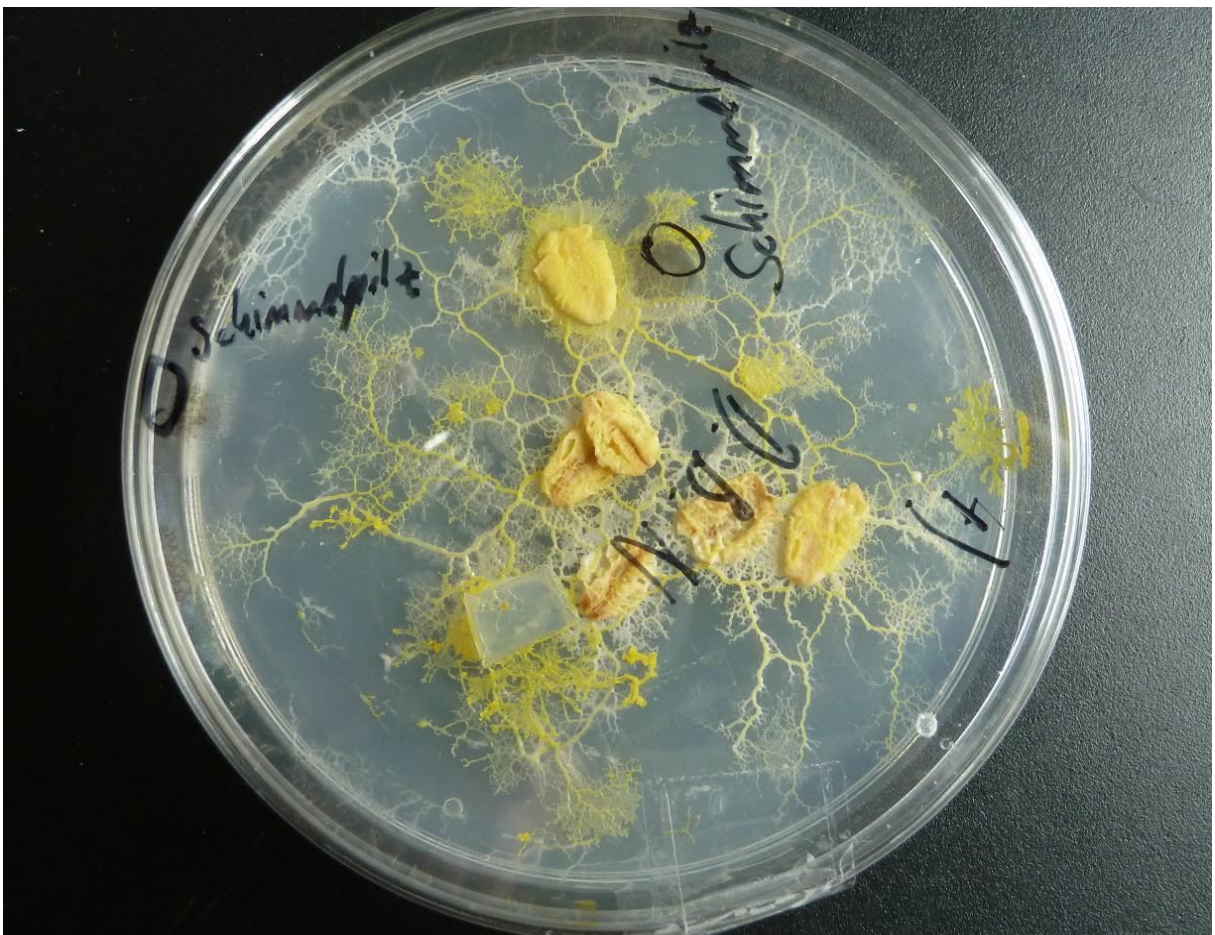


Verhalten des *Physarum polycephalum* auf verschiedene Lichtfarben

Maturaarbeit 2013 im Fach Biologie
an der Kantonsschule Sursee



Autor:
David Urwyler, 6c
Haldenrain 14
6205 Eich

Betreuer:
Wolfgang Käppeli
Rotseestrasse 5
6006 Luzern

Abstract

Myxomyceten sind einzigartige Lebewesen, die weder zu den Tieren noch zu den Pflanzen gehören. Sie bestehen aus einer Riesenzelle mit Millionen von Zellkernen, die ihre Nahrung umfließt und durch Enzyme verdaut. Über Rezeptoren in der Zellmembran nehmen sie ihre Umgebung wahr. Sie besitzen ein einfaches räumliches Gedächtnis und sind aussergewöhnlich intelligent.

In dieser Arbeit wurde das Verhalten des *Physarum polycephalum* auf verschiedene Wellenlängen des Lichts erforscht. Das Ziel der Arbeit lag darin, herauszufinden welche Lichtfarbe die Myxomyceten bevorzugen.

Dazu wurden mittels Experimenten untersucht, wie sich das Verhalten des Schleimpilzes verändert, wenn er zum Beispiel mit rotem Licht bestrahlt wird. Weiter wurden die Farben Blau und Grün getestet wie auch Hell-Dunkel.

Die Versuche zeigten einige klare Ergebnisse. Der Schleimpilz meidet blaues und grünes Licht. Hingegen bevorzugte er das rote Licht. Zusätzlich liefert die Arbeit Erkenntnisse über die Schleimpilzzucht.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Einleitung..... | 5 |
| 1.1 | Die Myxomyceten | 5 |
| 1.1.1 | Lebenszyklus | 5 |
| 1.1.2 | Verbreitung..... | 6 |
| 1.1.3 | System der Myxomyceten..... | 6 |
| 1.2 | Bedeutung der Myxomyceten in der Wissenschaft..... | 7 |
| 1.3 | Ziel der Arbeit | 7 |
| 2 | Material und Methode..... | 9 |
| 2.1 | Schleimpilzzucht | 9 |
| 2.2 | Versuchsordnung und Versuchseinrichtung | 10 |
| 2.2.1 | LED-Lampen..... | 12 |
| 2.2.2 | Resultate | 12 |
| 2.3 | Vorversuche..... | 13 |
| 2.3.1 | Vorversuch 1: Labyrinth | 13 |
| 2.3.2 | Vorversuch 2: Licht und Dunkel..... | 14 |
| 2.4 | Hauptversuche | 14 |
| 2.4.1 | Hauptversuch 1: Rotes Licht..... | 14 |
| 2.4.2 | Hauptversuch 2: Blaues Licht | 15 |
| 2.4.3 | Hauptversuch 3: Grünes Licht..... | 15 |
| 3 | Resultate..... | 16 |
| 3.1 | Vorversuche..... | 16 |
| 3.1.1 | Vorversuch 1: Labyrinth | 16 |
| 3.1.2 | Vorversuch 2: Licht und Dunkel..... | 16 |
| 3.2 | Erste Durchführung | 18 |
| 3.2.1 | Hauptversuch 1: Rot-Blau | 18 |
| 3.2.2 | Hauptversuch 2: Rot-Grün | 19 |
| 3.2.3 | Hauptversuch 3: Blau-Grün | 20 |
| 3.3 | Zweite Durchführung | 21 |
| 3.3.1 | Hauptversuch 1: Rot..... | 21 |
| 3.3.2 | Hauptversuch 2: Blau | 22 |
| 3.3.3 | Hauptversuch 3: Grün | 23 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.3.4 | Vergleich aller Farben | 24 |
| 4 | Diskussion..... | 25 |
| 4.1 | Interpretation | 25 |
| 4.1.1 | Beobachtungen der Schleimpilzzucht | 25 |
| 4.1.2 | Vorversuche | 26 |
| 4.1.3 | Hauptversuche..... | 27 |
| 4.2 | Mögliche weitere Folgeuntersuchungen | 28 |
| 4.2.1 | Einfluss der Temperatur..... | 28 |
| 4.2.2 | Phototaxis der Myxomyceten..... | 28 |
| 4.2.3 | Räumliches Gedächtnis | 29 |
| 5 | Reflexion der Arbeit | 30 |
| 6 | Quellenverzeichnis..... | 31 |
| 6.1 | Druck- und Onlinequellen..... | 31 |
| 6.2 | Mündliche Mitteilungen | 32 |
| 6.3 | Abbildungsnachweise..... | 32 |
| 7 | Glossar | 33 |
| 8 | Danksagung | 35 |
| 9 | Anhang..... | 36 |
| 9.1 | Materialliste..... | 36 |
| 9.2 | Vorversuch | 36 |
| 9.3 | Hauptversuche | 37 |
| 9.3.1 | Erste Durchführung | 37 |
| 9.3.2 | Rot-Blau | 37 |
| 9.3.3 | Rot-Grün..... | 38 |
| 9.3.4 | Blau-Grün..... | 38 |
| 9.4 | Zweite Durchführung | 39 |
| 9.4.1 | Rot-Dunkel..... | 39 |
| 9.4.2 | Blau-Dunkel | 40 |
| 9.4.3 | Grün-Dunkel..... | 40 |
| 9.4.4 | Vergleich aller Farben..... | 40 |
| 9.5 | Bilddokumentation | 41 |
| 10 | Redlichkeitserklärung | 44 |

1 Einleitung

1.1 Die Myxomyceten

Die Myxomyceten, sogenannte Schleimpilze, gehören weder zu den Tieren noch zu den Pflanzen und auch nicht zu den Pilzen, sondern bilden einen eigenen Zweig im Stammbaum des Lebens. [1] Myxomyceten sind weit verbreitete heterotrophe Organismen* (*Wörter mit einem * werden im Glossar erklärt*). Ihr Lebenszyklus ist einzigartig. Und obwohl sie nur aus einer einzigen Zelle bestehen, scheinen sie sehr lebendig und ausserordentlich intelligent. [2]

1.1.1 Lebenszyklus

Der Lebenszyklus eines Schleimpilzes ist aussergewöhnlich und einmalig (s. Abb. 1): Er bildet Sporen (C) wie die Pilze, welche durch Luftströme, Wasser und Tiere verbreitet werden. Wenn die Temperatur und das Wasserangebot stimmen, platzen die Sporen auf und es treten ein bis vier Myxoflagellaten oder Myxamöben* (B) heraus. Diese bilden bei günstigen Umweltbedingungen Zellkolonien. Falls es zu Nahrungsmangel, Trockenheit oder Hitze kommt, verkapseln sich die einzelnen Myxoflagellaten und Myxamöben zu Mikrozysten* (D) und setzen ihre Entwicklung erst wieder bei günstigen Bedingungen fort. [2]

Durch Verschmelzung (E) der Myxoflagellaten oder Myxamöben entsteht eine Zelle, die Zygote* (F). Diese wächst unter ständiger Nahrungsaufnahme und durch Kernteilung zum Plasmodium (H) heran.

Das Plasmodium ist eine schleimige, klebrige Riesenzelle, welche Millionen von Zellkernen enthält. Es gibt drei Typen davon, welche je nach Ordnung variieren. Durch Plasmaströme, die von Enzymen verursacht werden, können sie sich fortbewegen, da die Strömung in eine Richtung länger anhält als in die andere. Zurück bleibt eine weisse, gelartige Schleimspur. Die Plasmaströmung ist unter einem Mikroskop gut sichtbar. Wie der Steuerungsmechanismus funktioniert, ist aber weitgehend unbekannt.

Im Plasmodium-Stadium umfließt der Schleimpilz seine Nahrung und verdaut sie. Allerdings ist er auch in der Lage, mithilfe von Enzymen Mikromoleküle aus dem Substrat zu hydrolysieren*. [3.1] Für die Nahrungssuche nutzen Myxomyceten chemosensorische Rezeptoren*. Durch die Aktivierung dieser Rezeptoren werden Signale an den Zellkern weitergeleitet. Der Schleimpilz weiss so, in welche Richtung er sich bewegen muss. [15]

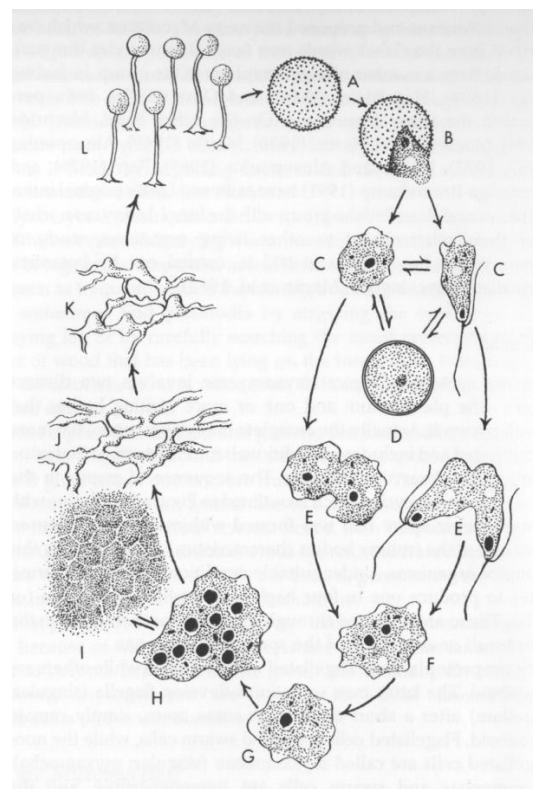


Abb. 1: Lebenszyklus eines Schleimpilzes

Bei schlechten Umweltbedingungen verhärtet das Plasmodium zu Sklerotien* (I). In dieser Phase verweilt der Schleimpilz so lange, bis wieder günstige Lebensbedingungen auftreten.

Um sich zu vermehren, bilden die Myxomyceten Fruktifikationen (L). Dies geschieht auf unterschiedliche Weise und variiert von Art zu Art. Einige bilden ihre Sporen auf Stielen, andere fruktifizieren unter einer Deckschicht (Hypothallus*) oder über ihr. In diesem Stadium können die Schleimpilze anhand von Bestimmungsmerkmalen am besten voneinander unterschieden werden. Trotzdem gibt es oft Mischformen, welche die Identifikation erschweren. [3.1]

1.1.2 Verbreitung

Das Vorkommen der Myxomyceten kann bis heute noch nicht exakt abgegrenzt werden. Es wird angenommen, dass Schleimpilze weltweit verbreitet sind. Solange ausreichend Feuchtigkeit, die passenden Temperaturen und genügend Nahrung vorhanden sind, kann mit Schleimpilzen gerechnet werden. Auch in höher gelegenen Gebieten wie den Alpen wurden Schleimpilze gefunden. Es handelt sich dabei um nivicole Arten*, welche den Rand abschmelzender Schneefelder bewohnen. [2]

1.1.3 System der Myxomyceten

Das System der Schleimpilze ist durchaus komplex. Es gibt bereits einige Bücher, in denen die verschiedenen Myxomycetenarten systematisch angeordnet sind. [3]

Das gesamte System wird in drei Unterklassen von Fruktifikationentypen unterteilt, Ceratiomycomycetidae, Myxogastromycetidae und Stemonitomycetidae. Jede dieser Unterklasse besitzt verschiedene Ordnungen. Diesen wiederum sind Familien zugeordnet, welche unterschiedliche Gattungen aufweisen. Bei der Benennung werden wie bei allen Lebewesen nur die Gattung und die Art des Pilzes angegeben. [2]

Tab.1: Einordnung des *Physarum polycephalum*

| Unterklassen | Ordnung | Familie | Gattung | Art |
|---------------------|------------|-------------|----------|---------------------|
| Myxogastromycetidae | Physarales | Physaraceae | Physarum | <i>polycephalum</i> |

Dementsprechend gehört der *Physarum polycephalum* zur Unterklasse Myxogastromycetidae. Er kommt hauptsächlich in Europa, Mittel- und Südamerika, China, Japan und Südostasien vor und bildet gestielte Fruktifikationen. Da das Plasmodium von *P. polycephalum* sich unter Laborbedingungen sehr gut entwickelt, dient er oft als Versuchssubjekt. Auch bei dieser Arbeit wird mit dem *P. polycephalum* gearbeitet. [3.2]



Abb. 2: *Physarum polycephalum*

1.2 Bedeutung der Myxomyceten in der Wissenschaft

Die Myxomyceten spielen bereits seit ihrer Entdeckung eine wichtige Rolle in der Wissenschaft. Obwohl ihnen ein zentraler Kontrollmechanismus wie das menschliche Gehirn fehlt, weisen sie eine gewisse Intelligenz auf.

Anhand eines Experimentes fand der Forscher Toshiyuk Nakagaki von der Universität in Sapporo heraus, dass der Schleimpilz *P. polycephalum* zur Entwicklung verkehrstechnisch günstigster Netzwerke verwendet werden kann. Dazu wurde auf einer japanischen Landkarte auf allen grossen Umgebungsstädten von Tokio eine Haferflocke platziert. Auf der Stadt Tokio wurde ein Stück *P. polycephalum* angesiedelt, welcher von dort aus die energieeffizienteste Verbindung zwischen den Haferflocken ausbildete. Hierzu gibt es ein *Youtube-Video*, wo der gesamte Ablauf dieses Versuches mit einer Kamera festgehalten ist [Abb. 3].

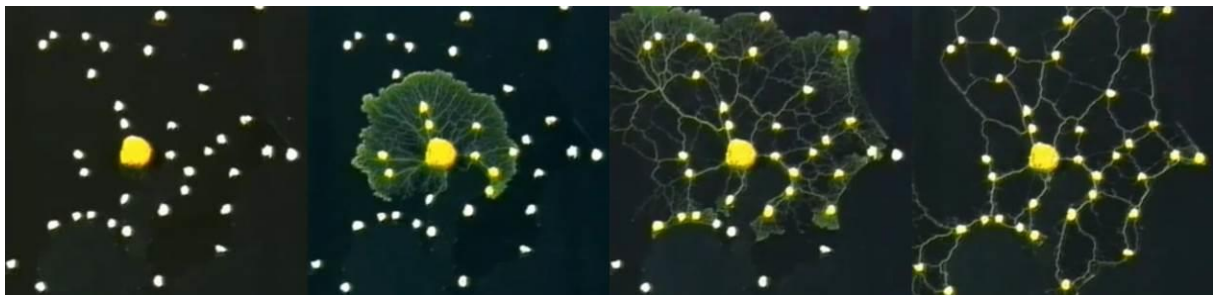


Abb. 3: Slime mold form a map of the Tokyo-area railway system

Auch beim berühmten Labyrinth-Versuch bahnt sich der Schleimpilz den kürzesten Weg, sofern ihn am Anfangs- und Endpunkt eine Mahlzeit aus Haferflocken erwartet. Der gesamte Versuch wird in Kapitel 2.3.1 noch genauer beschrieben. Diese Eigenschaft macht ihn zu einem attraktiven Versuchsobjekt für Netzwerkingenieure. Um die Fähigkeit des *P. polycephalum* zu nutzen, arbeiten Forscher an einem allgemeinen Algorithmus. Diesem werden zusätzlich Parameter zugefügt, damit seine Effizienz verstärkt wird. Somit lässt er sich gut auf diverse Netzwerksysteme übertragen. [5]

In der Biochemie*, Biophysik* und der Genetik spielt der Schleimpilz als Untersuchungsobjekt vor allem für Botaniker* und Mykologen* eine wichtige Rolle. Auch für die chemische Industrie sind seine verschiedenen Enzyme, Wachstumsstoffe und antibiotischen Substanzen ausschlaggebend. [3.1]

1.3 Ziel der Arbeit

Myxomyceten haben ein aussergewöhnliches Verhalten. Über verschiedene Rezeptoren in der Zellmembran des Plasmodiums nehmen Myxomyceten ihre Umwelt wahr und verhalten sich dementsprechend. Bereits bekannt ist, dass Schleimpilze grundsätzlich auf zu viel Licht empfindlich reagieren. [14]

In dieser Arbeit wird erforscht, wie sich die Myxomyceten gegenüber unterschiedlichen Lichtfarben verhalten, und welche Rolle die Lichtintensität spielt. Es wird angenommen, dass bei heterotrophen Organismen die Wellenlänge der Lichtfarbe entscheidender ist als die Lichtintensität. Der Grund dafür ist, dass heterotrophe Organismen Licht über spezielle Photorezeptoren wahrnehmen, die für eine bestimmte Wellenlänge spezifisch sind. [10]

Dazu werden Experimente durchgeführt, bei denen die Schleimpilze mit verschiedenen Lichtfarben bestrahlt werden.

2 Material und Methode

2.1 Schleimpilzzucht

Bevor überhaupt mit einem Experiment gestartet werden konnte, mussten genügend Schleimpilze vorhanden sein. Deshalb wurde drei Monate vor der Durchführung der Versuche mit einer intensiven und zeitaufwendigen Schleimpilzzucht begonnen. Diese spielte eine zentrale Rolle. Es war wichtig, möglichst früh viele Erfahrungen für den vertrauten Umgang mit den Myxomyceten zu sammeln.

Zuerst musste das nötige Material besorgt werden. Die Materialliste ist im Anhang aufgeführt. Die gesamte Zucht wurde in kleinen, runden Petrischalen gehalten, welche mit einem 3 mm Agarnährboden ausgestattet wurden. Dazu wurden 1.8 g Agar in 98.2 ml Wasser gegeben und in einem Dampfkochtopf 30 Minuten lang steril gekocht. Die erwärmte Flüssigkeit wurde danach in die sterilisierten Petrischalen gegossen und abgekühlt.

Um Schimmelpilze zu verhindern, war es wichtig, möglichst steril zu arbeiten. Vor dem Füttern, Überimpfen oder vor einem Versuchsbeginn wurde der gesamte Arbeitsplatz mit einer 75 % Alkohollösung desinfiziert. Die Werkzeuge wie Spatel, Pinzette wurden mit einer 96 % Alkohollösung übergossen und danach durch eine Flamme gezogen. Die Hände wurden mit einem Hände-Desinfektionsmittel sauber gewaschen. Ausserdem wurde immer ein Mundschutz getragen. Der Agarnährboden konnte zusätzlich mit einem Filterpapier ausgestattet werden, was den Schimmelpilzbefall verlangsamte.

Danach wurden die Petrischalen mit dem *P. polycephalum* besiedelt und der Schleimpilz mit zuvor im Backofen sterilisierten Haferflocken gefüttert. Wenn die Myxomyceten eine gewisse Grösse erreicht hatten, wurden sie überimpft. Für die Überimpfung ergaben sich drei Möglichkeiten: [14]



Abb. 4: Labor

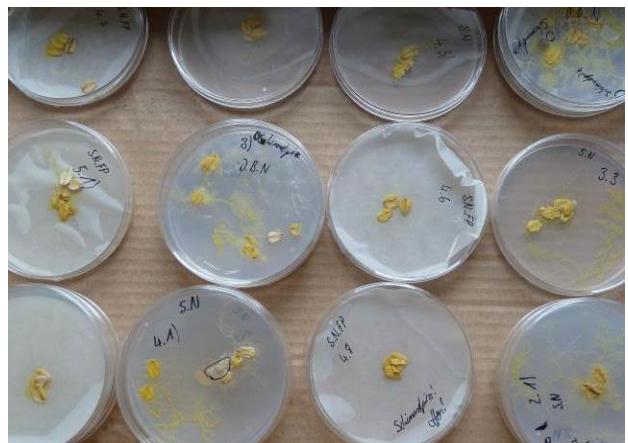


Abb. 5: Schleimpilzzucht

1. Mit einem Spatel wurde der Schleimpilz von seinem Substrat abgeschabt und auf ein neues Substrat gegeben. Bei der Fütterung wurde dabei die Haferflocke mit einer Seite auf den Schleimpilz gelegt für den direkten Kontakt zur Nahrungsquelle.
2. Falls der Schleimpilz eine Haferflocke bereits ganz überzogen hatte, konnte die ganze Haferflocke mit dem Plasmodium nach unten auf das neue Substrat übertragen werden.
3. Die dritte Möglichkeit war ähnlich wie die erste. Hier wurde jedoch der Schleimpilz samt dem Nährboden ausgestanzt und mit dem Plasmodium nach unten auf das neue Substrat gelegt.

Die Schleimpilze wurden alle zwei bis drei Tage mit Haferflocken gefüttert und stets im Dunkeln gehalten.

Über die Monate hinweg wurde die gesamte Mycomycetenzucht dokumentiert. Die Petrischalen waren immer mit einer Nummer und dem Nährbodentyp beschriftet. In Tabellen wurden die Objekte aufgelistet. Zusätzlich wurden dort das Wachstum, Fütterung, Überimpfung und das Verhalten aufgeführt. Auch Beobachtungen wurden festgehalten. Neue Daten wurden im Abstand von 2-3 Tagen nachgetragen.

Da es häufig passieren kann, dass die gesamte Schleimpilzzucht zugrunde geht, wurden Sklerotien hergestellt. Im Sklerotien-Stadium ist der Schleimpilz gegen Naturgefahren geschützt und kann ohne Pflege aufbewahrt werden. Er diente als Vorrat, falls zu wenige Exemplare vorhanden gewesen wären oder die Schleimpilzzucht zerstört worden wäre. Um Sklerotien herzustellen, wurden sterile Filterpapiere benötigt. Diese wurden mit destilliertem Wasser befeuchtet und in eine leere Petrischale gegeben. Mit dem Spatel wurde der Schleimpilz aus seiner Petrischale grossflächig abgeschabt und auf das feuchte Filterpapier überimpft. Die Petrischale wurde mit dem Deckel zur Hälfte geöffnet in einen dunklen Raum gestellt. Da dem Schleimpilz keine Nahrung zugeführt wurde, fing er mit der Bildung des hornartigen Sklerotiums an. Durch den halbgeöffneten Deckel entwich zusätzlich Feuchtigkeit, was den Prozess beschleunigte. [14]



Abb. 6: Sklerotien

2.2 Versuchsanordnung und Versuchseinrichtung

Um das Verhalten von Schleimpilzen auf verschiedene Wellenlängen zu untersuchen, wurde eine Versuchsanlage gebaut, die in der Mitte durch eine lichtundurchlässige Kunststoffscheibe in zwei Räume aufgeteilt wurde, so dass die beiden Räume jeweils mit anderen Lichtquellen beleuchtet werden konnten (z.B. rot und grün). Zusätzlich musste der Schleimpilz entscheiden können, welche Richtung er einschlagen möchte. Dies setzte voraus, dass er zu Beginn zu den zwei beleuchtenden Hälften denselben Abstand aufwies.

Für den Vorversuch „Licht und Dunkel“ und für die Hauptversuche wurden deshalb grosse Petrischalen der Grösse 222 x 154 mm verwendet. Dies erleichterte die Beleuchtung der zwei Hälften. Ausserdem konnten in den grossen Petrischalen fünf Objekte gleichzeitig getestet werden.

Eine viereckige Petrischale mit 222 mm x 154 mm Seitenlänge wurde mit einem Agarnährboden ausgestattet. Für die grosse Petrischale wurden 98.2 ml mit 1.8 g Agar gemischt und in einem Dampfkochtopf steril gekocht. Die erwärmte Agarmischung wurde danach in die mit 96 % Alkohollösung desinfizierte Petrischale gegossen und abgekühlt. Der erkaltete Agar* wurde in zwei gleiche Hälften geschnitten, die so nebeneinander gelegt wurden, dass sie sich nicht berührten. [14] Mit einem Spatel wurden aus einem Agar mit *Physarum polycephalum* kleine rechteckige Stücke ausgeschnitten. Diese wurden mit dem Plasmodium nach unten auf die Mitte der zwei Hälften gelegt (sie müssen beide Hälften berühren). Die beiden Hälften konnten nun unterschiedlich belichtet werden. Es musste jedoch noch ein Lichtschutz angebracht werden, damit möglichst kein Licht auf die andere Hälfte drang. Dieser wurde in der Mitte der zwei Hälften im Innern der Petrischale befestigt. (Abb.7) Der Lichtschutz war so konstruiert, dass er den Agarnährboden nicht berührte. Somit konnten die Schleimpilze den Lichtschutz ohne Probleme passieren.

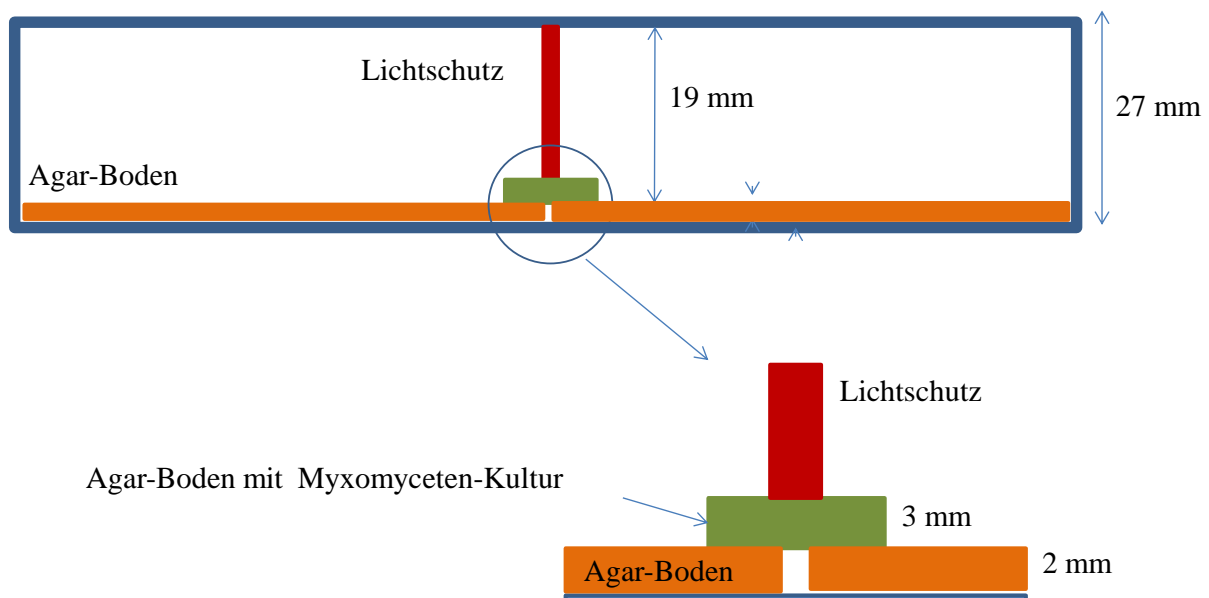


Abb. 7: Petrischale Versuchsanordnung

Die gesamte Petrischale wurde in zwei Schachteln gegeben, so dass die eine Agar-Hälfte in der ersten Kammer, die andere in der zweiten Kammer lag (Abb. 8). Der Lichtschutz lag direkt in der Mitte. Jede Schachtel enthielt eine Lichtquelle, so dass die beiden Kammern unterschiedlich beleuchtet werden konnten.

Für die Installation einer Glühbirnenfassung wurde in den Schachteldeckel ein Loch geschnitten. Die Glühbirnenfassung mit Kabel und Stecker wurde selbst hergestellt.

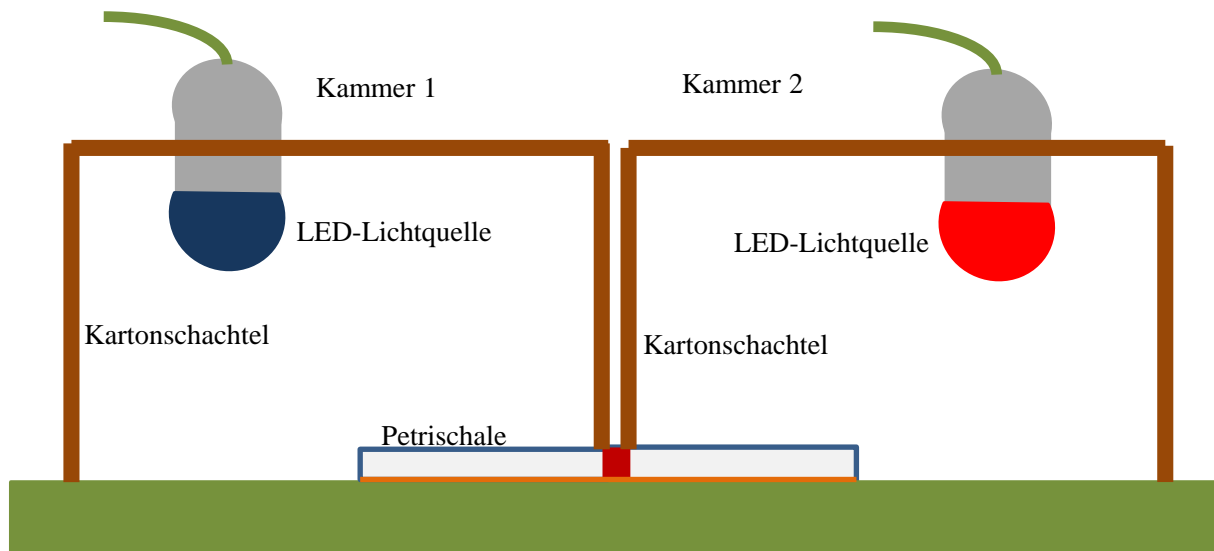


Abb. 8: Versuchsanordnung mit verschiedener Beleuchtung

2.2.1 LED-Lampen

Als Glühbirnen wurden Leuchtdioden, kurz LED-Lampen verwendet. Anders als Glühbirnen sind Leuchtdioden keine Wärmestrahler. [6] Somit wurde die Temperatur nicht beeinflusst, welche das gesamte Resultat hätte verfälschen können. Für die Hauptversuche wurden rote, blaue und grüne LED-Lampen der Marke LED Mini Lampe E27 verwendet. Diese unterscheiden sich anhand ihrer Wellenlänge. Beim Vorversuch Licht und Dunkel wurde normales Sonnenlicht (Raumlicht) verwendet.

Tab.2: Wellenlänge der verwendeten Lichtfarben

| Lichtfarbe | Wellenlänge (nm) |
|------------|------------------|
| Blau | 500 nm |
| Grün | 555 nm |
| Rot | 650 nm |

2.2.2 Resultate

Alle Versuche bis auf den Labyrinth-Versuch wurden mit 25 Exemplaren durchgeführt. In einer Petrischale der Größe 222 x 154 mm konnten gleichzeitig 5 Tests gemacht werden. Die Myxomyceten wurden 24 Stunden unter regelmässiger Beobachtung in der Versuchsanlage gehalten. Danach wurde ihre Bewegungsrichtung in einer Tabelle festgehalten. Anhand von

Zahlen (siehe Tabelle 3) wurde angegeben, für welche Kammer sich der Schleimpilz entschieden hatte.

Tab.3: Abkürzung der Bewegungsrichtung

| <i>Abkürzung</i> | <i>Bedeutung</i> |
|------------------|--------------------------------------|
| <i>1</i> | <i>Wachstum zu der X-Lichtquelle</i> |
| <i>0</i> | <i>Kein Wachstum</i> |
| <i>-1</i> | <i>Wachstum zu der Y-Lichtquelle</i> |
| <i>-1/1</i> | <i>Wachstum in beide Richtungen</i> |

Da beim ersten Versuchsdurchlauf einige Probleme auftraten, welche das Resultat verfälschten, wurde beschlossen, alle Hauptversuche ein zweites Mal durchzuführen. Bei der zweiten Durchführung gab es einige Änderungen unter anderem bei der Aufnahme der Resultate, indem nicht nur die Richtung des Wachstums festgehalten wurde, sondern auch die nach 24 Stunden vom Schleimpilz eingenommene Fläche. Dazu wurde am Ende des Versuchs ein Foto von der gesamten Petrischale mit Längenangabe erstellt. Das Foto wurde im Geogebra eingefügt und dort auf die Grösse angepasst. Mit dem Befehl „Vieleck“ konnte die eingenommene Fläche des Schleimpilzes ermittelt werden. Danach wurde das Verhältnis gebildet, dieses Relativmass sollte dann eine Vergleichbarkeit ermöglichen.

Beim zweiten Durchlauf wurde immer eine Kammer vollständig verdunkelt. Dadurch konnte besser zwischen Stimulus (Licht einer gewissen Wellenlänge und Intensität) und einer Referenz (Dunkelheit) verglichen werden. [11] Damit sollte ein klares Resultat ermöglicht werden.

Bei der Durchführung der Versuche war die Temperatur durchgehend konstant. Damit kein Licht von aussen auf die Schleimpilze Einfluss nahm, wurde der gesamte Raum verdunkelt. Zusätzlich wurde ein Tuch über die beiden Kammern gespannt.

2.3 Vorversuche

2.3.1 Vorversuch 1: Labyrinth

Als erster Vorversuch wurde der bekannte Labyrinth-Versuch von den japanischen Forschern Nakagaki, Yamada und Toth nochmals durchgeführt. Damit wurde das bereits bekannte Verhalten des Schleimpilzes überprüft.

Zuerst wurde auf einer Folie ein Labyrinth gedruckt. Dieses sollte in eine runde Petrischale passen. Mit einem Japanmesser wurden nur die Gänge des Labyrinths ausgeschnitten. Danach wurde das Labyrinth in eine Petrischale gelegt, welche mit einem Nährboden ausgestattet war. Aus

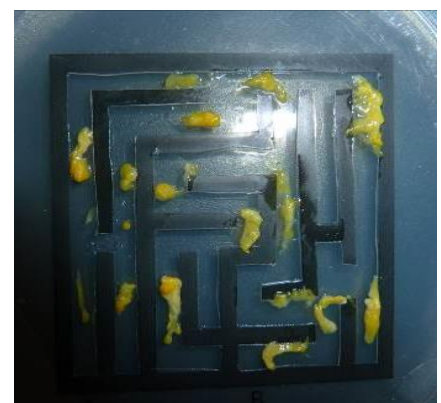


Abb. 9: Labyrinthversuch

der Schleimpilzzucht wurde der Schleimpilz in den freien Gängen in kleinen Stücken verteilt. Nun wurde 8 bis 12 Stunden gewartet, damit sich der Schleimpilz in allen Gängen gleichmässig verteilen konnte. Nach 8 bis 12 Stunden wurden an zwei Enden des Labyrinths zwei Haferflocken platziert. Der Schleimpilz sollte sich jetzt den kürzesten Weg durchs Labyrinth bahnen und sich aus den anderen Gängen zurückziehen. [14]

Beim Labyrinth-Versuch wurden fünf Petrischalen mit einer Labyrinthfolie ausgestattet. Hier war es nicht nötig, mehr Objekte zu testen, da nur das bereits bekannte Verhalten überprüft werden sollte. Für den Fall, dass der erste Durchlauf bei allen fünf Objekten schief gehen würde, war vorgesehen, zusätzliche Labyrinth-Versuche durchzuführen.

2.3.2 Vorversuch 2: Licht und Dunkel

Für den zweiten Vorversuch wurden die Schleimpilze auf Licht und Dunkel getestet. Hier wurde die oben aufgeführte Versuchsanlage (Kap. 2.2) abgeändert. Die erste Kammer wurde komplett verdunkelt, die zweite Kammer hingegen weggelassen. Somit war die andere Hälfte der Petrischale frei dem Sonnenlicht ausgesetzt. Für die Durchführung wurden 5 grosse Petrischalen der Grösse 222 x 154 mm mit einem 18 % Agarboden ausgestattet. Nach 24 Stunden Laufzeit wurden die Bewegungsrichtungen der einzelnen Versuchsobjekte festgehalten und ausgewertet. Beim Vorversuch Licht und Dunkel gab es keine zweite Durchführung.

Da bereits bekannt war, dass der Schleimpilz grundsätzlich auf zu viel Licht empfindlich reagiert, wurde angenommen, dass der Schleimpilz auf die dunkle Seite der Petrischale wandern würde.

2.4 Hauptversuche

Die folgenden Versuche wurden nach der in Kapitel 2.2 beschriebenen Versuchsanordnung durchgeführt. Hierzu wurden fünf grosse Petrischalen mit je fünf Plasmodien ausgestattet. Nach 24 Stunden wurden unter regelmässiger Beobachtung die Resultate (Kap. 2.2.2) aufgenommen. Bei der ersten Durchführung wurde nur die Bewegungsrichtung der Versuchsobjekte festgehalten. Da in den Resultaten der ersten Durchführung nicht klar ersichtlich war, welche Lichtfarbe die Myxomyceten bevorzugten, wurde der gesamte Versuch ein zweites Mal durchgeführt. Beim zweiten Durchlauf wurde neben der Bewegungsrichtung zusätzlich die eingenommene Fläche bestimmt. Da noch nicht bekannt war welche Rolle die Lichtintensität spielte, wurden neue Schachteln angefertigt, welche alle dieselbe Grösse aufwiesen. Auch auf gleiche Abstände und gleiche Platzierung der Glühbirnen wurde geachtet.

2.4.1 Hauptversuch 1: Rotes Licht

Im ersten Hauptversuch wurde das Verhalten der Schleimpilze auf rotes LED-Licht getestet. Rotlicht hat eine Wellenlänge von 650 nm.

Bei der ersten Durchführung wurde die erste Kammer mit rotem Licht und die zweiten Kammern mit blauem Licht beleuchtet. Das blaue Licht hat die kürzeste Wellenlänge der drei Farben, das rote Licht die längste. Deshalb wurde beim ersten Hauptversuch ein klares Resultat erwartet, da sich die beiden Farben durch ihre Wellenlänge stark unterscheiden.

In der zweiten Durchführung wurden eine Kammer mit rotem LED-Licht belichtet und die andere verdunkelt.

2.4.2 Hauptversuch 2: Blaues Licht

Im zweiten Hauptversuch wurde das Verhalten der Schleimpilze auf blaues LED-Licht erforscht. Blaues Licht enthält die kürzeste Wellenlänge 500 nm.

Bei der ersten Durchführung wurde eine Kammer blau die anderen grün beleuchtet. Das grüne Licht weist eine höhere Wellenlänge auf als blaues Licht, jedoch ist der Unterschied weniger stark als bei der ersten Durchführung von Hauptversuch 1.

Bei der zweiten Durchführung wurde eine Hälfte mit dem blauen LED-Licht beleuchtet. Die andere wurde vollständig verdunkelt.

2.4.3 Hauptversuch 3: Grünes Licht

Im dritten Hauptversuch wurde das Verhalten des Schleimpilzes auf grünes LED-Licht getestet. Grünlicht hat eine Wellenlänge von 550 nm und liegt dementsprechend im Mittelfeld.

Bei der ersten Durchführung wurde eine Schachtel grün und die andere rot beleuchtet. Auch hier ist der Unterschied der Wellenlänge zwischen den zwei Farben nicht so stark wie bei der ersten Durchführung von Hauptversuch 1.

Bei der zweiten Durchführung wurde die erste Kammer grün beleuchtet und die zweite vollständig verdunkelt.

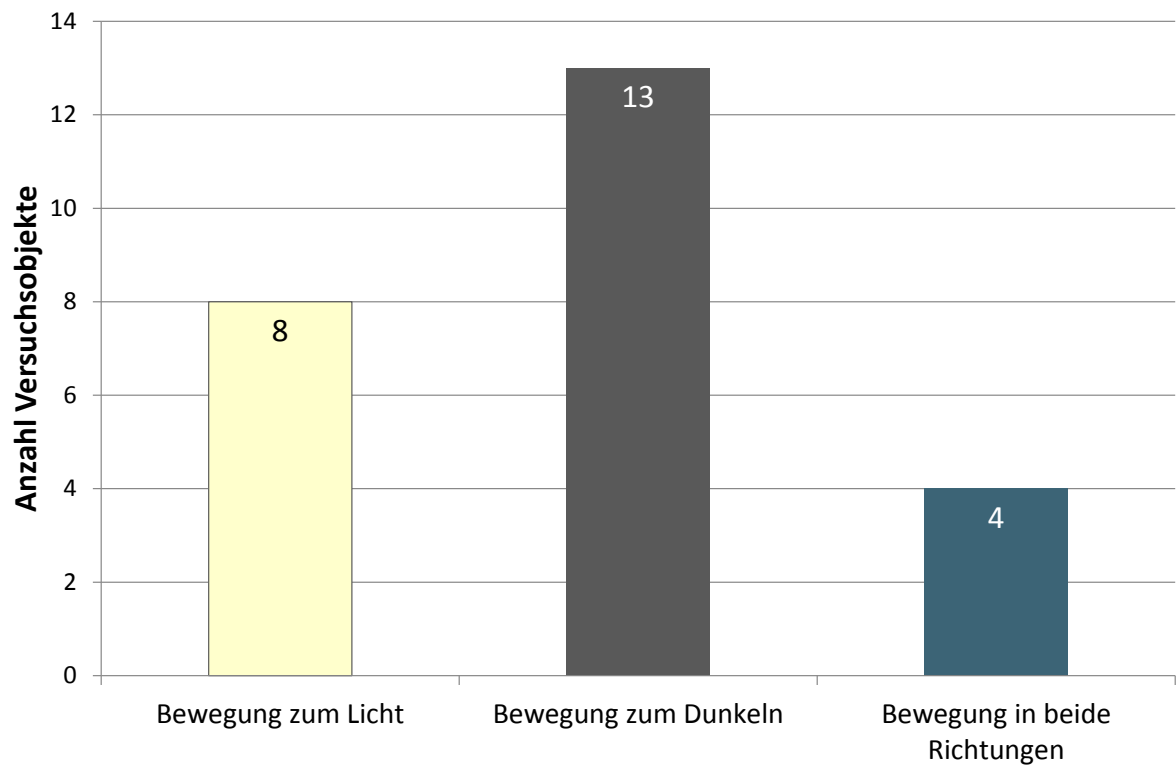


Abb. 12: Bewegungsrichtung des *P. polycephalum* in Abhängigkeit Licht und Dunkel

3.2 Erste Durchführung

Auf den untenstehenden Diagrammen wird gezeigt, welche Anzahl Versuchsobjekte sich in welche Kammer bewegten. Auf der X-Achse sind die verschiedenen Bewegungsrichtungen ersichtlich. Auf der Y-Achse wird die Anzahl Versuchsobjekte angegeben. Da es bei den Hauptversuchen nie dazu kam, dass ein Schleimpilz sich in beide Richtungen gleichzeitig ausbreitete, wurde die Angabe „Bewegung in beide Richtungen“ (Vorversuch 2) auf der X-Achse nicht mehr aufgeführt.

3.2.1 Hauptversuch 1: Rot-Blau

Hier ist klar zu erkennen, dass 18 Versuchsobjekte in die rot beleuchtete Kammer wanderten. Dabei handelt es sich um die grosse Mehrheit. Hingegen bewegten sich nur 6 Exemplare in die blaue Kammer.

Bei einem einzigen Versuchsobjekt konnte nach 24 Stunden keine Bewegung festgestellt werden.

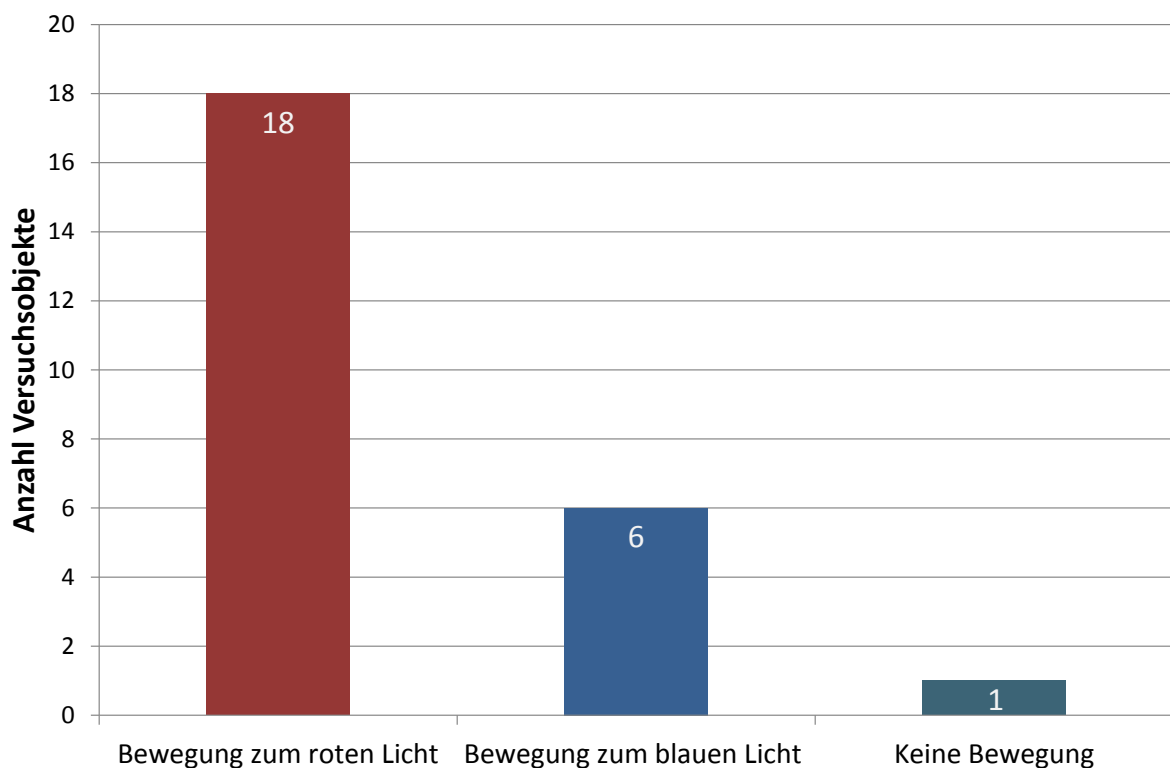


Abb. 13: Bewegungsrichtung des *P. polycephalum* in Abhängigkeit von rotem und blauem Licht

3.2.2 Hauptversuch 2: Rot-Grün

Beim zweiten Hauptversuch wanderten 14 Objekte in die rote Kammer und 11 Objekte bewegten sich auf die grün beleuchtete Hälfte. Der Unterschied ist somit relativ gering.

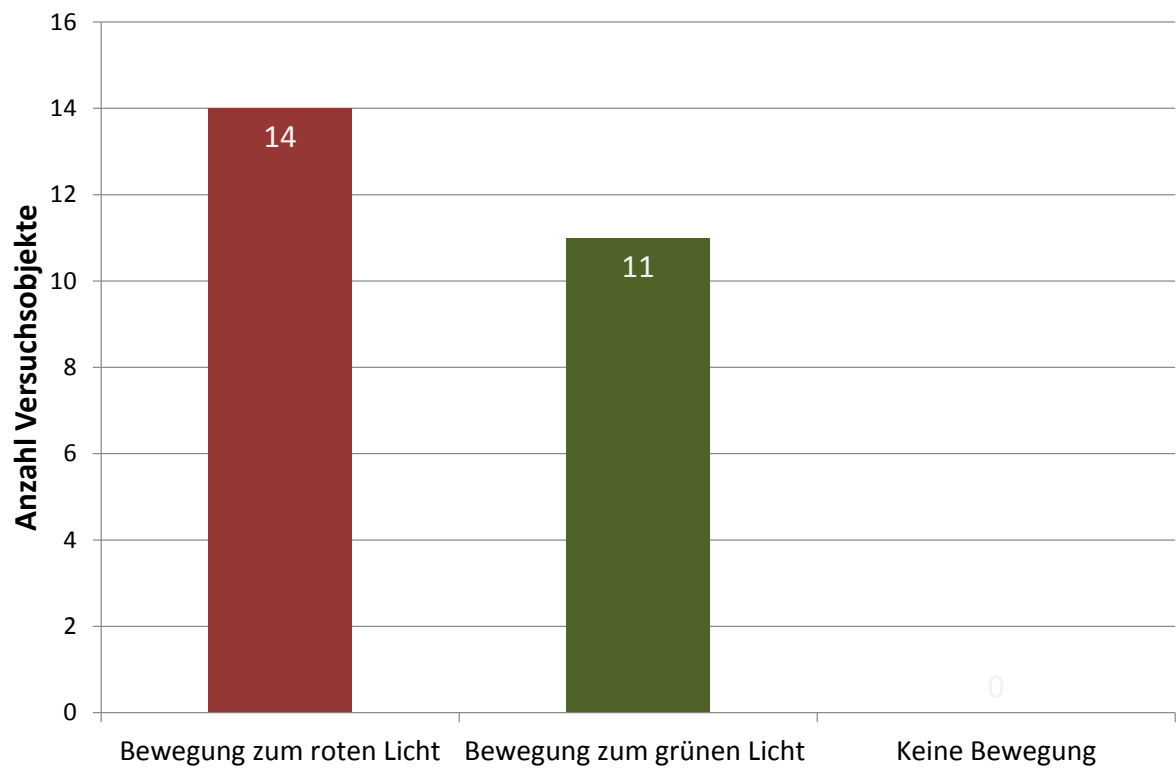


Abb. 14: Bewegungsrichtung des *P. polycephalum* in Abhängigkeit von rotem und grünem Licht

3.2.3 Hauptversuch 3: Blau-Grün

Der Wellenlängenunterschied der beiden Farben beträgt 55 nm und ist dementsprechend klein. Dies spiegelt sich auch in der Reaktion der Schleimpilze. Es wanderten 13 Versuchsubjekte in die blaue und 12 in die grüne Kammer. Dies ist ein Unterschied von nur einem Exemplar.

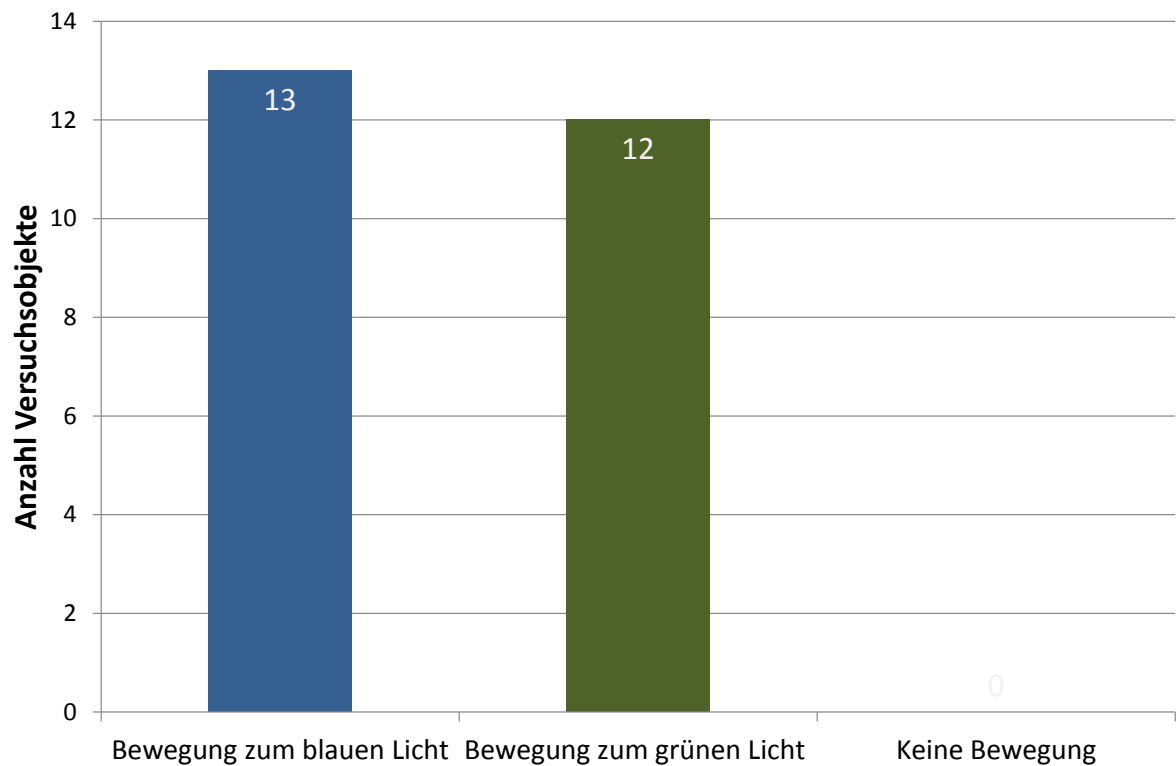


Abb. 15: Bewegungsrichtung des *P. polycephalum* in Abhängigkeit von blauem und grünem Licht

3.3 Zweite Durchführung

Die folgenden Diagramme zeigen, welche Fläche in Prozent die Myxomyceten in den verschiedenen beleuchteten Kammern einnahmen. Auf der X-Achse sind die Kammern angegeben. Die Y-Achse zeigt die eingenommene Fläche in Prozenten der Gesamtfläche. Dafür wurde der Mittelwert genommen. Der schwarze Strich oberhalb der Balken markiert die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert. Ausserdem wurde ein T-Test durchgeführt, um die Wahrscheinlichkeit abzuschätzen, dass z. B. Rotlicht und das zugehörige Dunkel wirklich verschieden sind. Dieser wird in der Legende des Diagrammes aufgeführt. Das letzte Diagramm (Abb.19) ist eine Zusammenstellung der drei Versuche.

3.3.1 Hauptversuch 1: Rot

Die Myxomyceten nahmen in der roten Kammer eine Fläche von 64.88 % ein und in der dunklen Kammer 35.12 %. Das Verhältnis macht in diesem Fall 2 : 1 aus. Der Unterschied ist somit relativ gross. Die Standartabweichung beträgt 25.22 %.

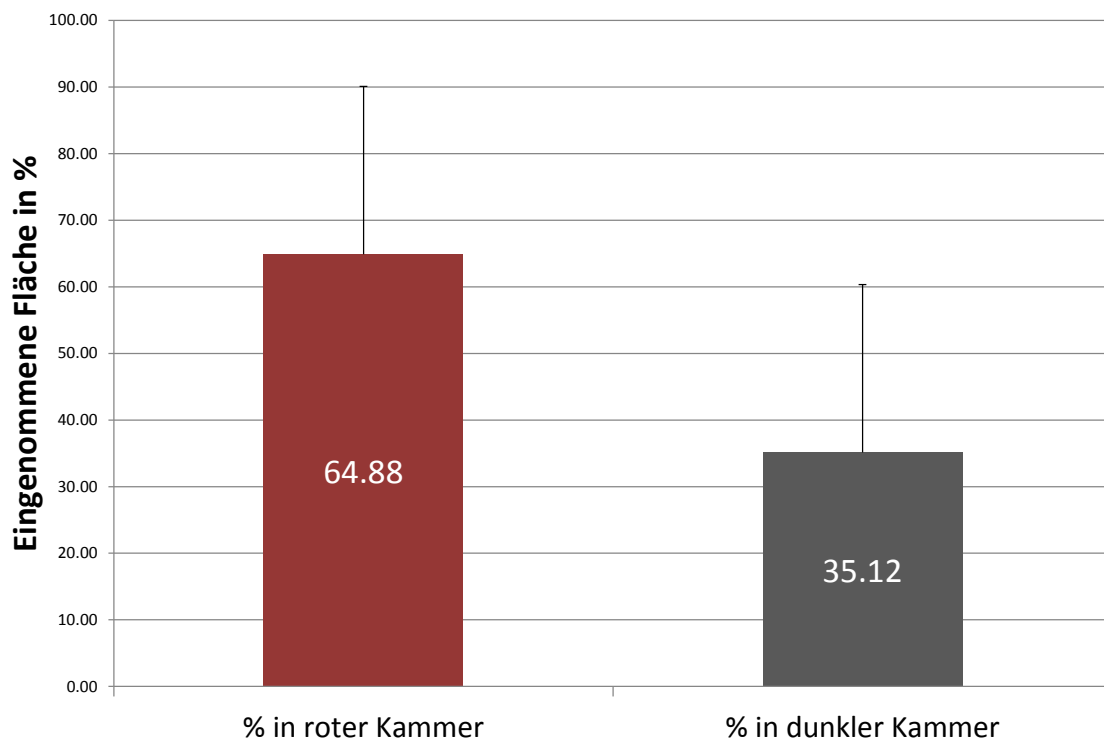


Abb. 16: Flächenvergleich Rot-Dunkel, T-Test 0.26

3.3.2 Hauptversuch 2: Blau

In Abbildung 17 ist zu sehen, dass der Schleimpilz auf der blau beleuchteten Hälfte nur eine Fläche von 24.05 % bedeckte. Hingegen betrug die bedeckte Fläche in der dunklen Kammer dreimal so viel. Die Myxomyceten mieden das Blaulicht. Die Standardabweichung beträgt 23.01 %.

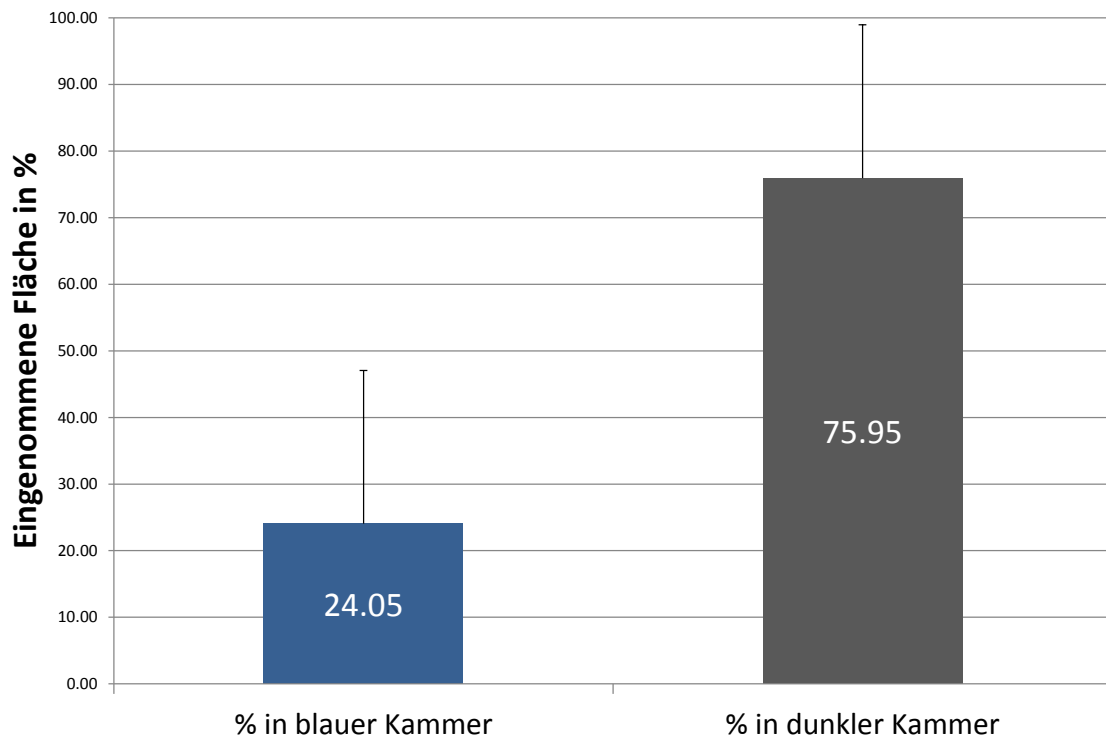


Abb. 17: Flächenvergleich Blau-Dunkel, T-Test 0.07

3.3.3 Hauptversuch 3: Grün

Auch in diesem Diagramm (Abb. 18) ist zu erkennen, dass die Myxomyceten in der dunklen Kammer eine Fläche von 74.77 % einnahmen. Das war dreimal so viel wie in der grün-beleuchteten Kammer. Die Standardabweichung misst 22 %.

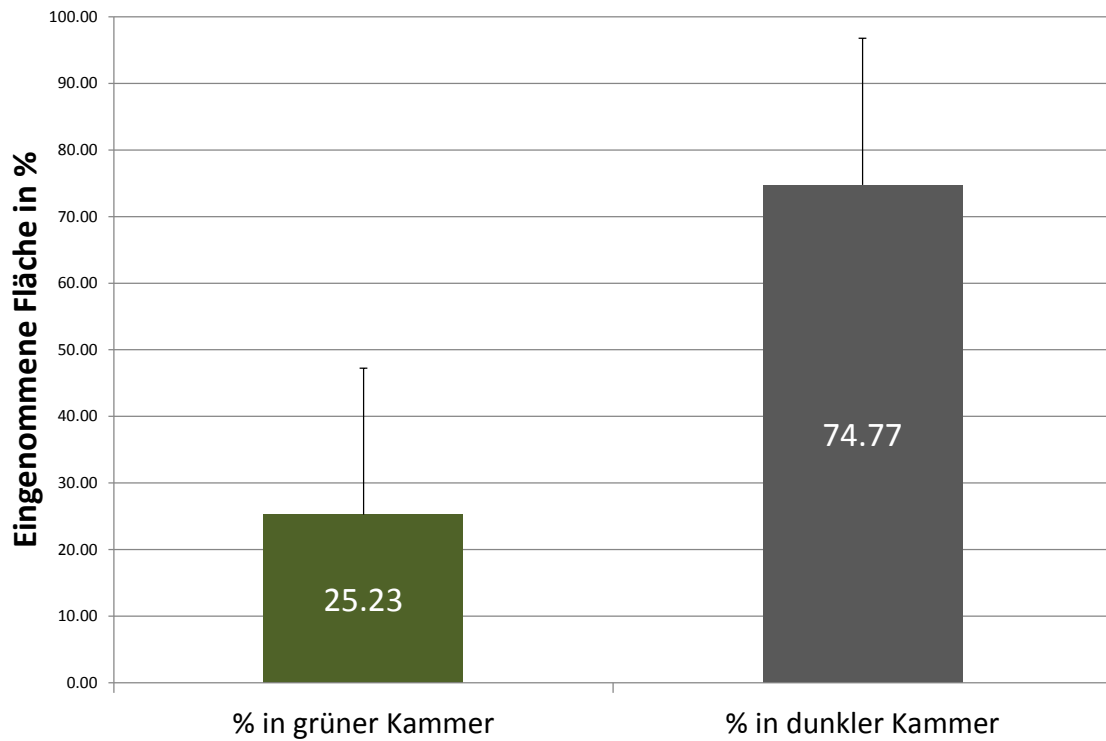


Abb. 18: Flächenvergleich Grün-Dunkel, T-Test 0.07

3.3.4 Vergleich aller Farben

In dem untenstehenden Diagramm (Abb. 19) werden nur die eingenommenen Flächen der beleuchteten Kammern miteinander verglichen. Es ist klar ersichtlich, dass der Schleimpilz in der rot beleuchteten Kammer die grösste Fläche einnahm. Hingegen unterscheiden sich die bedeckten Flächen in der grünen und blauen Kammer nur gering und massen etwa die Hälfte der roten Fläche. Die Standardabweichungen sind hier unterschiedlich.

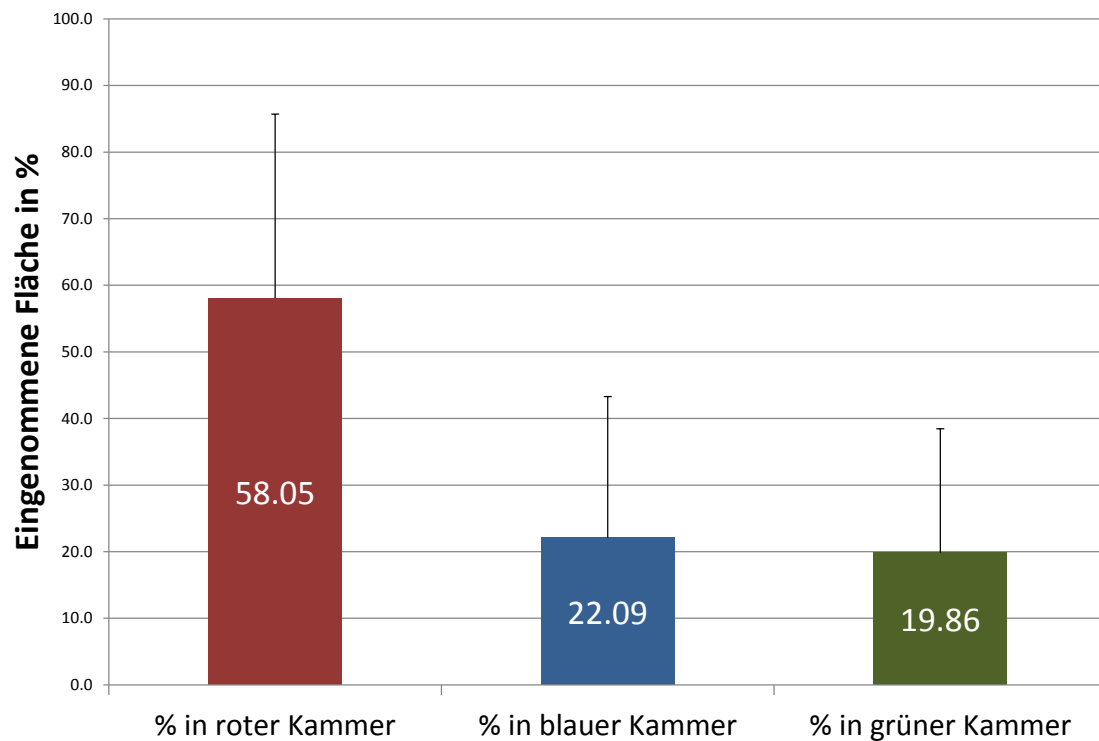


Abb. 19: Flächenvergleich Rot-Blau-Grün

4 Diskussion

4.1 Interpretation

4.1.1 Beobachtungen der Schleimpilzzucht

Wachstum, Beobachtungen, Probleme oder neue Methoden wurden während dem Betreiben der Schleimpilzzucht stets in einem separaten Dokument festgehalten. Die Schleimpilzzucht wurde mit fünf *P. polycephalum* Exemplare begonnen. Mittels Überimpfung stieg die Anzahl Exemplare innert weniger Wochen um das Zehnfache an (Abb. 20). Die Ursache dafür waren die starke Fütterung, Feuchtigkeit, passende Temperatur wie auch das sterile Arbeiten. Es kam vor, dass einige Schleimpilze bereits zwei Tage nach dem Überimpfen die gesamte Petrischale bedeckten. Das schnelle Wachstum wiederum hatte zur Folge, dass die Schleimpilze doppelt so oft gepflegt werden mussten. Um das schnelle Wachstum zu bremsen, wurde die Schleimpilzzucht in den Keller gestellt, da dort eine tiefere Temperatur herrschte. Dies verlangsamte das Wachstum des Schleimpilzes. Zusätzlich wurde die Fütterung reduziert. [14]

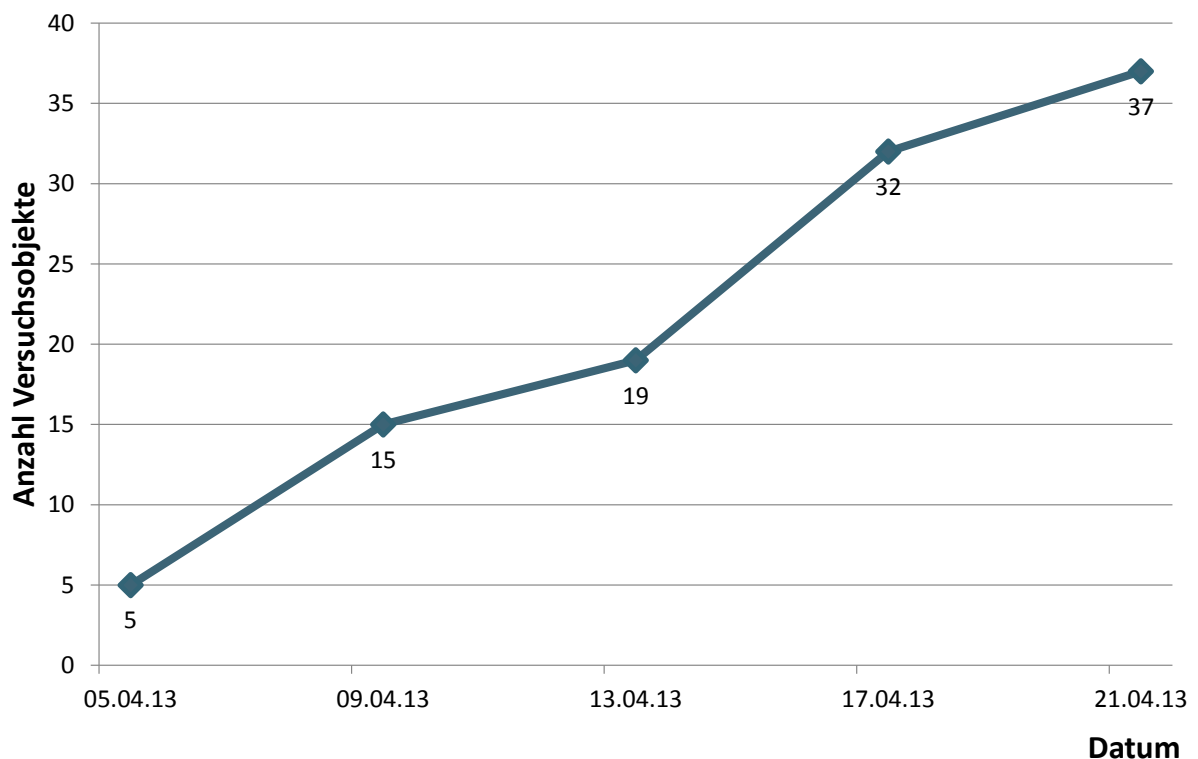


Abb. 20: Wachstum der Schleimpilzzucht

Beim Betreiben der Schleimpilzzucht wurden viele Dinge erst mal ausprobiert. Darunter auch das Verwenden von Filterpapieren auf dem Agarnährboden. Das Filterpapier sollte als zusätzlicher Schutz gegen Schimmelpilze dienen. Diese Methode bewährte sich für die Schleimpilzzucht nicht, da sich der Schleimpilz zu stark in das Filterpapier verflocht. Somit konnte er

beim Überimpfen nur sehr schlecht von seinem Substrat getrennt werden. Zusätzlich kam es trotz Filterpapier zur Entwicklung von Schimmelpilzen. Die Ursache dafür lag hier wohl am Filterpapier selbst. Gemäss der Maturaarbeit von Carmen Zowa liegt der Grund, wieso sich das Filterpapier gegen den Schimmelpilzbefall bewährt, darin, dass bei der Produktion des Filterpapiers sogenannte Nassfestiger benutzt werden, welche das Wachstum von Schimmelpilzen hemmen. [7] Es wird vermutet, dass das hier verwendete Filterpapier keine oder nur geringe Mengen Nassfestiger enthielt. Deshalb sollte darauf geachtet werden, mit welchem Filterpapier gearbeitet wird. Auch bei der Durchführung der Versuche erwies sich das Filterpapier mehr störend als nützlich. Denn hier musste der Schleimpilz samt seinem Substrat ausgestampft werden. Lag nun der Schleimpilz auf dem Filterpapier, war eine Überimpfung mit der dritten Methode (Kapitel 2.1) nicht möglich. Grundsätzlich erfüllt das Filterpapier für die Kultivierung zwar seinen Zweck, war aber für die Überimpfung nicht von Nutzen.

Eine häufige Beobachtung war, dass sich der Schleimpilz wieder an den Ursprung zurückzog, nachdem er die gesamte Petrischale einmal bedeckt hatte, oder sogar aus der Petrischale herauswuchs. Der Grund lag möglicherweise daran, dass der Schleimpilz ein einfaches räumliches Gedächtnis aufweist. Dies widerspräche der vorherrschenden Ansicht, dass man zum Navigieren lernfähig sein muss und ein fortgeschrittenes räumliches Vorstellungsvermögen benötigt, denn Schleimpilze bestehen nur aus einer Zelle und sind nervenlose Organismen. Für ihre Navigation nutzen die Myxomyceten ihren hinterlassenen Schleim als Wegmarkierung. An den chemischen Informationen des Schleims erkennen sie offenbar, ob dieser Weg bereits abgesucht wurde. Somit wird dieser Abschnitt nicht mehr bewachsen. [8] Dieses Phänomen konnte klar in der Schleimpilzzucht beobachtet werden. Oft bildete sich ein dicker gelartiger Schleim über dem Agarnährboden. Der hinterlassene Schleim schränkte die Bewegung des Schleimpilzes stark ein und bewegte ihn teilweise dazu, aus der Petrischale hinauszuwachsen.

Es ist vorgekommen, dass einige Schleimpilze in den dunkel gehaltenen Petrischalen unerwartet fruktifizierten. Normalerweise suchen die Schleimpilze das Sonnenlicht auf, um Fruktifikationen zu formen. [2] [14] Die Ursache lag wohl daran, dass der *P. polycephalum* oft zu lange in einer Petrischale gehalten wurde, bis er überreif war und fruktifizierte.

4.1.2 Vorversuche

4.1.2.1 Vorversuch 2: Licht und Dunkel

Obwohl sich die Mehrzahl der Versuchsobjekte im zweiten Vorversuch auf die dunkle Seite gewandt hatte, wirft das Resultat einige Fragen auf. Auf Grund der Lichtempfindlichkeit von Schleimpilzen wurde bei diesem Versuch ein deutlicheres Resultat erwartet. Dies blieb jedoch aus, da acht Exemplare vollständig in die beleuchtete Kammer gewandert waren.

Aus dem Dokument von Jun.-Prof. Dr. Marcus Hauser [9] wurde entnommen, dass der Schleimpilz *P. polycephalum* sowohl positive als auch negative Phototaxis* aufweisen kann. Das bedeutet: entweder wandert er auf das Licht zu oder von diesem weg. Ob der Schleimpilz nun positive oder negative Phototaxis hat, hängt von seinem Alter ab. Jüngere Plasmodien weisen eine negative Phototaxis auf, ältere hingegen zeigen eine positive Phototaxis. Die älte-

ren Schleimpilze wandern zum Licht, um dort zu fruktifizieren. [9] Diese Erscheinungen erklären auch, wieso bei dem Vorversuch „Licht und Dunkel“ kein klareres Resultat entstand. Für das Experiment wurden nicht alle Exemplare aus denselben Petrischalen entnommen. Es wird deshalb angenommen, dass beim zweiten Vorversuch die Versuchsobjekte, die zum Licht wanderten, älter waren und bereits positive Phototaxis besaßen, um sich fortzupflanzen. Aus dieser Erkenntnis wurde geschlossen, dass bei der Lichtpräferenz auch das Alter eine Rolle spielt. Deshalb wurde bei den folgenden Versuchen darauf geachtet, die Versuchsobjekte nur noch aus Petrischalen zu verwenden, welche um dieselbe Zeit mit *P. polycephalum* beimpft wurden.

Eine weitere Rolle könnte eine Veränderung der Lufttemperatur gespielt haben. Durch die Sonnenbestrahlung hatte sich möglicherweise eine Hälfte erwärmt. Da bekannt ist, dass der *P. polycephalum* durch die Temperatur beeinflusst wird [2], könnte dies das Resultat verfälscht haben. Um zu überprüfen, welche Wirkung die Temperatur auf das Verhalten des Schleimpilzes hat, könnte hier eine Folgeuntersuchung durchgeführt werden.

4.1.3 Hauptversuche

4.1.3.1 Erste Durchführung

Aus den Resultaten der ersten Durchführung kann entnommen werden, dass die Wellenlänge der verschiedenen Lichtfarben das Verhalten der Schleimpilze beeinflusst. Obwohl das Rotlicht von den Myxomyceten bevorzugt wird, ist nicht ganz ersichtlich, auf welche Wellenlänge der Schleimpilz empfindlicher reagierte. Der Grund dafür liegt wohl am Versuchsaufbau. Allein durch die Bewegungsrichtung kann noch nicht wirklich bestimmt werden, welche Lichtfarbe der Schleimpilz bevorzugt. Deshalb wurde der Hauptversuch ein zweites Mal durchgeführt.

Anhand der Diagramme der ersten Durchführung fällt jedoch auf, dass der Unterschied der Wellenlänge eine Rolle spielt. Je grösser der Unterschied war, desto deutlicher entscheiden sich die Schleimpilze für eine der beiden Farben. Das wiederum deutet darauf hin, dass die Myxomyceten von der Wellenlänge der Lichtfarben gelenkt werden.

Die Myxomyceten entschieden sich in der ersten Durchführung immer für eine Seite. Es kam nie vor, dass sich die Schleimpilze nach 24 Stunden auf beide Seite verbreitet hatten. Deshalb kann gesagt werden, dass die Schleimpilze gewisse Wellenlängen bevorzugen.

4.1.3.2 Zweite Durchführung

Was bereits im ersten Durchlauf ersichtlich wurde, bestätigte sich in der zweiten Durchführung. Die Myxomyceten meiden blaues und grünes Licht, bevorzugen aber rotes Licht gegenüber der Dunkelheit. Obwohl beim zweiten Durchgang noch stärker auf die Lichtintensität geachtet wurde, bestätigen die Resultate die Annahme, dass die Wellenlänge entscheidender ist als die Intensität. Die Ursache dafür liegt darin, dass heterotrophe Organismen Licht über spezielle Photorezeptoren wahrnehmen, die für bestimmte Wellenlängen spezifisch sind. [10] Das rote Licht wird bei den Pflanzen, Pilzen, Algen, Bakterien und bei Myxomyceten von einem Rezeptor namens Phytochrom wahrgenommen.

Sie messen das Verhältnis zwischen hellrotem und dunkelrotem Licht und gehören zu den wichtigsten Klassen an Photorezeptoren. [12]

Weshalb die Schleimpilze gerade rotes Licht bevorzugen, ist schwer zu sagen. Der Aufsatz von Kenneth L. Poff, Warren L. Butler und William F. Loomis zeigt jedoch ähnliche Ergebnisse. Darin wird die Phototaxis eines Schleimpilzes in Abhängigkeit der Wellenlänge dargestellt. Grünes und blaues Licht rufen beim Schleimpilz eine starke Phototaxis hervor, rotes Licht dagegen keine. Eine starke Phototaxis bedeutet in diesem Fall eine starke Bewegung vom Licht weg. Die Schleimpilze meiden das grüne und blaue Licht. [13]

Hinzu kommt, dass reines Rotlicht in der Natur gar nicht oder allenfalls in Verbindung mit sehr geringer Lichtintensität auftritt. Dies wiederum könnte der Grund sein, wieso die Schleimpilze zum roten Licht gewachsen sind. [10] Da das schwache Rotlicht für den Schleimpilz keine Austrocknungsfahr darstellt. Blaues und grünes Licht werden dagegen mit starkem Licht verbunden, welches den Schleimpilzen schadet.

Ein weiterer Grund weshalb die Myxomyceten das rote Licht bevorzugen und das blaue und grüne Licht meiden, hängt vom Lebenszyklus des Pilzes ab. Dies wurde bereits im Vorversuch (Kap. 4.1.2.1) kurz geschildert. Alte, ausgehungerte Myxomyceten weisen positive Phototaxis auf und wandern zum Licht um Fruktifikationen zu bilden. [10] Die Plasmodien, die für die Versuche verwendet wurden, waren alle gut ernährt und wiesen deshalb negative Phototaxis auf. Deshalb scheuten sie blaues und grünes Licht und bevorzugten Rotlicht, da dieses keine Phototaxis auslöst.

Wie im Vergleich aller Farben gut ersichtlich wird, nahmen die Myxomyceten beim blauen und grünen Licht ungefähr dieselbe Fläche ein. Weshalb dies so ist, liegt wahrscheinlich an den Photorezeptoren. Nicht alle heterotrophe Organismen besitzen einen Photorezeptor für blaues und grünes Licht. Es kann sein, dass das grüne und blaue Licht mit demselben Rezeptor wahrgenommen wird. Deshalb unterscheiden sich die eingenommenen Flächen nur um wenige Prozente. [10]

Bei der Auswertung der Resultate konnte häufig beobachtet werden, dass die Schleimpilze in den Schalen ineinander gewachsen waren. Offenbar bevorzugen Schleimpilze dieses Verhalten. Als Folgeuntersuchung könnten die Gründe und Bedingungen dieses Verhalten untersucht werden.

4.2 Mögliche weitere Folgeuntersuchungen

4.2.1 Einfluss der Temperatur

Als Folgeuntersuchung könnte derselbe Hauptversuch durchgeführt werden. Nur würden die einzelnen Kammern nicht mehr beleuchtet, sondern unterschiedlich erwärmt. Dadurch könnte der Einfluss der Temperatur auf das Verhalten der Myxomyceten überprüft werden.

4.2.2 Phototaxis der Myxomyceten

Es wäre spannend zu testen, bei welchen Umständen die Schleimpilze positive oder negative Phototaxis entwickeln. Hier könnte auf die Fütterung, das Alter der Myxomyceten und auch

auf die Haltung geachtet werden. Zum Beispiel könnte einer Versuchsgruppe über eine längere Zeit die Nahrung reduziert werden. Danach würde sie durch das Experiment Licht und Dunkel auf ihre Phototaxis getestet.

4.2.3 Räumliches Gedächtnis

Interessant wäre mittels Experiment zu sehen, wie gut das räumliche Gedächtnis eines Schleimpilzes ist. Wie im Kapitel 4.1.1 beschrieben ist, könnte der hinterlassene Schleim als Wegmarkierer genutzt werden.

5 Reflexion der Arbeit

Der Beginn meiner Arbeit war nicht gerade einfach. Mein Wissen über Schleimpilze war sehr gering. Und bis dahin hatte ich noch keinen Kontakt mit einem lebendigen Schleimpilz gehabt. Das Einlesen war zu Beginn noch etwas schwer. Es erwartete mich eine grosse Anzahl an wissenschaftlichen Begriffen. Ich recherchierte im Internet, suchte Kontakte und versuchte, mich möglichst schnell mit dem Thema bekannt zu machen.

Von Herrn Stadler, Lehrperson der Kantonsschule Sursee, bekam ich die Adresse von Herrn Daniel Brunner. Er ist Lehrer am Gymnasium Thun und Schleimpilzliebhaber. Ich habe sofort mit ihm Kontakt aufgenommen und ein Termin verabredet. In den Osterferien, am 5. April 2013 konnte ich dann nach Thun reisen, wo er mich in das Thema einführte. Er zeigte mir das Umgehen mit Myxomyceten. Zusätzlich hat er mir Material, Dokumente und auch lebendige Plasmodien nach Hause gegeben. Auf diesen erhaltenen Plasmodien habe ich dann meine eigene Schleimpilzzucht aufgebaut.

Für die Schleimpilzzucht habe ich mich an die Angaben von Herrn Daniel Brunner und an die Maturaarbeit von Carmen Zowa gehalten. Wichtig war es, Erfahrungen mit dem Umgang mit Myxomyceten zu erhalten. Die direkte Arbeit mit den Myxomyceten begeisterte mich je länger wie mehr, denn sie sind aussergewöhnlich. Über die Faszination an ihrem Verhalten stiess ich dann auf mein Thema. Es war für mich widersprüchlich, dass Lebewesen wie die Myxomyceten, welche überall auf der Welt verbreitet sind, auf Licht empfindlich reagieren. Obwohl sie sich vielleicht unter Büschen oder in Wäldern aufhalten, sind sie vom Sonnenlicht nicht vollkommen geschützt. Hinzu kam, dass die Bäume wie ein Filter wirken, welche einige Lichtfarben abfangen. Deshalb stellte ich mir die Frage, ob die Wellenlänge des Lichts eine Rolle für das Verhalten des Schleimpilzes spielt.

Als ich mich für das Thema Lichtqualität und Lichtintensität entschieden habe, fing ich sofort an mir eine Versuchsanlage auszudenken, in der das Verhalten von Myxomyceten auf verschiedene Wellenlänge getestet werden kann. Dazu verwendete ich grosse Petrischalen, die ich in zwei Hälften aufteile und unterschiedlich beleuchtete. Über die Sommerferien wurden die zeitintensiven und aufwendigen Versuche durchgeführt und ausgewertet. Damit bei der Vorbereitung der Durchführung keine Zeit für die Herstellung des Agarnährbodens verloren ging, musste ein passender und intakter Dampfkochtopf vorhanden sein. Zusätzlich musste möglichst schnell ein Vorversuch durchgeführt werden, um Probleme frühzeitig zu beheben.

Durch meine Arbeit bekam ich einen Einblick in die Biologie. Ich bin überrascht von der Unterstützung, die ich im Verlauf der Arbeit bekommen habe. Es war spannend, sich als Forscher zu fühlen und sich in ein Thema einzuarbeiten. Obwohl dies bei all den Problemen, die auftauchten und gelöst werden mussten, nicht immer einfach war. Trotz allem konnte immer wieder eine sachgerechte Lösung gefunden werden. Am Ende gaben meine Resultate eine klare Aussage über das Verhalten des Schleimpilzes, somit wurde das gesetzte Ziel erreicht.

6 Quellenverzeichnis

6.1 Druck- und Onlinequellen

- [1] Wolfgang Richter, ZEIT Wissen, Letzte Aktualisierung am 29.12.2006, <http://www.zeit.de/zeit-wissen/2007/01/Schleimpilze>
- [2] Wolfgang Nowotny, Erna Aescht, 2000, Wolfsblut und Lohblüte, Oberösterreichisches Landesmuseum Linz
- [3] Hermann Neubert, Wolfgang Nowotny, Karlheinz Baumann, 1993, Die Myxomyzeten Deutschlands und des angrenzenden Alpenraumes unter besonderer Berücksichtigung Österreichs, Karlheinz Baumann Verlag, Gomaringen.
 - [3.1] Band 1
 - [3.2] Band 2
- [4] Lisa Engelhardt, Studentin der Bioverfahrenstechnik, Schleimpilz-liz die fabelhafte Welt der Schleimpilze, letzte Aktualisierung am 8.04.2013, http://www.schleimpilz-liz.de/index.php?option=com_content&view=category&id=4&Itemid=16&lang=de
- [5] Julia von Sengbusch. Handelsblatt. Letzte Aktualisierung am 30.01.2010, <http://www.handelsblatt.com/technologie/forschung-medizin/forschung-innovation/selbstorganisierte-netzwerke-schleimpilze-sind-schlauer-als-ingenieure/3357698.html>
- [6] Mehrere Autoren, Letzte Aktualisierung am 1.10.2013, <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode#Eigenschaften>
- [7] Carmen Zowa, Maturaarbeit 2011 Kantonsschule Sursee, Versuche zur Kultivierung des *Physarum polycephalum*
- [8] Copyright (c) 1998 - 2013 scinexx MMCD NEW MEDIA, Düsseldorf, Scinexx Das Wissensmagazin, letzte Aktualisierung 9.10.2012, <http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-15203-2012-10-09.html>
- [9] Jun.-Prof. Dr. Marcus Hauser, Abteil Biophysik, PDF, Abrufdatum am 1.10.13; http://www.biophysik.ovgu.de/biophysik_media/Downloads/Belegarbeiten/Forschbelleg_4.pdf
- [10] Email-Kontakt vom 26.08.2013, 2.10.2013 mit Herr Benjamin Schellenberger, Institut für Biologie, Universität Leipzig
- [11] Email-Kontakt vom 13.07.2013 mit Herr Prof. Dr. Marcus Hauser, Abteilung Biophysik, Institut für Experimentelle Physik Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, Deutschland
- [12] Mehrere Autoren, letzte Aktualisierung am 2.10.2013, <http://de.wikipedia.org/wiki/Phytochrom>

- [13] Kenneth L. Poff, Warren L. Buttler and William F. Loomis. Light-Induced Absorbance Changes Associated with Phototaxis in *Dictyostelium*. Communicated by Max Delbrück. 26.12.1972

6.2 Mündliche Mitteilungen

- [14] Daniel Brunner, Biologielehrer der Kantonsschule Thun Schadau, Seestrasse 66, 3604 Thun
- [15] Käppeli Wolfgang, Biologielehrer der Kantonsschule Sursee, Rotseestrasse 5, 6006 Luzern

6.3 Abbildungsnachweise

- Abb. 1:** Stephenson, S. L., Stempen, H., *Myxomycetes: a handbook of slime moulds*, Portland, Oregon, Timber Press, 1994
- Abb. 3:** Harvard Magazine, Slime mold form a map of the Tokyo-area railway system, Hochgeladen am 30.03.2010, Abrufdatum am 7.10.2013, <http://www.youtube.com/watch?v=GwKuFREOgmo>.
- Abb. 11:** Markus Schall, Planet Wissen, 1.06.2009, http://www.planet-wissen.de/natur_technik/mikroorganismen/schleimpilze/wissensfrage.jsp

7 Glossar

Agar

Agar ist ein Extraktionsprodukt und Quellmittel aus verschiedenen Rotalgen und wird hauptsächlich in der Lebensmittelindustrie und als pharmazeutischer Hilfsstoff verwendet. (Pharmawiki) Schon 1 % Agar im Wasser reicht für ein gutes Gel. (Wikipedia)

Biochemie

Lehre von chemischen Vorgängen, dem Stoffwechsel in Lebewesen z. B. der Aufbau von Biomolekülen. (Wikipedia)

Biophysik:

Versucht Prozesse in biologischen Systemen mit Hilfe der Gesetze der Physik und ihrer Messmethoden zu untersuchen und zu beschreiben. (Wikipedia)

Botaniker:

Erforscht als Teilgebiet der Biologie die Pflanzen. (Wikipedia)

Chemosensorische Rezeptoren:

Rezeptoren, welche sich in der Zellmembran befinden und durch Aktivierung Signale an die Zelle weiterleiten. Dienen zur Wahrnehmung. (Wikipedia)

Heterotrophe Organismen:

Benötigen zur Ernährung energiereiche organische Stoffe, da sie diese nicht selbst herstellen können. Pilze, Tiere und die meisten Bakterien sind heterotroph. (Wolfsblut und Lohblüte)

Hydrolysieren:

Spaltung einer chemischen Bindung durch Einlagerung eines Wassermoleküls (Wikipedia)

- Pilze produzieren Verdauungsenzyme, sog. Hydrolasen, die sie an die Umwelt abgeben. Die Hydrolasen "zerkleinern" organische (und damit energiereiche) Makromoleküle in kleinere Bruchstücke. Diese Bruchstücke nimmt der Pilz dann wieder in seinen Körper auf (er resorbiert sie) und verwendet sie z. B. als "Brennstoff" zur Energiegewinnung oder als "Baustoff" zum Aufbau seines Körpers. (Email von Herr Thierry Bregnard, Chemielehrer der Kantonsschule Sursee)

Myxoflagellaten:

Den Sporen entweichende, begeißelte, sich freibewegende Zellen der Myxomyceten (Wolfsblut und Lohblüte)

Myxamöben:

Den Sporen entweichende, unbegeißelte, sich freibewegende Zellen der Myxomyceten (Wolfsblut und Lohblüte)

Mikrozysten:

Ruhestadium von Myxamöben und Myxoflagellaten (Wolfsblut und Lohblüte)

Mykologen:

Beschäftigt sich mit der Wissenschaft der Pilze. (Wolfsblut und Lohblüte)

Nivicole Arten:

Myxomycetenarten, welche den Rand abschmelzender Schneefelder bewohnen. (Wolfsblut und Lohblüte)

Phototaxis:

Als Phototaxis wird eine durch Unterschiede der Beleuchtungsstärke in ihrer Richtung beeinflusste Fortbewegung von Organismen bezeichnet. Man unterscheidet zwischen positiven und negativen Phototaxis (Bewegung zum Licht bzw. von diesem weg). (Wikipedia)

Sklerotien:

Ruhestadien der Plasmodien (Wolfsblut und Lohblüte)

Zygote:

Diploide Verschmelzungszelle (Wolfsblut und Lohblüte)

8 Danksagung

Ich danke Herrn Wolfgang Käppeli für die gute Betreuung. Ein grosses Dankeschön geht auch an die Fachschaft Biologie, die mir die nötigen Materialien zur Verfügung stellte, und an Frau Meneghelli, welche mich beim Herstellen der Agarnährböden unterstützte.

Weiter bedanke ich mich bei Herrn Daniel Brunner, der mich in das Thema einführte.

Besonders bedanke ich mich bei Herrn Benjamin Schellenberger und bei Herrn Prof. Dr. Marcus Hauser, die mir wichtige Informationen für die Arbeit lieferten.

Auch danke ich Herrn Mürner, der mir seine Bücher über Myxomyceten zur Verfügung stellte.

9 Anhang

9.1 Materialliste

- Spatel für die Überimpfung des Schleimpilzes
- Pinzette für die Fütterung des Schleimpilzes
- Glaspipette für die Sporen
- Mikroskop
- Rundfilter zur Herstellung der Sklerotien
- Leere Petrischalen zur Herstellung der Sklerotien
- Alkohollösung:
- 75 % Alkohollösung zur Sterilisation des Arbeitsplatzes
- 96 % Alkohollösung zur Sterilisation der Werkzeuge (Spatel etc.)
- Futter, z.B. Haferflocken (sterilisiert)
- Thermometer
- Destilliertes Wasser
- Stanz- und Schneidegerät (zur Bearbeitung der Nährböden)
- Nach Anleitung hergestellte Nährböden (genügend)
- Feuerzeug
- Falls möglich eine Wärmekammer
- Fotoapparat

9.2 Vorversuch

| Abkürzung | Bedeutung |
|------------------|----------------------------|
| 1 | Wachstum zum Licht |
| 0 | Kein Wachstum |
| -1 | Wachstum zum Dunkel |

| Versuchsobjekte | Richtung des Wachstums | | | | | | |
|-----------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | 10:37 | 12:40 | 14:50 | 17:10 | 21:30 | 23:30 | 7:10 |
| 1) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 2) | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1/1 |
| 3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 |
| 4) | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 5) | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1/1 |
| 6) | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 8) | 0 | -1/1 | -1/1 | -1/1 | -1/1 | -1/1 | 1 |
| 9) | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | -1/1 | 1 |
| 10) | 0 | 0 | 0 | 0 | -1/1 | -1/1 | 1 |
| 11) | 1 | 1 | 1 | 1 | -1/1 | -1/1 | -1/1 |
| 12) | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 13) | 0 | 1 | 1 | 1 | -1/1 | -1/1 | -1 |
| 14) | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 |

| | | | | | | | |
|-----|---|---|----|------|------|------|------|
| 15) | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 |
| 16) | 0 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 17) | 0 | 1 | 1 | 1 | -1/1 | -1/1 | 1 |
| 18) | 0 | 0 | -1 | -1 | -1/1 | -1/1 | 1 |
| 19) | 0 | 0 | -1 | -1/1 | 1 | -1/1 | -1/1 |
| 20) | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 21) | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 22) | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 23) | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1/1 | -1 |
| 24) | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 25) | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 |

9.3 Hauptversuche

9.3.1 Erste Durchführung

9.3.2 Rot-Blau

| Abkürzung | Bedeutung |
|-----------|----------------------------------|
| 1 | Wachstum zum blauen Licht |
| 0 | Kein Wachstum |
| -1 | Wachstum zum roten Licht |

| Versuchsobjekte | Richtung des Wachstums | | | |
|-----------------|------------------------|-------|-------|------|
| | 16:00 | 19:30 | 22:30 | 7:30 |
| 1.1) | -1 | -1 | 0 | -1 |
| 2.1) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 3.1) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 4.1) | 0 | 0 | 0 | -1 |
| 5.1) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6.2) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 7.2) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 8.2) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 9.2) | 0 | 0 | -1 | -1 |
| 10.2) | -1 | -1/1 | -1 | -1 |
| 11.3) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 12.3) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 13.3) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 14.3) | 0 | 0 | 0 | -1 |
| 15.3) | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 16.4) | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 17.4) | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 18.4) | 0 | 0 | 0 | -1 |
| 19.4) | 0 | 0 | 0 | -1 |
| 20.4) | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 21.5) | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 22.5) | 0 | 0 | 0 | -1 |
| 23.5) | 0 | 0 | 0 | 1 |

| | | | | |
|-------|----|----|----|----|
| 24.5) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 25.5) | -1 | 0 | 0 | -1 |

9.3.3 Rot-Grün

| Abkürzung | Bedeutung |
|-----------|----------------------------------|
| 1 | Wachstum zum grünen Licht |
| 0 | Kein Wachstum |
| -1 | Wachstum zum roten Licht |

| Versuchsobjekte | Richtung des Wachstums | | | |
|-----------------|------------------------|-------|-------|------|
| | 12:30 | 18:30 | 23:00 | 8:00 |
| 1.1) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 2.1) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 3.1) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 4.1) | 0 | 0 | -1 | -1 |
| 5.1) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 6.2) | 0 | 0 | -1 | -1 |
| 7.2) | 0 | -1/1 | -1 | 1 |
| 8.2) | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 9.2) | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 10.2) | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 11.3) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 12.3) | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 13.3) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 14.3) | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 15.3) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 16.4) | 0 | -1/1 | -1 | -1 |
| 17.4) | 0 | 0 | -1 | -1 |
| 18.4) | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 19.4) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20.4) | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 21.5) | 0 | 1 | 1 | -1 |
| 22.5) | 0 | -1 | -1 | 1 |
| 23.5) | 0 | 1 | -1/1 | -1 |
| 24.5) | 0 | 0 | 1 | -1 |
| 25.5) | 0 | 1 | 1 | 1 |

9.3.4 Blau-Grün

| Abkürzung | Bedeutung |
|-----------|----------------------------------|
| 1 | Wachstum zum grünen Licht |
| 0 | Kein Wachstum |
| -1 | Wachstum zum blauen Licht |

| Versuchsobjekte | Richtung des Wachstums | | | |
|-----------------|------------------------|-------|-------|------|
| | 17:00 | 22:00 | 24:00 | 8:30 |
| 1.1) | 1 | -1 | -1 | -1 |

| | | | | |
|-------|------|------|------|----|
| 2.1) | 1 | -1 | -1 | 1 |
| 3.1) | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 4.1) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 5.1) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6.2) | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 7.2) | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 8.2) | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 9.2) | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 10.2) | 0 | 0 | -1 | -1 |
| 11.3) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 12.3) | 0 | 1 | -1/1 | -1 |
| 13.3) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 14.3) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 15.3) | 1 | 1 | 0 | -1 |
| 16.4) | 0 | 0 | -1 | -1 |
| 17.4) | 0 | -1/1 | 1 | 1 |
| 18.4) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 19.4) | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 20.4) | -1/1 | -1 | -1 | -1 |
| 21.5) | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 22.5) | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 23.5) | 1 | -1 | -1 | -1 |
| 24.5) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 25.5) | 1 | 1 | -1/1 | 1 |

9.4 Zweite Durchführung

9.4.1 Rot-Dunkel

| | absolute Werte | | relative Werte | |
|---------------|--|--|-------------------|---------------------|
| | Eingenommene Fläche in der roten Kammer (cm ²) | Eingenommene Fläche in der dunklen Kammer (cm ²) | % in roter Kammer | % in dunkler Kammer |
| Schachtel.1 | 14.06 | 4.63 | 75 | 25 |
| Schachtel.2 | 25.85 | 2.41 | 91 | 9 |
| Schachtel.3 | 9.85 | 6.68 | 60 | 40 |
| Schachtel.4 | 21.05 | 7.56 | 74 | 26 |
| Schachtel.5 | 6.27 | 19.27 | 25 | 75 |
| Total Fläche: | 77.08 | 40.55 | 66 | 34 |

| | | | | |
|--------------------|-------|------|-------|-------|
| Mittelwert | 15.42 | 8.11 | 64.88 | 35.12 |
| Standartabweichung | 8.02 | 6.55 | 25.22 | 25.22 |

9.4.2 Blau-Dunkel

| | absolute Werte | | relative Werte | |
|---------------|---|--|--------------------|---------------------|
| | Eingenommene Fläche in der blauen Kammer (cm ²) | Eingenommene Fläche in der dunklen Kammer (cm ²) | % in blauer Kammer | % in dunkler Kammer |
| Schachtel.1 | 2.91 | 12.4 | 19 | 81 |
| Schachtel.2 | 0 | 16.16 | 0 | 100 |
| Schachtel.3 | 10.79 | 18.12 | 37 | 63 |
| Schachtel.4 | 3.4 | 42.87 | 7 | 93 |
| Schachtel.5 | 8.25 | 6.33 | 57 | 43 |
| Total Fläche: | 25.35 | 95.88 | 21 | 79 |

| | | | | |
|--------------------|------|-------|-------|-------|
| Mittelwert | 5.07 | 19.18 | 24.05 | 75.95 |
| Standartabweichung | 4.36 | 13.99 | 23.01 | 23.01 |

| | | | | |
|--------|------|--|------|--|
| t-test | 0.11 | | 0.07 | |
|--------|------|--|------|--|

9.4.3 Grün-Dunkel

| | absolute Werte | | relative Werte | |
|-------------|---|--|--------------------|---------------------|
| | Eingenommene Fläche in der grünen Kammer (cm ²) | Eingenommene Fläche in der dunklen Kammer (cm ²) | % in grüner Kammer | % in dunkler Kammer |
| Schachtel.1 | 17.26 | 9.92 | 64 | 36 |
| Schachtel.2 | 0.75 | 9.63 | 7 | 93 |
| Schachtel.3 | 2.8 | 11.11 | 20 | 80 |
| Schachtel.4 | 2.91 | 15.24 | 16 | 84 |
| Schachtel.5 | 4.45 | 18.65 | 19 | 81 |
| Total: | 28.17 | 64.55 | 30 | 70 |

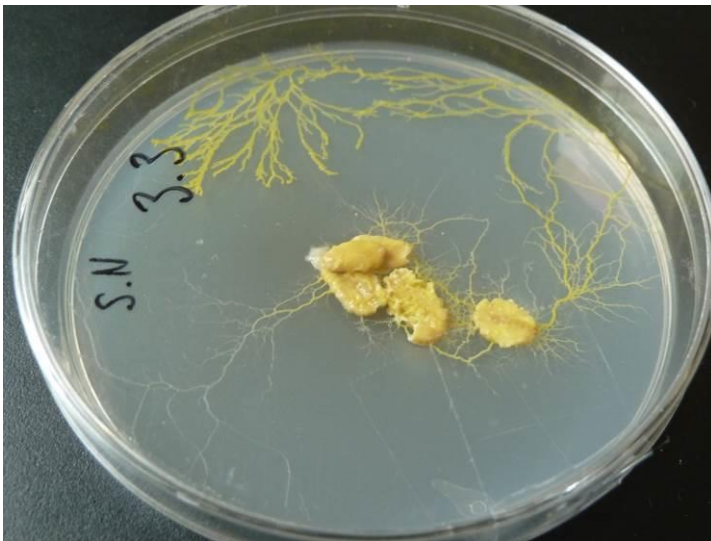
| | | | | |
|--------------------|------|-------|-------|-------|
| Mittelwert | 5.63 | 12.91 | 25.23 | 74.77 |
| Standartabweichung | 6.63 | 3.92 | 22.00 | 22.00 |

| | | | | |
|--------|------|--|------|--|
| t-test | 0.13 | | 0.07 | |
|--------|------|--|------|--|

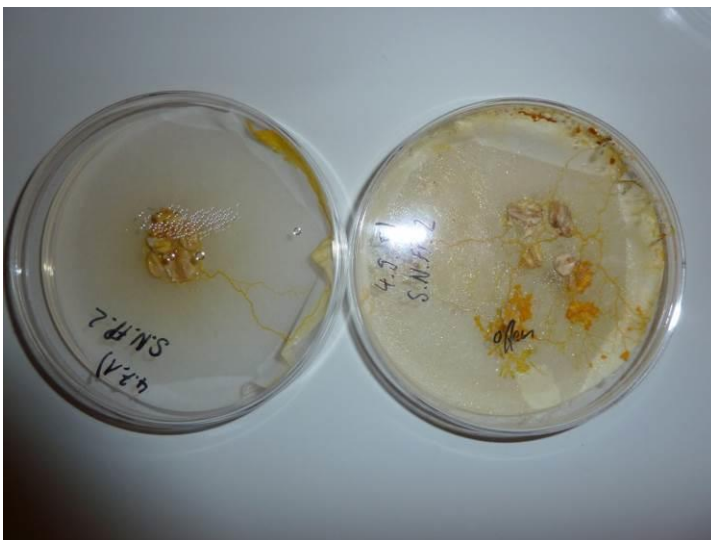
9.4.4 Vergleich aller Farben

| | absolute Werte | | | relative Werte | | |
|--------------------|--|---|---|-------------------|--------------------|-----------------|
| | Eingenommene Fläche in der roten Kammer (cm ²) | Eingenommene Fläche in der blauen Kammer (cm ²) | Eingenommene Fläche in der grünen Kammer (cm ²) | % in roter Kammer | % in blauer Kammer | % grüner Kammer |
| Schachtel.1 | 14.06 | 2.91 | 17.26 | 41.08 | 8.50 | 50.42 |
| Schachtel.2 | 25.85 | 0.00 | 0.75 | 97.18 | 0.00 | 2.82 |
| Schachtel.3 | 9.85 | 10.79 | 2.80 | 42.02 | 46.03 | 11.95 |
| Schachtel.4 | 21.05 | 3.40 | 2.91 | 76.94 | 12.43 | 10.64 |
| Schachtel.5 | 6.27 | 8.25 | 4.45 | 33.05 | 43.49 | 23.46 |
| Mittelwert | 15.42 | 5.07 | 5.63 | 58.1 | 22.1 | 19.9 |
| Standartabweichung | 8.02 | 4.36 | 6.63 | 27.65 | 21.20 | 18.61 |

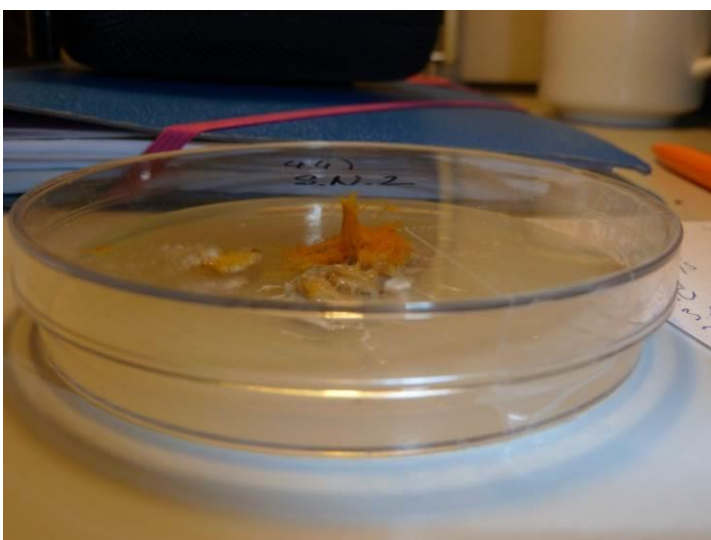
9.5 Bilddokumentation



P. polycephalum in einer Petrischale
Haferflocken als Nahrungsquelle



P. polycephalum in Petrischalen die mit
Filterpapier ausgestattet sind.



P. polycephalum wächst bis an den De-
ckel der Petrischale.



Fruchtifikation P. polycephalum in einer Petrischale.



P. polycephalum wächst aus der Petrischale.



Selbsthergestellte Lichtquellen



Erste Versuchsanlage



Zweite Versuchsanlage

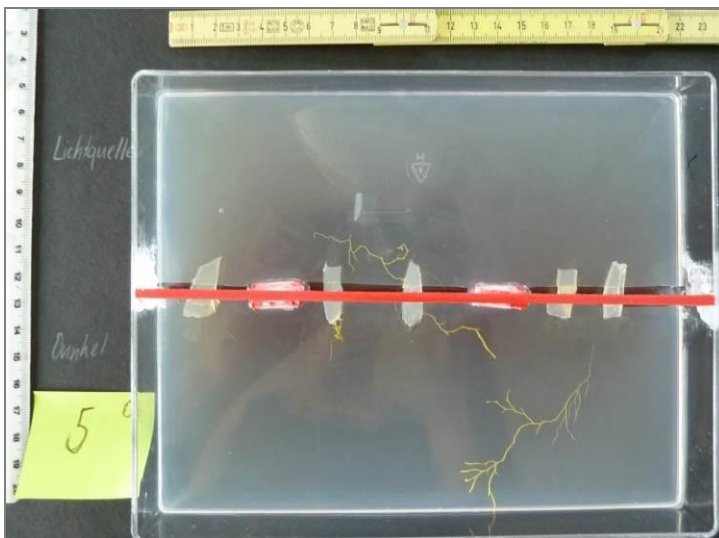


Bild der Petrischale für die Flächenberechnung mit Geogebra

Massstab zur Georeferenzierung

10 Redlichkeitserklärung

„Ich erkläre hiermit,

- dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst habe,
- dass ich auf eine eventuelle Mithilfe Dritter in der Arbeit ausdrücklich hinweise,
- dass ich vorgängig die Schulleitung und die betreuende Lehrperson informiere, wenn ich diese Maturaarbeit, bzw. Teile oder Zusammenfassungen davon veröffentlichen werde, oder Kopien dieser Arbeit zur weiteren Verbreitung an Dritte aushändigen werde.“

Ort: Eich

Datum: 8. Oktober 2012

Unterschrift: