



DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Charophyceen - Herkunft der Landpflanzen“

verfasst von

Martin Kogler

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 444

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Ökologie

Betreut von:

ao. Univ.– Prof. Dr. Irene Lichtscheidl- Schultz

Danksagung

Mein erster Dank gilt meinen Eltern, ohne deren grenzenlose Geduld, Unterstützung und Nachsicht mir dieses Studium unmöglich gewesen wäre. Weiters möchte ich mich für ihre tatkräftige Unterstützung zu wirklich jeder Zeit und die gemeinsamen Drehtage bei meiner Schwester Lisi und meinem langen Studienkollegen Matthias ganz herzlich bedanken. Ein großes Dankeschön gilt meinem Bruder, der bei so mancher Autofahrt die richtigen Worte fand, um mich zu motivieren, und natürlich wegen der Unterstützung während des Studiums (sigma-Faktor).

Besonderer Dank gilt Frau ao. Univ.-Prof. Dr. Irene Lichtscheidl-Schultz, die es mir ermöglichte, diesen Film zu drehen und mir häufig außerhalb der normalen Bürozeiten ihren Rat anbot und Hilfestellung bei der Mikroskopie leistete. Ganz herzlich möchte ich mich auch bei Herrn Mag. Dr. Wolfram Adlassnig für seine Betreuung während der Diplomarbeit bedanken. Sein Rat und seine Meinung halfen mir oft, den Fokus auf die wesentlichen Inhalte des Films zu lenken. Für die Hilfe in technischen Fragen bedanke ich mich sehr bei Gregor Eder, Anselm Pavlik und Helmut Goldammer. Für die administrative Unterstützung bei der Bestellung der Algenkulturen bedanke ich mich bei Ass.-Prof. Mag. Dr. Ingeborg Lang und für die motivierenden oft aufmunternden Worte bei Mag. Stefan Sassmann.

Für die Expertise außerhalb des Institutes CIUS bedanke ich mich sehr bei Herrn ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Michael Schagerl und für sein Engagement beim themenbezogenen Interview im Film.

1. Zusammenfassung.....	1
2. Abstract.....	2
3. Einleitung.....	3
3.1 Herkunft der Landpflanzen.....	3
3.1.1 Cyanobakterien und die oxygene Photosynthese.....	3
3.1.2 Endosymbionten - Theorie.....	4
3.1.3 Algen.....	6
a) Definition.....	6
b) Bedeutung.....	7
3.1.4 Grünalgen.....	8
3.1.5 Charophyceen- die Vorfahren der Landpflanzen.....	9
3.1.6 Vertreter der Charophyceen.....	10
a) Mesostigmatales.....	10
b) Chlorokybales.....	11
c) Klebsormidiales.....	11
d) Zygnematophyceae.....	12
e) Coleochaetales.....	14
f) Charales.....	14
3.1.7 Der nächste Verwandte?.....	16
4. Material und Methoden.....	18
4.1 Probenentnahme.....	18
4.1.1 Methode der Probenentnahme.....	18
4.1.2 Standorte der Freilandbeprobung.....	18

4.1.3	Liste der verwendeten Algen.....	19
4.1.4	Aufbewahrung der Proben.....	20
4.2	Wissenschaftliche Dokumentation der Algen.....	21
4.2.1	Mikroskopische Aufnahmen.....	21
4.2.2	Fotomakroskopische Aufnahmen.....	22
4.2.3	Makroskopische Aufnahmen.....	22
a)	Bilder zur Einleitung.....	22
b)	Bilder zum Lebensraum der Algen.....	22
c)	Bilder zum Vorkommen der Algen.....	23
d)	Bilder zur ökologischen Bedeutung.....	23
4.3	Kameraequipment für Außenaufnahmen.....	24
4.3.1	Kameras.....	24
4.3.2	Objektive.....	24
4.3.3	Sonstiges.....	24
4.4	Postproduktion.....	25
5.	Ergebnisse.....	27
5.1	Trailer.....	27
5.2	Einleitung.....	27
5.3	Hauptteil.....	29
5.3.1	Cyanobakterien und Sauerstoff.....	29
5.3.2	Eukaryoten und Ozonschicht.....	30
5.3.3	Die Endosymbiontentheorie.....	31
5.3.4	Definition Alge: vorgetragen von Prof. Schagerl.....	32

5.3.5 Grünalgen.....	33
5.3.6 Mesostigmatales.....	34
5.3.7 Chlorokybales.....	36
5.3.8 Wo findet man Algen?.....	37
5.3.9 Klebsormidiales.....	38
5.3.10 Zygnematophyceen.....	39
5.3.11 Coleochaetales.....	43
5.3.12 Ökologische Bedeutung von Algen.....	44
5.3.13 Charales.....	45
5.4 Schluss.....	47
6. Diskussion.....	48
6.1 Film.....	48
6.1.1 Trailer.....	48
6.1.2 Einleitung.....	49
6.1.3 Hauptteil.....	49
a) Cyanobakterien und oxygene Photosynthese.....	49
b) Eukaryoten und Ozonschicht.....	50
c) Endosymbiontentheorie.....	50
d) Definition Alge.....	50
e) Grünalgen.....	51
f) Mesostigmatales.....	51
g) Chlorokybales.....	51
h) Wo findet man Algen.....	52
i) Klebsormidium.....	52
j) Zygnematophyceen.....	53

k) Coleochaetales.....	53
l) Ökologische Bedeutung der Algen.....	54
m) Charales.....	54
6.1.4 Schluss	55
6.2 Technik.....	55
6.2.1 Video.....	55
a) Außenaufnahmen und Kameras.....	55
b) Licht.....	55
c) Zeitrafferaufnahmen.....	56
d) Schwenks.....	56
e) Schienenfahrten.....	56
f) Mikroskopische Aufnahmen.....	57
6.2.2 Ton.....	58
6.2.3 Schnitt, Nachbearbeitung und Animationen.....	58
7. Ausblick.....	59
8. Literaturverzeichnis.....	60
9. Curriculum Vitae.....	70

1. Zusammenfassung

Aufgrund ihrer nahen Verwandtschaft zu den Landpflanzen stehen die Charophyceen heute im Mittelpunkt moderner Forschung. Sie sind ein kleiner Zweig der Grünalgen und bestehen aus sechs Ordnungen, die in der Komplexität ihrer Organisation von einfach gebauten Flagellaten bis hin zu verzweigten Organisationsformen variieren. Charophyceen zeigen eine Vielzahl evolutionärer Innovationen, die Voraussetzung für den Landgang der Pflanzen waren. Die moderne multimediale Aufbereitung naturwissenschaftlicher Themen bietet die Möglichkeit, vorhandenes Wissen möglichst effizient zu transportieren. Ziel der vorliegenden Arbeit war die Gestaltung eines Lehrfilmes, bei welchem dem Betrachter auf verständliche Weise Einblicke in die Welt dieser Gruppe der Grünalgen gegeben werden. Dieser Film dokumentiert die Einzigartigkeit der Charophyceen gegenüber anderen Algen, deren wichtigste evolutionäre Errungenschaften und deren spezielle Verwandtschaftsverhältnisse zu den Landpflanzen. Von der Entwicklung der Photosynthese, über die Entstehung der ersten Alge bis hin zu den einzelnen Vertretern der Charophyceen wird dem Zuseher auf optisch einprägsame Weise das Leben dieser Organismen näher gebracht. Durch verschiedene Arten der Dokumentation werden dem Betrachter Eindrücke über den Lebensraum, die Vielfalt und die Lebensweise von Algen vermittelt. Der Gebrauch unterschiedlicher Methoden, wie Durchlichtmikroskopie, Stereomikroskopie, oder die Abbildung im Makrobereich mittels digitaler Spiegelreflexkameras ermöglicht die Aufnahme qualitativ hochwertiger Bilder der Organismen. Um schwer dokumentierbare Themeninhalte einfach und richtig zu erklären, wurde ein Experteninterview mit ao. Univ.- Prof. Mag. Dr. Michael Schagerl durchgeführt, sowie der Einsatz von Computeranimationen deren Visualisierung ermöglicht. Um die Aufnahme des Lernstoffs besser zu gewährleisten, wurde eine einfache Sprache gewählt. Die Kombination von Bild und Ton unterstützt den Lernerfolg. Der Zuseher soll dabei dem Sprecher auf dem evolutionären Weg der Charophyceen folgen.

2. Abstract

Because of their close relationship to land plants, charophyceans are topic of current research. They build a branch of green algae, consisting of six orders. They show a great variety of bodytypes, reaching from monoid organisation to complex high developed forms. Charophyceans show innovations, which are regarded as adaption to a life on terrestrial habitats. The multimedia-based treatment of natural scientific topics provides the opportunity to inform efficiently. It was the intention to create an educational film, in which the viewer gets introduced in this small group of green algae. This film documents the uniqueness of the charophyceans, shows the evolutionary innovations and their special relationship to land plants. Following this evolutionary way it starts with the development of the photosynthesis, continuous with the origin of algae and ends up with the description of each single order. By using different kinds of documentation, the contemplator should be given information on habitat, diversity and living of algae. Operating with different methods like transmission-microscopy, stereo-microscopy or reflex cameras enables to produce sequences of the model organisms in high resolution. To deal with sensitive issues, an interview with ao. Univ.- Prof. Mag. Dr. Michael Schagerl was arranged. The visualization of subjects difficult to document, was made by computer animations. It was payed attention to avoid professional terminology to keep focus on the main information. The combination of picture and sound supports the effort in studying. The speaker should be followed on the evolutionary way of the charophyceans.

3 Einleitung

3.1 Charophyceen - Herkunft der Landpflanzen

3.1.1 Cyanobakterien und die oxygene Photosynthese

Cyanobakterien werden aufgrund ihrer blaugrünen Photosynthesepigmente auch als Blaualgen bezeichnet und als Stamm in die Domäne der Bakterien eingeordnet. Wie bei allen anderen Bakterien und den Archäen handelt es sich dabei um prokaryotische Zellen (Nultsch, 1985). Anders als Eukaryoten besitzen sie keinen echten Zellkern und keine anderen Organellen, wie Mitochondrien und Plastiden (Graham et al., 2009). Die Zellen der Cyanobakterien enthalten jedoch zahlreiche Membranschichten, die photosynthetisch aktive Thylakoide darstellen. Mithilfe dieser chloroplastenähnlichen Strukturen sind Cyanobakterien in der Lage, Chlorophyll a zu produzieren und Photosynthese zu betreiben (Raven et al., 2006). Sie setzen dabei, so wie die meisten Algen und Pflanzenarten, große Mengen an Sauerstoff frei, weshalb dieser zelluläre Prozess auch als oxygene Photosynthese bezeichnet wird (Graham et al., 2009).

Als oxygene Cyanobakterien vor mehr als 2.7 Milliarden Jahren das erste Mal auftraten (Buick, 1992, Brocks et al., 1999), war die Atmosphäre der Erde nahezu anaerob und reicher an Kohlendioxid als heute (Kasting, 1993, Schopf & Klein, 1992). Damals nutzten die meisten Organismen relativ ineffiziente anaerobe Prozesse, um zelluläres ATP zu generieren. Ursprüngliche Cyanobakterien waren vermutlich die ersten sauerstoffproduzierenden Organismen auf der Erde, die in der Lage waren, Wasser als Elektronenquelle und Reduktionsäquivalent für die Photosynthese zu nutzen (Fay, 1992, Dismukes et al., 2001). Im Laufe mehrerer hundert Millionen Jahre sammelte sich der von ihnen produzierte Sauerstoff in der Atmosphäre an. Vor etwa 2,4 Milliarden Jahren war nun genügend Sauerstoff vorhanden und die damaligen Organismen konnten ihn als Elektronenakzeptor für effizientere aerobe Atmung nutzen (Eigenbrode & Freeman, 2006). Diese Veränderung der Erdatmosphäre und des Lebens auf der Erde ist als „*Great*

Oxidation Event^f bekannt und ermöglichte die Entwicklung und die Evolution der Eukaryoten (Graham et al., 2009, Rasmussen et al., 2008). Die ältesten Fossilfunde von Eukaryoten wurden in 1 bis 2 Milliarden alten Gesteinsschichten gefunden. Heutige Eukaryoten benötigen den vorhandenen Sauerstoff nicht nur zur Atmung, sondern auch um einzigartige Proteine für die Zellmembran und zur Kommunikation zu produzieren (Acquisti et al, 2007). Diese Beobachtungen lassen vermuten, dass die Bildung einer sauerstoffreichen Atmosphäre eine Reihe evolutionärer Prozesse auslöste, durch die später vielzelliges Leben, wie das der Tiere, Pflanzen und Pilze, entstehen konnte (Graham et al., 2009).

Durch die oxygene Photosynthese konnte sich vor circa 1 Milliarde Jahre durch die Reaktion des Sauerstoffes aus der Atmosphäre mit der UV-Strahlung der Sonne ein Ozonschicht in der Stratosphäre ausbilden, das seither die Erde vor UV-Schäden schützt (Beardall & Raven, 2004). UV-Strahlung beschädigt zelluläre DNA. Zu viel davon würde zum Tod der meisten Organismen auf der Erde führen. Vor der Bildung der schützenden Ozonschicht gab es nur unter der Meeresoberfläche Leben. Die oberen Schichten der Ozeane absorbierten dabei die schädliche Strahlung. Die Ozonschicht der Erde ermöglicht ein Überleben im Oberflächenwasser und an Land. Die heutige Produktion atmosphärischen Sauerstoffs durch Cyanobakterien, eukaryotische Algen und Pflanzen gewährleistet weiterhin den Schutz des irdischen Lebens durch das Ozonschild. Die Bedeutung der Ozonschicht erklärt, warum Experten so besorgt über die polaren Ozonlöcher sind, die auf menschliche Aktivität zurückzuführen sein dürften (Graham et al., 2009).

3.1.2 Endosymbionten – Theorie

Vergleichende Genanalysen zeigen, dass das Genom eukaryotischer Zellen viele Gene von Bakterien und Archäen beinhaltet. Die meisten operativen Gene von Eukaryoten, die für die Aufrechterhaltung der zellulären Prozesse verantwortlich sind, wurden von bakteriellen Vorfahren weitervererbt. Informationsgene sind DNA-Abschnitte, die für Proteine codieren und stammen im Gegensatz dazu von Archäen (Lake, 2007). Diese Erkenntnis deutet darauf hin, dass die ersten eukaryotischen Lebensformen von prokaryotischen Vorfahren abstammen (Graham et al., 2009). Wie diese Umwandlung genau erfolgt, ist bis heute Gegenstand der Forschung.

Die meisten hypothetischen Modelle, die versuchen, den Ursprung der eukaryotischen Zellen zu erklären, berufen sich dabei auf die Endosymbiontentheorie (Embley & Martin, 2006), der zufolge ein Organismus von einer Zelle oder eines Körpers eines anderen Organismus aufgenommen wird und im Inneren weiterexistiert. Die ersten eukaryotischen Zellen entstanden demnach aus einer endosymbiontischen Verschmelzung von Archäen und freibeweglichen Eubakterien (Margulis et al., 2000). Diese Verbindung erklärt die archaischen und bakteriellen Genkombinationen in heutigen eukaryotischen Genomen (Graham et al., 2009).

Mitochondrien sind Organellen, die beim zellulären Stoffwechsel eine große Rolle spielen und ebenfalls durch Endosymbiose entstanden sind. Dabei hat vermutlich ein gemeinsamer Vorfahre der Eukaryoten ein sauerstoffkonsumierendes α -Proteobakterium aufgenommen und den ATP-erzeugenden Organismus in seinem Inneren zu einem Zellorganell reduziert (Gray et al., 1999). Nach heutigem Stand des Wissens besaß der letzte gemeinsame Vorfahre der Eukaryoten also bereits Mitochondrien (Richards & van der Giezen, 2006). Heute sind sie in fast allen eukaryotischen Zellen zu finden. Die Entstehung der Mitochondrien stimulierte die frühe Artbildung der Eukaryoten (Martin & Koonin, 2006) und die Entstehung der Kernhülle. Mitochondrien beinhalten genetisches Material und produzieren Proteine. Ergebnisse aus der Genetik weisen darauf hin, dass im Laufe der Zeit ein großer Teil des genetischen Materials, das ursprünglich im symbiontischen Bakterium vorhanden war, in das Wirtsgenom eingebaut wurde und dem Symbionten verloren ging. Die Proteinproduktion ist somit vom Wirt abhängig. Vom Wirtsgenom kodierte Proteine, die für den Stoffwechsel der Mitochondrien benötigt werden, werden im Cytoplasma der Wirtszelle produziert und in die Mitochondrien transportiert (Graham et al., 2009).

Die Endosymbiontentheorie beschreibt auch die Entstehung der Chloroplasten durch die Aufnahme eines photosynthetisch aktiven Cyanobakteriums in eine eukaryotische Wirtszelle (McFadden, 2001). Oxygene Cyanobakterien waren außerdem essentiell für die Entwicklung der ersten eukaryotischen Algen. Dabei nahmen heterotrophe eukaryotische Zellen Cyanobakterien auf, die in ihrem Inneren in einer stabilen, symbiotischen Beziehung weiterexistierten. Diese symbiontischen Zellen haben sich vermutlich zu Plastiden evolviert. Alle Plastiden heutiger Protisten und Pflanzen sind aus der Evolution eines endosymbiontischen Cyanobakteriums entstanden (Whatley,

1993), wobei dieser Vorgang mindestens dreimal und unabhängig voneinander stattgefunden hat.

Mit Hilfe der Cyanobakterien führten frühe eukaryotische Algen die Sauerstoffproduktion fort, sodass die Atmosphäre vor 550 Millionen Jahren annähernd den heutigen Sauerstofflevel von 21 % erreichte (Blankenship & Hartman, 1998, Graham et al., 2009). Die sauerstoffreiche Atmosphäre steht in Zusammenhang mit dem Aufkommen diverser Gesellschaften vielzelliger marinen Lebens, die die Ediacara Fauna beinhalten. Der von Cyanobakterien, Algen und Pflanzen produzierte Sauerstoff bleibt essentiell für das Leben auf der Erde (Graham et al., 2009).

3.1.3 Algen

a) Definition

Algen sind eine heterogene Gruppe von Organismen, die photosynthetische Aktivität aufweisen (Graham et al., 2009). Algen variieren in ihrer Größe von winzig kleinen Einzellern bis zu gigantischen Seetangwäldern und sind unterschiedlichen evolutionären Linien zuzuordnen (Linne von Berg & Melkonian, 2004). Folglich werden Algen hauptsächlich durch ökologische Merkmale definiert. Bei Algen handelt es sich meist um photosynthetisch aktive Arten, die Sauerstoff produzieren und in aquatischen Habitaten leben. Algen weisen nicht dieselben morphologischen Strukturen und reproduktiven Eigenschaften der Landpflanzen auf, die eine Anpassung an eine terrestrische Lebensweise darstellen. Dieses Konzept der Algen umfasst sowohl photosynthetisch aktive, eukaryotische Protisten als auch prokaryotische Cyanobakterien, die auch als Blaualgen bezeichnet werden. Eukaryoten besitzen im Gegensatz zu Prokaryoten einen mit einer Porenhülle ummantelten Zellkern (Graham et al., 2009).

Algen tragen einen großen Teil zur globalen Vielfalt bei. Schätzungen der Artenzahl variieren sehr stark und reichen von 36 000 bis mehr als 10 Millionen (Graham et al., 2009).

Algen können allgemein definiert werden als primär photosynthetische, Sauerstoff produzierende, vorwiegend aquatische Bakterien oder Protisten. Dabei gibt es aber viele Ausnahmen. So zählen zum Beispiel manche nicht photosynthetischen Protisten, die jedoch eine nahe Verwandtschaft zu photosynthetisch aktiven Arten aufweisen, zur Gruppe der Algen. *Euglena*, ein photosynthetisch aktiver Flagellat, weist nahe verwandtschaftliche Beziehungen zu vielen heterotrophen Arten auf. Zusammen bilden diese photosynthetischen beziehungsweise heterotrophen Protisten eine Linie innerhalb der Algen, die als Euglenoidae bezeichnet wird. Eine weitere Ausnahme bilden Algenarten, die in nicht aquatischen Lebensräumen, wie auf Felsen und Steinen, im Erdboden und in anderen trockenen terrestrischen Habitaten anzutreffen sind. Solche Arten sind befähigt, trockene oder kalte Bedingungen zu tolerieren, indem sie in eine metabolische Ruhephase übergehen. Nur bei genügend Feuchtigkeit können terrestrische Algen metabolisch aktiv werden (Graham et al., 2009).

b) Bedeutung

Ein großer Teil des Sauerstoffes in der Erdatmosphäre und enorme Mengen organischen Kohlenstoffes werden von Algen generiert. Der produzierte Kohlenstoff dient anderen Organismen als Nahrung. Die heutigen Erdölvorkommen sind teilweise auf die Aktivität von Algen aus der Urzeit zurückzuführen. Jede einzelne Art stellt eine eigene Kombination aus Merkmalen dar und spielt eine oder mehrere wichtige Rollen im Ökosystem. Algen sind in biogeochemischen Kreisläufen, Nahrungsnetzen und symbiotischen Beziehungen mit andern Organismen verbunden. Aus diesem Grund befürchten Ökologen, dass Umweltveränderungen wie die globale Erwärmung Störungen hervorrufen und einen unberechenbaren Einfluss auf die Verbreitungsmuster der Algenarten ausüben könnten.

Anstatt hunderte Millionen Jahre auf neue fossile Brennstoffe zu warten, sind moderne Biotechnologen und Ingenieure dabei, neue Wege zur Generierung nachhaltiger Brennstoffe durch Algen zu erforschen. Manche Algenarten dienen der Wissenschaft als Modellorganismen und liefern wichtige Informationen über die Biochemie und Molekularbiologie von Photosynthese und anderen zellulären Prozessen. Sie liefern oft industriell verwendbare Produkte, die auf keinem anderen

Weg gewonnen werden können. Außerdem werden Algen zur Abwasserreinigung in Kläranlagen und zur Wiederaufbereitung von landwirtschaftlichen Abflüssen verwendet (Graham et al., 2009).

3.1.4 Grünalgen

Grünalgen sind nach ihrer hellen, blattgrünen Färbung benannt, einer Eigenschaft, durch die üblicherweise auch die Gruppe der Landpflanzen charakterisiert wird. Grünalgen und Landpflanzen erscheinen üblicherweise grün, weil sie in ihrem Inneren genügend Chlorophyll a und b produzieren, die nicht von größeren Mengen akzessorischer Pigmente anderer Färbung überdeckt werden. Einige Arten besiedeln besonders sonnige Standorte und akkumulieren als Schutz gegen die schädliche UV-Strahlung orange und rote Pigmente. Das Chlorophyll in den Chloroplasten liegt dann nicht mehr dominant vor und die Algen erscheinen nicht mehr grün. Als Beispiel dienen hier die purpurroten Filme von *Haematococcus* und die rotgefärbten Grünalgen *Chlamydomonas nivalis* in alpinen Schneefeldern (Graham et al., 2009).

Zusätzlich zu terrestrischen Habitaten besiedeln Grünalgen auch marine Küstenbereiche und Süßwasserströmungen, sowie viele stehende Gewässer. Grünalgen sind näher mit dem Vorfahren der Landpflanzen verwandt als alle anderen Protisten. Deshalb dienen viele Arten von Grünalgen als Informationsquelle über den evolutionären Ursprung von Pflanzenmerkmalen.

Grünalgen stellen eine monophyletische Gruppe dar, die viele verschiedene Körperformen aufweist, wie man anhand der Vertreter der Charophyceen erkennen kann.

Die molekulare Systematik und zelluläre Morphologie bestätigten die Verwandtschaft zwischen Grünalgen und Landpflanzen. Die Grünalgen oder auch Chlorophyta werden daher häufig von Botanikern mit den Landpflanzen als Chlorobionta zusammengefasst (Campbell & Reece, 2003). Genauso wie ihre Verwandten auf dem Festland speichern sie ihre Energie in Form von Stärke. Sie besitzen spezielle Strukturen, die Pyrenoide, die wesentlich an der Photosynthese beteiligt sind. Pyrenoide finden sich nur bei Grünalgen und Hornmoosen. Doch nur die

Charophyceen, ein Zweig der Chlorophyta, stehen nachweislich den Landpflanzen am nächsten.

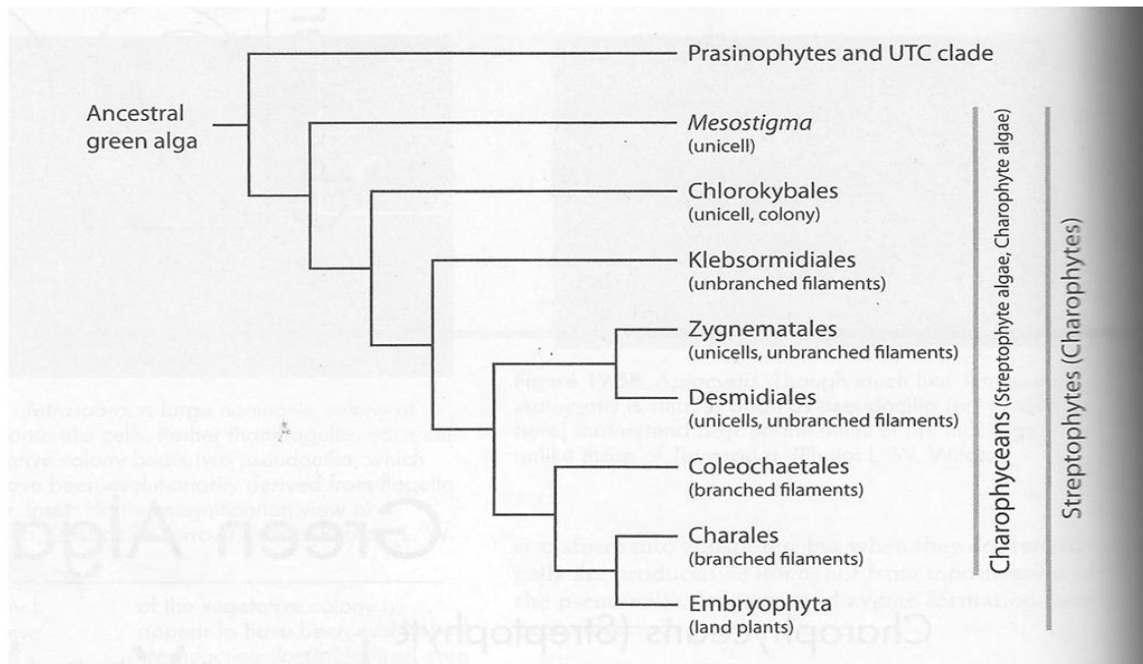


Abbildung 1 Stammbaum der Charophyceen (Graham et al. 2009)

3.1.5 Charophyceen - Die Vorfahren der Landpflanzen

Die Charophyceen inkludieren in ihrem Stammbaum evolutionäre Linien verschiedenster Komplexität (Abbildung 1). Sie beinhalten begeißelte Einzelzellen, Kolonien und unverzweigte Filamente ebenso wie verzweigte Filamente (Graham et al., 2009). Ihrer Definition nach setzten sich die Charophyceen aus verschiedenen Süßwasser- aber auch terrestrischen Algen zusammen. Die charophytischen Algen sind mit etwa 4100 Arten ein relativ artenarmer Zweig der Grünalgen, bilden jedoch mit den Landpflanzen gemeinsam eine paraphyletische Gruppe, die über 500.000 verschiedene Arten umfasst (Lewis & McCourt, 2004). Die Tatsache, dass Charophyceen hauptsächlich Süßwasserhabitats besiedeln, deckt sich mit der Annahme, dass deren Radiation vorwiegend im Süßwasser stattfand (Graham 1993, Melkonian et al. 1995). Smith (1950) unterteilte die Grünalgen in Chlorophyceen und Charophyceen. Damals wurden nur die Charales zu den Charophyceen gerechnet. Mattox und Stewart (1984) überarbeiteten den damaligen Begriff und fügten den Charophyceen 4 weitere Ordnungen zu. Diese Erweiterung basierte auf Merkmalen, die sie von allen anderen Algen unterscheiden, aber bei den höher entwickelten

Landpflanzen zu finden sind. Bei diesen Merkmalen handelte es sich zum Beispiel um die asymmetrische Geißel, die aus mehreren Schichten aufgebaut ist, um spezielle Enzyme innerhalb der Peroxisomen, und Eigenheiten der Cytokinese (Melkonian, 1984). Im Laufe der Zeit konnten noch viele Gemeinsamkeiten zwischen Charophyceen und Landpflanzen gefunden werden, dennoch blieb die Entdeckung eines einzelligen, begeißelten Vorfahren der Charophyceen lange Zeit aus.

3.1.6 Vertreter der Charophyceen

a) Mesostigmatales

Lange Zeit wurde nach einem begeißelten Vorfahren der Charophyceen gesucht, da man voraussetzte, dass sich vielzellige Organismen von Einzellern ableiten (Linne von Berg & Melkonian, 2004). Es bestand die Annahme, dass in der Gruppe der Prasinophyceen eventuell noch unentdeckte Vertreter zu finden waren (Melkonian, 1989; Karol et al., 2001; Turmel et al., 2002). Bei der Untersuchung dieser Gruppe traf man auf *Mesostigma viridis*. Es handelt sich dabei um eine relativ kleine (ca. 40 µm) begeißelte Alge (Graham et al., 2009). Die Basis der Geißel besitzt eine MLS-Struktur (multilayered structures), welche auch bei begeißelten Samenzellen der Embryophyten zu finden sind. Außer bei Pyramimonadales ist diese Struktur bei keinen anderen Prasinophyceen oder sonstigen Algen zu erkennen. Mittlerweile beweisen verschiedenste moderne molekularbiologische Untersuchungen die Zugehörigkeit von Mesostigmatales zu den Charophyceen (Lewis & Mc Court, 2004). *Mesostigma viridis* ist der einzige bekannte begeißelte Vertreter im begeißelten der Charophyceen. Die Alge besitzt einen blassen Augenfleck (Graham et al., 2009). Die Entwicklung dieser lichtsensiblen Struktur ist bei mehreren Grünalgen zu finden. Dadurch sind die Organismen in der Lage, aktiv auf Lichtreize zu reagieren, sie sind fähig zur Phototaxis (Schmidt et al., 2006). Er liegt in der Nähe des farblosen Photorezeptors, dem eigentlichen lichtsensiblen „Auge der Zelle“, jener Struktur, die für die unmittelbare Reaktion auf Lichtreize verantwortlich ist. Diese Organismen sind dadurch in der Lage, einfallendes Licht wie ein Hohlspiegel zu reflektieren und dieses auf den Photorezeptor zu lenken. Da sich schwimmende Algen stets um ihre eigene Achse drehen, führt dies zu einem periodischen Wechselspiel zwischen Hell und

Dunkel auf der Oberfläche der lichtsensiblen Struktur (Linne von Berg, 2004). *Mesostigma viridis* ist die einzige Alge der Charophyceen mit Augenfleck. Diese Eigenschaft legt nahe, dass diese Struktur zwischen Mesostigmatales und Chlorokybales verloren ging (Graham et al., 2009). Die Lichtorientierung von einzelligen Organismen ist jedoch weit verbreitet und nicht auf Grünalgen beschränkt. Ein Modellorganismus zum Studieren dieser Struktur oder dieses Vorgangs ist *Euglena gracilis*, ein Vertreter der Euglenophyceen (Lebert, 2001). Bei Untersuchungen der extrazellulären Hülle von *Mesostigma viridis* konnte keine Zellulose nachgewiesen werden. Auch in einer Studie, in der 3000 Gene molekularbiologisch analysiert wurden, fand man keine Gene, die für Zellulose codieren (Simon et al., 2006).

b) Chlorokybales

Die Chlorokybales werden taxonomisch relativ weit an die Basis des Stammbaums der Charophyceen gestellt und bilden eine Schwestergruppe zu den sehr ursprünglichen Mesostigmatales. Es gibt nur einen einzigen Vertreter, *Chlorokybus atmophyticus* (Turmel et al. 2006, 2007; Karol et al., 2001). Sie ist eine seltene Alge, die erst zweimal auf Festland isoliert werden konnte (Rogers et al., 1980). Die Alge wurde das erste Mal vom österreichischen Botaniker Lothar Geitler 1942 in Schönbrunn beschrieben (Lemieux, 2007). Die vegetative Zelle ist zu mehreren (2 - 8 Zellen) in einer extrazellulären Matrix eingebettet, die aus Kohlenhydraten und Proteinen besteht. In dieser Substanz konnten Spuren von Zellulose nachgewiesen werden (Kiemle, 2010). Die Fähigkeit der Zellulosesynthese sollte daher vor der Trennung von *Chlorokybus* entstanden sein. *Chlorokybus* ist die primitivste Alge der Charophyceen, die in ihrer vegetativen Phase unbeweglich ist (Graham et al., 2009).

c) Klebsormidiales

Die Gattung *Klebsormidium* ist ein weiterer Vertreter der Charophyceen. Es handelt sich dabei um fadenförmige Algen, deren Zellen zylindrisch gebaut sind. Sie besitzen einen wandständigen Chloroplasten mit einem Pyrenoid, das von Stärkekörnern umgeben ist (Graham et al., 2009). Die Zellwände sind zu ungünstigen Zeiten

verdickt (www.algaebase.com, 2013). *Klebsormidium* ist zu Fäden organisiert und keine Einzelzelle mehr. Sie ist daher höher organisiert als *Chlorokybus atmophyticus*. Auch wegen ihrer spezialisierten Form der Freilassung der Zoosporen gilt *Klebsormidium* als weiter fortgeschritten (Graham et al., 2009). Diese Algen finden sich vorwiegend auf dem Festland in feuchten Habitaten, wie zum Beispiel am Fuß von Baumstämmen und Bereichen der Spritzwasserzone. Es gibt aber auch aquatische Vertreter (Linne von Berg & Melkonian, 2004).

d) Zygnematophyceen

Die Zygnematales bilden eine monophyletische Schwestergruppe zu den Desmidiales (Turmel et al., 2002; Gontcharov et al., 2003). Diese beiden Ordnungen werden manchmal als Zygnematophyceen zusammengefasst (van der Hoek et al., 1995). Die Gattungen der Zygnematophyceen werden hauptsächlich aufgrund ihrer Zellorganisation (Einzelzellen der Filamente), der Zellsymmetrie, Größe und Form, Zellwand und deren Oberfläche und der Chloroplastenstruktur eingeteilt (Gontcharov, 2008). Bei den Zygnematophyceen gibt es kein begeißeltes Stadium, wodurch sie sich von anderen Charophyceen unterscheiden. Sie besitzen die Fähigkeit zur sexuellen Fortpflanzung durch Konjugation (Graham et al., 2008). Die Desmidiales sind meisten einzellig organisiert. Im Gegensatz dazu sind die Zygnematales definiert als einzellige oder unverzweigte Filamente, deren äußere Wände keine Poren oder Einschnürungen aufweisen (Gerrath, 2002). Die extrazelluläre Matrix von Zygnematales besteht aus mehreren Schichten. Die äußere Hülle besteht aus Calcium-Pektat und Hemizellulose; sie ist für das schleimige Anfühlen dieser Algen verantwortlich. Möglicherweise dient diese Substanz zum Schutz vor Austrocknung und UV-Strahlung und unterstützt die Aufnahme von Nährstoffen (Graham et al., 2009). Ein bekannter Vertreter ist die Gattung *Spirogyra*. Mit etwa 200 verschiedenen Arten besiedelt sie die verschiedensten Gewässertypen und ist weltweit verbreitet. Es handelt sich dabei um eine fadenförmige Alge. Der Zellkern (der Träger der Erbinformation) liegt in der Mitte der Zelle und wird mittels Plasmafäden versorgt und in Position gehalten. Der Innenraum der Zelle ist von einer großen Zentralvakuole ausgefüllt, in der Peripherie liegen ein oder mehrere spiralig gewundene Chloroplasten (Linne von Berg & Melkonian, 2004). Ein weiterer Vertreter ist mit etwa 140 Arten die Gattung *Zygnema*. Es handelt sich dabei ebenfalls um eine Fadenalge.

In jeder Zelle befinden sich zwei sternförmige Chloroplasten, in der Mitte der Zellkern. Mit 140 Arten ist die Gattung *Mougeotia* ein weiteres wichtiges Mitglied der Zygnematales. Diese Alge ist ebenfalls in verschiedensten Gewässertypen anzutreffen, so auch in sauren Moorgewässern (Linne von Berg & Melkonian, 2004). *Mougeotia* besitzt einen einzigen bandförmigen Chloroplast pro Zelle. Dieser Chloroplast kann durch Bestrahlung zur Drehung angeregt werden (Serlin & Roux, 1984). Diese positive Phototaxis im Chloroplasten von *Mougeotia* wird durch die Absorption des Lichtes im Phytochrom verursacht (Haupt & Bock, 1982). Die Calciumkonzentration innerhalb der Zelle spielt bei der Drehung des Chloroplasten eine wichtige Rolle (Wagner & Klein, 1981), wobei diese vom Phytochromkomplex verändert wird (Serin & Roux, 1984). Bei den Algen der Zygnematales findet die sexuelle Vermehrung im Form einer direkten Konjugation statt (Kim et al., 2007). Zwei kompatible Filamente richten sich parallel zu einander aus und bilden zahlreiche Papillen aus. Mit Hilfe dieser Papillen verbinden sie sich und bilden eine Konjugationsröhre, welche als Passage für das männliche Protoplasma genutzt wird, um in die weibliche Zelle zu gelangen (van der Hoek et al., 1995; Sze, 1998; Kim & Kim, 2002). Obwohl der Prozess der Konjugation bei *Spirogyra* in vielen Lehrbüchern erwähnt wird, weiß man nach wie vor relativ wenig über die Einzelheiten dieses Vorgangs (Kim et al., 2005). Die zweite Gruppe der Zygnematophyceen sind die Desmidiales. Diese umfassen ungefähr 4000 verschiedene Arten (Graham et al., 2009). Der typische Lebensraum der Zieralgen oder Desmidiaceen sind die unterschiedlichen Moorgewässer. In ihnen findet man die artenreichste Desmidiaceenflora. Von diesem Habitat abgesehen, sind jedoch einzelne Vertreter auch in Tümpeln, Wiesengraben, Uferzonen und im Plankton unbelasteter Seen zu finden. Aber auch auf dem Festland, in nassen oder fallweise überrieselten Moosen, Felsen, Mauern und dergleichen kommen verschiedene Taxa gelegentlich vor (Lenzenweger, 2000). Sie werden als placoderme Desmidiaceen bezeichnet. Die Zellen weisen bei vielen Arten eine zentrale Einschnürung der Zelle auf, den Sinus. Die Verbindung der beiden Halbzellen wird als Isthmus bezeichnet (Graham et al., 2009). Die Zellwand ist häufig mit Ornamenten und Poren versehen (Mix, 1972). Basierend auf der Zellorganisation (einzellig oder fadenförmig) und ihrer Zellwandeigenschaften werden die Desmidiales in drei oder vier Familien unterteilt (Mix 1972; Kouwets & Coesel, 1984; Brook, 1981, Gerrath, 1993), die Peniaceen, die Gonatozygaceen, die Closteriaceen und die Desmidiaceen. Die Algen der

Desmidiales besitzen eine spezielle Art der Zellteilung. Zieralgen bestehen normalerweise aus zwei identischen Halbzellen, die jeweils einen Chloroplasten tragen. Zuerst teilt sich der im Isthmus gelegene Zellkern. Danach verlängert sich der Isthmus und schwillt blasenförmig an. Beide Isthmushälften wachsen anschließend bis zur Größe einer Halbzelle an. In diesem Stadium sind die beiden Zellen zunächst miteinander verbunden. Zum Schluss wird die Sekundärwand verstärkt und erhält dadurch die artspezifische Form und Ornamentierung. Der aus der Mutterzelle stammende Chloroplast dringt in die neue Halbzelle ein und teilt sich (Berg von Linne, 2004). Danach trennen sich beide vollentwickelten Organismen voneinander. Der Vorgang dieser Zellteilung wurde hauptsächlich bei *Closterium*, *Cosmarium*, *Euastrum* und *Micrasterias* untersucht (Waris, 1950; Gerrath, 1993; Pickett-Heaps, 1975) und wird nach wie vor nicht zur Gänze verstanden.

e) Coleochaetales

Chaetosphaeridium mit vier (Thompson, 1969) und *Choleochaete* mit circa 16 beschriebenen Arten (Pringsheim, 1860; Jost, 1895; Printz, 1964; Szymńska, 1989; Szymńska, 2003) sind die einzigen allgemein anerkannten Mitglieder der Ordnung Coleochaetales. Nach der Auswertung molekularer Daten gehören sie zur kleinen Gruppe vermeintlicher Vorfahren der Landpflanzen (Lewandowski & Delwiche, 2001). *Coleochaete* besteht häufig aus scheibenförmig arrangierten, dicht aneinandergereihten Zellen (Lewis & McCourt, 2004). Es gibt aber auch verzweigte, filamentöse Vertreter. In beiden Gattungen liegt innerhalb der Zelle nur ein Chloroplast mit einem oder mehreren Pyrenoiden, die denen der anderen Charophyteen und Hornmoosen gleichen (Graham & Kaneko, 1991). Die Thylakoide der Gattung *Coleochaete* sind wie bei höheren Pflanzen in Grana organisiert (Graham et al., 2009).

f) Charales

Die Algen dieser Ordnung sind sowohl aus evolutionärer als auch ökologischer Sicht von großer Bedeutung. Auch die Charales sind nahe verwandt mit den Vorfahren der Landpflanzen (Karol et al., 2001; Qui et al., 2007). Sie besitzen teilweise spezielle

Eigenschaften, ähnlich denen der Landpflanzen, wie zum Beispiel die Untereinheit der partikulären RNA Polymerase (RNAPIV), welche bei Landpflanzen als auch bei einigen Vertretern dieser Ordnung vorhanden ist, jedoch in allen anderen Charophyceen fehlt (Luo & Hall, 2007). Die Charales haben eine lange Geschichte. Die Vorfahren dieser Ordnung werden auf das Zeitalter des späten Trias datiert (Feist et al., 2005). Sie besitzen große ökologische Bedeutung, überziehen dabei flächendeckend den Boden der Gewässer. Dabei finden sie sich sowohl im Flachwasser wie auch in tieferen Regionen des Habitats (Graham et al., 2009). Manche Algenarten der Gattung Charales können sehr tiefe Bereiche flächendeckend besiedeln, wie zum Beispiel *Chara contraria*, welche im Lake Tahoe in 150 Metern Tiefe nachgewiesen werden konnte (Stross, 1979). Generell weisen die Charales verschiedene Anpassungen an die geringe Sonneneinstrahlung dieser tiefen, benthischen Lebensräume auf (Andrews et al., 1984). Die Vertreter der Ordnung sind und waren für die letzten hundert Millionen Jahre die wichtigsten Kalksedimentbildner in Süßwasserseen. Da viele Arten auf ihrer Oberfläche Schichten von Calcit- Kristallen akkumulieren, bekamen sie dafür mehrere bezeichnende Namen wie zum Beispiel "stoneworts", "muskgrasses" oder "bassweeds" (Graham et al., 2009). Diese Kalkakkrustierung kann dem Organismus eine weiße oder blass grüne Färbung geben (Grant, 1990). Ihrem schachtelhalmartigen Aussehen verdanken sie ihren Trivialnamen Armleuchteralgen. Es handelt sich um bis über einen Meter große Organismen (Graham et al., 2009), mit deutlicher Gliederung in Hauptachse und in Wirteln angeordneten Seitenzweigen, die in ihrem Wachstum begrenzt sind. Die Internodialzellen, also jene Zellen, an denen keine Seitenzweige ansetzen, können eine Größe von mehreren Zentimetern erreichen. Es besteht die Hypothese, dass solche großen Zellen ein Anpassung an schattige, benthische Habitate darstellen (Raven et al., 1979). In der Nähe der Zentralvakuole von Internodialzellen kann die Cytoplasmaströmung sehr gut beobachtet werden, welche aus der Aktivität der Aktinmikrofibrillen resultiert (Allen, 1974; Palevitz & Hepler, 1975; Williamson, 1979, 1992). Wahrscheinlich dient sie dem Durchmischen und dem Langstreckentransport der Zellkomponenten innerhalb des großen cytoplasmatischen Volumens dieser langen Zellen (Graham et al., 2009). Studien der Ultrastruktur der Nodialzellen, also jener Zellen an denen die Wirtel der Seitenäste ansetzen, legen nahe, dass diese gewebeähnliche, parenchymatische Strukturen aufweisen (Pickett-Heaps, 1975; Cook et al., 1998). Die basale Region

der Charales ist normalerweise im Boden mittels farblosen Rhizoiden verankert. Es handelt sich dabei um sehr lange unpigmentierte Zellen, die zwischen 30 und 60 Kristalle enthalten, die Spuren von Barium und Schwefel enthalten. Diese Kristalle spielen beim Geotropismus eine wichtige Rolle, und geben dem Pflanzenorgan Auskunft über seine Ausrichtung (Graham et al., 2009). Die Rhizoide wachsen an der Spitze und werden nicht in Nodien und Internodien unterteilt. Sie zeigen jedoch häufig eine ausgeprägte Polarität, wobei die Zelle in sieben klar trennbare Bereiche separiert wird (Kiss & Staehelin, 1993). Die Charales zeigen die auffälligste Form der sexuellen Vermehrung von allen Grünalgen. Sie besitzen spezielle Strukturen, die Gametangien, in denen die Geschlechtszellen produziert werden. Die männlichen etwas kleineren, kugeligen Antheridien sind zu ihrer Reife knallorange gefärbt und besitzen tausende, begeißelte Spermienzellen, die ins umgebende Wasser entlassen werden. Das weibliche Behältnis, das Oogonium, ist etwas größer und langgezogener. Es besitzt nur ein einziges Ei, welches zu seiner Reife von den zweigeißeligen Samenzellen befruchtet wird. Beide Strukturen sind von einer schützenden Hülle umgeben

3.1.7 Der nächste Verwandte?

Die Ergebnisse moderner Techniken stimmten mit der allgemeinen Hypothese der Evolution morphologischer, biochemischer und ultrastruktureller Eigenschaften überein, die es den streptophytischen Algen ermöglichte, den Sprung vom Wasser an Land zu machen (Graham, 1993, 1996; Lewis & McCourt, 2004; McCourt et al., 2004). Die konjugierenden Grünalgen standen immer im Verdacht, aufgrund ihrer Farbe und Speicherung von Reservestoffen in Form von Stärke, der stammesgeschichtlichen Linie der Landpflanzen anzugehören (Brook, 1981). Manchmal wurden sie jedoch ganz anderen Verwandtschaftsverhältnissen, weit weg von den Grünalgen, zugeordnet (Fott, 1971; Round, 1971; Bold & Wynne, 1985). Auch wenn die Konjugaten bei den Chlorophyten angesiedelt werden, war ihre Position aufgrund ihrer einzigartigen Charaktere lange Zeit unklar (Gontcharov, 2008). Studien der Ultrastruktur dieser Algen zeigen, dass diese Algen während der Cytokinese einen Phragmoplasten ausbilden. Sie bilden daher ebenso wie Coleochaeta, Chara und wenige andere Algen eine kleine Gruppe von Organismen, die gleich wie Embryophyten (Landpflanzen) diese Struktur während der Zellteilung

ausbilden (Fowke & Pickettheaps, 1969a, b; Pickettheaps, 1975; Mattox & Stewart, 1984; Grolig, 1992). Weitere biochemische und molekularbiologische Untersuchungen wiesen auf eine fortgeschrittene Position im Stammbaum der Charophyceen auf. Die genaue Stellung der Konjugaten konnte noch nicht bestimmt werden (Kranz & Huss, 1996; Bhattacharya & Medlin, 1998; Chapman et al. 1998; Qiu & Palmer, 1999; McCourt et al., 2000). Nach der Erstellung eines phylogenetischen Stammbaumes, wobei vier Gene betrachtet wurden (16 S Kern-rRNA, *atpB* und *rbcL* der Chloroplasten sowie mitochondriale *nad5*) reihen sich die konjugierenden Grünalgen nach den ursprünglichen Vertretern *Mesostigama*, *Chlorokybus* und *Klebsormidium* ein, zweigen aber vor *Coleochaeta* und *Chara* ab. Es deutete vieles darauf hin, dass die Letzteren nahe verwandt zu den Landpflanzen sind (Karol et al., 2001; McCourt et al., 2004). Darauf folgende Analysen der kleinen und großen Untereinheit der Chloroplasten- rRNA stellten die Charales im Stammbaum als Schwesterngruppe zu den Embryophyten (Turmel et al., 2002). Vorangetriebene Forschung positionierte wiederum die Konjugaten als Schwesterngruppe der Landpflanzen. Dieses Ergebnis stammt aus der Analyse des 76 cpDNA codierenden Genes. Diese neuen Verwandtschaftsverhältnisse wurden durch die Chloroplastengenfolge, Gen- und Intron-Inhalt und synapomorphische Insertionen und Deletionen bestätigt (Turmel et al., 2005, 2007; Adam et al., 2007). Große Datensätze, vergleichende Auswertung und hochentwickelte Analyseverfahren bestätigen die weitfortgeschrittene Stellung der Zygnematophyceen im Stammbaum der Charophyceen, auch wenn aus traditioneller Sichtweise diese Positionierung kaum erklärbar ist (Gontcharov, 2008). Charales und *Coleochaeta* sind viel komplexer in der Organisation ihres Thallus, in Fragen der Zellteilung und teilen auch sonst mehrere Merkmale mit Landpflanzen (McCourt et al., 2004). Es ist zu erwarten, dass sich die Verwandtschaftsverhältnisse zwischen Zygnematophyceen und Embryophyta bei der Untersuchung mehrerer Gene und Datensätze wieder verändern werden. Die Antwort auf die Frage, welcher Charophyceenvertreter schlussendlich der nächste Verwandte der Landpflanzen ist, wird voraussichtlich noch für längere Zeit unaufgeklärt bleiben (Gontcharov, 2008).

4. Material und Methode:

4.1 Probenentnahme

4.1.1 Methoden der Probenentnahme

Die im Film gezeigten Algen stammen einerseits aus der Beprobung verschiedenster Biotoptypen, andererseits wurden sie aus kommerziell erhältlichen Algenkulturen entnommen. Bei der Freilandbeprobung wurden unterschiedliche Techniken eingesetzt, um den Ertrag der Entnahme zu optimieren. Je nach Lebensraum kamen unterschiedliche Methoden zum Einsatz:

- Algennetz für Phytoplankton
- Abschaben mit Rasierklinge bei aufwachsenden Algen
- Löffel zum Abschaben von benthischen Algen
- Entnahme von kleinen Rindenstücken bei Baualgen

4.1.2 Standorte der Freilandbeprobung:

Tabelle 1 Standorte der Freilandbeprobung

Bezeichnung	Lebensraum	Schwerpunkt der gefundenen Algen	Bundesland
Lobau	Donau-Altarm	Chlorophyta, Cyanobacterien	W
Nationalpark Neusiedler See	stehendes Gewässer, basisch	Charales	B
Lunzer See	stehendes Gewässer	Charales	N
Oberer See	stehendes Gewässer, sauer	Desmidiaceen	N
Steinbachklamm	Fließgewässer	<i>Spirogyra</i> sp, <i>Zygnema</i> sp., Diatomeen	N
Gerstner	stehendes	Desmidiaceen	N

Hochmoor	Gewässer, sauer		
Schwarzes Moos	stehendes Gewässer, sauer	Desmidiaceen, Diatomeen	N
Hochmoor Hochhädering	stehendes Gewässer, teilweise sommertrocken, sauer	Desmidiaceen	V
Hochmoor Kojenmoos	stehendes Gewässer, sauer	Desmidiaceen	V
Hochmoor Krumbach	stehendes Gewässer, sauer	Desmidiaceen	V
Wienerwald	Baumrinde	<i>Klebsormidium</i> sp, Cyanobakterien	W
Gewächshaus Biologiezentrum Althanstraße	Verschieden Wassertröge	Chlorophyta, Cyanobakterien	W
Postteich Althanstraßes	stehendes Gewässer	Charales	W

4.1.3 Liste der verwendeten Algen

Tabelle 2 Liste des Bezugs der wichtigsten Algen des Films

Alge	Bezug
Verschiedene Cyanobakterien	Freilandprobe
Verschiedene Diatomeen	Freilandprobe
Verschieden Chlorophyta ohne Charophyceen	Freilandprobe
<i>Mesostigma viridis</i>	Sammlung von Algenkulturen Universität Göttingen SAG 50.1
<i>Chlorokybus atmophyticus</i>	Geschenkte Kultur von Kollegen
<i>Klebsormidium flaccidum</i>	CAUP Culture Collection of Alga J 302 VI2013
<i>Interfilum terricola</i>	CAUP Culture Collection of Alga J 201

	VI2013
<i>Mesotaenium caldariorum</i>	CAUP Culture Collection of Alga K 101 VI2013
Andere Zygnematophyceen	Freilandprobe
<i>Coleochaeta sp.</i>	Freilandprobe
<i>Charales sp.</i>	Freilandprobe

4.1.4 Aufbewahrung der Proben:

Die bestellten Algenkulturen wurden im Lichtschrank bei 17 ° und einem Licht-/Dunkelintervall von 10:14 aufbewahrt (Abbildung 2 und 3). *Mesostigma viridis* war in flüssigem Nährmedium kultiviert und musste aufgrund der kurzen Lebensdauer sofort dokumentiert werden. Die übrigen kultivierten Algen waren auf einem Agar-Kulturmedium aufgebracht und wurden unter den sterilen Bedingungen der Sterilwerkbank EHRET Aura-V entnommen. Material aus dem Freiland wurde hinter einem Fenster mit Nordlage aufbewahrt, wo es relativ lange gut erhalten blieb.



Abbildung 2 Lichtschrank



Abbildung 3 Aufbewahrung der Algenkulturen

4.2 Wissenschaftliche Dokumentation der Algen:

4.2.1 Mikroskopische Aufnahmen



Abbildung 4 Reichert Univar Forschungsmikroskop



Abbildung 5 verschieden Aufsätze beim DIC-Verfahren



Abbildung 6 Ölkondensator für das Dunkelfeldverfahren

Für eine Vielzahl von Aufnahmen war der Einsatz eines Mikroskops nötig. Dazu wurde das Reichert Univar Forschungsmikroskop (Abbildung 4) verwendet. Zur Darstellung der Objekte wurde hauptsächlich das Differential-Interferenz-Kontrastverfahren (DIC) angewandt. Aufgrund der unterschiedlichen Größe der Algen kamen unterschiedliche Objektive bzw. DIC-Aufsätze (Abbildung 5) zum Einsatz. Hauptsächlich wurde mit Objektiven hoher Apertur gearbeitet (40-fach und 100-fach). Auch die Möglichkeit der optischen Nachvergrößerung von 1,6x bzw. 2,5x fand häufig Verwendung. Kleinere Vergrößerungen wurden nur für Bilder in der Totalen verwendet, da die Qualität vergleichsweise schlecht war. Auch die

Darstellung im Dunkelfeld fand Verwendung. Es wurde dabei der Dunkelfeld-Kondensor mit Öl-Emulsion eingebaut (Abbildung 6). Die mikroskopischen Film- sowie Zeitrafferaufnahmen wurden mit einer Nikon J1 mit Videofunktion 1080 p HDTV gemacht.

4.2.2 Fotomakroskopische Aufnahmen



Die fotomakroskopischen Aufnahmen wurden mit dem Wild Fotomakroskop M 400 1,25x (Abbildung 7) und dem Stereomikroskop SMZ 1500 gemacht. Zur Beleuchtung dienten DEDO DLH 4 Leuchten sowie Photonic Led F1 Leuchteinheiten inklusive diverser Lichtleiter. Die Bilder selbst wurden von einer Nikon J 1 mit Videofunktion 1080 p HDTV gefilmt.

Abbildung 7 Wild Fotomakroskop

4.2.3 Makroskopische Aufnahmen:

a) Bilder zur Einleitung:

Die Bilder der Pflanzen wurden im botanischen Garten als auch in der Umgebung von Wien gedreht. Die Sequenzen zum Thema Wasser wurden an verschiedenen Orten abgefilmt (z.B. Ötztal, Krimml, Steinbach, Lunzer See, ...)

b) Bilder zum Lebensraum der verschiedenen Algen und der Charophyceen

Tabelle 3 Drehorte der Lebensräume der dargestellten Organismen

Organismus	Drehort
Mesotigmatales	Regenpfütze im Wienerwald

Chlorokybales	Sandsteinobelisk im Schloss Schönbrunn
Klebsormidiales	Algenüberzogene Rinden von Bäumen des Wienerwaldes
<i>Spirogyra sp.</i>	Steinbachklamm
<i>Zygnema sp.</i>	Abfluss des Lunzer Sees
Desmidiales	Moorgewässer Schwarzes Moos
Coleochaetales	Teichrosenblätter und Schilf im Lunzer See, Schilfbestände im Neusiedler See
Charales	Steinbachklamm, Neusiedler See
<i>Rivularia sp.</i>	Abfluss des Lunzer Sees
<i>Chlamydomonas nivalis</i>	Schneefelder im Juni auf der hohen Mut/Ötztal
<i>Botrydium sp.</i>	Überschwemmter Boden Schönau

c) Bilder zum Vorkommen der Algen

Tabelle 4 Liste der Drehorte für Lebensraumaufnahmen

Lebensraum	Drehort
Salzwasser	Neusiedler See
Süßwasser	Steinbachklamm
See	Lobau
Bach	Abfluss des Lunzer Sees
Feuchte Erde	Schönau
Rinde	Bäume im Wienerwald

d) Bilder zur ökologischen Bedeutung:

Tabelle 5 Auflistung der Drehorte zur ökologischen Bedeutung der Algen

Organismus	Drehort
Korallen	Haus des Meeres
Vögel	Neusiedler See
Flechten	Steinbachklamm
Aufwuchsalgen	Neusiedler See

4.3 Kameraequipment für Außenaufnahmen

4.3.1 Kameras

Für die Außenaufnahmen wurden folgende Kameras verwendet:

- DSLR Canon 5D Mac 2, CMOS Vollformatsensor, EF Bajonett für Wechselobjektive und Videofunktion 1080 p HDTV- Auflösung
- DSLR Canon 550 D, CMOS Sensor, EF-S Bajonett für Wechselobjektive und Videofunktion 1080 p HDTV- Auflösung
- DSLR Canon 450 D, CMOS Sensor, EF-S Bajonett für Wechselobjektive für Zeitrafferaufnahmen



Abbildung 8 Kameraequipment für Außenaufnahmen des Films

4.3.2 Objektive

- Canon EF 24-105 mm F/4 IS USM
- Canon EFS 18-55 mm F/3,5-5,6 IS USM
- Canon EF 70-300mm F/4-5,6 IS USM
- Canon Makro EF 100mm F/2,8 IS USM

3 zusätzliche Zwischenringe sowie abnehmbarer Schärfering zum Durchschärfen

4.3.3 Sonstiges



Abbildung 9 selbstkonstruierte Kameraschiene

Für Kamerafahrten wurde eine Kamera-Schiene (Abbildung 9) mit verstellbarem Stativkopf entwickelt. Die Geschwindigkeit wurde manuell geregelt. Für Unterwasseraufnahmen kamen neue Aquarien unterschiedlicher Größe zum Einsatz. Dabei wurde die Kamera mit der Optik zur Scheibe im Aquarium platziert und dieses anschließend in den Wasserkörper gesetzt. Für die unterschiedlichen Schwenks und Perspektiven kamen verschiedene Stative zum Einsatz.

Der Ton wurde bei Außenaufnahmen mit dem Rode Video Mic Pro Richtmikrofon aufgenommen. Für das Interview wurde ein Beyer Dynamic KE-800/TS-300 UHF Funküberträger mit Kondensatoransteckmikrofon verwendet.

4.4 Postproduktion

Die einzelnen Filmsequenzen wurden mit Adobe Premiere Pro CS6 bearbeitet und im Schnittfenster arrangiert. Zur Erzeugung von Spannungsbögen wurde der Film musikalisch begleitet. Durch Regulation der Lautstärke wurde akustisch auf wichtige Themeninhalte aufmerksam gemacht. Die Animationen wurden mit Adobe Photoshop CS6, Adobe After Effects CS6, Cinema 4D und nuke gemacht. Bei den in den Abbildungen 10 - 12 gezeigten Animationen wurde professionelle Hilfe von Bernhard Matiasek beansprucht.

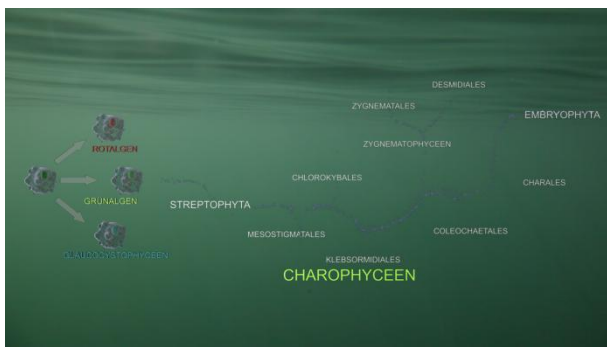


Abbildung 10 Stammbaumanimation der Charophyceen

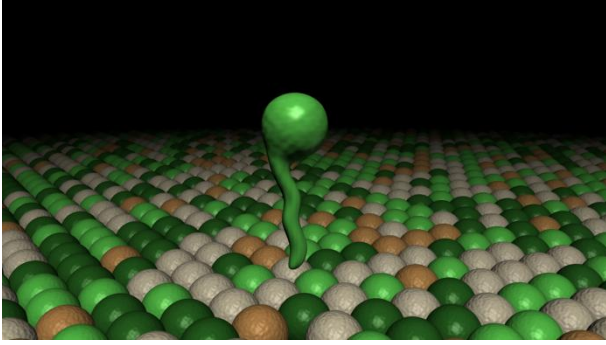


Abbildung 11 Animation des Chlorophyllmoleküls

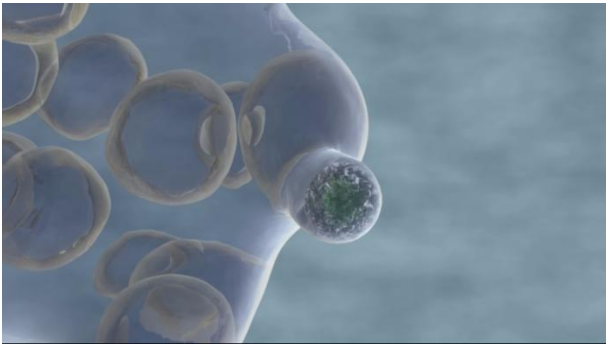


Abbildung 12 Animation der Chloroplastenentstehung

5. Resultate

Dieses Kapitel präsentiert den Sprechtext des Lehrfilms. Unterstützend werden die wesentlichen Bilder der einzelnen Abschnitte abgebildet.

5.1 Trailer:

Seit Menschengedenken prägen sie die Oberfläche des Festlandes, hüllen weite Teile in zartes Grün. Die Evolution ist die Triebfeder des Lebens und war somit Wegbereiter für den Formenreichtum der heutigen Landpflanzen. Doch so scheinbar grenzenlos vielfältig die Pflanzen auch erscheinen mögen – sie alle haben einen gemeinsamen Ursprung. Eine kleine Gruppe von Grünalgen, die Charophyceen, gilt nach heutigem Stand der Wissenschaft als Wiege der Pflanzenwelt. Aus ihnen entwickelten sich in einem 470 Millionen Jahre andauernden Prozess die Landpflanzen in ihrer heutigen Form.

5.2 Einleitung:



Abbildung 13 Herbstlaub im Wienerwald



Abbildung 14 Formenreichtum der Blütenpflanzen



Abbildung 15 Das Herbstlaub des Wienerwaldes zeigt die Farbenpracht der Landpflanzen

Die Magie der Pflanzen – eine eindrucksvolle Darbietung des Wunders der Natur. Sie gelten als wahres Füllhorn an Formen und Farben, Strukturen und Mechanismen (Abbildungen 13 - 15). Das Ergebnis eines Jahrmillionen andauernden Prozesses, der Evolution. Doch so heterogen und divers die terrestrische Pflanzenwelt auch sein mag, so wie alles Leben fand auch das der Pflanzen seinen Ursprung im Wasser.



Abbildung 16 Wasser gilt als Lebenselixier, ohne Wasser (wenn auch nur in geringer Menge) gibt es kein irdisches Leben

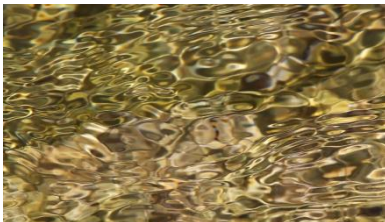


Abbildung 17 Wasser besitzt spezielle physikalische und chemische Eigenschaften

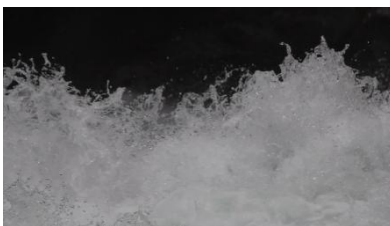


Abbildung 18 Die mechanische Kraft des Wassers prägt die Oberfläche der Erde und schafft ständig neue Lebensräume

Wie es auf die Erde kam, ist nach wie vor umstritten. Wasser gilt als universelles Lebenselixier, als Basis allen Seins. Es ist die einzige chemische Verbindung, die in der Natur in allen 3 Aggregatzuständen vorkommt. Wasser besitzt spezielle chemische und physikalische Eigenschaften. Mit seiner Kraft verformt es die Oberfläche der Erde seit der Urzeit (Abbildungen 16 - 17).

5.3 Hauptteil:

5.3.1 Cyanobakterien und die oxygene Photosynthese



Abbildung 19 Verschiedene Arten von Cyanobakterien



Abbildung 20 Fossile Stromatolithen bezeugen die Aktivität von Cyanobakterien in der Vergangenheit



Abbildung 21 *Rivularia* sp bildet Zentimeter große Strukturen aus Kalk

Ein Schlüsselereignis vor 2,7 Milliarden Jahren gab den Startschuss für den Erfolgsgang des Lebens. Es war die Geburt der Sauerstoff produzierenden Photosynthese. Cyanobakterien (Abbildung 19), auch Blaualgen genannt, gelten als die ersten Organismen, die in der Lage waren, aus Sonnenlicht Energie für ihren Stoffwechsel zu gewinnen. Diese fossilen Bauwerke, als Stromatolithen bezeichnet, sind Relikte mikrobieller Aktivität längst vergangener Tage (Abbildung 20). Auch heute findet man Blaualgen, die es ihren Ahnen gleich machen, wie dieser im Süßwasser lebende Organismus, *Rivularia* (Abbildung 21). Voraussetzung für das Wachstum des Algenstockes sind Biofilme. In den oberen Schichten dieser mikrobiellen Matten kommt es zu einer Steigerung der photosynthetischen Aktivität. Dadurch steigert sich auch der Einbau von Kohlendioxid und kommt es zur Fällung von Kalk. Die Struktur wächst.

5.3.2 Eukaryoten und Ozonschicht



Abbildung 22 Die sauerstoffreiche Atmosphäre bildet sich vor etwa 2,4 Milliarden Jahren



Abbildung 23 Die Entstehung der Eukaryoten eröffnete dem Leben neue Wege; im Bild Rana sp.



Abbildung 24 Die Ozonschicht schützt vor der UV-Strahlung der Sonne

Vor 2,4 Milliarden Jahren hatte sich durch die Photosynthese genug Sauerstoff in der Atmosphäre angereichert (Abbildung 22), dass die damaligen Mikroorganismen erstmals in der Lage waren, diesen für ihre Atmung zu verwenden. Diese Neuerung begünstigte die Entstehung der Eukaryoten, Organismen mit einem echten Zellkern. Ein Meilenstein in der Evolution des Lebens wurde gelegt. Die Vorfahren aller höheren Lebewesen wie Pilze, Tiere (Abbildung 23) und Pflanzen wurden geschaffen - ein Ereignis, welches auf 1,9 Milliarden Jahre vor unserer Zeit datiert wird. Vor etwa 1 Milliarde Jahren war die Sauerstoffsättigung der Atmosphäre so hoch, dass dieser mit der von der Sonne abgegebenen UV-Strahlung reagierte. Es bildete sich Ozon. Diese Interaktion zwischen Strahlung und Molekül veränderte die Erde bis heute. Eine schützende Gashölle, die Ozonschicht, umgibt den Erdball und hält die schädigende UV-Strahlung von der Erdoberfläche fern (Abbildung 24). Erstmals war es Lebewesen möglich, die Flachwasserbereiche der Urmeere und später auch das feste Land zu besiedeln. Neue Lebensräume entstanden.

5.3.3 Die Endosymbiontentheorie

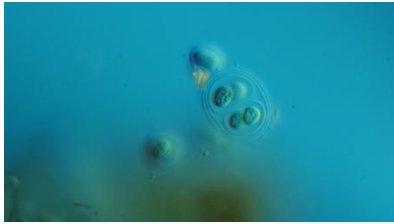


Abbildung 25 Cyanobakterien besiedeln viele verschiedene Lebensräume; im Bild *Gloeocapsa* sp. (Cyanobakterium)



Abbildung 26 Eine Amöbe versucht eine Grünalge zu umschließen

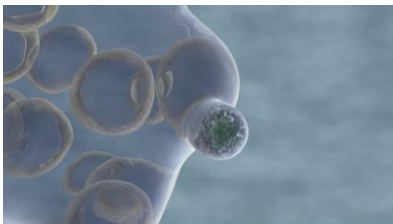


Abbildung 27 Durch die Aufnahme eines Cyanobakteriums entstand der erste Chloroplast

Während der Entwicklung der Eukaryoten kam es in den Gewässern der Urzeit zu einem Ereignis, welches die Welt von Grund auf ändern sollte. Schon damals galt in der Natur: „Fressen und gefressen werden“– aber heißt das auch getötet zu werden? Einer allgemein akzeptierten wissenschaftlichen Hypothese zufolge, der Endosymbiontentheorie, nahm ein urzeitlicher Einzeller, ein Cyanobakterium (Abbildung 25) auf, ähnlich wie hier im Bild diese Amöbe versucht Grünalgen zu umschließen (Abbildung 26). Doch was dann geschah war neu: Die aufgenommene Blaualge wurde nicht verdaut, sondern ein Teil von ihr lebte im Inneren des Einzellers weiter. Die Fähigkeit, aus Sonnenlicht Energie zu gewinnen, blieb erhalten, und versorgte ab diesem Zeitpunkt den ursprünglich räuberischen Organismus mit Energie (Abbildung 27). Die Entstehung des ersten Chloroplasten war abgeschlossen. Jenes Organells, in dem die Photosynthese stattfindet. Die erste Pflanze mit echtem Zellkern war geboren. Und diese Pflanze war eine Alge.

5.3.4 Definition Alge: vorgetragen von ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Michael Schagerl (Abbildungen 28 und 29)



Abbildung 28 ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Michael Schagerl beim Experten-Interview am Lunzer See.



Abbildung 29 ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Michael Schagerl beim Experten-Interview

Der Begriff Alge dient eher der Zuordnung auf ökologische Eigenschaften, als der Positionierung des Organismus in den systematischen Stammbaum des Lebens. Algen sind eine sehr unterschiedliche Gruppe von Organismen, die in ihrer Größe von mikroskopisch kleinen Einzelzellen bis hin zu riesigen Seetangwäldern variieren. Dass diese Organismen keine einheitliche Gruppe darstellen, wird schon alleine dadurch deutlich, dass ihnen Organismen mit und ohne echten Zellkern angehören, also Eu- und Prokaryoten. Im Allgemeinen handelt es sich bei Algen um photosynthetisch aktive Organismen, Lebewesen, die in der Lage sind, Lichtenergie in chemische Energie umzuwandeln, jedoch nicht in Wurzel, Stamm und Blatt gegliedert werden können.

5.3.5 Grünalgen

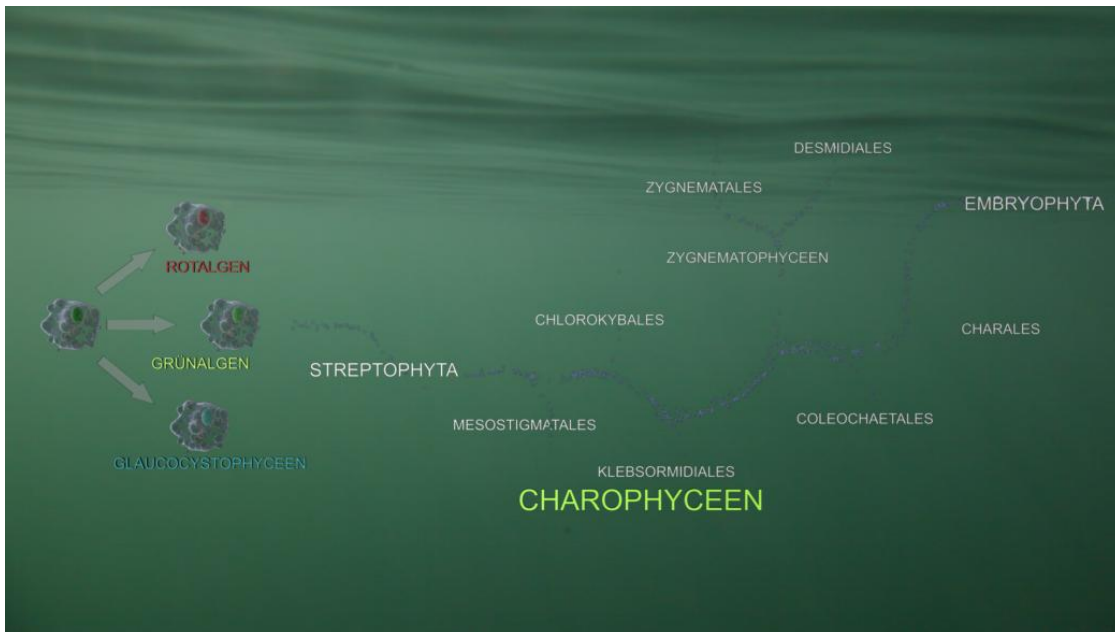


Abbildung 30 Stammbaumanimation der Charophyceen

Die Entstehung von Chloroplasten aus Blaualgen fand in der Natur mindestens drei Mal und unabhängig voneinander statt. Durch diese Verschmelzung entstanden die drei Hauptgruppen der Algen: Rotalgen, Glaucocystophyceen und Grünalgen, aus deren Evolutionslinien die Landpflanzen und somit die Welt, wie wir sie kennen, entstammen. Grünalgen bestechen durch ihre Schönheit, Perfektion im mikroskopischen Maßstab. Doch nur einem Ast des Stammbaums entspringen die unmittelbaren Vorfahren der Landpflanzen, die Charophyceen.

5.3.6 Mesostigmatales



Abbildung 31 Die Suche nach dem Vorfahren der Landpflanzen endete im Wald



Abbildung 32 *Mesostigma viridis*, der einzellige Vorfahre der Charophyceen



Abbildung 33 *Mesostigma viridis*, ein Einzeller mit kontraktile Vakuole

Es bestand die Annahme, dass sich die meisten vielzelligen Algengruppen von einem einzelligem, begeißelten Organismus ableiten. Nachdem durch die Entwicklung neuer molekularer Analyseverfahren der Stammbaumforschung neue Wege eröffnet wurden, begann die Suche nach dem einzelligen Vorfahren der Landpflanzen. Die bereits bekannten Charophyceen erwiesen sich als viel zu komplexe, mehrzellige Organismen. Teilweise besitzen sie sogar eine verzweigte Struktur und kommen daher nicht in Frage. Doch schließlich kam die Entdeckung: *Mesostigma viridis*, ein einzelliger Flagellat, der in den Regenpfützen des Waldes seine Nische gefunden hat, scheint nach heutigem Stand der Wissenschaft der gemeinsame Vorfahre aller Charophyceen und somit auch der, der Landpflanzen zu sein (Abbildung 31). *Mesostigma* ist eine kleine Grünalge, nicht einmal 1/40 mm groß. Verglichen mit anderen Arten der Charophyceen ein regelrechter Winzling

(Abbildung 32). Durch zwei Geißeln kann die Zelle aktiv schwimmen. Da im Inneren der Zelle eine höhere Konzentration gelöster Stoffe vorliegt, als im umgebenden Wasser, nehmen die meisten begeißelten Organismen passiv Wasser auf. Sie können sich nur vor dem Platzen schützen, indem sie aktiv Wasser abgeben. Viele Einzeller entwickelten dafür kontraktile Vakuolen. Mit dieser Organelle können Flagellaten überschüssiges Wasser ausstoßen (Abbildung 33).



Abbildung 34 *Euglena sp* mit auffällig gefärbtem Augenfleck

Im Laufe der Evolution entwickelten viele Algen die Fähigkeit auf Lichtreize reagieren zu können. Flagellaten besitzen hierfür eine manchmal mehr, manchmal weniger auffällig gefärbte Struktur, den Augenfleck (Abbildung 34). Der Augenfleck hat nichts mit einem echten Auge zu tun, ist aber wesentlich an der Bestimmung der Lichtrichtung beteiligt. Er liegt immer nahe einem farblosen Photorezeptor, dem eigentlichen lichtsensiblen „Auge der Zelle“, jener Struktur die für die unmittelbare Reaktion auf Lichtreize verantwortlich ist. Mit ihrem blass gefärbten Augenfleck ist *Mesostigma* in der Lage, einfallendes Licht wie ein Hohlspiegel zu reflektieren und dieses auf den Photorezeptor zu lenken. Da sich schwimmende Algen stets um ihre eigene Achse drehen, führt dies zu einem periodischen Wechselspiel zwischen Hell und Dunkel auf der Oberfläche der lichtsensiblen Struktur.

5.3.7 Chlorokybales



Abbildung 35 Auf dem Sandsteinobelisk in Schönbrunn wurde *Chlorokybus atmophyticus* das erste mal beschreiben

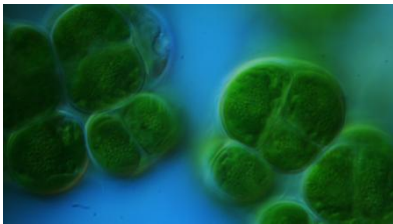


Abbildung 36 *Chlorokybus atmophyticus*, eine terrestrische Alge

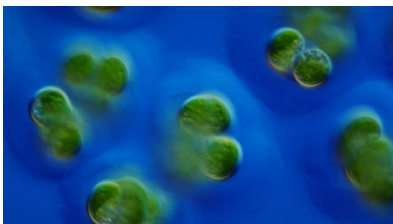


Abbildung 37 Die Schleimhülle von *Chlorokybus atmophyticus* dient dem Schutz vor Austrocknung

Der nächstverwandte Vertreter der Charophyceen führt uns ins historische Herz Österreichs. Schönbrunn: in den Sommermonaten Austragungsort kultureller Großereignisse, im Winter willkommenes Naherholungsgebiet. Im Unscheinbaren gelegen blieb sie lange Zeit unentdeckt, bis sie erstmals vom österreichischen Botaniker Lothar Geitler in den Wintermonaten des Jahres 1942 auf den Sandsteinen des Obeliskens (Abbildung 35) beschrieben wurde. *Chlorokybus atmophyticus* - nicht zuletzt ihrem ungewöhnlichen Lebensraum ist es zuzuschreiben, dass diese Alge lange Zeit den Phykologen verborgen blieb (Abbildung 36). Paradoxe Weise lebt diese Alge auf dem Festland, fernab des Wassers, wo sie mit Hilfe des Windes verbreitet wird. Ihr Vorkommen reicht bis in alpine Lagen, wo Trockenheit und Kälte selbst den hartnäckigsten Organismen alles abverlangen. Wasser fällt in den Wintermonaten als Schnee. In gefrorener Form bleibt es jedoch den Pflanzen verwehrt. Viele höhere Pflanzen reagieren darauf, indem sie ihr Laub abwerfen und ihren Stoffwechsel verlangsamen. Wie aber ist es einer kleinen Alge wie *Chlorokybus* möglich, inmitten dieser weißen Wüste auszuharren und sogar zu gedeihen? Das

Erfolgskonzept liegt in ihrer Organisation. Die rundliche Zelle wird von einer schützenden Schleimschicht umgeben (Abbildung 37). Die Substanz wird von der Alge selbst produziert und ausgeschieden. Sie sorgt dafür, dass viele Individuen zusammen in regelrechten Paketen eingebettet liegen. Diese Hülle ermöglicht es der Alge, den widrigen Bedingungen des Festlandes zu trotzen. Bei der Untersuchung dieser Schicht auf ihre Bestandteile, konnte Zellulose nachgewiesen werden. Diese chemische Verbindung verleiht der Zelle mechanische Festigkeit und bietet Schutz vor Austrocknung. Sie war Voraussetzung für den Landgang der Pflanzen. Zellulose tritt stammesgeschichtlich erstmals bei *Chlorokybus* auf.

5.3.8 Wo findet man Algen?

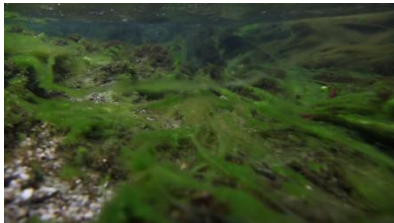


Abbildung 38 Fadenalgen im Fließgewässer



Abbildung 39 Algen überziehen oft flächendeckend den Gewässerboden



Abbildung 40 Blutschnee auf einem Schneefeld im Ötztal

Das Vorhandensein von Zellulose war jedoch für Algen keineswegs Bedingung für die Besiedelung neuer Lebensräume. Kaum eine andere Lebensform weist eine derartig hohe Verbreitung auf. Algen findet man beinahe überall. Sie eroberten nahezu jeden Flecken dieser Erde. Voraussetzung waren lediglich zwei Konstanten:

Sonnenlicht und Wasser – und auch davon reichen winzige Mengen. Man findet sie sowohl im Salz-, als auch im Süßwasser. Im See, wie im Bach (Abbildung 38). Sie überziehen den Boden der Gewässer (Abbildung 39), wachsen auf Pflanzen oder leben als Phytoplankton im Wasserkörper. Sie leben auf feuchter Erde, überrieselten Steinen, Baumstämmen. Selbst in den unwirtlichsten Landstrichen unseres Erdballs finden sich diese Überlebenskünstler. Auf den Gletschern und Schneefeldern der Alpen ereignet sich zur Zeit der Schneeschmelze ein alljährlich wiederkehrendes Spektakel (Abbildung 40). Blutschnee: so wird er im Volksmund genannt. Verursacht wird seine rote Färbung durch *Chlamydomonas nivalis*, einer Grünalge, die in den sonnendurchfluteten oberen Schichten des Schnees ihr Auskommen gefunden hat. Das auftreffende Licht sorgt zwar einerseits für das Schmelzen des Schnees und führt so zu einem konstanten Flüssigkeitsfilm, die starke UV-Strahlung dieser Höhen verursacht jedoch Schäden im Erbgut. Als Schutz lagern viele Algen rote Farbstoffe in ihre Zellen ein – Grünalgen können also auch knallrot sein.

5.3.9 Klebsormidiales



Abbildung 30 Baumalgen trotzen den harten Bedingungen des Festlandes



Abbildung 31 Die Fadenalge *Klebsormidium* sp.

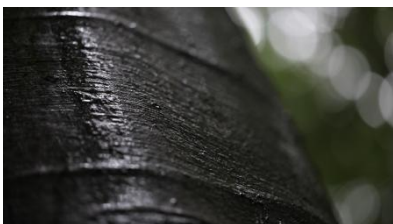


Abbildung 32 Auch auf dem Festland lebende Algen sind auf Wasser angewiesen

Aufgrund des reichhaltigen Angebotes an Lebensräumen überrascht es kaum, dass auch *Klebsormidium* (Abbildung 31) keineswegs direkt an Wasser gebunden ist. Es bildet die nächste Stufe im Stammbaum der Charophyteen, und gehört zur Gruppe der Baualgen. Baualgen sind in der Lage, selbst bei eisigen Temperaturen zu existieren, verfallen jedoch in ökologisch ungünstigen Zeiten in eine Art Ruhestadium (Abbildung 30). *Klebsormidium*, *Coccomyxa*, *Stichococcus* – ein buntes Bouquet unterschiedlichster Grünalgen besiedelt die Rinde ihrer im Vergleich kolossal wirkenden Nachfahren. *Klebsormidium* ist komplexer als *Chlorokybus*. Es ist kein Einzeller mehr, das heißt die Einzelzellen sind zu mehrzelligen Fäden verbunden. Die Gebilde können wieder in Einzelzellen zerfallen, die ihrerseits wieder zu wachsen beginnen – der Organismus vermehrt sich asexuell, das heißt die Nachkommen sind genetisch Klone der Mutterzelle. Die Algen werden häufig durch herabfließende Regentropfen verbreitet.

5.3.10 Zygnematophyceen



Abbildung 33 Jochbildung bei der Fadenalge *Spirogyra* sp.



Abbildung 34 *Mougeotia* sp., *Spirogyra* sp. und *Zygnema* sp. (von oben nach unten) - drei Vertreter der Zygnematales



Abbildung 35 Die beweglichen Chloroplasten bei *Mougeotia* sp.

Die nächste Gruppe der Charophyceen besitzt die Fähigkeit zur sexuellen Fortpflanzung. Jener Vorgang, den die terrestrische Pflanzenwelt in so vielfältiger und atemberaubender Form zur Schau stellt. Wir tauchen in eine Großgruppe der Charophyceen ein, die in ihren Formen und Lebensräumen nicht unterschiedlicher sein könnte – die Zygnematophyceen. Die Zygnematophyceen unterteilen sich in 2 Ordnungen: die fadenförmigen Jochalgen (Abbildung 34) und die aufgrund ihrer ästhetischen Schönheit benannten Zieralgen. Jochalgen erhielten ihren Namen aufgrund ihrer speziellen Art der Vermehrung. Bei dieser richten sich 2 Individuen gleicher Art parallel zueinander aus. Danach bilden sie eine Brücke, das namensgebende Joch (Abbildung 33). Über diese Verbindung werden die Zellinhalte der einen Zelle in den Innenraum der anderen transferiert, wo sie verschmelzen und die Befruchtung stattfindet. Jochalgen sind hauptsächlich Fadenalgen, es gibt aber auch einzellige Formen (Abbildung 36). Jeder kennt *Spirogyra* –zum Leidwesen der Badegäste bildet sie in den Sommermonaten schwimmende Algenmatten und trübt dabei für so manchen den Badespaß. Sie wächst dabei am Boden der Gewässer, bis sie ab einer gewissen Größe abreißt und zur Oberfläche treibt. Unter dem Mikroskop entfaltet diese Alge jedoch ihre wahre Schönheit. Ihr spiralig gewundener Chloroplast verläuft in der Peripherie der Zelle. Die Anzahl der Chloroplasten kann von einem bis zu vielen variieren. In der Mitte der Zelle liegt der Zellkern, der Träger (eines Teils) der Erbinformation, welcher mit Hilfe von Plasmafäden in Position gehalten und versorgt wird. Ein weiterer Vertreter der Jochalgen ist *Zygnema*. Im Inneren der Zelle liegen die sternförmigen Chloroplasten, die immer Paarweise vorkommen. Nicht weniger eindrucksvoll sind die beweglichen Chloroplasten von *Mougeotia*, einer Art, die mit eher sauren Gewässern vorliebnimmt (Abbildung 35). *Mougeotia* ist in der Lage, ihre Chloroplasten je nach Lichtintensität auszurichten. Bei zu starker Intensität dreht sie diese mit der schmalen Seite zur Lichtquelle, um die Oberfläche der bestrahlten Region zu verringern.

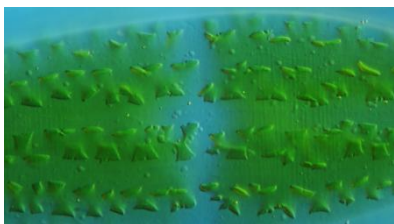


Abbildung 36 Die kunstvolle Struktur der Chloroplasten bei *Netrium sp.*

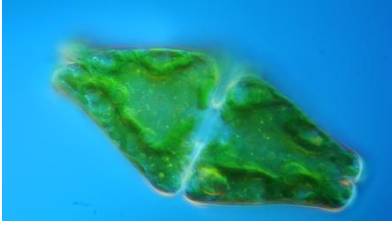


Abbildung 37 *Euastrum sp.* - ein Vertreter der Desmidiaceen

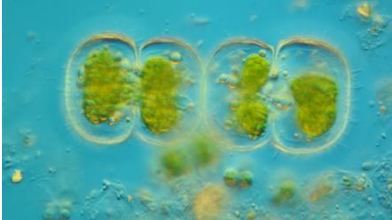


Abbildung 38 Die einzigartige Zellteilung der Desmidiaceen - im Bild *Cosmarium sp.* bei der Teilung

Die meisten Zierlagen sind ebenfalls Bewohner saurer Gewässer wie etwa Moore. Das Wasser ist aufgrund der vielen Huminstoffe braunrot, manchmal sogar schwarz gefärbt. Auf seinem Boden lebt ein winziger Schatz. Seit der Entwicklung der ersten Mikroskope faszinieren sie ihre Betrachter, ihre Schönheit spricht für sich. Spiegelgleich, wie von Zauberhand geschaffen (Abbildung 37). Eine Vielzahl an Arten gehören dieser Ordnung an, eine schöner als die andere. Zieralgen, oder wie Experten sie nennen: Desmidiaceen. *Kurze Information von ao. Univ.- Prof. Mag. Dr. Michael Schagerl zu dieser Ordnung.*

Zieralgen zeichnen sich durch ihre symmetrischen Halbzellen aus. Es gibt Arten, die in ihrer Mitte eine eindeutige Einschnürung, den Sinus, aufweisen (Abbildung 39). Anderen fehlt dieses Merkmal. Die Verbindung der beiden Halbzellen wird als Isthmus bezeichnet und trägt den Zellkern. Häufig ist die Zellwand kunstvoll strukturiert und mit Poren durchsetzt (Abbildung 40). Diese Poren dienen der Abgabe von Schleim, der durch diese Öffnungen ausgestoßen wird und der Fortbewegung dient. Durch diesen mikroskopischen Düsenantrieb sind Zieralgen in der Lage, aktiv Bewegungen auszuführen und in Richtung des Lichtes zu wandern.



Abbildung 39 Der Isthmus verbindet die beiden Halbzellen, als Sinus wird die Einschnürung bezeichnet

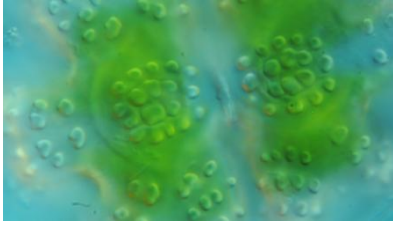


Abbildung 40 Viele Desmidiaceen besitzen Zellwände mit Strukturen und Ornamentierungen

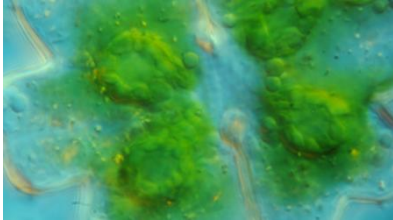


Abbildung 41 Die Pyrenoide - nur Hornmoose und Algen besitzen diese Strukturen

Ein Vorteil für Organismen des Gewässerbodens, da Aufwirbelungen des Untergrundes die Bedingungen unter Wasser schnell ändern können. Im Inneren des Chloroplasten erkennt man große runde Strukturen, die Pyrenoide (Abbildung 41). Pyrenoide finden sich nur bei Algen und Hornmoosen. Sie sind der Bildungsort von Rubisco, dem häufigste Enzym der Erde und elementarer Bestandteil der Photosynthese. Ein weiteres Faszinosum birgt die spezielle Form der Zellteilung mancher Zieralgen. Der Isthmus, die Verbindung der beiden Halbzellen, verlängert sich. Danach bilden sich aus der ursprünglichen Verbindung die fehlenden Halbzellen (Abbildung 38). Ist die Halbzelle fertig, trennen sich die 2 vollentwickelten Organismen voneinander. Im Bild sieht man verschiedene Arten in unterschiedlich weit fortgeschrittenen Teilungsstadien.

5.3.11 Coleochaetales

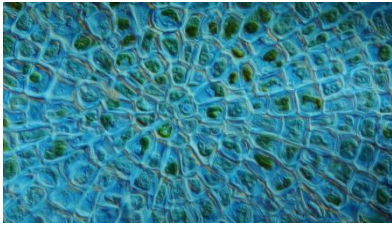


Abbildung 42 Scheibenform bei *Coleochaete* sp.

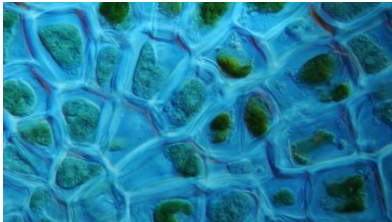


Abbildung 43 Die Alge *Coleochaete* sp. zeigt viele Verzweigungen, die einzelnen Zellen sind über Brücken miteinander verbunden

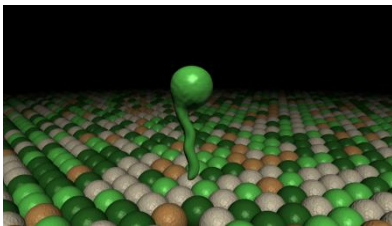


Abbildung 44 Chlorophyll - das Blattgrün besitzen neben Landpflanzen auch die Grünalgen

Die nächste Stufe im Stammbaum der Charophyceen bildet die Klasse Coleochaetales. *Coleochaete* ist mit ihrer scheibenförmigen Struktur deutlich größer als andere Vertreter der Grünalgen (Abbildung 24). Spinnennetzartig sind die Zellen aneinander gereiht. Sie stehen über Brücken, die sogenannten Plasmodesmen, miteinander in Verbindung ((Abbildung 43). Diese zelluläre Errungenschaft war Voraussetzung für die Bildung von hochorganisierten Geweben, wie sie bei den heutigen Landpflanzen anzutreffen sind. Die Zellen sind dadurch in der Lage, mit benachbarten Zellregionen zu interagieren. Grünalgen charakterisieren sich durch ihr Giftgrün. Die Farbe verdanken sie dabei einem speziellen, lichtabsorbierenden Pigment, dem Blattgrün oder Chlorophyll (Abbildung 44). In der Pflanzenwelt gibt es verschiedenste chemische Verbindungen, die zu einer Farbgebung führen. Jedoch nur bei Grünalgen und ihren Nachfahren, den Landpflanzen, findet sich eine Kombination aus Chlorophyll a und b. Eine kleine Abänderung in der chemischen Struktur dieser Verbindung ermöglicht es, die verschiedenen Wellenbereiche des Sonnenlichtes besser nutzen zu können. Auch *Coleochaete* besitzt diese Farbstoffe.

Neu ist jedoch deren Organisation innerhalb des Chloroplasten. Erstmals zeigt die Ultrastruktur dieses Organells eine äußerst komplexe Anordnung der Thylakoide, der Träger der Farbpigmente. Die Thylakoide sind dabei in Stapel geschichtet. Eine ähnlich komplexe Organisation findet sich nur bei höher entwickelten Algen und den heutigen Landpflanzen. *Coleochaete* zählt zu den periphytischen Algen. Diese Organismen leben häufig auf der Oberfläche anderer Wasserpflanzen. Die Blattunterseite der großen Teichrosen bietet ausreichend Platz. Auch die im Wasser liegenden Teile des Schilfs bieten einen guten Lebensraum.

5.3.12 Ökologische Bedeutung von Algen



Abbildung 45 Manche Arten der Glockentierchen beherbergen endosymbiotische Grünalgen



Abbildung 46 Flechten - eine Symbiose zwischen Algen und Pilzen

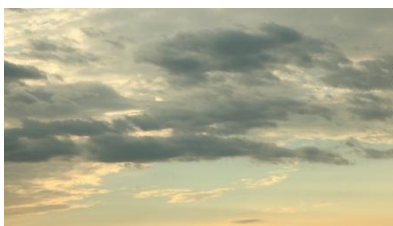


Abbildung 47 Algen produzieren nahezu 50 % des irdischen Sauerstoffs

Obwohl Algen meist erst unter dem Mikroskop sichtbar werden, sind sie von enormer ökologischer Bedeutung. Nicht die Größe, sondern ihre Menge ist entscheidend. Algen bilden die Basis der Nahrungskette. Sie versorgen andere Lebewesen mit Produkten der Photosynthese, die sie in die umliegende Umgebung absondern. Algen stehen am Speiseplan einer Vielzahl unterschiedlichster Organismen, von

einzelligen Strudlern und Filtrieren bis hin zu Insekten, Vögeln – ja sogar auf dem des Menschen. Über Jahrmillionen hinweg bildete sich ein feinstrukturiertes, hochsensibles Nahrungsnetz. Bei manchen Lebewesen dient diese pflanzliche Kost nicht nur der Nahrung (Abbildung 45). Die aufgenommene Alge überlebt im Inneren des Wirts und versorgt diesen mit Nährstoffen in Form von Zucker. Andere Organismen leben in noch dichter Gemeinschaft – in einer Symbiose. Flechten, ein Zusammenleben von Algen und Pilzen, sind jedem bekannt (Abbildung 46).

Algen zählen zu den wichtigsten Primärproduzenten unseres Planeten. Sie erzeugen nahezu 50 % des irdischen Sauerstoffs (Abbildung 47). Demnach wird jeder zweite Atemzug durch die photosynthetische Aktivität dieser Mikroorganismen gewährleistet. Im Rahmen der Photosynthese kommt es zum Einbau von Kohlenstoff. Dieser stammt aus der Luft, oder wird in gelöster Form dem Wasser entzogen. Durch ihre Menge sind Algen wesentlich an der globalen Kohlenstofffixierung beteiligt. Sie übernehmen eine Schlüsselfunktion bei der Aufrechterhaltung des Weltklimas.

5.3.12 Charales



Abbildung 48 Vertreter der Charales besiedeln häufig flächendeckend den Gewässerboden



Abbildung 49 Die auffällig gefärbten männlichen Antheridien entlassen zur Reife tausende begeißelte Samenzellen



Abbildung 50 Das weibliche Oogonium enthält nur ein einzige Ei

Algen finden sich in den verschiedensten Gewässertypen – so auch im kalkhaltigen Wasser des Lunzer Sees. Die chemische Beschaffenheit des Wassers bedingt bei manchen Algen die Fällung von Kalk als Nebenprodukt der Photosynthese.

Es handelt sich dabei um Vertreter der Klasse Charales, Armleuchteralgen, der letzten Stufe der Charophyceen. Häufig sind diese Algen mit winzigen Calzit-Kristallen überzogen. Sie sind seit vielen Millionen Jahren und auch noch heute die Hauptsedimentbildner der meisten Süßwasserseen. Armleuchteralgen treten teilweise in großen Mengen auf, und überziehen dabei großflächig den Gewässerboden (Abbildung 48). Ihren Namen erhielten sie durch ihr Aussehen - sie erinnern an Kerzenständer. Mit einer Wuchshöhe von über einem Meter sind sie größten und am komplexesten gebauten Vertreter der Charophyceen. Ihr vegetativer Körper weist wirtelige Verästelungen auf ähnlich denen von landlebenden Schachtelhalmen. Sie besitzen riesige, teilweise mehrere Zentimeter große Zellen. Innerhalb dieser kann man die Bewegung der Organellen erkennen. Die genaue Funktion dieser Cytoplasmaströmung ist noch unklar. Es wird angenommen, dass sie den Transport von Nährstoffen zwischen den einzelnen großen Zellen erleichtert. Die Algen der Klasse Charales besitzen eine spezielle Form der sexuellen Fortpflanzung. Diese als Oogamie bezeichnete Form der Vermehrung ist einzigartig bei allen Grünalgen. Es entwickeln sich zwei verschiedene Gametangien - Behältnisse, in denen sich die weiblichen und männlichen Geschlechtszellen entwickeln. Beiden gemein ist ihre schützende Hülle. Die männlichen Gametangien sind von runder Gestalt und zu ihrer Reife knallorange gefärbt (Abbildung 49). Sie sind häufig mit bloßem Auge sichtbar. In ihnen entwickeln sich tausende begeißelte Spermazellen, die ins umgebende Wasser freigegeben werden. Im Unterschied dazu beherbergen die weiblichen Strukturen nur ein einziges, unbewegliches Ei (Abbildung 50). Die weibliche Eizelle wird durch die begeißelte Spermazelle befruchtet. Diese Art der Vermehrung zeigt das hohe Entwicklungsstadium und die Komplexität dieser Algenklasse. Die Charales bilden den Höhepunkt im Stammbaum der Charophyceen.

5.4 Schluss:

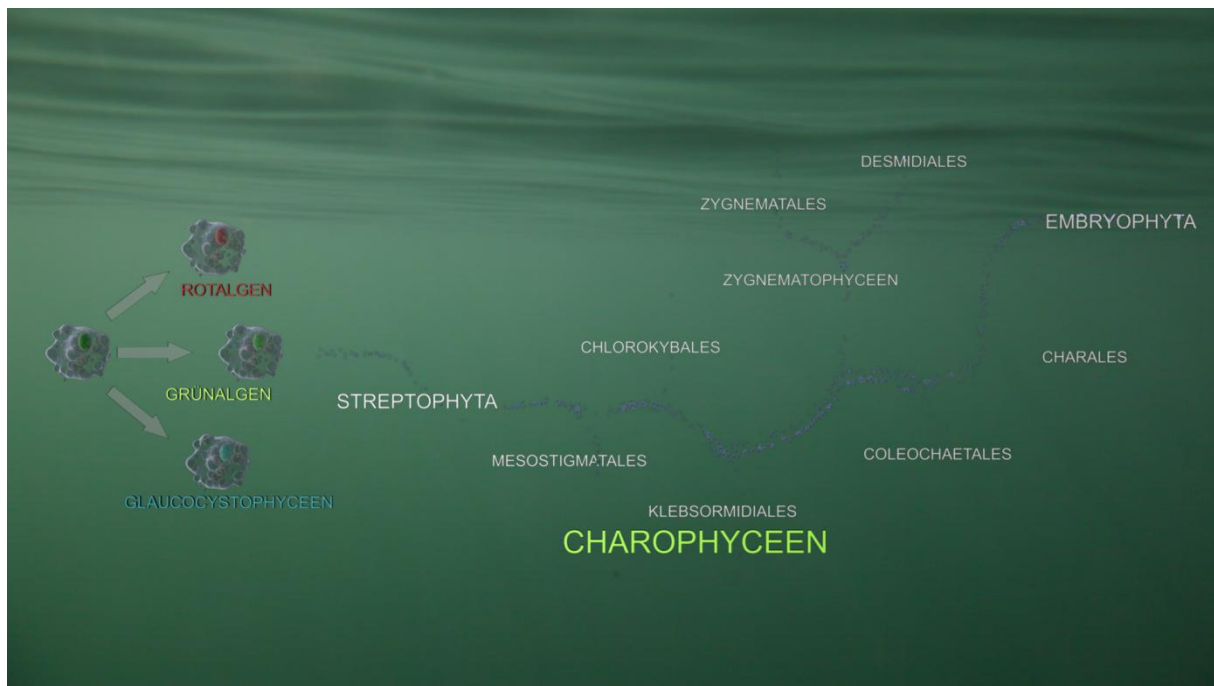


Abbildung 51 Stammbaum der Streptophyta (Charophyceen und Landpflanzen zusammengefasst)

Vor vielen Millionen Jahren schafften die ersten Pflanzen den Sprung an Land. Die Besiedelung des Festlandes durch moosähnliche Algen war ein fundamentaler Schritt in der Evolution. Sie war der Startschuss eines 470 Millionen Jahre andauernden Kampfes ums Überleben - an dessen Ende die faszinierende Schönheit der heutigen Pflanzenwelt steht. Dennoch bleibt das Rätsel um den direkten Vorfahren der Landpflanzen nach wie vor bestehen (Abbildung 51). Je nach Art der Untersuchung erhielt man bisher unterschiedliche Kandidaten. Molekularbiologische Auswertungen favorisieren nach heutigem Stand des Wissens die Fadenalge *Spirogyra*. Doch ob *Spirogyra* wirklich das langgesuchte Bindeglied zwischen Algen und Landpflanzen bildet, wird die Zukunft zeigen. Es wäre nicht zum ersten Mal, dass die Natur für die Wissenschaft eine Überraschung bereit hält.

6. Diskussion

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde das Ziel gesetzt, einen Lehrfilm zu gestalten, der in erster Linie möglichst viel Wissen in verhältnismäßig einfacher Form bietet. Mit Hilfe attraktiver Bilder wurde versucht, Interesse für die gezeigten Organismen und deren Umwelt zu erwecken. Der Einsatz moderner Medien im Unterricht unterstützt dabei, eine breitere Masse an Schülern und Studenten zu erreichen und so mehr Umweltbewusstsein zu vermitteln. Da nicht davon ausgegangen werden konnte, dass der Betrachter ein Vorwissen im Bereich der Algenkunde (Phykologie) besitzt, wurde versucht, unkomplizierte Sprache mit einfachem Satzbau zu verwenden. Im Großteil des Films wurde auf die Verwendung von Fachterminologie verzichtet, um nicht vom Wesentlichen abzulenken. Wo es nicht möglich war, Begriffe zu umschreiben, wurde versucht, diese ausreichend und verständlich zu erklären. Der Film ist entsprechend dem evolutionären Weg der Pflanzen (von ihrer Entstehung bis zu ihrem Landgang) gegliedert. Dabei wurde versucht, langsam in den Film einzusteigen und das Tempo des Informationsflusses in geringen Dosen zu erhöhen. Der Film weicht zweimal vom Kernthema ab, um die allgemeine wichtige Rolle der Algen im Ökosystem hervorzuheben.

6.1 Film

Die Gegenwart ist charakterisiert von einer rasanten Informationsflut mittels moderner Kommunikationsmittel. Die optische Aufbereitung wird dabei immer mehr gewichtet. Ziel des Films war es, möglichst viel Information so zu verpacken, dass diese leicht aufgenommen werden konnte. Nach dem Prinzip "das Auge nascht mit" wurde versucht, den jeweiligen Organismus so gut und schön als möglich zu dokumentieren. Die Kombination einfacher Sprache mit attraktiven Bildern erleichtert die Aufnahme des Lehrstoffes.

6.1.1 Trailer

Bei der Analyse moderner kommerzieller Dokumentationen und Lehrfilme (Produktionen von BBC, Arte) fiel auf, dass am Beginn des Films meistens eine Art

Trailer gezeigt wurde. Auch in der vorliegenden Arbeit wurde dies beibehalten. Es wurde versucht, den Inhalt des Filmes in wenigen Sätzen zusammenzufassen. Schon zu Beginn der Planung des Films wurde eine Maximallänge von einer Minute festgelegt. Bei der Wahl der Bilder fiel die Entscheidung auf Sequenzen in der Totalen. Detailaufnahmen würden im Vorspann nur wenig bis keine Zeit finden, um ausreichend aufgelöst und erklärt zu werden.

6.1.2 Einleitung

Da davon ausgegangen wurde musste, dass relativ wenig Vorwissen zum Thema Charophyceen bzw. überhaupt zu Algen vorliegt, war es wichtig die gegebene Information zu dosieren. Das Tempo war dabei entscheidend. Aus diesem Grund wurde dieses in den ersten Minuten des Films langsam gewählt. Der Anteil an neuer Information wurde gering gehalten. Es wurde versucht, langsam in den Film, in die Thematik einzusteigen. Die Motive der Einleitung wurden dabei nach den Kriterien der Formenvielfalt und Heterogenität sowie nach deren Dokumentierbarkeit ausgewählt. Auch Einblicke in den Mikrokosmos wurden gegeben.

6.1.3 Hauptteil

a) Cyanobakterien und oxygene Photosynthese

Mit der Entstehung der sauerstoffproduzierenden Photosynthese beginnt der Hauptteil des Filmes. Um dem Betrachter auch eine bildliche Vorstellung dieser Mikroorganismen zu geben, wurden im Film verschieden rezente Blaualgen unterschiedlicher Standorte gezeigt. Da es diesem Abschnitt um die Aktivität dieser Organismen ging, kamen bei der Dokumentation Zeitrafferaufnahmen zum Einsatz. Da diese Aktivität von Cyanobakterien in manchen Fällen zu Bildung von biogenen Gesteinen führte und eine ähnliche Form der Kalkbildung auch bei Charales zu finden war, wurde auf diese näher eingegangen. Da das Vorkommen rezenter Stromatolithen weit außerhalb einer vernünftigen Reichweite lag, wählte man zur Dokumentation ein Fossil und einen Vertreter des Süßwassers. Diese Kalkstrukturen

waren zwar kleiner als die der Meeresbewohner, eigneten sich aber trotzdem sehr gut. Der Organismus *Rivularia* wurde in verschiedenen Perspektiven gezeigt um einen Größenvergleich mit seiner Umwelt zuzulassen.

b) Eukaryoten und Ozonschicht

Zur Veranschaulichung der Sauerstoffsättigung der Atmosphäre wurden Zeitrafferaufnahmen von Wolken eingesetzt. Um sich ein Bild vom Begriff der ersten Eukaryoten zu machen, wurden im Film verschieden Protozoen und andere Mikroorganismen gezeigt. Da die Bildung der Ozonschicht von grundlegender Bedeutung für den Werdegang des Lebens und somit auch der Pflanzen war, musste dieses Thema behandelt werden. Dabei wurde eine Animation eingesetzt. In dieser wurde die starke Strahlung der Sonne und der Schutz vor dieser durch die Ozonschicht grafisch veranschaulicht.

c) Endosymbiontentheorie

Die Entwicklung der Chloroplasten war ein fundamentaler Schritt in der Evolution der Pflanzen und musste daher auch Teil des Film sein. Da der Chloroplast durch Nahrungsaufnahme eines wahrscheinlich einzelligen Cyanobakteriums entstand, wurden auch in diesem Abschnitt einzellige Blaualgen gezeigt. Um naturgetreue Bilder dieses Vorgangs zu zeigen, wurden dabei verschiedenste Amöben abgefilmt. Die Entstehung der Chloroplasten aus Einzellern wurde zum besseren Verständnis mit einer Animation grafisch unterstützt.

d) Definition Alge

Bevor näher auf den Stammbaum eingegangen wurde, musste zuvor der Begriff Alge genau erklärt werden. Es bot sich an, den Begriff von einem Experten im Rahmen eines Interviews definieren zu lassen. Um eine Assoziation mit dem Lebensraum herzustellen, wurde als Drehort der Lunzer See (in Niederösterreich) gewählt. Die verschieden Kameraperspektiven sollten das Interview lebendig erscheinen lassen.

e) Grünalgen

Die Verwandtschaftsverhältnisse der Grünalgen bzw. der Charophyceen im speziellen nur verbal zu erklären, erschien aufgrund der Komplexität dieses Sachverhalts als nicht zielführend. Daher wurde zum besseren Verständnis und zur optischen Unterstützung eine Animation eingesetzt. Bei jedem Wechsel der Charophyceenvertreter wird diese eingeblendet, um dem Stammbaum und der jeweiligen Position innerhalb dieses, besser folgen zu können. Um die Aufmerksamkeit auf die wesentlichen Innovationen der Evolution zu richten, scheinen diese zusätzlich im Stammbaum auf.

f) Mesostigmatales

Mesostigma war der einzige Flagellat der Charophyceen. Daurch ergab sich das Problem, dass es zwar sehr viel Information zu vermitteln gab, aber nur begrenzt Zeit, um diese unterzubringen. Zusätzlich zur Rolle innerhalb der Charophyceen sollten die allgemeinen morphologischen Eigenheiten begeißelter Organismen erklärt werden. Der Schwerpunkt der Entscheidung fiel dabei auf die Fähigkeit der aktiven, gezielten Bewegung. Da *Mesostigma viridis* nur einen blassen Augenfleck besitzt, wurden verschieden Algen mit Augenfleck gezeigt. Erstens sollte dadurch gezeigt werden, dass diese Struktur unterschiedlich stark gefärbt sein kann. Zweitens, dass es verschiedene Algen mit Augenfleck gibt. Die Kontraktile Vakuole wurde nur beiläufig erklärt. Die Dokumentation der beschuppten, äußern Oberfläche wäre nur durch TEM-Bilder möglich gewesen. Generell war es relativ schwierig, schöne Bilder von *Mesostigma viridis* zu bekommen. Die Dokumentation von beweglichen Flagellaten bei starker Vergrößerung (40-fach und 100-fach Optiken) gestaltete sich allzu oft als Glücks- und Geduldsspiel.

g) Chlorokybales

Die Überleitung zum Schloss Schönbrunn wurde gewählt, um die interessante Information der Erstbeschreibung besser inkludieren zu können. Die Bilder des verschneiten Parks sollten einerseits die Bedingungen der Erstbeschreibung nachstellen, andererseits sollten sie die Resistenz gegenüber Kälte und Trockenheit

verdeutlichen. Die stammesgeschichtliche Errungenschaft der Zellulose konnte mit einer grafischen Darstellung der chemischen Struktur dieser Verbindung besser erklärt werden.

h) Wo findet man Algen?

Dieses Kapitel fand aus mehreren Gründen seinen Platz an dieser Stelle im Lehrfilm. Einerseits konnte hier leicht eine Verbindung zwischen Chlorokybales und Klebsormidiales hergestellt werden. Zweitens erklärt es, warum zwei der besprochenen Algen auf dem Festland zu finden sind, was bei Laien ohne Vorkenntnisse zu Verwirrung führen könnte, verbindet man Algen doch generell mit Wasser. Zu Beginn der Planung wurde besprochen, dass sich der Film in 3 Überthemen gliedert. Eines davon war der Lebensraum. Daher kam diesem Thema im Film ein eigener Abschnitt zu. Der Lebensraum jeder einzelnen Alge wurde daher im jeweiligen Abschnitt der Organismus kurz gehalten. Es wurde versucht, die einzelnen Lebensräume attraktiv zu dokumentieren. Dabei wurde auf Tageszeit und Licht geachtet. Einer Kuriosität, dem Blutschnee, wurde dabei erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Mikroskopische Bilder von *Chlamydomonas nivalis* waren leider nicht möglich. Um zu zeigen, dass Grünalgen rote Farbstoffe einlagern können, wurde ein Bild von *Haematococcus sp.* gezeigt. Generell sollten die Bilder dieses Abschnittes zeigen, dass Algen nahezu überall zu finden sind.

i) Klebsormidiales

Dieser und der vorherige Abschnitt wurden bewusst einfach gehalten. Der Grund dafür lag in der Komplexität des nachfolgenden Abschnittes, der Zygnematophyceen. Im Kapitel Klebsormidiales sollte gezeigt werden, dass dieser Organismus in der Lage ist, den harten Bedingungen an Festland zu trotzen. Mikroskopische Aufnahmen sollten die zunehmende Komplexität der dargestellten Organismen bebildern. Durch Zeitrafferaufnahmen konnte das rege Innenleben der Zellen, wie zum Beispiel die Bewegung der Chloroplasten demonstriert werden. Wie bei allen anderen gezeigten Algen wurden auch hier Bilder mit unterschiedlicher Vergrößerung gemacht, was das anschließende Arrangieren der Clips im Schnittfenster sehr

erleichterte. Es wurde gezeigt, dass die beiden terrestrischen Vertreter der Charophyceen keineswegs die einzigen Algen an Land sind. Durch die Einbindung des Regens sollte auf die Notwendigkeit von Wasser, wenn auch nur in geringsten Mengen, hingewiesen werden.

j) Zygnematophyceen

Aufgrund ihrer leichten Antreffbarkeit wurde *Spirogyra sp.* als Hauptobjekt der Zygnematales gewählt. *Zygnema sp.* und *Mougeotia sp.* wurden aufgrund des zweiten Überthemas, der Diversität, im Film eingebaut. Die beweglichen Chloroplasten von *Mougeotia sp.* eigneten sich gut dafür, die Reaktionsfähigkeit mancher Mikroorganismen auf sich verändernde Lichtverhältnisse zu dokumentieren. Da *Mougeotia sp.* ebenfalls bevorzugt in sauren Gewässern anzutreffen ist, wurde sie als letzter Vertreter der Charophyceen gewählt. Dadurch war ein Übergang zu den Desmidiaceen möglich, die bevorzugt in sauren Moorgewässern leben. Bei den Zieralgen stand deren Schönheit und Formenvielfalt im Mittelpunkt der Dreharbeiten. Dabei wurden möglichst viele Gattungen gefilmt, die zuvor im Freiland aufgesammelt wurden. Das Ziel, die spezielle Art der Zellteilung der Zieralgen in einer Sequenz zu dokumentieren, konnte aus bereits erwähnten Gründen nicht erfüllt werden. Da sie aber von Beginn an geplant war, wurde dieser Vorgang mittels Animation dargestellt.

k) Coleochaetales

Das Dokumentationsmaterial musste bei dieser Klasse aus dem Freiland gewonnen werden. Die Entnahme guter Proben mit einwandfreien Individuen war nicht möglich. Da es sich um aufwachsende Organismen handelte, wurde diese durch die Präparation mittels Rasierklinge leicht beschädigt. Dennoch konnte die weit fortgeschrittene Komplexität dieser Algenordnung gut dargestellt werden. Bei Coleochaetales sind die Thylakoide der Chloroplasten wie bei höheren Pflanzen in Grana gestapelt. Auch die chemische Struktur des Chlorophylls konnte mit Hilfe des Computers grafisch erklärt werden.

l) Ökologische Bedeutung der Algen

Da den Algen aus ökologischer Sicht enorme Bedeutung zukommt, wurde dieser Thematik ein eigener Abschnitt gewidmet. Zu Beginn des Schnittes war die Position noch unsicher, an welcher dieses Kapitel im Film stehen würde. Da die Klasse Charales zu den wichtigsten Sedimentbildnern in Süßwassersenn zählen, bot sich eine Stelle vor oder hinter diesen Algen an. Der Film schildert den evolutionären Werdegang der Charophyceen. Beginnend bei der Entwicklung aus Cyanobakterien bis hin zu den höchstentwickelten Vertretern. Es erschien verwirrend, nach Behandlung der letzten Charophyceenordnung, dem eigentlichen Ende des Film, noch ein weiteres Kapitel der Ökologie anzuhängen. Daher fiel die Wahl auf den Platz zwischen Coleochaetales und Charales. Auch wenn die Positionsfindung dieses Abschnittes kompliziert war, gab es keinen Grund es wegzulassen. Zu wichtig war der Inhalt. Da dem Film zeitliche Grenzen gesetzt waren, wurde dieses Kapitel überblicksmäßig gestaltet. In wenigen Sätzen wurden die wichtigsten Fakten möglichst einprägsam formuliert. Es wurde jeweils darauf geachtet, die Information mit einem Bild, einem optische Eindruck zu kombinieren. Dadurch erhoffte man sich einen besseren Lernerfolg.

m) Charales

Die Dokumentation dieser Alge war etwas kompliziert. Ihre Strukturen waren zu klein für Fotokameraobjektive und zu groß für die hochwertigen Optiken des Univar Reichert Mikroskops (40-fach und 100-fach Optiken). Da sich die Arten ihrer Größe und auch der Stärke ihrer Strukturen unterschieden, konnte nach einer Zeit des Suchens ein für die Dokumentation passender Organismus gefunden werden. Die Klasse der Charales wurde bei mikroskopischen Aufnahmen größtenteils im Dunkelfeld abgefilmt. Die Plasmaströmung und die auf der Oberfläche sitzenden Calcit- Kristalle konnte mit dieser Methode gut sichtbar gemacht werden. Die Gametangien wurden nicht bei voller Reife dokumentiert. Die männlichen Samenzellen der knallorange gefärbten Antheridien waren daher nicht lebendig. Durch Quetschen (leichtes Drücken des Deckglases mit einer Präpariernadel) konnten die Spermien aus dem Samenbehälter gepresst werden.

6.1.4 Schluss

Der Schluss des Films kommt ohne große Überraschung. Die immer wiederkehrende Animation des Stammbaumes gibt laufend Auskunft über die Position im Film. Der Schluss wurde von der Thematik selbst vorgegeben. Nach wie vor ist nicht zu hundert Prozent geklärt, wer schlussendlich wirklich der nächste Verwandte zu den Landpflanzen ist. Das Ende bleibt offen und lässt Raum für Diskussionen.

6.2 Technik

6.2.1 Video

a) Außenaufnahmen & Kameras

Die gesamten Außenaufnahmen wurden mittels der Videofunktion der digitalen Spiegelreflexkameras gedreht. Für die Qualität der Bilder war dies von großem Vorteil, da eine Auswahl teilweise sehr guter Objektive zur Verfügung stand. Generell war die Videoqualität im HDTV-Format 1920:1080 ziemlich gut. Ein Vorteil war ebenfalls das geringe Gewicht verglichen mit professionellen Videokameras mit gleicher Bildqualität.

b) Licht

Grundvoraussetzung für gefilmte Außenaufnahmen in guter Bildqualität war genügend Licht. Die Kameras besitzen im Filmmodus eine automatische Grenze der Belichtungszeit. Dadurch ergab sich bei schlechten Lichtverhältnissen das Problem der Unterbelichtung. Das Erhöhen der Blende (kleine Blendenzahl) konnte das Ergebnis teilweise verbessern - die logische Konsequenz war der Verlust der Tiefenschärfe, was sich bei Detailaufnahmen beweglicher Objekte als problematisch erwies. Das Erhöhen des ISO-Wertes über 400 war meistens mit Einbußen der Videoqualität verbunden. Die Beleuchtung mittels Reflektors erzeugte häufig recht gute Ergebnisse, der warme Farbton des reflektierten Lichtes verbesserte die

Qualität des ansonsten unterbelichteten Bildes kenntlich. Dennoch musste nur allzu oft auf bessere Lichtverhältnisse gewartet werden.

c) Zeitrafferaufnahmen

Zeitraffer waren ein gutes Mittel, um die schlechten Lichtverhältnisse bei manchen Außenaufnahmen zu kompensieren. Da im Film eine Sekunde aus 25 frames (25 Bildern) besteht, konnten Prozesse die mehrere Stunden andauern und dem Auge normalerweise verborgen bleiben, mittels Zeitraffung gekürzt dargestellt werden. Wichtig dafür war die Wahl des passenden Fotointervalls. Da im Fotomodus auch lange Belichtungszeiten mit kleiner Blende (hohe Blendenzahl) möglich sind, war wenig Licht bei dieser Methode kein Problem. Ein weiterer Vorteil war die Möglichkeit, die Qualität der Bilder durch anschließende Nachbearbeitung zu verbessern. Ein großer Nachteil von Zeitrafferaufnahmen sind die riesigen Datenmengen und die damit verbundenen langen Rechenzeiten des Computers. Zeitrafferaufnahmen eignen sich gut um Stimmungen einzufangen, sind aber weitaus zeitaufwendiger als normale Aufnahmen. Oft funktionierte es nicht beim ersten mal, und es waren mehrere Versuche nötig. Bei starkem Wind empfahl es sich, das Stativ mit einem Spanngurt zu sichern.

d) Schwenks und Bilder von der Hand

Auch Schwenks eignen sich gut für den anschließenden Schnitt. Das Tempo war dabei entscheidend und wurde meistens langsam gewählt. Die besten Ergebnisse wurden bei vertikalen Schwenks erzielt. Dabei arbeiteten das Gewicht der Kameraoptik und die Schwerkraft zusammen. Mit der richtigen Arretierung am Stativkopf des Manfrotto-Schwenkstatives konnten dadurch relativ gleichmäßige Schwenks erzielt werden. Wirklich gute horizontale Schwenks sind mit diesem Stativ nur bei wiederholten Versuchen möglich, aber machbar.

e) Schienenfahrten

Bei der Analyse professioneller Lehrfilme und Naturdokumentationen fiel auf, dass nur ein geringer Anteil auf ruhige, stehende Sequenzen fällt. Die meisten Bilder

waren bewegt. Der Einsatz einer selbstgebauten Kameraschiene mit verstellbarem Stativkopf funktionierte für diese Zwecke erstaunlich gut, die Fahrten mussten lediglich öfter wiederholt werden. Nach wenigen Versuchen wurde ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt. Ein weiterer Vorteil dieser Schiene war ihre leichte Konstruktion. Diese ermöglichte den Transport auch in unwegsames Gelände. Im Makrobereich wurden dieser Eigenkonstruktion Grenzen gesetzt. Die Bilder wurden zu verwackelt und unbrauchbar. Auch bei Fahrten mit aufgesetzter Normaloptik waren die Aufnahmen mit geringer Brennweite eindeutig am ruhigsten. Im Makrobereich erzielte man häufig besser Ergebnisse, wenn nicht die Kamera, sondern das Objekt bewegt wurde.

f) Mikroskopische Aufnahmen

Alle mikroskopischen Aufnahmen wurden auf einem Reichert Univar Forschungs-Mikroskop gemacht. Die Vorteile dieses Mikroskops überwiegen, im Vergleich zur verhältnismäßig schwierigen Handhabung des Gerätes. Die Bilder mit 4-fach, 10-fach und 25-fach Optiken waren von mittelmäßiger Qualität und fanden im Film daher nur sehr begrenzt Verwendung. Die Bilder der Optiken höherer Apertur hingegen waren von ausgezeichneter Qualität. Durch die Möglichkeit der optischen Nachvergrößerung (1,6 fach und 2,5 fach) konnten bei manchen Objekten gute Bilder sehr kleiner Strukturen gemacht werden. Würden diese Strukturen erst in der Nachbearbeitung digital vergrößert werden, wäre dies nicht ohne Qualitätsverlust der Bilder möglich. Mit der Technik des Differential-Interferenz-Kontrasts konnten bei den untersuchten Objekten die schönsten Bilder gemacht werden. Ursprünglich sollte der Hintergrund weiß gefärbt sein. Bei dieser Einstellung ging jedoch die 3-Dimensionalität des Objektes verloren. Bei der Wahl des blauen Hintergrundes kamen persönliche Präferenzen zum Tragen. Auch die Assoziation von Blau mit Wasser erschien als passend und logisch. Die Dunkelfeld-Technik kam ebenfalls zum Einsatz und erzielte beim Abfilmen der Cytoplasmaströmung bei *Chara sp.* eine bessere Qualität, als die Dokumentation dieses Vorgangs im Differential-Interferenz-Kontrast. Bei der Komposition der Clips im Schnittfenster wirkte es eigenartig, nur einzelne Bilder im Dunkelfeld erscheinen zu lassen. Daher wurde ein Großteil der mikroskopischen Aufnahmen von Charales mit der Dunkelfeld-Technik gemacht. Die 3-dimensionale Darstellung der Strukturen war auch im Dunkelfeld gut möglich. Ein

Problem bei mikroskopischen Aufnahmen war das unregelmäßige Überhitzen der Kamera Nikon J1. Dieser Nachteil machte manchen geplanten Zeitraffer unmöglich. Die Kühlung des Fotoapparates mittels Ventilator konnte das ungewollte Abschalten zwar verzögern aber nicht verhindern.

6.2.2 Ton

Das eingebaute Mikrofon der Kameras ist für professionelle Tonaufnahmen relativ ungeeignet. Die Aufnahmen des Rhode Richtmikrofons war von zufriedenstellender Qualität. Die Schwierigkeit bei Aufnahmen des Originaltones bestand darin, Orte zu finden, die fern von unerwünschten Nebengeräuschen sind. Autos und Flugzeuge hört man praktisch überall. Daher wurden viele Aufnahmen in der Nacht gemacht. Auch der Wind erzeugte bei zu großer Intensität unerwünschte Nebengeräusche. Die Musik wurde selbst komponiert und konnte daher dem jeweiligen Thema angepasst werden. Es wurde versucht, Ton und Schnitt aufeinander abzustimmen. Häufig wurden drei Tonspuren übereinander gelegt, um die passende Stimmung zu erzeugen. Der Originalton spielte eine eher untergeordnete Rolle. Wichtiger war die Kombination von Musik und Sprache.

6.2.3 Schnitt, Nachbearbeitung und Animation

Die Anwendung der zur Verfügung stehenden Schnitt- und Grafikprogramme war anfänglich neu, aber nach kurzer Zeit ließen sich diese relativ leicht bedienen. Das eigenständige Lernen mit Hilfe von youtube-Tutorials erwies sich als sehr einfach und zielführend. Die besseren Kenntnisse über die ausschöpfbaren Optionen des Programmes führten zu verbesserten Nachbearbeitung und daher zu besseren Bildern. Generell war der Einsatz von Animationen ein relativ einfaches Mittel, um Sequenzen, die sonst schwer dokumentierbar wären, grafisch darzustellen. Der Schnitt mit Adobe 6 Professional Pro war einfach durchzuführen. Mit ein wenig Übung konnte relativ schnell und effizient gearbeitet werden. Die Analyse professioneller Filme zeigte, dass fast ausschließlich harte Schnitte eingesetzt werden. Auf Überblendungen wird größtenteils verzichtet. Dieses Schema wurde in der vorliegenden Arbeit übernommen. Die Länge der einzelnen Sequenzen sollte die

drei Sekunden- Grenze nicht unterschreiten. Die Information kann bei zu schneller Schnittfolge nicht mehr aufgenommen werden.

7 Ausblick

Meine Diplomarbeit beschreibt den Werdegang der Charophyceen und versucht, in einem 25 minütigen Lehrfilm die wesentlichen Inhalte einfach und einprägsam zu dokumentieren.

Da Algen keine eng abgegrenzte Lebensform darstellen, sondern äußerst divers erscheinen, war die Menge an vorhandener Information enorm. Dem evolutionären Weg der Charophyceen zu folgen und gleichzeitig möglichst viel allgemeine Information über Algen zu transportieren war das größte Problem dieser Arbeit. Es gäbe nach wie vor sehr viel über Algen zu erzählen, spielen sie doch eine wesentliche Rolle in den verschiedensten globalen Kreisläufen.

Die Diversität der Algen birgt noch für so manchen Film faszinierende Sequenzen. Die erworbenen Kenntnisse über die Handhabung der Geräte, aber vor allem das Fachwissen über Algen würden die Arbeiten eines Folgeprojektes wesentlich erleichtern.

Dieser Film schlägt die Brücke zwischen Wasser und Land und verbindet somit die beiden bereits bestehenden Lehrfilme "green algae I" von Anselm Pavlik und "Das Pflanzenreich - Moose" von Gregor Pogöschnik.

8 Literaturverzeichnis

- Acquisti C., Kleffe J., Collins S., 2007: Oxygen content of transmembrane proteins over macroevolutionary time scales. *Nature* **445**, 47-52.
- Adam Z., Turmel L., Lemieux C., Sankoff D., 2007: Common intervals and symmetric difference in a model free phylogenomics, with an application to streptophyte evolution. *Journal of Computational Biology* **14**, 436-445.
- Allen N. S., 1974: Endoplasmatic filaments generate the motive force for rotational streaming in *Nitella*. *Journal of Cell Biology* **63**, 270-287.
- Andrews M., Box R., McInroy S., Raven J. A., 1984: Growth of *Chara hispida*. II. Shade adaptation. *Journal of Ecology* **72**, 885-895.
- Beardall J., Raven J. A., 2004: The potential effects of global climate change on microalgal photosynthesis, growth and ecology. *Phykologia* **43**, 26-40.
- Bhattacharya D., Medlin L., 1998: Algal phylogeny and the origin of land plants. *Plant Physiology* **116**, 9-15.
- Blankenship R. E., Hartman H., 1998: The origin and evolution of oxygenic photosynthesis. *Trends in Biochemical Sciences* **23/3**, 7-94.
- Bold H. C., Wynne M. J., 1985: Introduction to phycology. 2. Auflage. Prentice Hall, New Jersey, 720 pp.
- Brocks J. J., Logan G. A., Buick R., Summons E., 1999: Archaean molecular fossils and the early rise of eukaryotes. *Science* **285**, 1033-1036.
- Brook A. J., 1981: The biology of desmids. *Botanical Monographs* **16**, Blackwell Scientific, Oxford, 276 pp.
- Buick R., 1992: The antiquity of oxygenic photosynthesis: evidence from stromatolites in sulphate deficient archean lakes. *Science* **255**, 74-77.

- Campbell N. A., Reece J. B., 2003: Biologie. 6. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, 1606 pp.
- Chapman R. L., Buchheim M. A., Delwiche C. F., Friedl T., Huss V. A. R., Karol K. G., Lewis L. A., Manhart J., McCourt R. M., Olsen J. L., Waters D. A., 1998: Molecular systematics of the green algae. In: Molecular systematics of plants II. Soltis D. E., Soltis P. S., Doyle J. J., Kluwer Academic, Boston, 508-540.
- Cook M. E., Graham L. E., 1998: Structural similarities between surface layers of the selected Charophycean algae and bryophytes and the cuticles of vascular plants. *International Journal of Plant Science* **159**, 780-787.
- Dismukes G. C., Klimov V. V., Baranov S. V., Kozlov Y. N., DasGupta J., Tyryshkin A., 2001: The origin of atmospheric oxygen on Earth: The innovation of oxygenic photosynthesis. *Proceedings of the National Academy of the United States of America* **98/5**, 2170-2175.
- Eigenbrode J. L., Freeman K. H., 2006: Late archean rise of aerobic microbial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **103**, 15759-15764.
- Embley T. M., Martin W., 2006: Eukaryotic evolution, changes and challenges. *Nature* **440**, 62–630.
- Fay P., 1992: Oxygen relations of nitrogen fixation in cyanobacteria. *Microbiological Reviews* **56/2**, 340-373.
- Feist M., Liu J., Tafforeau P., 2005: New insights into paleozoic charophyte morphology and phylogeny. *American Journal of Botany* **92**, 1152-1160.
- Fott B., 1971: Algenkunde. Gustav Fischer Verlag, Jena, 581 pp.
- Fowke L. C., Pickett-Heaps J. D., 1969a: Cell division in *Spirogyra*. I. Mitosis. *Journal of Phycology* **5**, 240-259.
- Fowke L. C., Pickett-Heaps J. D., 1969b: Cell division in *Spirogyra*. II. Cytokinesis. *Journal of Phycology* **5**, 273-281.

- Gerrath J. F., 1993: The biology of desmids: A decade of progress. *Progress in Phycological Research* **9**, 79–192.
- Gontcharov A. A., 2008: Phylogeny and classification of Zygnematophyceae (Streptophyta): current state of affairs. *Fottea* **8/2**, 87–104.
- Graham L. E., 1993: The origin of land plants. John Wiley, New York, 287 pp.
- Graham L. E., 1996: Green algae to land plants: An evolutionary transition. *Journal of Plant Research* **109**, 241-251.
- Graham L. E., Graham J. M., Wilcox L. W., 2009: Algae second edition. Pearson Education, San Francisco, 616 pp.
- Graham L. E., Kaneko Y., 1991: Subcellular structures of relevance to the origin of land plants (Embryophytes) from green algae. *Critical Reviews in Plant Sciences* **10**, 323-342.
- Grant M. C., 1990: Charophyceae (Order Charales). In: Handbook of Proctoctista. Margulis L., Corliss J. O., Melkonian, Chapman D. J., Jones & Bartlett Publishers, Boston, 641-648.
- Gray M. W., Burger G., Lang B. F., 1999: Mitochondrial evolution. *Science* **283**, 1476-1481.
- Grolig F., 1992: Actin- based organelle movements in interphase *Spirogyra*. *Protoplasma* **155**, 29-42.
- Haupt W., Bock G., 1962: Die Chloroplastendrehung bei *Mougeotia* IV: Die Orientierung der Phytochrom-Moleküle im Plasma. *Planta* **59**, 38-48.
- Jost L., 1895: Beiträge zur Kenntnis der Coleochaeteen. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* **13**, 433-452.
- Karol K. C., McCourt R. M., Cimino M. T., Delwiche C. F., 2001: The closest living relatives of land plants. *Science* **294**, 2351-2353.
- Kasting J. F., 1993: Earth's early atmosphere. *Science* **259**, 920-926.

- Kiemle S. N., 2010: The extracellular matrix of the charophycean green algae. Dissertation. Department of Biological Sciences, Michigan Technical University, 228 pp.
- Kim G. H., Yoon M., Klotchkova T. A., 2005: A moving mat: phototaxis in the filamentous green algae *Spirogyra* (Chlorophyta, Zygnemataceae). *Journal of Phycology* **41**, 232–237.
- Kim G. W., Yoon M., West J. A., Klochkova T. A., Kim S., 2007: Possible surface carbohydrates involved in signaling during conjugation process in *Zygnema cruciatum* monitored with fluorescein isothiocyanate-lectins (Zygnemataceae, Chlorophyta). *Phycological Research* **55**, 135–142.
- Kim, Y. H., Kim J. H, 2002: A biology of the green algae, *Spirogyra*, Gaesin, Chungju, 230 pp.
- Kiss J. Z., Staehelin L. A., 1993: Structural polarity in the *Chara* rhizoid: A reevaluation. *American Journal of Botany* **80**, 273-282.
- Kouwets F. A. C., Coesel P. F. M., 1984: Taxonomic revision of the Conjugatophycean family Peniaceae on the basis of cell wall ultrastructure. *Journal of Phycology* **20/4**, 555–562.
- Kranz H. D., Huss V. A. R., 1996: Molecular evolution of pteridophytes and their relationship to seed plants: Evidence from complete 18S rRNA gene sequences. *Plant Systematics and Evolution* **202**, 1-11.
- Lake J. A., 2007: Disappearing act. *Nature* **446**, 983.
- Lebert M.: 2001: Comprehensive series Chapter 11 Phototaxis of *Euglena gracilis*—flavins and pterins. *Photosciences* **1**, 297-341.
- Lemieux C., Otis C., Turmel M., 2007: A clade uniting the green algae *Mesostigma viride* and *Chlorokybus atmophyticus* represents the deepest branch of the Streptophyta in chloroplast genome-based phylogenies. *BMC Biology* **5**, 2.

- Lenzenweger R., 2000: Über moosbewohnende Zieralgen (Desmidiaceen) aus Oberösterreich. *Beiträge zur Naturkunde Oberösterreichs* **9**, 57-63
- Lewandowski D. J., Delwiche C. F., 2001: Two chloroplast transfer RNA introns found in *Chaetosphaeridium* support a monophyletic Coleochaetales. *Journal of Phycology* **37**, 31.
- Lewis L., McCourt., 2004: Green algae and the origin of land plants. *American Journal of Botany* **91/10**, 1535–1556.
- Linne von Berg K. H., Melkonian M., 2004: Der Kosmos- Algenführer. Frankh-Kosmos Verlag, Stuttgart, 366 pp.
- Luo J., Hall B. D., 2007: A multistep process gave rise to RNA polymerase IV of land plants. *Journal of Molecular Evolution* **64**, 101-112.
- Margulis L., Dolan M. F., Guerrero R., 2000: The chimeric eukaryote: Origin of the nucleus from the karyomastigont in amitochondriate protists. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **97**, 6954-6959.
- Martin W., Koonin E. V., 2006: Introns and the origin of nucleus- cytosol compartmentalization. *Nature* **440**, 41-45.
- Mattox K. R., Stewart K. D., 1984: A classification of the green algae: A concept based on comparative cytology. In: Systematics of the green algae. Irvine D. E. G., John D. M., Academic Press, London, 29-72.
- Mc Court R. M., Delwiche C. F., Karol K. G., 2004: Charophyte algae and land plants origins. *Trends in Ecology and Evolution* **19**, 661-666.
- McCourt R. M., Karol K. G., Bell J., Helm- Bychowsky K. M., Grajewskaet A., Wojciechowski M. F., Hoshaw R. W., 2000: Phylogeny of the conjugating green algae (Zygnemophyceae) based on *rbcL* sequences. *Journal of Phycology* **36**, 747-758.
- McFadden G. I., 2001: Primary and secondary endosymbiosis and the origin of plastids. *Journal of Phycology* **37/6**, 951-959.

- Melkonian M., 1984: Flagellar apparatus ultrastructure in relation to green algal classification. In: Systematics of the green algae. Irvine D. E. G., John D. M., Academic Press, London, 73-120.
- Melkonian M., 1989: Flagellar apparatus ultrastructure in *Mesostigma viride* (Prasinophyceae). *Plant Systematics and Evolution* **164**, 93-122.
- Melkonian M., Marin B., Surek B., 1995: Phylogeny and evolution of the algae. In: Biodiversity and evolution. Arai R., Kato M., Doi Y., The National Science Museum Foundation, Tokyo, 153-156.
- Mix M., 1972: Die Feinstruktur der Zellwände bei Mesotaeniaceae und Gonatozygaceae mit einer vergleichenden Betrachtung der verschiedenen Wandtypen der Conjugatophyceae und deren systematischen Wert. *Archiv für Mikrobiologie* **81**, 197–220.
- Nultsch W., 1985: Lichtorientierte Bewegungen bei Cyanobakterien. *Naturwissenschaften* **72**, 527-533.
- Palevitz B. A., Hepler P. K., 1975: Identification of actin *in situ* at the ectoplasm-endoplasm interface of *Nitella*. *Journal of Cell Biology* **65**, 29-38.
- Pickett-Heaps J. D., 1975: Green algae: Structure, reproduction and evolution of selected genera. Sinauer Associates, Sunderland, 606 pp.
- Pringsheim N, 1860: Beiträge zur Morphologie und Systematik der Algen III. Die Coleochaeteen. *Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik* **2**, 1-38.
- Printz H., 1964: Die Chaetophoraleen der Binnengewässer. Eine systematische Übersicht. *Hydrobiologia* **24**, 1-376.
- Qiu Y. L., Palmer J. D., 1999: Phylogeny of early land plants: Insights from genes and genomes. *Trends in Plant Science* **4**, 26-30.
- Qui Y. L., 2007: A nonflowering land plant phylogeny inferred from nucleotide sequences of seven chloroplast, mitochondrial and nuclear genes. *International Journal of Plant Sciences* **168**, 691-708.

- Rasmussen B., Fletcher I. R., Jochen J. B., Kilburn M. R., 2008: Reassessing the first appearance of eukaryotes and cyanobacteria. *Nature* **455**, 1101-1104.
- Raven J. A., Smith F. A., Glidewell S. M., 1979: Photosynthetic capacities and biological strategies of giant- celled and small- celled macroalgae. *The New Phytologist* **83**, 249-309.
- Raven P. H., Evert R. F., Eichhorn S. E., 2006: *Biologie der Pflanzen*. 4. Auflage, De Gruyter, Berlin, New York, 942 pp.
- Richards T. A., van der Giezen M., 2006: Evolution of the Lsd11-IscS complex reveals a single α - proteobacterial endosymbiosis for all eukaryotes. *Molecular Biology and Evolution* **23**, 1341-1344.
- Rogers C. E., Mattox K. R., Stewart K. D., 1980: The zoospore of *Chlorokybus atmophyticus*, a charophyte with sarcinoid growth habit. *American Journal of Botany* **67**, 774-783.
- Round F. E., 1971: The taxonomy of the Chlorophyta II. *British Phycological Journal* **6**, 235-264.
- Schmidt M., Geßner G., Luff M., Heiland I., Wagner V., Kaminski M., Geimer S., Eitzinger N., Reißerweber T., Voytsekh O., Fiedler M., Mittag M., Kreimer G., 2006: Proteomic analysis of the eyespot of *Chlamydomonas reinhardtii* provides novel insights into its components and tactic movements. *Plant Cell* **18**, 1908–1930.
- Schopf J. W., Klein C., 1992: *The proterozoic biosphere. A multidisciplinary study*. Cambridge University Press, New York, 1374 pp.
- Serlin B. S., Roux S. J., 1984: Modulation of chloroplast movement in the green alga *Mougeotia* by the Ca^{2+} ionophore A23187 and by calmodulin antagonists. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* **81**, 6368-6372.

- Simon, Glöckner A. G., Felder M., Melkonian M., Becker B., 2006: EST analysis of the scaly flagellate *Mesostigma viride* (Streptophyta): Implications for the evolution of green plants (viridiplantae). *BioMed Central Biology* **6**, 2.
- Smith J. M., 1950: The fresh- water algae of the United States. McGraw-Hill, New York, 719 pp.
- Stross R. G., 1979: Density and boundary regulation of the *Nitella* meadow in Lake George, NY. *Aquatic Botany* **6**, 285-300.
- Sze P., 1998: A biology of the algae. 3. Auflage. McGraw-Hill, Boston, 278 pp.
- Szymánska H., 1989: Three new *Coleochaete* species (Chlorophyta) from Poland. *Nova Hedwigia* **49**, 435-446.
- Szymánska H., 2003: *Coleochaete spalikii* Szymanska sp.nov. (Charophyceae, Chlorophyta)- A new member of the of the *Coleochaete sieminskiana* group. *Nova Hedwigia* **76**, 129-135.
- Thompson R. H., 1969: Sexual reproduction in *Chaetosphaeridium globosum* (Nordst.) Klebahn (Chlorophyceae) and description of a species new to science. *Journal of Phycology* **5**, 285-290.
- Trumel M. C., Otis C., Lemieux, 2005: The complete chloroplast DNA sequences of the charophycean green algae *Staurastrum* and *Zygnema* reveal that the chloroplast genome underwent extensive changes during the evolution of the Zygnematales. *BioMed Central Biology* **3**, 22.
- Turmel M., Ehara M., Otis C., Lemieux C., 2002: Phylogenetic relationships among streptophytes as inferred from chloroplast small and large subunit rRNA gene sequences. *Journal of Phycology* **38**, 364-375.
- Turmel M., Otis C., Lemieux C., 2006: The chloroplast genome sequence of *Chara vulgaris* sheds new light into the closest green algal relatives of landplants. *Molecular Biology and Evolution* **23**, 1324-1338.

- Turmel M., Pombert J. - F., Charlebois P., Otis C., Lemieux C., 2007: The green algal ancestry of landplants as revealed by the chloroplast genome. *International Journal of Plant Sciences* **168**, 679-689.
- van den Hoek C., Mann D. G., Jahns H. M., 1995: *Algae: An introduction to phycology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wagner G., Klein K., 1981: Mechanism of chloroplast movement in *Mougeotia*. *Protoplasma* **109**, 169-185.
- Waris H., 1950: Cytophysiological studies on *Micrasterias* I. Nuclear and cell division. *Physiologia Plantarum* **3**, 1-16.
- Whatley J., 1993: Chloroplast ultrastructure. In: *Ultrastructure of microalgae*. Berner T., CRC Press Boca Raton, 135-204.
- Williamson R. E., 1979: Filaments associated with the endoplasmic reticulum in the streaming cytoplasm of *Chara corallina*. *European Journal of Cell Biology* **20**, 177-183.
- Williamson R. E., 1992: Cytoplasmic streaming in characean algae: Mechanism, regulation by Ca²⁺, and organization. In: *Algal Cell Motility*. Chapman & Hall, London, 73-98.

Internetquellen:

www.algaebase.org/search/genus/detail/?genus_id=42757&session=abv4:506D5C4C16b551E032Wsx15F2916

www.plantcell.org 2006 American Society of Plant Biologists

9 Curriculum Vitae

Persönliches

Name	Martin Kogler
Geburtsdatum	09. 05. 1980
Geburtsort	Linz
Nationalität	Österreich



Ausbildung

1986 – 1990	Volksschule VS 2, Biesenfeld, Linz, Österreich
1990 – 1996	Bundesrealgymnasium Auhof, Linz, Österreich
1997 – 2000	Handelsschule Auhof, Linz, Österreich
2000 – 2002	Abendschule VHS, Linz, Österreich (Berufsreifeprüfung 2002)
2003 – 2013	Diplomstudium der Biologie an der Universität Wien
Seit 2012	Diplomarbeit am Institut für Ultrastrukturforschung und wissenschaftlichen Film Universität Wien (C.I.U.S.)

Berufliche Erfahrungen

2000 – 2001	Zivildienst AKH, Linz, Österreich
2001 – 2003	Kamera- Assistent <i>Österreichischen Rundfunk</i> ORF, Linz, Österreich
2003 – 2013	Kamera- Assistent <i>Österreichischen Rundfunk</i> ORF, Wien, Österreich

Praktische Erfahrungen während des Studiums

Sommer 2005	Meeresschildkrötenprojekt, Fethye, Türkei
SS 2012 und SS 2013	Tutor (CLSM - Konfokales Laser Scanning Mikroskop)
WS 2012/2013	Tutor (Funktionelle Cytologie und Anatomie der Pflanzen)

Zusätzliche Qualifikationen

- Englisch in Wort und Schrift
- EDV- Kenntnisse (Microsoft Office, Adobe Premiere Pro CS6, Adobe Photoshop CS6, Adobe After Effects CS6, Sigma Plot, Stat Graphics, etc.)
- Führerschein A

Sonstige Interessen

- Fotografie
- Film
- Musik
- Literatur
- Reisen
- Sport