

Zur Erleichterung des Wassertransports über die Zellmembranen sind in der Plasmamembran von vielen Pflanzenzellen sogenannte Aquaporine enthalten. Das sind membranständige Proteine, die Kanäle durch die Membran bilden. Durch sie können Wassermoleküle entlang eines osmotischen Gradienten hindurchtreten (Abb. B2.4).

Von den Epidermiszellen gelangt das Wasser in radialer Richtung weiter - sowohl zwischen den Zellen (apoplastisch) als auch durch die Zellen (symplastisch) -, bis es am Caspary-Streifen auf den symplastischen Weg gezwungen wird. Im Caspary-Streifen wird eine Bewegung von Wasser und Ionen durch die Räume des Apoplasten zwischen den Endodermiszellen verhindert, da eine hydrophobe Schicht zwischen den Zellen wie eine Dichtung wirkt.

Auf dem symplastischen Weg gelangen die Wassermoleküle durch die Endodermis und in den Zentralzylinder der Wurzel, indem sich das Xylem befindet. Durch das Xylem gelangt das Wasser den Stängel hinauf bis in die Blätter, wo es auf apoplastischem und symplastischem Weg in die Zellen des Mesophylls gelangt, bis es aus den Interzellularräumen über die Spaltöffnungen des Blattes (Stomata) verdunstet.

Wie kann eine Schnittblume auch ohne Wurzel "überleben"?

Der physikalische Vorgang, durch den Wasser durch eine Pflanze gelangt, ist größtenteils passiv und verbraucht keine Energie. Durch die Verdunstung von Wasser aus den Blättern (Transpiration) baut sich in den Blättern ein Sog ("negativer Wasserdruck") auf. Dieser Transpirationssog setzt sich aufgrund der Kohäsion der Wassermoleküle in der Wasserleitung fort. Die Kohäsionskräfte resultieren aus Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Wassermolekülen.

Durch die Kohäsionskraft ist es möglich, dass Wasser in durchgehenden, langen, dünnen Säulen von den Wurzeln bis in die Blätter gesogen wird. Es existiert zwar auch ein osmotisch bedingter Wurzelndruck, aber hauptsächlich verantwortlich für den Wassertransport zu den Blättern ist der beschriebene Transpirations-Kohäsions-Saugspannungs-Mechanismus.

Nun wird auch klar, warum Schnittblumen in der mit Wasser gefüllten Vase auch ohne Wurzel weiter mit Nährstoffen versorgt werden können. Solange die Wassersäule im Xylem nicht unterbrochen wird, sorgt der Transpirationssog dafür, dass über den Stängel Wasser aufgenommen wird. Damit die Wassersäule im Xylem nicht abreißt, müssen Stängel frisch angeschnitten werden, bevor sie in die Vase gestellt werden.

B3 Experiment 3 – Tintentreffen

B3.1 Praktische Hinweise zur Durchführung

Funktioniert es mit jedem Teller?

Der zu verwendende Teller sollte einen leicht erhöhten, flachen Rand besitzen. Zum einen kann er dann mit Wasser befüllt werden, ohne dass er sofort überläuft. Zum anderen bietet ein leicht erhöhter Rand auch eine Ablagemöglichkeit für die Zuckerwürfel.

Worauf sollte ich beim Färben der Zuckerwürfel achten?

Da ein Zuckerwürfel sich aufzulösen beginnt, sobald er mit Tintenlösung getränkt wird, sollte er nach dem Einfärben möglichst umgehend in das Wasser gesetzt werden. Am besten funktioniert das, wenn man die ersten beiden Zuckerwürfel auf den Rand des Tellers setzt, sie nahezu gleichzeitig mit Tinte betropft und dann beide sofort nahe dem Tellerrand ins Wasser setzt. Dabei sollte möglichst wenig Bewegung ins Wasser gebracht werden. Wer es vermeiden will, seine Finger durch die Tinte zu verfärben, kann versuchen die Zuckerwürfel mit Pinzetten ins Wasser zu transferieren.

Vorsicht beim dritten Zuckerwürfel!

Ausgehend von den Zuckerwürfeln verteilen sich die Farbstoffe im Wasser, bis die Farbfronten aufeinander treffen und schließlich die gesamte Flüssigkeit im Teller gefärbt ist (siehe Abb. B3.1). Nun setzt man einen dritten ungefärbten Zuckerwürfel auf die Grenze, so dass je ein Teil des Zuckerwürfels in die eine bzw. die andere gefärbte Flüssigkeit eintaucht. Dabei muss man darauf achten, möglichst wenig Bewegung in das Wasser zu bringen, damit der weitere Konzentrationsausgleich nicht durch Turbulenzen gestört wird, die der Experimentierende selbst verursacht.

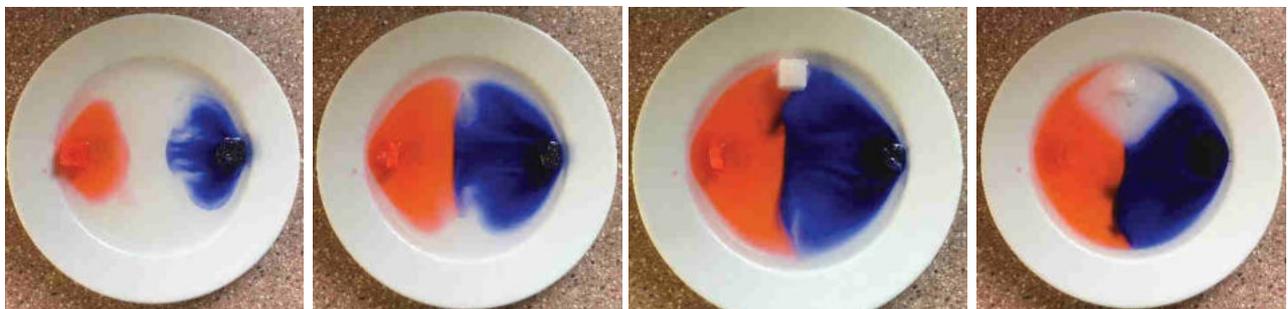


Abb. B3.1 | Experiment "Tintentreffen"

B3.2 Hintergrundwissen

Was passiert mit dem Zucker im Wasser?

Ein Zuckerwürfel besteht aus vielen kleinen Saccharose-Kristallen die erst angefeuchtet und dann in Würfelform gebracht und getrocknet wurden. Saccharose ist ein Disaccharid, dessen Dimere jeweils aus einem Molekül Fructose und einem Molekül Glucose mit einer α, β -1,2-glycosidischen Bindung bestehen. Wenn man einen Zuckerwürfel in Wasser setzt, saugt er sich mit Flüssigkeit voll und die Saccharose-Kristalle lösen sich. Das Lösen ist ein physikalischer Prozess und kein chemischer, denn es findet keine Stoffumwandlung statt. Eine Lösung ist ein homogenes Gemisch aus mindestens zwei Stoffen, von denen einer fest, gasförmig oder flüssig sein kann und der andere, das Lösungsmittel, meist flüssig ist.

Die Löslichkeit eines Stoffes in einem anderen ist häufig begrenzt. Wird diese Grenze erreicht, spricht man von einer gesättigten Lösung. Dann gehen genauso viele Teilchen in Lösung wie aus der Lösung kristallisieren. Bei einer Temperatur von 20 Grad Celsius lassen sich in einem Liter Wasser maximal knapp zwei Kilogramm Zucker lösen.

Die im Wasser gelösten Zuckermoleküle bewegen sich ungerichtet aufgrund ihrer thermischen Energie. Dabei stoßen sie zufällig mit anderen Teilchen zusammen und ändern ihre Richtung. Dies wird als Brownsche Molekularbewegung bezeichnet. Auf dieser beruht auch die Diffusion, die zu einem Ausgleich von Konzentrationsunterschieden ohne äußere Einwirkung führt. Diffusion kommt dadurch zustande, dass es in Bereichen mit geringerer Teilchendichte seltener zu Zusammenstößen kommt und sich die Teilchen deshalb statistisch länger in Richtung der geringeren Konzentration bewegen und sich dadurch ausbreiten.

...und was ist mit der Tinte?

Auch Tintenmoleküle diffundieren und verteilen sich in Wasser. Da die Diffusionsgeschwindigkeit von Zucker aber höher ist, reißen die Zuckermoleküle die Tintenmoleküle mit. Die Farben der Tintenmoleküle machen die Diffusion von Zucker für unser Auge sichtbar. Beim Versuch "Tintentreffen" passiert somit folgendes:

Die Moleküle der Zuckerwürfel lösen sich im Wasser und diffundieren in Richtung geringerer Zuckerkonzentration (siehe Abb. B3.1). Die Farbstoffmoleküle werden von den Zuckermolekülen transportiert. Blaue und rote Farbfront haben die gleiche Zuckerkonzentration. Wenn sie aufeinandertreffen, gibt es zwischen ihnen praktisch kein Konzentrationsgefälle. Deshalb mischen sich blaue und rote Farbmoleküle nur langsam und man beobachtet zunächst eine scharfe Grenze zwischen den beiden Farbbereichen. Wird der dritte, ungefärbte Zuckerwürfel in den Teller gestellt, liegt nun an dieser Stelle die höchste Konzentration an Zuckermolekülen vor. Bei ihrer Diffusion "schieben" diese sogar Farbstoffmoleküle wieder zurück und es entsteht wieder ein ungefärbter Bereich auf dem Teller (siehe Abb. B3.1).

B3.3 Vertiefung - Wer mehr wissen will

Wie schnell diffundiert der Zucker?

Im Abschnitt oben wurde beschrieben, dass die Zuckermoleküle eine höhere Diffusionsgeschwindigkeit als die Tintenmoleküle haben. Aber was ist denn Diffusionsgeschwindigkeit und wann diffundieren Teilchen schneller oder langsamer? Der Begriff "Diffusionsgeschwindigkeit" ist dabei vielleicht etwas irreführend.

Denn sie wird nicht, wie die Geschwindigkeit eines Autos oder eines geworfenen Balles, in Metern pro Sekunde gemessen. Diffusion ist ein Netto-Teilchenstrom durch eine gedachte Referenzebene zwischen einem Bereich mit höherer Konzentration und einem Bereich mit niedrigerer Konzentration (vgl. Abb. B3.2). Die Einheit der Diffusionsgeschwindigkeit ist $[\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}]$.

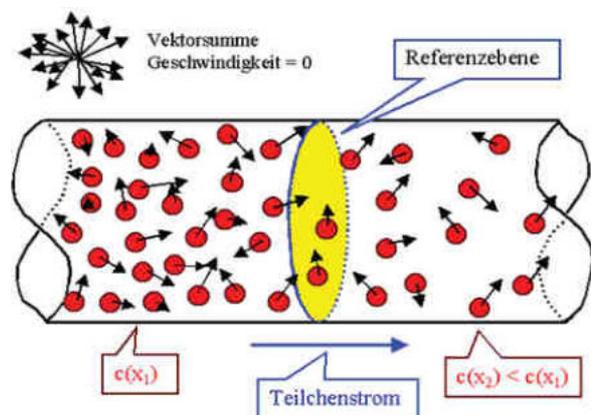


Abb. B3.2 | Darstellung der Diffusion als Teilchenstrom.

Es ist gut nachvollziehbar, dass sowohl innere als auch äußere Faktoren einen Einfluss auf die thermische Energie haben und damit die Diffusion beeinflussen. Für die Diffusionsgeschwindigkeit v_D und die Diffusionskonstante D gelten folgende Zusammenhänge:

$$v_D = -D (\Delta c / \Delta x) \quad \text{und} \quad D = k T / (r \eta)$$

Demnach ist die Diffusionsgeschwindigkeit v_D proportional zum Konzentrationsunterschied Δc und umgekehrt proportional zu der zu überwindenden Strecke Δx . Außerdem sind die Diffusionskonstante D und damit auch die Diffusionsgeschwindigkeit v_D abhängig von der Temperatur T , dem Radius des Teilchens r und der Viskosität des Mediums η . Bei höheren Temperaturen ist die Beweglichkeit der Teilchen größer und entsprechend die Diffusionsgeschwindigkeit höher. Ein größerer Radius r der diffundierenden Teilchen verringert die Diffusionsgeschwindigkeit, da es häufiger zu Zusammenstößen kommt und die Bewegung bremst. Eine höhere Viskosität des Mediums η verringert die Beweglichkeit der Teilchen und damit auch die Diffusionsgeschwindigkeit.

B4 Experiment 4 – Tintenfieber

B4.1 Praktische Hinweise zur Durchführung

Worauf muss ich beim Bau des Flaschenthermometers achten?

Am besten wird eine Flasche aus Glas verwendet und nicht aus Plastik. Das Glas für Trinkflaschen ist ein Kalk-Natron-Glas und hat einen Wärmeleitkoeffizienten von $0,8 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}$ und einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von $9,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Die entsprechenden Werte für Plastikflaschen aus Polyethylenterephthalat (PET) liegen bei $0,24 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}$ und $7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Das heißt Glas leitet Wärme besser als PET und dehnt sich bei Temperaturerhöhung weniger aus.

Die Flasche muss komplett mit Tintenwasser befüllt werden, es darf sich keine Luft mehr darin befinden, denn Gas dehnt sich bei Temperaturänderung etwa 40 mal mehr aus als Wasser (thermischer Ausdehnungskoeffizient Wasser: $0,0000820 \text{ K}^{-1}$; Luft: $0,0036739 \text{ K}^{-1}$). Eine geringes Volumen Luft in der Flasche kann somit die Messung stark verfälschen.

Was muss ich bei der Temperaturmessung beachten?

Es dauert 1-2 Stunden, bis die Flüssigkeit in der Flasche die Umgebungstemperatur angenommen hat. Wird das Experiment als Schulversuch durchgeführt empfiehlt es sich, dass die Schülerinnen und Schüler an aufeinander folgenden Tagen selbstständig die Messungen an verschiedenen Orten durchführen.

Wird die Thermometerflasche plötzlichen stärkeren Temperaturänderungen ausgesetzt, wird zuerst das Glas der Flasche darauf ansprechen und erst später das Tintenwasser im Inneren. Wenn die Flasche Raumtemperatur hat und man sie dann in eine Schüssel mit heißem Wasser ($T=60^\circ\text{C}$) stellt, dehnt sich das Glas aus und das Volumen in der Flasche wird größer. Entsprechend sinkt der Flüssigkeitsstand im Trinkhalm. Nach etwa 10-30 Sekunden erwärmt sich auch das Wasser im Inneren der Flasche und der Flüssigkeitsstand im Trinkhalm steigt wieder.

Entsprechendes beobachtet man, wenn die Flasche aus Eiswasser ($T=0^\circ\text{C}$) in den Kühlschrank ($T=6^\circ\text{C}$) überführt wird. Bei dieser Temperatur kommt allerdings noch ein weiterer Effekt hinzu, die Dichteanomalie von Wasser (vgl. B4.2).

B4.2 Hintergrundwissen

Wie funktioniert ein Thermometer?

Ein Thermometer ist ein Messgerät zur Bestimmung der Temperatur. Es kann auf der temperaturabhängigen Ausdehnung eines Stoffes beruhen, auf der Messung von Wärmestrahlung oder auf der temperaturabhängigen Änderung elektrischer Eigenschaften wie dem Widerstand. Allen Thermometern gemeinsam ist ein Fühler, an dem der Messeffekt auftritt, und eine Anzeige in Form einer Skala, einer Farbänderung oder einer digitalen Anzeige.

Da im Experiment Tintenfieber das selbstgebaute Thermometer auf der Basis von Wasser funktioniert, beschränken wir die Erläuterungen auf Flüssigkeits-Glasthermometer, die auf der temperaturabhängigen Ausdehnung einer Flüssigkeit beruhen (vgl. Abbildung B4.1). Sie bestehen aus einem mit einer thermometrischen Flüssigkeit - in unserem Experiment Wasser - gefüllten Vorratsgefäß und einem damit verbundenen durchsichtigen Kapillarröhrchen – im Experiment der Trinkhalm.



Abb. B4.1 | Thermometer mit roter Toluol-Füllung.

Bei Erwärmung dehnt sich die Flüssigkeit aus und steigt im Kapillarröhrchen auf. Ein Kapillarröhrchen, also ein Röhrchen mit einem sehr geringen Innen-Durchmesser, ist nötig, um auch kleine Temperaturunterschiede deutlich sichtbar zu machen. Flüssigkeiten dehnen sich bei Erwärmung wesentlich weniger aus als Gase, dafür sind sie unabhängig vom Luftdruck. Hinter dem Kapillarröhrchen ist eine Skala angebracht, auf der die Temperatur, z. B. in Grad Celsius, abgelesen werden kann.

Nicht alle Flüssigkeiten eignen sich für die Verwendung in einem Thermometer oder sie lassen sich nur in einem bestimmten Temperaturbereich einsetzen. Zu den besonderen Eigenschaften einer thermometrischen Flüssigkeit gehört, dass sie sich über den gesamten messbaren Temperaturbereich im flüssigen Aggregatzustand befinden muss. Weder Siedepunkt noch Gefrierpunkt der Flüssigkeit dürfen im Messbereich des Thermometers liegen. Eine thermometrische Flüssigkeit sollte über den gesamten messbaren Temperaturbereich ein konstantes Verhältnis zwischen Temperaturerhöhung und Ausdehnung aufweisen (lineare Skala). Die thermometrische Flüssigkeit darf im Messbereich keine Dichteanomalien aufweisen.

Von 1720 bis 2009 wurde vor allem Quecksilber als thermische Flüssigkeit in Thermometern verwendet, denn es ist zwischen $-33,83^{\circ}\text{C}$ und 357°C flüssig und weist eine hohe Linearität bei der temperaturabhängigen Ausdehnung auf. Außerdem benetzt Quecksilber Glas nicht und die Flüssigkeitssäule ist im Thermometer gut zu erkennen und genau ablesbar. Wenn Quecksilberthermometer zerbrechen und das Quecksilber frei wird, entstehen sehr giftige Dämpfe. Deshalb werden diese Thermometer seit den 1970er Jahren seltener verwendet und seit 2009 ist der Vertrieb von Quecksilberthermometern z.B. in der EU verboten. Anstelle von Quecksilber wird meist Toluol oder Ethanol verwendet. Beide Flüssigkeiten sind nahezu farblos und werden zur Verwendung in Thermometern, genau wie das Wasser im Experiment Tintenfieber, durch Zugabe von Farbstoffen besser sichtbar gemacht. Toluol hat einen Messbereich zwischen -80°C und 100°C , ist aber ebenfalls gesundheitsschädlich. Ethanol ist zwar ungiftig, hat aber aufgrund seines niedrigen Siedepunktes nur einen Messbereich bis 60°C .

Kann man mit Wasser Temperatur messen?

Zu Beginn der Entwicklung von Flüssigkeitsthermometern wurde auch Wasser als thermometrische Flüssigkeit verwendet. Allerdings hat die Verwendung von Wasser als thermometrischer Flüssigkeit einige Nachteile.

Zum einen ist Wasser nur zwischen 0°C und 100°C flüssig. Ein weiterer Nachteil ist die Dichteanomalie des Wassers. In der Abbildung B4.2 ist zu erkennen, dass die Dichte von Wasser beim Übergang vom festen in den flüssigen Zustand sprunghaft ansteigt. Im Bereich zwischen 0°C und 10°C sinkt die Dichte nicht kontinuierlich mit einem Anstieg der Temperatur. Vielmehr steigt die Dichte zwischen 0°C und 4°C mit der Temperatur an und erreicht bei 4°C ihr Maximum. Dies liegt an der Wasserstoffbrückenbindung zwischen den Wassermolekülen.

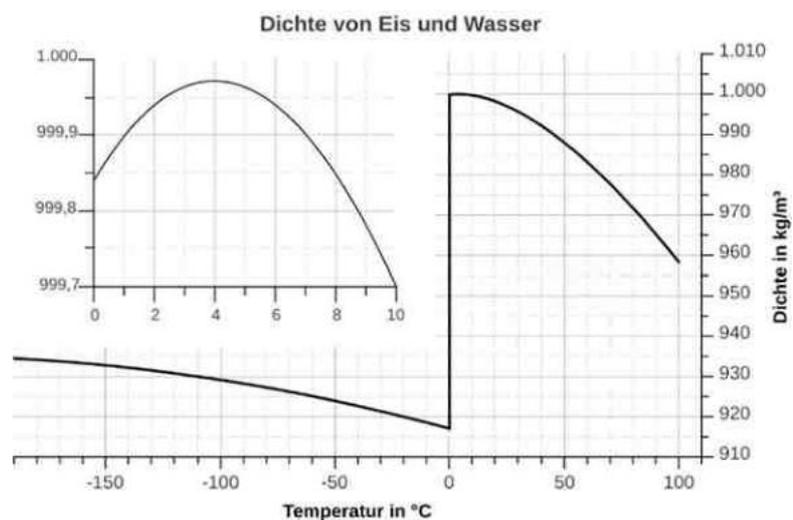


Abb. B4.2 | Dichteanomalie von Wasser.

B4.3 Vertiefung - Wer mehr wissen will

Schlecht für Thermometer, aber gut für Fische

Die oben beschriebene Dichteanomalie sorgt zwar dafür, dass sich Wasser weniger als thermometrische Flüssigkeit eignet, hilft aber Süßwasserfischen im Winter im See zu überleben. Zum einen hat der feste Aggregatzustand - anders als bei den meisten Stoffen - im Fall von Wasser die geringste Dichte. Deshalb schwimmt die Eisschicht an der Wasseroberfläche.

Zum anderen hat flüssiges Wasser seine höchste Dichte bei 4 Grad Celsius und sammelt sich am Seeboden. Kälteres Oberflächenwasser hat eine geringere Dichte und kann deshalb nicht nach unten sinken. Durch das fehlende Absinken kommt es zu keiner weiteren Durchmischung der Wasserschichten. Statt des damit verbundenen Auskühlens tieferer Gewässerschichten und eines vollständigen Durchfrierens von unten her können sich thermische Schichten bilden (vgl. Abb. B4.3). Wassertiere und -pflanzen können unter der Eisschicht überleben.

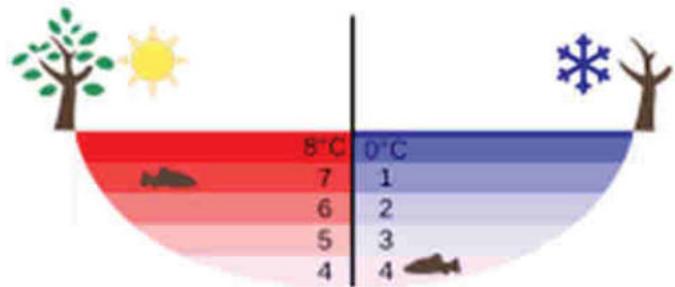


Abb. B4.3 | Temperaturverteilung in Seen im Sommer/Winter.

B5 Experiment 5 – Tintenschwarz

B5.1 Praktische Hinweise zur Durchführung

Wie koche ich den starken schwarzen Tee?

Es sollten drei Teebeutel eines schwarzen Tees verwendet werden, der keine zusätzlichen Aromen enthält und auch keine Citronensäure. In schwarzem Tee ist Gallussäure enthalten, eine Gerbsäure, die man für die Herstellung der schwarzen Tinte in diesem Experiment benötigt. Durch das kochende Wasser wird die Gallussäure extrahiert. Um eine konzentrierte Gerbsäure-Lösung zu erhalten, sollten die Teebeutel in einer Tasse oder einem Teeglas nur mit soviel kochendem Wasser übergossen werden, dass die Beutel eben bedeckt sind. Erst nach etwa 10-minütigem Ziehenlassen ist die Gallussäure vollständig extrahiert.

Wie stelle ich das Eisenpräparat-Pulver her?

Um die Tabletten zu einem Pulver zu zerreiben, legt man sie in einen Esslöffel und presst den Teelöffel darauf. Falls es sich bei dem verwendeten Eisenpräparat nicht um Tabletten, sondern um Kapseln handelt, muss zuerst die Kapsel durch Auseinander-Ziehen der Kapsel-Hälften geöffnet werden. Der Inhalt, meist kleine Kügelchen, wird dann in den Esslöffel geschüttet und ebenfalls mit dem Teelöffel zerrieben. Besonders bei diesen kleinen Kügelchen muss man etwas aufpassen, dass sie beim Zerreiben nicht vom Löffel springen. Falls es sich um Retardtabletten handelt, ist die eigentliche Tablette von einer folienartigen Schutzschicht umgeben, deren Reste vor dem Lösen des hergestellten Pulvers entfernt werden sollten. Das erhaltene Pulver sollte möglichst fein sein, damit sich das Eisenpräparat gut im Wasser löst und dann gut mit der Gallussäure aus dem Tee reagieren kann.

Wie funktioniert das Tropfen auf ein Filterpapier?

Um die Zusammensetzung von blauer Tinte, schwarzer Tinte und dem selbst hergestellten "Eisente" zu untersuchen, werden die Flüssigkeiten nebeneinander auf feuchtem Filterpapier aufgetragen. Dazu darf das Filterpapier nur leicht angefeuchtet sein, damit die Tinten nicht ineinander laufen oder heruntertropfen. Dieser Versuch ist ein erster Schritt zu einer chromatographischen Trennung der Bestandteile der verschiedenen Tinten (siehe dazu Arbeitsblatt B5/2)

B5.2 Hintergrundwissen

Was ist Sepia-Tinte?

Der Farbstoff von Sepia-Tinte zum Schreiben und Zeichnen wird aus Tintenfischen gewonnen. Tintenfische bilden in einem speziellen Organ, dem Tintenbeutel, ein melaninhaltiges Sekret. Zur Herstellung von Sepia-Tinte werden die Tintenbeutel von gefangenen Tintenfischen entnommen und getrocknet. Nach der Trocknung werden sie gemörsert und das gewonnene Pulver mit Wasser vermischt. Der Farbstoff ist wasserlöslich. In verschiedenen Verdünnungen wurde er zum Zeichnen benutzt. Mit Gummi arabicum, einem Gummi aus dem Pflanzensaft von bestimmten Akazienbäumen, als Bindemittel vermischt wurde es als Schreibtinte verwendet. Heute wird der Farbstoff fast ausschließlich zum Färben von Lebensmitteln, z.B. Nudeln, verwendet.

Was ist Eisengallustinte?

Die ersten Beschreibungen zur Herstellung von Eisengallustinte stammen aus dem 3. Jahrhundert vor Christus. Es handelt sich um eine besonders farbechte haltbare Tinte, die deshalb im Laufe der Geschichte für viele wichtige Dokumente verwendet wurde, z.B. die Unabhängigkeitserklärung der Vereinigten Staaten von Amerika (1776). Hergestellt wurde diese Tinte aus Eisen(II)-sulfat, Eichengalläpfeln und Gummi arabicum. Dabei fungiert Gummi arabicum wieder als Bindemittel. Eichengallen sind Wucherungen an Eichenblättern, die von der Pflanze als Reaktion auf die abgelegten Eier der Eichengallwespe gebildet werden. Diese Wucherungen enthalten Tannine. Tannine sind pflanzliche Gerbstoffe die z.B. aus glycosylierten Gallussäuren (vgl. Abb. B5.1) bestehen. Eisen(II)-sulfat wird verwendet, da Eisen(III)-

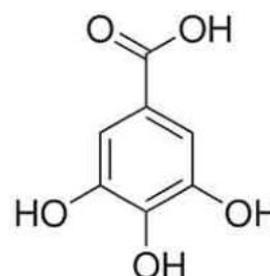


Abb. B5.1 | Gallussäure.

Salze nicht ohne Weiteres wasserlöslich sind. Das Eisen(II)-Kation wird vom Luftsauerstoff zu einem Eisen(III)-Kation oxidiert. Die Farbigkeit der Eisengallustinte entsteht dann durch die Komplexbildung von Eisen(III)-Salzen mit den Tanninen. Dieser schwarze Eisen(III)gallatkomplex fällt aus, deshalb ist Eisengallustinte nicht abwaschbar und dies ist auch der Grund, warum man diese Tinte nicht in Füllfederhaltern verwenden darf, damit sie nicht verstopfen.

Auch schwarzer Tee enthält Tannine. Der „Eisenteetee“ aus dem Versuch „Tintenschwarz“ beruht somit auf dem gleichen Prinzip wie die Eisengallustinte und die Schülerinnen und Schüler stellen dabei ihre eigene dokumentenechte Tinte her.

Wie unterscheiden sich blaue und schwarze Füllertinte?

Bei der blauen Füllertinte handelt es sich, wie schon in Kapitel B1.2 beschrieben, um einen synthetischen blauen Triphenylmethan-Farbstoff mit Zusatzstoffen zur besseren Haftung auf Papier. Für schwarze Füllertinte, die eine gute Deckkraft besitzen soll, wird eine Mischung aus mehreren Pigmentfarbstoffen verwendet. Sichtbar wird diese Zusammensetzung, wenn man die verschiedenen Tinten auf ein Filterpapier aufträgt und chromatographisch trennt. In der Abbildung B5.2 ist ein Filterpapier zu sehen, auf dem links eine blaue Tinte, in der Mitte eine schwarze Tinte und rechts der „Eisenteetee“ aufgetragen und mit Wasser als Laufmittel in ihre Bestandteile getrennt wurden.

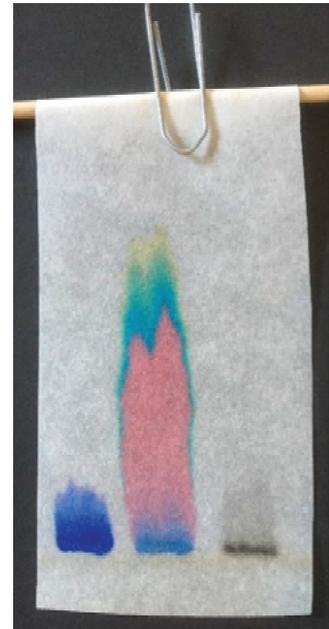


Abb. B5.2 | Papierchromatographie. Von links nach rechts: Blaue Tinte, schwarze Tinte, „Eisenteetee“.

B5.3 Vertiefung - Wer mehr wissen will

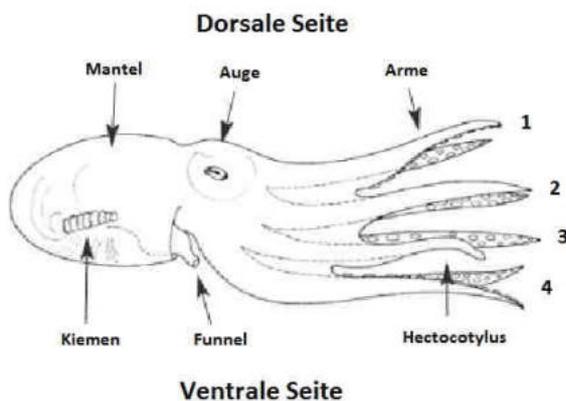


Abb. B5.3 | Skizze eines Tintenfisches.

Tinte beim Tintenfisch

Auf dem Poster zur IJSO 2020 ist ein Tintenfisch abgebildet, übrigens ein gemeiner Krake (*Octopus vulgaris*). Tintenfische sind natürlich keine Fische. Sie gehören zur Klasse der Kopffüßer (Cephalopoden) aus dem Stamm der Weichtiere (Mollusken), weshalb sie korrekt häufig auch als Tintenschnecken bezeichnet werden. Tintenfische besitzen einen Tintenbeutel mit Drüsen, in dem die Tinte gebildet und gesammelt wird. Die Freisetzung der Tinte aus dem Tintensack wird durch einen Schließmuskel gesteuert.

Tintenfische besitzen ein Trichterorgan (Funnel), durch das sie stoßweise Wasser aus der Mantelhöhle treiben (siehe Abbildung B5.3). Der Rückstoß, der dadurch entsteht, dient ihnen zur Fortbewegung. Die Orientierung des Trichterorgans kann der Tintenfisch mit Muskeln steuern und damit auch die Richtung, in der er sich bewegen will. Außerdem kann der Tintenfisch über dieses Trichterorgan auch die Tinte ausstoßen und über schleimproduzierende Drüsen der Tinte unterschiedliche Mengen Schleim zumischen und so die Konsistenz der Tintenwolke verändern. Wird der Tintenfisch von einem Feind angegriffen, kann er sich durch einen Wasser-Rückstoß aus dem Trichterorgan in Sicherheit bringen und dabei gleichzeitig eine Tintenwolke ausstoßen. Diese hat oft den Umriss des Tintenfisches und führt den Feind in die Irre, während sich der Tintenfisch in Sicherheit bringt.

Die Tinte von Tintenfischen besteht zu einem großen Teil aus einem Melanin. Melanin ist ein schwarz gefärbtes Pigment, welches durch enzymatische Aktivität aus den Aminosäuren Tyrosin und Dihydroxyphenylalanin gebildet wird. Zwar wird Melanin aus Aminosäuren gebildet, ist aber kein Protein, sondern ein komplexes Biopolymer. Melanine kommen auch bei Wirbeltieren, Insekten, Pflanzen und verschiedenen Mikroorganismen

vor. Beim Menschen beispielsweise ist Melanin für die Pigmentierung von Haut und Haaren verantwortlich. Melanine können vor UV-Strahlung schützen. Neben dem Pigment enthält die Tintenfisch-Tinte Proteine, welche an der Melaninbildung beteiligt sind, freie Aminosäuren und außerdem verschiedene Metalle wie Cadmium, Kupfer und Blei.

Der Mensch hat im Laufe der Zeit vielfältige Verwendungen für die Tintenfisch-Tinte gefunden. Die Tinte der Gattung Sepia, nach ihrer Herkunft ebenfalls als Sepia bezeichnet, wurde von der griechisch-römischen Zeit bis ins 19. Jahrhundert als Farbpigment zum Schreiben und in der Malerei eingesetzt (siehe Abb. B5.4).

Auch in Lebensmitteln wird sie bis heute verwendet, z.B. in Gerichten der japanischen oder baskischen Küche. Am bekanntesten ist aber wohl die mit Tintenfisch-Tinte schwarz gefärbte Pasta.

Sogar im Zuge der Suche nach neuen therapeutisch wirksamen Naturstoffen wurden die Inhaltsstoffe der Tintenfisch-Tinte untersucht und in der Homöopathie werden Zubereitungen aus der getrockneten Tinte aus Tintenbeuteln als Mittel gegen Frauenleiden und Erkältungen verwendet.



Abb. B5.4 | Mit Sepia-Tinte gemaltes Bild "Blick auf Arkona mit aufgehendem Mond" von C. D. Friedrich (1805).

- C1 Arbeitsblatt zu Experiment 1 Geheimtinte aus Kastanienzweigen
- C2 Arbeitsblatt zu Experiment 2: Verdunstung über Blätter
- C3 Arbeitsblatt zu Experiment 5: Papierchromatographie

Geheimtinte aus Kastanienzweigen

Geheime Botschaften schreiben, die niemand lesen kann, weil sie unsichtbar sind. Diese Botschaft dann an einen Empfänger verschicken und nur dieser kann die Botschaft sichtbar machen. Das klingt nach Spionage, Geheimnissen und Abenteuer!

In diesem Versuch sollt ihr eine solche Geheimtinte herstellen. Aus der Rinde von Kastanienzweigen löst ihr einen Stoff in Wasser, der in normalem Zimmerlicht unsichtbar ist, unter UV-Licht aber leuchtet.

Material:

2 Gläser
Wasser
Natron
1 Schere
1 Kastanienzweig
Ein Blatt Papier
Trichter mit Kaffeefilter
UV-Lampe

Durchführung:

Füllt das Glas mit Wasser und streut etwas Natron hinein.

Nehmt den Kastanienzweig und **schneidet** ihn mit der Schere in kleine Stücke.

Legt die Zweigstücke in das Glas mit Wasser und Natron.

Rührt die Zweigstücke im Wasser und Natron für 3 Minuten um.

Filtriert das Resultat mit dem Trichter und Kaffeefilter in das zweite Glas, so dass ihr eine Lösung ohne Kastanienzweige habt.

Taucht ein Wattestäbchen in das Kastanienwasser und **schreibt** damit eine Botschaft auf das Blatt Papier.

Lasst das Papier trocknen.

Gebt die Botschaft eurem Nachbarn.

Aufgaben:

- 1. Tauscht** eure getrockneten Botschaften mit einem Partner aus. **Benutzt** die UV-Lampe um die Botschaft sichtbar zu machen und **schreibt** sie in Klarschrift auf das Blatt Papier.
- 2. Überlegt**, warum die Schrift nur unter UV-Licht sichtbar ist, und **schreibt** eine Begründung auf das Blatt Papier.
- 3. Lest** euch das Material 1 zu dem Versuch durch und **beschreibt** kurz, ob eure Erklärung zutreffend war.

Geheimtinte aus Kastanien

Geheime Botschaften schreiben, die niemand lesen kann, weil sie unsichtbar sind. Diese Botschaft dann an einen Empfänger verschicken und nur dieser kann die Botschaft sichtbar machen. Das klingt nach Spionage, Geheimnissen und Abenteuer!

In diesem Versuch sollt ihr eine solche Geheimtinte herstellen. Aus der Rinde von Kastanienzweigen löst ihr einen Stoff in Wasser, der in normalem Zimmerlicht unsichtbar ist, unter UV-Licht aber leuchtet.

Begründung:

Eine Möglichkeit für Geheimtinte ergibt sich aus der Desaktivierung von angeregten Elektronen durch Strahlung. Moleküle, die Photonen absorbieren und deren Elektronen durch Fluoreszenz wieder in ihren Grundzustand zurückkehren, emittieren immer längerwellige, energieärmere Strahlen. Der Farbstoff Fluorescein absorbiert z.B. im blauen Bereich und emittiert im grünen Bereich. Wenn man aber einen Farbstoff hätte, welcher im UV-Bereich absorbiert, wäre er für das menschliche Auge farblos und damit Geschriebenes unsichtbar. Wenn dieser Farbstoff die absorbierte Strahlungsenergie in Form von Fluoreszenz wieder abgibt wäre die emittierte Strahlung langwelliger und damit vermutlich im sichtbaren Bereich. Tatsächlich gibt es solche Moleküle. Das in Bitter Lemon enthaltene Chinin, ursprünglich ein aus Chinarinde gewonnenes Malariamittel, absorbiert im UV-Bereich und emittiert intensiv hellblaues Licht mit einem Maximum von 448 nm. Auch die in Vollwaschmittel enthaltenen Aufheller funktionieren nach diesem Prinzip: sie absorbieren im UV-Bereich und durch die Emission von blauem Licht wirkt die weiße Wäsche in hellem Sonnenlicht und unter Schwarzlicht noch weißer.

Zuerst entdeckt wurde dieser Effekt bei einem Extrakt aus der Rinde der Roßkastanie. Das darin enthaltene Esculin absorbiert UV-Licht (367 nm) und emittiert blaues Licht (454 nm). In AB1 wird beschrieben, wie man aus Roßkastanienrinde einen Extrakt herstellen kann, mit dem man kaum sichtbar auf Papier schreiben kann. Bestrahlt man diese unsichtbare Schrift dann mit UV-Licht, so leuchtet sie blau auf und wird gut lesbar. Eine wunderbare Geheimtinte aus einem Naturstoff, den jeder in seiner Umgebung finden kann

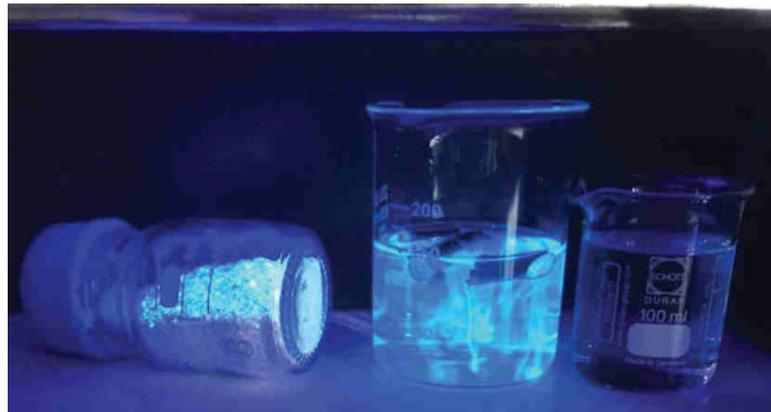


Abbildung 1.6: Blaue Fluoreszenz unter UV-Licht. (Links: Vollwaschmittel mit optischem Aufheller, Mitte: frisch geschnittene Rosskastanienzweige in destilliertem Wasser, Rechts: destilliertes Wasser als Vergleich)

Wassertransport in Pflanzen

Pflanzen nehmen Wasser über die Wurzeln auf. Das weiß Jeder, der zuhause einen Blumentopf stehen hat. Aber wo geht das Wasser in der Pflanze hin? Und wie verlässt es die Pflanze wieder? Der folgende Versuch soll Euch helfen; eine dieser Fragen näher zu untersuchen.

Material:

2 Bechergläser
2 große Bechergläser zum Darüberstülpen
1 belaubten Zweig von Flieder, Birke, Eiche, Ahorn etc.
Etwas Speiseöl
Wasser und Sonnenlicht

Durchführung:

Füllt die zwei kleineren Bechergläser zu einem Drittel mit Wasser.

Stellt den belaubten Zweig in eines der Bechergläser.

Gießt in beiden Bechergläsern eine Schicht Speiseöl auf die Wasseroberfläche, um eine direkte Verdunstung des Wassers zu verhindern.

Stülpt die beiden großen Bechergläser über die beiden kleineren Bechergläser.

Stellt alles in die Sonne und **wartet** eine halbe Stunde.

Aufgaben:

Beobachtet, was passiert.

Vergleicht die beiden Bechergläser und untersucht, ob ihr Unterschiede feststellen könnt.

Beschreibt kurz, welche Unterschiede zu sehen sind.

Schreibt eine Schlussfolgerung auf, die ihr aus den beobachteten Unterschieden ziehen könnt.

Wassertransport in Pflanzen

Pflanzen nehmen Wasser über die Wurzeln auf. Das weiß jeder, der zuhause einen Blumentopf stehen hat. Aber wo geht das Wasser in der Pflanze hin? Und wie verlässt es die Pflanze wieder?

Nach dem Versuch auf Arbeitsblatt 1 sollte folgendes Ergebnis zu beobachten sein:

Beobachtung:

Nach kurzer Zeit sammeln sich an der Innenwand des Becherglases mit dem belaubten Zweig Wassertröpfchen. Wenn der Versuch lange genug durchgeführt wird, sieht man auch ein Absinken des Wasserstands. Beim Kontrollversuch passiert nichts.

Begründung:

Wie der Kontrollversuch zeigt, **verhindert** die Schicht Speiseöl auf dem Wasser, das dieses verdunstet und sich am größeren Becherglas in Tröpfchen niederschlägt.

Bei dem Versuch mit dem belaubten Ast muss also über den Ast und die Blätter die Feuchtigkeit in das zweite Becherglas transportiert worden sein, denn dieses ist der einzige Unterschied im Versuchsaufbau.

Die Blätter geben die Feuchtigkeit in Form von Wasserdampf ab und die Luftfeuchtigkeit im darüber gestülpten Becherglas steigt. Da Luft jedoch nur bis zu einer bestimmten Grenze die Feuchtigkeit aufnehmen kann, kommt es zur Kondensation. Das heißt: Die Luft ist mit Feuchtigkeit gesättigt und die Wassertröpfchen setzen sich als kleine Tröpfchen an dem kühleren Becherglas ab.

Und aufgrund der Sogwirkung wird Wasser aus dem unterem Becherglas in den Ast gesogen, wodurch der Wasserspiegel sinkt.

Papierchromatographie

In der Schule wird meistens blaue Tinte verwendet. Aber die Lehrer benutzen rote Tinte und vielleicht habt ihr auch schon gesehen, dass es auch schwarze oder grüne Tinte gibt. Im Kunstunterricht wird manchmal mit Scriptol gearbeitet. Habt ihr vielleicht sogar aus schwarzem Tee und Eisen schon mal eigene Tinte hergestellt? Falls ihr manchmal mit einem Tintenkiller arbeitet werdet ihr schon festgestellt haben, dass sich nur die blaue Tinte vollständig löschen lässt. Aber woran liegt das? Wie unterscheiden sich die unterschiedlichen Tintenarten, außer in ihrer Farbe?

Mit dem folgenden Experiment macht ihr euch auf die Spur der Tinte und findet erste Antworten.

Materialien:

1 großes Becherglas (Gurkenglas)
Verschiedene Tinten (blau, schwarz, grün, Tusche, Scriptol etc.)
Kaffeefilter (möglichst weiß, nicht braun)
1 Schaschlik-Spieß aus Holz
1 Büroklammer
Wasser
Schere

Vorbereitung des Papierfilters:

Schneidet mit einer Schere aus einem Kaffeefilter ein rechteckiges Stück aus (etwa 6 cm*9,5 cm)

Markiert mit dem Bleistift 1,5 cm vom unteren Rand die Startlinie.

Zeichnet mit jeder Tinte, die ihr untersuchen wollt, auf der Höhe der Startlinie einen Strich von etwa einem Zentimeter Länge. Achtet darauf, dass ihr zwischen den einzelnen Proben mindestens einen halben Zentimeter Abstand lasst.

Vorbereitung der Papierchromatographie:

Füllt etwas Wasser in das Glas, so dass die es maximal etwa zwei Zentimeter über dem Glasboden steht.

Beachtet dabei, dass der Papierfilter beim Eintauchen in das Wasser nicht oberhalb der Startlinie mit Flüssigkeit benetzt werden darf.

Durchführung der Dünnschichtchromatographie:

Befestigt den Papierfilter mit der Büroklammer am Schaschlik-Spieß und **hängt** dieses Konstrukt in das Gurkenglas mit Wasser. Dabei muss die Startlinie immer oberhalb des Flüssigkeitspegels im Glas sein.

Beobachtet wie das Wasser im Papierfilter nach oben steigt.

Entnimmt den Papierfilter aus dem Becherglas, sobald die Flüssigkeitsfront am Schaschlik-Spieß angekommen ist. **Lasst** den Filter kurz trocknen und **markiert** alle farbigen Banden vorsichtig mit dem Bleistift. **Notiert** welche Unterschiede ihr zwischen den verschiedenen Tinten erkennen könnt.

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?

Auch findet sich immer eine Frage oder ein Aspekt, der noch offen geblieben ist und mit weiteren Experimenten untersucht werden könnte. Und schon ist man mitten drin im Grübeln, Recherchieren und Planen weiterführender Experimente.

Vielleicht fragen Sie Ihre Schülerinnen und Schüler einmal nach den Hürden und Fragen, die sich ihnen im Lauf ihrer Wettbewerbsarbeit gestellt haben. Ermutigen und inspirieren Sie Ihre Teilnehmenden, ihren eigenen Fragen nachzugehen. Vielleicht lassen sich mit dem hier aufgestellten Fundus Forscherfragen und neue Projekte entwickeln, die weit über die IJSO-Aufgaben hinausreichen.

Zum Thema Tintenkiller

- Welche Möglichkeiten gibt es noch Tinte verschwinden zu lassen?
- Welche Geheimtinten gibt es?

Hier ergeben sich aus der Erfahrung der Schülerinnen und Schüler schnell weitere Fragen die besonders interessant sind, weil sie schnell zum Thema Geheimtinten führen. Warum kann man die rote Tinte mit der die Lehrenden korrigieren nicht verschwinden lassen? Und welche Möglichkeiten gibt es noch, Tinte unsichtbar und dann wieder sichtbar zu machen, um geheime Botschaften zu schreiben?

Zum Thema Wasserversorgung von Pflanzen

- Welche Strategien zur Wasserversorgung haben Pflanzen an trockenen Orten?
- Wie funktioniert die Wasserversorgung bei Wasserpflanzen?
- Wie hoch können Pflanzen Wasser transportieren?
- Welche Stoffe werden mit dem Wasser aufgenommen?

Jeder weiß, dass Pflanzen Wasser brauchen, aber welche Schwierigkeiten müssen sie überwinden, um ihre Wasserversorgung zu gewährleisten? Und nehmen sie mit dem Wasser auch noch andere Stoffe auf, so wie sie den Tintenfarbstoff aufgenommen haben? Welche Nährstoffe oder Schadstoffe können das sein? Darüber machen sich Schülerinnen und Schüler nach dem Tintendurst-Experiment vielleicht zum ersten Mal Gedanken.

Zum Thema Diffusion

- Welche Variablen haben Einfluss auf die Diffusionsgeschwindigkeit und wie kann man das überprüfen?
- Was hindert Stoffe an der Diffusion: Membranen

Bei diesem Thema ergeben sich für die Schülerinnen und Schüler einfache Möglichkeiten, die Diffusion nach dem Vorbild des Experiments Tintentreffen experimentell weiter zu untersuchen. Wie ist der Vergleich Zucker/Salz. Welchen Einfluss haben unterschiedliche Temperaturen. Was passiert, wenn man Öl oder Sirup statt Wasser nimmt? Außerdem bietet sich hier thematisch ein schöner Einstieg in das Thema Diffusion über selektiv permeable Membranen an.

Zum Thema Thermometer

- Auf welche Arten kann Temperatur noch gemessen werden?
- Wie spürt der Mensch Temperatur?
- Was ist Fieber
- Haben Pflanzen und Tiere auch Fieber?

Mit dem Experiment Tintenfieber wurde nur auf die Temperaturmessung über die temperaturabhängige Ausdehnung von Flüssigkeiten eingegangen, es gibt aber mit Pyrometern, Temperaturmessstreifen und Widerstandsthermometern noch völlig andere Möglichkeiten die Temperatur zu bestimmen. Auch der menschliche Körper bestimmt seine Umgebungstemperatur mit Thermorezeptoren, aber warum fühlt sich dieselbe Temperatur mal kälter und mal wärmer an? Welchen Einfluss hat die Temperatur auf uns? Hier kommt man schnell von einer Frage zur nächsten.

Zum Thema Eisen

- Sind Eisentabletten magnetisch?
- Wozu braucht der menschliche Körper Eisen und wie nimmt er Eisen auf?
- Welche Eisenpräparate helfen bei Eisenmangel?

Zum Thema Tinte

- Wer hat die erste Tinte entdeckt?
- Welche Rezepturen wurden im Laufe der Zeit für Schreib- und Malfarben entwickelt?
- Wie haben sich die Ansprüche an Tinte mit der Zeit verändert?
- Wie funktioniert moderne Druckertinte?

Hier stellt man vielleicht zuerst Fragen zur chemischen Zusammensetzung der verschiedensten Farbstoffe, aber bei der Beschäftigung mit dem Thema ergeben sich schnell Fragen, die weit über den Bereich der Naturwissenschaften hinaus führen können, in den Bereich Kunst und Geschichte.

E0 Literatur

Peter W. Atkins. Kurzlehrbuch physikalische Chemie,
U. Lüttge, M. Kluge, G. Bauer. Botanik (1994) VCH
D. Sadava, D. Hillis, H. C. Heller, S. Hacker. Purves Biologie (2017) Springer Spektrum

E1 Linksammlung

E1.1 Textquellen zu Unterkapiteln B1.1-B1.3:

https://www.pelikan.com/pulse/Pulsar/de_CH.CMS.displayCMS.145719./tintenkiler-die-inhaltsstoffe-lehrer-aktion-september-2003
<http://www.ds.mpg.de/212809/33>
http://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/09_03.htm
<http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/aufheller.htm>

E1.2 Textquellen zu Unterkapiteln B2.1-B2.3:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Bedecktsamer>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Aquaporine>
<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/465/>
<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/biologie/artikel/wassertransport>
<https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/water-uptake-and-transport-in-vascular-plants-103016037>

E1.3 Textquellen zu Unterkapiteln B3.1-B3.3:

[https://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%B6sung_\(Chemie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%B6sung_(Chemie))
https://de.wikipedia.org/wiki/Brownsche_Bewegung
<https://de.wikipedia.org/wiki/Diffusion>
http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/8/bc/vlu/transport/pass_transport.vlu/Page/vsc/de/ch/8/bc/transport/diffusion1.vscml.html
<http://www.u-helmich.de/bio/cytologie/05/051/seite052.html>
https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/mw1_ge/kap_6/backbone/r6_2_2.html

E1.4 Textquellen zu Unterkapiteln B4.1-B4.3:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Thermometer>
<https://de.wikipedia.org/wiki/FI%C3%BCssigkeitsthermometer>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Polyethylenterephthalat>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Glas>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Ausdehnungskoeffizient#FI%C3%BCssigkeiten>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Quecksilber>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Dichteanomalie>
<http://www.chemieunterricht.de/dc2/r-oh/alk-therm.htm>

E1.5 Textquellen zu Unterkapiteln B5.1-B5.3:

<https://www.theguardian.com/science/2017/aug/09/why-do-cephalopods-produce-ink-and-what-on-earth-is-it-anyway>
Derby, C. D. 2014. Cephalopod Ink: Production, Chemistry, Functions and Applications. *Marine Drugs*, 12, 2700-2730.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Tintenfische>
https://de.wikipedia.org/wiki/Echte_Kraken
<https://www.tintencenter.com/blog/wie-wird-tinte-hergestellt/>
<http://www.chemieunterricht.de/dc2/phenol/tinte.htm>

B3. Bildnachweis

E3.1 Bildnachweis zu Abbildungen B1.1-B1.6:

B1.1: https://www.pelikan.com/pulse/Pulsar/de_DE.CMS.displayCMS.209818./tintenkiller-inhaltsstoffe-und-funktionsweise
Mit freundlicher Genehmigung der Pelikan Vertriebsgesellschaft

B1.2: And1mu lizenziert unter CC BY-SA 4.0, URL:<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=59505315>

B1.3: Zedh derivative work: Matt (talk), lizenziert unter CC BY-SA 3.0, URL:<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7174039>

B1.4: public domain <https://de.wikipedia.org/wiki/Triphenylmethan#/media/Datei:Triphenylmethan.svg>

B1.5: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jablonski_Diagram_of_Fluorescence_Only-de.png?uselang=de

B1.6: Foto: S. Schmidt-Gattung, IPN

E3.2 Bildnachweis zu Abbildungen B2.1-B2.4:

B2.1: Foto: S. Schmidt-Gattung, IPN

B2.2: Foto: S. Schmidt-Gattung, IPN

B2.3: Quelle: micropix lizenziert unter Attribution-Share Alike 3.0 Unported. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alliaria_petiolata,_stalk,_longitudinal_section,_Etzold_green.jpg

B2.4: Quelle: https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/bio/gym/bp2004/fb4/1_mem/3_transport/8_aufg3/aquaporin_gross.jpg

E3.3 Bildnachweis zu Abbildungen B3.1-B3.4:

B3.1: Foto: S. Schmidt-Gattung, IPN

B3.2: https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/mw1_ge/kap_6/backbone/r6_2_2.html. Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Prof. H. Föll

E3.4 Bildnachweis zu Abbildungen B4.1-B4.3:

B4.1: Foto: S. Schmidt-Gattung, IPN

B4.2: Quelle: Klaus-Dieter Keller CC BY-SA 3.0

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Density_of_ice_and_water_\(de\).svg?uselang=de](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Density_of_ice_and_water_(de).svg?uselang=de)

B4.3: Quelle: Klaus-Dieter Keller, CC BY-SA 3.0

https://de.wikipedia.org/wiki/Dichteanomalie#/media/Datei:Anomalous_expansion_of_water_Summer_Winter.svg

E3.5 Bildnachweis zu Abbildungen B5.1-B5.4:

B5.1: Foto: S. Schmidt-Gattung, IPN

B5.2: Von Harbin - Eigenes Werk, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1684805>

B5.3: Von IchHier--15er, CCbySA 4.0,

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Octopodidae_Beschreibung.jpg?uselang=de

B5.4: Von C.D. Friedrich, public domain, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vue_d%27Arkona_-_Sepia_de_Caspar_David_Friedrich.jpg

ALLES TINTE!

Jeder kennt sie, jeder benutzt sie. Jeder kann sie verschwinden lassen. Doch woraus besteht Tinte und kann man noch mehr mit ihr machen als schreiben? Nach diesen Experimenten weißt du es. Viel Spaß dabei!

Experimentiere in Gegenwart eines Erwachsenen. Sei vorsichtig beim Schneiden mit dem Messer. Vermeide Hautkontakt mit der Tintenkillerflüssigkeit. Schütze deine Kleidung und deine Arbeitsfläche vor Flecken.

Für alle Experimente brauchst du:

Tinte (blaue, rote und schwarze), Leitungswasser, Tropfpipette, diverse Gefäße (durchsichtig) in verschiedenen Größen.

Zusätzlich benötigst du für die einzelnen Experimente:

Experiment 1:

1 Tintenkiller, Zitronensaft, Schere.

Experiment 2:

1-2 Tulpen oder Rosen mit heller Blütenfarbe, 1 Messer, 1 Schneideunterlage.

Experiment 3:

1 flacher Teller, Würfelzucker.

Experiment 4:

1 Glasflasche (0,5 Liter), 1 Trinkhalm (durchsichtig, Durchmesser etwa 6 Millimeter), Knetmasse (Plastilin/ Knetgummi), Schraubenzieher oder ein anderes geeignetes Werkzeug, Klebeband, 1 fester Papierstreifen, 1 Thermometer (Messbereich 0-60 Grad Celsius), 1 Stift zum Markieren.

Experiment 5:

3 Beutel Schwarztee, Wasserkocher, 3 Tabletten eines Eisenpräparates (z.B. Eisen Verla, Ferrosanol, keine Kombinationspräparate), 1 Teelöffel, 1 Esslöffel, 1 Haarpinsel oder 1 Schreibfeder, Schreibpapier, Filterpapier (z.B. Kaffeefilter, vorzugsweise weiß).

Das Schülerbegleitheft und weitere Materialien zum Wettbewerb findest du auf unserer Webseite www.ijso.info zum Herunterladen.

Liebe Lehrkräfte, melden Sie sich so früh wie möglich zum Wettbewerb an und erhalten Sie das Lehrerbegleitheft mit hilfreichen Informationen und Tipps für die Wettbewerbsarbeit!

AUFGABE 1: Tintentod

Beim Schreiben mit dem Füller ist es schnell passiert und du verschreibst dich. Was nun? Zum Glück gibt es Tintenkiller. Damit malst du über das falsche Wort und zack ist es verschwunden! Aber wo ist die Tinte hin?

EXPERIMENT 1

Entnimm aus einem Tintenkiller die weiße Mine mit der Tintenkillerflüssigkeit. Schneide diese in kleine Stücke, lege sie in einen Becher und gib einen Esslöffel Wasser dazu. Drücke die Minenstücke mit dem Löffel aus. Verdünne in einem Gefäß etwas blaue Tinte mit Wasser. Verteile die jetzt hellblau gefärbte Flüssigkeit zu gleichen Teilen auf drei Gläser und beschrifte sie mit 1, 2 und 3. Gib in die Gläser 2 und 3 tropfenweise Tintenkillerflüssigkeit, bis du eine Veränderung siehst. Gib nach etwa einer Minute zu Glas 3 noch einige Tropfen Zitronensaft.

- 1a) Gib in einer Tabelle an, welche Flüssigkeiten du in die Gläser 1 bis 3 geben sollst. Begründe mit Hilfe der Tabelle, warum es nicht ausreicht, den Versuch nur mit Glas 3 durchzuführen.
- 1b) Führe Experiment 1 durch. Notiere deine Beobachtungen in einer kommentierten Fotoserie.
- 1c) Formuliere genau zwei Schlussfolgerungen, die du aus dem Versuch ziehen kannst.

AUFGABE 2: Tintendurst

Hast du schon einmal überlegt, wie Pflanzen „trinken“? Tinte führt dich auf die richtige Spur.

EXPERIMENT 2

Fülle je ein Glas mit etwas verdünnter blauer bzw. roter Tinte. Halbiere den Stängel einer Tulpe oder einer Rose mit einem Messer vorsichtig von unten beginnend über eine Länge von 10 Zentimetern. Stelle die Blume über Nacht mit der einen Stängelhälfte in das blaue Tintenwasser, mit der anderen in das rote (siehe Abbildung). Damit die Blume nicht umkippt, musst du sie gegebenenfalls abstützen oder mit Klebeband befestigen.

Nimm die Blume am nächsten Tag aus dem Wasser. Schneide vom ungeteilten Stängel eine dünne Scheibe ab (Querschnitt). Schneide dann ein 3 Zentimeter langes Stängelstück ab und halbiere dieses der Länge nach (Längsschnitt).



- 2a) Betrachte die ganze Pflanze. Notiere deine Beobachtungen.
- 2b) Fertige eine beschriftete Zeichnung von Quer- und Längsschnitt an.
- 2c) Was kannst du aus deinen Beobachtungen über den Transport von Wasser in der Pflanze ableiten? Nenne genau drei wichtige Schlussfolgerungen und begründe.

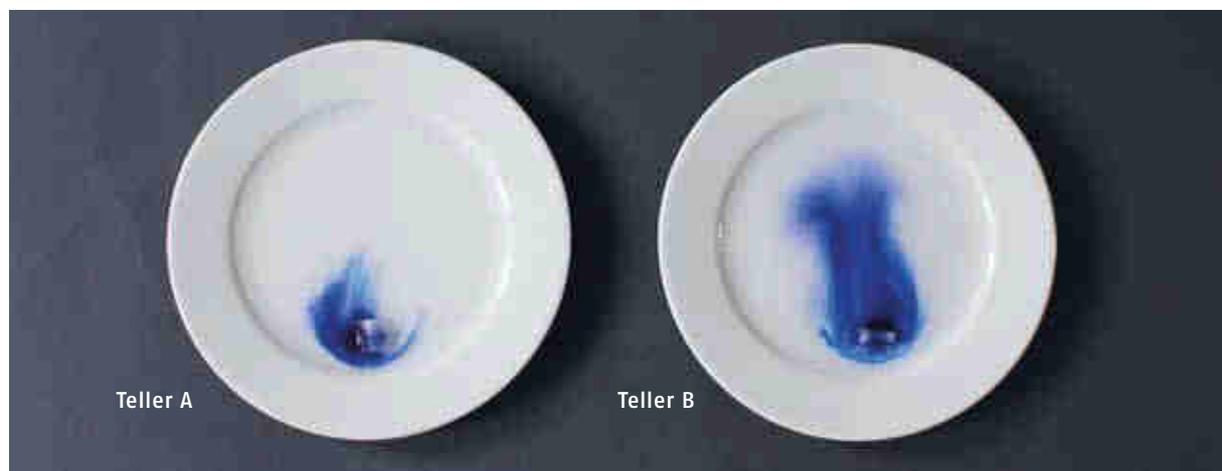
AUFGABE 3: Tintentreffen

Mit Tinte, Zucker und Wasser kannst du die Bewegung kleinster Teilchen sichtbar machen. Wie geht denn so was?

EXPERIMENT 3

Fülle einen flachen Teller mit etwas Wasser, ohne dass es überläuft. Tropfe auf einen Zuckerwürfel etwas blaue und auf einen zweiten etwas rote Tinte. Setze die Zuckerwürfel gleichzeitig an gegenüberliegenden Stellen des Tellerrandes ins Wasser. Warte, bis die Flüssigkeit vollständig gefärbt ist. Platziere einen weiteren Zuckerwürfel ohne Tinte so am Tellerrand, dass er gleichzeitig in mehrere Farbzonen eintaucht.

- 3a) Führe Experiment 3 durch. Stelle deine Beobachtungen mit Hilfe zweier beschrifteter Skizzen dar.
- 3b) Informiere dich über Diffusion und Brownsche Molekularbewegung. Erkläre mit Hilfe dieser Begriffe deine Beobachtungen.
- 3c) Je ein gefärbter Zuckerwürfel wurde in einen Teller mit heißem bzw. kaltem Wasser gesetzt. Nach 2 Minuten wurde ein Foto gemacht (siehe unten). Gib an, welcher Teller das heiße Wasser enthält, und begründe.



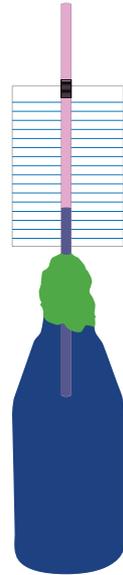
AUFGABE 4: Tintenfieber

Temperatur messen mit Tintenwasser? Baue dazu nach der folgenden Anleitung ein eigenes Flaschenthermometer.

Bohre in den Schraubdeckel einer Glasflasche (0,5 Liter) mit einem geeigneten Werkzeug vorsichtig ein Loch. Es soll so groß sein, dass sich der Trinkhalm gerade so durchschieben lässt.

Gib zu etwa 0,6 Liter Leitungswasser so viel Tinte, dass die Flüssigkeit intensiv gefärbt ist. Fülle die leere Flasche vollständig mit dem Tintenwasser. Verschließe sie mit dem Schraubdeckel und schiebe den Trinkhalm so tief durch das Loch, dass er mit einer Länge von etwa 13 Zentimetern aus der Flasche ragt.

Befestige den Trinkhalm mit Knetmasse. Er soll, ohne zu wackeln, fest und senkrecht im Deckel stecken. Dichte den Bereich um den Trinkhalm gut ab, sodass Tintenwasser nur im Inneren des Halms aufsteigen kann. Tropfe mit einer Pipette Tintenwasser in den Trinkhalm. Die Flüssigkeitssäule soll 4 Zentimeter oberhalb der Knetmasse sichtbar sein (siehe Abbildung). Befestige mit Klebefilm einen festen Papierstreifen am Trinkhalm.



EXPERIMENT 4

Stelle das Flaschenthermometer an vier unterschiedlich temperierte Orte (z.B. Kühlschrank, Flur, Wohnraum, Bad, im Freien). Warte, bis dein Flaschenthermometer die Umgebungstemperatur angenommen hat. Miss jeweils mit einem Thermometer die Umgebungstemperatur und markiere auf dem Papierstreifen am Flaschenthermometer den zugehörigen Tintenwasserstand.

- 4a) Notiere deine Messwerte für die Umgebungstemperatur und den Tintenwasserstand in einer Tabelle und klebe den Papierstreifen mit den Markierungen in deine Ausarbeitung.
- 4b) Trage deine Messwerte in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur in einem Koordinatensystem ein und zeichne eine Ausgleichskurve. Gib an, ob du einen linearen Zusammenhang zwischen Füllhöhe und Temperatur belegen kannst.
- 4c) Gib eine physikalische Begründung für folgendes Phänomen: Nimmt man ein Flaschenthermometer aus einem Gefäß mit Eiswasser (0 Grad Celsius), sinkt der Tintenwasserstand zunächst und steigt dann allmählich an.

AUFGABE 5: Tintenschwarz

Seit vielen Tausenden von Jahren erfinden Menschen interessante Tintenrezepturen. Stelle in diesem Experiment deine eigene Tinte her.

EXPERIMENT 5

Koche mit drei Teebeuteln einen starken schwarzen Tee. Verwende nur so viel Wasser, dass die Teebeutel gerade bedeckt sind, und lasse den Tee mindestens 10 Minuten ziehen. Zerreiße unterdessen vorsichtig drei Tabletten des Eisenpräparats zwischen einem Tee- und einem Esslöffel zu einem Pulver. Mische die eine Hälfte des Pulvers mit zwei Esslöffeln des abgekühlten Tees, die andere entsprechend mit Leitungswasser und rühre um. Mache mit den drei Flüssigkeiten (Tee ohne Pulver, Tee mit Pulver, Wasser mit Pulver) eine Schriftprobe auf einem weißen Blatt Papier.

- 5a) Informiere dich über Herstellung, Eigenschaften und Anwendung von Eisengallustinte, Sepiatinte, schwarzer und blauer Füllertinte. Erstelle eine Tabelle mit den Spalten Inhaltsstoffe, Herkunft der farbgebenden Bestandteile, Abwaschbarkeit, weiterer Nutzen.
- 5b) Führe Experiment 5 durch. Notiere die Farben der Flüssigkeiten in einer Tabelle und gib eine chemische Erklärung für die Farbe des „Eisentees“. Klebe das Papier mit deinen Schreibproben in deine Ausarbeitung ein.
- 5c) Tropfe jeweils etwas „Eisentees“, blaue und schwarze Füllertinte auf ein Stück feuchtes Filterpapier und lass es an der Luft trocknen. Notiere deine Beobachtungen und vergleiche. Formuliere eine Schlussfolgerung, die du daraus für die Zusammensetzung der drei Tinten ziehen kannst.