

# Die ökologische Nische: Ein Dosis-Wirkungs-Experiment zur Ermittlung des physiologischen Spektrums verschiedener Getreidearten

Darius Haunhorst<sup>1,\*</sup>, Andreas Stockey<sup>2</sup> (Erstautoren)  
& Matthias Wilde<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Bielefeld

<sup>2</sup> Oberstufen-Kolleg an der Universität Bielefeld

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

**Zusammenfassung:** In diesem Beitrag wird ein Experiment zur Bestimmung der NaCl-Toleranz von Getreidearten vorgestellt. Die zuvor erworbenen Kenntnisse zur osmotischen Wirkung von NaCl werden vorausgesetzt. Das Experiment ist Kernelement einer Einheit zur Einführung von fundamentaler und realer Nische. Durch die Thematisierung von interspezifischer Konkurrenz, wie z.B. über die exemplarische Bearbeitung des historischen Hohenheimer Grundwasserversuchs (Ellenberg, 1952), wird zum darauffolgenden Schwerpunkt „Selektion und Evolution“ übergeleitet.

**Schlagerwörter:** Experimentieren, Unterrichtskonzept, naturwissenschaftlicher Unterricht, ökologische Nische, Scientific Inquiry



## 1 Einleitung

Der Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen ist in Zeiten des Klimawandels, der Biodiversitätskrise und einer stark steigenden Weltbevölkerung eine zentrale Aufgabe unserer Zeit. Die schulische Umweltbildung soll Schüler\*innen unterstützen, ein Umweltbewusstsein zu entwickeln, und Möglichkeiten umweltbewussten Verhaltens aufzeigen (Killermann, Hering & Starosta, 2016). Der Naturwissenschaftsunterricht nimmt hierbei eine zentrale Stellung ein. Insbesondere durch die Vermittlung von komplexen Wechselwirkungen vieler Faktoren innerhalb von Ökosystemen und deren Vernetzung lernen die Schüler\*innen, in Systemen zu denken (Killermann et al., 2016). Nur durch das Verständnis dieser Wechselwirkungen ist es Schüler\*innen möglich, Auswirkungen des eigenen Handelns auf die Umwelt zu analysieren und wissenschaftliche Studien in Bezug auf Umwelteinflüsse menschlichen Handelns, beispielsweise des Klimawandels, zu interpretieren (Killermann et al., 2016). Im Kontext von ökologischen Unterrichtseinheiten kann außerdem reales Naturerleben ermöglicht werden (Killermann et al., 2016). Im Anschluss an diese Unterrichtseinheit kann z.B. die ökologische Nische einer Art im Freiland untersucht werden. Dadurch wird ein affektiver Zugang zur Natur im persönlichen Lebensumfeld der Schüler\*innen geschaffen (Killermann et al., 2016). Diese emotionalen und kognitiven Zugänge zur Umweltbildung sind Aspekte eines ganzheitlichen Konzepts, welches das Umwelthandeln der Schüler\*innen beeinflussen sollte (Killermann et al., 2016). Allerdings liegen wenig gesicherte Erkenntnisse über den tatsächlichen Einfluss der schulischen Umweltbildung auf das spätere Umweltverhalten vor, weshalb der schulische Einfluss nicht überinterpretiert werden darf (Killermann et al., 2016). Das Konzept der ökologischen Nische in dieser Unterrichtseinheit stellt einen ersten Zugang zur Komplexität von Ökosystemen dar, auf dem spätere Unterrichtseinheiten aufbauen können.

## 2 Das Konzept der ökologischen Nische

Arbeiten zum Hintergrund des Konzepts der ökologischen Nische – der Unterscheidung von physiologischem und ökologischem Optimum – wurden von Ellenberg (1952) und Hutchinson (1957) unabhängig voneinander durchgeführt (Wake, Hadly & Ackerly, 2009).

### 2.1 Die physiologische Betrachtungsebene

Das physiologische Spektrum von Hutchinson (1957: fundamentale Nische) betrachtet nach Ellenberg (1952) die artspezifischen Reaktionsnormen von Individuen gegenüber abiotischen Faktoren (Begon, Howarth & Townsend, 2017). Diese unterschiedlichen Reaktionsnormen sind genetisch vorgegeben (Begon et al., 2017). Ein Pinguin lebt z.B. dauerhaft bei anderen Temperaturen als ein Mensch. Er besitzt ein anderes physiologisches Spektrum bezüglich des Faktors „Temperatur“. Für jeden abiotischen Faktor ergibt sich eine artspezifische Optimumskurve (Begon et al., 2017). Die Verbreitung eines Organismus ist nur innerhalb dieses Toleranzbereiches möglich. Manche Lebewesen besitzen ein sehr enges Optimum bezüglich eines Umweltfaktors, während andere Arten ein deutlich weiteres Optimum gegenüber diesem Faktor aufweisen können (Campbell & Reece, 2016). Vom Optimum abweichende Werte bedeuten eine Verschlechterung der Lebensbedingungen, bis Extremwerte erreicht werden, jenseits derer aktives Leben nicht mehr möglich ist (Begon et al., 2017). Die Standortansprüche können sich im Laufe der Lebensgeschichte des Individuums ändern. Das Keimlingsstadium vieler Pflanzen besitzt einen engeren Toleranzbereich als die adulten Pflanzen. Die Keimlinge mediterrana-

ner Bäume, wie z.B. die der Esskastanie (*Castanea sativa*), überstehen oft keinen mitteleuropäischen Winter, während dieser den adulten Bäumen nicht zusetzt (Hetzel & Jägel, 2013).

## 2.2 Die ökologische Betrachtungsebene

Das ökologische Spektrum von Hutchinson (1957: reale Nische) bezeichnet nach Ellenberg (1952) das Spektrum, in dem eine Art tatsächlich vorkommt (Smith & Smith, 2009). Das ökologische Spektrum ist deutlich enger als das physiologische Spektrum und wird durch interspezifische Konkurrenz zu anderen Arten bestimmt (Smith & Smith, 2009). Ellenberg (1952) konstruierte den Hohenheimer Grundwasserversuch und konnte so in einem Freiland-Experiment als Erster die reale Nische experimentell abbilden. Jeweils eine der drei von ihm untersuchten Grasarten kommt in der Natur an einem feuchten, mittelfeuchten und trockenen Standort vor (Smith & Smith, 2009). In einer Betonwanne mit konstantem Bodenfeuchtegradienten (von feucht bis trocken) zeigten alle drei Arten in Monokultur bei einem mittelhohen Grundwasserspiegel ihr physiologisches Optimum (Smith & Smith, 2009). In Mischkultur ergab sich die Aufteilung, wie sie auch in der Natur beobachtet werden kann (Smith & Smith, 2009). Dies ist ein Beleg dafür, dass die Grasart im mittleren Feuchtigkeitsbereich am konkurrenzstärksten gegenüber den beiden anderen Arten ist und diese entsprechend in einen weniger präferierten Bereich verdrängt (Smith & Smith, 2009). Diese Situation kann sich in einer anderen Region mit anderen Mitkonkurrenten anders darstellen (Smith & Smith, 2009).

## 2.3 Die ökologische Nische

Das Konzept der ökologischen Nische wurde von Hutchinson (1957) geprägt. Bei der ökologischen Nische handelt es sich um einen abstrakten „Raum“, der durch alle Toleranzen und Bedürfnisse eines Lebewesens geprägt wird (Begon et al., 2017). Dieser Raum ist nicht mit dem Ort, an dem das Lebewesen lebt, seinem Habitat, gleichzusetzen (Begon et al., 2017). Nach Hutchinson (1957) kann die Nische in eine fundamentale (entspricht dem physiologischem Spektrum) und eine reale (entspricht dem ökologischem Spektrum) Nische differenziert werden (Campbell & Reece, 2016). Zwei Arten mit der gleichen ökologischen Nische können nach dem Konkurrenzausschlussprinzip nicht dauerhaft in einem Lebensraum vorkommen (Campbell & Reece, 2016). Zwei koexistierende Arten müssen sich daher in mindestens einem Aspekt ihrer ökologischen Nische unterscheiden, da sonst eine Art die andere verdrängen würde (Campbell & Reece, 2016). Damit ist das Konzept der ökologischen Nische zentral für evolutionäre Prozesse. Valentine (1969, zit. nach Wake et al., 2009) versteht Evolution als ökologischen Prozess und die ökologische Nische als das wichtigste Element der Evolution.

# 3 Das Dosis-Wirkungs-Experiment

Dosis-Wirkungs-Experimente spielen in der angewandten Ökologie und den Umweltwissenschaften, z.B. der toxikologischen Forschung und der Bestimmung von Optimumskurven, eine große Rolle (Fent, 2013; Vohr, 2012). In einem Dosis-Wirkungs-Experiment werden die kontinuierliche Erhöhung der Konzentration einer Substanz (z.B. der NaCl-Gehalt im Boden) und die daraus resultierende Wirkung (z.B. das Wachstum einer Pflanzenart) untersucht und graphisch gegeneinander aufgetragen (Vohr, 2012). Grundsätzlich ist zwischen zwei Typen von Dosis-Wirkungs-Beziehungen zu unterscheiden (Fent, 2013).

Stoffe mit einer einfachen Dosis-Wirkungs-Beziehung sind typische Umweltchemikalien (z.B. Schwermetalle; Fent, 2013). Diese haben auf die meisten Pflanzen ab einem artspezifischen Schwellenwert eine ausschließlich toxische Wirkung (Fent, 2013). Unterhalb des Schwellenwertes tritt kein statistisch signifikanter Effekt auf. Oberhalb des

Schwellenwertes treten messbare konzentrationsabhängige negative Wirkungen auf, welche von reversiblen Beeinträchtigungen bis zum Tod des Organismus reichen (Fent, 2013).

Die Gruppe der essentiellen Substanzen umfasst alle lebensnotwendigen bzw. wachstumsfördernden Stoffe, die sowohl bei Unter- als auch bei Überversorgung negative Wirkungen hervorrufen (Fent, 2013). Typische Beispiele sind Nährsalze wie Nitrat. Zwar ist Nitrat eines der wichtigsten Düngemittel, aber zu hohe Stickstoffkonzentrationen in Pflanzen können zur Bildung weicherer Blätter führen. Diese Blätter sind dann anfälliger gegenüber Insektenfraß und Infektionen (Umweltbundesamt, 2011). Sehr hohe Nitratkonzentrationen bewirken außerdem die Verdrängung von Arten aus ihren Lebensräumen und verringern so die biologische Vielfalt (Umweltbundesamt, 2011). Trägt man in einem Diagramm die Konzentration von Nitrat im Boden (Dosis) gegen die Vitalität der beobachteten Pflanzenart (Wirkung) auf, erhält man den Verlauf einer typischen Optimumskurve (Stockey, 2010). Ähnliches gilt für den Faktor NaCl in diesem Experiment. Sowohl bei Na<sup>+</sup>-Ionen als auch Cl<sup>-</sup>-Ionen handelt es sich in sehr geringen Konzentrationen um wachstumsfördernde bzw. lebensnotwendige Ionen im Elektrolythaushalt der Pflanze (Blank, 2009). In realen Zusammenhängen tritt Salz allerdings nahezu ausschließlich als Problemstoff in versalzten Böden neben Straßen oder auf landwirtschaftlichen Anbauflächen auf (Qadir et al., 2014; Qadir, 2016). Zum Vergleich der Salztoleranz verschiedener Arten kann der EC50-Wert bestimmt werden (Fent, 2013). Der EC50-Wert gibt die NaCl-Konzentration im Boden an, bei der der betrachtete Vitalitätsparameter (z.B. die Keimungsrate) unter 50 Prozent fällt (Schmuck, 2012). Je höher dieser Wert liegt, desto salztoleranter ist der betrachtete Organismus.

## 4 Das Schülerexperiment und methodische Aspekte

### 4.1 Zeitplanung / Unterrichtsplanung

Die Unterrichtseinheit „Die ökologische Nische“ (vgl. Abb. 1) wird in ca. acht bis zehn Unterrichtsstunden (à 45 min) unterrichtet.

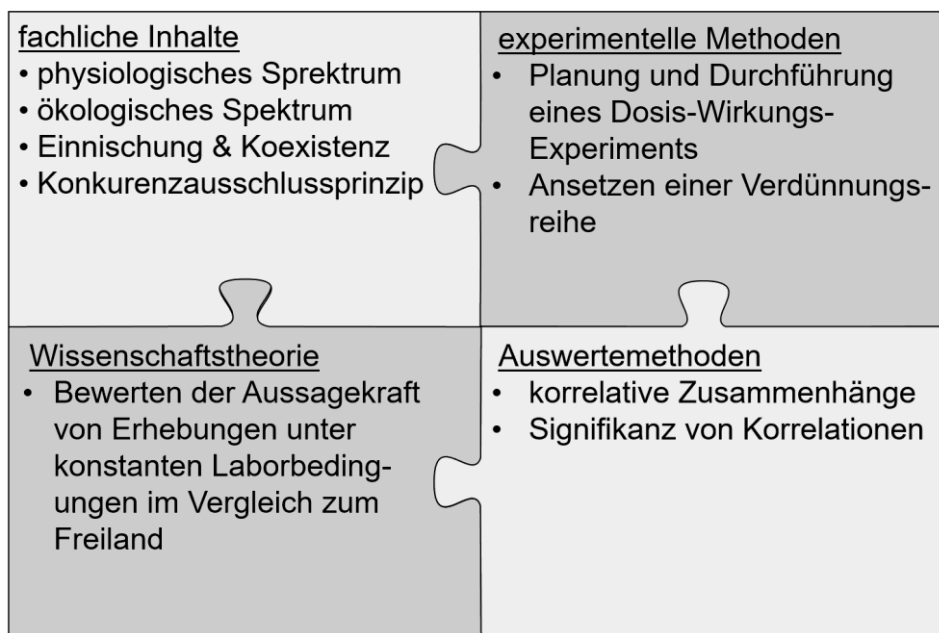


Abbildung 1: Übersicht über die fachlichen und überfachlichen Inhalte der Unterrichtseinheit „Die ökologische Nische“ (eigene Darstellung)

Die Schüler\*innen kennen aus der vorherigen Unterrichtseinheit „Osmotische Wirkung von Kochsalz“ die Grundprinzipien der Osmose und die Wirkungen von Salzlösungen auf einzelne Zellen bzw. Zellverbände. Ziel dieser Unterrichtseinheit ist es, diese physiologischen Kenntnisse in einen ökologischen Kontext zu stellen und auf die Keimung und das Wachstum von Pflanzen auszuweiten.

Im Einstieg werden die Schüler\*innen zunächst für den Faktor Salz als Standortfaktor von Pflanzen in der Landwirtschaft sensibilisiert. 20 Prozent der weltweit bewässerten landwirtschaftlichen Anbauflächen gelten mittlerweile als versalzen (Qadir, 2016). Die Fläche steigt täglich um 2.000 ha an, und als Hauptgründe für die Versalzung von Anbauflächen gelten unzureichende Bewässerungs- und Drainagesysteme (Qadir, 2016). Hält dieser Trend an, ist mittel- bis langfristig – insbesondere vor dem Hintergrund der steigenden Weltbevölkerung – mit erheblichen Problemen für die Welternährung zu rechnen. Neben anderen Maßnahmen, der Versalzung der Anbauflächen entgegenzuwirken, wird auch der Anbau von tendenziell salztoleranter Kulturpflanzen diskutiert (Qadir et al., 2014; Qadir, 2016). Im Einstieg setzen sich die Schüler\*innen mit dem Problem der Bodenversalzung auseinander und entwickeln die Fragestellung, welche Arten von Getreidepflanzen sich am besten auf Böden mit einem höheren Salzgehalt anbauen lassen und welchen Salzgehalt ein Boden für die entsprechende Getreideart maximal aufweisen darf. Als Grundlage für die Auseinandersetzung kann auf diverse populärwissenschaftliche Quellen zur Bodenversalzung zurückgegriffen werden (z.B. Deutschlandfunk, 2014; Spiegel Online, 2014).

Die Schüler\*innen entwickeln anschließend in Partnerarbeit selbstständig ein Experiment zur Keimung und zum Wachstum von Getreidepflanzen bei unterschiedlichen Salzkonzentrationen. Dazu erhalten sie eine Materialliste. Außerdem liegt im Klassenraum eine Liste mit Leitfragen aus, die die Schüler\*innen in den vorangegangenen Experimenten als Hilfestellung genutzt haben und sich an der Infobox 1 „Kriterien für eine methodisch präzise Planung und Durchführung der Experimente“ (Stiller, Stockey, Hahn & Wilde, eingereicht; Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft) orientiert. Die Liste kann bei Bedarf von den Gruppen genutzt werden. Nachdem die ausgearbeiteten Versuchsplanungen im gegenseitigen Austausch überprüft wurden, werden die einzelnen Planungen noch einmal im Plenum der Kursgruppe diskutiert und ein abgestimmtes experimentelles Design für die gesamte Gruppe festgelegt. Die Ergebnisse der einzelnen Zweiergruppen können so verglichen werden und sich gegenseitig inhaltlich ergänzen. Durch die Diskussion ist gewährleistet, dass grundlegende Fehlannahmen in der Versuchsplanung erkannt werden.

In der folgenden Stunde setzen die Schüler\*innen das Experiment jeweils zu zweit an. Hierbei sollte beachtet werden, dass die Keimlinge ab dem dritten oder vierten Tag aufgrund ihrer Größe den Schalendeckel hochdrücken. Durch die geöffneten Deckel verdunstet das Wasser. Die Schalen müssen daher regelmäßig ab diesem Zeitpunkt mit identischen Mengen von destilliertem Wasser nachgewässert werden. Die Versuchsansätze werden für mindestens eine Woche an einem hellen Ort im Klassenzimmer aufbewahrt und während dieser Zeit nicht bewegt. Die folgende Stunde kann genutzt werden, um die Auswertung des Experimentes zu besprechen. Bezüglich der Datenauswertung sind die Einführung der Rang-Korrelation und die Berechnung des Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten als ergänzende Signifikanzprüfung von Bedeutung (vgl. Stiller, Allmers, Stockey, & Wilde, eingereicht). Bei der Ernte erfassen die Schüler\*innen sowohl qualitative Daten (Keimungsrate) als auch quantitative Daten (Biomasse und/oder Länge der Keimlinge). Für Ernte, graphische Darstellung, Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen sowie die Berechnung des Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten sind drei Unterrichtsstunden vorgesehen. Anschließend werden die Ergebnisse der Gruppen gemeinsam besprochen und verglichen. Für die Getreidesorten zeichnen sich unterschiedliche physiologische Spektren bezüglich des Faktors Salz ab. Anhand

des EC50-Wertes können die Schüler\*innen diskutieren, welche Arten sich am ehesten für den Anbau auf leicht salzbelasteten Flächen anbieten.

## 4.2 Methodische Einbindung

In dieser Unterrichtseinheit müssen von den Lehrenden und den Schüler\*innen einige gemeinsame Entscheidungen getroffen werden. Ein Großteil der Entscheidungen wird jedoch von den Schüler\*innen eigenständig getroffen (vgl. Online-Supplement, Material 1).

Aufgrund der fortgeschrittenen Selbststeuerung im Experimentierprozess formulieren die Schüler\*innen selbstständig die Fragestellung und die Hypothesen. Die Hypothesen sollten eine „Je mehr (...)“- oder „Je weniger (...)“-Aussage enthalten, um sie mittels Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten überprüfen zu können.

Außerdem planen die Schüler\*innen die konkrete experimentelle Durchführung selbstständig. Im Vorfeld erläutert die Lehrkraft das grundsätzliche Prinzip eines Dosis-Wirkungs-Experimentes und überträgt den Schüler\*innen die Aufgabe, ein solches Experiment zu planen. Hierzu erhalten die Schüler\*innen zu zweit eine Liste mit Experimentiermaterial. In der Planungsphase sollen die Schüler\*innen selbstständig die abhängige und die unabhängige Variable benennen, in einem vorgegebenen Rahmen die zu untersuchenden Intervalle und die Zahl der Messwiederholungen festlegen sowie relevante Randbedingungen erörtern. Die ausgearbeiteten gruppenspezifischen Experimentierplanungen werden anschließend verglichen. Bevor die Schüler\*innen mit dem eigentlichen Experimentieren beginnen, wird im Plenum ein verbindliches experimentelles Design für alle Gruppen diskutiert und festgelegt.

In Bezug zur *Data Literacy* können die Schüler\*innen eigenständig Mittelwerte und Standardabweichungen berechnen und diese graphisch darstellen. Erstmals werden die Berechnung des Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten und die Signifikanzprüfung einer Korrelation anhand eines Beispiels mit der Lerngruppe erarbeitet (vgl. Berechnungsbeispiel, Online-Supplement, Material 2).

Nach Durchführung des Experimentes können die Gruppen bis zu drei Auswertungen durchführen. Alle Schüler\*innen bestimmen zunächst die prozentualen Keimungsraten. Darüber hinaus können die Biomasse der Keimlinge sowie die Keimblattlänge gemessen werden. Die Biomasse ist bei einer ausreichenden Zahl an Waagen einfacher zu ermitteln. Die Messung der Keimblattlänge ermöglicht jedoch erfahrungsgemäß eine genauere Auswertung. Bei beiden Messungen wird der herausgewachsene Keimling von der Samenschale abgetrennt und nur der Keimling als Grundlage verwendet. Die Mittelwerte und Standardabweichungen werden von den Schüler\*innen jeweils aufgetragen, und anhand der Diagramme wird der EC50-Wert bestimmt. Außerdem berechnen die Schüler\*innen den Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten und überprüfen, ob eine signifikante Korrelation vorliegt (vgl. Online-Supplement, Material 2). Auf Grundlage der errechneten Parameter treffen die Schüler\*innen zum Schluss eine Aussage, ob ihre ursprünglich aufgestellte Hypothese anzunehmen oder abzulehnen ist.

## 4.3 Durchführung und Auswertung

- *Materialien* (für 2 Schüler\*innen): 30 Petrischalen mit Deckel, 30 Wattepad, Messzylinder, Lineal, Schere, Waage, Trichter, 300 Getreidesamen (z.B. Roggen, Weizen, Hafer, Gerste)
- *Chemikalien*: NaCl, destilliertes Wasser

*Durchführung*: Die Experimentiergruppen stellen zunächst ausgehend von einer 0,4 mol/L NaCl-Lösung (vgl. Meerwasser ca. 0,6 mol/L) durch eine Verdünnungsreihe die im Kurs abgesprochenen NaCl-Konzentrationen her. Jede Gruppe untersucht eine Getreideart. Um genauere Auswertungskurven zu erhalten, kann die Überprüfung einer Getreideart mehreren Gruppen übertragen werden, sodass im Diagramm eine vielfache Menge an

Messpunkten abgebildet wird. Insgesamt überprüft jede Gruppe sechs verschiedene NaCl-Konzentrationen mit je fünf Wiederholungen. Die Unterschalen der Petrischalen werden jeweils mit einem Wattepad ausgelegt. Die Beschriftung erfolgt auf Papier mit Bleistift und wird in die Schale gelegt, damit ein Vertauschen ausgeschlossen ist. Auf jedem Wattepad mit Beschriftung werden zehn Samen einer Getreidesorte ausgelegt und dieses mit 15 mL der jeweiligen NaCl-Lösung getränkt. Die Petrischalen werden verschlossen und an einen hellen Ort gestellt. Ab dem dritten oder vierten Tag müssen die Schalen täglich nach Bedarf und einheitlich mit destilliertem Wasser nachgegossen werden. Wenn die Keimlinge groß geworden sind, werden die Deckel entfernt. Nach frühestens sieben Tagen werden die Anzahl der gekeimten Samen bestimmt und die Länge jedes Keimlings ausgemessen. Außerdem wird für jede Schale die durchschnittliche Biomasse der Keimlinge bestimmt, indem die oberirdischen Teile abgetrennt, gewogen und durch ihre Anzahl geteilt werden. Aus den erhaltenen Ergebnissen werden die Mittelwerte, Standardabweichungen und die Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten berechnet.

#### 4.4 Ergebnisse und Interpretation

Aus Abbildung 2 sowie aus Abbildung 3 auf der folgenden Seite wird deutlich, dass höhere NaCl-Konzentrationen die Keimungsrate von Roggen und Weizen senken. Allerdings reagiert Weizen deutlich empfindlicher, sodass eine NaCl-Konzentration von 0,2 mol/L ausreicht, um die Keimung der Weizensamen vollständig zu verhindern. Die Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten können einen Wertebereich von „+1“ (ideale positive Korrelation) bis „-1“ (ideale negative Korrelation) annehmen (Engel, 1997). Ab einem Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten von „0,362“ bzw. „-0,362“ kann mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit von einer signifikant positiven bzw. signifikant negativen Korrelation gesprochen werden (Engel, 1997).

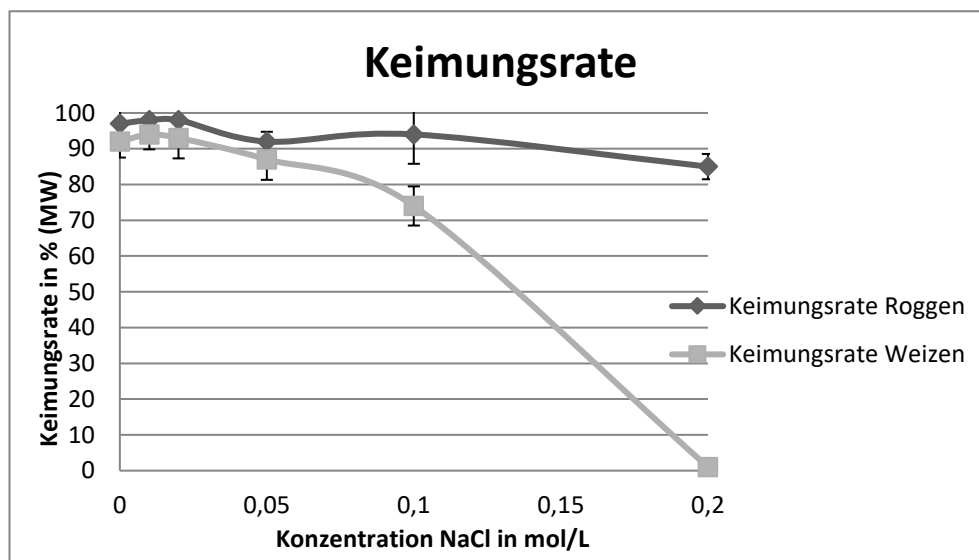
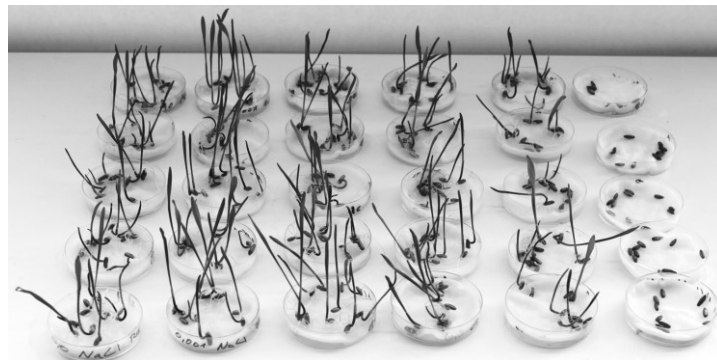


Abbildung 2: Ergebnisse aus dem Schülerexperiment. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen für die Keimungsrate in Abhängigkeit von der Salzkonzentration. (eigene Darstellung)

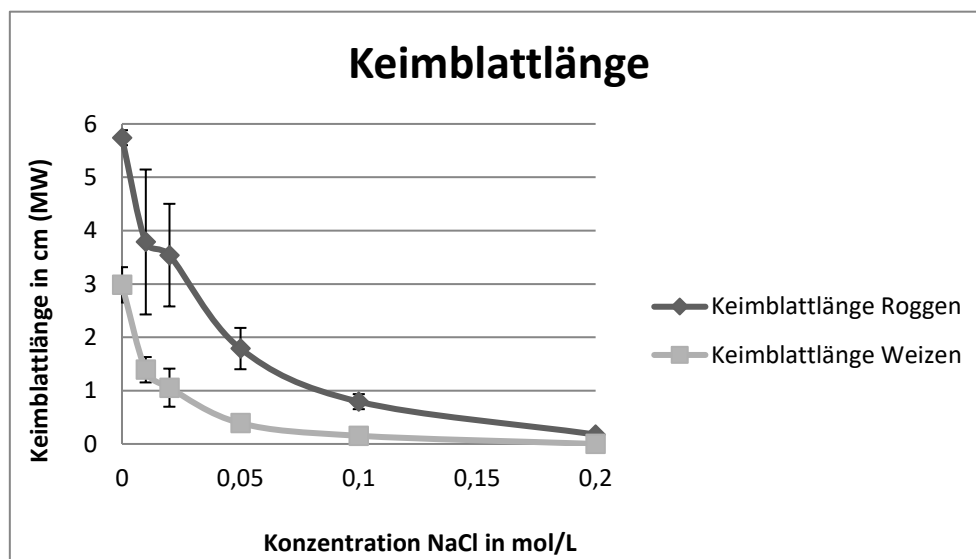
Sowohl für die Keimungsrate von Roggen ( $r = -0.592$ ) als auch für die Keimungsrate von Weizen ( $r = -0.856$ ) ergibt sich demnach eine signifikante Korrelation zwischen zunehmender NaCl-Konzentration und abnehmender Keimungsrate. Auf einen Ver-

gleich der EC50-Werte muss in diesem Beispiel verzichtet werden, da für die Keimungsrate von Roggen kein EC50-Wert innerhalb des untersuchten Konzentrationspektrums bestimmt werden kann.



*Abbildung 3:* Ergebnisse einer Schülergruppe. Die Reihen der Petrischalen sind nach steigender Salzkonzentration von links nach rechts sortiert. (eigenes Bildmaterial)

Aus Abbildung 4 ist die Auswirkung steigender NaCl-Konzentrationen auf die Keimblattlänge zu entnehmen. Es zeigt sich, dass NaCl auf den Wuchs der Keimlinge eine deutlich größere Auswirkung als auf die Keimung an sich hat. Zwar keimen bei einer NaCl-Konzentration von 0,2 mol/L noch 85 Prozent der Roggensamen, aber aus den gekeimten Samen wachsen keine Keimlinge mehr heran. Ein Vergleich der EC50-Werte (Roggen: 0,02 mol/L; Weizen: 0,01 mol/L) bestätigt, dass Weizen empfindlicher auf den Faktor „NaCl“ reagiert. Auf die Bestimmung des Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten kann in diesem Fall verzichtet werden, da bereits für die Keimungsrate ein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden konnte und die Berechnung anhand der Blattlänge für die Schüler\*innen mit deutlich mehr Aufwand verbunden wäre.



*Abbildung 4:* Ergebnisse aus dem Schülerexperiment. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen für die Keimblattlänge in Abhängigkeit von der Salzkonzentration. (eigene Darstellung)



## 5 Anregungen zur Reflexion

Zum Abschluss der Unterrichtsreihe wird das Thema „Bodenversalzung“ erneut aufgegriffen. Anhand der Ergebnisse aus den unterschiedlichen Gruppen können die Schüler\*innen diskutieren, welche Getreidesorte die größte Salztoleranz aufweist. Neben NaCl kann das Experiment ebenso mit anderen Nährsalzen oder Schwermetallsalzen durchgeführt werden (Stockey & Wilde, 2013). Hier bietet es sich an, die Ergebnisse stärker für eine Diskussion in Richtung ihrer ökotoxikologischen Bedeutung sowie des ethisch-moralischen und sozio-ökonomischen Hintergrundes der Festlegung von Grenzwerten zu nutzen (Stockey, 2010).

Als Anschluss an das Experiment zum physiologischen Optimum wird das ökologische Optimum anhand des Hohenheimer Grundwasserversuches eingeführt. Der nun ins Zentrum gerückte Aspekt der Konkurrenz ermöglicht es, mit den Schüler\*innen ein fundiertes Bild des Konzeptes der ökologischen Nische zu entwickeln. Außerdem bietet die Betrachtung von Konkurrenz die Grundlage und den Übergang zur nächsten Unterrichtseinheit „Selektion und Evolution“.

## Literatur und Internetquellen

- Begon, M., Howarth, R.W., & Townsend, C.R. (2017). *Ökologie. Lehrbuch* (3. Aufl.). Berlin: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49906-1>
- Blank, O.-H. (2009). *Müssen Johannisbeeren chloridfrei gedüngt werden? – Studien zur Aufnahme und Verlagerung von Chlorid durch verschiedene Johannisbeerarten*. Hrsg. vom Institut für Pflanzenernährung. Zugriff am 24.04.2019. Verfügbar unter: [https://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2009/376/pdf/Final\\_Dr.Blank.pdf](https://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2009/376/pdf/Final_Dr.Blank.pdf).
- Campbell, N.A., & Reece, J.B. (2016). *Biologie* (10., aktual. Aufl.). Hallbergmoos: Pearson Deutschland.
- Deutschlandfunk (2014). *2000 Hektar werden pro Tag unbrauchbar. Manzoor Qadir im Gespräch mit Monika Seynsche*. Zugriff am 24.04.2019. Verfügbar unter: [http://www.deutschlandfunk.de/bodenversalzung-2000-hektar-werden-pro-tag-unbrauchbar.676.de.html?dram:article\\_id=303262](http://www.deutschlandfunk.de/bodenversalzung-2000-hektar-werden-pro-tag-unbrauchbar.676.de.html?dram:article_id=303262).
- Ellenberg, H. (1952). Physiologisches und ökologisches Verhalten derselben Pflanzenarten. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 65, 350–361. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1953.tb00671.x>
- Engel, J. (1997). *Signifikante Schule der schlichten Statistik. Studienhandbuch Biologie*. Fürth: Filander.
- Fent, K. (2013). *Ökotoxikologie: Umweltchemie, Toxikologie, Ökologie* (4., vollständig überarb. Aufl.). Stuttgart: Georg Thieme.
- Hetzel, I., & Jagel, A. (2013). *Castanea sativa – Esskastanie, Edelkastanie (Fagaceae)*. *Jahrbuch Bochumer Botanischer Verein*, 4, 156–162.
- Hutchinson, G.E. (1957). Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22, 415–427. <https://doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039>
- Killermann, W., Hering, P., & Starosta, B. (2016). *Biologieunterricht heute: Eine moderne Fachdidaktik* (16., aktual. Aufl.). Augsburg: Auer.
- Qadir, M. (2016). Reversing Salt-Induced Land Degradation Requires Integrated Measures. *Water Economics and Policy*, 2 (1), 1–8. <https://doi.org/10.1142/S2382624X16710016>
- Qadir, M., Quill rou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R.J., Drechsel P., & Noble, A.D. (2014). Economics of Salt-Induced Land Degradation and Restoration. *Natural Resources Forum*, 38, 282–295. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12054>
- Schmuck, R. (2012). Ökotoxikologie. In H.-W. Vohr (Hrsg.), *Toxikologie* (S. 275–296). Weinheim: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527635528.ch11>

- Smith, T.M., & Smith, R.L. (2009). *Ökologie* (6. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Spiegel Online (2014). *Versalzung macht immer mehr Böden unfruchtbar*. Zugriff am 08.04.2019. Verfügbar unter: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/versalzung-taeglich-2000-hektar-ackerland-werden-unfruchtbar-a-999817.html>.
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – 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. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stockey, A. (2010). Vom Sein zum Sollen: Zur Grenzwertfestlegung in Toxikologie und Umweltschutz – Sekundarstufe II. *Ethik und Unterricht*, 3, 39–45.
- Stockey, A., & Wilde, M. (2013). Viel hilft viel – oder? In P. Schmiemann & J. Mayer (Hrsg.), *Experimentieren Sie! Biologieunterricht mit Aha-Effekt: Selbstständiges, kompetenzorientiertes Erarbeiten von Lehrplaninhalten* (S. 32–34). Berlin: Cornelsen.
- Umweltbundesamt (2011). *Stickstoff – Zuviel des Guten? Überlastung des Stickstoffkreislaufs zum Nutzen von Umwelt und Mensch wirksam reduzieren*. Zugriff am 24.04.2019. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4058.pdf>.
- Vohr, H.-W. (2012). Toxikodynamik. In H.-W. Vohr (Hrsg.), *Toxikologie* (S. 75–93). Weinheim: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527635528.ch4>
- Wake, D.B., Hadly, E.A., & Ackerly, D.D. (2009). Biogeography, Changing Climates, and Niche Evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106 (2), 19631–19636. <https://doi.org/10.1073/pnas.0911097106>

## Beitragsinformationen

### Zitationshinweis:

Haunhorst, D., Stockey, A. (Erstautoren), & Wilde, M. (2020). Die ökologische Nische: Ein Dosis-Wirkungs-Experiment zur Ermittlung des physiologischen Spektrums verschiedener Getreidearten. *PFLB – PraxisForschungLehrer\*innenBildung*, 2 (2), 107–116. <https://doi.org/10.4119/pflb-3308>

### Online-Supplement:

Materialien für ein Dosis-Wirkungs-Experiment zur Ermittlung des physiologischen Spektrums verschiedener Getreidearten

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 Deutschland (CC BY-SA 4.0 de).

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