

Arbeitsblatt “Sukzession” - für Lehrkräfte

Dieses Dokument ergänzt das "Schülerarbeitsblatt zur Sukzession" mit mehr Hintergrundinformationen für die Lehrkraft. Das Schülerarbeitsblatt allein sollte genügend Informationen enthalten, damit die Schülerinnen und Schüler die Aufgaben erledigen können (ggf. mit etwas zusätzlicher Hilfe von Webressourcen).

I. Pädagogische Ziele	2
II. Hintergrund	2
II.1 Rahmen des Experiments	2
II.2 Themen	3
II.3 Inhalt dieser Dokumente	3
III. Datenanalyse	4
III.1 Umgebungsfaktoren	4
III.2 Biomasse	5
III.3 Prozentuale Bedeckung	5
III.4 Streudiagramm von Biomasse gegen Prozentuale Bedeckung	6
III.5 Artenbestimmung und Auszählung	6
III.6 Artenvielfalt	8
III.7 Biodiversität	8
IV. Interpretation	8
IV.1 Änderung von Temperatur und Salzgehalt	9
IV.2 Zunahme der Biomasse mit der Zeit	10
IV.3 Prozentuale Bedeckung und Biomasse	10
IV.4 Entwicklung der Arten auf den oberen und unteren Platten	12
IV.4.1 Algen	12
IV.4.2 Röhrenwürmer	13
IV.4.3 Polypen	14
IV.4.4 Seepocken	14
IV.5 Reihenfolge des Auftretens der Organismen	15
IV.6 Effekte von Temperatur oder Salzgehalt	15
IV.7 Konkurrenz	16
IV.8 Biodiversität	16
V. Weiterführende Literatur	17

I. Pädagogische Ziele

Die Hauptziele der Übungen im Schülerarbeitsblatt, das dieses Dokument begleitet, sind

- einen "Ersatz" zur Verfügung zu stellen für reale Daten aus Feldversuchen, die aus irgendeinem Grund nicht durchgeführt oder abgeschlossen werden konnten,
- Vorbereitung für ein Projekt, wo Schülerinnen und Schüler die Visualisierung und Analyse von Daten üben können, die sie in ihrem eigenen Projekt produzieren werden,
- Schüler in der Interpretation von Ergebnissen aus Grafiken und Tabellen zu schulen,
- zu üben, ein Argument auf der Grundlage realer Daten zu formulieren, und
- Schülerinnen und Schülern mögliche Fallstricke bei der Planung ihrer eigenen Projekte bewusst zu machen.

(Die Bedeutung des letzten Punktes sollte betont werden, da Schüler häufig die Notwendigkeit für sorgfältige Analyse und Dokumentation während eines Experiments unterschätzen. In den hier vorgestellten Daten wird es Zweideutigkeiten und offensichtliche Fehler der Teams geben, die sie aufgezeichnet haben, welche wahrscheinlich Probleme bei der Analyse aufwerfen werden).

Für diese Übung kann für die Schüler ein gewisses Hintergrundwissen über die **biologische Sukzession, Konkurrenz und das Leben im Wasser** nötig sein.

Wie im Arbeitsblatt erläutert, handelt es sich bei allen dargestellten Daten um reale Daten: Sie sind die Ergebnisse eines Klassenprojekts, das in den der Schule verfügbaren Zeitrahmen passen musste. Folglich mussten die wissenschaftlichen Anforderungen z.B. in Bezug auf Blindversuche, Redundanzen oder Fehlerabschätzungen reduziert werden, um in den Zeitplan zu passen. (Als Beispiel: ein zweiter Satz von Platten wurde als Replikate oder Ersatz ausgelegt, falls Proben beschädigt wurden oder verloren gingen. Der zweite Satz wurde jedoch aus Zeitgründen nicht analysiert.) Somit sind diese Daten eine gute Repräsentation der Art von Ergebnis, das man am Ende eines Klassenprojekts erwarten kann.

Das Arbeitsblatt enthält eine Reihe von Aufgaben, aus denen die Lehrkraft diejenigen auswählen sollte, die den Fähigkeiten der Schüler und dem Ziel eines Kurses angemessen sind. Gleichzeitig sind die Daten offen für Interpretationen, so dass es nicht unbedingt richtige oder falsche Antworten gibt. Die Aufgabe der Schüler besteht darin, die verfügbaren Daten zu analysieren, zu interpretieren und ihre Ergebnisse plausibel zu begründen. Zur Beurteilung der Ergebnisse werden im Folgenden Beispiele für mögliche Resultate einer Analyse angeführt.

Die zentralen Aufgaben für die Schülerinnen und Schüler sind:

- Visualisierung der Messdaten,
- Beschreibung der Ergebnisse,
- Interpretation und Diskussion ihrer Erkenntnisse.

Für die Visualisierung werden Dateien im LibreOffice und OpenOffice-Format (.odt-Dateien) und im Excel-Format (.xlsx) zur Verfügung gestellt. Falls die Schüler mit der Diagrammerstellung in Tabellen-Kalkulationsprogrammen nicht vertraut sind, stehen im Internet zahlreiche Tutorials (oder Video-Tutorials) für die verschiedenen Softwarepakete zur Verfügung.

II. Hintergrund

II.1 Rahmen des Experiments

Die hier verwendeten Daten stammen aus einem Schulprojekt, das während 10 aufeinanderfolgender Wochen im Frühjahr (26. März bis 28. Mai) des Jahres 2018 durchgeführt wurde. Der Standort war ein

Anleger vor dem GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel, Deutschland. Die Konstruktion der Platten sowie die Bergung und Analyse wurden von den Schülerinnen und Schülern durchgeführt.

Der Zeitrahmen für das Experiment wurde so gewählt, dass er in den Zeitplan der Schule passte, aber auch im Hinblick auf die Umweltbedingungen: In höheren Breitengraden sind Winter-Auslagen in der Regel nicht ratsam, da sich keine oder nur sehr wenige Organismen auf den Platten ansiedeln werden. Sommer-Auslagen sind interessanter, und Projekte während dieser Zeit können kürzer sein. Je nach den in der Region heimischen Arten laichen die meisten Organismen im Spätfrühling oder Frühsommer, d.h. sobald die benötigte Temperatur erreicht ist und genügend Nahrung als Futter für die Larven zur Verfügung steht.

Das im Arbeitsblatt für Schüler beschriebene experimentelle Verfahren ist eine Variation des Ansatzes in VIRTUE-s (Einzelheiten siehe <https://virtue-s.eu/de>).

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass das Design dieses Experiments an den Zeitplan der Schule und die Zeit, die die Schülerinnen und Schüler dem Projekt widmen konnten, angepasst wurde. Die offensichtliche Art und Weise, Sukzession auf den Platten zu untersuchen, wäre gewesen, entweder

- eine (besser: mehrere) Platten zu Beginn des Frühjahrs im Wasser auszulegen, sie dann über einen Zeitraum von 10 Wochen jede Woche zu untersuchen, um festzustellen, welches zusätzliche Wachstum in der vorangegangenen Woche stattgefunden hat, und sie bis zur nächsten Woche wieder ins Wasser zurückzubringen. (Beachten Sie jedoch, dass dies recht schwierig ist, ohne das Wachstum auf den Platten zu schädigen). Oder:
- zu Beginn des Frühjahrs 10 Platten gleichzeitig auszulegen und jede Woche eine davon zu bergen und zu untersuchen.

Da es für die Schule viel einfacher war, die ganze Klasse an einem einzigen Tag alle Platten gemeinsam untersuchen zu lassen, wurde ein "umgekehrter Ansatz" gewählt, bei dem jede Woche eine Platte ausgelegt wurde, und nach 10 Wochen alle Platten gleichzeitig geborgen und analysiert wurden.

Dies hat jedoch Auswirkungen auf die Interpretation der Ergebnisse, auf die wir weiter unten eingehen werden.

II.2 Themen

Je nach Versuchsaufbau können mit dieser Art von Methode eine Reihe verschiedener ökologischer Themen behandelt werden. (Aspekte, die in diesem Arbeitsblatt berücksichtigt werden, sind **fettgedruckt** hervorgehoben).

1. Unterschiede und Ähnlichkeiten der ökologischen Sukzession zwischen terrestrischer und aquatischer Umwelt.
2. Vergleich der Frühjahrs-, Sommer- und Herbstrekrutierung.
3. **Auswirkungen der Lichtverfügbarkeit auf die Struktur der Gemeinschaft.**
4. **Entwicklung der Artenvielfalt mit der Zeit.**
5. **Veränderungen der Gemeinschaftsstruktur im Laufe der Zeit.**
6. Vergleich der Sukzession an zwei verschiedenen aquatischen Standorten.
7. Phänologie versus Sukzession.
8. Andere...

II.3 Inhalt dieser Dokumente

Das Schülerarbeitsblatt enthält:

- Informationen über die im Experiment verwendeten Materialien und Methoden.
- Eine Beschreibung der Analysemethoden für die Platten nach der Bergung.

- Von der Schulklasse erhaltene Daten.
- Dateien zur Verwendung mit Tabellen-Kalkulationsprogrammen.
- Aufgaben für die Schülerinnen und Schüler und Hinweise als Hilfe bei der Interpretation ihrer Ergebnisse.

Die Lehrerversion setzt voraus, dass die Lehrkraft mit dem Inhalt des Schülerarbeitsblatts vertraut ist. Hinzu kommen:

- Beispiele für die Visualisierung der Ergebnisse in Diagrammen.
- Beispiele für die Interpretation der Ergebnisse (einschließlich Fakten und weitere Informationen über die Rekrutierung der häufigsten Bewuchsorganismen).

III. Datenanalyse

Die Tabellen mit den Daten und die Aufgaben für die Visualisierung sind im Schülerarbeitsblatt angegeben. Hier gehen wir direkt zu den resultierenden Grafiken über. (Alle in diesem Dokument gezeigten Abbildungen wurden mit LibreOffice unter Verwendung der in dieser Übung zur Verfügung gestellten Tabellenkalkulationsdaten erstellt).

In diesem Abschnitt werden wir Plot-Beispiele zeigen, die die erwarteten Ergebnisse der entsprechenden Aufgaben im Schülerarbeitsblatt zeigen, bevor wir im nächsten Abschnitt mit der Diskussion und Analyse fortfahren.

III.1 Umgebungsfaktoren

Temperatur und Salzgehalt an der Meeresoberfläche wurden während des Experiments in wöchentlichen Abständen aufgezeichnet (Abbildung 1).

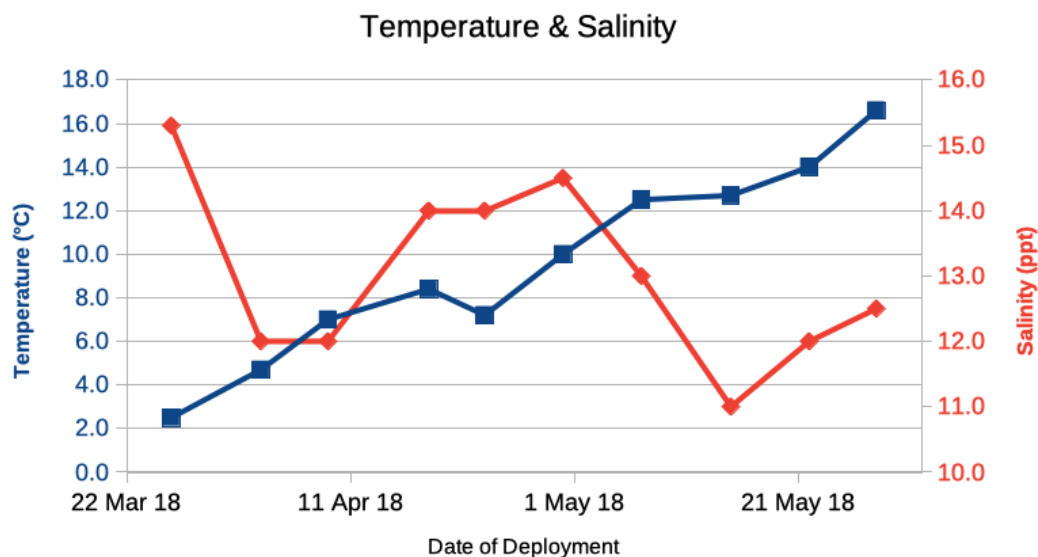


Abbildung 1: Änderung der Temperatur und des Salzgehalts mit der Zeit während des 10-wöchigen Projekts

Beachten Sie, dass - anders als in den folgenden Diagrammen - Abbildung 1 auf der x-Achse das Datum der Auslage angibt. Dies wird ein Punkt sein, den man später im Sinn behalten sollte, wenn "Wochen im Wasser" als Zeitvariable verwendet wird.

III.2 Biomasse

Die Daten für Biomasse auf dem nach oben und dem nach unten gerichteten Teil der Petrischale (siehe Abb. 1 im Schülerarbeitsblatt) sind in Abbildung 2 dargestellt.

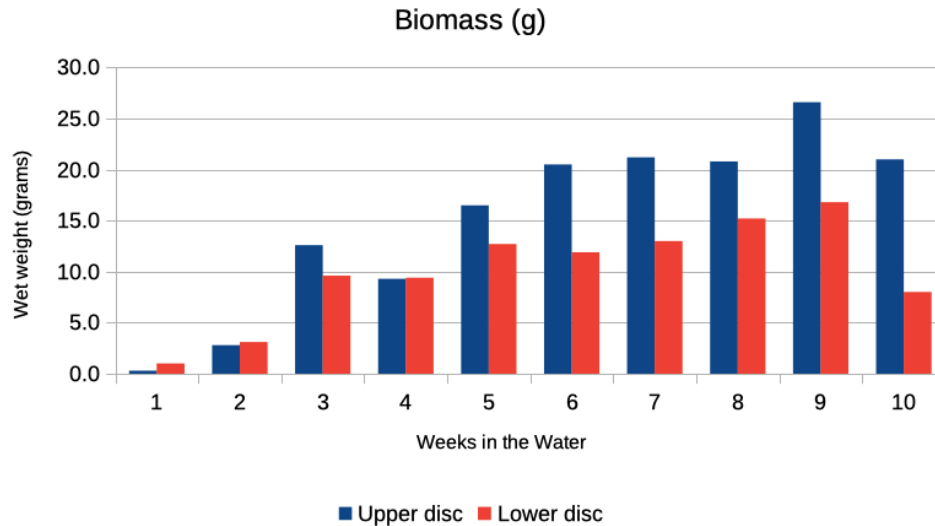


Abbildung 2: Endgültige Biomasse (Feuchtwicht) nach unterschiedlich langer Verweildauer im Wasser während des 10-wöchigen Projekts.

Von nun an wird "Wochen im Wasser" als Bezeichnung für die Zeit verwendet. Beachten Sie, dass es zwar verlockend ist, Formulierungen wie "die Platte von Woche 3" zu verwenden, dies jedoch zu Unklarheiten führen kann, da es sich nicht auf Woche 3 des Experiments bezieht: Die Platte, die 3 Wochen lang **im Wasser** lag, wurde tatsächlich in Woche 8 des Experiments ausgelegt, d.h. am 15. Mai. In diesem Dokument wird sich das Wort *Woche* immer auf *Wochen im Wasser* beziehen, um die unterschiedlichen Expositionszeiträume zu kennzeichnen.

III.3 Prozentuale Bedeckung

Die visuelle Abschätzung der prozentualen Bedeckung, die den Schülerinnen und Schülern als Aufgabe gestellt wurde, ist eine ziemlich subjektive Methode mit einer Genauigkeit von vielleicht 10%. Der Vorteil dieser Methode ist jedoch, dass sie schnell ist und auch jüngere Schülerinnen und Schüler sie selbst durchführen können. Aus den mit dem Schülerarbeitsblatt bereitgestellten Fotos wurden durch visuelle Abschätzung folgende Ergebnisse erhalten:

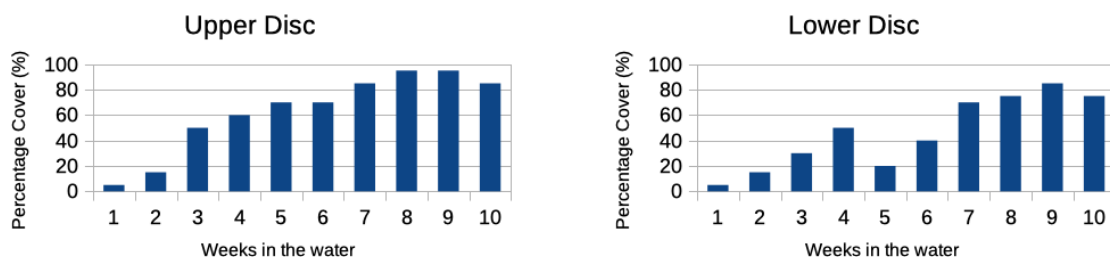


Abbildung 3: Zeitreihe der prozentualen Bedeckung (%) der oberen und unteren Platte

Wenn die Schüler in Teams gearbeitet und individuelle Schätzungen vorgenommen haben, werden sich ihre Ergebnisse wahrscheinlich um 5 bis 10% unterscheiden. Dies wird ihnen ein Gefühl für die Genauigkeit und Zuverlässigkeit dieser Methode vermitteln.

III.4 Streudiagramm von Biomasse gegen Prozentuale Bedeckung

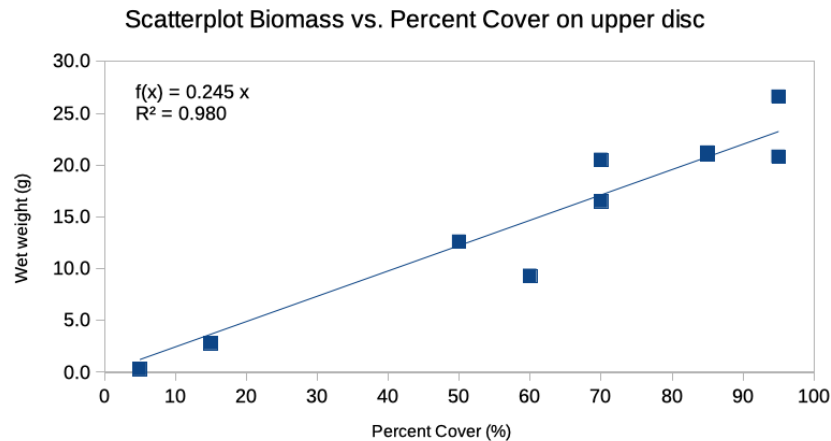
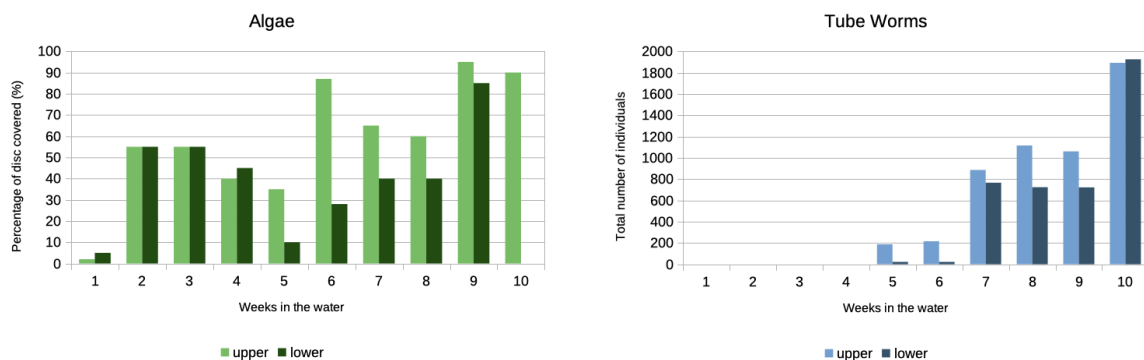


Abbildung 4: Streudiagramm und Regressionslinie für Biomasse (in Gramm) gegen prozentuale Bedeckung (%) für die oberen Platten.

LibreOffice berechnet einen Korrelationskoeffizienten von 0,96 für die beiden Variablen. (Die Beziehung für die untere Platte - nicht gezeigt - ist weniger ausgeprägt.) Obwohl diese Korrelation hoch ist (und statistisch signifikant mit einem Wahrscheinlichkeitswert $p < 0,001$), sollte man nicht vergessen, dass wir nur 10 Messungen betrachten.

III.5 Artenbestimmung und Auszählung

Die in Tabelle 3 des Schülerarbeitsblatts angegebenen Ergebnisse können auf verschiedene Weise präsentiert werden. Die Anzahl der Organismen lässt sich für jede Art einzeln in Säulendiagrammen darstellen (Abbildung 5):



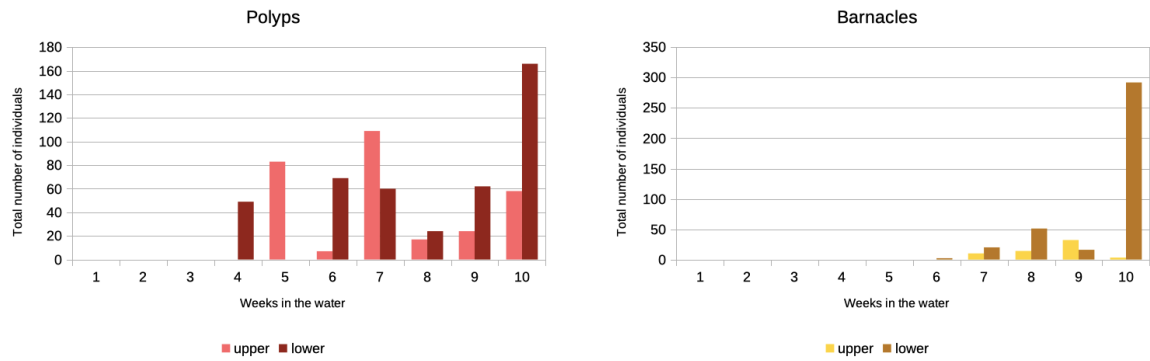


Abbildung 5: Entwicklung der Artenzusammensetzung auf einer Platte mit der Zeit. Die prozentuale Bedeckung (Algen) und die Anzahl der Individuen (Röhrenwürmer, Polypen, Seepocken) sind für die obere und die untere Platte dargestellt.

Die Diagramme können auch für alle Organismen kombiniert werden (Abbildung 6). (Zu beachten ist, dass diesmal die Anzahl der Organismen auf einer logarithmischen Skala dargestellt wird).

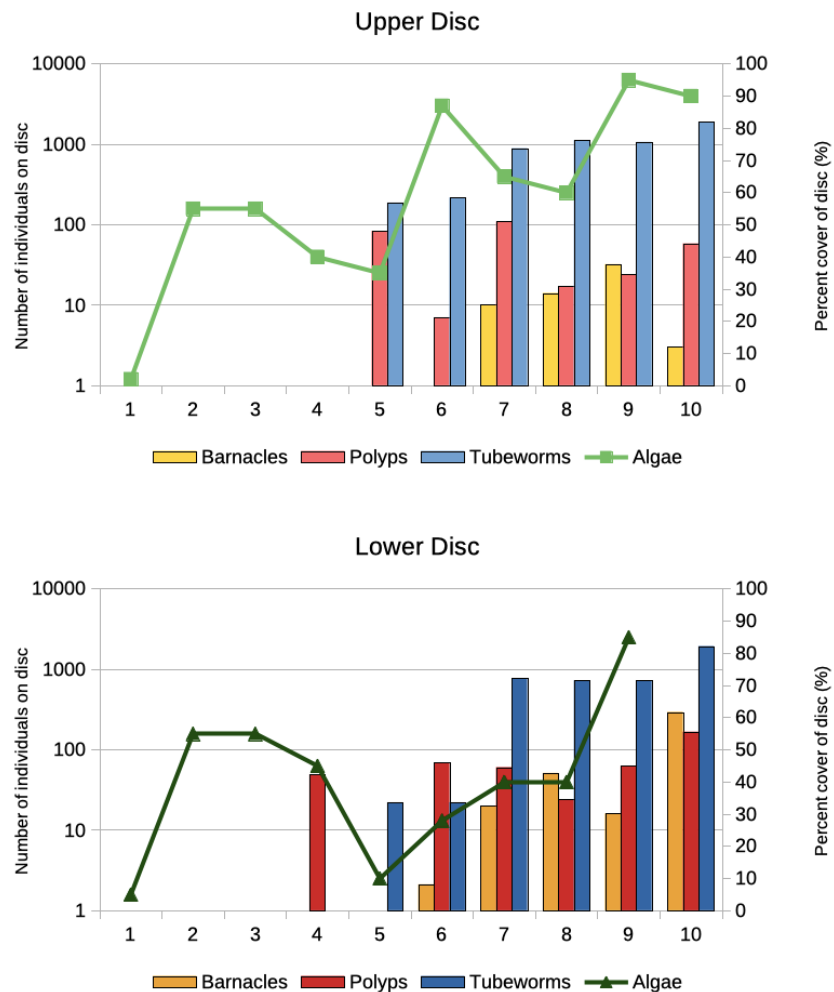


Abbildung 6: Abfolge von Bewuchsorganismen auf der oberen und unteren Platte. Die Linie zeigt das Wachstum der Algen (rechte Y-Achse) und die Säulen die Gesamtzahl der Wirbellosen (linke Y-Achse; beachten Sie, dass die Skala logarithmisch ist).

III.6 Artenvielfalt

Durch einfaches Zählen, wie viele verschiedene Arten in jeder Woche auf den Platten vorhanden sind, wurde ein Diagramm erstellt, das die Veränderung des Artenreichtums mit der Zeit zeigt (Abbildung 7).

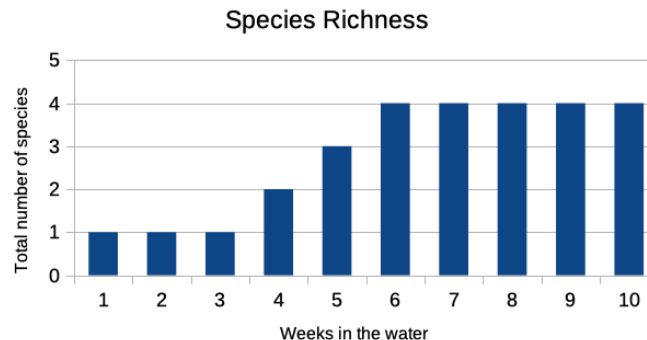


Abbildung 7: Änderung der Artenvielfalt auf den Platten mit der Zeit

Die Artenvielfalt auf den Platten nimmt mit der Zeit zu. Bis Woche 6 hat sie ihr Maximum erreicht (in Bezug auf die Anzahl der in dieser Studie betrachteten Arten) und nimmt danach nicht mehr ab.

III.7 Biodiversität

Die Berechnung von Biodiversitätsindizes wird an anderer Stelle in den VIRTUE-s-Dokumenten beschrieben (vergl.: <http://www.virtue-s.eu/de/deutscher-inhalt/biodiversitaetsberechnungen>).

Hier verwenden wir Simpsons Index der Diversität D (siehe Schülerarbeitsblatt, Abschnitt IV.7), um die Biodiversität der ältesten oberen und unteren Platten am Ende des Experiments (Woche 10) zu vergleichen:

Obere Platte	n	Σ	N	D
Röhrenwürmer	1893			
Polypen	58	3584868	1954	0.06
Seepocken	3			
Untere Platte				
Röhrenwürmer	1926			
Polypen	166	3819912	2384	0.32
Seepocken	292			

Tabelle 1: Bestandteile der Berechnung von Simpsons Index.

IV. Interpretation

Anhand der obigen Diagramme können die Schülerinnen und Schüler nun die Entwicklung jeder einzelnen Art interpretieren sowie das Wachstum der einzelnen Arten auf der oberen und der unteren Platte vergleichen. Wenn sie die Daten sorgfältig analysieren, werden sie auch einige Widersprüche in den Daten finden, auf die wir weiter unten eingehen werden.

Auch hier entspricht die verwendete Nummerierung den Nummern der Aufgaben im Schülerarbeitsblatt:

Bei den Aufgaben 1 - 3 geht es hauptsächlich darum, die in den Diagrammen gefundenen Merkmale zu beschreiben und sehr einfache Interpretationen zu liefern. Die Aufgaben 4 - 8 gehen tiefer in die Analyse der biologischen Daten und deren Interpretationen ein.

Obwohl nicht alle Diagramme für jede Aufgabe benötigt werden, sollten die Schülerinnen und Schüler alle Diagramme kennen und sie für ihre Argumentation verwenden können. (In der folgenden Diskussion werden die oben bereits gezeigten Abbildungen wiederholt, um das Lesen zu erleichtern).

Es ist wichtig, sich vor Augen zu halten, dass diese Daten ohne Replikate erhoben wurden und jede Zahl aus der Analyse einer einzigen Platte resultierte. Folglich müssen die Erklärungen spekulativ bleiben, während in einer echten wissenschaftlichen Studie Replikate die Zuverlässigkeit der Daten und ihre Interpretation absichern würden. Nichtsdestotrotz wird dies eine gute Übung für die Schülerinnen und Schüler sein, Kausalitäten zu untersuchen und fundierte datenbasierte Schlussfolgerungen zu ziehen.

IV.1 Änderung von Temperatur und Salzgehalt

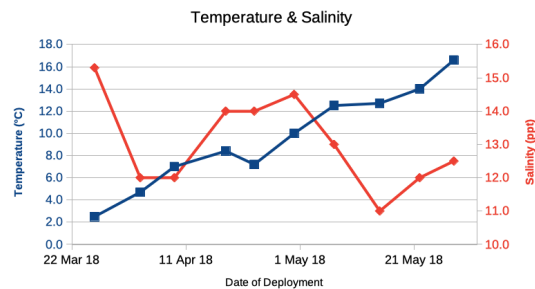


Abbildung 8: Änderungen der Temperatur und des Salzgehalts mit der Zeit während des 10-wöchigen Projekts

Die Temperatur zeigte im Frühjahr einen stetigen Anstieg von einer kalten Wintertemperatur von 2,5°C Ende März auf 16,6°C Ende Mai. Dieser Temperaturanstieg spiegelt deutlich die jahreszeitliche Erwärmung der Meeresoberfläche wider, mit einer leichten Unterbrechung in der Woche vom 23. April (was der 5. Auslage entspricht).

Der Salzgehalt schwankte zwischen 11,0 und 15,3 Promille. Salzgehalte zwischen 14 und 20 Promille sind in diesem Teil der Ostsee normal, aber etwas höhere oder niedrigere Salzgehalte sind nicht ungewöhnlich. Vor allem in den ersten beiden Maiwochen kam es jedoch zu einem deutlichen Rückgang des Salzgehalts auf seinen Minimalwert, bevor er wieder zu steigen begann. Der Grund für die Veränderungen des Salzgehalts ist nicht offensichtlich. Es könnte Regen oder Süßwassereintrag aus einem Fluss gegeben haben. (Wenn die Schülerinnen und Schüler die Koordinaten der Beprobungsstelle in Google Maps oder eine ähnliche Software eingeben und herauszoomen, können sie den kleinen Fluss Schwentine östlich der Beprobungsstelle sehen. Von hier aus können niedrigere Salzgehalte (Süßwasser vermischt mit dem umgebenden Wasser) an die Position der Auslage gelangen). Alle diese Interpretationen sind plausibel.

IV.2 Zunahme der Biomasse mit der Zeit

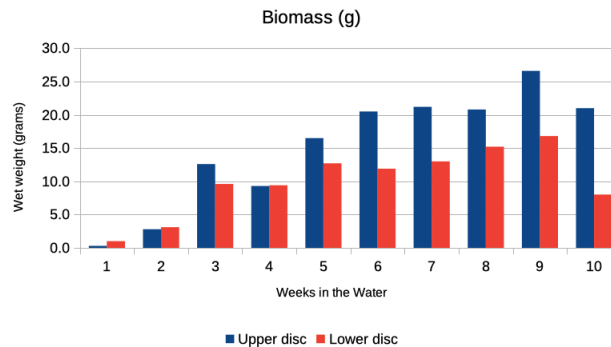


Abbildung 9: Endgültige Biomasse (Nassgewicht) nach verschiedenen Zeiträumen im Wasser über das 10-wöchige Projekt.

Im Allgemeinen ist die Biomasse auf den unteren Platten geringer als auf den oberen. Dies deutet darauf hin, dass entweder auf den nach unten gerichteten Platten weniger Wachstum stattfindet oder die dort wachsenden Arten weniger Biomasse haben.

Die Biomasse zeigt einen fast kontinuierlichen Zuwachs mit zunehmender Dauer der Auslage. Es gibt einige leichte Abweichungen, die möglicherweise auf unterschiedliche Ausgangsbedingungen beim Ausbringen der Platten zurückzuführen sind, aber diese sind gering. Bei den ältesten Platten zeigt sich jedoch ein ausgeprägter Rückgang der Biomasse: Sowohl die obere als auch die untere Platte, die 10 Wochen im Wasser waren, weisen deutlich weniger Biomasse auf als die Platten, die eine Woche später ausgebracht wurden.

Obwohl dies nicht unbedingt immer zutrifft, kann man davon ausgehen, dass je länger die Platten im Wasser sind, desto mehr Organismen sich auf ihnen ansiedeln oder wachsen sollten (zumindest bis zu einem gewissen Grad). Es kann jedoch auch zu einem (kontinuierlichen/periodischen?) Verlust an Biomasse durch Beweidung und Fraß durch Organismen kommen, die die Platten "besuchen", wie z.B. Fische oder Schnecken. Man könnte auch spekulieren, dass der Verlust von Biomasse auf den Platten durch mechanische Beanspruchung (Wellengang bei Stürmen?) oder durch unvorsichtige Handhabung während der Bergung oder Analyse geschehen könnte. Jede dieser Interpretationen ist gültig, und wir haben keine Möglichkeit, zu bestimmen, welche richtig ist.

IV.3 Prozentuale Bedeckung und Biomasse

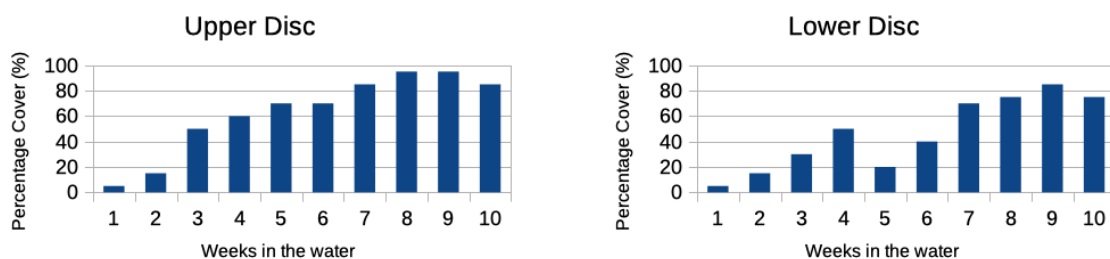


Abbildung 10: Zeitreihe der Prozentualen Bedeckung (%) der oberen und unteren Platten

Obwohl die Tendenzen in der prozentualen Bedeckung denen der Biomasse sehr ähnlich sind, gilt dies nicht für jedes Detail der Zeitreihe. Während auf den oberen Platten eine fast stetige Zunahme der prozentualen Bedeckung mit der Expositionszeit zu beobachten ist, zeigen die unteren Platten eine deutliche Abnahme der prozentualen Bedeckung zwischen Woche 4 und 5 im Wasser. Sowohl die prozentuale Bedeckung als auch die Biomasse zeigen einen Rückgang zwischen Woche 9 und 10, der jedoch bei der Biomasse viel ausgeprägter ist als bei der prozentualen Bedeckung.

Sowohl die Biomasse als auch die prozentuale Bedeckung ergeben für die oberen Platten höhere Gesamtzahlen als für die unteren Platten, was darauf hinweist, dass das Wachstum auf den nach oben gerichteten Platten stärker ist.

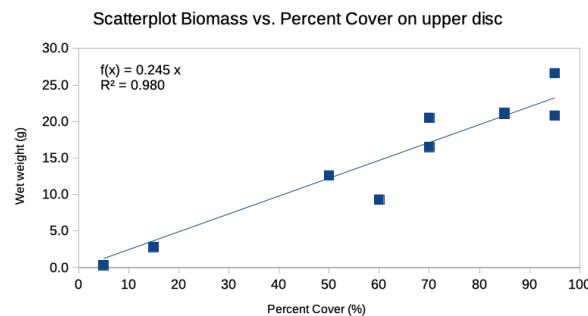


Abbildung 11: Streudiagramm und Regressionsgerade für Biomasse (g) gegen Prozentuale Bedeckung (%) für die oberen Platten.

Zumindest für die oberen Platten gibt es eine klare lineare Korrelation zwischen prozentualer Bedeckung und Biomasse. Der hohe und statistisch signifikante Korrelationskoeffizient von 0,96 scheint dies zu bestätigen. (Für die unteren Platten ist der Korrelationskoeffizient mit 0,72 niedriger, aber immer noch signifikant).

Natürlich würde man erwarten, dass die Biomasse zunächst mit der prozentualen Bedeckung korreliert, zumindest bis zu dem Punkt, an dem die Platte vollständig überwuchert ist (100 % Bedeckung) und das Wachstum der Biomasse in übereinanderliegenden Schichten weitergeht. Die Beziehung muss nicht linear sein, da verschiedene Organismen unterschiedliche Mengen an Biomasse pro Flächeneinheit hinzufügen. Die Tatsache, dass wir zwischen Woche 9 und 10 einen stärkeren Rückgang der Biomasse als der prozentualen Bedeckung feststellen, könnte auf die bereits vorhandene große prozentuale Bedeckung zurückzuführen sein: In Woche 9 waren die oberen Platten fast vollständig bewachsen und auch die unteren waren zu mehr als 80% bedeckt. Man könnte vermuten, dass auf der Platte, die 10 Wochen lang im Wasser lag, bereits ein mehrschichtiges Wachstum stattgefunden hatte und dass irgendwie (vielleicht bei starker Wellenbewegung) die oberen Schichten des Bewuchses verloren gingen (und Biomasse - vermutlich hauptsächlich Algen - mitnahmen), während die unteren Schichten erhalten blieben und immer noch größtenteils die gleiche Fläche bedeckten, nun aber mit deutlich weniger Biomasse. Diese Hypothese wird durch die Fotos der Platten nach 9 und 10 Wochen gestützt. (Allerdings kann, wie bereits im letzten Abschnitt diskutiert, auch eine unachtsame Handhabung beim Transport die Ursache sein).

IV.4 Entwicklung der Arten auf den oberen und unteren Platten

IV.4.1 Algen

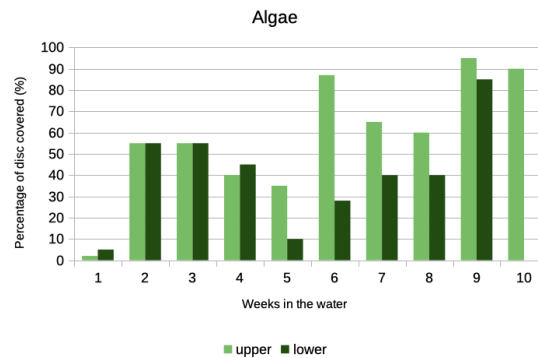


Abbildung 12: Prozentuale Bedeckung (%) durch Algen

Anscheinend wachsen Algen auf der Ober- und Unterseite auf Platten, die weniger als 4 Wochen im Wasser waren, gleich schnell. Sie scheinen von Woche 1 bis Woche 2 zu "explodieren", von weniger als 5% bis zu mehr als 50% Bedeckung. Jedoch: sorgfältige Schülerinnen und Schüler werden wahrscheinlich feststellen, dass einige der anderen Daten, d.h. die Fotos von Woche 2 (Abbildung 2 im Schülerarbeitsblatt), die Abschätzungen der Gesamtbdeckung (Abbildung 3 in diesem Dokument) und die Entwicklung der Biomasse (Abbildung 2 in diesem Dokument), in völligem Widerspruch zu den Zahlen stehen, die für die prozentuale Bedeckung mit Algen in Woche 2 angegeben wurden. Allein schon aus der Tatsache, dass eine Schätzung der Algenbedeckung allein unmöglich wesentlich größer sein kann als eine Schätzung der Gesamtdeckung, müssen wir den Schluss ziehen, dass die Zahlen in Woche 2 von dem für diese Platten verantwortlichen Schülerteam nicht korrekt angegeben wurden.

Wenn wir das scheinbar schnelle anfängliche Wachstum der Algen ignorieren, was können wir sonst noch sagen? Da wir bereits nach Woche 1 einige Algen sehen, ist es immer noch plausibel zu argumentieren, dass Algen die ersten sind, die die Platten besiedeln, insbesondere in der Jahreszeit der späten Auslagen (von etwa Platte 6 bis 1, d.h. Mitte April bis Anfang Juni), in der definitiv genügend Sonnenlicht vorhanden wäre.

Daten aus Woche 3 und 4 deuten darauf hin, dass das anfängliche Algenwachstum auf den oberen und unteren Platten mit ähnlichem Tempo erfolgt. Auf älteren Platten (Woche 5 und darüber) finden sich jedoch deutlich weniger Algen auf den unteren Platten. Dies kann durchaus auf Beschattung zurückzuführen sein. Wenn die Algen (und andere Organismen) auf den oberen Platten einen guten Teil der Oberfläche bedecken, kann dies das Licht, das die untere Platte erreicht, reduzieren, wodurch es für die Algen dort schwieriger wird, ihr volles Wachstumspotenzial zu entfalten.

Das verminderte Algenwachstum auf den oberen Platten der Wochen 4 und 5 im Vergleich zu Woche 3 erscheint im Lichte der Fotos erneut fragwürdig. Obwohl die genaue Art des Wachstums aus den Fotos nicht bestimmt werden kann, wurden in Woche 4 keine anderen Arten auf den oberen Platten und in Woche 5 nur eine vergleichsweise geringe Anzahl von Röhrenwürmern gezählt. Wir müssen also davon ausgehen, dass die Fotos hauptsächlich Algen zeigen, und die Bedeckung scheint genauso hoch oder höher zu sein als in Woche 3.

Für die älteste Platte (Woche 10) haben wir keine Zahlen für Algen auf der unteren Platte, aber wie oben (Abschnitt IV.3) diskutiert, müssen wir annehmen, dass ein großer Teil der Algen auf dieser Platte verloren gegangen ist.

IV.4.2 Röhrenwürmer

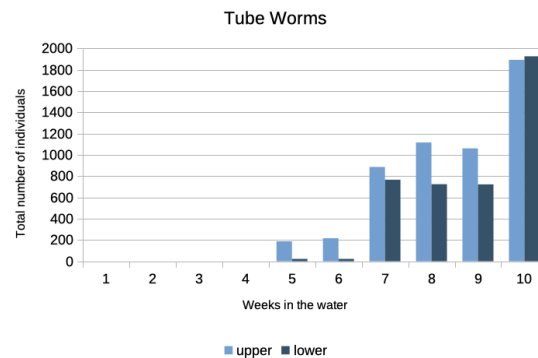


Abbildung 13: Anzahl der Individuen von Röhrenwürmern

Röhrenwürmer sind die auf den Platten am häufigsten vorkommende Art. (Beachten Sie, dass ihre Gesamtzahl auf der ältesten Platte fast 2000 Individuen erreicht, während die Zahl der Seepocken nur knapp 300 beträgt). Sie kommen auf den jüngsten Platten überhaupt nicht vor, und auf den oberen Platten nur auf solchen, die länger als 5 Wochen (d.h. vor Ende April) ausgelegt waren. Auf den unteren Platten ist erst nach 7 Wochen im Wasser ein deutlicher Anstieg der Individuenzahl festzustellen. Zwischen den Wochen 6 und 7 sowie 9 und 10 scheint es auf beiden Seiten der Platten abrupte Veränderungen im Wachstum zu geben.

Röhrenwürmer wachsen bevorzugt auf der oberen Platte (Woche 5 bis 9). (Bei den ältesten Platten (Woche 10) wird jedoch ein etwas stärkerer Bewuchs auf der Unterseite als auf der Oberseite angegeben).

Wie in den Hinweisen für die Schülerinnen und Schüler gesagt, bauen *Polydora sp.*, die Röhrenwurmart, die auf diesen Platten gefunden wird, ihre Röhren aus Sediment, das sich auf den Platten absetzt. Dies kann die bevorzugte Rekrutierung auf der oberen Platte erklären: Die Strömungen sind so schwach, dass sich innerhalb von 4 Wochen Sedimente auf den Platten ansammeln können. Bei den unteren Platten ist die Situation weniger klar: Obwohl die Sedimente nicht wie auf den oberen Platten von oben "herunterregnen" würden, könnten sie dennoch durch Wasserbewegung dorthin getragen werden und dann an der Oberfläche anhaften. Es scheint jedoch wahrscheinlich, dass dieses Sediment aus leichteren Partikeln bestehen und länger brauchen würde, um sich anzusammeln, was die geringere Anzahl von Röhrenwürmern auf den unteren Platten erklären würde.

Die unerwartet hohe Anzahl von Röhrenwürmern auf der unteren Platte in Woche 10 ist schwer zu erklären. Möglicherweise gibt es einen Zusammenhang mit dem Verlust von Biomasse auf dieser Platte (siehe Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** unten) oder es kann sich auch um einen einfachen Zählfehler handeln.

IV.4.3 Polypen

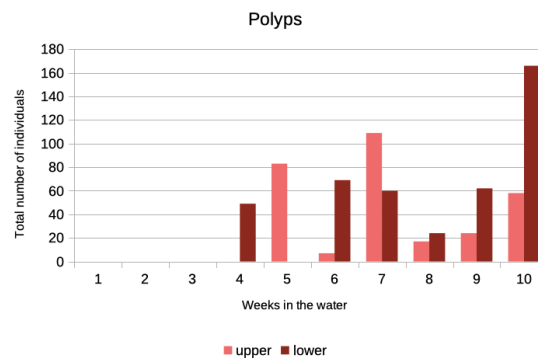


Abbildung 14: Anzahl an Individuen von Polypen

Die ersten Polypen erscheinen auf der (unteren) Platte, die 4 Wochen lang ausgelegt war, aber ihr weiteres Auftreten ist etwas unregelmäßig: bei den Platten der Woche 5 befinden sie sich nur auf der oberen, in Woche 6 hauptsächlich auf der unteren Platte. Die Population scheint auf den Platten von Woche 8 sehr niedrig zu sein, während auf den ältesten Platten höhere Zahlen zu finden sind.

Anfänglich zeigen die Polypen in diesem Experiment keine klare Präferenz für die obere oder untere Platte, aber bei den 3 ältesten Platten scheint sich eine Präferenz für die untere Platte einzustellen.

Die Planula-Larven von Polypen, insbesondere von *Obelia sp.*, sind positiv phototaktisch, während sie noch als Plankton im Wasser treiben, aber sie werden negativ phototaktisch, wenn es Zeit ist, sich anzusiedeln. Dies würde dazu führen, dass wir mehr Polypen an den "schattigen Plätzen", d.h. auf den unteren Platten, erwarten.

IV.4.4 Seepocken

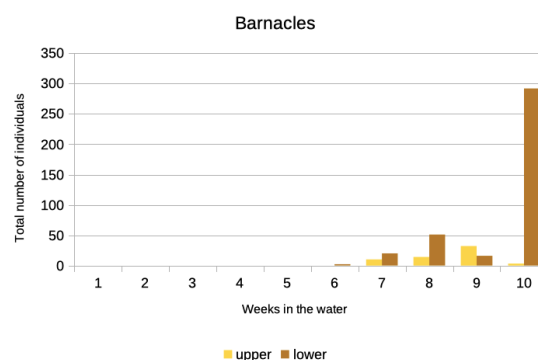


Abbildung 15: Anzahl an Individuen von Seepocken

Auf Platten, die weniger als 6 Wochen im Wasser waren (d.h. nach dem 23. April ausgelegt wurden), wurden keine Seepocken gefunden. Dies könnte entweder bedeuten, dass die Besiedelung durch Seepocken bis Mitte April abgeschlossen war, oder dass spätere Ankömmlinge sich noch nicht angesiedelt hatten, weil sie die Anwesenheit von etwas anderem auf den Platten benötigen, bevor sie diese besiedeln können.

Mit Ausnahme der Platte der Woche 9 siedeln sich Seepocken vorzugsweise auf den unteren Platten an, mit sehr hohen Zahlen auf der Unterseite der ältesten Platte.

Wie in den Hinweisen für Schüler angegeben, wird die Freisetzung von Seepockenlarven durch erwachsene Tiere durch die Phytoplanktonkonzentration und durch die Trübung bestimmt. Sie fällt meist mit der Phytoplanktonblüte im Frühling zusammen, die an diesem Standort meist zwischen März und Mitte April stattfindet. Nach dem Laichen sind die Larven der Seepocke planktonisch und positiv phototaktisch. Dies ist ein Vorteil, da sie sich von Phytoplankton ernähren, das in der oberen Wassersäule reichlich vorhanden ist. Das letzte Larvenstadium, die Cypris-Larve, ist das Stadium, das sich schließlich nach einigen Tagen bis Wochen auf einem Substrat festsetzt. Wenn die Seepocken also im März bis Mitte April laichen, würden wir in der Tat erwarten, dass sie sich bis Ende April oder Mai auf den Platten niederlassen. Aufgrund der Ungewissheit bezüglich des Zeitpunkts (uns liegen keine Daten über das Vorhandensein oder Fehlen von Cypris-Larven im Wasser vor) kann jedoch die zweite unserer Anfangshypothesen anhand dieser Daten nicht ausgeschlossen werden: Es ist denkbar, dass sich die Seepocken nicht auf einer "leeren" Oberfläche ansiedeln, bevor sich nicht zumindest ein dünner Biofilm darauf gebildet hat.

Da das Cypris-Stadium negativ phototaktisch ist, würde sie eine Besiedelung der unteren Platte bevorzugen. Außerdem sind Seepocken Filtrierer und erhalten ihre Nahrung durch "Sieben" von Nahrungspartikeln aus der Wassersäule. Folglich kann denjenigen, die sich auf den oberen Platten festsetzen, Sediment, das auf die Platten regnet, ihren Filterapparat verstopfen und sie benachteiligen.

IV.5 Reihenfolge des Auftretens der Organismen

Streng genommen ist es nicht möglich, aus diesem Experiment die Reihenfolge des Auftretens der Arten zu bestimmen. Anstatt den zeitlichen Verlauf einer einzelnen Platte zu verfolgen, wurde am Ende des Versuchs gleichzeitig das Wachstum auf Platten untersucht, die zu verschiedenen Zeiten und für immer kürzer werdende Zeiträume ausgelegt waren.

So wissen wir nicht, wann sich die ersten Makroalgen tatsächlich auf der Platte, die 10 Wochen im Wasser gelegen hatte, niedergelassen haben. In der Ostsee sind die Algensporen jedoch das ganze Jahr über vorhanden und im März gibt es genügend Licht, um das Wachstum und die Entwicklung der Algen zu unterstützen. Außerdem wurden in allen Wochen des Experiments auf allen Platten Algen gefunden. Daher scheint es berechtigt, anhand der Daten anzunehmen, dass sich Makroalgen auf jeder Platte als erste angesiedelt haben.

Bei den Röhrenwürmern argumentierten wir, dass sich Sediment auf der bisher leeren Platte angesammelt haben muss, bevor eine erfolgreiche Besiedelung möglich ist. Für Polypen gibt es kein klares Argument für einen bestimmten Zeitpunkt. Das Auftreten von Seepocken auf den Platten deckt sich gut mit der Phänologie/Saisonalität der Rekrutierung. Tatsächlich spielen bei allen Tierarten wahrscheinlich Laichzyklen eine Rolle, die wiederum von der Wassertemperatur abhängen könnten.

Auf der Grundlage der verfügbaren Daten ist also die Reihenfolge des Auftretens der Organismen auf den Platten in diesem Experiment:

Zuerst Makroalgen, dann Röhrenwürmer und Polypen, zuletzt Seepocken.

IV.6 Effekte von Temperatur oder Salzgehalt

Die häufigste Alge, *Ectocarpus*, hat 2 Stadien in ihrem Lebenszyklus, einen haploiden Gametophyten, der weniger tolerant gegenüber Salzgehaltsveränderungen ist, und einen toleranteren diploiden Sporophyten. Für die geringe Algenbedeckung der Platte in der 5. Woche (Abbildung 5 und Abbildung 6) kann spekuliert werden, dass diese durch die plötzliche und anhaltende Abnahme des Salzgehalts

verursacht worden sein könnte, die kurz nach der Auslage Ende April auftrat (Abbildung 1). Junge Algen, die sich in dieser Zeit festsetzten, könnten durch die sehr niedrigen Salzgehalte gestresst worden sein, was ihr Wachstum und ihre Entwicklung in den folgenden Wochen beeinflusst haben könnte. Algen, die sich früher auf Platten, die schon einige Wochen länger im Wasser waren, niedergelassen hatten, haben möglicherweise ein toleranteres Stadium in ihrem Lebenszyklus erreicht und waren daher weniger stark betroffen.

In Bezug auf die Temperatur kann es durchaus einen Einfluss der Wassertemperatur auf das Laichen der Larven geben, aber dies ist aus den Daten nicht ersichtlich.

IV.7 Konkurrenz

Im Hinblick auf eine potentielle Konkurrenz um den Lebensraum wäre natürlich der zuerst Ankommende im Vorteil, es sei denn, es gelingt den Spätankömmlingen, ihn zu verdrängen oder von äußeren Einflüssen zu profitieren, die einen Konkurrenten betreffen.

Wie bereits oben erwähnt, scheinen zu dieser Jahreszeit als Erstes Algen einzutreffen, danach Röhrenwürmer und Polypen. Es gibt keine Anzeichen für eine Konkurrenz um Platz zwischen Röhrenwürmern und Algen. Röhrenwürmer könnten ihre Röhren sehr wohl unter den Algen bauen: sie brauchen kein Licht, und die Algen würden durch die Röhren nicht beeinträchtigt. Zumindest in den späteren Wachstumsstadien auf den Platten scheinen sowohl Polypen und Algen als auch Polypen und Röhrenwürmer nicht um Platz zu konkurrieren, denn Polypen befinden sich hauptsächlich auf der Unterseite, während Algen und Röhrenwürmer die Oberseite besiedeln. Theoretisch könnte es eine Raumkonkurrenz zwischen den siedelnden Larven von Polypen und Seepocken geben: Beide meiden Licht und siedeln sich vorzugsweise auf der unteren Platte an. Als die Seepocken sich jedoch schließlich festgesetzt hatten, gab es immer noch mehr als 20% freien Platz auf den unteren Platten (Abbildung 3). Außerdem können beide Arten miteinander koexistieren, da sie nicht um Nahrung konkurrieren: Seepocken sind Filtrierer (sie fressen Phytoplankton und Detritus) und Polypen sind Räuber, die kleines Zooplankton fangen. Andererseits fanden Seepocken, die versucht haben könnten, sich auf der Oberseite der Platten anzusiedeln, dort nur noch sehr wenig Platz. Selbst wenn sie sich auf der Oberseite der Platten niedergelassen haben (Abbildung 15), werden sie wahrscheinlich irgendwann von Algen, Röhrenwürmern und Sediment erstickt.

Ein interessantes Argument könnte für eine Konkurrenz auf der Unterseite der Platten zwischen Algen und den drei Tierarten angeführt werden: Das Bild der ältesten Platte deutet darauf hin, dass der größte Teil ihres Algenbewuchses irgendwann abgefallen sein könnte und damit Platz für die anderen Arten zur Rückeroberung geschaffen wurde. Dies könnte die vergleichsweise hohe Gesamtzahl jeder der drei anderen Tierarten auf der Unterseite der Platte in Woche 10 erklären.

Es ist jedoch anzumerken, dass es keine klare Trennung zwischen den Arten gibt. Obwohl es während der anfänglichen Besiedlungsstadien Zwischenphasen gibt, in denen einige Arten nur auf der oberen oder der unteren Platte, nicht aber auf beiden zu finden sind (Woche 4 bis 6), ist in der "fortgeschrittenen" Besiedlungsphase jede Art, die auf einer Seite der Platten vorhanden ist, auch auf der anderen Seite zu finden.

IV.8 Biodiversität

Für die Platte, die 10 Wochen im Wasser gelegen hatte, beträgt der Simpson-Index 0,06 für die obere und 0,32 für die untere Platte (vgl. Tabelle 1). Somit beträgt die Wahrscheinlichkeit, zwei Individuen nach dem Zufallsprinzip auszuwählen, die nicht von derselben Spezies stammen, nur 6% für die obere Platte, während sie für die untere auf 32% steigt. Obwohl die Biodiversität auf der unteren Platte höher ist, ist der absolute Wert immer noch ziemlich niedrig.

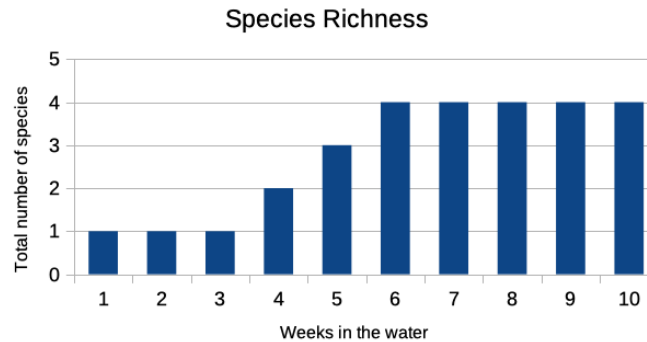


Abbildung 16: Änderung der Artenvielfalt auf den Platten mit der Zeit

Dies ist auf die überproportional hohe Anzahl von Röhrenwürmern zurückzuführen. In Bezug auf Individuen wird die obere Platte fast vollständig von ihnen dominiert. Auf der unteren Platte dominieren sie immer noch bei weitem, aber zumindest tragen die Seepocken signifikant zur Vielfalt bei.

Es sollte jedoch bedacht werden, dass bei der Analyse des Simpson-Index nur die 3 Tierarten verwendet wurden. Die Algen können nicht in die Berechnung einbezogen werden, da keine Einzelzählungen vorgenommen werden konnten. Der Artenvielfalt (ein weiterer Index für die Biodiversität, der alle 4 Arten berücksichtigt) erreichte ihren Höhepunkt nach der sechsten Woche der Auslage. Dies bedeutet nicht, dass die Gemeinschaft ihren Höhepunkt bereits erreicht hat, aber es ist auf die geringe Anzahl der in diesem Experiment vorhandenen Arten und die Tatsache zurückzuführen, dass sich die Jungstadien anderer benthischer Organismen erst später im Jahr auf den Platten ansiedeln werden. (Beispielsweise werden an diesem speziellen Standort im Sommer Muscheln zu wachsen beginnen, und bis zum Herbst werden sie alles andere vollständig überwuchert haben).

V. Weiterführende Literatur

- Abdel Aleem, A. 1957. Succession of marine fouling organisms on test panels immersed in deep-Water at La Jolla, California. *Hydrobiologia*. 11:40.
<https://doi.org/10.1007/BF00021007>
- BIOTIC: Biological Traits Information Catalogue: *Obelia longissima*
<http://www.marlin.ac.uk/biotic/browse.php?sp=4538>
- Chalmer, P.N. 1982. Settlement patterns of species in a marine fouling community and some mechanisms of succession. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 58: 73-85.
- Chase, A.L., Dijkstra, J.A., Harris, L.G. 2016. The influence of substrate material on ascidian larval settlement. *J. Mar. Poll. Bull.* 106: 35-42.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.049>
- Cifuentes, M., Krueger, I., Dumont, C.P., Lenz, M., Thiel, M. 2010. Does primary colonization or community structure determine the succession of fouling communities? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 395: 10-20.
- Gyory, J., Pineda, J., Solow, A. 2013. Turbidity triggers larval release by the intertidal barnacle *Semibalanus balanoides*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 476: 141-151.

<https://doi.org/10.3354/meps10186>. or
https://www.researchgate.net/publication/235735768_Turbidity_triggers_larval_release_by_the_intertidal_barnacle_Semibalanus_balanooides

Khalaman, V.V., Komendantov, A., Malavenda, S.S., Mikhaylova; T. 2016. Algae versus animals in early fouling communities of the white sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 553: 13-32.

<https://doi.org/10.3354/meps11767>

Thomas, D.N., Kirst; G.O. 1991. Salt tolerance of *Ectocarpus siliculosus* (Dillw.) Lyngb.: Comparison of gametophytes, sporophytes and isolates of different geographic origin. *Bot. Acta.* 104: 26-36.

Autoren:

Dr. Sally Soria-Dengg und Dr. Joachim Dengg
GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Düsternbrookerweg 20, 24105 Kiel
Deutschland
E-Mail: sdengg@geomar.de

V. 05-2020

Copyright: Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0);
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>