



DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Myxomyceten – Die Welt der Schleimpilze

verfasst von

Matthias Steinböck

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 444

Studienrichtung lt. Studienblatt: Diplomstudium Biologie

Betreut von: Ao. Univ.- Prof. Dr. Irene Lichtscheidl-Schultz

Danksagung

Die Planung und Durchführung der vorliegenden Diplomarbeit wäre ohne die Hilfe mehrerer Personen nicht möglich gewesen.

Mein erster Dank gilt meiner Diplomarbeitsbetreuerin ao. Univ.-Prof. Dr. Irene Lichtscheidl-Schultz vom Institut Core Facility für Cell Imaging und Ultrastrukturforschung der Universität Wien für das interessante Diplomarbeitsthema und für die Möglichkeit, sehr selbständig arbeiten zu können.

Ganz besonders möchte ich mich bei Professor Wolfgang Nowotny für die tolle fachbezogene Unterstützung, die Bereitstellung zahlreicher Myxomyceeten aus dem persönlichen Herbar und für seinen Auftritt als Schleimpilzexperte im vorliegenden Film bedanken.

Besonderer Dank gilt auch Mag. Dr. Wolfram Adlassnig, der durch zahlreiche Vorschläge und Hinweise maßgeblich am Erfolg dieser Arbeit beteiligt war. Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Gregor Eder für die vielen spontanen Hilfeleistungen bei technischen Problemen und die professionelle Beratung bedanken. Mag. Stefan Sassmann danke ich für die Unterstützung im Labor und für viele hilfreiche Tipps. Außerdem möchte ich mich bei Ass.- Prof. Mag. Dr. Ingeborg Lang für die Hilfestellung bei sämtlichen Bestellungen des Filmmaterials bedanken.

Ich danke Herrn Helmuth Goldammer für die großzügige Bereitstellung und der Realisierung der Aufnahmen mit der Makroschiene.

Für die Anwendung und Durchführung der Elektronenmikroskopie möchte ich mich besonders bei Dr. Marieluise Weidinger bedanken. Ohne sie wären die schönen Aufnahmen nicht zustande gekommen.

Schließlich möchte ich mich noch von ganzem Herzen bei meiner Familie, bei meiner Freundin Lisi und bei meinem langjährigen Studienkollegen, Filmpartner und Freund Martin Kogler bedanken, die mich während des gesamten Studiums und der Diplomarbeit unterstützt haben. Ohne sie wäre es viel schwieriger gewesen, diese Arbeit zu beenden.

1 Zusammenfassung	1
2 Abstract	2
3 Einleitung	3
3.1 Myxomyceten	3
3.1.1 Allgemeine Merkmale	3
3.1.2 Diversität und Systematik	4
3.1.3 Verbreitung und Lebensraum	5
3.1.4 Ökologie	6
3.1.5 Lebenszyklus	8
3.1.6 Schleimpilze in der Wissenschaft	10
3.2 Der Lehrfilm	12
3.2.1 Gliederung	12
3.2.2 Ziel	13
4 Material und Methoden	14
4.1 Objekte	14
4.1.1 Verwendete Myxomycetenarten	14
4.1.2 Standorte	15
4.1.3 Kultivierung	16
4.1.4 Kulturmedium	17
4.1.5 Keimversuch	17
4.1.6 Labyrinthversuch	18

4.2 Technik	19
4.2.1 Außenaufnahmen	19
a) Kameras	19
b) Objektive	19
c) Stative und Kameraschiene	20
4.2.2 Studioaufnahmen	21
a) Stereomikroskopie	21
b) Makroschiene	21
c) Lichtmikroskopie	22
d) Elektronenmikroskopie	22
e) Fotostudio	24
4.2.3 Licht	25
4.2.4 Ton	25
4.2.5 Videoformate	25
4.3 Postproduktion	26
4.3.1 Bild und Videobearbeitung	26
4.3.2 Animationen	26
4.3.3 Filmmusik und Soundeffekte	26
5 Ergebnisse	27
5.1 Filmtext	27
5.1.1 Vorspann	27
5.1.2 Einleitung	28
a) Allgemeine Merkmale	28

b) Systematik	29
c) Lebensweise	30
d) Lebensraum	31
5.1.3 Hauptteil: Lebenszyklus	33
a) Verbreitung der Sporen	33
b) Sporenkeimung	35
c) Kolonienbildung	36
d) Mikrozysten	36
e) Zygotenbildung	37
f) Plasmodium	37
g) Sklerotium	39
h) Fruktifikationsbildung	40
i) Diversität	41
5.1.4 Schlussteil	43
a) Ökologische Bedeutung	43
b) Schleimpilze in der Wissenschaft	44
c) Ausblick	45
6 Diskussion	46
6.1 Der Lehrfilm	46
6.2 Einzelheiten zur Dokumentation	47
6.2.1 Außenaufnahmen	47
6.2.2 Zeitrafferaufnahmen	48
6.2.3 Schienenfahrten	49

6.2.4 Keraschwenks	49
6.2.5 Mikroskopische Aufnahmen	50
6.2.6 Ton	51
6.2.7 Labyrinthversuch	51
7 Ausblick	53
8 Literaturverzeichnis	54
9 Curriculum Vitae	59

1 Zusammenfassung

Myxomyceten (Schleimpilze) sind einzellige, chlorophyllfreie Organismen mit echten Zellkernen. Systematisch werden sie in die Gruppe der Amöbozoa gestellt. Im Laufe ihres Lebens durchlaufen sie einen im Reich der Organismen einzigartigen Lebenszyklus. Dabei entwickeln sie sich von mikroskopisch kleinen Sporen über oft begeißelte Keimzellen und Zellkolonien zu vielkernigen, einzelligen Gebilden, den sogenannten Plasmodien. Zur Bildung der Fortpflanzungsorgane verwandelt sich das Plasmodium in die arteigene Gestalt des reifen Organismus. Nichts erinnert mehr an den namengebenden, vegetativen Lebensabschnitt. Die meisten Myxomycetenarten sind weltweit anzutreffen. In den gemäßigten Breiten weisen sie dabei ihre größte Vielfalt auf. Schleimpilze dienen der Wissenschaft als Modellorganismus zum Studium fundamentaler biologischer Prozesse. Sekundäre Inhaltsstoffe mit wichtiger biologischer Aktivität erweckten auch das Interesse der chemischen Industrie. Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass Schleimpilze eine Form primitiver Intelligenz aufweisen. Die Rolle der Schleimpilze in den Stoffkreisläufen von Ökosystemen ist bis heute weitgehend ungeklärt. Myxomyceten tragen zur Aufrechterhaltung einer ausgewogenen Organismengesellschaft im Bereich abgestorbenen Pflanzenmaterials, der Streu und des Oberbodens bei. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Lehrfilm zu produzieren, der dem Betrachter einen wissenschaftlichen Überblick über die Gruppe der Schleimpilze (Myxomycetes) gibt. Der Film soll auf optisch einprägsame Weise Einblicke in die Lebensweise, den Lebensraum und die Vielfalt dieser Organismengruppe gewähren. Dabei wird darauf geachtet, den Inhalt des Films in leicht verständlicher Weise zu transportieren. Ein Experteninterview mit Wolfgang Nowotny und die Verwendung moderner audiovisueller Medientechnik sollen für eine zielgruppengerechte Wissensvermittlung der Themen sorgen. Um diese Organismen eindrucksvoll und hochauflösend zu zeigen, wurden verschiedenste Techniken der Dokumentation angewandt. Des Weiteren kamen unterschiedliche Mikroskopietechniken zum Einsatz, mit deren Hilfe auch kleinere Strukturen der Schleimpilze sichtbar gemacht werden konnten. Die gezielte Kombination von Bild und Ton fördert die Aufnahme des Lernstoffes. Mittels akustischem Spannungsbogen wird der Betrachter zum Kern der Information geführt.

Der Zuseher soll dabei dem Sprecher auf der Reise durch das Leben dieser bizarren Organismen folgen.

2 Abstract

Myxomycetes (slime molds) are unicellular, eucaryotic organisms without chlorophyll. They are systematically placed into the supergroup of the Amoebozoa. During their lifetime they move through an unique life cycle. Thus they evolve from small microscopic spores into flagellate protoplasts and cell colonies and then into a polynuclear, unicellular formation, which is called plasmodium. The plasmodium turns into a characteristic structure of the mature organism by forming fruiting bodies. Nothing reminds of the eponymous, vegetative stage of their life. Most species are found worldwide but they show their greatest biodiversity in temperate climates. In science myxomycetes are used as model organisms to study fundamental biological processes. Secondary metabolites attracted the interest of chemical industries. Experiments show that slime molds possess some kind of primitive intelligence. The ecological role of myxomycetes is mostly unknown until today. They contribute to the maintenance of organismic communities in the range of dead plant material and upper soil layers. The present study has the intention to produce an educational film that gives a scientific review about the group of the myxomycetes. The film should provide insight into the way of living, the habitat and the biodiversity of this group with great visual impacts. The content of the film should be mediated by an uncomplicated terminology. An interview with Prof. Wolfgang Nowotny and the use of modern audiovisual media techniques allow to convey difficult scientific information in a comprehensible way. To present the organisms impressively with high resolution different methods were applied. Furthermore different microscopic techniques were used to show small structures of the myxomycetes. Audiovisual means foster the viewer's perceptive capacity. The viewer should follow the speaker on the journey through the life of these bizarre organisms.

3 Einleitung

3.1 Myxomyceten

3.1.1 Allgemeine Merkmale

Schleimpilze (Myxomyceten) sind chlorophyllfreie, heterotrophe Organismen mit echten Zellkernen (Eukaryoten) (Nowotny, 2000). Sie kommen üblicherweise in jedem terrestrischen Ökosystem vor, in einigen sind sie sogar sehr häufig vertreten (Stephenson et al., 2008). Trotzdem finden sie verglichen mit Blütenpflanzen, Moosen, Farnen und Pilzen eher wenig Beachtung (Nowotny, 1995). Bei günstigen Bedingungen liegt ihr Vegetationskörper als strömende, vielkernige Masse vor, die sich wie eine Amöbe fortbewegen kann. Diese flache als Plasmodium bezeichnete Masse aus Protoplasma besitzt eine dünne Plasmamembran und nimmt während des Wanderns über das Substrat Bakterien, Hefezellen und Pilzpartikel auf (Raven et al., 2006). Sie können in Extremfällen eine Fläche von mehreren Quadratmeter einnehmen. Während ihres Wachstums findet durch Mitose wiederholt synchrone Kernteilung statt ohne dass sich dabei das Zytoplasma teilt (Nowotny, 2000). In vielen Fällen bildet das Plasmodium ein fächerartiges Netz mit vielen Protoplasmasträngen aus, wobei die Stränge an der Basis dicker sind als an dessen Rand. In diesem Stadium wachsen sie solange das Nahrungsangebot und der Feuchtigkeitsgrad günstig sind. Wird eine dieser Ressourcen knapp können innerhalb nur weniger Stunden sexuelle Fortpflanzungsorgane gebildet werden (Raven et al., 2006). Diese arttypischen Sporenbhälter werden als Fruktifikationen bezeichnet.

Im Laufe ihres Lebenszyklus weisen sie verschiedene Merkmale auf, mit denen man sie in das Reich der Pflanzen, Pilze oder Tiere einordnen könnte (Neubert et al., 1993). Da sich hauptsächlich Botaniker und Mykologen mit diesen Lebensformen beschäftigten, wurden sie, ähnlich wie das heute eigenständige Reich der echten Pilze, aus traditionellen Gründen über einen langen Zeitraum dem Pflanzenreich (Klasse Myxomycophyta) zugeordnet (Nowotny, 2000). Doch die Merkmale während der verschiedenen Lebensphasen dieser Mikroorganismen ließen bereits im 19. Jahrhundert Zweifel an der Rechtmäßigkeit des bestehenden Systems aufkommen

(Neubert et al., 1993). Dennoch kommen für diese Organismengruppe bis heute die taxonomischen Regeln der Botanik zur Anwendung (Ing, 1993, Nowotny, 2000).

Die Bezeichnung „Schleimpilz“ ist sachlich falsch, da es sich dabei nicht um Pilze handelt (Bauldauf & Doolittle, 1997). Die äußerlichen Ähnlichkeiten zwischen Myxomyceten und Pilzen stellen ein Beispiel für konvergente Evolution dar. Demnach entwickelten sich als Anpassung an ähnliche ökologische Zwänge ähnliche morphologische Strukturen (Olive, 1975, Kaiser, 1993). Im Gegensatz zu den Myxomyceten weisen die „echten“ Pilze während ihrer vegetativen Phase keine freie Ortsbewegung auf und bilden keinerlei begeißelte Stadien aus. Aus den Sporen wachsen meist Hyphen, die sich zu einem verzweigten und vernetzten Vegetationskörper, dem Myzel, ausbilden. In der reproduktiven Phase entstehen die ebenfalls aus Hyphen bestehenden Fruchtkörper (Neubert et al., 1993). Pilze scheiden außerdem, anders als Schleimpilze, extrazelluläre Verdauungsenzyme aus und sind oft pathogen. Myxomyceten spielen gegenüber Pilzen eine weitaus geringere Rolle beim Abbau toten, organischen Materials (Keller & Braun, 1999).

3.1.2 Diversität und Systematik

Die systematische Einordnung der Myxomyceten wird durch das mangelhafte Vorhandensein fossiler Funde erschwert (Stephenson et al., 2008). Nach heutigem Wissenstand sind Schleimpilze mit den Protozoa verwandt und demnach ins Reich der Protisten (ein- bis wenigzellige Eukaryoten) einzuordnen (Spiegel et al., 2004). Obwohl die genauen evolutionären Beziehungen der Myxomyceten im Stammbaum des Lebens noch Gegenstand häufiger Debatten und Untersuchungen sind, stellen diese Organismen jedoch bereits eine gut definierte, homogene Gruppe dar (Rollins & Stephenson, 2011).

Nach aktuellem Stand der Wissenschaft werden die Myxomyceten als Myxogastria klassifiziert und in die Superklasse der Amoebozoa gestellt (Adl et al., 2012). Die Myxomyceten werden traditionell in 6 taxonomische Ordnungen unterteilt: Ceratiomyxales, Echinosteliales, Liceales, Physarales und Stemonitales. Die Ceratiomyxales unterscheiden sich morphologisch von den anderen 5 Ordnungen, da hier die Sporenproduktion auf andere Weise erfolgt. Sie wurden im Lehrfilm aufgrund ihrer langen Zugehörigkeit zu den Myxomyceten berücksichtigt obwohl die

die Zuordnung zu den Myxomyceten umstritten ist. Morphologische und ultrastrukturelle Untersuchungen lassen vermuten, dass die Ordnung der Ceratiomyxales näher mit den Protostelien als mit den Myxomyceten verwandt ist. Nach heutigem Wissensstand umfasst die Klasse der Myxomyceten deshalb nur 5 Ordnungen (Rollins & Stephenson, 2011). Ihnen werden 900 – 1000 Arten beziehungsweise Varietäten zugerechnet, davon sind in Europa etwa 650, im Gebiet Österreich, Deutschland, Schweiz etwa 500 Arten oder Varietäten nachgewiesen (Nowotny, 2000).

Die Erforschung der Biodiversität der Myxomyceten erweist sich als schwierig, da genaue Aussagen nur durch das Auftreten von Fruktifikationen getroffen werden können (Rollins & Stephenson, 2011). Studien zur Erforschung der Vielfalt basieren fast ausschließlich auf den reproduktiven, sporenproduzierenden Lebensphasen (=Fruktifikationen) von Myxomyceten (Stephenson et al., 1993). In vielen Stadien ihres Lebenszyklus bleiben Schleimpilze dem bloßen Auge jedoch verborgen. Da die unscheinbaren Plasmodien meist im Substrat versteckt leben, sind Fruktifikationen oft der einzige sichtbare Hinweis auf Myxomycetenvorkommen, wodurch nur lückenhafte Erkenntnisse über deren Verbreitung und Vielfalt vorliegen (Rollins & Stephenson, 2011).

3.1.3 Verbreitung und Lebensraum

Der Artenreichtum der meisten Organismen ist in wärmeren, tropischen Gebieten höher als in nördlicheren Bereichen. Vor allem Insekten weisen in den Tropen eine viel höhere Diversität und größere Körperformen auf als in Gebieten mit kühlerem Klima (Bonner, 2009). Diese Biodiversitätsregel, nach der die Artenzahl mit zunehmender Entfernung vom Äquator polwärts sinkt, gilt sowohl für die mikro- als auch für die makrobiologische Welt. Die Myxomyceten stellen eine Ausnahme von dieser Regel dar. Der tropische Regenwald weist die geringste Vielfalt an Myxomycetenarten auf (Farr, 1976). Obwohl in tropischen Gebieten immer mehr Arten entdeckt und beschrieben werden, bilden die temperaten Zonen mit ihren sommergrünen Mischwäldern ein weitaus günstigeres Habitat für viele Myxomycetenarten und weisen demnach höhere Biodiversität auf als die tropischen und polaren Regionen der Erde (Snell & Keller, 2003, Snell et al., 2003, Keller,

2004). Die häufigen und intensiven Regenfälle in den Tropen bieten eine mögliche Begründung für diese unübliche geographische Verteilung. Fruktifikationen werden demnach seltener ausgebildet und schneller weggeschwemmt. Außerdem bieten tropische Wälder weniger Streuschicht, die für Myxomyceten einen sehr beliebten Lebensraum darstellt. Die geschlossene Baumkrone und die stockwerkartige Aufschichtung der Vegetation reduzieren die Windströmungen in Regenwäldern und somit auch die Sporenverbreitung (Keller & Everhart, 2010).

Ein Großteil aller Myxomycetenarten ist weltweit anzutreffen. Nur wenige Arten beschränken ihr Vorkommen auf tropische Gebiete oder höhere Gebirgslagen. Auch eine strenge Bindung an ein bestimmtes Substrat scheint es nicht zu geben. Myxomyceten sind auf abgestorbenem organischem Material, wie Baumstümpfen, liegenden Stämmen, Ästen, Zweigen, Laub,- und Nadelstreu, toten krautigen Pflanzen, Stroh,- und Heuhaufen zu finden. Zur Fruktifikationsausbildung kriechen sie auch auf lebende Pflanzen, Moose und Pilze, ohne dabei parasitisch zu sein. Selbst Steine und Abfall aus Metall und Kunststoff können besiedelt werden. Da die Sporen fast überall zusammen mit geeignetem Substrat anzutreffen sind, ist anzunehmen, dass vor allem das Mikroklima für die Entwicklung verantwortlich ist. Totes Pflanzenmaterial in Verbindung mit genügend Feuchtigkeit bildet für Mikroorganismen und die sich davon ernährenden Myxomyceten die Lebensgrundlage. Trockenheit, zu hohe oder zu niedrige Temperaturen, fehlende Nahrung und Belastungen des Bodens durch Schwermetalle stellen für Schleimpilze ungünstige Lebensbedingungen dar. Liegt keine geschlossene Schneedecke vor und fällt die Temperatur nicht unter den Gefrierpunkt, können Myxomyceten das ganze Jahr über angetroffen werden. Hauptsächlich findet man sie jedoch im Frühling und im Sommer. Bei genügend Niederschlägen sind sie auch im Herbst noch häufig anzutreffen (Neubert et al., 1993, Nowotny 2000).

3.1.4 Ökologie

Die Bedeutung von Schleimpilzen im Stoffkreislauf von Ökosystemen ist weitgehend ungeklärt. Im Bereich der Streuschicht und des Oberbodens leisten sie einen kleinen Beitrag zum Abbau von totem, organischem Material (Schinner et al., 1990). Die teilweise saprophytische Lebensweise und phagotrophe Ernährungsweise der

Myxomyceten wird durch einen sehr effizienten Kohlenstoff- Metabolismus und durch ein breites Spektrum Kohlenstoff spaltender Enzyme ermöglicht (Kobalinsky & Schinner, 1988). Neben der Aufnahme von totem organischem Material können auch lebende Zellen wie Bakterien oder Algen bis hin zu vielzelligen Pilzen aufgenommen werden (Neubert et al., 1993, Nowotny 2000).

Myxomyceten teilen sich ihren Lebensraum mit Bakterien, Pilzen und Algen. Aktive Plasmodien ernähren sich hauptsächlich von diesen Organismen. Durch die Aufnahme symbiontischer Bakterien (Chassain, 1980) und durch die eigene Enzymaktivität sind sie in der Lage, komplexe pflanzliche Verbindungen, wie Xylane, Pektine und Zellulose zu zersetzen (Baath & Söderström, 1980). Aufgrund des hohen Feuchtebedarfs, des geringen Biomasseanteils im Substrat und folglich geringeren Umsatzleistungen spielen sie jedoch gegenüber Pilzen eine untergeordnete Rolle im Kohlenstoffkreislauf (Schinner et al., 1990).

Die meisten Myxomycetenarten sind bei Abwesenheit aktiver Bakterien nicht mehr lebensfähig, was als Parasitismus seitens der Schleimpilze bezeichnet wird (Sobels, 1950). Es darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass Myxomyceten den assoziierten Bakterien eiweißreiche Nährstoffe aus Stoffwechselüberschüssen und abgestorbener Biomasse zur Verfügung stellen und sie vor Austrocknung schützen (Schinner et al., 1990).

Als Räuber, Parasiten und Saprophyten tragen Schleimpilze zur Aufrechterhaltung einer ausgewogenen Organismengesellschaft im Bereich abgestorbenen Pflanzenmaterials, der Streu und des Oberbodens bei. Manche Arten besiedeln die Fruchtkörper höherer Pilze und lebende Pflanzen, sind aber meist nicht parasitisch. In Ausnahmefällen und bei dichter Ansammlung kann es jedoch zu Beeinträchtigungen des Wachstums oder zum Absterben des befallenen Organismus kommen (Nowotny, 2000).

Schleimpilze müssen gegenüber konkurrierenden Mikroorganismen und Tieren bestehen. Wissenschaftliche Untersuchungen zeigten, dass diese Organismen ein breites Spektrum an Hemmstoffen gegen Pilze, Hefen und Bakterien ausscheiden, um Nahrungskonkurrenten abzuwehren (Kolm, 1983). Die Ausscheidung von Toxinen und Hemmstoffen kann außerdem dazu dienen, Beutetiere an der Flucht zu hindern oder zu töten (Schinner et al., 1990).

Die Fruktifikationen der Schleimpilze stellen wiederum eine attraktive Nahrungsquelle für wirbellose Tiere, wie Käfer, Fliegen und Milben, sowie für Pilze dar (Nowotny, 2000). In Vera Cruz in Mexiko werden Schleimpilze von der dort ansässigen Urbevölkerung gebraten verzehrt und als „*caca de luna*“ zu Deutsch „Mondkaka“ bezeichnet (Villarreal, 1983).

Die Fruktifikationen und Plasmodien von Myxomyceten nehmen Schwermetalle aus der Umgebung auf und konzentrieren sie im Inneren der Zelle. Sie akkumulieren dabei hoch toxische Mengen, zum Beispiel von Zink, aus der Umgebung und leisten damit einen 1000 fach größeren Beitrag zur Beseitigung von Bodenverschmutzungen als die umliegende Vegetation (Stijve & Andrey, 1999, Zhulidov et al., 2002).

3.1.5 Lebenszyklus

Die Sporen der Myxomyceten werden vor allem durch Wind verbreitet. Auch der Transport durch Wasser in Form von Regen oder durch Tiere wurde oftmals beobachtet, spielt jedoch gegenüber der Windverbreitung eher eine untergeordnete Rolle (Nowotny, 2000). Die meist dickwandige Sporenhülle weist eine für jede Art charakteristische Ornamentierung mit pelzigen, stacheligen bis warzigen Oberflächenstrukturen auf (Ing, 1993), die die Sinkgeschwindigkeit in der Luft reduzieren und somit eine Anpassung an die Windverbreitung darstellen (Neubert et al., 1993). Ein Teil der von Käfern oder Milben als Nahrung aufgenommenen Sporen passiert den Verdauungstrakt der Insekten unbeschadet und wird keimfähig ausgeschieden (Keller & Smith, 1978, Blackwell et al., 1982).

Die Sporenkeimung ist von einem ausreichenden Nahrungsangebot und von optimalen Temperaturverhältnissen abhängig. Welche Rolle dabei osmotischen Prozessen und Enzymen zukommt, ist noch ungeklärt. Sporenmassen keimen besser als einzelne Sporen (Nowotny, 2000). Bei manchen Arten scheinen die Sporen eine Ruhepause zu benötigen, bevor sie zu keimen beginnen. Die Keimfähigkeit bleibt dabei über mehrere Jahre erhalten (Ing, 1993, Neubert et al., 1993). Es konnten sogar schon Sporen von 75 Jahre altem Herbarmaterial zur Keimung gebracht werden (Erbisch, 1964).

Die Sporenhüllen brechen entweder unregelmäßig oder an vorgebildeten Keimporen auf (Keller, 1970, Keller & Schoknecht, 1989a) und entlassen ein bis vier einzellige,

haploide Myxamöben oder Schwärmerzellen (Myxoflagellaten). Zusammen werden diese Keimzellen als Amöboflagellaten bezeichnet. Sie besitzen keine Zellwand, sondern werden nur von der Plasmamembran umhüllt (Gray & Alexopoulos, 1968), in der in der Regel zwei Geißeln inserieren. Welcher Keimzellentyp ausgebildet wird, hängt vom Feuchtigkeitsgehalt der Umgebung ab. Myxoflagellaten werfen bei trockenen Verhältnissen ihre Geißeln ab und formen sich zu Myxamöben um. Bei genügend Feuchtigkeit findet dieser Vorgang umgekehrt statt (Howard, 1931, Collins, 1979).

Bei ausreichendem Nahrungsangebot kommt es durch Plasma- und Kernteilung zur Bildung von Zellkolonien (Nowotny, 2000). Myxamöben sind amorphe, amöboide Zellen und teilen sich durch Mitose (Koevenig, 1964, Gray & Alexopoulos, 1968, Keller & Schoknecht, 1989a).

Bei ungünstigen Umweltbedingungen wie Trockenheit oder Nahrungsmangel verkapseln sich die einzelnen Zellen der Kolonie zu Mikrozysten. Stellen sich wieder bessere Lebensbedingungen ein, entlassen diese Mikrozysten wieder Myxoflagellaten oder Myxamöben, die nun ihre Entwicklung fortsetzen können (Neubert et al., 1993, Rollins & Stephenson, 2011).

Durch paarweise Verschmelzung nebeneinanderliegender Keimzellen entsteht die Zygote. Schwärmerzellen verschmelzen an ihren posterioren, den beiden Geißeln gegenüberliegenden Enden (Stephenson & Stempen, 1994, Fiore-Donno et al., 2005). Unabhängig von der Art können sowohl Schwärmerzellen von derselben Art als auch von zwei verschiedenen Arten miteinander verschmelzen (Clark, 2000). Durch synchrone, mitotische Kernteilungen ohne Teilung des Plasmas entsteht ein vielkerniges, nicht in Zellen geteiltes Gebilde das Plasmodium genannt wird. Dieses variiert je nach Art in Größe, Form, Farbe und anderen morphologischen Eigenschaften (Gray & Alexopoulos, 1968). Durch pulsierende Plasmaströmungen bewegt sich das ständig wachsende Plasmodium in seinem Lebensraum fort. Die Bewegung erfolgt meist in Richtung einer Wasserströmung und weg vom Licht. Unter ständiger Nahrungsaufnahme wächst das Plasmodium. Bei einigen Arten werden mehrere dm² Ausdehnung erreicht.

Schließlich sucht das Plasmodium hellere oder trockenere Bereiche beziehungsweise die Oberfläche des Substrats auf. Es teilt sich, abhängig von der

Art der Fruktifikation, in mehrere bis tausende Teile oder konzentriert sich zu polsterartigen Gebilden. Im Anschluss formen sich die arttypischen Sporocarprien, Plasmodiocarprien, Pseudoaethalien oder Aethalien (Nowotny, 1995).

Im Inneren der Fruktifikationen reifen die Sporen und nach deren Verbreitung erfolgt, entsprechende Umweltbedingungen vorausgesetzt, der Entwicklungszyklus erneut (Nowotny, 2000).

3.1.6 Schleimpilze in der Wissenschaft

In jüngster Zeit dienen Myxomyceten verstärkt als Untersuchungsobjekte in der Mikrobiologie, der Biotechnologie und der medizinischen Grundlagenforschung. Dabei werden sie unter anderem zum Studium fundamentaler biologischer Vorgänge wie Zellfusion, Kernteilung und Plasmaströmung herangezogen. Der Nachweis verschiedener Enzyme, Wachstumsstoffe und antibiotischer Substanzen in Plasmodien erweckte in den letzten Jahren das Interesse der chemischen Industrie an Myxomyceten (Neubert et al., 1993, Nowotny, 2000).

Aufgrund physiologischer und genetischer Merkmale dienen sie der Wissenschaft sogar als Modellorganismen in der aktuellen Krebsforschung. Die mitotische, synchrone Kernteilung der Plasmodien erlangt dabei besondere Beachtung. Nach wissenschaftlichen Erkenntnissen wird sie nicht durch eine biologische Uhr im Nucleus, sondern durch Stimulatoren, die sich im Cytoplasma anreichern und kurz vor Einsetzen der Mitose in den Zellkern transferiert werden, eingeleitet (Cummins & Rusch, 1968, Rusch, 1970). Diese Tatsache könnte große Bedeutung bei der Behandlung von Krebszellen haben, die ihre innere Kontrolle über die Zellbildung verloren haben. Experimente zeigten, dass eine von *Physarum polycephalum* produzierte und im Anschluss modifizierte Substanz namens Polycefin cytotoxisch auf Brust- und Gehirnkrebszellen wirkt (Keller & Everhart, 2010). Auch ein aus *Arcyria nutans* isolierter Stoff namens Arcyriacyanin (Steglich, 1989) zeigt hemmende Wirkung auf eine Reihe menschlicher Krebszellentypen (Hibino & Choshi, 2002).

Das Plasmodium von *Physarum polycephalum* findet auch in der Weltraumforschung Anwendung. Es dient der Erforschung des Einflusses der Schwerkraft auf eine lebende Protoplastenmasse, die keine spezialisierten Rezeptoren für die Gravitation

besitzt. Die Ergebnisse zeigten eine deutliche Sensibilität der Plasmodien für Schwerkraft und Phototaxis (Block et al., 1986, Block et al., 1994). Die Plasmaströmung und die Plasmodienbewegung werden auch bei minimaler Gravitation aufrechterhalten (Tairbekov et al., 1984).

Einige Verbindungen, die aus den Fruktifikationen vieler Myxomycetenarten isoliert werden konnten, wirken antibiotisch oder antimikrobiell (Keller & Everhart, 2010). Mehr als 100 verschiedene Sekundärmetabolite konnten in Myxomyceten nachgewiesen werden. Bei vielen davon handelt es sich um Verbindungen, die wichtige biologische Aktivitäten aufweisen (Dembitzky et al., 2005).

Zur Erforschung dieser anfänglich vielleicht primitiv erscheinenden Lebensform führten Forscher in den letzten Jahrzehnten zahlreiche interessante Experimente durch. Labyrinthversuche zeigten, dass Plasmodien stets die kürzeste Verbindung zwischen zwei angebotenen Nahrungsquellen ausbilden und somit auf äußere Reize reagieren können (Nakagaki et al., 2000). Diese Ergebnisse dienen als Nachweis einer Form primitiver Intelligenz.

Der erste gestaltlose, biologische Roboter nützt Plasmodien von *Physarum polycephalum* als treibende Kraft, um gerichtete Fließbewegungen von leichten Objekten auf einer Wasseroberfläche zu steuern und gleichzeitig Berechnungen durchzuführen. Die Protoplasmaströmung und die Bewegung eines auf einem 6-beinigen Roboter angewachsenen Plasmodiums kontrollieren die Bewegung der Maschine. Dabei werden die schatten- und feuchtigkeitssuchenden Eigenschaften der Schleimpilze nutzbar gemacht (Adamatzky & Jones, 2008, Adamatzky, 2009).

3.2 Der Lehrfilm

3.2.1 Gliederung

a) Vorspann

- Trailer
- Filmtitel: „Myxomyceten- die Welt der Schleimpilze“

b) Einleitung

- Allgemeine Merkmale
- Systematik
- Lebensweise
- Lebensraum

c) Hauptteil

- Lebenszyklus und Vielfalt:
Die einzelnen Lebensstadien werden ausführlich behandelt. Anhand der Fruktifikationsbildung wird auf die Diversität der Myxomyceten eingegangen.
- Animationen: Zur Veranschaulichung nicht filmbarer Inhalte wurden graphische Darstellungen angefertigt.
- Interview mit Wolfgang Nowotny

d) Schlussteil

- Ökologische Bedeutung
- Schleimpilze in der Wissenschaft
- Ausblick

3.2.2 Ziel

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll ein Lehrfilm für Schüler der Oberstufe und für Interessierte ohne besondere naturwissenschaftliche Fachkenntnisse produziert werden. Die Dauer des Films soll auf eine Unterrichtseinheit angepasst werden und nicht mehr als 30 Minuten betragen. Damit wird der Lehrkraft die Möglichkeit geboten, die gebrachten Inhalte mit den Schülern und Schülerinnen zu diskutieren und auf Fragen einzugehen. Ziel des Films ist es, einen Überblick über ein wissenschaftliches Thema, wie hier die Vorstellung der sonst eher unbekanntem Gruppe der Schleimpilze, zu geben. Die Dokumentation soll dabei detaillierte Inhalte vermitteln und das Interesse für die Wissenschaft sowie die Begeisterung für die Natur beim Zuschauer hervorrufen. Die Qualität der Bilder, eine gute Strukturierung der Information und eine harmonische Verbindung von Ton und Film sind dabei ausschlaggebend. Um den Zuschauer nicht mit zu viel Information zu überfordern, müssen komplexe Inhalte ausführlich und auf leicht verständliche Art verpackt und gegebenenfalls wiederholt werden. Die Verwendung von Fachausdrücken sollte deshalb weitestgehend vermieden werden. Die Herausforderung besteht darin, einen Film zu produzieren, der sowohl einen geeigneten Lerneffekt als auch großen Unterhaltungswert aufweist.

4 Material und Methoden

4.1 Objekte

4.1.1 Verwendete Myxomycetenarten

Art	Familie	Substrat	Herbar
<i>Arcyria cinerea</i>	Arcyriaceae	Totholz	Nowotny
<i>Arcyria denudata</i>	Arcyriaceae	Totholz	Steinböck
<i>Arcyria ferruginea</i>	Arcyriaceae	Totholz	Nowotny
<i>Arcyria incarnata</i>	Arcyriaceae	Totholz	Nowotny
<i>Arcyria obvelata</i>	Arcyriaceae	Totholz	Nowotny
<i>Badhamia utricularis</i>	Physaraceae	Borke	Nowotny
<i>Ceratiomyxa fruticulosa</i>	Ceratiomyxaceae	Totholz	Steinböck
<i>Craterium aureum</i>	Physaraceae	Laubstreu	Nowotny
<i>Craterium concinnum</i>	Physaraceae	Fruchtstände <i>Alnus</i> sp.	Nowotny
<i>Craterium leucocephalum</i>	Physaraceae	Laubstreu	Nowotny
<i>Craterium minutum</i>	Physaraceae	Laubstreu <i>Quercus</i> sp.	Nowotny
<i>Craterium muscorum</i>	Physaraceae	Bemooster Ast	Nowotny
<i>Craterium obovatum</i>	Physaraceae	Laubstreu	Nowotny
<i>Cribaria cancellata</i>	Cribariaceae	Totholz	Steinböck
<i>Diachea leucopodia</i>	Didymiaceae	Laubstreu, Pflanzenreste	Nowotny
<i>Diachea subsessilis</i>	Didymiaceae	Tote Äste	Nowotny
<i>Diderma alpinum</i>	Didymiaceae	Lebend <i>Rubus</i> sp.	Nowotny
<i>Diderma alpinum</i>	Didymiaceae	Toter Farn	Nowotny
<i>Diderma hemisphaericum</i>	Didymiaceae	Laubstreu	Nowotny
<i>Diderma meyeræ</i>	Didymiaceae	Tote Pflanzenstengel	Nowotny
<i>Diderma testaceum</i>	Didymiaceae	Laubstreu	Nowotny
<i>Fuligo septica</i>	Physaraceae	Moose auf Baumstumpf	Steinböck

<i>Hemitrichia serpula</i>	Trichiaceae	Totholz	Nowotny
<i>Lamproderma aeneum</i>	Stemonitidaceae	Lebend Laubholzzweige	Nowotny
<i>Lamproderma christatum</i>	Stemonitidaceae	Lebende Zweige	Nowotny
<i>Lamproderma echinosporum</i>	Stemonitidaceae	Lebende Zweige	Nowotny
<i>Lamproderma sauteri</i>	Stemonitidaceae	Tote Pflanzenstengel	Nowotny
<i>Lamproderma splendens</i>	Stemonitidaceae	Lebend <i>Rubus</i> sp.	Nowotny
<i>Lepidoderma chailletii</i>	Didymiaceae	Lebende Zweige	Nowotny
<i>Lepidoderma tigrinum</i>	Didymiaceae	Moose auf Felsen	Nowotny
<i>Metatrichia vesparium</i>	Arcyriaceae	Totholz	Nowotny
<i>Physarum albescens</i>	Physaraceae	Lebend <i>Rubus</i> sp.	Nowotny
<i>Physarum alpestre</i>	Physaraceae	Lebend Laubholzzweige	Nowotny
<i>Physarum bivalve</i>	Physaraceae	Laubstreu <i>Quercus</i> sp.	Nowotny
<i>Physarum contextum</i>	Physaraceae	Lebend <i>Rubus</i> sp.	Nowotny
<i>Physarum leucophaeum</i>	Physaraceae	Totholz	Nowotny
<i>Physarum psittacinum</i>	Physaraceae	Baumstumpf <i>Picea</i> sp.	Nowotny
<i>Physarum vernum</i>	Physaraceae	Lebend Laubholzzweige	Nowotny
<i>Stemonitis</i> sp.	Stemonitidaceae	Totholz	Steinböck
<i>Trichia decipiens</i>	Trichiaceae	Totholz	Steinböck
<i>Trichia favoginea</i>	Trichiaceae	Totholz	Nowotny
<i>Trichia scabra</i>	Trichiaceae	Baumstumpf	Nowotny
<i>Trichia varia</i>	Trichiaceae	Baumstumpf	Nowotny
<i>Tubifera ferruginosa</i>	Enteridiaceae	Bemooster Baumstumpf	Nowotny

Tab. 1: Liste der dokumentierten Myxomycetenarten

4.1.2 Standorte

Die Beprobung der Schleimpilze fand vorwiegend in der Umgebung von Wien statt. Die aufgesammelten Arten stammen dabei aus dem nördlichen Flysch- Wienerwald und aus dem Nationalpark Lobau. Auch lichte Wälder nahe des Wildnisgebiets Dürrenstein dienten als Standort. Je nach benötigter Filmsequenz wurden die

Darsteller entweder direkt vor Ort gefilmt oder aufgesammelt und anschließend im Fotostudio dokumentiert.

Wegen der Abhängigkeit der Myxomyceten von Feuchtigkeit wurden viele Beprobungen bei oder nach längeren Regenperioden durchgeführt. Bei den meisten Schleimpilzarten genügt ein scharfes Messer, um diese mit einer dünnen Lage des Substrats abzulösen. Auf Hartholz fruktifizierende Arten können mithilfe eines kleinen Stemmeisens und eines Hammers aufgesammelt werden. Das größte Problem bei der Beprobung von Fruktifikationen stellt der Transport dar. Hier haben sich flache Kunststoffbehälter mit Unterteilungen, wie sie auch in Werkzeugkoffern zu finden sind, bewährt. Besonders empfindliche und kleine Arten werden mittels Klebstoff am Boden des Behältnisses festgeklebt (Neubert et al., 1993).

Ein großer Teil der im Film dargestellten Fruktifikationen wurde aus dem persönlichen Herbar von Prof. Wolfgang Nowotny zur Verfügung gestellt (Abb. 1).



Abbildung 1: Verschiedene Myxomycetenarten aus dem Herbar von W. Nowotny

4.1.3 Kultivierung

Kulturen lebender Plasmodien von *Physarum polycephalum* wurden von der *Carolina Biological Supply Company* aus North Carolina bestellt und abgedunkelt aufbewahrt. Da für die verschiedenen Filmaufnahmen und Zeitraffer große Mengen davon benötigt wurden, mussten die gelieferten Kulturen in regelmäßigen Zeitintervallen kontrolliert und gegebenenfalls in ein neues Nährmedium überführt werden. Für die einzelnen Versuchsanordnungen wurden mit Agar befüllte Petrischalen verwendet.

Um mikrobielle Verunreinigungen zu verhindern, wurden die Kulturen wenn möglich in einer sterilen Werkbank (Ehret Aura-V-Lamina) überimpft. Eine Kontaminierung der Kulturen mit Schimmelsporen konnte somit in den meisten Fällen, aber nicht immer vermieden werden. Bei kontaminierten Petrischalen konnte häufig ein sklerotisieren des Plasmodiums beobachtet werden was ein verschimmeln und schlussendlich zum Tod des Schleimpilzes führte. Nur in manchen Fällen, bei geringer Kontaminierung konnte der Eindringling umschleimt und verdaut werden. Da der Agar keine Nährstoffe enthält, wurden *Physarum polycephalum* Haferflocken als Nahrung angeboten (Abb. 2).

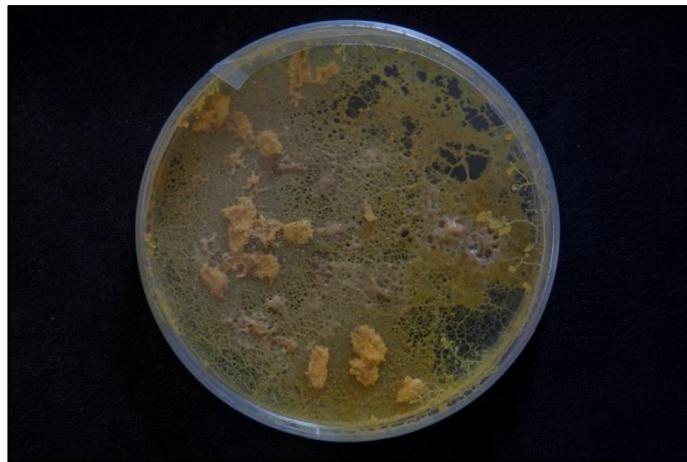


Abbildung 2: Kultur von *Physarum polycephalum* mit Haferflocken

4.1.4 Kulturmedium

Zur Kultivierung der Plasmodien wurde auf persönlichem Anraten von der *Carolina Biological Supply Company* 1,5 % iger Agar (VWR PROLABO AGAR) verwendet. Zur Herstellung des Kulturmediums wurde das Agarpulver zusammen mit destilliertem Wasser in einem Erlenmeyerkolben vermischt und zum Kochen gebracht. Anschließend wurde die Öffnung des Gefäßes mittels Watte abgedichtet und mit Alufolie verschlossen.

4.1.5 Keimversuch

Um Bildmaterial von Myxoflagellaten zu erhalten, wurde ein einfacher Versuch durchgeführt. Dabei wurden jeweils fünf Ansätze mit Sporen von *Trichia favoginea*

und einer *Stemonitis* Art aufgestellt. Zuerst wurde Substrat mit 10ml destilliertem Wasser in VWR Zentrifugenröhrchen gegeben und anschließend filtriert. Anschließend wurden die Sporen bzw. Sporenmassen den Proben hinzugefügt. Damit die Proben mit genügend Sauerstoff versorgt sind, wurden sie nach dem Ansetzen des Versuchs auf einen Schüttler gestellt. Die Proben wurden danach stündlich unter dem Lichtmikroskop kontrolliert. Nach fünf Stunden waren die ersten Myxoflagellaten aus der *Stemonitis* Versuchsreihe geschlüpft. Die Sporen von *Trichia favoginea* konnten nicht zur Keimung gebracht werden. Nach einer Woche hatten sich bei den *Stemonitis*-Proben Mikrozysten gebildet, die ebenfalls dokumentiert wurden.

4.1.6 Labyrinthversuch

In Anlehnung an die Experimente von Nakagaki (2001) zum Nachweis primitiver Intelligenz wurde ein selbst konstruiertes Labyrinth mittels Adobe Photoshop CS6 erstellt und auf eine Plastik Overhead-Folie gedruckt. Die Labyrinthwände wurden mittels Rasierklinge vorsichtig ausgeschnitten und in eine mit Agar befüllte, passende Petrischale überführt. Anschließend wurden Plasmodienstücke der *Physarum polycephalum* Kulturen in kleinen Abständen voneinander in die Gänge des Labyrinths transferiert. Sobald sich die einzelnen Stücke wieder zu einem ganzen Organismus verbunden haben, werden dem Plasmodium an zwei beliebigen Punkten Haferflocken angeboten (Abb 3). Die kürzeste Verbindung zwischen den beiden Nahrungsquellen im Labyrinth wurde ermittelt. Das Verhalten von *Physarum polycephalum* wurde mittels Zeitrafferaufnahmen dokumentiert.



Abbildung 3: Labyrinthversuch mit *Physarum polycephalum*

4.2 Technik

4.2.1 Außenaufnahmen

a) Kameras

Die bei dieser Dokumentation verwendeten Kameras waren eine Canon Eos 5D Mark II mit einem CMOS Vollformatsensor, EF-Bajonett für Wechselobjektive und einer Videofunktion mit 1080p HDTV-Auflösung und eine Canon Eos 550D mit CMOS-Sensor, EF-S Bajonett für Wechselobjektive und einer Videofunktion mit 1080p HDTV- Auflösung (Abb. 4). Für alle mikroskopischen und photomakroskopischen Aufnahmen außer den elektronenmikroskopischen Aufnahmen kam eine Nikon J1 mit einer Videofunktion mit 1080p HDTV-Auflösung zum Einsatz (Abb. 5).

b) Objektive

Die verwendeten Objektive für die Canon Kameras waren ein Canon EF 24-105mm f/4L IS USM Standardzoomobjektiv, ein Canon EF 100mm f/2.8 Macro IS USM Makroobjektiv, ein Canon EF 70-300mm f/4-5.6 IS USM Telezoomobjektiv, ein MP-E 65mm f/2.8 1-5x Macro Photo Lupenobjektiv und ein EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS II (Abb. 4).



Abbildung 4: DSLR- Kameras und Objektive von Canon



Abbildung 5: Nikon J1 mit Tubusadapter

c) Stative und Kammerschiene

Zur Dokumentation aus unterschiedlichen Perspektiven und für Kammerschwenks kamen diverse Kamerastative von Manfrotto zum Einsatz.

Um bewegte Bilder produzieren zu können, wurde in Kooperation mit Herrn Martin Kogler eine einfache Kammerschiene mit verstellbarem Schwenkkopf entwickelt (Abb. 6). Die Geschwindigkeit der Kamerafahrten wurde manuell gesteuert und auf die jeweilige Aufnahme angepasst.



Abbildung 6: Kammerschiene mit Schwenkkopf

4.2.2 Studioaufnahmen

a) Stereomikroskopie

Für die Studioaufnahmen von Organismen im Makrobereich wurden das Wild Photomakroskop M400 1,25x (Abb. 7) und das Stereomikroskop SMZ 1500 von Nikon verwendet. Beide Geräte besitzen einen eigens von Herrn Helmuth Goldammer angepassten Tubusadapter, der ein Aufsetzen der Digitalkamera Nikon J1 möglich machte. Mit der Videofunktion der Kamera konnten Aufnahmen mit einer Auflösung von 1080p HDTV gedreht werden.

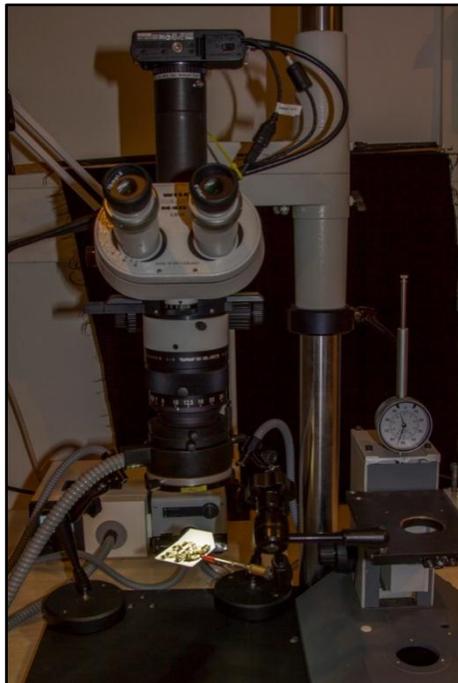


Abbildung 7: Wild Photomakroskop M400 mit Tubusadapter

b) Makroschiene

Um Kamerafahrten im Makrobereich zu realisieren, wurde eine von Herrn Helmuth Goldammer zur Verfügung gestellte Makroschiene (*Stackshot Extended Macro Rail*) verwendet (Abb. 8). Damit konnten Kamerafahrten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und unterschiedlichen Distanzen punktgenau gesteuert werden. Die Makroschiene kam bei der Dokumentation der Fruktifikationen zum Einsatz.

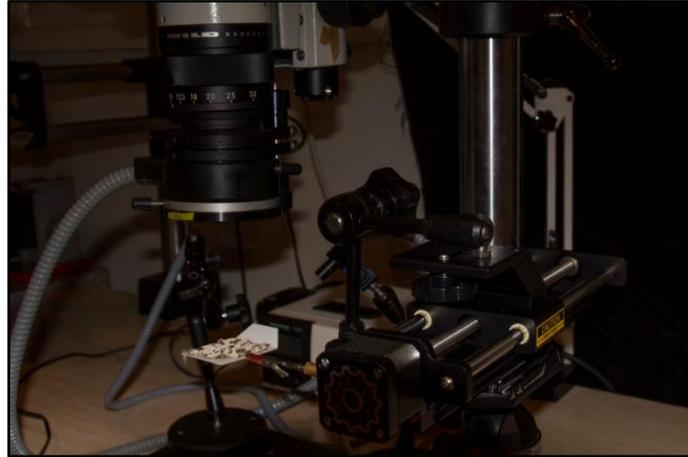


Abbildung 8: Photomikroskop mit Makroschiene

c) Lichtmikroskopie

Für hochauflösende Aufnahmen der Strukturen waren mikroskopische Aufnahmen nötig. Diese Aufnahmen wurden mit dem Reichert Univar Mikroskop realisiert (Abb. 9). Um die kleinen Strukturen der Myxomyceten so gut wie möglich zu dokumentieren, wurden verschiedene lichtmikroskopische Kontrastverfahren verwendet. Für die Darstellung der für die Ordnung der Physarales charakteristischen Kalkausbildungen, die eine Doppelbrechung aufweisen, wurde die Methode der Polarisierung verwendet. Bei dieser Technik werden doppelbrechende Strukturen aufgrund polarisierten Lichtes deutlich sichtbar gemacht. Für die bildliche Darstellung der sonstigen Mikropräparate kam das Differential-Interferenz-Kontrast-Verfahren (DIC) zum Einsatz. Da die Objekte unterschiedliche Größe aufwiesen, mussten verschiedene Objektive verwendet werden.

d) Elektronenmikroskopie

Damit Strukturen, die außerhalb des Auflösungsvermögens des Reichert Univars liegen dokumentiert werden können, wurden im Rasterelektronenmikroskop angefertigt. Die Fruktifikationen wurden zunächst in Greiner Gefäße transferiert und anschließend in ein Plastikgefäß mit circa 10 cm Durchmesser überführt. Dieses Gefäß wurde 2-3 cm hoch mit KC Trockenperlen von BASF gefüllt. Dabei wurden die Objekte über Nacht getrocknet. Anschließend wurden die Proben auf 0,5 Aluminium *Specimen Stubs* aufgetragen. Danach konnten die Objekte mithilfe des Agar *Sputter*

Coater B7340 (Abb. 10) 200 Sekunden lang mit Gold bedampft werden (Abb. 11). Im nächsten Schritt wurde die Oberflächenstruktur der Sporenbehälter und Sporen mit Hilfe des Raster Elektronen Mikroskops Philips XL 20 (Abb. 12) analysiert und anschließend dokumentiert. Die für die Detektion nötige Beschleunigungsspannung des e^- Strahles betrug 15kV, da bei dieser Spannung die beste Bildqualität erreicht wird (persönliche Mitteilung Dr. Marie- Luis Weidinger). Das durch eine Software generierte Bild wurde als TIFF-Datei gespeichert.



Abbildung 9: Reichert Univar Lichtmikroskop

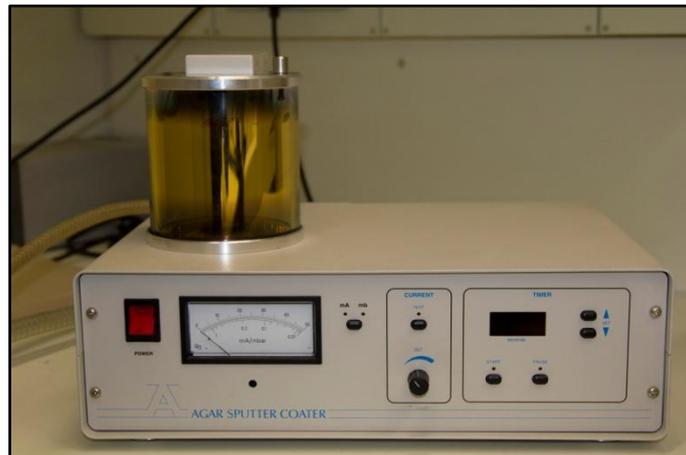


Abbildung 10: Agar Sputter Coater

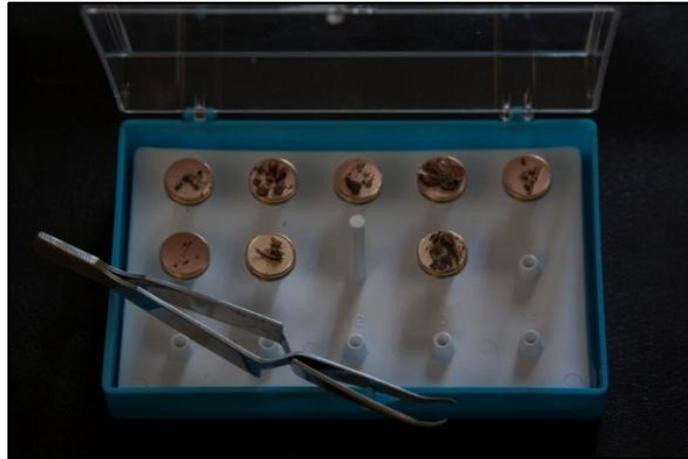


Abbildung 11: goldbedampfte Präparate für REM- Aufnahmen



Abbildung 12: Rasterelektronenmikroskop von Philips XL 20

e) Fotostudio

Die an den verschiedenen Standorten gesammelten Myxomyceten, die zu groß für die mikroskopischen Techniken waren, wurden im Fotoatelier der Core Facility für Cell imaging und Ultrastrukturforschung gefilmt. Dabei wurde auf eine gute Ausleuchtung und auf einen geeigneten relativ realitätsnahen Hintergrund der Objekte geachtet. Für die Beleuchtung wurden 3 Dedo DLH-4 Leuchten verwendet.

4.2.3 Licht

Es wurden verschiedene Lichtsysteme für die Dokumentation der Objekte und für das Experteninterview eingesetzt. Für das Experteninterview sowie für die Zeitrafferaufnahmen im Fotoatelier wurden 3 DEDO DLH-4 Leuchten verwendet. Für die photomakroskopischen und stereomikroskopischen Aufnahmen wurden eine Phototonic LED F1 Leuchteinheit und eine Phototonic F3000 Leuchteinheit mit diversen Lichtleitern verwendet.

4.2.4 Ton

Für das Experteninterview kam ein Beyerdynamic KE-800/TS-300 UHF Funkübertrager mit Kondensator Ansteckmikrofon zum Einsatz. Dabei sorgt die True Diversity Doppelübertragung für eine sichere Verbindung zwischen Kamera und Mikrofon. Des Weiteren wurde bei Außenaufnahmen ein Rode Video Mic Pro Richtmikrofon verwendet um die Geräuschkulisse der jeweiligen Aufnahmen einzufangen

4.2.5 Videoformate

Um eine homogene Bildqualität mit hoher Auflösung zu gewährleisten, wurde ausschließlich Full HD Bildmaterial mit einer Auflösung von 1920 x 1080 Pixel bei 25 Bildern pro Sekunde aufgenommen und im Schnitt verwendet. Für die Komprimierung der enormen Datenmengen, die bei solchen Projekten anfallen, wurden die geschnittenen Sequenzen mit dem Format H.264 komprimiert. Dieses Format eignet sich ideal für HDTV (Klaßen, 2012).

4.3 Postproduktion

4.3.1 Bild und Videobearbeitung

Für die Nachbearbeitung der unzähligen Bilder, die durch die Zeitrafferaufnahmen entstanden sind, wurde ausschließlich Adobe Photoshop CS6 verwendet. Dadurch konnten etwaige unter- oder überbelichtete Bilder korrigiert werden. Videoschnitt, Titelgestaltung und die Erstellung von Bauchbinden wurden mit Adobe Premiere Pro CS6 durchgeführt. Bei einer Bauchbinde handelt es sich um die Einblendung von Namen und sonstigen Informationen zu einer Person bei einem Interview (Klaßen, 2012).

4.3.2 Animationen

Zur Darstellung von Inhalten, die schwer auf Bild festzuhalten sind, wurden in Kooperation mit Herrn Bak. Bernhard Matiasek Animationen erstellt. Für die Animationen wurden die Programme Nuke, Cinema 4D und Photoshop CS4 verwendet.

4.3.3 Filmmusik und Soundeffekte

Die Filmmusik wurde in Kooperation mit Herrn Martin Kogler mit dem Program Guitar Pro4 komponiert. Bei den erhaltenen Dateien handelt es sich um Midi-Files. Begleitende Soundeffekte konnten einfach mit Adobe Premiere erstellt werden.

5 Ergebnisse

5.1 Filmtext mit Sequenzauswahl

5.1.1 Vorspann



Abbildung 13: Zeitrafferaufnahme Sternenhimmel



Abbildungen 14-16: Myxomyceten bei der Fruktifikationsbildung

Seit Millionen von Jahren besiedeln sie unseren Planeten. In der Wissenschaft werden sie Myxomyceten genannt – Schleimpilze. Im Verborgenen lebend, entwickeln sie sich in einer ganz ungewöhnlichen – geradezu einmaligen Art – zu riesigen Zellen. Ein ungeahnter Reichtum an Formen und Strukturen. Im Gegensatz zu Blütenpflanzen, Tieren und Pilzen sind sie nur den wenigsten vertraut. Ihrem außergewöhnlichen Lebenszyklus verdanken diese Organismen ihren Namen: Schleimpilze – einzigartig im Reich der Natur.

Einblendung des Filmtitels: „Myxomyceten – Die Welt der Schleimpilze“.

5.1.2 Einleitung

a) Allgemeine Merkmale



Abbildung 17: Kamerafahrt Lebensraum



Abbildungen 18-19: Schleimpilze auf verschiedenen Substrat

Im Stillen entwickelten sich über Jahrmillionen Organismen, die in ihrer Lebensweise beispiellos erscheinen. Weder Tier noch Pflanze – Schleimpilze. Sie zählen wohl zu den bizarrsten Geschöpfen, die die Evolution hervorgebracht hat. Voraussetzung für ihr Vorkommen sind lediglich genügend Feuchtigkeit und Nahrung. In den regenreichen Wäldern Mitteleuropas finden sie in den Sommermonaten ideale Bedingungen für ihr Gedeihen. Das milde Klima und die gute Wasserversorgung schaffen ein reichhaltiges Angebot verschiedenster Lebensräume. Nur im Winter, bei geschlossener Schneedecke, sind den meisten Schleimpilzen Grenzen gesetzt. Es sind faszinierende Organismen, die seit ihrer Entdeckung Wissenschaftler und Naturbegeisterte in Ihren Bann ziehen. Doch was ist nun ein Schleimpilz? Einer, der diese Organismengruppe seit Jahrzehnten studiert, ist Professor Wolfgang Nowotny aus Oberösterreich.

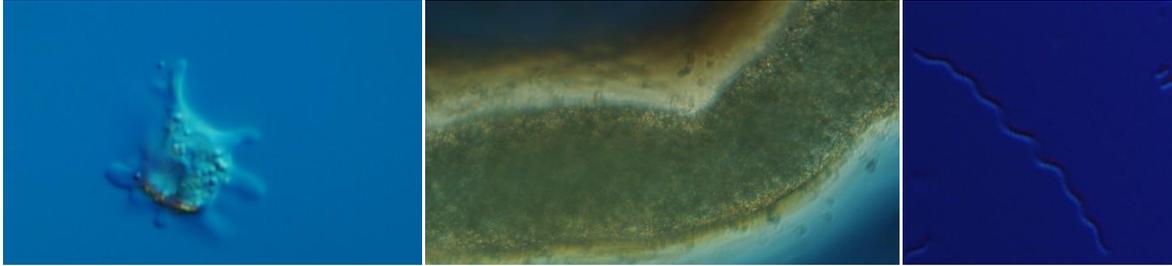
Vergangenheit oft umstritten. Zum einen wurden sie aufgrund ihrer Sporenbehälter sowohl zu den Pflanzen als auch zu den Pilzen gezählt. Auf der anderen Seite wurden sie im Tierreich angesiedelt. Der Grund dafür liegt in der vegetativen Phase ihres Lebenszyklus, in der sie sich aktiv fortbewegen und Nahrung aufnehmen. Eigenschaften, die lange Zeit nur den Tieren zugesprochen wurden. Die Entwicklung moderner wissenschaftlicher Methoden erlaubte neue Einblicke in die Verwandtschaftsverhältnisse der Myxomyceten. Nach heutigem Stand des Wissens finden sich die nächsten Verwandten der Schleimpilze in der Gruppe der Amöbozoa - weit weg von höher organisierten Lebewesen. Tiere, Pflanzen und Pilze sind aus einer Vielzahl von mikroskopisch kleinen Bausteinen aufgebaut - den Zellen. Im Vergleich zu diesen kompliziert gebauten Lebewesen, besitzen Amöben und Schleimpilze eine ganz andere Struktur. Es handelt sich dabei um einzellige Organismen mit echtem Zellkern. Der Besitz eines Zellkerns ist eine Eigenschaft, die sie von den heute bekannten Bakterien und Archeen unterscheidet.



Abbildungen 24-25: Vergleich zwischen einzelligen (links) und vielzelligen (rechts) Organismen

c) Lebensweise

Diese amöboide Zelle ernährt sich, indem sie Mikroorganismen und andere Partikel mit Hilfe ihrer Scheinfüßchen umschließt und danach verdaut. Bei diesen Scheinfüßchen handelt es sich um Ausstülpungen ihres Protoplasmas. Eine Zellwand oder ein festes Abschlussgewebe besitzen Schleimpilze nicht. Der Organismus ist dadurch in der Lage, seine Zellform nach Belieben zu verändern. Durch die Fähigkeit zur aktiven Fortbewegung sind Myxomyceten nicht an einen Ort gebunden. Dabei ermöglichen pulsierende Plasmaströmungen im Inneren der Zelle das Aufsuchen geeigneter Lebensräume. Ausreichend Feuchtigkeit spielt dabei stets eine wichtige Rolle.



Abbildungen 26-28: Amöboide Zelle (links) Plasmaströmung (Mitte), Bakterium (rechts)

d) Lebensraum



Abbildung 29: Lebensraum Totholz

Häufige Regenfälle, Nebelschwaden und der allmorgendliche Tau auf den Blättern der Pflanzen bilden die Hauptgrundlage für ein erfolgreiches Schleimpilzleben. Liegt keine geschlossene Schneedecke und fällt die Temperatur nicht unter den Gefrierpunkt, können Schleimpilze das ganze Jahr über angetroffen werden. Am häufigsten findet man sie in den wärmeren Jahreszeiten. Im Frühling erwacht der Waldboden zu neuem Leben. Genügend Platz für Schleimpilze. Bis weit in den Herbst hinein herrschen geeignete Bedingungen für ein unbeschwertes Dasein. Doch wo findet man nun Schleimpilze?



Abbildungen 30-31: Lebensraum mit genügend Feuchtigkeit (links) und Nahrung (rechts)

Interview mit Wolfgang Nowotny: Lebensraum



Abbildungen 32-33: Mischwald im Frühling (links) und Wolfgang Nowotny beim Experteninterview (rechts)

Ein Großteil der etwa 1000 beschriebenen Schleimpilzarten ist weltweit anzutreffen. Nur wenige Myxomyceten beschränken ihr Vorkommen auf tropische Gebiete oder höhere Gebirgslagen. Eine strenge Bindung an ein bestimmtes Substrat scheint es nicht zu geben - dennoch lässt sich bei etlichen Arten eine Vorliebe feststellen. Viele Myxomyceten bevorzugen Totholz und finden sich auf Baumstümpfen und herumliegenden Ästen und Zweigen. Einige Arten gedeihen auch auf alten, abgefallenen Laubblättern oder Nadelstreu. Die Wälder der gemäßigten Breiten bieten daher oft ideale Voraussetzungen für ein zufriedenes Schleimpilzleben. Zur Verbreitung ihrer Sporen umschließen die Plasmodien manchmal sogar lebende Pflanzen, Moose und Pilze, ohne jedoch parasitisch zu sein. Selbst Steine können besiedelt werden. Eine Reihe von Arten hat besondere ökologische Ansprüche. Sie erscheinen im Frühling und Sommer im Gebirge am Rande schmelzender Schneefelder. Myxomycetenforscher bezeichnen sie als sogenannte nivicole Arten.

Abbildungen 34-35: *Diderma* sp. auf Stein (links) und Lebensraum nivicoler Arten (rechts)

Interview mit W. Nowotny: nivicole Myxomycetenarten

Voraussetzung für die Reifung der Sporen ist ein ausreichend langer Winter. Abgeschottet von der Außenwelt verbringen sie den Großteil ihres Lebens unter einer geschlossenen Schneedecke. Erst bei Einsetzen der Schneeschmelze zeigen sie sich in vollendeter Pracht. Diese schimmernden Sporenbehälter von

Lamproderma, einer hauptsächlich nivicol vorkommenden Gattung sind ein eindrucksvolles Beispiel.



Abbildung 36: *Lamproderma splendens* (nivicole Art)

5.1.3 Hauptteil: Lebenszyklus

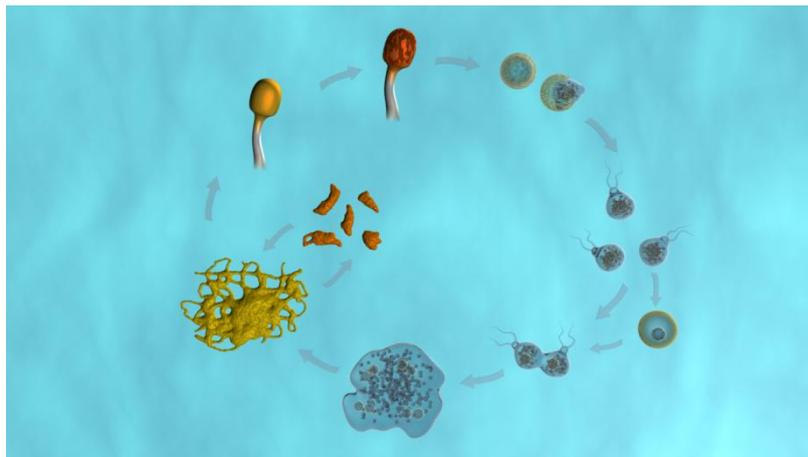


Abbildung 37: Animation Lebenszyklus

a) Verbreitung der Sporen

Schleimpilze durchlaufen in ihrem Leben einen im Reich der Organismen einzigartigen und faszinierenden Lebenszyklus. Die einzelnen Stadien könnten dabei in ihrem Erscheinungsbild nicht unterschiedlicher sein. Der Lebenszyklus eines Myxomyceten beginnt mit der Reifung der Sporen im Inneren eines Myxomycetenfruchtkörpers. Diese werden von Wissenschaftlern als Fruktifikationen bezeichnet. In diesem Stadium liegt der Chromosomensatz jeder Spore als genetisches Material in einfacher Form vor. Die Verbreitung der Sporen erfolgt in den

meisten Fällen durch Wind. Die spezielle Oberflächenbeschaffenheit erhöht die Flugfähigkeit der Sporen.

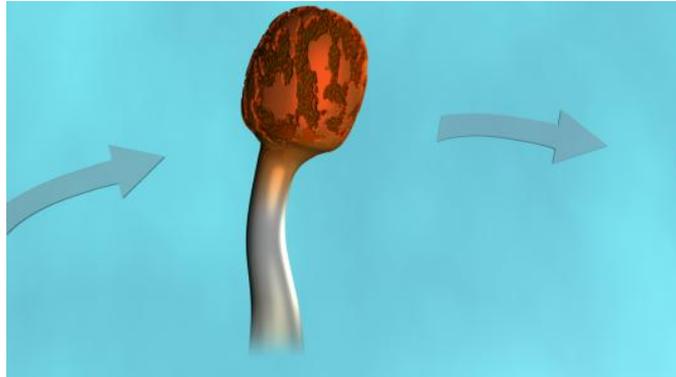


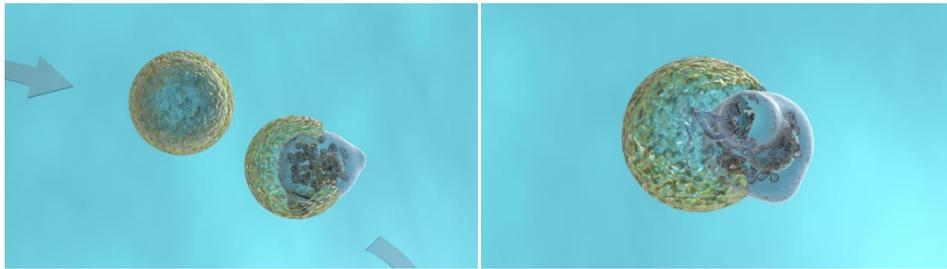
Abbildung 38: Lebenszyklus Animation reife Fruktilisation

Dadurch können sie oft kilometerweit transportiert werden. Elektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen eine Vielzahl verschiedenster Formen und Strukturen. Auch Wasser leistet einen Beitrag zur Verbreitung der Schleimpilze. Bei stärkerem Regen werden die Fruktilisationen regelrecht bombardiert, wodurch die Sporen explosionsartig herausgeschleudert werden. In selteneren Fällen übernehmen Tiere, insbesondere Insekten, die Sporenverbreitung. Dabei bleiben die Sporen an den Beinen der Insekten haften, oder sie werden gefressen und passieren unbeschadet den Verdauungstrakt, bis sie an anderer Stelle wieder abgestreift bzw. ausgeschieden werden. Finden die Sporen ein günstiges Mikroklima vor, können sie ihren Entwicklungszyklus fortsetzen und keimen.



Abbildungen 39-40: Windverbreitung bei *Stemonitis* sp. (links) und *Trichia favoginea* (rechts)

b) Sporenkeimung



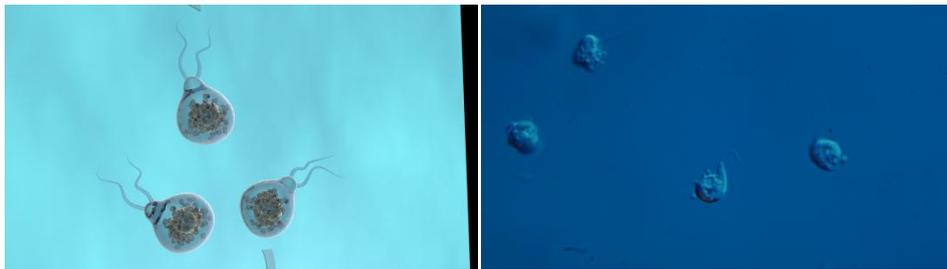
Abbildungen 41-42: Lebenszyklus Animation (links) und Keimung eines Myxoflagellaten (rechts)

Manche Sporen benötigen aber eine Ruhephase, bevor sie zu keimen beginnen. Die Keimfähigkeit kann dabei manchmal sogar über mehrere Jahre erhalten bleiben: ein erstaunlicher Beweis für die Kraft des Lebens. Bei der Keimung spielen Wasserangebot und Temperatur eine entscheidende Rolle. Die Hülle der Myxomycetenspore reißt unregelmäßig auf und entlässt 1 bis 4 Schwärmerzellen. Bei optimalem Feuchtigkeitsangebot beginnen diese Keimzellen als begeißelte Myxoflagellaten die Entwicklung einer neuen Generation. Bei trockeneren Bedingungen resorbieren manche Arten die beiden Geißeln und setzen die Entwicklung als sogenannte Myxamöben fort.

Abbildungen 43-44: Sporen & Capillitiumfäden von *Trichia favoginea* (links) und geschlüpfter Myxoflagellat (rechts)

c) Koloniebildung

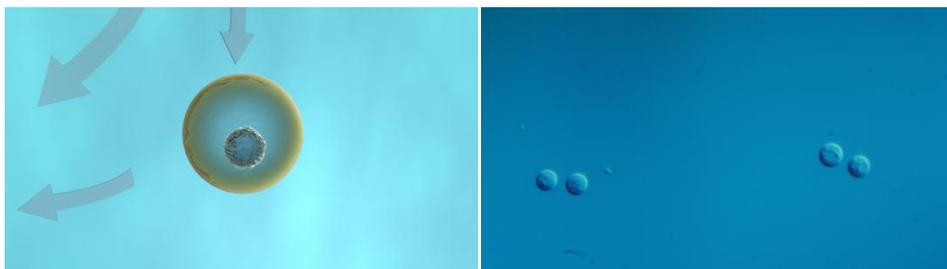
Bei ausreichendem Nahrungsangebot kommt es zu starker Vermehrung der Schwärmerzellen. Durch Plasma und Kernteilung entstehen dabei große Zellkolonien. Diese bleiben bei günstigen Bedingungen nahezu unbegrenzt lebensfähig.



Abbildungen 45-46: Lebenszyklus Animation Koloniebildung (links) und Myxoflagellaten (rechts)

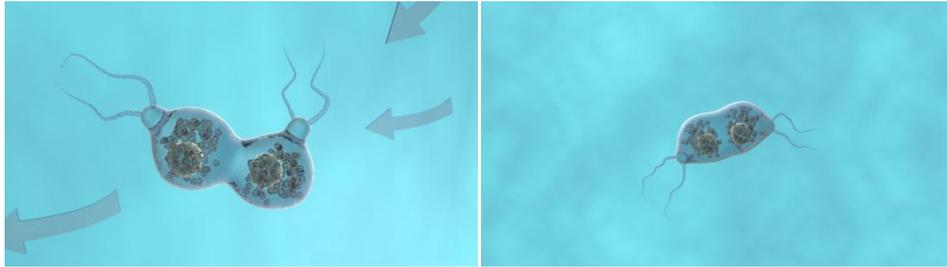
d) Mikrozysten

Treten jedoch ungünstige Umweltbedingungen ein, haben die Myxomyceten eine einfache, aber effektive Lösung entwickelt. Bei Trockenheit oder Nahrungsmangel bildet jede einzelne Zelle eine Schutzhülle aus Zucker, Fetten und Proteinen und verkapselt sich zu einer sogenannten Mikrozyste. Stellen sich wieder günstige Bedingungen ein, schlüpfen Myxamöben bzw Myxoflagellaten aus der selbst geschaffenen Hülle und setzen ihre Entwicklung fort.



Abbildungen 47-48: Lebenszyklus Animation Mikrozyste (links) und Mikrozysten von *Stemonitis* sp. (rechts)

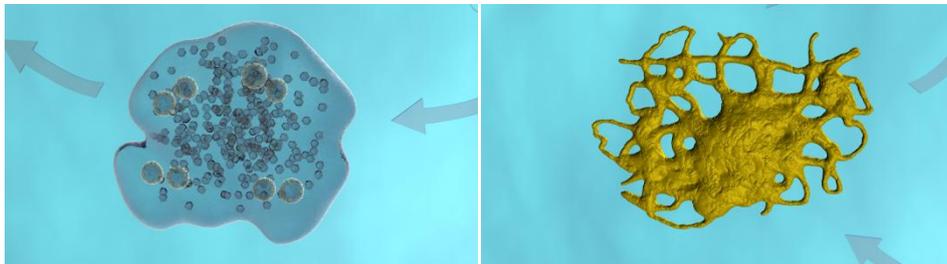
e) Zygotenbildung



Abbildungen 49-50: Lebenszyklus Animation Zygotenbildung (links) und Animation der Verschmelzung (rechts)

Für geschlechtliche Vermehrung kommt es in der Kolonie zur paarweisen Verschmelzung von nebeneinanderliegenden Schwärmerzellen. Es entsteht eine befruchtete Keimzelle, die Zygote. Voraussetzung für die Fusion zweier Keimzellen ist, dass sie der gleichen Art angehören. Durch die Vereinigung des genetischen Materials verdoppelt sich der Chromosomensatz im Zellkern.

f) Plasmodium



Abbildungen 51-52: Lebenszyklus Animation junges Plasmodium (links) und reifes Plasmodium (rechts)

Unter ständiger Nahrungsaufnahme wächst die Zygote zu einem im Organismenreich einzigartigen Gebilde. Durch synchrone Kernteilung ohne Trennung des Plasmas entsteht eine einzige riesige Zelle mit vielen bis unzähligen Zellkernen. Diese Zelle wird von Wissenschaftlern als Plasmodium bezeichnet. Dieses Stadium unterscheidet Schleimpilze von den meisten anderen Lebewesen auf unserem Planeten. Auf den ersten Blick erscheint das Plasmodium als eine starre Struktur. Diese weist stets eine charakteristische Plasmaströmung in ihrem Inneren auf, die eine Fortbewegung bewirkt.

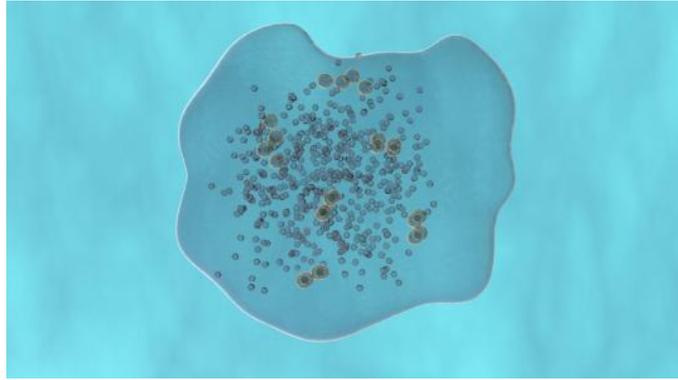


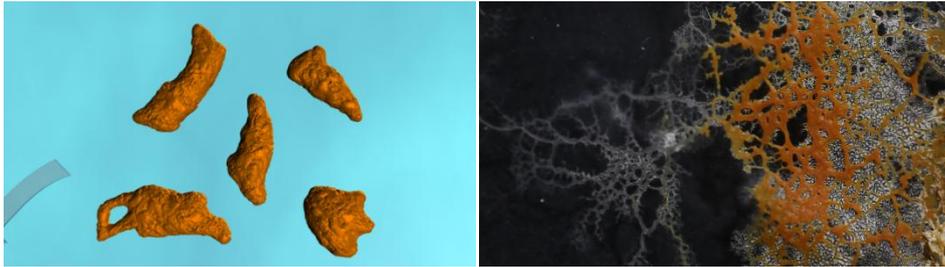
Abbildung 53: Animation der Zellkernteilung in einem Plasmodium

Dabei fließt das Plasma in rhythmischen Abständen vor und zurück. Dies dient unter anderem der gleichmäßigen Verteilung der aufgenommenen Nährstoffe. In Zeitrafferaufnahmen erscheint das Plasmodium als pulsierendes Gebilde, das sich ausdehnt und zusammenzieht. Auf der Suche nach feuchter Umgebung und Nahrung wandert es über den Untergrund. Dabei ernährt es sich von Bakterien, Algen und verschiedenstem organischem Material. Sogar größere Pilze können "umschleimt" und verdaut werden. Schleimpilze passen ihre Fortbewegungsrichtung äußeren Einflüssen an. Sie reagieren auf äußere Reize. Um dies zu veranschaulichen, reicht ein einfacher Versuch. Dem Plasmodium in der Petrischale werden Haferflocken in einiger Entfernung angeboten. Nach einer kurzen Orientierungsphase bewegt sich der Schleimpilz auf direktem Wege hin zur Nahrungsquelle. Die Bewegungsreaktion des Schleimpilzes kann jedoch auch umgekehrt erfolgen. Werden die Haferflocken mit Schreckstoffen, wie zum Beispiel Essig beträufelt, zeigt der Schleimpilz eine umgekehrte Reaktion und zieht sich zurück.



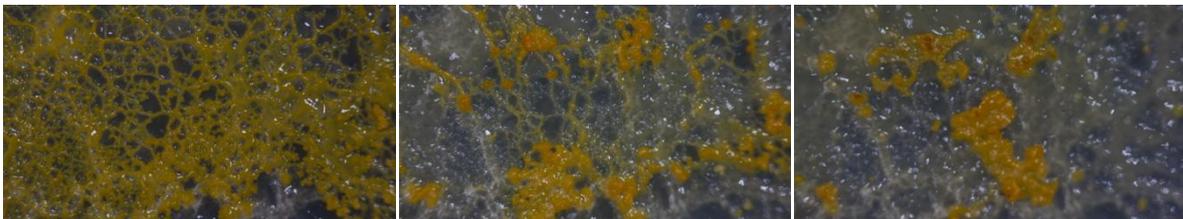
Abbildungen 54-55: Plasmodium auf Waldboden (links) Nahrungsaufnahme (rechts)

g) Sklerotium



Abbildungen 56-57: Lebenszyklus Animation Sklerotium (links) und Sklerotium von *Physarum polycephalum* (rechts)

Trockenheit, extreme Temperaturen, fehlende Nahrung und Belastungen durch Schwermetalle stellen für die Plasmodien der Schleimpilze ungünstige Lebensbedingungen dar. Treten sie ein, bilden die Plasmodien ein Überdauerungsstadium aus, ähnlich wie bei der Mikrozystenbildung der Schwärmerzellen. Dabei zieht sich das schleimige Plasmodium zusammen und verhärtet sich zu einer hornartigen Struktur, dem sogenannten Sklerotium. In diesem Stadium der Entwicklung können Schleimpilze monatelang unbeschadet überdauern. Treten wieder bessere Lebensbedingungen ein, entsteht aus dem vertrockneten Sklerotium erneut ein schleimiges Plasmodium.



Abbildungen 58-60: Zeitrafferaufnahme der Bildung eines Sklerotiums bei *Physarum polycephalum*

h) Fruktifikationsbildung:

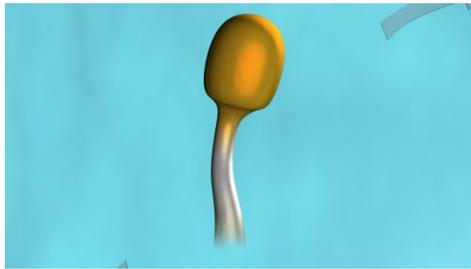


Abbildung 61: Lebenszyklus Animation unreife Fruktifikation

Am Ende eines jeden Schleimpilzlebens steht nicht der Tod, sondern es findet noch einmal eine erstaunliche Verwandlung statt. Ist die ideale Position erreicht, entwickeln sich aus dem schleimigen Plasmodium auffällige Fortpflanzungsstrukturen. Dabei bilden sich abhängig von der Größe des Plasmodiums, einige bis viele tausende dieser sogenannten

Fruktifikationen. Fest am Untergrund haftend, in Farbe, Form und innerer Struktur von ungeahnter Vielfalt. Nichts erinnert mehr an das namensgebende schleimige Stadium.



Abbildungen 62-67: Fruktifikationsbildung und Sporenreife bei Stemonitales

i) Diversität

Erste Einblicke in die enorme Vielfalt an Strukturen, Formen und Farben können meist nur anhand der unterschiedlichen Ausbildungen dieser Fortpflanzungsorgane gewonnen werden. Grundsätzlich unterscheiden Wissenschaftler 3 verschiedene Fruktifikationstypen.



Abbildungen 68-69: Fruktifikationen von: *Diachea leucopodia* (links), *Physarum psittacinum* (rechts),



Abbildungen 70-71: Fruktifikationen von *Hemitrichia serpula* (links) und *Diderma alpinum* (rechts)

Interview mit W. Nowotny: Fruktifikationstypen.

Erst in dieser eindrucksvollen Lebensphase können Wissenschaftler diese Organismen einer bestimmten Art zuordnen. Aktuell werden zu der Gruppe der Myxomyceten etwa 1000 verschiedene Arten gerechnet, die insgesamt auf 5 Ordnungen aufgeteilt werden. Als Unterscheidungsmerkmale dienen dabei die verschiedenen Teile der Sporenbehälter. Bei den meisten Arten bilden sich die Sporen in einer Hülle, der sogenannten Peridie. Charakteristische Färbungen, Strukturen oder Kalkeinlagerungen erlauben dabei Rückschlüsse auf Verwandtschaftsbeziehungen.

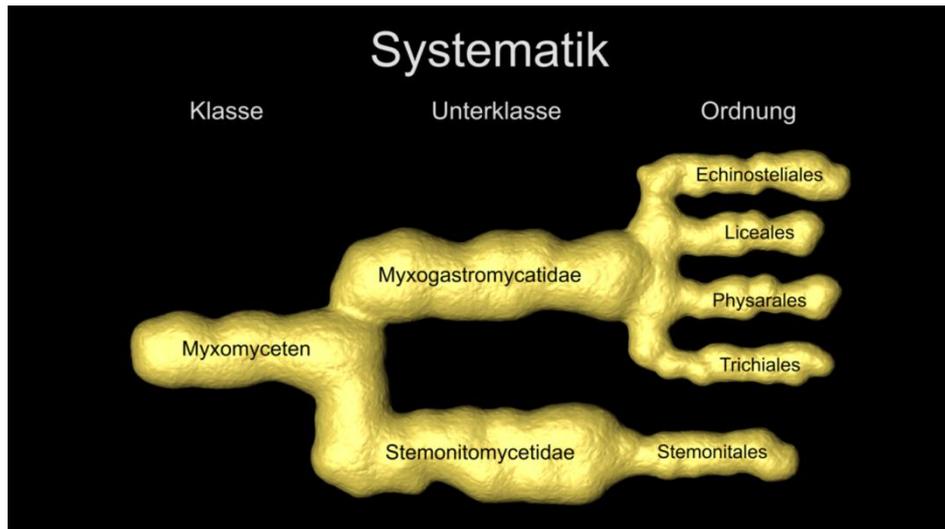
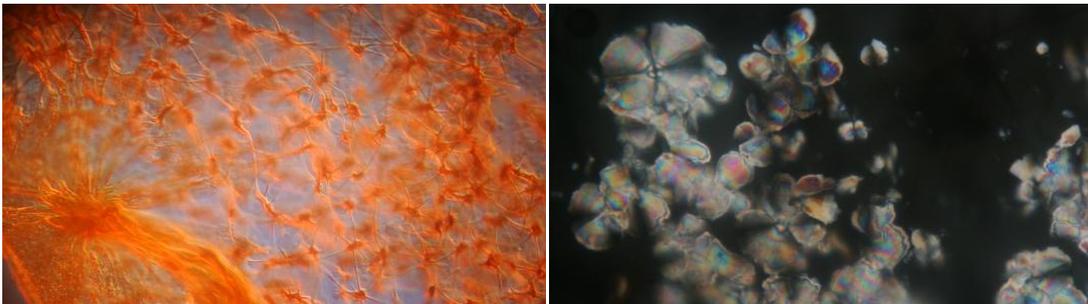


Abbildung 72: Systematik der Myxomyceten (Animation)

Die flächige Basis, mit der die Fruktifikationen mit dem Substrat verbunden sind, kann ebenfalls unterschiedlich ausgeprägt sein. Das sogenannte *Capillitium*, eine netzartige Struktur, in der die Sporenmasse liegt, stellt ebenso wie die Sporen selbst ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal dar. Die meisten Lebewesen unseres Planeten erreichen in den tropischen Gebieten der Erde ihre höchste Artenzahl. Schleimpilze bilden eine Ausnahme von dieser Regel. In den laubwerfenden Wäldern der gemäßigten Breiten weisen sie eine weit höhere Vielfalt auf als in den Tropen.

Abbildungen 73-74 Peridie von *Cribaria intricata* (links) und Kalkeinlagerungen bei *Lepidoderma* sp. (rechts)

5.1.4 Schlussteil

a) Ökologische Bedeutung



Abbildungen 75-76: Schleimpilze auf Totholz

Die ökologische Bedeutung von Schleimpilzen ist noch weitestgehend unerforscht. Als Zersetzer leisten sie einen kleinen Beitrag im Kohlenstoffkreislauf von Ökosystemen. Durch die Aufnahme symbiontischer Bakterien und ihre eigene Enzymausstattung sind sie in der Lage komplexe pflanzliche Verbindungen wie zum Beispiel Zellulose abzubauen. Im Gegensatz zu echten Pilzen spielen Schleimpilze jedoch eine eher untergeordnete Rolle beim Abbau.

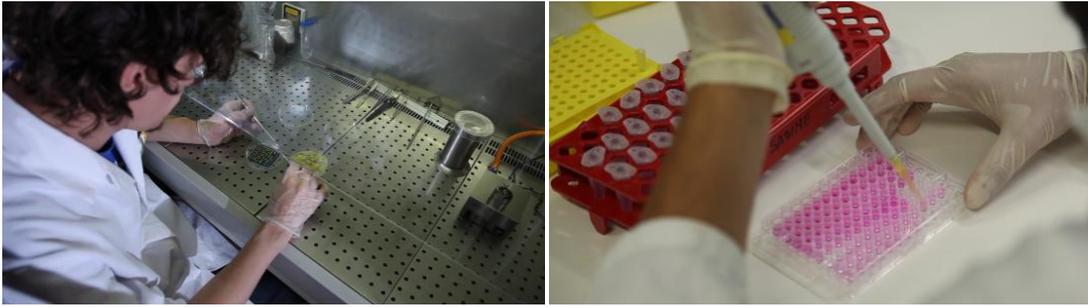
Interview mit Wolfgang Nowotny: ökologische Bedeutung



Abbildung 77: Experteninterview mit Professor Wolfgang Nowotny

Schleimpilze können Schwermetalle aus ihrer Umgebung aufnehmen und sie im Inneren ihrer Zelle anreichern. Dabei leisten sie einen Beitrag zur Beseitigung von Bodenverschmutzungen.

b) Schleimpilze in der Wissenschaft



Abbildungen 78-79: Laboraufnahmen von der Arbeit mit Myxomyceten

Myxomyceten dienen der Wissenschaft als Modellorganismen zur Erforschung fundamentaler biologischer Vorgänge. Prozesse wie Zellfusion, Kernteilung und Plasmaströmung erlangen dabei besondere Bedeutung. Der Nachweis verschiedener Enzyme und antibiotischer Substanzen erweckte auch das Interesse der chemischen Industrie. Die synchrone Kernteilung der Plasmodien liefert wichtige Erkenntnisse in der aktuellen Krebsforschung. Aufgrund der Sensibilität von Plasmodien für Schwerkraft wurden sie zur Erforschung der Gravitation sogar schon in den Weltraum geschickt.



Abbildung 80: Zeitrafferaufnahme des Sternenhimmels zur Veranschaulichung von Versuchen im Weltall

Neben der Verwendung von Schleimpilzplasmodien in der Roboterentwicklung führten Forscher bereits zahlreiche interessante Untersuchungen zum Nachweis primitiver Intelligenz durch. Labyrinthversuche zeigen, dass Plasmodien stets die kürzeste Verbindung zwischen zwei angebotenen Nahrungsquellen ausbilden und somit auf äußere Reize reagieren können.



Abbildung 81: Labyrinthversuch mit *Physarum polycephalum*

c) Ausblick

Forschung und Entwicklung werden auch in Zukunft noch interessante Einblicke in die Welt der Schleimpilze ermöglichen und uns in Staunen versetzen.

Die Merkmale und Eigenschaften dieser widerstandsfähigen Organismen könnten für die moderne Medizin und somit für uns Menschen noch von großer Bedeutung sein.



Abbildungen 82-83: Wolfgang Nowotny bei der wissenschaftlichen Arbeit mit Myxomyceten

6 Diskussion

6.1 Der Lehrfilm

Der im Rahmen dieser Diplomarbeit produzierte Lehrfilm soll Oberstufenschüler und Naturbegeisterte ohne große biologische Vorkenntnisse erreichen und das naturwissenschaftliche Interesse sowie die Begeisterung für die wissenschaftliche Dokumentation wecken. Gleichzeitig ist es Ziel eines Lehrfilms, möglichst viel Wissen zu transportieren und dieses dem Zuschauer auf leicht verständliche Weise zugänglich zu machen. Um dieser Herausforderung gerecht zu werden, musste eine einfache Ausdrucksweise gewählt und auf eine Überhäufung mit komplizierten Fachvokabeln verzichtet werden. Zu dicht gepackte Informationen müssen dabei sowohl sprachlich als auch bildlich aufgelockert werden. Fachlich schwierige Inhalte werden ausführlich erklärt und während der Laufzeit der Dokumentation mehrmals wiederholt. Animationen ermöglichen die einfache Veranschaulichung schwer dokumentierbarer Themeninhalte.

Der Film gewährt Einblicke in die Systematik, die Ökologie und die Physiologie einer bestimmten Organismengruppe und zeigt Beispiele aus der angewandten Forschung. Dabei ist es nicht nur wichtig, wissenschaftliche Inhalte zu liefern, sondern auch, den Zuschauer in die einzelnen Teilbereiche der Biologie einzuführen beziehungsweise auf sie aufmerksam zu machen. Jedes einzelne Kapitel des präsentierten Inhaltes beinhaltet genug Informationen, um daraus eine eigene Dokumentation entstehen lassen zu können. Da in diesem Lehrfilm jedoch verschiedenste Aspekte behandelt werden sollen, kann auf die einzelnen Themen nur verkürzt eingegangen werden. Die Information musste dadurch umso mehr auf den Punkt gebracht werden.

Der Film wurde entsprechend einer sinnvollen Beschreibung der Myxomyceten gegliedert. Im Wesentlichen besteht er aus drei Teilen: Einleitung, Hauptteil und Schluss (siehe auch 2.2.1). Der Einleitung wird vorne ein kurzer Vorspann angehängt, der als Trailer in das Thema einführt und neugierig auf weitere Information machen soll. Der Trailer enthält deshalb eine Auswahl an besonders

eindrucksvollen Sequenzen, die Lust auf mehr machen sollen. Am Ende des Vorspanns wird der Filmtitel eingeblendet.

Um einen raschen Überblick über die Organismengruppe geben zu können, werden in der Einleitung zuerst die allgemeinen Merkmale der Schleimpilze beschrieben. Dabei soll dem Zuschauer nahe gebracht werden, worum es sich bei diesen Lebewesen handelt, wo sie systematisch in den Stammbaum des Lebens einzugliedern sind und welche Lebensräume sie bevorzugen.

Der Lebenszyklus der Myxomyceten stellt im Reich der Organismen eine einzigartige Besonderheit dar. Der inhaltliche Schwerpunkt des Films liegt deshalb in den einzelnen Lebensphasen der Schleimpilze. Zur Veranschaulichung wurde eine Animation angefertigt, in der der Lebenszyklus detailliert dargestellt wird. Diese wird im weiteren Verlauf des Hauptteils wiederholt eingeblendet, um den Zuschauer strukturiert durch die verschiedenen Lebensphasen zu leiten. Die Biodiversität unter den Myxomyceten wird anhand des fruktifikationsbildenden Lebensstadiums behandelt, da alle Erkenntnisse aus der Erforschung der Diversität auf diesen auffälligen Reproduktionsorganen beruhen.

Abschließend behandelt der Lehrfilm die ökologische Bedeutung von Schleimpilzen und ihre Rolle in der Wissenschaft. Das zeigt dem Zuschauer die Aktualität des Themas und stellt einen Bezug zur Forschung und somit zum Nutzen für den Menschen her.

6.2 Einzelheiten zur Dokumentation

6.2.1 Außenaufnahmen

Gute Lichtverhältnisse spielen bei Außenaufnahmen eine entscheidende Rolle. Die Dokumentation in freier Natur erfolgte dabei ausschließlich mittels der Videofunktion der digitalen Spiegelreflexkameras (siehe Abb 4), die eine automatische Begrenzung der Belichtungszeit aufweist. Dabei ergab sich an bewölkten, regnerischen Tagen, an denen Schleimpilze üblicherweise bevorzugt anzutreffen sind, das Problem der Unterbelichtung. Ihr Vorkommen an beschatteten Standorten im Unterwuchs von Waldböden erschwerte die Situation zusätzlich. Die Vergrößerung der

Blendenöffnung bewirkte zwar in vielen Fällen eine verbesserte Belichtung der Aufnahmen, führte aber oft zum Verlust an Tiefenschärfe, was sich besonders bei Makroaufnahmen als ungeeignet erwies. Auch die Erhöhung der Lichtsensibilität auf über 400 ISO ist nicht empfehlenswert, da es dabei meist zu einer deutlichen Verringerung der Videoqualität kommt. Die Verwendung eines Reflektors erwies sich in vielen Fällen als vorteilhaft und verbesserte die Qualität der ansonsten unterbelichteten Bilder.

An sonnigen Tagen traten im Gegensatz dazu häufig gegenteilige Probleme auf. Die schönsten Aufnahmen gelangen dann in den frühen Morgenstunden und zur Dämmerungszeit. Das grelle Licht der Mittagssonne muss an sonnigen Standorten vermieden werden, erzeugt jedoch in schattigen Wäldern geeignete Bedingungen.

6.2.2 Zeitrafferaufnahmen

Mittels Zeitrafferaufnahmen können auch bei schlechten Lichtverhältnissen gute Ergebnisse erzielt werden. Im Fotomodus können sowohl die Belichtungszeit als auch die Blendenöffnung besser manuell reguliert werden, sodass sogar bei fast völliger Dunkelheit gut belichtete Aufnahmen mit hoher Tiefenschärfe entstehen. Die Einstellung eines geeigneten Zeitintervalls spielt ebenfalls eine große Rolle. Bei sich schnell veränderten Verhältnissen sollte der zeitliche Abstand zwischen den Fotos kurz gewählt werden, um eine fließende Bewegung der Bilder zu ermöglichen.

Gewisse Prozesse sind mit herkömmlichen Videomethoden nicht dokumentierbar, da sie sich über einen längeren Zeitraum von mehreren Tagen oder Wochen abspielen. Bewegungen von Objekten, die mit bloßem Auge oft starr erscheinen und nicht wahrgenommen werden, können mittels Zeitrafferaufnahmen sehr gut veranschaulicht werden.

Bei einigen Zeitrafferaufnahmen führte die hohe Luftfeuchtigkeit zum Anlaufen der Optik. Es empfiehlt sich daher, die Zeitraffereinstellungen und die erhaltenen Bilder regelmäßig zu kontrollieren, um negative Überraschungen nach der Beendigung der Dokumentation zu vermeiden. Außerdem müssen dabei stets eine ausreichende Akkuversorgung der Kameras und genügend Restkapazität des Speichermediums gewährleistet werden.

Die Qualität der einzelnen Fotos der Zeitraffersequenzen kann durch digitale Nachbearbeitung verbessert werden. Die großen Datenmengen und die damit verbundenen langen Wartezeiten bei der Verarbeitung mittels Computer stellen jedoch einen großen Nachteil dar. Außerdem sind Zeitrafferaufnahmen sehr zeitaufwändig und müssen oft mehrmals wiederholt werden, bis ein befriedigendes Ergebnis erzielt wird. Bei starkem Wind müssen die Stative fest im Boden fixiert werden, damit sich der eingestellte Bildausschnitt im Laufe der Dokumentation nicht verändert.

6.2.3 Schienenfahrten

Die Verwendung des selbstkonstruierten Schienenstativs mit verstellbarem Objektivkopf ermöglichte die Aufnahme bewegter Videosequenzen. Selbst starre Motive und Standorte konnten so filmisch dargestellt werden. Wie zahlreiche professionelle Produktionen zeigen, stellt die Bewegung in den Bildern ein wichtiges Element eines Dokumentarfilms dar. Die Kamerafahrten auf der Schiene lieferten auf unebenem Untergrund manchmal verwackelte Aufnahmen. Durch bessere Fixierung und Ausrichtung der Schiene zum Beispiel mittels Steinen und mehrmaliges Wiederholen der Fahrten konnten dann aber größtenteils befriedigende Ergebnisse erzielt werden.

Die leichte Konstruktion des Schienenstativs erleichterte den Transport über weitere Strecken oder zu schwer zugänglichen Standorten. Bei Aufnahmen im Makrobereich oder bei eingezoomten Bildeinstellungen bei Normaloptiken verringert das leichte Gewicht der Schienenteile im Vergleich zu jenem der darauf angebrachten Kameras und Objektive jedoch die Stabilität der Fahrten. Um ruhige, nicht verwackelte Detailaufnahmen zu erhalten, ist es deshalb oft vorteilhafter, die Kamera fest zu positionieren und stattdessen das Objekt vor der Linse in Bewegung zu versetzen, Licht- und Schattenspiele zu erzeugen oder eine Windbewegung zu simulieren.

6.2.4 Kameraschwenks

Auch Kameraschwenks liefern bewegte Bilder und gelten als beliebtes Stilmittel in der Naturdokumentation. Die verwendeten Stative mit Schwenkkopf eignen sich

besonders gut für vertikale Bewegungen. Die Schwerkraft bewirkt eine automatische und regelmäßige Senkung des Schwenkkopfes und ermöglicht die Aufnahme ruhiger Sequenzen. Horizontale Schwenks erwiesen sich hingegen als weitaus schwieriger. Durch mehrmaliges Wiederholen konnten aber auch hier kürzere Sequenzen ohne Verwacklungen aufgenommen werden.

6.2.5 Mikroskopische Aufnahmen

Mithilfe lichtmikroskopischer Aufnahmen konnten zelluläre Prozesse und Strukturen gut dargestellt werden. Der Differenzielle Interferenzkontrast erzielte bei der Dokumentation der plasmodialen Plasmaströmungen die besten Ergebnisse. Da die Plasmaströmung nur bei lebenden Zellen beobachtet werden kann, musste darauf geachtet werden, das Plasmodium nicht zwischen Objektträger und Deckglas zu zerdrücken. Deshalb wurden auf dem Objektträger sockelartige Erhöhungen aus Vaseline geschaffen, auf die das Deckglas vorsichtig positioniert werden konnte. Die beim Keimversuch geschlüpften Myxoflagellaten und Mikrozysten wurden mit der 40 fach Optik des Reichert Univar Lichtmikroskops gefilmt. Diese Optik lieferte eine ausgezeichnete Auflösung und eine optimale Vergrößerung der Objekte. Da sich Myxoflagellaten recht schnell aus dem Schärfbereich bewegen, war es oft nicht leicht, längere Sequenzen von den Schwärmerzellen in einer scharfen Ebene zu erzeugen. Die in der Sporenhülle der Fruktifikationen von *Lepidoderma sp.* eingelagerten Kalkkristalle, die charakteristisch für die Ordnung Physarales sind, konnten mittels Polarisierungstechnik sehr schön dargestellt werden. Die lichtbrechenden Strukturen der Kalkkristalle lieferten dabei eindrucksvolle Bilder.

Die meisten makroskopischen Aufnahmen wurden mit dem Photomakroskop von Wild (Abb.) durchgeführt. Der relativ geringe Tiefenschärfbereich des Geräts stellte in manchen Fällen ein Problem dar. Die dargestellten Objekte mussten deshalb stark beleuchtet werden, damit die interne Blendenöffnung des Photomakroskops klein gewählt und so ein größerer Schärfbereich erzielt werden konnte. Das Durchschärfen der Präparate mittels Feintrieb des Photomakroskops führte häufig zu Verwacklungen der Aufnahmen. Deshalb wurde eine Vorrichtung verwendet, mit deren Hilfe das Objekt stufenlos horizontal verschoben werden konnte. Die Anwendung der Makroschiene in Kombination mit dem Photomakroskop

ermöglichte eindrucksvolle und erstaunlich ruhige Kamerafahrten im Makrobereich. Die Geschwindigkeit und die Dauer der Aufnahmen konnten dabei selbst eingestellt werden. Bei sehr hoher Vergrößerung konnte das Tempo somit langsamer gewählt werden als bei Aufnahmen in der Totalen.

Die verwendeten rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen erlaubten die klare Darstellung kleinster Strukturen bei hoher Vergrößerung. Die Oberflächenstrukturen von Sporen, welche im Lichtmikroskop kaum zu erkennen sind, lieferten dabei qualitativ hochwertige Aufnahmen. Um die filmische Darstellung zu verbessern, wurde im Schnitt nachträglich durch simulierte Kamerafahrten Bewegung in die Bilder gebracht.

6.2.6 Ton

Das in der Kamera integrierte Mikrofon lieferte keine befriedigenden Ergebnisse für eine professionelle Produktion. Um rauschfreie Audiodateien zu erhalten, wurde für Originaltonaufnahmen deshalb das Rode Richtmikrofon verwendet. Störende Nebengeräusche wie jene von Autos oder Flugzeugen sollten dabei stets vermieden werden. Deshalb ist es manchmal notwendig, abgelegene, menschenfreie Standorte aufzusuchen. Außerdem musste oftmals auf geeignete Bedingungen gewartet werden, um für bestimmte Aufnahmen unerwünschte Hintergrundgeräusche durch Wind und Wetter ausschließen zu können.

Die Filmmusik wurde von Martin Kogler eigens komponiert und für die vorliegende Dokumentation zur Verfügung gestellt. Der Schnitt des Filmmaterials basierte dabei auf dem von der Musik vorgegebenen Rhythmus.

6.2.7 Labyrinthversuch

Der Labyrinthversuch von Nakagaki (2001) wurde, wie in Kapitel 3.1.6 beschrieben, nachgestellt. Die Plasmodienstücke sollten demnach zu einem gemeinsamen Organismus verschmelzen und sich dann über die angebotenen Nahrungsquellen hermachen. Sobald die Haferflocken vollständig umschleimt wurden, sollte der Schleimpilz die kürzeste Verbindung der beiden Futterquellen im Labyrinth ausbilden und sich aus den übrigen Gängen zurückziehen. Die Plastikfolie der Labyrinthwände

sollte dabei eine Barriere darstellen und die Wanderung des Schleimpilzes auf die Labyrinthgänge beschränken. Bei der nachgestellten Versuchsanordnung traten hier wiederholt Probleme auf. Die Plasmodien konnten die Labyrinthwände ungehindert überqueren und somit sogar aus dem Labyrinth ausbrechen. Um die Bewegung des Schleimpilzes zu regulieren, wurde die Plastikfolie wiederholt mit Essig beträufelt oder durch Folierung verdickt. Das Plasmodium bildete jedoch trotzdem ungewollte Brücken zwischen den Gängen aus, die eine Veranschaulichung der kürzesten Verbindung erschwerten. Die Zeitrafferaufnahmen von *Physarum polycephalum* lieferten deshalb leider keine zufriedenstellenden Bilder. Der Labyrinthversuch sollte im ursprünglichen Konzept des Lehrfilms ausführlicher behandelt werden. Die Plasmodien reduzierten ihre Zelle dabei zwar stets zur kürzesten Verbindung zwischen den Haferflocken, bildeten jedoch ungewollte Brücken aus und folgten nicht dem durch das Labyrinth vorgegebenen Weg.

Während der Dreharbeiten wurde wiederholt versucht, die Versuchsanordnung zu optimieren und geeignete Bedingungen für die Plasmodien zu schaffen. Da Schleimpilzplasmodien sensibel auf Licht reagieren, musste beim Ausleuchten des Labyrinths die Intensität des Lichtes möglichst gering gehalten werden. Längere Belichtungszeiten der Aufnahmen konnten die schlechten Lichtverhältnisse ausgleichen. Die Dokumentation erfolgte im Keller des Autors bei hoher Luftfeuchtigkeit und wenig Licht. Die Umgebung des Schleimpilzes wurde regelmäßig mit Wasser besprüht und feucht gehalten. Die Plasmodien entwickelten sich unter diesen Bedingungen stets gut, stellten ihr Wachstum nie ein, solange sie ausreichend mit Nahrung versorgt wurden und bildeten kein Sklerotium aus, was auf eine Stressreaktion zurückzuführen gewesen wäre. Für die Optimierung des verwendeten Materials blieb jedoch leider keine Zeit mehr. Aufgrund des fehlerhaften Endergebnisses konnte dieses Thema im Film deshalb nur kurz und oberflächlich behandelt werden.

7 Ausblick

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit dem Thema Schleimpilze. Dabei wurde versucht ein komplexes umfangreiches Thema in einen leicht verständlichen 25 minütigen Lehrfilm zu verpacken. Die Schwierigkeit bestand darin, die umfangreiche Information zu diesem Thema zu komprimieren und die wesentlichen Inhalte herauszuarbeiten. Dadurch und durch die zeitliche Begrenzung des Films konnten nicht alle Bereiche des Themas detailliert behandelt werden. Jedes einzelne im Film behandelte Kapitel beinhaltet genügend Information, um daraus eine eigenständige Dokumentation entstehen lassen zu können. So wäre es zum Beispiel interessant, näher auf die Rolle der Schleimpilze in der Wissenschaft einzugehen. Zu diesem Thema gibt es zahlreiche wissenschaftliche Versuchsansätze, die den Zuschauer in Staunen versetzen könnten. Die Veranschaulichung des Labyrinthversuchs als Nachweis primitiver Intelligenz dient hier als Beispiel.

Eine große Herausforderung waren die vielen Zeitrafferaufnahmen, die in diesem Projekt realisiert wurden. Bewegungen, die zu langsam für die menschliche Wahrnehmung sind, sind oft nicht leicht zu verwirklichen und benötigen einen großen Zeitaufwand. Mit der Hilfe der vorliegenden Arbeit sollen nachfolgende Filme effizienter durchgeführt werden, indem Methoden wie Zeitrafferaufnahmen besser abgeschätzt werden können.

Es gibt noch zahlreiche Organismengruppen, die für einen Lehrfilm in Frage kämen. Für viele dieser Gruppen fehlen noch weitestgehend Lehrfilme beziehungsweise sind diese längst überholt. Deshalb wäre eine ganze Lehrfilmreihe über die unterschiedlichen Organismengruppen sinnvoll.

8 Literaturverzeichnis

- Adamatzky A., 2009: *Physarum* boats: If plasmodium sailed it would never leave a port. *Applied Bionics and Biomechanics* **7/1**, p 31- 39.
- Adamatzky A., Jones J., 2008: Towards *Physarum* robots: computing and manipulating on water surface. *Journal of Bionic Engineering* **5**, p 348-357.
- Adl S. M., Simpson A. G. B., Lane C. E., Lukes J., Bass D., Bowser S. S., Brown M. W., Burki F., Dunthorn M., Hampl V., Heiss A., Hoppenrath M., Lara E., Le Galle L., Lynn D. H., McManus H., Mitchell E. A. D., Mozley- Stanridge S. E., Parfrey L. W., Pawlowsky J., Rueckert S., Shadwick L., Schoch C. L., Smirnov A., Spiegel F. W., 2012: The revised classification of eukaryotes. *Journal of Eukaryotic Microbiology* **59/5**, p 429- 514.
- Baath E., Söderström B., 1980: Degradation of macromolecules by microfungi isolated from different podzolic soil horizons. *Canadian Journal of Botany* **58**, p 422- 425.
- Bauldauf S. L., Doolittle W. F., 1997: Origin and evolution of the slime molds (mycetozoa). *Proceedings of the National Academy of Science* **94**, p 12007-12012.
- Blackwell M., Laman T. G., Gilbertson R. L., 1982: Spore dispersal of *Fuligo septica* (myxomycetes) by lathridiid beetles. *Mycotaxon* **14**, p 58- 60.
- Block I., Briegleb W., Sobick V., Wohlfarth- Bettermann K. E., 1986: Contraction behaviour and protoplasmic streaming in the slime mold *Physarum polycephalum* (*Physarum* Kinetics). In: *Proceedings of the Norderney Symposium on Scientific Results of the German Spacelab Mission D1*. Institut für Zytologie, Universität Bonn, p 408- 418.
- Block I., Wolke A., Briegleb W., 1994: Gravitational response of the slime mold *Physarum*. *Advances in Space Research* **14/8**, p 21- 34.
- Bonner J. T., 2009: *The Social Amoebae: The biology of cellular slime molds*. Princeton University Press, Princeton, 160 pp.

- Chassain M., 1980: Essai sur la place ecologique des myxomycètes. *Documents mycologiques XI* **42**, p 47- 58.
- Clark J., 2000: The species problem in the myxomycetes. *Kataloge des OÖ Landesmuseums Stapfia* **73**, p 39- 53.
- Collins O. R., 1979: Myxomycete Biosystematics: some recent developments and future research opportunities. *The Botanical Review* **45**, p 145- 201.
- Cummins J. E., Rusch H. P., 1968: Natural synchrony in a slime mold. *Endeavour* **27**, p 124- 129.
- Dembitzky V. M., Rezanka T., Spizek J., Hanus L., 2005: Secondary metabolites of slime molds (myxomycetes). *Phytochemistry* **66**, p 747- 769.
- Erbisch F. H., 1964: Myxomycete spore longevity. *The Michigan Botanist* **3**, p 120- 121.
- Farr M. L., 1976: Flora Neotropica Monograph No. 16. Myxomycetes. The New York Botanical Garden, New York, 304 pp.
- Fiore-Donno A. M., Berney C., Pawlowski J., Baldauf S. L., 2005: Higher- order phylogeny of plasmodial slime molds (myxogastria) based on elongation factor 1-A and small subunit rRNA gene sequences. *Journal of Eukaryotic Microbiology* **52**, p 201- 210.
- Gray W. D., Alexopoulos C. J., 1968: Biology of the myxomycetes. The Ronald Press Company, New York, 288 pp.
- Hibino S., Choshi T., 2002: Simple indole alkaloids and those with a nonrearranged monoterpenoid unit. *Natural Products Reports* **19**, p 148- 180.
- Howard F. L., 1931: The life history of *Physarum polycephalum*. *American Journal of Botany* **18/2**, p 116- 132.
- Ing B., 1993: Transley Review No. 62 The phytosociology of myxomycetes. *New Phytologist* **126**, p 175- 201.
- Kaiser D., 1993: Roland Thaxter's legacy and the origins of multicellular development. *Genetics* **135**, p 249- 254.

- Keller H. W., 1970: *Didymium satumus*, a new myxomycete occurring on straw stacks. *Mycologia* **62**, p 1061- 1066.
- Keller H. W., Braun K. L., 1999: Myxomycetes of Ohio: Their systematics, biology, and use in teaching. *Ohio Biological Survey Bulletin New Series* **13/2**, p 1- 182.
- Keller H. W., Everhart S. E., 2010: Importance of myxomycetes in biological research and teaching. *Fungi* **3/1**, p 13- 27.
- Keller H. W., Schoknecht J. D., 1989: Life cycle of a new annulate- spored species of *Didymium*. *Mycologia* **81**, p 248- 265.
- Keller H. W., Smith D. M., 1978: Dissemination of myxomycetes spores through the feeding activities of an acarid mite. *Mycologia* **70**, p 1239- 1246.
- Keller H. W., 2004: Tree canopy biodiversity and student research experiences in Great Smoky Mountains National Park. *Systematics and Geography of Plants* **74**, p 47- 65.
- Klaßen R., 2012: Adobe Premiere Pro CS6- Schritt für Schritt zum perfekten Film. Galileo Press, Bonn, 307 pp.
- Kobilansky C., Schinner F., 1988: Cellulolytic, xylanolytic and pectinolytic activities of Myxomycetes. *Journal of General and Applied Microbiology* **34**, p 321-332.
- Koevenig J. L., 1964: Studies on life cycle of *Physarum gyrosum* and other myxomycetes. *Mycologia* **56**, p 170- 184.
- Kolm H. E., 1983: Antimikrobielle Wirkstoffe von Myxomyceten. Dissertation, Universität Innsbruck.
- Nakagaki T., Yamada H., Toth A., 2000: Intelligence: Maze- solving by an amoeboid organism. *Nature* **407**, p 470.
- Neubert H., Nowotny W., Baumann K., 1993: Die Myxomyceten. Band 1. Karlheinz Baumann Verlag, Gomaringen, 343 pp.
- Nowotny W., 2000: Wolfsblut und Lohblüte- Lebensformen zwischen Tier und Pflanze. *Kataloge des OÖ Landesmuseums* **155**, 7- 37.
- Olive L. S., 1975: The Mycetozoans. Academic Press, New York, 293 pp.

- Raven P H, Evert R F, Eichhorn S E, 2006: *Biologie der Pflanzen*. 4 ed Walter de Gruyter, Berlin, New York, 942 pp.
- Rollins A. W., Stephenson S. L., 2011: Global distribution and ecology of myxomycetes. *Current Topics in Plant Biology* **12**, p 1- 14.
- Rusch H. P., 1970: Some biochemical events in the life of *Physarum polycephalum*. In: *Advances in Cell Biology* **1**, p 297- 327.
- Schinner F., Kobilansky C., Kolm H., 1990: Ein Beitrag zur Ökologie der Myxomyceten. *Beiträge zur Kenntnis der Pilze Mitteleuropas* **5**, p 15-18.
- Snell K. L., Keller H. W., 2003: Vertical distribution and assemblages of corticolous myxomycetes on five tree species in the Great Smokey Mountains National Park. *Mycologia* **95**, p 565- 576.
- Snell K. L., Keller H. W., Eliasson U. H., 2003: Tree canopy myxomycetes and new records from ground sites in the Great Smokey Mountains National Park. *Castanea* **68**, p 97- 108.
- Sobels J.C., 1950: Nutrition des quelques Myxomycètes en culture pures et associées et leur propriétés antibiotiques. *Antonie van Leeuwenhoek* **16**, p 123- 243.
- Spiegel F. W., Stephenson, S. L., Keller H. W., Moore D. L., Cavender J. C., 2004: Sampling the biodiversity of Mycetozoans. In: *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods*. Mueller G. M., Bills G., Foster M. S., Elsevier Academic Press, Burlington, p 547- 576.
- Steglich W., 1989: Slime molds (myxomycetes) as a source of new biologically active metabolites. *Pure and Applied Chemistry* **61**, p 281- 288.
- Stephenson S. L., Kalyanasundaram I., Lakhanpal Z. N., 1993: A comparative biogeographical study of myxomycetes in the mid- Appalachians of eastern North America and two regions of India. *Journal of Biogeography* **20**, p 645- 657.

- Stephenson S. L., Schnittler M., Novozhilov Y. K., 2008: Myxomycete diversity and distribution from the fossil record to the present. *Biodiversity and Conservation* **17**, p 285- 301.
- Stephenson S. L., Stempen H., 1994: Myxomycetes: A Handbook of Slime Molds. Timber Press, Portland, 183 pp.
- Stijve T., Andrey D., 1999: Accumulation of various metals by *Fuligo septica* (L) Wiggers and by some other slime molds (myxomycetes). *Australasian Mycologist* **18/2**, p 23- 26.
- Tairbekov M. G., Beylina S. I., Lairand D. B., Budnitzky V. V., 1984: Plasmodium of myxomycetes as the object of the investigation in gravitation biology. *Iswestiya Akademii Nauk USSR Seriya Biologitscheskaya* **2**, p 198- 209.
- Villarreal L., 1983: Algunas species de myxomycetes no registradas del Estado de Veracruz. *Boletin de la Sociedad Mexicana de Micologia* **18**, p 153- 164.
- Zhulidov D. A., Robarts R. D., Zhulidov A. V., Zhulidova O. V., Markelov D. A., Rusanov V. A., Headley J. V., 2002: Zink Accumulation by the Slime Mold *Fuligo septica* (L.) Wiggers in the Former Soviet Union and North Korea. *Journal of Environmental Quality* **31**, p 1038- 1042.

9 Curriculum Vitae

Persönliches

Name	Matthias Steinböck
Geburtsdatum	18. 08. 1982
Geburtsort	Wien
E-Mail	matzesteinboeck@gmx.at
Nationalität	Österreich und Schweiz



Bildungslaufbahn

1988 – 1992	Volksschule, Wien 19, Flotowgasse 25
1992 – 2001	Bundesrealgymnasium, Wien 19, Billrothstrasse 73
2003 – 2013	Diplomstudium der Biologie an der Universität Wien
Seit 2012	Diplomarbeit am Institut Core Facility für Cell Imaging und Ultrastrukturforschung

Beruflicher Werdegang

1999	Ferialaushilfe bei Libro AG, 1090 Wien
2001 – 2002	Präsenzdienst im Heeresspital/Van Swieten Kaserne
2002 - 2003	Fundraising für die Firma Dialog Direct, 5020 Salzburg
2007 - 2013	Kameraassistent beim Österreichischen Rundfunk, 1130 Wien
2010 - 2013	Ordinationsgehilfe in der Arztpraxis von Dr. Hans Steinböck, 1210 Wien
2013	Tutor an der Universität Wien zu dem Kurs „Funktionelle Cytologie und Anatomie der Pflanze – Struktur und Funktion der Drüsen von fleischfressenden Pflanzen“
2006 – 2013	Kitesurflehrer bei kitesurfing.at , 7141 Podersdorf am See

Weitere Qualifikationen

- EDV Grundkenntnisse (MS-Office, Adobe Photoshop und Adobe Premiere)
- Englisch in Wort und Schrift, Französisch und Spanisch (Grundkenntnisse)
- handwerkliche Grundkenntnisse
- Fachausbildung zum Sanitätsgehilfen
- Führerschein A und B
- Kitesurflehrerausbildung A-Lizenz