

Osmotische Wirkung von Kochsalz: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Zellsaftkonzentration bei verschiedenen Gemüsearten

Fabian Schumacher^{1,*}, Gabriele Beyer-Sehlmeyer²,
Stefanie Henrich³, Sabrina Polte¹,
Andreas Stockey³ & Matthias Wilde¹

¹ Universität Bielefeld

² Marienschule der Ursulinen, Bielefeld

³ Oberstufen-Kolleg an der Universität Bielefeld

* Kontakt: Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie/Biologiedidaktik,
Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld
fshumacher@uni-bielefeld.de

Zusammenfassung: Salze sind für Lebewesen lebenswichtig. In hohen Konzentrationen wirken sie aber u.U. toxisch. In vorhergehenden Unterrichtseinheiten haben sich die Schüler*innen bereits mit dem Aufbau und der Struktur von tierischen und pflanzlichen Zellen beschäftigt. In der vorliegenden Einheit wird den Schüler*innen die Gelegenheit gegeben, die Wirkung von Salzen auf Zellen zu verstehen. Eine Messung der Gewichtsveränderung, verursacht durch osmotische Vorgänge in den Zellen, ermöglicht die Bestimmung und den Vergleich der Zellsaft-Konzentration von Gemüsearten.

Schlagwörter: Experimentieren, Osmose, Unterrichtskonzept, Mathematisierung, Scientific Inquiry



1 Einleitung

Aus der Werbung sind den meisten Schüler*innen isotonische Getränke bekannt. Vielleicht haben sie auch schon beobachtet, wie Kirschen oder Tomaten nach einem Sommerregen platzen. In Filmen sieht man gelegentlich, dass verletzten Personen noch am Ort des Unfalls ein Tropf mit physiologischer Kochsalzlösung gegeben wird. Diese Beispiele verdeutlichen die Alltagsrelevanz von Vorgängen wie Diffusion und Osmose. Trotz vieler Berührungspunkte mit dem Phänomen weichen die Alltagsvorstellungen von Schüler*innen oft erheblich von fachlichen Konzepten ab (Hamdorf & Graf, 2011; Hammann & Asshoff, 2014). Grundlegende Vorgänge der Teilchenbewegungen in Zellen sind vielen Schüler*innen nicht bekannt. Beispielsweise ist für viele nicht verständlich, dass sich die gelösten Teilchen in Zellen zufällig bewegen und nur durch den Zusammenprall mit anderen Teilchen oder einem Hindernis, z.B. der Gefäßwand, die Richtung ändern (Friedler, Amir & Tamir, 1987). Viele Schüler*innen besitzen die fachlich nicht korrekte Vorstellung, dass nach einem Konzentrationsausgleich zwischen Lösungen unterschiedlicher Konzentrationen die Bewegung der Teilchen zum Erliegen kommt (Meir, Perry, Stal, Maruca & Klopfer, 2005). In der Unterrichtspraxis zeigt sich vielfach, dass sie zwar imstande sind, einen osmotischen Sachverhalt graphisch korrekt darzustellen, ihn jedoch fachlich nicht richtig erklären können.

Der vorliegende Beitrag soll einen Vorschlag zur Vermittlung einer fachlich angemessenen Vorstellung zur Osmose und zur Diffusion liefern und gleichzeitig das, in den Naturwissenschaften vertretene, hypothetisch-deduktive Vorgehen beim Experimentieren weiter vertiefen. Darüber hinaus kann das hier behandelte Experiment die Notwendigkeit einer statistischen Auswertung verdeutlichen. Das Arbeiten mit lebendem Zellmaterial ist durch teils erhebliche individuelle Unterschiede und u.U. eine starke Streuung von Messwerten gekennzeichnet. Dies verweist auf eine Eigenschaft lebender Zellen und veranschaulicht ein Grundproblem experimentellen Arbeitens mit biologischen Systemen. Hier gibt es zwischen Individuen einer Art oftmals erhebliche Variabilität innerhalb eines Merkmals. Dies durch den Einsatz statistischer Verfahren einer wissenschaftlichen Bearbeitung zugänglich machen zu können, ist eine der wesentlichen Einsichten, die sich durch den vorliegenden Unterrichtsvorschlag einstellen können.

2 Grundbegriffe

Für die Durchführung des Experiments und die Strukturierung der Unterrichtseinheit sind folgende Fachinhalte relevant.

2.1 Biomembranen

Bei der Entwicklung erster Vorstufen von Zellen (Protobionten) im Meer mussten sich diese von der äußeren Umgebung mit einer relativ hohen Salzkonzentration (ca. 0,6 mol/L) abgrenzen (Campbell & Reece, 2015). Die Entwicklung dieser Abgrenzung, und der damit verbundene Aufbau eines eigenen inneren Milieus für Stoffwechselprozesse war ein entscheidender Schritt in der Evolution von Zellen. Gegen den Einstrom externer Substanzen gab es nun eine Barriere, welche eine selektive und von der Zelle steuerbare Aufnahme und Abgabe von Stoffen ermöglichte. Diese Membran grenzt Zellen nicht nur nach außen ab; auch innerhalb einer Zelle sind die meisten Zellorganellen durch Biomembranen abgegrenzt und bilden damit eigene Reaktionsräume (Kompartimente). Innerhalb eines Kompartiments sind Stoffwechselleistungen mit relativ geringer Enzymausstattung effizient zu erbringen, und gleichzeitig sind andere Reaktionsräume vor der Wirkung dort störender Substanzen geschützt (Alberts, Johnson, Lewis, Raff, Roberts & Walter, 2011). Neben der gegenseitigen Abgrenzung von Zellorganellen und

der Steuerung von Stoffaufnahme und -abgabe sind Biomembranen an weiteren Prozessen beteiligt, z.B. an der intrazellulären Speicherung, an der Errichtung von elektrochemischen Potentialen und Konzentrationsgradienten sowie an der Kommunikation und Kooperation zwischen Zellen (Ude & Koch, 2002).

Zum Verständnis osmotischer Vorgänge ist die Kenntnis des grundlegenden molekularen Aufbaus von Biomembranen wichtig. Schüler*innen ist i.d.R. aus ihrer Alltagserfahrung geläufig, dass Öl und Wasser nicht mischbar sind und sich zwischen diesen beiden Flüssigkeiten eine sichtbare Grenze ausbildet. Dieses Prinzip lässt sich auch bei biologischen Membranen finden. Membranen bestehen aus einer Phospholipid-Doppelschicht mit einem hydrophilen „Kopf“ und einem lipophilen „Schwanz“. In der Doppelmembran ragen die hydrophilen Köpfe nach außen und die hydrophoben Schwänze nach innen. Der Aufbau einer Zellmembran kann Schüler*innen durch das erwähnte Beispiel einer schwimmenden Ölschicht auf Wasser verständlich gemacht werden. Eine Phospholipid-Doppelmembran trennt, analog zu einem Ölfilm, zwischen zwei wässrigen Kompartimenten, ist aber zusätzlich nach außen hydrophil. So können Schüler*innen verstehen, wie eine Membran aus einer Phospholipid-Doppelschicht eine Barriere für Wasser und darin gelöste (polare) Stoffe darstellt.

Neben den Phospholipiden gibt es noch als weitere Membranlipide Cholesterin und verschiedene Glykolipide (Alberts et al., 2011). Die Menge an eingelagertem Cholesterin beeinflusst dabei v.a. die Fluidität der Membran bei äußeren Temperaturschwankungen (Campbell & Reece, 2015). Membranen haben normalerweise eine flüssige Konsistenz. Besondere Funktionen wie Transport, Kommunikation und Energieübertragung werden durch spezifische Proteine vermittelt, die in die Membran eingelagert sind (vgl. *Flüssig-Mosaik-Modell*; Fritsche, 2016, S. 83).

2.2 Diffusion und Osmose

Im Cytoplasma („dem Inneren der Zelle“) gelöste Stoffe gelangen innerhalb der Zelle durch Diffusion von einem Ort zum anderen. Diese Bewegung ist zufällig. Ihre Geschwindigkeit ist abhängig von der Temperatur des Cytosols („Zellflüssigkeit“). Dieses Phänomen lässt sich gut veranschaulichen, indem man einen Teebeutel mittig in ein Glas mit heißem Wasser und einen weiteren in ein Glas mit kaltem Wasser hängt. Im heißen Wasser verteilt sich der Farbstoff deutlich schneller. Die Wassermoleküle bewegen sich dabei ungerichtet und zufällig. Nach einiger Zeit ist der Farbstoff in beiden Gläsern gleichmäßig verteilt und der Prozess kommt scheinbar zum Erliegen. Für die Bewegung der Teilchen ist die Brownsche Molekularbewegung verantwortlich. Die Energie für diesen Prozess stammt aus der Wärme der Lösung. Bestehen Konzentrationsunterschiede in einem Gefäß, ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass ein gelöstes Teilchen aus dem Bereich höherer Konzentration in den Bereich mit niedriger Konzentration gelangt als umgekehrt. Unter anderem die dynamischen Elemente dieses Prozesses sind für Schüler*innen nicht leicht zu verstehen.

Hammann und Asshoff (2014, S. 106) erläutern diese höhere Wahrscheinlichkeit an einem Beispiel:

„Am Ort hoher Konzentration sind in einer Volumeneinheit gedachte 5000 Teilchen eines Stoffes vorhanden, am Ort niedrigerer Konzentration lediglich 50. Die Wahrscheinlichkeit, dass eines der 5000 Teilchen aus dem höher konzentrierten Bereich in die Bereiche niedrigerer Konzentration gelangt, ist 100 Mal größer [...] [als umgekehrt].“

Im Zustand eines Konzentrationsausgleichs wandern gleich viele Teilchen in alle Richtungen. Könnte man einzelne Teilchen markieren und deren Bewegung genau verfolgen, so würde man deren ungerichtete und zufällige Bewegung auch im Zustand des Konzentrationsausgleichs beobachten können. Als unterrichtliche Veranschaulichung dieses Phänomens bietet sich ein Schulversuch an. Unter einem Mikroskop lassen sich die in der Milch enthaltenen, beweglichen Fetttröpfchen beobachten.

Das Prinzip der Osmose lässt sich an einem problemorientierten und alltagsrelevanten Beispiel erklären. Legt man Salatblätter in Leitungswasser, bleiben sie knackig und frisch; legt man sie in ein Dressing, werden sie schnell „schlapp“ und unansehnlich (Barnekow, 2010). In beiden Fällen unterscheidet sich die Konzentration polarer Stoffe, wie z.B. Ionen oder Zuckermoleküle, in den Salatblattzellen von der Konzentration im umgebenden Medium. Zur Erklärung des geschilderten Phänomens ist in erster Linie entscheidend, dass inneres und äußeres Milieu der Salatblattzellen durch eine Cytoplasmamembran getrennt sind. Diese Membran ist selektiv permeabel, d.h., für manche Stoffe ist sie durchlässig, für manche aber nicht. In der Regel sind Membranen für das Lösungsmittel Wasser gut durchlässig bzw. permeabel, für polare Stoffe, wie z.B. Ionen oder Zuckermoleküle, sind sie jedoch undurchlässig (impermeabel). Einen solchen einseitig gerichteten Diffusionsvorgang durch eine semipermeable Membran nennt man *Osmose*. Osmose findet immer dann statt, wenn zwischen innerem und äußerem Milieu ein Konzentrationsgradient gelöster, membranimpermeabler Stoffe herrscht (Campbell & Reece, 2015). Sind im Außenmedium, im Vergleich zum Inneren der Zelle, mehr gelöste Stoffe vorhanden, wird die Lösung als *hyperton* beschrieben. Ist das Verhältnis der gelösten Stoffe umgekehrt, ist die Lösung *hypoton*. Bei einem Konzentrationsausgleich wird die Lösung als *isoton* beschrieben. Diese Zustände sind Bestandteil des Konzepts der *Tonizität*. Tonizität beschreibt „die Fähigkeit einer Lösung [...] einer Zelle Wasser zu entziehen oder hinzuzufügen, also das Zellvolumen zu verändern“ (Campbell & Reece, 2015, S. 173). Ist eine Lösung isoton mit der Zelle, besitzen sie den gleichen osmotischen Druck, und es findet kein in eine Richtung weisender Wassertransport statt.

Im Falle des Salatblattes in Leitungswasser können Ionen und andere osmotisch wirksame Substanzen in den Salatblattzellen nicht durch die Cytoplasmamembran diffundieren, die Wassermoleküle hingegen schon. Außen befinden sich mehr Wassermoleküle als innen (hypotone Lösung). Diesem Konzentrationsgradienten folgend strömen Wassermoleküle in das Innere der Zellen. Dieser Prozess könnte so weit gehen, dass die Zellen platzen. Bei den Zellen des Salatblattes passiert dies jedoch nicht, da sie zusätzlich von einer Zellwand umgeben sind.

Bei dem zweiten Anwendungsbeispiel, einem Salatblatt in Salatdressing, ist die Situation grundlegend anders. Im Salatdressing befinden sich mehr osmotisch aktive Substanzen als im Zellinneren der Salatblätter (hypertone Lösung). Dem Konzentrationsgradienten folgend diffundieren also mehr Wassermoleküle aus den Salatblattzellen ins Außenmedium als aus dem Außenmedium in die Salatblattzellen. Das Salatblatt verliert an Turgeszenz und sieht schlapp aus. Pflanzen unter optimalen Wasserbedingungen sind turgeszent und können so ihren eigenen Innendruck (Turgor) aufrechterhalten. Dieser beschriebene Vorgang wird Plasmolyse genannt und ist bis zu einem gewissen Grad umkehrbar. Sind die Zellen zu lange in einem hypertonen Medium, löst sich die Plasmamembran von der Zellwand ab. Der Verlust von Turgeszenz lässt sich ebenso bei einer verwelkten Pflanze zeigen (Campbell & Reece, 2015). Um diesen Vorgang auf zellulärer Ebene verstehen zu können, ist ein Verständnis des Aufbaus von Pflanzenzellen wichtig.

Die meisten Pflanzen enthalten eine oder mehrere Vakuolen. Sie spielen eine wichtige Rolle beim Wasserhaushalt der Zellen und füllen bis zu 90 Prozent des Zellvolumens aus (Lüttge & Kluge, 2012). Gleichzeitig dienen sie als Speicherorganell. Der Zellsaft in den Vakuolen enthält eine hohe Konzentration unterschiedlicher gelöster Stoffe und weist damit einen hohen osmotischen Wert auf. Pflanzenzellen können, trotz großer Ionenkonzentrationsunterschiede, durch regulierbare Zellsaftkonzentrationen einen konstanten hydrostatischen Druck (Turgordruck) in ihrer unmittelbaren Umgebung aufrechterhalten (Lüttge & Kluge, 2012).

2.3 Anwendungen in der Medizin

Die beschriebenen Auswirkungen osmotischer Effekte finden auch Anwendung in der Medizin. Die zugeführten Lösungen bei einer Injektion müssen isotonisch mit dem Blut sein, d.h., sie müssen den gleichen osmotischen Druck haben. Die hier verabreichten physiologischen Kochsalzlösungen enthalten 0,95 g Salz auf 100 mL Wasser (ca. 0,154 mol/L). Dies entspricht der Menge an gelösten impermeablen Stoffen im Zellinneren der roten Blutkörperchen. Bei hypoton verabreichten Infusionen würden die roten Blutkörperchen des Empfängers lysieren bzw. platzen. Hypertone Infusionen würden zu einem Schrumpfen der Blutzellen führen (Campbell & Reece, 2015).

Ein weiteres Anwendungsbeispiel für das Prinzip der Osmose ist die blutreinigende Funktion der künstlichen Niere, Dialyse genannt (Müller, Frings & Möhrlen, 2015). Wer unter einer Niereninsuffizienz leidet und somit die Abbauprodukte des Körpers nicht mehr über den Harn ausscheiden kann, benötigt technische Hilfe. Das Patientenblut gelangt aus dem Körper durch einen Dialysator, der eine semipermeable Membran besitzt. Diese Membran ist permeabel für Wasser sowie niedermolekulare Bestandteile. Für Eiweiße und Blutzellen ist sie impermeabel. Außerhalb der Membran befindet sich eine spezielle Dialyselösung, welche so eingestellt ist, dass die niedermolekularen schädlichen Bestandteile des Blutes durch die semipermeable Membran aus dem Blut in das Dialysat gelangen.

3 Das Schülerexperiment

3.1 Didaktisch-methodische Einbindung

Die Unterrichtseinheit „Austausch mit der Umwelt“ umfasst ca. acht bis zehn Unterrichtsstunden. In Anlehnung an die Kompetenztreppe (Stiller, Stockey, Hahn & Wilde, eingereicht; Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft) kann je nach Erfahrungen der Schüler*innen beim Experimentieren die Versuchsanleitung in dem Grad der Öffnung variieren. Die Festlegung der grundlegenden Herangehensweise an das Experiment, inklusive der zu kontrollierenden Variablen, findet im Plenum mit der Lehrkraft und den Schüler*innen statt. Nach dem Kurskonzept können die Schüler*innen bereits eine präzise Fragestellung selbstständig formulieren und als Grundlage für die Planung des Experiments nutzen. Die Formulierung der aus dem Unterrichtsgespräch entstandenen Hypothesen (z.B. „Die untersuchten Gemüsearten haben unterschiedliche Zellsaftkonzentrationen“) sowie die Festlegung der abhängigen Variablen des Experiments finden mit Unterstützung der Lehrkraft statt. Die Durchführung des Experiments sowie die Festlegung der unabhängigen Variablen erfolgt selbstständig durch die Schüler*innen. Die Festlegung des Untersuchungsspektrums erfolgt weitgehend selbstständig. Die Lehrkraft gibt hierbei eine Ausgangskonzentration der NaCl-Lösung vor, und die Schüler*innen erarbeiten sich die einzelnen Lösungsansätze mittels einer Verdünnungsreihe (vgl. Abb. 1 auf der folgenden Seite und Online-Supplement, Material 1).

Die durch vorangegangene Experimente des Kurskonzepts erworbenen Data-Literacy-Kompetenzen (Stiller, Allmers, Stockey & Wilde, eingereicht; Stiller et al., S. 5–16 in diesem Heft) befähigen die Schüler*innen, eine eigene Wertetabelle zu erstellen, Mittelwerte und Fehlermaße der Versuche zu berechnen und diese inklusive einer Ausgleichskurve in ein Diagramm einzuzeichnen.

Die Signifikanzprüfung wird in dieser Unterrichtsreihe durch die Lehrkraft neu eingeführt. Die Hypothese, dass die Zellsaftkonzentrationen unterschiedlich sind, soll geprüft werden. Orientiert an Halpern (2000) kann eine visuelle Abschätzung des signifikanten Unterschieds unter Berücksichtigung der Konfidenzintervalle der beiden Arten vorgenommen werden. Für die exakten Zellsaftkonzentrationen liegen keine Messwerte vor, da diese erst im Verlauf des Versuchs durch die Schüler*innen grafisch bestimmt werden und die Fehlermaße somit fehlen (vgl. Kap. 3.3). Ein Vergleich der beiden Arten

ist jedoch über den Unterschied der relativen Massenänderung für jeden einzelnen Messzeitpunkt möglich. Hierfür wird mittels der Standardabweichung der Standardfehler berechnet (Stiller, Allmers et al., eingereicht). Im nächsten Schritt muss das Konfidenzintervall des jeweiligen Mittelwertes berechnet werden. Das Konfidenzintervall ergibt sich aus der Multiplikation des Standardfehlers mit zwei. Die Mittelwerte der jeweiligen Messpunkte werden für das obere Limit des 95-prozentigen Konfidenzintervalls mit dem Standardfehler summiert. Für das untere Limit des 95-prozentigen Konfidenzintervalls wird vom Mittelwert der Standardfehler subtrahiert. Die Mittelwerte der Messpunkte inklusive der Konfidenzintervalle werden für beide Arten in ein gemeinsames Diagramm eingezeichnet (Halpern, 2000; vgl. Abb. 2 auf der folgenden Seite).

Eine Abschätzung der signifikanten Unterschiede beider Arten kann grafisch vorgenommen werden. Liegen keine Mittelwerte einer Art in dem Konfidenzintervall der anderen Art, ist der Unterschied signifikant mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent.

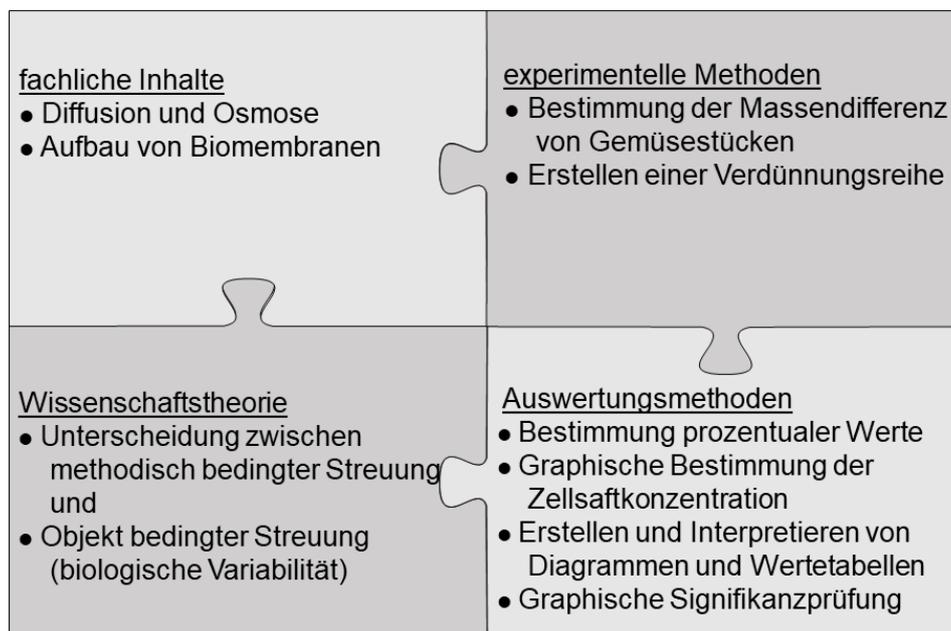


Abbildung 1: Übersicht über die fachlichen und überfachlichen Inhalte der Unterrichtseinheit „Austausch mit der Umwelt“ (eigene Darstellung)

3.2 Durchführung des Schülerexperiments

- **Materialien:** Kartoffel, Kohlrabi, Messer, Bechergläser (Fassungsvermögen > 100 mL), Löffel, Messzylinder, Waagen, Pipetten und Reagenzgläser.
- **Chemikalien:** NaCl (Natriumchlorid) und destilliertes Wasser.

Durchführung: Die Schüler*innen schneiden die Kartoffel und den Kohlrabi in kleine Stückchen. Bei der Vorbereitung der Gemüsestückchen ist darauf zu achten, dass sie geschält sind und mindestens ein Gramm wiegen. Mögliches anhaftendes Wasser ist vorher abzutupfen, um das Ergebnis nicht im Vorhinein zu beeinflussen. Die so vorbereiteten Gemüsestücke werden von den Schüler*innen gewogen, und die Gewichte werden in eine eigens erstellte Wertetabelle übertragen. Anschließend stellt die Lehrkraft eine Ausgangslösung mit einer NaCl-Konzentration von 0,7 mol/L zur Verfügung. Von dieser Lösung ausgehend erstellen die Schüler*innen mithilfe einer Verdünnungsreihe ihre zuvor festgelegten Lösungsansätze (in diesem Versuch wurde eine Verdünnungsreihe mit den Konzentrationen 0,7; 0,5; 0,3; 0,2 und 0,1 mol/L erstellt). Jede der erstellten Konzentrationen wird pro Gemüseart viermal angefertigt, mit Gemüsestückchen gefüllt und

im Kühlschrank für vier Tage aufbewahrt. Nach den vier Tagen werden die Gemüsestückchen erneut gewogen. Die beiden ermittelten Gewichte werden in der Wertetabelle als relative Massenänderung eingetragen. Hierzu müssen die Schüler*innen die prozentuale Massenänderung des Endgewichts im Vergleich zum Ausgangsgewicht berechnen.

3.3 Ergebnisse und ihre Dokumentation

Abbildung 2 verdeutlicht, dass zwischen der prozentualen Massenänderung und der NaCl-Konzentration kein linearer Zusammenhang beschrieben werden kann. Dies gilt für beide Gemüsearten. Aufgrund der Komplexität osmotischer Prozesse lässt sich dieses Phänomen geeigneter durch eine vereinfachte Ausgleichskurve beschreiben. Exemplarisch werden hier die Ergebnisse für den Kohlrabi besprochen. Mit Rückbezug auf die Tonizität lässt sich für den Kohlrabi in diesem Experiment formulieren: Zwischen einem Wert von 0,1 mol/L bis ca. 0,37 mol/L ist die Lösung im Verhältnis zum Zellsaft des Kohlrabis hypoton. Die Masse nimmt relativ zum Ausgangsgewicht zu. Bei einer Konzentration von 0,37 mol/L ist die Lösung isoton. Ab einem Schwellenwert von 0,37 mol/L (Grenzplasmolyse) kann die Lösung als hyperton beschrieben werden. Ab dieser Konzentration beginnt in den Kohlrabizellen der Vorgang der Plasmolyse. Hierbei verringert sich die Masse relativ zum Ausgangsgewicht. Bei dem Kohlrabi tritt näherungsweise ab einer NaCl-Konzentration von 0,5 mol/L eine „Abflachung“ der Kurve ein. Diese Abflachung ist als Sättigung zu beschreiben. Bei dieser NaCl-Konzentration ist die maximale Entwässerung der Gemüsestückchenzellen erreicht. Dieser individuelle Punkt tritt, je nach Art, bei einer unterschiedlichen Lösungskonzentration ein. Um den arttypischen Unterschied dieses Phänomens zu verdeutlichen, bietet sich eine zusammengeführte Grafik beider Arten an (vgl. Abb. 2).

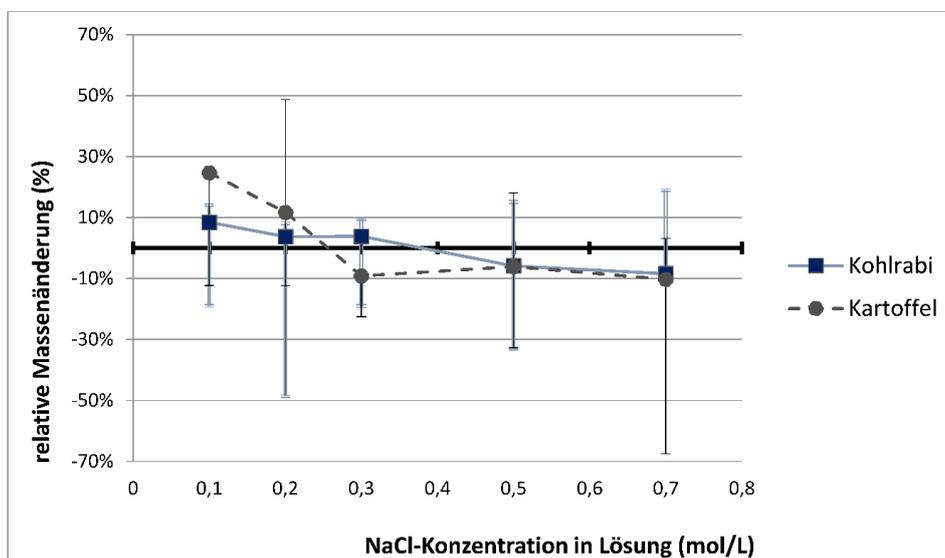


Abbildung 2: Relative Massenänderung der beiden Arten Kartoffel und Kohlrabi unter Einfluss unterschiedlicher Lösungen mit NaCl-Konzentrationen zwischen 0,1 und 0,7 mol/L. Abgetragen sind die Mittelwerte ($n=6$) sowie die Konfidenzintervalle der jeweiligen Arten. (eigene Darstellung)

Die Zellsaftkonzentrationen der Gemüsearten Kohlrabi und Kartoffel lassen sich näherungsweise im Schnittpunkt der jeweiligen Kurven mit der NaCl-Konzentration, aufgetragen auf der X-Achse, ablesen (Brennicke & Schopfer, 2010). Der Wert der NaCl-

Konzentration im Schnittpunkt der Ausgleichskurve mit der X-Achse entspricht dem jeweiligen osmotischen Druck der Gemüsezellen (Kohlrabi ca. 0,37 mol/L und Kartoffel ca. 0,25 mol/L).

Die Signifikanzprüfung wird exemplarisch für die Messwerte bei einer NaCl-Konzentration von 0,1 mol/L beschrieben. In Abbildung 2 auf der vorherigen Seite ist zu erkennen, dass der Mittelwert der relativen Massenänderung des Kohlrabis im Konfidenzintervall der Kartoffel liegt. Somit ist dieser Unterschied als nicht signifikant zu werten (Halpern, 2000). Die Unterschiedshypothese wird bei einer Konzentration von 0,1 mol/L nicht bestätigt. Bei der Auswertung des Experiments muss dieses Vorgehen für alle Messwerte durchgeführt werden, um die Hypothese abschließend bewerten zu können.

Anhand dieser Ergebnisse lassen sich einige interessante Punkte aufzeigen. Die Unterschiede der Messwerte erscheinen rein deskriptiv sehr groß. Es bedarf jedoch immer der Angabe statistischer Kennwerte, um tatsächliche signifikante Unterschiede identifizieren zu können. Ebenso lässt sich für biologische Systeme zeigen, dass die Streuung der Messwerte einer Art nicht nur Auswirkung von Messfehlern oder zufällig ist, sondern durch artindividuelle Schwankungen bedingt. Der statistische Kennwert „Standardabweichung“ lässt sich mit dem vorliegenden Experiment anschaulich vermitteln.

4 Anregungen zur Reflexion und Ausblick

Den Abschluss dieser Unterrichtseinheit kann eine Reflexion der Ergebnisse des Experiments bilden. Nach der Auswertung des Experiments zeigen sich artspezifische (nicht signifikante) Unterschiede der Zellsaftkonzentrationen der untersuchten Gemüsearten. Im Unterrichtsgespräch lässt sich die Frage aufwerfen, wie die fehlenden signifikanten Unterschiede in den Zellsaftkonzentrationen erklärbar sind. Hierbei lassen sich neben biologischen Erklärungen auch statistische Limitationen des Experiments anführen. Die geringe Anzahl der Versuchsdurchführungen und das näherungsweise durchgeführte statistische Verfahren sollten im Plenum diskutiert werden.

Mit Rückbezug auf die im Kurs zu erlernenden Data-Literacy-Kompetenzen (Stiller, Allmers et al., eingereicht; Stiller et al., S. 5–16 in diesem Heft) muss in der Auswertung erwähnt werden, dass die gewonnenen Ergebnisse lediglich für diesen Versuch gelten. Ziel eines jeden Versuchs ist es, reproduzierbare Ergebnisse zu generieren. Dies ist jedoch nur unter gleichbleibenden Bedingungen möglich.

Ein Exkurs über die Anpassungsleistungen einzelner Pflanzenarten an unterschiedlich salzreichen Standorten ist möglich. Stehen jahreszeitlich Zuckerrüben als Anschauungsobjekt zur Verfügung, ermöglichen sie einen anschaulichen Übergang zum Thema „Hoher Zuckergehalt im Zellsaft“ als Anpassung an aride Salzstandorte. Zuckerrüben speichern als Anpassungsleistung an aride Salzstandorte bspw. Zucker und unterscheiden sich somit von den untersuchten Arten Kartoffel und Kohlrabi. Einige salztolerante Arten (Halophyten), die eine Anpassung an salzreiche Standorte entwickelt haben, besitzen die Fähigkeit, eine gewisse Osmoregulation durch die Anreicherung von zum Beispiel Zucker-Molekülen zu erzielen, wodurch der Wasserhaushalt im Cytoplasma im Gleichgewicht gehalten werden kann. Hierbei handelt es sich um eine von mehreren verschiedenen physiologischen Strategien, um an salzreichen Standorten überleben zu können (vgl. Larcher, 2001).

Eine weitere Vertiefung der artspezifischen Zellsaftkonzentration und der damit verbundenen Anpassung an unterschiedlich salzhaltige Lebensräume ist der Vergleich von Wasserorganismen. Betrachtet man die Anpassung von Tieren an salzhaltiges Wasser, findet man unterschiedliche Strategien: Reptilien und Vögel des Meeres haben spezielle Salzdrüsen, durch die sie das mit der Nahrung aufgenommene Salz wieder abgeben können. Lachse und Aale können Salzwasser über spezielle Zellen in ihren Kiemen „entsalzen“ (Müller et al., 2015). Diese Beispiele geben Anregungen, um eine vertikale und horizontale Vernetzung der Unterrichtsinhalte zu ermöglichen.

Literatur und Internetquellen

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2011). *Molekularbiologie der Zelle* (5. Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH.
- Barnekow, D. (2010). Wie kommt die Flüssigkeit in den Salat? *Unterricht Biologie*, 355, 46–47.
- Brennicke, A., & Schopfer, P. (2010). *Pflanzenphysiologie* (7. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2352-8>
- Campbell, N.A., & Reece, J.B. (2015). *Biologie* (10., aktual. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Friedler, Y., Amir, R., & Tamir, P. (1987). High School Students' Difficulties in Understanding Osmosis. *International Journal of Science Education*, 9 (5), 541–551. <https://doi.org/10.1080/0950069870090504>
- Fritsche, O. (2016). *Biologie für Einsteiger* (2., neu bearb. Aufl.). Berlin & Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46278-2>
- Halpern, A.E. (2000). Toward Scientific Literacy for Nonscience Majors. How To Approximate a t-Test by Graphical Means. *The American Biology Teacher*, 62 (4), 276–281. <https://doi.org/10.2307/4450895>
- Hamdorf, E., & Graf, D. (2011). Fehlvorstellungen zu Diffusion und Osmose. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 64 (5), 298–303.
- Hammann, M., & Asshoff, R. (2014). *Schülervorstellungen im Biologieunterricht. Ursachen für Lernschwierigkeiten*. Seelze: Klett Kallmeyer.
- Larcher, W. (2001). *Ökophysiologie der Pflanzen: Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt* (6., neubearb. Aufl.). Stuttgart: UTB für Wissenschaft, Verlag Eugen Ulmer.
- Lüttge, U., & Kluge, M. (2012). *Botanik. Die einführende Biologie der Pflanzen* (6., aktual. Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH.
- Meir, E., Perry, J., Stal, D., Maruca, S., & Klopfer, E. (2005). How Effective Are Simulated Molecular-Level Experiments for Teaching Diffusion and Osmosis? *Cell Biology Education*, 4, 235–248. <https://doi.org/10.1187/cbe.04-09-0049>
- Müller, W.A., Frings, S., & Möhrlein, F. (2015). *Tier- und Humanphysiologie. Eine Einführung* (5. Aufl.). Berlin & Heidelberg: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43942-5>
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Ude, J., & Koch, M. (2002). *Die Zelle. Atlas der Ultrastruktur* (3. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Schumacher, F., Beyer-Sehlmeyer, G., Henrich, S., Polte, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Osmotische Wirkung von Kochsalz: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Zellsaftkonzentration bei verschiedenen Gemüsearten. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 97–106. <https://doi.org/10.4119/pflb-3307>

Online-Supplement:

Materialien für ein Schülerexperiment zur Bestimmung der Zellsaftkonzentration bei verschiedenen Gemüsearten

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>