



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„*Regnum Plantae* – Das Pflanzenreich:

Grünalgen – Chlorophyta.

Ein wissenschaftlicher Lehrfilm.“

verfasst von

Anselm Pavlik

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 444

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Ökologie

Betreut von:

Ao. Prof. Dr. Irene Lichtscheidl

Danksagung

In besonderer Weise möchte ich meinen Eltern danken, die meine Interessen und Passionen immer aufs stärkste unterstützt haben und mich durch Höhen und Tiefen bei Projekten wie diesen begleitet haben und mir in jeder Situation viel Liebe gegeben haben.

Bei Frau Prof. Dr. Irene Lichtscheidl möchte ich mich für die tolle Gelegenheit bedanken diese außergewöhnliche Diplomarbeit verwirklichen zu dürfen und die Bereiche Medien und Medientechnik, Naturwissenschaft und Gesellschaftsbildung zu vereinen.

Prof. Mag. Dr. Michael Schagerl möchte ich für die tolle fachkundige Hilfe und die von ihm bereitgestellten Algenkulturen danken.

Ich danke MMag. Marianne Peroutka dass sie dieses Projekt vorgeschlagen und initiiert hat.

Meinem Bruder, Armin Pavlik, danke ich für die tolle Unterstützung bei den Unterwasser und Meeresaufnahmen. Es war ein heißer Sommer, aber jetzt kennt er alle marinen Chlorophyten.

Ich danke meiner Freundin Mariana Brajkovic die mit mir für diesen Film viele Kilometer zurückgelegt hat und mir während dieser Zeit viel Liebe und Unterstützung gegeben, wie auch Stative und Fotorucksäcke getragen hat.

Bei Mag. Dr. Wolfram Adlassnig, MBA möchte ich mich für die Labortechnische Unterstützung, seine eingebettete Flechte, die Exkursion in die Steinwandklamm und seine tollen Color-Checker Bilder (die es bei *Trentepohlia* wirklich gebracht haben) bedanken.

Bei Gregor Eder und Helmuth Goldammer bedanke ich mich für die Makro-, Bridge- und Photoshop- Tipps und die neuen Techniken die ich erlernt habe.

Ich danke dem gesamten CIUS, Zellphysiologie und Kinematografie Team für die lehrreiche, herzliche und angenehme Zeit.

1 Zusammenfassung – Abstract	1
1.1 Zusammenfassung	1
1.2 Abstract	2
2 Ziel	3
3 Einleitung	4
3.1 Algen und die Endosymbiontentheorie	4
3.2 Phylogenie – Stammesgeschichte	5
3.3 Grünalgen (s.s.) – Die Abteilung Chlorophyta	6
3.4 Anatomie und Physiologie	7
3.5 Morphologie & Lebenszyklus	10
3.6 Ökologie und Symbiosen	12
4 Material und Methoden	15
4.1 Objekte und Kulturen	15
4.2 Dokumentation	16
4.2.1 Kameras und Optiken	16
4.2.2 Standorte	16
4.2.3 Stereomikroskopie und Makroskopie	17
4.2.4 Lichtmikroskopie	17
4.2.5 Konfokale Laser Scanning Mikroskopie (CLSM)	17
4.2.6 Focus und Panorama Stapelung	18
4.2.7 Zeitraffung	20

4.2.8 Licht und Zubehör	20
4.3 Postproduktion und Authoring	21
4.3.1 Video- und Foto- Formate	21
4.3.2 Nachbearbeitung und Authoring	21
4.3.3 Animationen	22
4.3.4 Audio; Sounddesign und Musik	22
5 Ergebnisse	24
5.1 Gliederung des Filmes	24
5.2 Inhalt des Filmes	24
5.2.1 Vorspann	24
5.2.2 Kapitel I: Einleitung	24
5.2.3 Kapitel II: Anatomie und Physiologie	25
5.2.4 Kapitel III: Morphologie, Lebenszyklus und Reproduktion	25
5.2.5 Kapitel IV: Stammesgeschichte	25
5.2.6 Kapitel V: Diversität	25
5.2.7 Kapitel IV	26
5.3 Drehbuch des Filmes	27
5.3.1 Vorspann	27
5.3.2 Kapitel I: Einleitung des Films	27
5.3.3 Kapitel II: Anatomie und Physiologie	29
5.3.4 Kapitel III: Morphologie, Lebenszyklus und Reproduktion	32

5.3.4.1 Szene 1: Morphologie	32
5.3.4.2 Szene 2: Lebenszyklus und Reproduktion	34
5.3.5 Kapitel IV: Stammesgeschichte	37
5.3.6 Kapitel V: Diversität (Die UTC-Klade)	39
5.3.6.1 Szene 1: Ulvophyceae	39
5.3.6.2 Szene 2: Trebouxiophyceae	44
5.3.6.3 Szene 3: Chlorophyceae	49
5.3.7 Kapitel VI: Algen in der Biotechnologie; Nutzen für die Menschheit.	55
5.3.8 Abspann	58
6 Diskussion	59
6.1 Technik	59
6.1.1 Video	59
6.1.2 Foto	60
6.1.3 Focus und Panorama Stapelung	60
6.1.4 Zeitraffer	61
6.1.5 Animationen	61
6.2 Die Gesellschaft im medialen Bildungskontext	61
Literaturverzeichnis	64
Lebenslauf	68

1 Zusammenfassung – Abstract

1.1 Zusammenfassung

Die Arbeit präsentiert die Abteilung Chlorophyta, die Grünalgen im engeren Sinne und beruht auf einer Vielzahl zusammengeführter Quellen und Proben diverser Herkunft. Ein breites Spektrum an Wissen und die Strukturen der Grünalgen sollen im Film präsentiert werden. Anfangs wird auf die allgemeine ökologische Bedeutung der Algen als Sauerstoff-, Primärproduzenten und Katalysatoren des Lebens hingewiesen. Dem Zuschauer soll der evolutionäre Erfolg der Chlorophyten durch die Mannigfaltigkeit der besiedelten Lebensräume, ökophysiologische und anatomische Aspekte aufgelöst werden. Für einen besseren Bezug wird vergleichend mit Landpflanzen gearbeitet. Der Lebenszyklus und die verschiedenen Reproduktionsarten werden in Animationen und Zeitraffer verdeutlicht.

Morphologisch haben Grünalgen einiges zu bieten. Bewegliche und unbewegliche Einzeller, Filamente, Siphone und Coenobien bilden nur einen Teil der Formenvielfalt und werden für den Zuseher im Detail aufgelöst. Als Schwesterngruppe der Landpflanzen bieten sich Grünalgen mit makroskopischen Zellverbänden als gute Beispiele für den Vergleich zwischen Kormus und Thallus an. In weiterer Folge werden auch die stammesgeschichtliche Struktur und die Diversität der Chlorophyten besprochen. Die Klassen Ulvophyceae, Trebouxiophyceae und Chlorophyceae werden mit ausgewählten Vertretern präsentiert und beschrieben. Einen wichtigen Gegenstand der Phykologie bildet die Biotechnologie. Das letzte Kapitel erläutert die Thematik und zeigt Isolation, Kultivierung und ökonomisch relevante Produkte der Grünalgen.

Die Arbeit hat das Ziel die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Organisation und Systematik der Abteilung Chlorophyta, in einen wissenschaftlichen Lehrfilm bzw. Dokumentarfilm zusammenzufassen. Professionelle und kontemporäre Vermittlung und Produktion standen hierbei im Vordergrund. Im Film wurde stets darauf geachtet eine Vielzahl an Begriffen und Vorgängen klar und verständlich zu erklären. Unbeantwortete Fragen oder Informationslücken sollen durch das wissenschaftliche Beiblatt aufgelöst werden.

1.2 Abstract

This work presents the phylum Chlorophyta, the green algae *sensu stricto*, and is based on a combination of diverse sources and samples of various origins. A broad range of knowledge and the structure of green algae should be presented within the film. Initially, the movie indicates the general ecological importance of algae as oxygen and primary producers and as catalysts of life. The success of the Chlorophyta is illustrated by their various habitats as well as by eco-physiological and anatomical aspects. For a better understanding, processes and structures are explained in comparison to land plants. Life cycle and types of reproduction are clarified within animations and time-lapses. The morphology of green algae is versatile and provides a lot of different forms. Motile and immobile unicellulars, filamentous, coenocytic, coenobial or parenchymatic (tissue like) organisms are only a part of the various shapes. As green algae constitute the sister group to the land plants, the thalli of green algae are highly suitable to compare form and tissue. Hereafter the phylogenetic structure and diversity of the phylum Chlorophyta is discussed. The classes Ulvophyceae, Trebouxiophyceae and Chlorophyceae, are presented and described by a selection of organisms. Biotechnology is a hot topic in phycology. The last chapter elucidates this theme and shows isolation, cultivation and economically relevant products of green algae.

The aim of this work is to summarize and mediate the scientific knowledge and organisation of the phylum Chlorophyta within scientific documentary film. The main focus was laid on a professional and contemporary mediation and production. The film esteems clear explanations of various botanical terms and processes. The scientific supplementary sheet resolves unanswered questions and information gaps.

2 Ziel

Der Film soll wissenschaftliche Erkenntnisse Organisation und physiologischen Besonderheiten der Grünalgen auflösen. Der Fokus ist auf eine moderne und professionelle Produktion und die Vermittlung fundierten naturwissenschaftlichen Wissens für eine breite Öffentlichkeit gerichtet. Die heutzutage immer stärkere werdende Integration moderner und hochwertiger audiovisueller Medien in den Alltag veranlasste zu einer zeitgemäßen Verarbeitung der Thematik und Wahl der Techniken.

Die aus Lehrbüchern, wissenschaftlichen Publikationen, Lehrveranstaltungen, Skripten und fundierter Internetinformationen, wie aus <http://www.algaebase.org> gesammelten Quellen sollten auf eine didaktisch sinnvolle Weise aufgearbeitet und komprimiert werden. Ziel ist es für den Zuseher das Bild der Grünalgen neu zu definieren. Die Begriffe der anatomischen und morphologischen Strukturen, wie auch Lebenszyklus und die Reproduktionsarten mussten verständlich gemacht werden, um die Organismen besser zu verstehen. Eine den Chlorophyten entsprechende Organismenauswahl sollte die ökologische Vielfalt und die große Formenvielfalt dieser Gruppe repräsentieren und in Erstaunen versetzen. Mit dem Thema Biotechnologie und einigen alltäglichen Algenprodukten wurde versucht für den Betrachter einen persönlichen Zugang zu den Grünalgen zu generieren.

Der Grundvorsatz für dieses Projekt war die Produktion eines lehrreichen Films, der das Wissen über Grünalgen, für Schüler/-innen, Studenten/-innen und eine breite Öffentlichkeit verständlich komprimiert. Das wissenschaftliche Beiblatt beantwortet Informationslücken und soll besonders Schüler/-innen und Studenten/-innen als Leitfaden und Quelle für zukünftige Hausarbeiten, Kurse und Vorlesungen dienen. Diese Arbeit soll in erster Linie das Interesse an Natur, Biologie, Algen und Algenkunde wecken und eine tiefergehenden Beschäftigung mit der Materie auslösen.

3 Einleitung

3.1 Algen und die Endosymbiontentheorie

„Alge“ ist eine Bezeichnung für eine sehr heterogene Organismengruppen, die Photosynthese betreiben, aber keinen Kormus besitzen. Die Zellen sind zum größten Teil undifferenziert und bilden keine pflanzlichen Organe (Blatt, Sprossachse und Wurzel). Unter dem Begriff Alge werden photoautotrophe, prokaryotische Organismen, wie Cyanobakterien und eukaryotische Lebewesen, wie Grünalgen, Braunalgen, Rotalgen oder Goldalgen zusammengefasst. (Graham *et al.*, 2009; Schagerl, 2012; Pröschold, 2013)

Morphologisch kann man grob zwischen Mikro- und Makroalgen unterscheiden. Als Mikroalgen werden Organismen von mikroskopischer Größe bezeichnet. Dazu zählen unbewegliche oder bewegliche Einzeller, aber auch Kolonien und Zellfäden. Symmetrische Kolonien haben fixe Zellzahlen und/oder Zellpositionen und werden Coenobien genannt. Makroalgen sind mit freiem Auge sichtbar und als makroskopische Zellverbände oder besonders große Kolonien ausgebildet.

Die Geschichte der Algen beginnt vor etwa 3 Mrd. Jahren, als sich die ersten Cyanobakterien entwickelten, und infolge die Erdatmosphäre mit Sauerstoff anreicherten. Durch Endocytobiose entwickelten sich 1,5 Mrd. Jahre später die ersten Grünalgen. (Graham *et al.*, 2009; Bresinsky *et al.*, 2008)

Vor etwa 50 Jahren postulierte Lynn Margulis erstmals die Endosymbiontentheorie, die besagt dass pre – eukaryotische Zellen, Bakterien durch Phagozytose inkorporierten und sich diese zu den heutigen Mitochondrien und Plastiden entwickelt haben. Als erstes entstanden mit hoher Wahrscheinlichkeit die Mitochondrien. Die ersten Plastiden entstanden aus einem Archaeen-Bakterium, das ein unverdauliches Cyanobakterium inkorporierte.

Dieser Prozess geschah mehrmals in der Entwicklung eukaryotischen Lebens und in der Entwicklung der Algen. Chlorophyten (Grünalgen) und Landpflanzen (Streptophyten) bilden die Gruppe Chlorobionta und erhielten ihre Chloroplasten aus primärer Endocytobiose. Die Rhodophyten (Rotalgen) und Glaucophyten besitzen.

Die Plastiden besitzen eine doppelte Plasmamembran, eigene Rest – DNS und zum Teil autonome Proteinsynthese.

In weiterer Folge kam es auch zu sekundären Endocytobiosen. Hierbei wurden photoautotrophe Eukaryoten von heterotrophen Eukaryonten inkorporiert. Diese Plastiden besitzen eine dreifache Membran und teilweise noch Restkerne.

Phagozytose von Rotalgen führte zur Ausbildung der Chromalvoelata mit einer Fülle an Gruppen wie Heterokontophyten, Haptophyten, Dinoflagellaten und vielen mehr. Inkorporierte Grünalgen führten zur Entwicklung der Eugleniden oder Chlorarachniophyten. In einigen Dinoflagellaten kam es zu tertiärer Endozytobiose. Die Plastiden besitzen vier Membranen. (Margulis & Fester, 1991; Ryan, 2002; Till, 2007; Graham *et al.*, 2009; Pröschold, 2013; Bresinsky *et al.*, 2008)

3.2 Phylogenie – Stammesgeschichte

In der Vergangenheit wurden Grünalgen anhand ihrer Morphologie klassifiziert. Durch moderne Methoden werden die Grünalgen heutzutage anders eingeteilt. Die Charophyceen (Armluchteralgen, Zieralgen und Jochalgen), die auch als Grünalgen bezeichnet werden, sind mit den Landpflanzen näher verwandt und gehören zur Abteilung Streptophyta. Die Abteilung Chlorophyta, die Grünalgen im engeren Sinne, bilden mit den Klassen Ulvophyceae, Trebouxiophyceae und Chlorophyceae (UTC-Klade) deren Schwesternabteilung. Die sehr heterogene Gruppe der Prasinophyten steht zwischen den Chlorophyten und Streptophyten. Sie vereinigt Merkmale beider Abteilungen. In den Prasinophyten wird der Ursprung des grünen Stammbaums vermutet. Man geht von einem grünen Ur – Flagellaten (AGF, *ancestral green flagellate*) aus. Heutzutage erfolgt die Einteilung der Grünalgen durch die Kombination morphologischer, molekularer und ultrastruktureller Eigenschaften. Eines der wichtigsten ultrastrukturellen Merkmale ist die Wurzel des Geißelapparats. In der Gruppe der Streptophyten (Landpflanzen, Armluchteralgen, Zieralgen und Jochalgen) ist die Struktur asymmetrisch. Die Basis besteht aus einer „*multilayered structure*“ (MLS). Chlorophyten besitzen hingegen eine kreuzförmige Wurzel, von der es drei Typen gibt. Die Geißelbasen können einander direkt gegenüber (DO, *directly*

opposed) stehen, oder im (CW, *clockwise*) bzw. gegen (CCW, *counterclockwise*) den Uhrzeigersinn versetzt sein. In den Chlorophyteen ist die Struktur CW oder DO. In den Ulvophyceen und Trebouxiophyceen ist die Basis CCW. (Pröschold & Leliaerd, 2007; Pröschold, 2013; Lewis & McCourt, 2004; Graham *et al.*, 2009)

Eine weitere ultrastrukturelle Eigenschaft ist die Art der Zellwandbildung während der Zellteilung. Die Mehrheit der Chlorophyten bildet nach der Teilung einen Phycoplasten aus. Einige Ulvophyceen jedoch bilden wie die Charophyceen und Landpflanzen (Streptophyten) bereits Phragmoplasten aus. Bei Phycoplasten liegen die Mikrotubuli während der Telophase parallel zur Teilungsebene. Bei Phragmoplasten hingegen liegen die Tubuli während der Endphase der Teilung quer zur Äquatorebene um die neue Zellwand zu bilden. (Pröschold & Leliaerd, 2007; Pröschold, 2013; Graham *et al.*, 2009; Bresinsky *et al.*, 2008)

Die Anwendung phylogenetischer Marker begann in den 1990ern und brachte neue Ordnung in den Stammbaum der Grünalgen. Die Analysen basieren auf Gene der Chloroplasten (*rbcL*, *atpB*), Mitochondrien (*nad5*) und den ribosomalen Operons (LSU, SSU, ITS-1, ITS-2). Durch Analysen der rDNS (ribosomale DNS) konnten die Beobachtungen der ultrastrukturellen Eigenschaften und die zwei Grünalgenlinien Chlorophyta und Streptophyta bestätigt werden. (Pröschold & Leliaerd, 2007; Pröschold, 2013; Lewis & McCourt, 2004, Graham *et al.*, 2009)

3.3 Grünalgen (s.s.) – Die Abteilung Chlorophyta

Die Schwesterngruppe der Landpflanzen teilt sich anhand der im letzten Punkt besprochenen Eigenschaften in drei Klassen und beinhaltet in etwa 5000 Arten (siehe Abbildung 9 und 10) (<http://www.algaebase.org/>; am 8.Okt. 2013).

Die Ulvophyceen (Ulvophyceae) sind durch die Bildung makroskopischer Thalli charakterisiert. Viele der ca.1500 sind marine Makrophyten, die gewebeartige Zellverbände bilden und in Küstennähe auf Fels oder Stein leben (<http://www.algaebase.org/>; am 8.Okt. 2013). Die Süßwasseralgen und Luftalgen in dieser Klasse bilden verzweigte oder unverzweigte Fäden und kommen als

Makrophyten in fließenden und stehenden Gewässern bzw. auf der Wetterseite von Bäumen oder auf Felsen in feuchten Schluchten vor.

Die Klasse der Trebouxiophyzeen (Trebouxiophyceae) beinhaltet in etwa 600 Arten. Viele Gattungen dieser Gruppe haben sich auf das Landleben und Pilzsymbiosen spezialisiert. Die Organismen sind meist runde Einzeller (coccale) und leben auf feuchten Bäumen und Steinen oder als Flechtensymbionten (Phycobionten).

Süßwasserorganismen kommen neben Einzellern auch als Kolonien und mikroskopische Fäden vor und sind im Phytoplankton weit verbreitet.

Makroskopische Filamente oder blattartige Thalli kommen nur in der Gattung *Prasiola* vor. Einige Organismen, wie *Chlorella* oder *Botryococcus* sind von biotechnologischem Interesse und werden kultiviert.

Die Chlorophyzeen (Chlorophyceae) bildet mit ca. 2900 Arten die größte Klasse der Chlorophyten und beinhaltet vorwiegend Süßwasserorganismen die eine wichtige Rolle als Phytoplankton haben (<http://www.algaebase.org/>; am 8. Okt. 2013). Einige Gattungen kommen am Land und als Flechtensymbionten vor. Diese Klasse beinhaltet bewegliche und unbewegliche Einzeller, Kolonien, fädig verzweigte und unverzweigte Algen. Charakteristisch für diese Gruppe sind die Weiterentwicklungen in der Koloniebildung die sich durch konstante Zellzahlen oder genetisch prädefinierte Zellpositionen auszeichnen. Bewegliche Kolonien wie *Volvox* führen die Progression noch weiter, es kommt zu einer Polarität, einer Bewegungsrichtung und Zelldifferenzierung, in einen generativen Hinterpol und vegetativen Vorderpol. Algen wie *Chlamydomonas*, *Dunaliella* und *Haematococcus* werden biotechnologisch und kommerziell genutzt. (Graham *et al.*, 2009; Lee, 2008; Bellinger & Sigee, 2010; Bresinsky *et al.*, 2008; Streble *et al.*, 2010; Linne von Berg *et al.*, 2004; Wehr, 2002)

3.4 Anatomie und Physiologie

Grünalgen und Streptophyten teilen sich eine gemeinsame Stammesgeschichte und damit auch eine Vielzahl von anatomischen Merkmalen. Die gemeinsamen Eigenschaften sind:

- Algen sind wie Landpflanzen von den Nährstoffen Stickstoff, Phosphor und Kalium (N, P und K) abhängig und nehmen sie wie Moose direkt über die Zellen auf.
- Sie besitzen Chloroplasten mit den Pigmenten Chlorophyll a, Chlorophyll b und je nach Art unterschiedliche Xanthophyll-Kompositionen.
- Chloroplasten können linsen-, becher-, band-, stern-, oder netzförmig sein und besitzen. Grünalgen, Charophyceen und einige Moose haben Pyrenoide.
- Stärke wird als Reservestoff im Stroma der Plastiden gebildet und kann auch ins Cytoplasma exportiert werden.
- Neben Stärke werden auch Öle und Lipide als Speicherstoffe produziert. Die von Grünalgen synthetisierten Triacylglycerole sind oft PUFAs (polyunsaturated fatty acids), bekannter als Omega-3, Omega-6 oder Omega-9 Fettsäuren, die auch als Fischöl bezeichnet werden und einen hohen Nähr- und Gesundheitswert haben.
- Das Enzym für die Synthese des Reservestoffs, RuBisCO (Ribulose-1,5-bisphosphat carboxylase oxygenase) ist im Zellkern kodiert.
- Die Zellwand besteht aus Cellulose und verquellendem Pektin. Bei Zygoten, Akineten (Dauerstadien) und Luftalgen sind oft, wie bei einem Pollenkorn der Angiospermen, widerstandsfähige Sporopollenine in die Zellwand eingebaut.
- Gibt es Flagellenstadien, besitzen Streptophyten und Chlorophyten zwei oder ein Vielfaches von zwei gleich langen (isokonten) Geißeln.
- Bei Zellverbänden und einigen Kolonien kommt es wie bei Landpflanzen zur Ausbildung von Zell-Zell Verbindungen

(Plasmodesmen). (Stockenreiter, 2012; Banarjee *et al.*, 2002; Rao *et al.*, 2007; Bresinsky *et al.*, 2008; Graham *et al.*, 2009; Bellinger & Sigeo, 2010; Till, 2007; Bell & Hemsley, 2000; Streble *et al.*, 2010; Linne von Berg *et al.*, 2004; Skjånes *et al.*, 2007)

Grünalgen sind sehr lichtsensible Organismen und haben während ihrer Entwicklungsgeschichte mehrerer Strategien zur Stressbewältigung entwickelt.

Begeißelte Grünalgen besitzen einen Augenfleck (Stigma). Je nach Lichtintensität und Richtung bewegen sie sich vom (negativ phototaktisch), oder zum Licht (positiv phototaktisch). Der Augenfleck besteht aus einer oder mehreren Schichten

carotenoidreichen Lipid Globuli die über ein Carotinoprotein, ein natives Rhodopsin, den Lichtreiz verarbeiten. Die Position der Pigmente zueinander und des Stigmas zu den Flagellen ist ein Charakteristikum. Der Augenfleck befindet sich im Chloroplasten. Die Rotation monadaler Algen bei der Fortbewegung dient der periodischen Beschattung des Stigmas. (Bresinsky *et al.*, 2008; Graham *et al.*, 2009; Streble *et al.*, 2010; Linne von Berg *et al.*, 2004; Kreimer, 2001; Sineshchekov & Govorunova, 1999)

Bei sehr starken Lichtintensitäten werden gegen Oxidationsprozesse und zum UV-Schutz der Zelle und DNS vermehrt Carotinoide, Xanthophylle (Astaxanthin, Zeaxanthin, Lutein, etc.) und Carotine (Beta-carotin) produziert. Diese Pigmente sind lipophil und meistens in Lipidtropfen (Triacylglycerole bzw. PUFAs) eingebettet. Besonders für Organismen, die am Land leben oder in schnell austrocknenden Gewässern wie Pfützen oder Salzseen vorkommen, ist diese Strategie überlebenswichtig. (Kobayashi *et al.*, 1997; Wang *et al.*, 2003; Bresinsky *et al.*, 2008; Graham *et al.*, 2009; Streble *et al.*, 2010; Linne von Berg *et al.*, 2004; Zhekisheva *et al.*, 2002)

Chloroplastenbewegung als physiologische Antwort auf die Veränderung von Lichtintensitäten ist bei vielen Algen bekannt. Die Plastiden werden der Intensität und Position des Lichtes entsprechend ausgerichtet. Bei Schwachlicht werden sie den Raum optimal füllend positioniert. Starke Strahlung führt einerseits dazu, dass Chloroplasten an Actinsträngen um den Zellkern gezogen werden, um das Erbgut (DNS) zu schützen, andererseits, zur Plastiden – Rotation um die Auffangfläche des Lichtes zu verringern. Die Actinfilamenten an denen sich die Plastiden bewegen, werden als Cytoplasmafäden im Mikroskop sichtbar. (Bresinsky *et al.*, 2008; Linne von Berg *et al.*, 2004; Nagai, 1993)

3.5 Morphologie & Lebenszyklus

Grünalgen konnten während ihrer langen Entwicklungsgeschichte eine große Formenvielfalt entwickeln. In der Abteilung Chlorophyta findet man Mikro- und Makroalgen.

Einzellige Grünalgen können in verschiedenen Formen vorkommen. Oft sind die Organismen coccal, aber es gibt auch mond- oder eiförmige Arten. Einige Einzeller versammeln sich zu Kolonien und sind dann von einer Gallerte umgeben oder durch Gallertfilamente miteinander verbunden. Coenobien sind spezielle Kolonien die durch konstante Zellzahl und / oder Zellposition charakterisiert sind. Oft besitzen diese Organismen Schwebefortsätze, die durch die Zellwand gebildet werden. *Scenedesmus*, *Pediastrum* und *Coelastrum* sind nur einige Vertreter.

Bewegliche, monadale Organismen kommen solitär oder als Kolonien vor. Vereinigungen wie *Volvox* erfahren bereits eine Entwicklung in Richtung Zelldifferenzierung, dies sich durch einen vegetativen, beweglichen Pol und einen generativen, unbeweglichen Pol äußert. Die Zellen der Kolonie sind durch Plasmodesmen miteinander verbunden und werden auch Coenobien genannt. Die Geißelbewegung ist synchron.

Fäden können verzweigt oder unverzweigt sein und bestehen aus Einzelzellen oder aus siphonocladalen Zellen. Letztere haben mehrere Zellkerne und einen, bzw. viele Chloroplasten. Einzelzellen hingegen besitzen nur einen Zellkern. Beide bilden durch Zellteilung Fadenthalli, Zellverbände die von makroskopischer Größe sind. Durch eine Erweiterung der Teilungsebenen kommt es dann zur Entwicklung von gewebeartigen Gebilden. Blattartige Thalli wie die von *Ulva* bestehen aus einzelnen Zellen mit jeweils einem Zellkern und einem Chloroplasten. Sie bestehen aus ein bis zwei Zellschichten und ähneln echten pflanzlichen Geweben. Sie werden deswegen auch Pseudoparenchyme (Scheingewebe) genannt. Die zu einem blattähnlichen Zellverband verklebten siphonocladalen Zellen von *Anadyomene* können hier dazu gerechnet werden.

Organismen die aus einer einzigen Riesenzelle bestehen werden als Siphone bezeichnet. Sie besitzen mehrerer Chloroplasten und Zellkerne und bilden makroskopische, Landpflanzen-Ähnliche Gebilde. Bei Algen wie *Caulerpa* kann der Thallus in Phylloid, Cauloid und Rhizoide eingeteilt werden.

Beinahe alle thallusbildenden Grünalgen, fädige, siphonocladale und siphonale haben Rhizode oder Rhizoidzellen um sich im Substrat zu verankern.

Grünalgen sind oft Haplonten die sich vegetativ vermehren, einige sind Diplohaplonten und vermehren sich auch sexuell. Das heißt dass sie in ihrem Lebenskreislauf eine haploide und eine diploide Phase durchlaufen. Der diploide Sporophyt bildet durch Meiose gegenpolige (zwei bis vier polige) Sporen. Sie haben entweder zwei oder vier Geißeln und einen Augenfleck. Nach dem ausschwärmen setzen sie sich fest und wachsen durch mitotische Teilungen zu gegenpoligen, haploiden Gametophyten heran. Sind die Bedingungen günstig bilden sie Gameten. Bei der Oogamie ist einer der Gameten unbeweglich (*ovum*; *lat.*, Ei). Der gegenpolige Partner ist mit Flagellen ausgestattet und sucht das Ei auf. Bei Iso- und Anisogamie sind die Gameten beweglich und sehen entweder gleich (iso-) oder unterschiedlich (aniso-) aus. Finden zwei gegenpolige Partner zusammen fusionieren die Zellen zu einer diploiden Zygote und bilden durch Mitosen einen neuen diploiden Sporophyten. Bei vielen Chlorophyten können sich beide Generationen auch vegetativ, durch Sporen vermehren. Sporophyt und Gametophyt können entweder gleich, isomorph oder unterschiedlich, heteromorph aussehen.

Einzellige unbewegliche und bewegliche Grünalgen vermehren sich oft vegetativ durch einfache Zellteilung. Dauerstadien, Akineten entwickeln sich wenn die Bedingungen ungünstig werden. Die Zellwände verdicken und es können lichtschützende Pigmente in die Zelle eingelagert werden. Akineten können widrigste Konditionen, wie komplette Austrocknung oder extreme Hitze und Kälte überstehen. Verbessern sich die Bedingungen zu Gunsten der Alge, kommt es zur Bildung von Sporen. Hierbei teilt sich die Mutterzelle und entwickelt zwei bis 16 Tochterzellen innerhalb ihrer Zellwand. Autosporen sind immobil und können nur unbegeißelte Tochterzellen bilden. Aplanosporen sind auch unbeweglich, haben aber das potential Flagellenstadien zu produzieren. (Pröschold, 2013; Bresinsky *et al.*, 2008; Graham *et*

al., 2009; Till, 2007; Wehr, 2002; Lee, 2008; Bell & Hemsley, 2000; Streble *et al.*, 2010; Linne von Berg *et al.*, 2004; Prescott, 1970; Bellinger & Sigee, 2010)

3.6 Ökologie und Symbiosen

Photoautotrophe Organismen haben als Sauerstoff- und Primärproduzenten eine essentielle Bedeutung für die Erde. Das Gleichgewicht unseres Planeten ist von ihnen abhängig. Wenn man bedenkt, dass Algen im Meer und in anderen Gewässern in etwa die gleiche Menge Kohlenstoff wie Landpflanzen fixieren und dabei nur einen Bruchteil der terrestrischen Biomasse ausmachen, muss man ihnen einen gewissen Respekt erweisen.

Man unterscheidet zwischen Plankton, Mikroalgen die sich in der Wassersäule bewegen, und Makroalgen, die von Supra- bis Infralitoral (*litoral*; *lat.*, Ufer) leben und meistens auf Fels oder Stein wachsen. Der Begriff Periphyton bezeichnet die Gesamtheit der Organismen (Bakterien, Algen), die eine unter Wasser liegende Oberfläche besiedeln.

In Süßwasser Habitaten spielen Grünalgen eine wesentliche Rolle. Sauerstoffgehalt und Nährstoffverfügbarkeit sind direkt und indirekt von ihnen abhängig. Kommt es durch Auswaschung der Böden oder Exkrementzufluss über Abflusskanäle zu erhöhtem Nährstoffzufluss (N, P, K), können aquatische Ökosysteme kippen. Die Biomasse erreicht dann in einem System den Kapazitätshöhepunkt (Algenblüte). Der während des Tages produzierte Sauerstoff wird in der Nacht von den Primärproduzenten wieder komplett veratmet. Es kommt zum Sterben der Fische und anderer Organismen. In weiterer Folge kann es zu Verschiebungen im Nahrungsnetz kommen, da es bei einem Nährstoffüberangebot, zur Dominanz schnell reproduzierender Arten (r-Strategen) kommt. Langsam wachsende (K-Strategen) sind oft systemstabilisierende Arten, die dann verdrängt werden. Es findet eine Veränderung in der Zusammensetzung der Vegetation und der Sekundärproduzenten statt. Aber nicht nur der erhöhte Nährstoffzufluss sondern

auch der Klimawandel mit den steigenden Temperaturen und Strahlungsintensitäten führt zu Algenblüten, die auch im Meer vorkommen und toxisch sein können.

Das Meer ist eine der bedeutendsten Kohlenstoffsinken der Erde. Jährlich werden in etwa 45 Mrd. Tonnen Kohlenstoff in unseren Ozeanen fixiert. Den Prozess bei dem atmosphärisches Kohlendioxid durch die Organismen in organischen Kohlenstoff umgewandelt wird und in weiterer Folge in die Meeressedimente abfällt bezeichnet man als biologische Pumpe. In Milliarden Jahren wurden durch Meeresorganismen mehr als 10 Millionen Gigatonnen Kohlenstoff fixiert und in den Sedimenten der Ozeane sequestriert. In der Erdgeschichte bildeten marine Grünalgen wie *Halimeda* und *Acetabularia* durch Karbonat Einlagerung (Kalzifikation) gigantische Kalksedimente wie, Riffe, marine Hügel oder Berge. Der steigende Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre senkt den pH-Wert der Meere (Versauerung), stört das Kohlenstoffgleichgewicht und führt zur Hemmung der Kalzifikation.

Grünalgen kommen nicht nur im Wasser vor. Sie besiedeln ein breites Spektrum an Lebensräumen. Bäume, Felsen, Schnee oder Böden zählen neben dem Meer und anderen Gewässern zu den weniger bekannten Habitaten der Grünalgen. Der Blutschnee, *Chlamydomonas nivalis*, ist im Hochgebirge anzutreffen und färbt schmelzendes Eis rot. Feuchte Böden können oft grün gefärbt oder von Gallertkugeln besiedelt sein. Auf Felsen und Bäumen bilden Luftalgen wie *Trentepohlia* und *Desmococcus* rote und grüne Beläge oder büschelartige Filamente. Flechtensymbionten sind coccale Grünalgen wie *Trebouxia* oder *Chlorella* und leben auch am Land.

Eine Flechte ist eine Gemeinschaft zwischen einem Pilz, dem Mycobionten und einer Blau- oder Grünalge, dem Phyco- oder Photobionten. Die Pilzhyphen umwachsen die Algen und penetrieren sie mit Haustorien. Sind die Phycobionten komplett umspinnen, bildet der Mycobiont einen Flechtenkörper (Thallus). Meistens ist er in eine obere Rindenschicht, Algenschicht, Marksicht und untere Rindenschicht gegliedert. Flechten können zur Verankerung wie Grünalgenthalli Rhizoide bilden. Die Rinden verhärten und synthetisieren oft bunte und aggressive Flechtenstoffe, um einerseits ihren Photobionten vor zu starker Strahlung zu schützen und andererseits Überwucherung durch andere Organismen zu vermeiden. Krustenflechten lösen mit

diesen Stoffen sogar Gestein und setzen sich so an Pionierstandorten fest. Die Symbiose bildet eine morphologische und physiologische Einheit, die der Mycobiont dominiert. Der Pilz reguliert den Nährstoff- und Wasserhaushalt des Photobionten und erhält von ihm die durch Photosynthese produzierten Kohlenhydrate.

Heterotrophe Organismen wie Wimpertierchen (Ciliata) oder Polypen (Hydra) können durch die Aufnahme unbeweglicher Grünalgen biotische Interaktionen entwickeln. Die inkorporierten Organismen bleiben unverdaut und produzieren Kohlenhydrate für den Partner. Die Grünalge *Chlorella* gibt *Hydra viridis* die namensgebende grüne Farbe.

Die Ausführungen zur Ökologie und Symbiosen wurde aus Bresinsky *et al.*, 2008; Graham *et al.*, 2009; Streble *et al.*, 2010; Linne von Berg *et al.*, 2004; Till, 2007 und Nultsch, 1991 zusammengefasst.

4 Material und Methoden

4.1 Objekte und Kulturen

Ulva sp., *Halimeda sp.*, *Acetabularia mediterranea* und *Anadyomene sp.* stammen aus Istrien, Sizilien und Großbritannien. Algen der Gattungen *Caulerpa sp.* und *Valonia sp.* wurden von Helmuth Goldammer und dem „Haus des Meeres“, Wien gespendet. Die Luftalgen *Trentepohlia sp.*, *Desmococcus sp.* und *Physolinum sp.*, wie auch die Flussalge *Cladophora sp.* wurden in Niederösterreich und Wien gesammelt. *Volvox globator*, *Haematococcus pluvialis*, *Chlorella sp.*, *Chlorella salina* und *Scenedesmus sp.* wurden aus der Algensammlung von Ao. Univ. Prof. Mag. Dr. Michael Schagerl gespendet.

Tabelle 1: Bestellte Organismen; Art, Algensammlung und Stammnummer.

Trebouxiophyceae		
Art	Algensammlung	Stammnummer
<i>Prasiola crispa</i>	SAG / Göttingen	43.96
<i>Trebouxia aggregata</i>	SAG / Göttingen	219-1d
<i>Eremosphaera viridis</i>	SAG / Göttingen	228-1
<i>Microthamnion kuetzingianum</i>	CAUP / Prag	J 1201
<i>Botryococcus braunii</i>	CCALA / Trebon	777
Chlorophyceae		
Art	Algensammlung	Stammnummer
<i>Oedogonium sp.</i>	CAUP / Prag	J 1001
<i>Chaetophora sp.</i>	SAG / Göttingen	413-2
<i>Pediastrum duplex</i>	CAUP / Prag	H 2308
<i>Coelastrum astroideum</i>	CAUP / Prag	H 1314
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	CAUP / Prag	H 320
<i>Carteria crucifera</i>	SAG / Göttingen	8-7a
<i>Dunaliella salina</i>	CCALA / Trebon	339

Um die Diversität der Chlorophyten ansatzweise zu repräsentieren wurden vom Department für „Cell Imaging and Ultrastructure Research“ der Universität Wien zusätzlich Kulturen aus Lebendsammlungen bestellt. Details zu den bestellten Organismen sind in Tabelle 1 angegeben.

Oocystis sp., *Gleocystis sp.*, *Sphaerocystis sp.* und *Willea irregularis* stammen aus Mischproben der Alten Donau, Lobau, den Lunzer Seen und dessen Moore.

4.2 Dokumentation

4.2.1 Kameras und Optiken

Freiland- und Landschaftsaufnahmen erfolgten mit der *Canon EOS 5D mark II* Vollformat digitalen Spiegelreflexkamera und einem *EF 24 -105 mm* Objektiv. Für Freiland – Makroaufnahmen wurde das Gerät mit einem *EF 100 mm* Makroobjektiv bestückt.

Im Labor erstellte Mikro- und Makrofotografien erfolgten mit einer *Nikon 1J1* Systemkamera. Das Gerät wurde an die Tritubi der vergrößernden Geräte, *Reichert UNIVAR*, *Leica TCS SP5 DM-6000 CS*, *Wild M400 Photomakroskop* und *Nikon Stereomikroskop SMZ* montiert oder mit einem *Nikon Micro Nikkor 60mm 1:2,8 D* Objektiv bestückt.

Weitere Makroaufnahmen entstanden im Studio mit den Spiegelreflexkameras *Canon EOS 5D mark II* und *Olympus E-330*. Hierbei wurden die Geräte mit den Objektiven *EF 100 mm* und *Olympus Zuiko Digital ED 50mm 1:2* ausgestattet.

Die Unterwasseraufnahmen erfolgten mit der Kompaktkamera *Nikon AW100*.

4.2.2 Standorte

Die Standorte der Freiland- und Unterwasseraufnahmen sind in Tabelle 2 aufgelistet. Es handelt sich um marine, Süßwasser und terrestrische Habitate der Grünalgen.

Tabelle 2: Standorte der Freilandaufnahmen.

Standorte		Freilandaufnahmen	Unterwasseraufnahmen
Italien	Palermo, Ustica, Tusa (Sizilien)	+	+
Kroatien	Plitvice, Pago, Pula	+	+
Österreich	Wien, Triestingtal, Lobau, Dürnstein (NÖ), Lunz (OÖ)	+	-

4.2.3 Stereomikroskopie und Makroskopie

Aufnahmen der makroskopischen Zellverbände wurden mit einem *Wild M400 Photomakroskop* und einem *Nikon Stereomikroskop SMZ* erstellt.

4.2.4 Lichtmikroskopie

Videos und Abbildungen der Geißelbewegungen, Organellen und artspezifische Strukturen wurden mit den Mikroskopen Reichert *UNIVAR* und *Leica TCS SP5 DM-6000 CS* erstellt werden.

Um den Informationsgehalt der Bilder und Videos zu erhöhen wurden diverse Kontrastierungsmethoden angewandt. Pyrenoide, Stärke, diverse Organellen und Geißelbewegungen konnten mit Differentialem - Interferenz – Kontrast (DIC), Polarisation, Dunkelfeld oder Phasenkontrast besser aufgelöst werden.

4.2.5 Konfokale Laser Scanning Mikroskopie (CLSM)

Diese Methode der Auflicht – Fluoreszenzmikroskopie erlaubt es mit einem Laser Strukturen mit spezifischer Wellenlänge (λ) zu rastern. Hierbei wird punktuell (Pixels) das Präparat abgetastet, zusammengerechnet und auf einem Bildschirm sichtbar gemacht. Die Lochblende (*Pinhole*) ist verstellbar und schirmt das vom Präparat zurückgestrahlte „*Out Of Focus*“ Fluoreszenzlicht vor den Detektoren ab. Da man

dadurch auf den Pixel genau, je nach *Pinhole*-Einstellung, hoch aufgelöste Bilder erhält, lassen sich Bilderserien auf mehreren Ebenen der Z-Achse erstellen und zu einem dreidimensionalen Bild errechnen (siehe Abbildung 1). Drei dimensionalen Aufnahmen der Chloroplasten wurden durch Scannen und Verarbeiten mehrerer Schärfenebenen auf dem *Leica TCS SP5 DM-6000 CS* erzielt.

Es wurde bei 400 nm bis 500 nm angeregt und zwischen 600 nm und 700 nm detektiert.

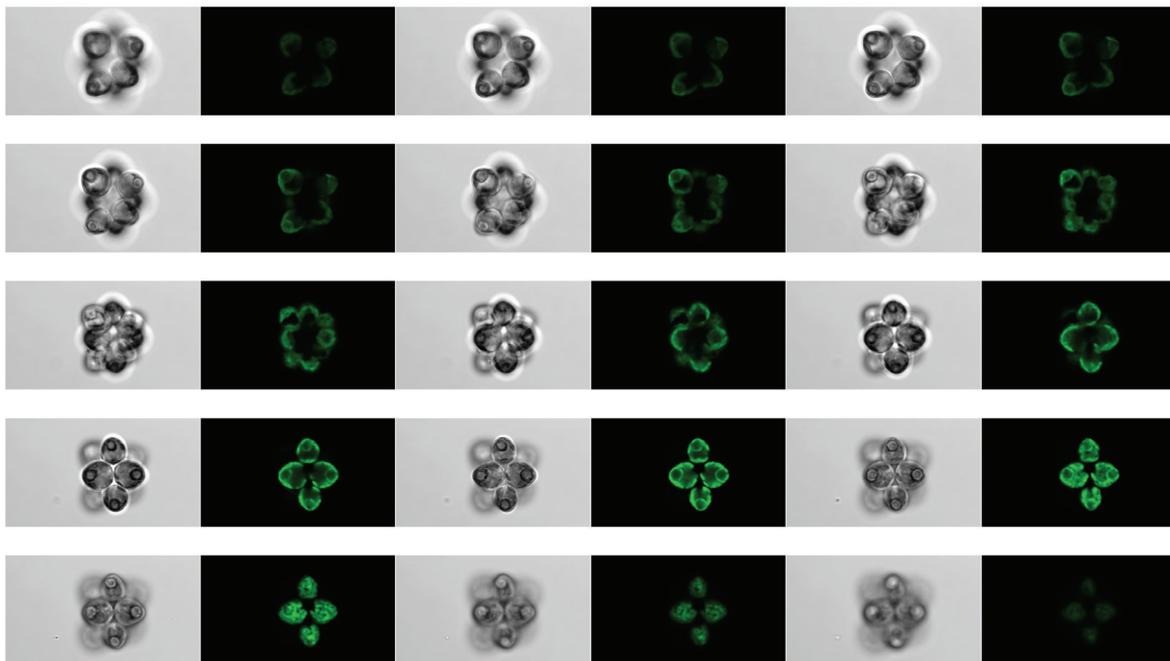


Abbildung 1: Bilderserie von *Coelastrum* längs der Z-Achse; Rechts: Transmissionsbilder Links: Fluoreszenzbilder.

4.2.6 Focus und Panorama Stapelung

In der Fotografie, besonders in der Mikro- und Makrofotografie ist der Verlust an Tiefenschärfe mit zunehmender Vergrößerung ein alltägliches Problem. Um den Informationsgehalt und den Schärfebereich eines stark vergrößerten Objekts zu erhöhen, wird eine Bildserie mit ab- oder aufsteigenden Fokussen erstellt. Die Bewegung erfolgt in der Z-Achse.

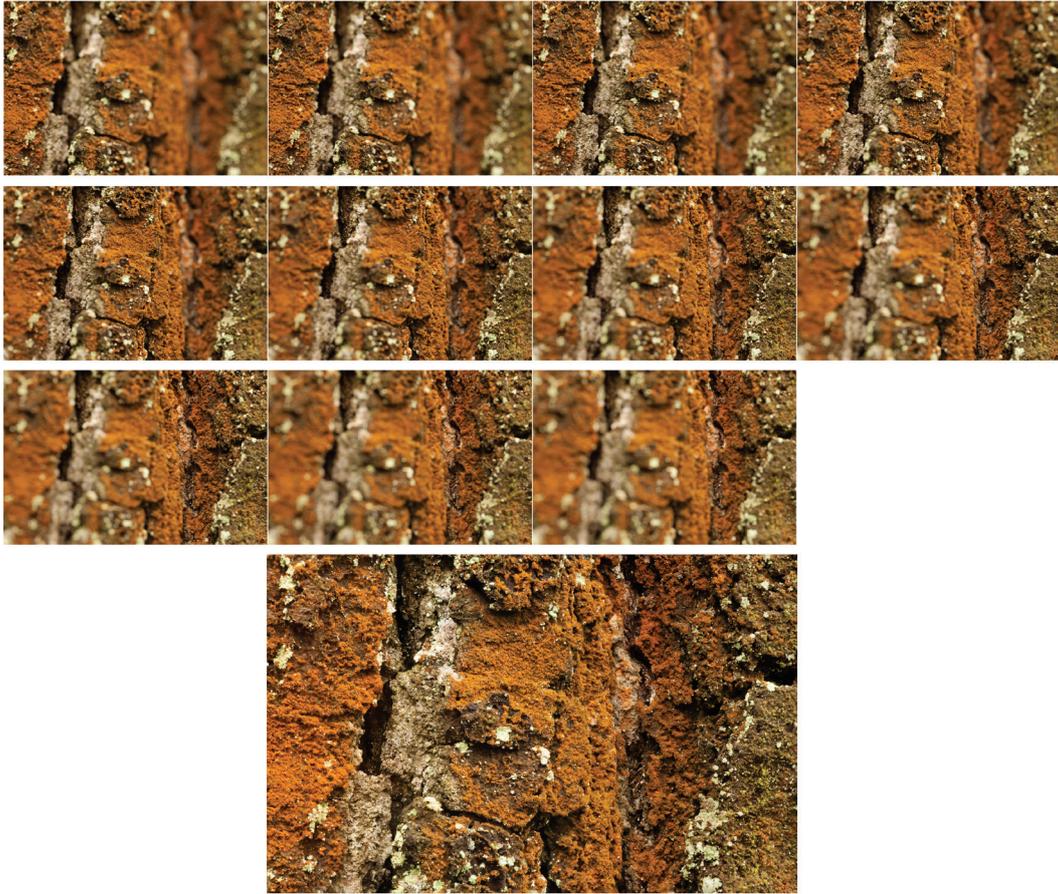


Abbildung 2: Focus Stapelung von *Physolinum* auf einem Baum; Oben: Bildserie, Unten: Bildstapelung.



Abbildung 3: Panorama Stapelung von *Valonia*; Oben: Bildserie, Unten: Bildstapelung.

Mittels Software kann die Serie zu einer Aufnahme mit einem vergrößerten Schärfebereich zusammengerechnet werden (siehe Abbildung 2). Die Algorithmen der Softwareanbieter variieren in ihrer Effizienz, deswegen wurde für diesen Film je nach Bilderserie und deren Ergebnisse, *Hadleyweb CombineZM* oder *Adobe Photoshop CS6* verwendet.

Die Panorama Stapelung erfolgt in ähnlicher Weise (siehe Abbildung 3). Hierbei werden mehrere Teile eines vergrößerten Objekts abfotografiert und mit *Adobe Photoshop CS6* zu einem Bild des Gesamtobjekts fusioniert.

Für den Film wurden beide Techniken angewandt und zum Teil kombiniert.

4.2.7 Zeitraffung

Chloroplastenbewegung, Zellteilung oder die Entwicklung und das Aufplatzen von Autosporien sind Vorgänge die einen längeren Beobachtungszeitraum erfordern. Diese Prozesse können mit konventioneller Videotechnik nicht in einem Stück aufgenommen werden. Um die Ereignisse zu dokumentieren wurden mehrere Bildserien erstellt.

Einige Vorkommnisse konnten *via* Video aufgenommen werden und wurden nachträglich in *Adobe Premiere CS6* beschleunigt.

4.2.8 Licht und Zubehör

Für die makroskopischen Studioaufnahmen mittels *Nikon Stereomikroskop SMZ* und *Wild M400 Photomakroskop* wurden die LED – Leuchtkonsolen *Photonic Optics F3000* und *LED F1* und die Halogen – Leuchtkonsole *Volpi Intralux 6000* verwendet. Diese wurden mit Schwanenhälsen, einem Ringlicht oder einer Dunkelfeld – Hellfeld Apparatur verbunden.

Für die mit der *Canon EOS 5D* erstellten Studiobilder wurden drei *Dedo DLH-4* Leuchten verwendet.

Um in den Aufnahmen Glanz- und Reflexion zu reduzieren und auch kräftigere Farben zu erzielen, wurden alle Geräte mit Polfilter ausgestattet.

Für das Freiland diente ein *Manfrotto 190PROB* Stativ mit Videokopf. Für Studioaufnahmen wurde ein Rollstativ mit Fotokopf der Firma *Manfrotto* verwendet.

4.3 Postproduktion und Authoring

4.3.1 Video- und Foto- Formate

Die Produktion des Films erfolgte mit 25 fps (*frames per second*) in High Definition bei einer Auflösung von 1920 x 1080 Pixel (Full HD 1080p). Bei Aufnahmen des Rohmaterials wurde darauf geachtet, dass die originalen Bildauflösungen der Endauflösung entsprechen oder diese überschreiten. Standbilder wurden ausschließlich als 32-bit Rohdatenformate (RAW-Daten), Canon Raw Image File (CR2), *Nikon Electronic Format* (NEF) oder *Olympus Raw Format* (ORF) aufgenommen und sind den Sensorgrößen der Kameras entsprechend größer als das Videoformat. Durch Produzieren von RAW-Daten erhält man die Option Bildmaterial mit geringem Informationsverlust nachzubearbeiten.

Die Aufnahmen des Videomaterials erfolgten alle mit dem zurzeit gängigen und in den Kameras integrierten MPEG4 Video-Codec und dem Kompressionsstandard H.264.

4.3.2 Nachbearbeitung und Authoring

Alle Fotonachbearbeitungen und Korrekturen erfolgten in *Adobe Photoshop CS6* und *Adobe Bridge CS6 Camera Raw*. Bewegungen der Standbilder wurden in *Adobe Premiere Pro CS6* und *Adobe After Effects CS6* animiert.

Für den gesamten Filmschnitt, wie auch für nachträgliche Farb- und Helligkeitskorrekturen wurde *Adobe Premiere Pro CS6* angewandt.

DVD-Authoring und Untertitelung wurde in *Adobe Encore CS6* durchgeführt.

4.3.3 Animationen

Die in den Kapiteln, „Morphologie und Lebenszyklus“, „Stammesgeschichte“ und „Algen in der Biotechnologie; Nutzen für die Menschheit“, vorkommenden Animationen wurden alle mit *Adobe Illustrator CS6* und *Adobe After Effects CS6* erstellt. Weitere Nachbearbeitungen erfolgten in *Adobe Premiere Pro CS6*.

4.3.4 Audio; Sounddesign und Musik

Arrangement und Produktion der Musik sind für diesen Film gefertigte Eigenkompositionen des Verfassers dieser Arbeit. Die Vertonung des Films erfolgte in *Logic Pro 9* (siehe Abbildung 4). Tonflächen wurden mit der klassischen Wavetable – Synthese und moderneren Physical modelling – Synthese erstellt. Als melodiegebende Instrumente dienten unter anderem Piano, Streicher und Bläser, die mittels Sampler – Instrumenten und den in der Software enthaltenen Sample – Bibliotheken erstellt wurden. Die zeitgenössischen Instrumentationen der Melodien erfolgten mit integrierten oder durch Drittanbietern hergestellte Virtuelle Instrumente.

The image displays a musical score excerpt from Logic Pro 9, spanning measures 39 to 41. The score is presented in two columns, with measure 11 on the left and measure 12 on the right. The staves are labeled as follows: bowext, Bosendorfer Piano Studio, Warm Strings, Bass Section, Cello Section, Viola Section, and Violin Section 01. The notation includes various musical symbols such as notes, rests, and dynamic markings, indicating a complex orchestral arrangement.

Abbildung 4: Partiturauszug der Musik aus *Logic Pro 9*.

Zusätzliche Sounds und Instrumente wurden mit einem *AKG Perception-420* Großmembran Kondensatormikrofon bei 24-bit und 96 kHz aufgenommen.

Freilandaufnahmen wurden über die internen Mikrofone und ein *Rode VideoMic Pro* Kondensatormikrofon mittels Kameras aufgenommen.

Eine Vorversion des gesprochenen Textes wurde durch den Verfasser in seinem Heimstudio in Wien aufgenommen. Die Aufnahme des professionellen Sprecher Otto Clemens, erfolgte anschließend im Tonstudio *macjingle* in Wien.

5 Ergebnisse

5.1 Gliederung des Filmes

Vorspann

Kapitel I: Einleitung

Kapitel II: Anatomie und Physiologie

Kapitel III: Morphologie, Lebenszyklus und Reproduktion

Kapitel IV: Stammesgeschichte

Kapitel V: Diversität

Kapitel VI: Algen in der Biotechnologie; Nutzen für die Menschheit

Abspann

5.2 Inhalt des Filmes

5.2.1 Vorspann

Eine kurze Vorschau über die Bedeutung und das Aussehen der Grünalgen.

5.2.2 Kapitel I: Einleitung

Die Einleitung gibt einen groben Überblick über die Welt der Algen. Ihre Bedeutung in der Erdgeschichte als Sauerstoff und Primärproduzenten wird veranschaulicht. Der Film beschreibt die Bedeutung der Cyanobakterien für die Entwicklung der heutigen Atmosphäre. Danach werden die Grünalgen als Katalysatoren des Lebens präsentiert und eine Übersicht der diversen Habitate gezeigt

5.2.3 Kapitel II: Anatomie und Physiologie

Anatomischen und physiologischen Besonderheiten der Grünalgen werden präsentiert. Photoautotrophie und deren wichtigste Einheit, der Chloroplast, wird erklärt. Die Produktion von Stärke und Ölen als Reservestoffe wird als wichtiges Merkmal veranschaulicht. Ökophysiologische Mechanismen, wie Chloroplastenbewegung, Inkrustation und Pigmentproduktion bei Trockenheits- oder Irradiationsstress werden hier besprochen. Wie sich planktonische Grünalgen fortbewegen und Licht wahrnehmen wird mit den Begriffen Geißel und Augenfleck erklärt. Abschließend wird die Bedeutung der Grünalgen als Symbionten erläutert.

5.2.4 Kapitel III: Morphologie, Lebenszyklus und Reproduktion

Die morphologische Diversität der Grünalgen wird hier anhand von Animation und Echtbild aufgelöst. Der haplodiplontische Lebenszyklus und die verschiedenen Gametentypen, Iso-, Aniso- und Oogamie werden über eine Animation erklärt.

5.2.5 Kapitel IV: Stammesgeschichte

Die Klassifizierung der Algen gibt Verständnis über den Begriff Grünalgen und definiert die Abteilung Chlorophyta. Es wird erklärt, dass die Streptophyten mit den Desmidiaceen, Zygnematophyceen und Characeen den Landpflanzen phylogenetisch am nächsten stehen. Die Prasinophyten hingegen sind eine sehr inhomogene Gruppe und vereinigen Merkmale beider, Chloro- und Streptophyta. Danach werden die drei Klassen der Grünalgen im engeren Sinne präsentiert.

5.2.6 Kapitel V: Diversität

Den Klassen entsprechend wird dieses Kapitel in drei Szenen geteilt. Die Diversität, Ökologie und Habitats der Gruppen Ulvophyceae, Trebouxiophyceae und Chlorophyceae werden anhand einer Auswahl von Organismen präsentiert.

5.2.7 Kapitel IV

Der letzte Teil des Filmes bespricht die Algenbiotechnologie als *Hot-topic* der Phykologie. Es wird demonstriert wie Isolierung und Kultivierung funktioniert. Einige Grünalgen und deren Algenprodukte, die wir im alltäglichen Leben wiederfinden werden gezeigt.

5.2.8 Abspann

Die Bedeutung der Grünalgen wird nochmals hervorgehoben und zusammengefasst.

5.3 Drehbuch des Filmes

5.3.1 Vorspann

Sie sind unscheinbar. Oft klein. Ein wertvoller Teil der grünen Lunge unserer Erde. Für den Erhalt der Ökosysteme und der Atmosphäre sind sie fundamental. Sie sind die kleinen Schwestern der Landpflanzen.

Grünalgen.

(Man sieht: Grünalgen im Mikroskop und am Standort, Habitate, zuletzt Titelvorspann)

5.3.2 Kapitel I: Einleitung des Films

Bevor die Erde zu einem lebenswerten Planeten wurde, waren es Blaualgen die die Atmosphäre mit Sauerstoff sättigten...

(Man sieht: das Meer, diverse Habitataufnahmen; mikroskopische Aufnahmen von Blaualgen)

Daraus entwickelten sich Braunalgen, Rotalgen und auch die Grünalgen

(Man sieht: Rhodophyta, Phaeophyta und Chlorophyta)

In den Ur-Ozeanen produzierten sie die essentiellen Stoffe für die Weiterentwicklung des Lebens: Sauerstoff und Kohlenhydrate, also Luft und Nahrung.

(Man sieht: das Meer von der Küste, Algenpolster / eine Unterwasseraufnahme im Biotop eines Individuums etc.; ein Patchwork)

Seit etwa 1,5 Mrd. Jahren erobern sie die Lebensräume der Erde und sind dabei extrem erfolgreich.

(Man sieht: Freiland- und Unterwasseraufnahmen, Fluss, See, Borke, Felsen etc., Habitat-Patchwork)

Sie besiedeln jedes erdenkliche Habitat des Planeten und spielen in Ökosystemen eine fundamentale Rolle.

(Man sieht: Patchwork geht weiter)

Die meisten Grünalgen leben im Süßwasser.

(Man sieht: diverse Seen und Flüße)

Viele auch in salzhaltigen Steppenseen oder im Meer.

(Man sieht: Neusiedlersee & Meer)

Einige haben sich an extrem trockene oder kalte Standorte angepasst.

(Man sieht: die Alpine Stufe, einen Felsen- und Borkenbewuchs)

Oft auch als Symbionten.

(Man sieht: Flechte am Standort)

Während dieser langen Entwicklungsgeschichte konnten sich vielseitige Strategien und Formen entwickelt. Von mikroskopischen Einzellern über makroskopische Fäden zu blattartigen Zellverbänden.

(Man sieht: coccale (*Chlorella*), capsale (*Sphaerocystis*), monadale (*Carteria*), coenobiale (*Pediastrum*, *Volvox*) trichale (*Oedogonium*), siphonale (*Caulerpa*, *Acetabularia*), siphonocladale (*Anadyomene*, *Cladophora*) und andere thallose (*Ulva* sp., *Halimeda* sp.) → ein Patchwork)

Aber was macht sie so erfolgreich, Was sind ihre Strategien und wie funktionieren sie?

(Ausblenden)

5.3.3 Kapitel II: Anatomie und Physiologie

Wie Landpflanzen sind Grünalgen photoautotrophe Organismen. Energie beziehen sie aus Sonnenlicht und Kohlendioxid.

(Man sieht: Landpflanze, Himmel, Alge, Wasser und Lichtreflektionen)

Sie haben Chloroplasten, in denen die Lichtenergie als Stärke gespeichert wird. Sauerstoff wird in die Umwelt abgegeben. Das Zentrum dieses Prozesses ist das Pyrenoid.

(Man sieht: Split Screen, Blatt und Algenhallus; Danach, Split Screen mikroskopische Aufnahmen der Chloroplasten von Algen und Landpflanzen; mikroskopische Aufnahme von *Scenedesmus*, Pfeil auf prominenten Pyrenoid)

Um die Lichtausbeute zu erhöhen haben Grünalgen unterschiedliche Chloroplastenformen entwickelt. Sie können linsen-, netz-, becher- oder hantelförmig sein.

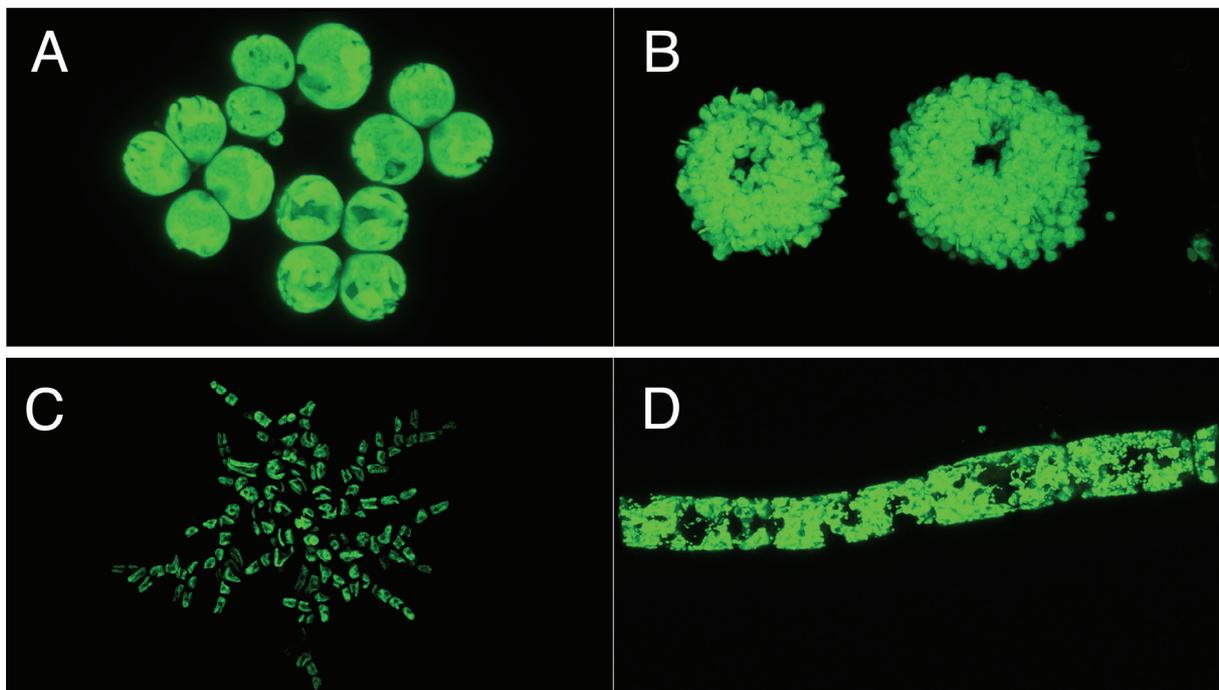


Abbildung 5: Im CLSM erstellte 3D – Bilder; A: *Botryococcus braunii*, B: *Eremosphaera viridis*, C: *Microthamnion kuetzingianum*, D: *Oedogonium sp.*.

(Man sieht: CLSM 3D – Animationen diverser Algenchloroplasten; siehe Abbildung 5)

Neben Kohlenhydraten produzieren einige Grünalgen auch Öle und Lipide als Reservestoffe.

(Man sieht: Kolonie von *Botryococcus braunii* mit Öl-Exkretion und in Lipide gepackte Carotinoide von *Haematococcus pluvialis*)

Die Zellwand besteht zum Großteil aus einer gallertartigen Fraktion, dem Pektin. Landpflanzen hingegen besitzen starre Wände aus Cellulose.

(Man sieht: Split Screen; starre Zellwände einer Landpflanze und von Gallerte umhüllte Algen (*Sphaerocystis* sp., *Gleocystis* sp.))

Bei Luftalgen oder Dauerstadien können wie bei Blütenpollen extrem widerstandsfähige Sporopollenine eingebaut sein.

(Man sieht: Split Screen; *Trentepohlia* sp., *Physolinum* sp. und *Haematococcus pluvialis*, Dauerstadium, Pfeil zeigt auf Zellwand, dann Pollenkorn)

*Normalerweise dominieren die grünen Pigmente Chlorophyll a und b. Bei Nährstoffmangel, Trockenheit oder Lichtstress produzieren Organismen wie *Chlorella*, *Dunaliella* oder *Trentepohlia* vermehrt dunkle Pigmente. Carotinoide.*

(Man sieht: eine chlorophylldominierte Alge, danach die oben genannten Organismen)

**Haematococcus pluvialis* erzeugt ein spezielles Carotinoid, das Astaxanthin, das neben UV-Schutz auch antioxidative Eigenschaften hat.*

(Man sieht: rot gefärbte Zellen von *H. pluvialis*)

**Eremosphaera viridis* nützt Chloroplastenbewegung um ihre DNS zu schützen. Bei starken Lichtintensitäten werden die Plastiden um den Zellkern gezogen.*

(Man sieht: Video-Zeit-Raffung der Chloroplastenbewegung bei *E. viridis*)

Die Fortbewegungsstruktur der Algen ist die Geißel. Chlorophyten haben zwei oder ein Vielfaches von zwei Flagellen. Sie sind gleich lang. Das nennt man isokont.

(Man sieht: Algen mit Flagellen; *Dunaliella salina*, *Haematococcus pluvialis*, *Carteria sp.* und *Volvox sp.*)

Um sich mit diesen gezielt vom oder zum Licht zu bewegen besitzen mobile Organismen einen Augenfleck. Das Pigment der Lichtrezeption ist hierbei das Rhodopsin.

(Man sieht: Alge mit Augenfleck; *Carteria sp.*, *Dunaliella sp.*, *Volvox sp.*, mit Verweis)

Bei Zellverbänden gibt es Zell-Zell Verbindungen. Diese Plasmodesmen erleichtern die Kommunikation und Synchronisation zwischen den Zellen.

(Man sieht: weiterhin *Volvox sp.*, Pfeil auf Plasmodesmen)

Grünalgen wie *Chlorella* oder *Trebouxia* bilden Symbiosen. Photosynthetisch produzieren sie Kohlenhydrate und versorgen so ihre Partner. In Wimpertierchen und anderen Protisten nennt man sie Zooxanthellen.

(Man sieht: Mikroskopisches Video eines *Paramecium* mit inkorporierten Algen)

In einer Flechte werden die Algen von Pilzhyphen umspinnen. Der Mycobiont dringt dann mit Haustorien in seinen Algenpartner ein um die Nährstoffe zu beziehen. Der Pilz strukturiert den Flechtenkörper; in Rindenschicht, Marksicht und Algenschicht.

(Man sieht: Mikroskopische Aufnahmen von *Xanthoria parietina* und *Cladonia sp.*, die Schichten)

(Ausblenden)

5.3.4 Kapitel III: Morphologie, Lebenszyklus und Reproduktion

5.3.4.1 Szene 1: Morphologie

Das Erscheinungsbild der Grünalgen, die Morphologie, ist von Gattung zu Gattung unterschiedlich.

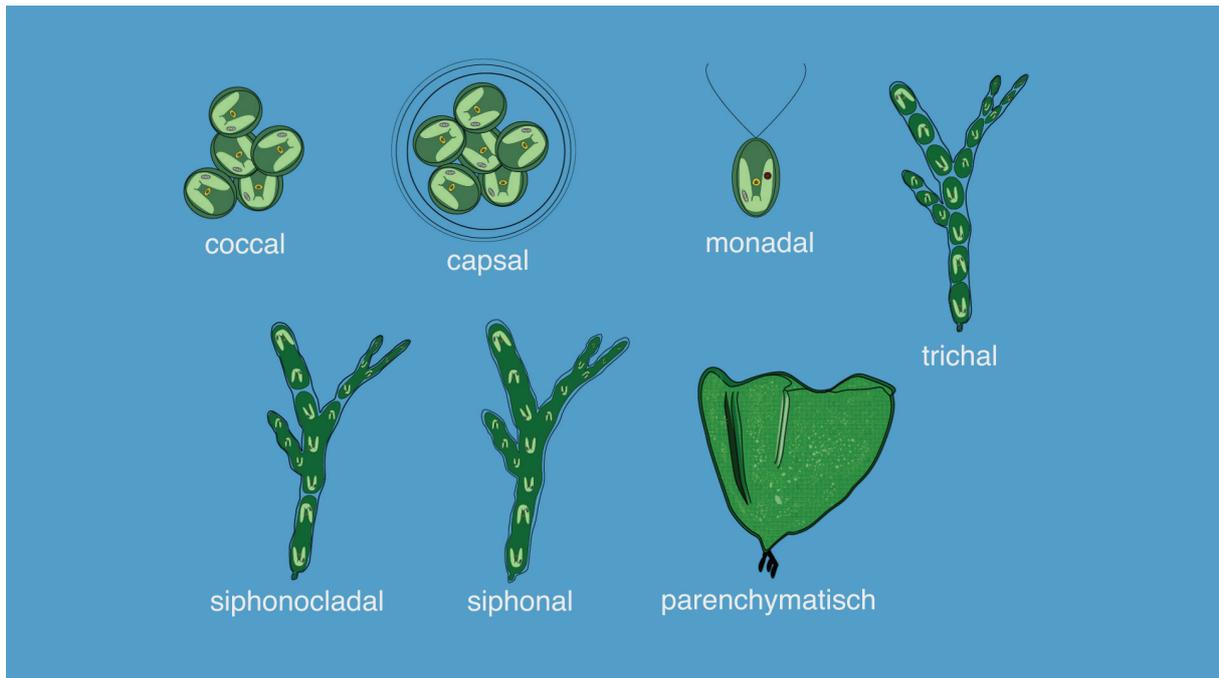


Abbildung 6: Bild aus der Animation der Morphotypen.

(Man sieht: Animation; Übersicht über die in den Chlorophyten vorkommenden morphologischen Typen; siehe Abbildung 6)

Bei coccalen Morphotypen bestehen die Organismen aus einzelnen Zellen.

(Man sieht: Animation, coccaler Morphotyp; *Trebouxia, Chlorella*)

Einige einzellige Arten bilden Kolonien mit konstanter Zellzahl. Coenobien.

(Man sieht: mikroskopische Aufnahmen von *Coelastrum, Scenedesmus*)

Capsale Formen sind den coccalen sehr ähnlich. Die Zellen sind jedoch von einer Gallerte umgeben.

(Man sieht: Animation, capsaler Morphotyp; *Gleocystis*)

Monadale Algen besitzen Geißeln und sind beweglich. Zur Lichtwahrnehmung besitzen sie einen Augenfleck.

(Man sieht: Animation, monadaler Morphotyp; Aufnahmen, *Dunaliella salina*, *Carteria crucifera*)

Trichale Organismen bilden fädige Zellverbände. Sie können verzweigt oder unverzweigt sein.

(Man sieht: Animation, trichaler morphotyp; Videos von *Oedogonium sp.* und *Chaetophora sp.*)

Siphonocladale Algen besitzen mehrere Zellen mit mehreren Zellkernen und Chloroplasten.

(Man sieht: Animation, siphonocladaler morphotyp; Aufnahme von *Cladophora sp.*)

*Siphonale Arten bilden Thalli aus einer einzigen Riesenzelle. Meistens besitzen sie viele Chloroplasten und Zellkerne, *Acetabularia* hat aber nur einen.*

(Man sieht: Animation, siphonale Alge; Aufnahmen von *Caulerpa sp.*, *Acetabularia sp.* und *Halimedeia sp.*)

Pseudoparenchymatische Zellverbände gehen so weit, dass sie den Landpflanzen sehr ähnlich sehen. Sie können aus Einzelzellen, siphonen- oder siphonocladalen Zellen bestehen.

(Man sieht: Animation, parenchymatischer Thallus; makroskopische Aufnahmen von *Ulva sp.*)

Anders als bei einem Kormus, dem Pflanzenkörper, besitzen Grünalgen keine echten Organe. Wurzel, Sprossachse und Blatt bestehen aus ausdifferenzierten Zellen. In einem Zellverband besitzen die Zellen verhältnismäßig gleiche Eigenschaften. Einige Thalli bilden aber funktionelle Strukturen aus. Sie können blatt-, stamm- und wurzelähnlich sein und werden Phylloide, Cauloide und Rhizoide genannt.

(Man sieht: Split Screen; Vergleich Kormus und Thallus; Aufnahme einer Landpflanze und einer Thallus bildenden Grünalge)

Besonders Rhizoidzellen sind sehr häufig. Sie verankern die Pflanze im Substrat.

(Man sieht: mikroskopische Aufnahme der farblosen Rhizoidzellen von *Ulva sp.*)

(Ausblenden)

5.3.4.2 Szene 2: Lebenszyklus und Reproduktion

Der Lebenszyklus eines typischen Chlorophyten besteht aus zwei Phasen und ist heterophasisch. Sporophyt und Gametophyt sehen zumeist gleich aus und sind isomorph. Demnach besitzen sie einen heterophasisch – isomorphen Lebenszyklus.

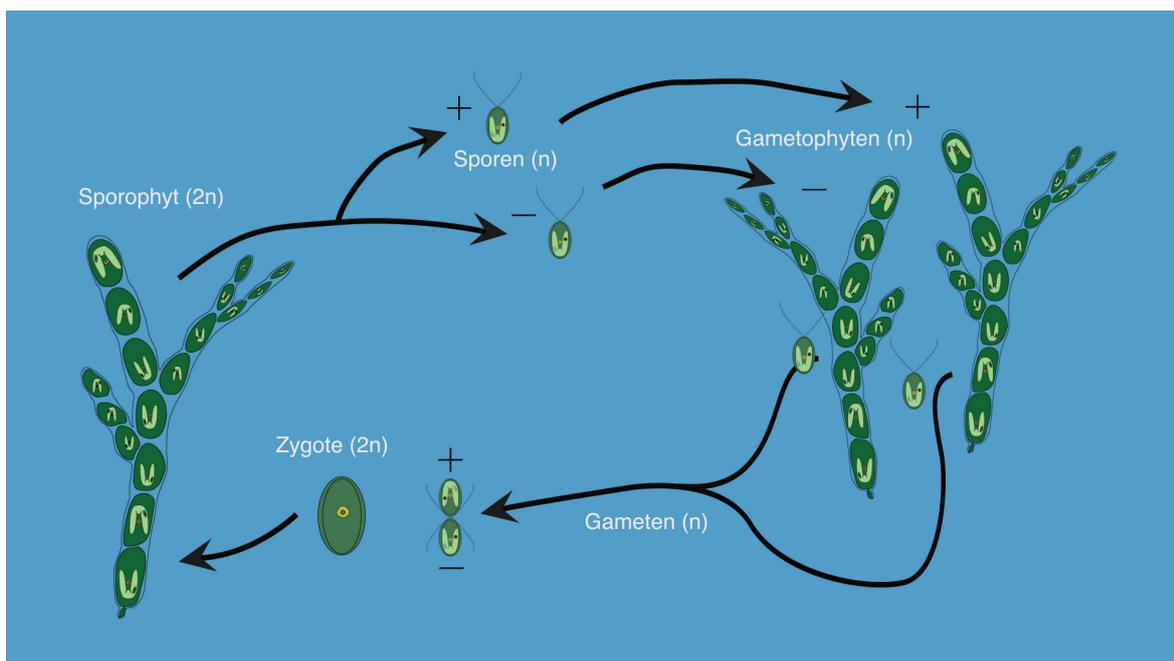


Abbildung 7: Bild aus der Animation des Lebenszyklus.

(Man sieht: Animation, Lebenszyklus Übersicht; siehe Abbildung 7)

Der diploide Sporophyt vollzieht Meiosen und bildet genetisch unterschiedliche Zoosporen. Diese werden entlassen, setzen sich fest und bilden neue Thalli, die haploiden Gametophyten.

Mitotisch bilden sie ausschwärmende Gameten. Finden sich zwei gegenpolige Gameten fusionieren sie und bilden dann eine diploide Zygote.

(Man sieht: Animation, Lebenszyklus im Detail)

Die Gameten gleich aussehen, dann wird es Isogamie genannt. Sehen Gameten unterschiedlich aus, nennt man es Anisogamie. Ist einer der beiden unbeweglich, spricht man von Oogamie.

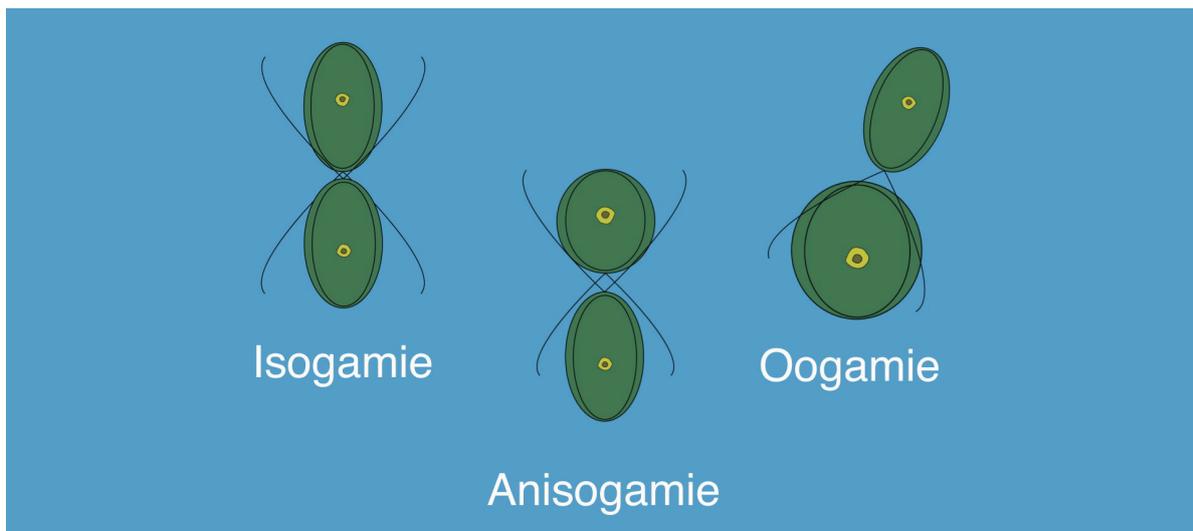


Abbildung 8: Bild aus der Animation; Arten der Gametangiogamie.

(Man sieht: Animation, Formen der sexuellen Reproduktion Übersicht und Detail, siehe Abbildung 8)

Durch die Fusion der Gameten wird das genetische Material rekombiniert. Ein neuer diploider Sporophyt wächst heran.

(Man sieht: Animation, Lebenszyklus im Detail)

Zellteilung, Autosporen und andere Dauerstadien sind die Mechanismen der asexuellen Reproduktion

(Man sieht: Zeitraffung, Zellteilung und aufgeplatzte Autospore von *Eremosphaera viridis*; Aufnahmen, Dauerstadien von *Haematococcus sp.*)

(Ausblenden)

5.3.5 Kapitel IV: Stammesgeschichte

Chlorophyten und Landpflanzen teilen sich eine gemeinsame Stammesgeschichte. „Grünalgen“ ist aber ein allgemeiner Begriff. Die Zieralgen und Armlauchalgen, die auch als Grünalgen gelten, bilden den Stamm der Charophyten. Sie werden zur Abteilung der Landpflanzen, zu den Streptophyten, gerechnet. Sie stehen den Chlorophyten gegenüber.

Die Prasinophyten besitzen Merkmale beider Abteilungen und bilden eine sehr inhomogene Zwischengruppe.

Die Abteilung Chlorophyta besteht aus drei Klassen. Früher wurden Grünalgen anhand ihrer Morphologie eingeteilt. Heute differenziert man in Ulvophyceae, Trebouxiophyceae und Chlorophyceae und spricht auch von den UTC-Kladen.

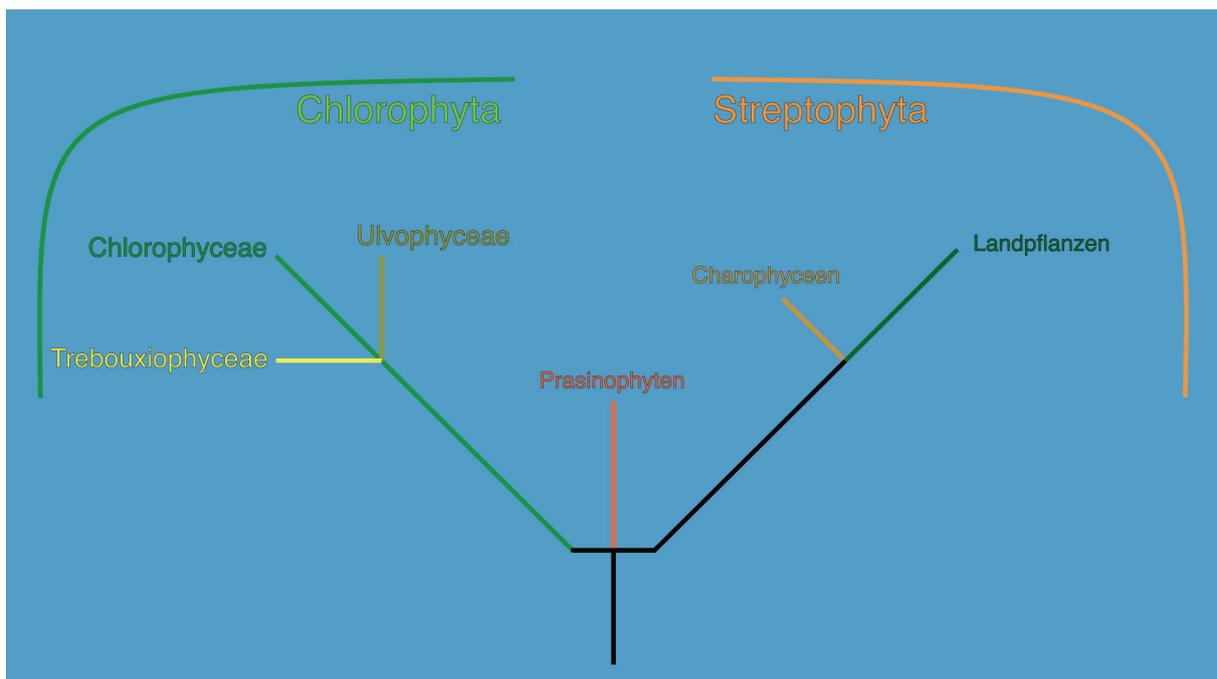


Abbildung 9: Bild der Animation des Stammbaums der Grünalgen nach Graham *et al.*, 2009; modifiziert und vereinfacht).

(Man sieht: Animation; Stammbaum nach Graham *et al.*, 2009; modifiziert und vereinfacht; siehe Abbildung 9)

Die Ulvophyceen bilden makroskopische Zellverbände und kommen vermehrt im Meer vor.

(Man sieht: Habitataufnahmen und makroskopische Aufnahmen diverser Ulvophyceen: *Ulva sp.*, *Anadyomene sp.*, *Caulerpa sp.*)

In der Klasse der Trebouxiophyceen befinden sich coccale, capsale und trichale Formen. Die Organismen sind meistens Luftalgen und Flechtensymbionten.

(Man sieht: Habitataufnahmen, makro- und mikroskopische Bilder)

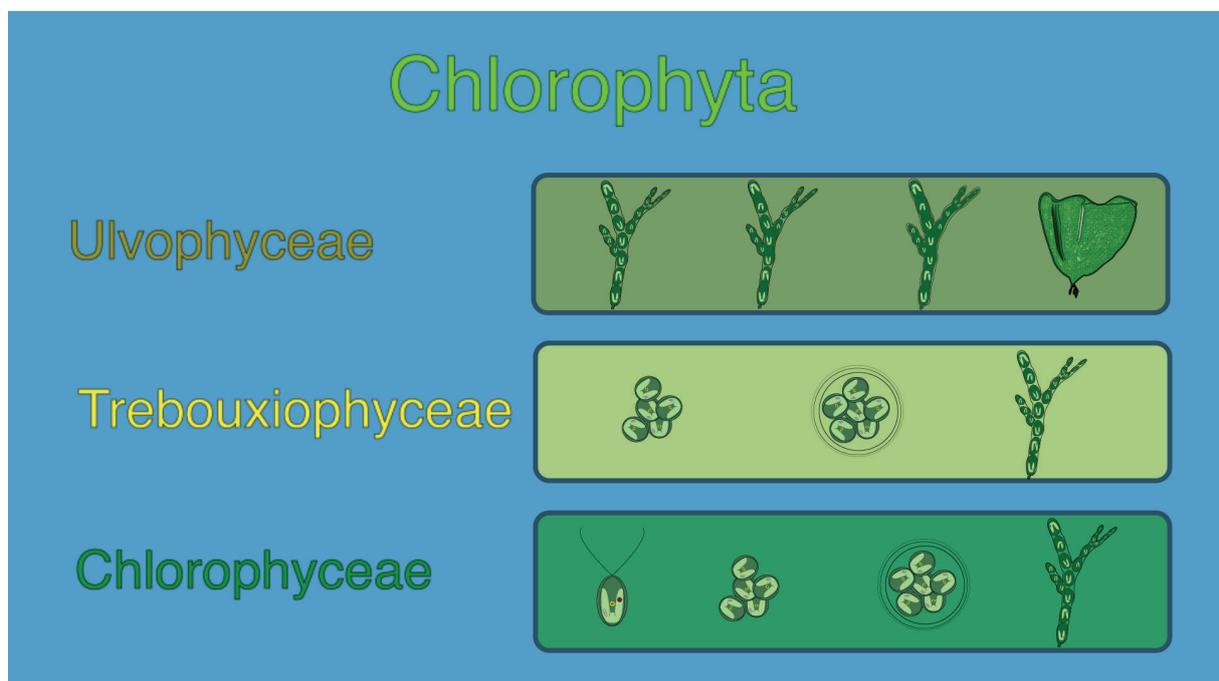


Abbildung 10: Bild aus der Animation, UTC-Klade.

Die Klasse der Chlorophyceen enthält coccale, capsale, monadale und trichale Algen. Symmetrische Kolonien mit aufsteigender Komplexität charakterisieren diese Gruppe.

(Man sieht: Aufnahmen, *Carteria sp.*, *Haematococcus sp.*, *Sphaerocytis sp.*, *Scenedesmus sp.* und *Oedogonium sp.*; Danach, *Coelastrum sp.* und *Volvox sp.*)

(Ausblenden)

5.3.6 Kapitel V: Diversität (Die UTC-Klade)

5.3.6.1 Szene 1: Ulvophyceae

Arten dieser Klasse bilden makroskopische Zellverbände. Von trichal, siphonocladal und siphonal bis hin zu pseudoparenchymatisch. Die meisten leben im Meer. Einige auch im Süßwasser.

(Man sieht: Habitate, makro- und mikroskopische Aufnahmen der Vertreter)

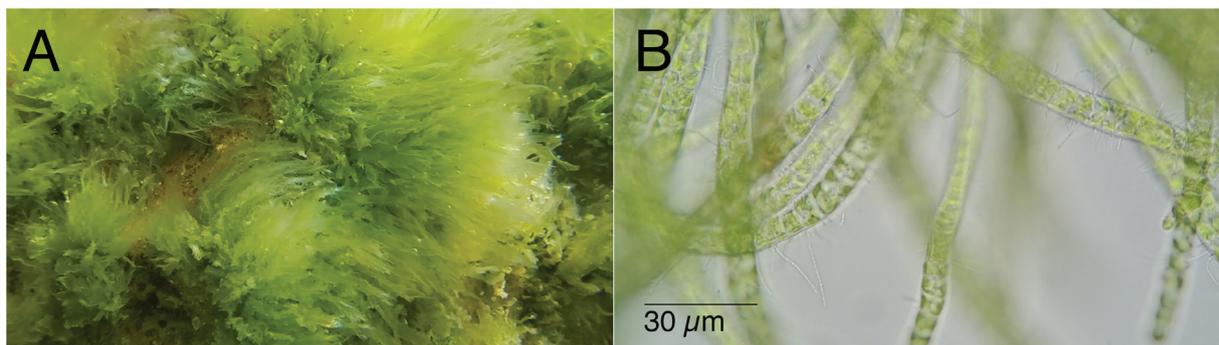


Abbildung 11: A: *Ulva sp.*, Habitat; B. *Ulva sp.*, Rhizoide.

Ulva lebt in der Küsten- und Gezeitenzone. Sie bildet blattartige Thalli, die aus 1-2 Zellschichten bestehen.

Die Zellverbände können bis zu einen Meter werden. Sie bestehen aus ovalen Zellen mit je einem Chloroplasten und einem Zellkern.

(Man sieht: Zoom-In, makroskopisch zu mikroskopisch, *Ulva sp.*)

Dank ihrer farblosen, fädig verzweigten Rhizoidzellen verankern sie sich im Substrat und können so auch starken Strömungen widerstehen.

(Man sieht: Habitataufnahme, Meeresströmung; Aufnahmen von farblosen Rhizoiden, siehe Abbildung 11)

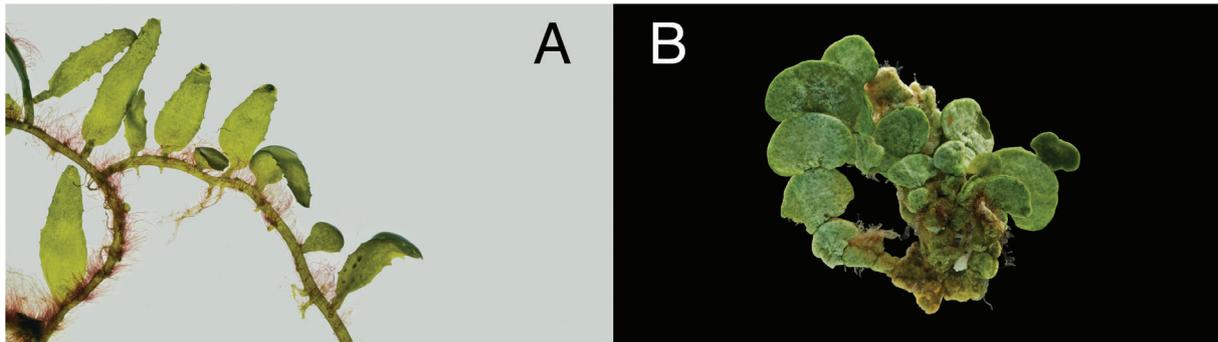


Abbildung 12: makroskopische Aufnahmen; A: *Caulerpa*, B: *Halimeda*.

Caulerpa und *Halimeda* leben auf Felsen in der Schelfregion. Die Thalli bestehen aus einer einzigen Riesenzelle, mit einer Vielzahl von Kernen und Chloroplasten.

(Man sieht: Studioaufnahme von *Caulerpa*; Habitataufnahme von *Halimeda*)

Caulerpa ähnelt mit ihren blatt-, stamm- und wurzelähnlichen Strukturen einer Landpflanze. Im Mikroskop kann die Plasmaströmung in der Riesenzelle beobachtet werden.

(Man sieht: Zoom-In, makroskopisch zu mikroskopisch, *Caulerpa*; siehe Abbildung 12 A,B)

Halimeda ähnelt einem Feigenkaktus. Die Segmente sind kalzifiziert. Kolonien bilden biogene Kalksteine.

(Man sieht: Makroskopische Aufnahmen und Habitataufnahmen von *Halimeda*)

Auch *Acetabularia*, die Schirmalge, besteht aus einer einzigen Riesenzelle. Sie besitzt jedoch nur einen Zellkern und eine Vielzahl von Chloroplasten.

(Man sieht: Makroskopische Aufnahmen von *Acetabularia*, siehe Abbildung 13)

Im Meer bilden sie Rasen, die durch Kalzifikation ganze Riffe bilden können.

(Man sieht: Habitataufnahmen, mit *Acetabularia* bedeckte Felsen)



Abbildung 13: makroskopische Aufnahme; *Acetabularia*.

Die ausgewachsenen Organismen besitzen einen Schirm. Hier entwickeln sich die Gameten durch sekundär gebildete Zellkerne. Laufen die Kappen grün an, dann platzen die Gametocysten und entlassen die Gameten.

(Man sieht: Makroskopische Aufnahmen, Schirm, stark vergrößert)

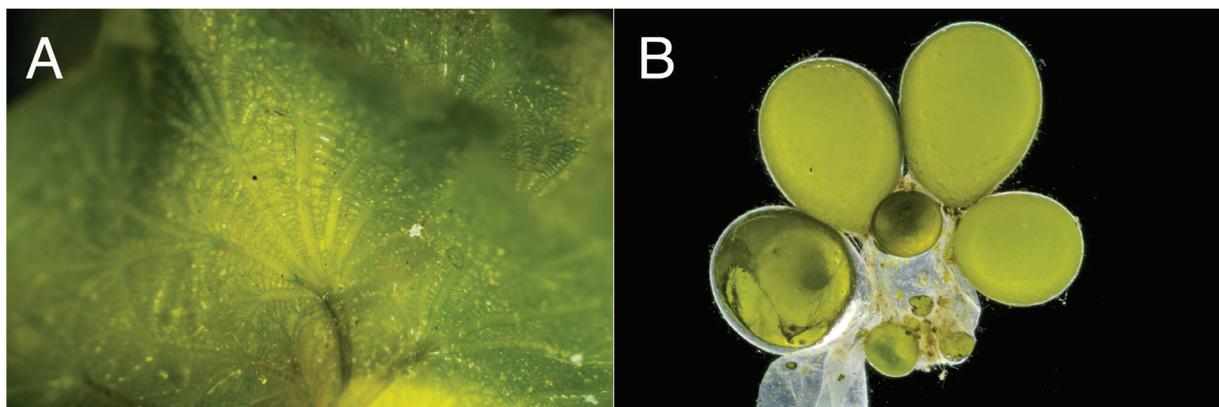


Abbildung 14: makroskopische Aufnahmen; A: *Anadyomene*, B: *Valonia*.

Anadyomene, die Meeresgeburt der Venus, bildet fächerförmige, blattartige Thalli. Sie bestehen aus einer Schicht siphonocladaler Zellen.

(Man sieht: Makroskopische - und Standortsaufnahmen von *Anadyomene*; siehe Abbildung 14 A)

Valonia, bildet Blasen aus einer einzigen Riesenzelle. Sie enthält ein Vielzahl von Kernen, Plastiden und Zellsafträume. Unter dem Mikroskop sehen sie aus wie einzelne Zellen. Aber die Illusion täuscht.

Im Zentrum der Zelle befindet sich eine große Zellsaftkammer. Segregativ teilt sich die Riesenzelle um die Kammer. Dadurch zerfällt das Zellplasma in immer mehr Bruchstücke und bildet dabei kleinere Zellsafträume.

(Man sieht: Makroskopische und mikroskopisch Aufnahmen von *Valonia*; siehe Abbildung 14 B)



Abbildung 15: Mikroskopische Aufnahme; *Cladophora*.

Cladophora lebt in sauberen und schmutzigen Flüssen. Die verzweigten Thalli werden durch sekundäre Einschnürung gebildet. Die Zellen sind siphonocladal; sie beinhalten mehrere Zellkerne und einen großen, netzförmigen Chloroplasten.

(Man sieht: Aufnahmen an den Standorten; makroskopische- und mikroskopische Abbildungen des Thallus; siehe Abbildung 15)

Gameten werden an den Enden der Zweige gebildet.

(Man sieht: Mikroskopische Bilder der Thallusspitze)

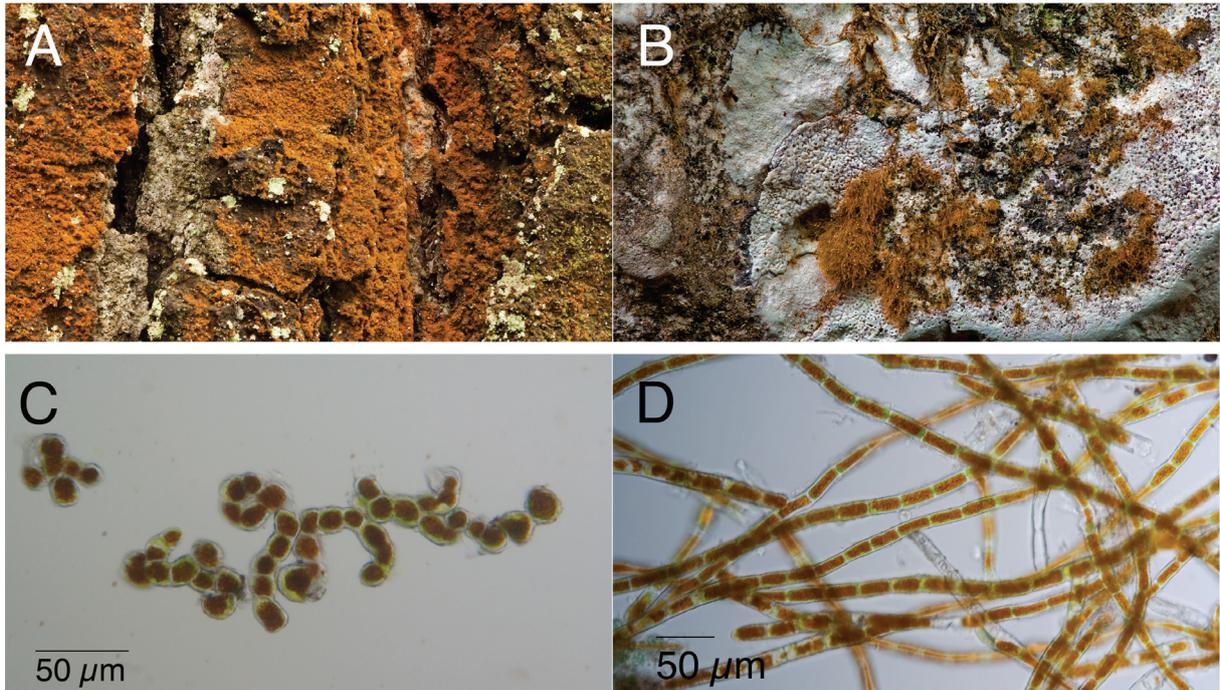


Abbildung 16: Makro- und Mikroaufnahmen; A: *Physolinum* auf Baumrinde, B: *Trentepohlia* auf Felsen, C: *Physolinum*, D: *Trentepohlia*.

Trentepohlia und *Physolinum* sind Luftalgen und leben auf der Wetterseite von Bäumen oder auf Felsen in feuchten Schluchten.

(Man sieht: Standard- und Makroaufnahmen; siehe Abbildung 16)

Die massiven Zellwände und die Pigmenteinlagerungen schützen vor Trockenheit und Lichtstress.

(Man sieht: Mikroskopische Video und Bilder)

Alle Ulvophyten bilden Rhizoide um sich im Substrat zu verankern.

(Man sieht: Makro- und mikroskopische Aufnahmen der Rhizoide)

(Ausblenden)

5.3.6.2 Szene 2: Trebouxiophyceae

Unter den Trebouxiophyzeen befinden sich coccale, capsale und trichale Formen. Sie beinhalten die wichtigsten Flechtenpartner, Luftalgen und einige Süßwasser Organismen.

(Man sieht: ein Patchwork aus Standortsaufnahmen und mikroskopischen Bildern von *Chlorella sp.*, *Trebouxia sp.*, *Microthamnion sp.* und *Botryococcus sp.*; Danach, Flechte und Baum mit Algenbelag, Süßwasser)

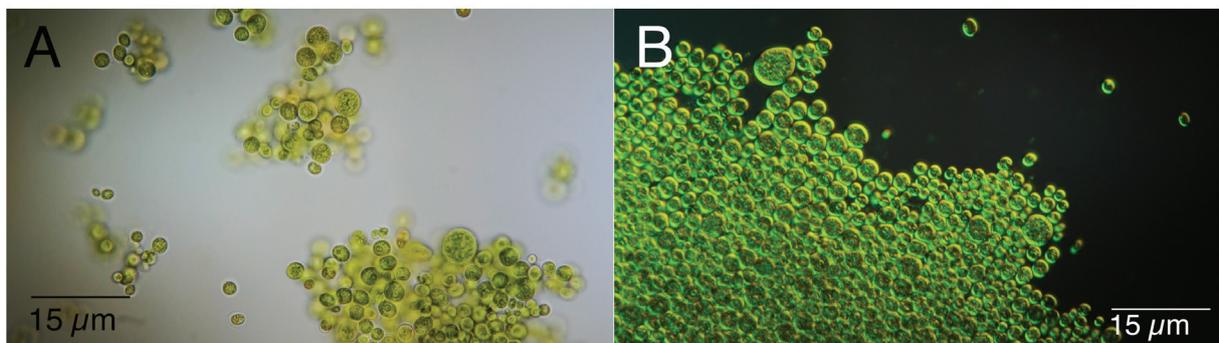


Abbildung 17: Mikroskopische Aufnahmen; A: *Chlorella sp.*, B: *Chlorella salina*.

Arten der Gattung Chlorella sind coccal und leben im Süßwasser und am Land; Oft als Symbionten.

(Man sieht: Mikroskopisch, *Chlorella* wird gezeigt; Makroskopische Bilder von Flechten)

Viele Chlorella Arten werden als Futter- und Ölproduzenten biotechnologisch genutzt und erforscht.

(Man sieht: Mikrophotographien von *Chlorella salina* und *Chlorella sp.*; siehe Abbildung 17)

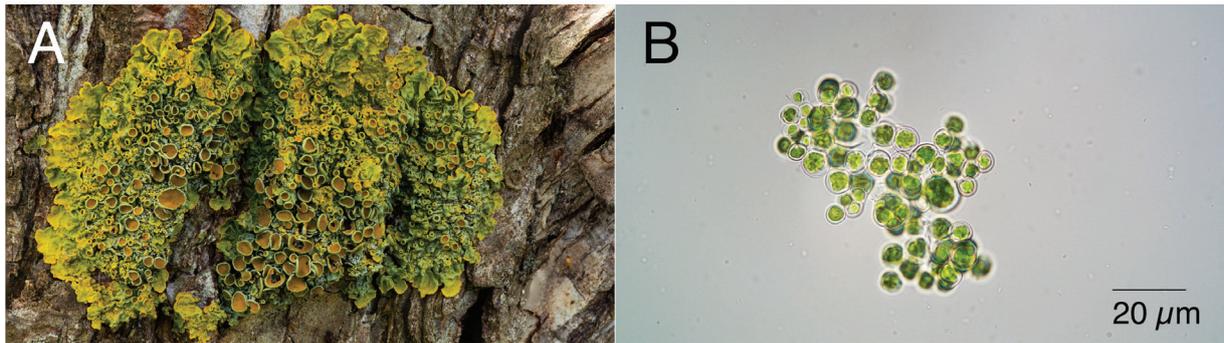


Abbildung 18: Makroskopische und mikroskopische Aufnahme; A: Flechte, *Xanthoria parietina* auf Baumrinde, B: *Trebouxia*.

Arten der Gattung Trebouxia sind vorwiegend Flechtensymbionten. Sie kommen ausschließlich am Land vor und haben sich auf die Symbiose mit Pilzen spezialisiert.

(Man sieht: Makroskopische Flechtenbilder; mikroskopisch, Flechtenschnitte und *Trebouxia*; siehe Abbildung 18)



Abbildung 19: Makroaufnahme; *Desmococcus*, Baumbelag.

Auch Desmococcus, die Rinden-Grünalge ist eine Luftalge. Aus kurzen einzelligen Filamenten bildet sie grüne Beläge auf Bäumen

(Man sieht: Freiland-, Makro- und Mikroaufnahmen; siehe Abbildung 19)

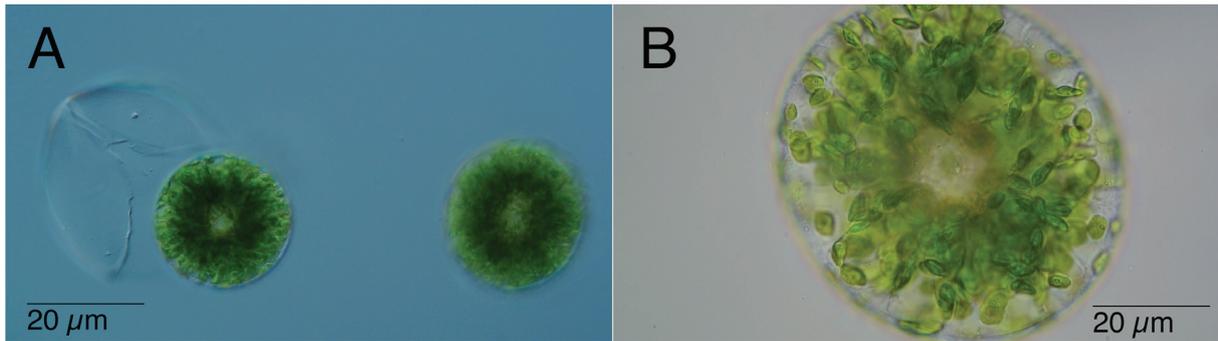


Abbildung 20: Mikroskopische Aufnahmen von *Eremosphaera viridis*; **A:** Autosporen, **B:** Chloroplastenbewegung.

Eremosphaera viridis kommt in Mooren vor.

(Man sieht: Freilandaufnahme, Moor, Lunz)

Die Zellen werden bis zu 200 µm groß und besitzen einen Zellkern und mehrere linsenförmige Chloroplasten. Die Plastiden bewegen sich eindrucksvoll schnell. Die Plasmastränge, in denen sie sich bewegen kann, man sehr gut erkennen.

(Man sieht: mikroskopische Aufnahmen, Zeitraffung der Chloroplastenbewegung; siehe Abbildung 20 B)

Die Fortpflanzung verläuft oft ungeschlechtlich über Autosporen. Diese entlassen zwei Tochterzellen, die sich über Querteilung wiederum asexuell vermehren können.

(Man sieht: mikroskopische Aufnahmen, Autospore, aufgeplatzte Autospore und Tochterzellen; Zeitraffung, Zellteilung; siehe Abbildung 20 B)



Abbildung 21: Mikroskopische Aufnahme von *Botryococcus braunii*.

Botryococcus kommt als Kolonie in Seen vor. Er wird über gallertartige Fäden zusammengehalten und ist von biotechnologischem Interesse, denn er produziert Öle. Leider wächst er sehr langsam.

(**Man sieht:** diverse mikroskopische Aufnahmen von *Botryococcus braunii*; siehe Abbildung 21)



Abbildung 22: Mikrophotographie von *Oocystis sp.*

Algen der Gattung *Oocystis sp.* sind unbeweglich und eiförmig. In Gruppen von zwei bis acht sind sie von der Mutterzellwand umgeben. Seltener allein. Die Verdickungen an den Zellspitzen sind charakteristisch.

(**Man sieht:** mikroskopische Aufnahmen der oben genannten Algen; siehe Abbildung 22)



Abbildung 23: Mikroskopische Aufnahme; *Microthamnion kuetzingianum*.

Microthamnion bildet einzellige, abgerundete Fäden. Sie sind verzweigt und extrem klein. Charakteristisch sind wandständige Chloroplasten ohne Pyrenoide.

(Man sieht: Mikrophotographien von *Microthamnion kuetzingianum*; siehe Abbildung 23)



Abbildung 24: Mikrofotografie; *Prasiola crispa*.

Die Gattung *Prasiola* bildet einzellige Filamente und auch blattartige Thalli. Sie kommt auch marin vor.

(Man sieht: Mikroskopische Aufnahmen von *Prasiola crispa*; siehe Abbildung 24)

(Ausblenden)

5.3.6.3 Szene 3: Chlorophyceae

Die Chlorophyzeen beinhalten fadenbildende, begeißelte, coccale oder capsale Organismen und besiedeln Süßwasser.

(Man sieht: Patchwork aus Standortsaufnahmen und Organismen)

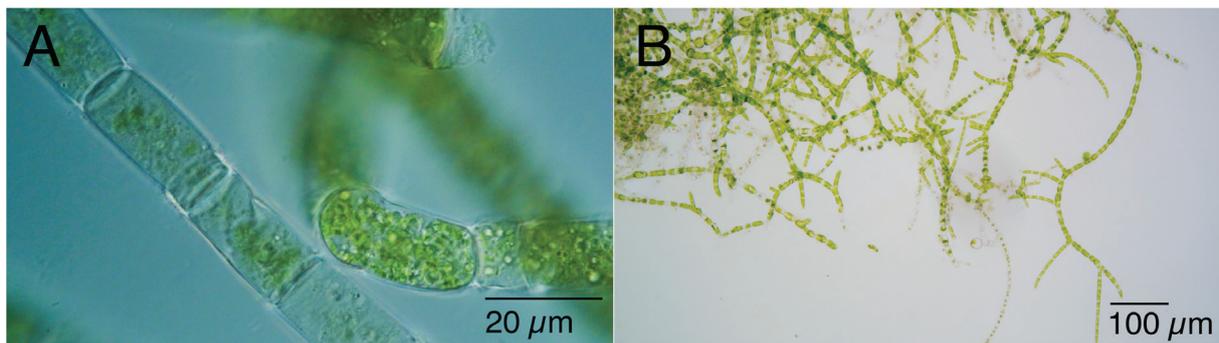


Abbildung 25: Mikroaufnahme; A: *Oedogonium*, B: *Chaetophora*.

Oedogonium und Chaetophora bilden makroskopische Fäden.

(Man sieht: Mikro- und makroskopische Bilder der Algen; siehe Abbildung 25)

Die Fäden von Oedogonium sind unverzweigt. Charakteristisch für diese Alge sind die Kappenzellen, die mit jeder Zellteilung zunehmen.

(Man sieht: Videos von *Oedogonium*)

Chaetophora bildet hingegen mehrfach verzweigte Zellfäden mit großen Chloroplasten.

(Man sieht: Mehrere Mikroaufnahmen des Organismus)

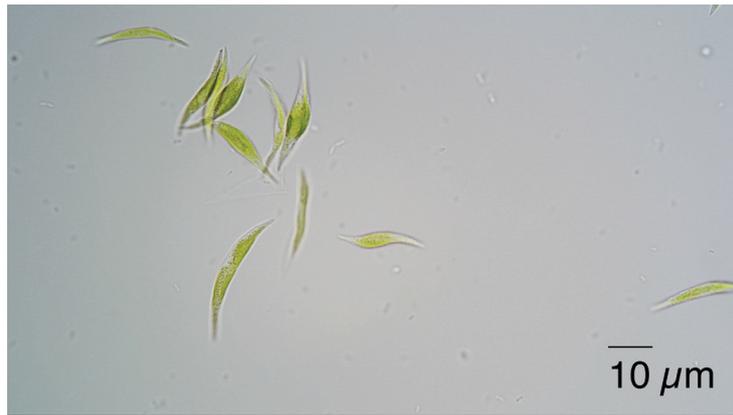


Abbildung 26: Mikroskopische Bilder; *Ankistrodesmus falcatus*.

Ankistrodesmus ist sichelförmig oder helikal verdreht. Er ist einzeln oder in Kolonien anzutreffen. Ein großer parietaler Chloroplast füllt die gesamte Zelle aus.

(Man sieht: Diverse Aufnahmen von *Ankistrodesmus*; siehe Abbildung 26)

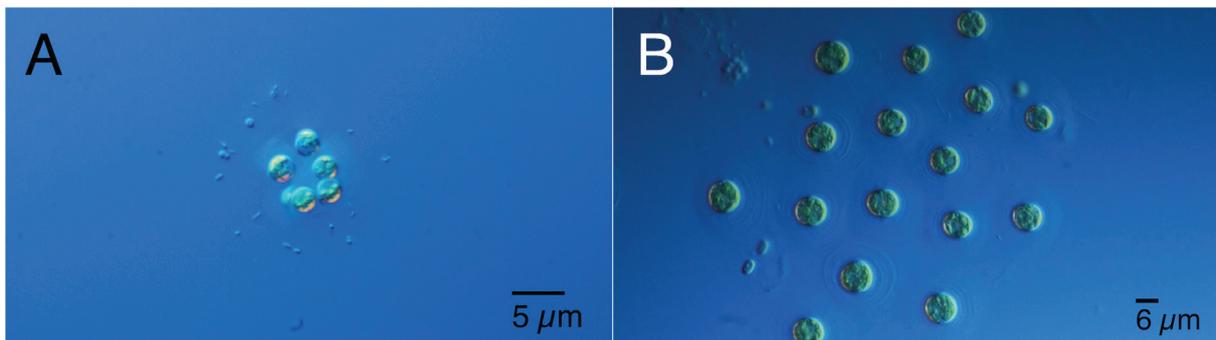


Abbildung 27: Mikrofotografien; A: *Sphaerocystis*, B: *Gleocystis*.

Sphaerocystis und *Gleocystis* sind capsale Organismen. Sie bilden von Gallerte ummantelte Kolonien. Die Zellzahlen und Zellpositionen können variieren.

(Man sieht: Mikroskopische Aufnahmen der Kolonien; siehe Abbildung 27)

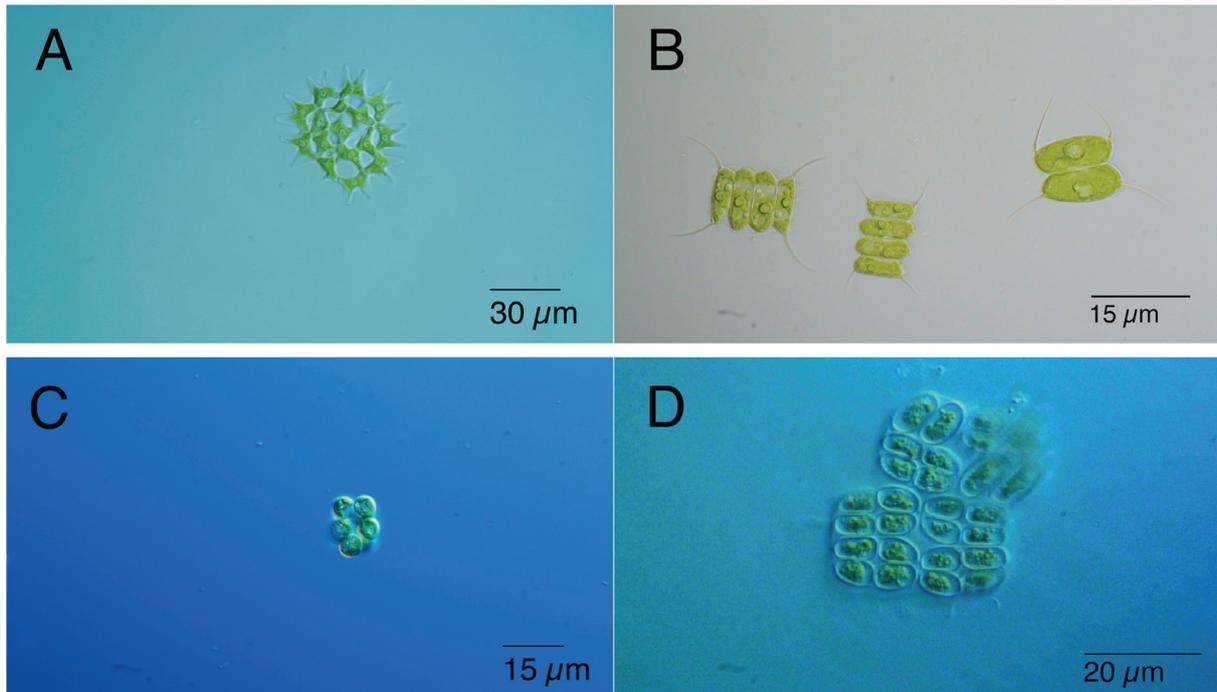


Abbildung 28: Mikroskopische Aufnahmen; A: *Pediastrum*, B: *Scenedesmus*, C: *Coelastrum*, D: *Willea*.

Coenobien, regelmäßig gebaute Kolonien mit konstanter Zellzahl, bilden Algen der Gattungen *Crucigenia*, *Pediastrum*, *Coelastrum* und *Scenedesmus*. Sie sind wichtige Planktonorganismen im Süßwasser.

(Man sieht: Mikroskopische Aufnahmen, Patchwork der oben genannten Algen; Freilandaufnahmen, Seen & Fließgewässer; siehe Abbildung 28)

Crucigenia oder *Willea*, die Vierlings-Grünalge, bildet eine aus Vierer-Zellgruppen bestehende Kolonie. Eine mächtige Gallertschicht ummantelt das Coenobium.

(Man sieht: Mikrographien von *Willea*)

Pediastrum duplex bildet sternförmige Kolonien aus bis zu 128 Zellen. Die Randzellen besitzen zipfelartige Fortsätze.

(Man sieht: Mikroskopische Bilder von *Pediastrum duplex*)

Man unterscheidet geschlossene und durchbrochene Coenobien.

(Man sieht: Mikroskopische Aufnahmen, geschlossene und durchbrochene Coenobien von *Pediastrum sp.*)

Coelastrum astroideum bildet polyederartige Kolonien aus acht bis 32 Zellen. Deren Positionen in der Kolonie sind genetisch prädefiniert.

(Man sieht: Mikroskopische Bilder von *Coelastrum*)

Coenobien von *Scenedesmus* bestehen aus vier bis acht Zellen. Die Kolonieforn und die hornartige, Zellwandfortsätze machen diese Alge unverwechselbar.

(Man sieht: Mikroskopische Abbildungen von *Scenedesmus sp.*)

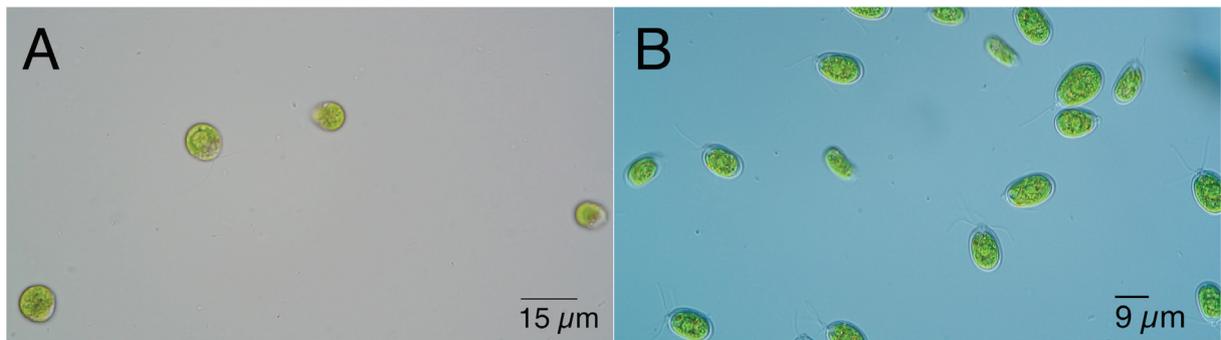


Abbildung 29: mikroskopische Bilder; A: *Dunaliella salina*, B: *Carteria crucifera*.

Die beweglichen Algen *Dunaliella* und *Carteria* besitzen einen Augenfleck und Geißeln. *Carteria* besitzt vier Flagellen, *Dunaliella* nur zwei.

(Man sieht: Mikroskopische Aufnahmen von *Carteria crucifera* und *Dunaliella salina*; siehe Abbildung 29)

Dunaliella salina kommt in salzhaltigen Steppenseen vor. Bei Lichtstress produziert sie vermehrt Carotine, die in Drogerie und Pharmazie Verwendung finden.

(Man sieht: Freilandaufnahme, Neusiedlersee; Mikroskopische Aufnahmen von *Dunaliella*)

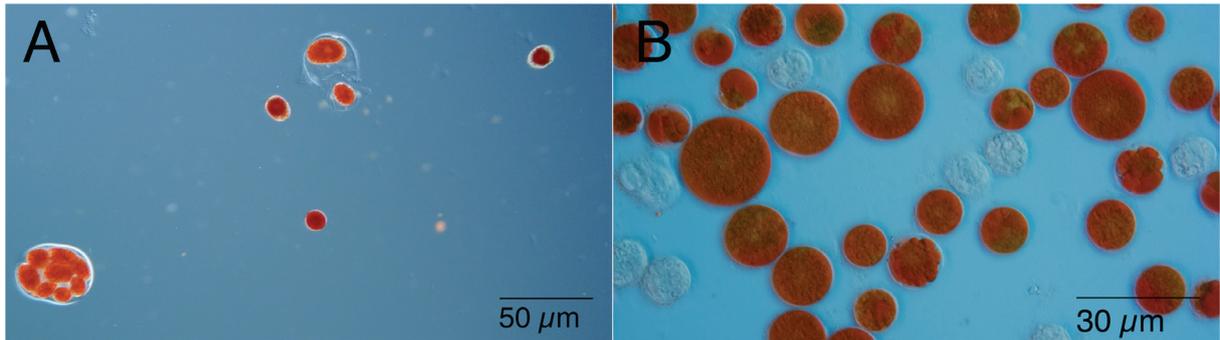


Abbildung 30: Aufnahmen von *Haematococcus pluvialis*; A: Aufplatzende Mutterzellen mit Aplanosporen, B: Dauerstadien.

Haematococcus pluvialis, die Blutregenalge, ist anfangs grün. Bei zunehmendem Stress produziert sie massenhaft Astaxanthin, ein spezielles Carotinoid, das kommerziell genutzt wird.

(Man sieht: Mikroskopische Bilder, grüne und rote Zellen von *Haematococcus*)

Werden die ökologischen Belastungen zu groß, entwickeln sich Dauerstadien; die Aplanosporen können extrem ungünstige Bedingungen überstehen.

(Man sieht: Mikroskopische Aufnahmen von roten Zellen mit dicker Zellwand, siehe Abbildung 30 B)

Verbessern sich die Umstände, dann teilt sich die Zelle und bildet vier bis acht rote Zoosporen; die nach einiger Zeit mit zwei Geißeln schlüpfen.

(Man sieht: Mikroskopische Zeitraffung der Sporenentstehung; siehe Abbildung 30 A)

Vegetative Vermehrung durch Querteilung kommt auch vor.

(Man sieht: Mikroskopisches Video, Phase einer Querteilung)

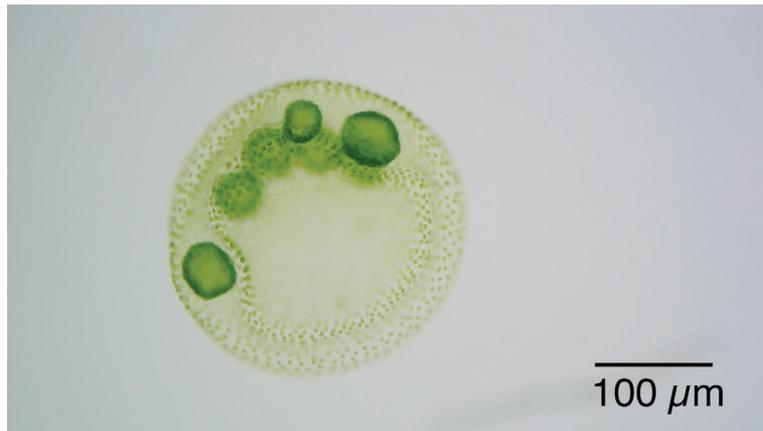


Abbildung 31: mikroskopische Aufnahme von *Volvox globator*.

Volvox bildet spezielle Zellverbände aus monadalen Zellen. Jede Zelle besitzt einen Zellkern, Chloroplasten und Augenfleck. Die beweglichen Zellen sind über Zell - Zell Verbindungen, die Plasmodesmen, miteinander verbunden. Volvox besitzt einen vorderen und einen hinteren Pol. Das Besondere an Volvox ist die Arbeitsteilung. Der Großteil der Zellen ist für die Koloniebewegung und Photosynthese zuständig. Die vergrößerten Zellen am hinteren Ende, die Gonidien, sind unbeweglich und für die Vermehrung verantwortlich.

(Man sieht: Patchwork aus makro- und mikroskopischen Bildern von *Volvox*, Pfeile auf Augenflecken, Plasmodesmen, Innen- und Außenzellen; siehe Abbildung 31)

Durch Zellteilung bilden die Gonidien mehrerer Tochterkugeln, die im Anfangsstadium nach innen gestülpt sind. Erreichen die Kugeln eine gewisse Größe, werden die Töchter ins Innere der Mutterkugel entlassen und kehren ihre Geißeln nach außen. Dort wachsen sie solange heran bis die Mutterkugel aufplatzt.

*Sexuell vermehrt sich *Volvox globator* durch Oogamie.*

(Ausblenden)

5.3.7 Kapitel VI: Algen in der Biotechnologie; Nutzen für die Menschheit.

Viele Grünalgen wie zum Beispiel, Dunalliella, Chlorella, Botryococcus und Haematococcus werden heutzutage biotechnologisch genutzt.

(Man sieht: Algenpatchwork)

Um eine Algenart zu kultivieren muss sie zuerst aus einer Mischprobe isoliert werden.

(Man sieht: Mikroskopie Abbildung, Mischprobe)

Dazu zieht man sich über einer Flamme eine Glaspipette zu einer Kapillare.

(Man sieht: Das Ausziehen der Pipette über dem Brenner; Vergleich der beiden Pipettenspitzen; siehe Abbildung 32 A)

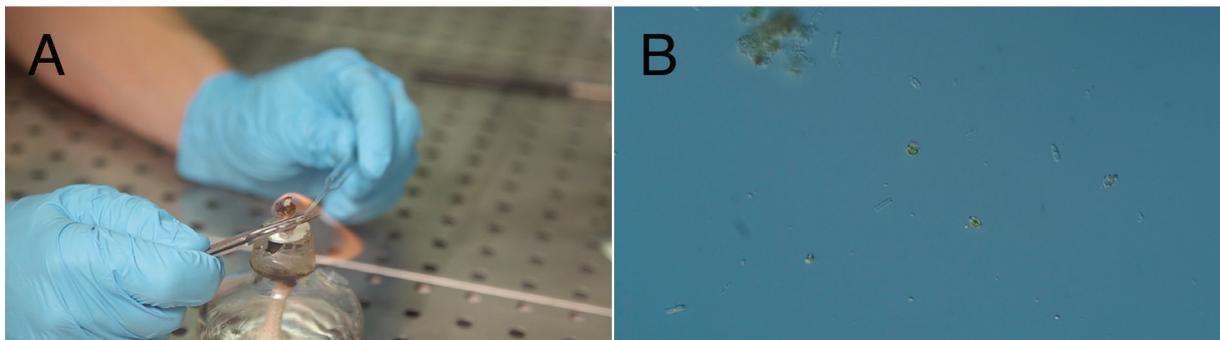


Abbildung 32: Makroskopische und Mikroskopische Videos; A: Ziehen einer Kapillare, B: Isolation eines Organismus.

Danach sucht man einen Organismus, den man isolieren möchte. Wird die gewünschte Alge gefunden, zieht man sie mit der Kapillare aus dem Tropfen und positioniert sie auf einen frischen Objektträger. Um Kontaminationen zu reduzieren wird öfters isoliert. Danach kann sie in Reinkultur weiter gezüchtet werden.

(Man sieht: Mikroskopie Video, finden eines Organismus, erste Isolation, danach nochmalige Isolation; Blende auf Studioaufnahme, Erlenmeyerkolben mit Algenkultur; siehe Abbildung 32 B und Abbildung 34 D)

Für industrielle Massen nutzt man riesige Bioreaktoren. In Röhrensystemen werden die Algen mit Licht, Nährstoffen, Luft und Kohlendioxid versorgt. Erreicht die Röhre eine gewisse Organismendichte wird das System entleert und die Biomasse getrocknet.

(Man sieht: Animation, Bioreaktor; siehe Abbildung 33)

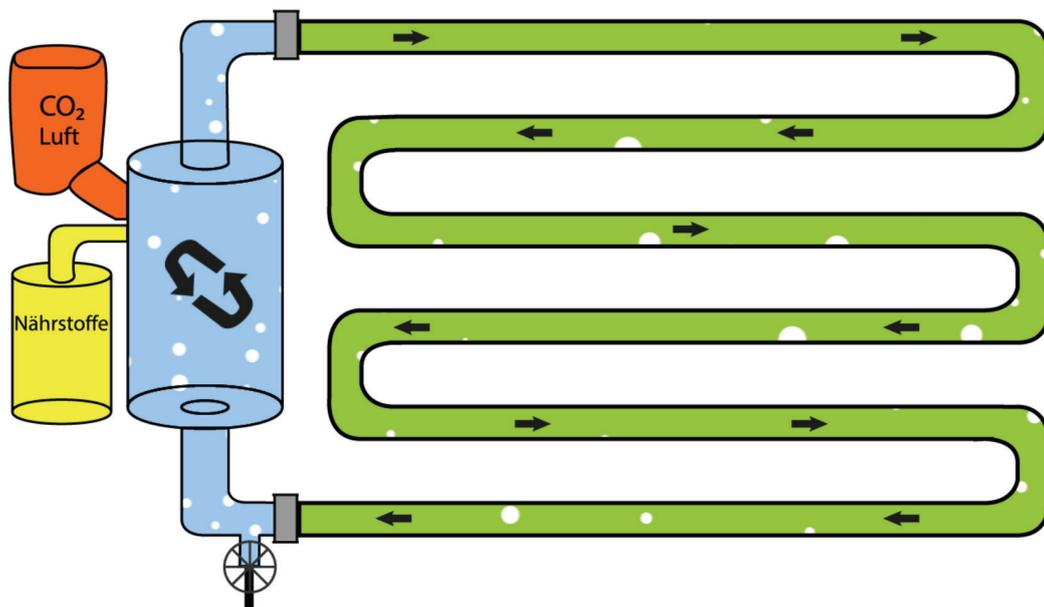


Abbildung 33: Bild aus der Animation eines Bioreaktor.

Dunaliella salina und *Chlorella* Arten werden für ihre Produktion von Carotinen, und als Nahrungsergänzungsmittel oder Fischfutter kommerziell kultiviert.

Haematococcus pluvialis produziert ein besonderes Carotinoid: Das Astaxanthin findet in der Pharmazie, Drogerie und Kosmetik viele Verwendungszwecke.

(Man sieht: Abwechselnd mikroskopische Aufnahmen der Algen und Studioaufnahmen von Beta-Carotin- und Astaxanthinkompressen (Carotinoid Tabletten), als Beispiel für Nahrungsergänzungsmittel, Algenpulver (Spirulina/Blualge); siehe Abbildung 34 A, B, C)

Botryococcus braunii ist wegen seiner exzessiven Ölproduktion von industriellem Interesse. Problematisch ist das langsame Wachstum der Alge.

(Man sieht: Bilder von *Botryococcus*, danach Studioaufnahme, Öl)

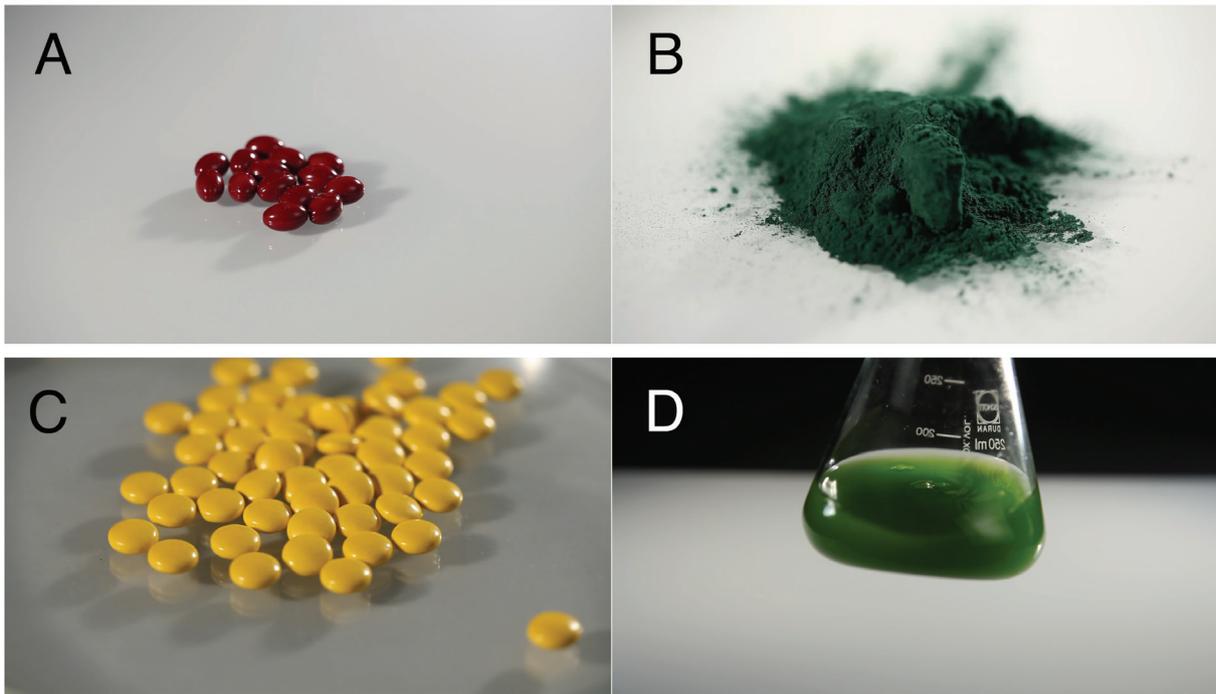


Abbildung 34: Studioaufnahmen; A: Carotinoid – Tabletten, B: Nahrungsergänzungsmittel, *Spirulina* (*Arthrospira*), C: Beta-Carotin kompressen, D: dichte Algenkultur.

Nachdem die wertvollen Stoffe entzogen wurden, kann die restliche Biomasse der Algen zu Bioplastik oder Methangas weiterverarbeitet werden.

Neueste Erkenntnisse zeigen, dass Algen auch die erneuerbare Energiequelle Wasserstoff produzieren.

(Man sieht: Studioaufnahmen, Plastikartikel; Straßenaufnahmen, Tankstelle, Auspuff und Autos)

(Ausblenden)

5.3.8 Abspann

Grünalgen sind für unseren Planeten essentiell. Sie stabilisieren Ökosysteme und Atmosphäre. Klein und unscheinbar vollbringen sie Großes.

(Ausblenden)

6 Diskussion

6.1 Technik

Die Geräte und Methoden digitale Medien zu erschaffen und zu modifizieren werden immer günstiger und effizienter. Sie erleichtern und beschleunigen die Arbeitsprozesse und vereinfachen die Dokumentation und Vermittlung biologischer Phänomene und Prozesse. All diese Geräte und Methoden zu kennen ist aber schwierig. Nicht umsonst arbeiten an einer professionellen Filmproduktion Kameramänner, Drehbuchautoren, Cutter und Musiker zusammen um ein anschauliches und attraktives Produkt zu kreieren. In diesem Film wurden diese Aufgabenbereiche in einer Person vereint und darauf geachtet ein professionelles und kontemporäres Niveau zu halten.

6.1.1 Video

Videos für dieses Projekt wurden in Full-HD mit 1920 x 1080p Pixel und 25 Bilder pro Sekunde (fps) gedreht. Der Vorteil gegenüber älteren Videoformate wie miniDV, DV oder ProHD (720p) ist nicht nur die höhere Auflösung, sondern auch die durch die resultierende höhere Bit –Anzahl gewonnene Farbtiefe der Aufnahmen. Die Bit-tiefe der aufgenommenen Videos für dieses Projekt liegt bei etwa 1,2 Gbits pro Sekunde (24 Bits x 1920 Pixel x 1080 Pixel x 25 Frames). (Dhanani & Parker, 2012)

Hinzu kommt dass ältere Standards teilweise noch auf Magnetband aufgenommen wurden und das Überspielen der Bänder auf das Bearbeitungsgerät viel Zeit beanspruchte. In dieser Produktion wurde ausschließlich auf Digitalmedien CF (Compact Flash) oder SD (Secure Digital) Karten aufgenommen und brachte einen eindeutigen Zeitgewinn.

Makro- und Landschaftsaufnahmen wurden mit einer *Canon EOS 5D mark II* Spiegelreflex Kamera gedreht. Die Größe und das Gewicht des Geräts waren hier eindeutig von Vorteil. Bei Videoaufnahmen mit dem *EF 100 mm* Makroobjektiv wurde das Problem der Tiefenschärfe durch Kameraschwenks oder durch Fokusfahrten mithilfe eines Fokusrings behoben.

6.1.2 Foto

In professionellen Studios hat die digitale Fotografie innerhalb von wenigen Jahren den analogen fotografischen Film nahezu abgelöst. Die Sensoren der Apparate wurden mit der Zeit immer größer und gewannen an Effizienz in der Farbsensibilität. Mit dem Einbau der ersten großen Chips in Spiegelreflexkameras und der Entwicklung der Digital Negativ (DNG) Formate (CR2, NEF, ORF) der großen Kamerafirmen wurden die Bearbeitungsmöglichkeiten denen der Analogfotografie gleichgesetzt. Der Vorteil dieser Rohdatenformate (Raw-Daten) ist die einfachere und schnellere Bearbeitung der Bilder bei geringem Qualitätsverlust. Durch die sinkenden Materialkosten (Fotopapier, Vergrößerer, div. Chemikalien, etc.) besteht aber die Gefahr in Datenmengen zu versinken, da man quasi kostenlos (Digital) eine Unmenge an Bearbeitungsmöglichkeiten besitzt und verschiedene Versionen eines Bildes erschaffen kann.

Für die Produktion dieses Filmes hat die Technik aber eindeutige Vorteile gebracht. Bei vielen mikroskopischen Kontrastierungsmethoden verliert man durch Einschleiben diverser Filter oder Prismen in den Strahlengang sehr viel Licht. Durch die Option des verlustfreien Nachbearbeitens, konnten die Helligkeitsverluste und das Rauschen reduziert werden. Andere Parameter wurden für die Erschaffung kräftigerer Bilder angepasst. Ganze Bildserien von Zeiträffern oder Stapel konnten so adjustiert und dem Videoformat (16:9 bei 1920p) entsprechend freigestellt werden.

6.1.3 Focus und Panorama Stapelung

Die makroskopischen Thalli der Chlorophyten konnten am besten durch Panoramastapelung aufgelöst werden. Bei einigen Objekten wie zum Beispiel *beo Caulerpa* wurden die Techniken der Panorama- und Fokusstapelung kombiniert.

Probleme gab es beim Focus – Stacking von *Trentepohlia*. Die Algorithmen beider Programme, *Adobe Photoshop* und *CombineZM* erzielten bei den sich überlagernden Fadenthalli nach mehrmaligen Versuchen keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Auch bei einigen mikroskopischen oder Makro Studio- und Freilandaufnahmen konnten erhoffte Resultate oft nicht erreicht werden. Bei einer Großzahl der

produzierten Bilder, erzielt die Techniken jedoch den erwarteten Effekt. Die Objekte konnten dadurch besser und verständlicher abgebildet werden. Durch die Software unkalkulierbare Stapel wurden in *Adobe Premiere Pro* zu Fokusfahrten arrangiert.

6.1.4 Zeitraffer

Zeitraffung ist für die Dokumentation von zeitlich längeren Prozessen unverzichtbar. Obwohl das Bildmaterial für dieses Projekt auf CF oder SD Karten gespeichert wurde, diese mittlerweile 16 GB (Gigabyte) groß sind und es theoretisch möglich wäre lange Sequenzen aufzunehmen (1 Bit = 0,125 Byte), ist die Videoaufnahmedauer der meisten Digitalkameras auf einige Minuten limitiert.

Diese Technik war besonders für die Erfassung der Bildung von Sporen und Zellteilungen hilfreich. Das größte Problem bei der Erstellung der Zeitraffer war die interne Überhitzung der Kameras und des Sensors durch das direkte Licht. Auch durch eine extreme Reduktion der Lichtintensität an den Mikroskopen konnte dieser Fehler nicht behoben werden. Wohl eher durch eine Klimatisierung des Raumes, wobei der Fehler mit einer gewissen Willkürlichkeit auftrat.

6.1.5 Animationen

Die Zeichnungen der Animation wurden alle als Vektorgraphiken in Adobe Illustrator erstellt. Der Vorteil an der Vektor basierten Grafik, ist dass das Ausgangsprodukt keine Pixel besitzt und deswegen im Animationsprogramm extrem vergrößert oder verkleinert (skaliert) werden kann ohne an Information oder Qualität zu verlieren.

6.2 Die Gesellschaft im medialen Bildungskontext

Im Zeitalter von Smartphone und Internet Massenmedien gewinnt in unserer Gesellschaft die Informationsweitergabe durch bewegte Bilder immer mehr an Bedeutung. Wenn man überlegt dass, vor etwa 30 Jahren die Hauptvermittler der Geschichten und des Wissens Bücher waren und heutzutage für einen großen Teil der Gesellschaft Videos, Filme, Radio, Fernsehen oder das Internet als

Informationsquellen und Geschichtenerzähler dienen, muss man besonders bei der Wissensvermittlung für junge Menschen den Fokus neu auslegen. (Goodman 2003)

Open Source Wissens- und Videoplattformen wie Wikipedia, YouTube oder Vimeo beschleunigen die Wissensbeschaffung. E-Books und andere elektronische Publikationen sind aus heutigen Recherchen, sei es für Schulen, Radiosendungen oder Doktorarbeiten, nicht mehr wegzudenken. Mit den *Tutorial Videos* entfällt sogar das geschriebene Wort. Wie man etwas repariert oder in einem Programm zu einem Ergebnis kommt, wird vorgezeigt. Das Motto ist also: „Gesellschaft bildet Gesellschaft“. Mit dem Datenbankwissen entsteht aber auch eine gewisse Lernpassivität. Das Abspeichern des Wissens im Gehirn bekommt dadurch einen verfallenden Charakter, da man sich dadurch nur noch die Wege des Wissenserwerb merken muss (Prisching, 2008). Der Vorteil und der Erfolg von Video- und Wissensplattformen kann durch diese Produktion bestätigt werden. Gäbe es keine Foren, *Tutorial Videos* und Texte, hätten viele Prozesse dieses Projekts nicht mit den angemessenen Standards erstellt werden können.

Für die Wissenschaft selbst werden Video und Animationen für die Kommunikation zwischen Wissenschaftler und Gesellschaft immer wichtiger. Der Einzug der Massenmedien in unseren Alltag verpflichtet die Wissenschaft der Gesellschaft gegenüber Rechenschaft abzulegen und über ihre Thematiken und Methoden zu Informieren, da ja über alles andere berichtet wird. Es findet in gewisserweise eine „*Verwissenschaftlichung der Gesellschaft*“ statt, also „*eine zunehmende Durchdringung von immer mehr Lebens- und Handlungsbereiche durch wissenschaftliches Wissen*“ (Schäfer, 2007). Dadurch entsteht mit der Zeit eine immer tiefergehende und engere Kopplung an andere gesellschaftlichen Teilsysteme, die als „*Vergesellschaftung der Wissenschaft*“ bezeichnet wird (Schäfer, 2007). Dieser Trend kann anhand der steigenden Anzahl an Dokumentar- und Sachfilmproduktionen in den letzten Jahren beobachtet werden. Allein im deutschsprachigen Raum entstanden in sehr kurzer Zeit eine Fülle an Produktionen wie „*Darwin`s Nightmare*“ (Hubert Sauper), „*We feed the World*“ (Erwin Wagenhofer) oder „*Plastic World*“ (Werner Boote). Die Aufnahme des Sachfilms beim Filmpreis von Venedig (Goldener Löwe) und die Verleihung des Preises an den

Dokumentarfilm „*Sacro GRA*“ (Gianfranco Rosi) ist ein weiterer Beweis für diesen Trend.

Der soziale und kulturelle Bildungskontext, in dem sich nicht nur Schüler und Student, sondern auch der gewöhnliche Bürger befindet, muss demnach neu verstanden werden. Heutzutage besitzt bereits ein Großteil der jungen Leute ein eigenes Smartphone, Computer und Fernsehgerät. Die Visualisierung von Begriffen und Wörtern in unserer Gesellschaft nimmt also mit einer hohen Geschwindigkeit zu und erreicht in gewisser Weise einen Sättigungspunkt. Das macht es heutzutage immer schwieriger moderne Medien aus dem Unterricht auszublenden. Besonders in den Naturwissenschaften wie Biologie, die „*eine Erfahrungswissenschaft, eine Wissenschaft der originalen Begegnung.*“ (Reichardt, 2008) ist, spielt das Visuelle, Auditiv und Haptische beim Erlernen dieses Fachbereichs mit. Im Unterricht ist es am besten, möglichst viele Sinneskanäle anzusprechen um das Gedankengut an den Rezipienten zu leiten. Hierbei deckt die audiovisuelle Aufarbeitung einer Thematik bereits zwei Kanäle ab. (Reichardt, 2008; Goodman, 2003)

Im Film ist es sehr schwierig auf komplexe Thematiken und Prozesse tiefgehend einzugehen. Ein unbestrittener Vorteil der audiovisuellen Medien ist jedoch, dass sie im Zuschauer, Studierenden oder Schüler Wissensbegierde einleiten und für ein besseres Verständnis der Thematik sorgen können (Reichardt, 2008; Dat, 2004). Da wir uns von jeder Sache ein geistiges Bild machen scheint der visuelle Kanal in unserem Sinnessystem eine gewisse Priorität zu besitzen. Bilder sind für uns Erinnerungen, Worte, Taten und vieles mehr.

Das Buch hat aber für das Begriffsverständnis und die Alphabetisierung noch lange nicht ausgedient. Als Wissensträger für die tiefergehender Beschäftigung mit einer Thematik war, ist und wird das geschriebene Wort essentiell bleiben. Moderne Medien können aber durch ihre Bewegung, die bunten Bilder und den Ton als Motivatoren und Initiatoren für Gesellschaftsbildung dienen.

Literaturverzeichnis

Banerjee, A.; Sharma, R.; Chisti, Y.; Banerjee, U. C. (2002). *Botryococcus braunii*: a renewable source of hydrocarbons and other chemicals. *Critical reviews in biotechnology*, 22(3), 245-279.

Bell, P. R.; Hemsley, A. R. (2000). Green Plants : their origin and diversity. New York, Cambridge University Press; 2nd Ed.

Bellinger, E. G.; Sigeo, D. C. (2010). *Freshwater algae: identification and use as bioindicators*. John Wiley & Sons.

Bresinsky, A.; Körner, C. ; Kadereit, J.W.; Neuhaus, G.; Sonnenwald, U. (2008). Strasburger – Lehrbuch der Botanik. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag – Springer Verlag; 36th Ed.

Dhanani, S.; Parker, M. (2012). *Digital video processing for engineers: a foundation for embedded systems design*. Access online via elsevier.

Dat, P. (2004). Encyclopedia of teaching of Science. New Dehli, Sarup & Sons, 2 Vols., 1st Ed.

Goodman, S. (2003). Teaching youth media : a critical guide to literacy, video production & social, change. New York, Teachers College Press.

Graham, L. E.; Graham, J. M.; Wilcox, L. W. (2009). Algae. San Francisco, Pearson Benjamin Cummings; 2nd Ed.

Kreimer, G. (2001). Light perception and signal modulation during photoorientation of flagellate green algae. *Comprehensive series in photosciences*, 1, 193-227.

Kobayashi, M.; Kakizono, T.; Nishio, N.; Nagai, S.; Kurimura, Y.; Tsuji, Y. (1997). Antioxidant role of astaxanthin in the green alga *Haematococcus pluvialis*. *Applied microbiology and biotechnology*, 48(3), 351-356.

Kojima, E.; Zhang, K. (1999). Growth and hydrocarbon production of microalga *Botryococcus braunii* in bubble column photobioreactors. *Journal of bioscience and bioengineering*, 87(6), 811-815.

Lee, R. E. (2008). Phycology. Cambridge, Cambridge University Press, 4th Ed.

Lewis, L. A.; McCourt, R. M. (2004). Green algae and the origin of land plants. *American Journal of Botany*, 91(10), 1535-1556.

Linne von Berg, K.-H.; Hoef-Emden, K.; Marin, B.; Melkonian, M. (2004). Der Kosmos-Algenführer. Stuttgart, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. Kg, 2. Auflage.

Margulis, L.; Fester, R. (Eds.). (1991). *Symbiosis as a source of evolutionary innovation: speciation and morphogenesis*. MIT Press

Nagai, R. (1993). Regulation of intracellular movements in plant cells by environmental stimuli. *International review of cytology*, 251-251.

Nultsch, W. (1991). Allgemeine Botanik . Kurzes Lehrbuch für Mediziner und Naturwissenschaftler. Stuttgart, New York Thieme; 9. Aufl.

Prescott, G. W. (1970). How to know the freshwater algae. W. C. Brown Co., McGraw-Hill, 3rd Ed.

Prisching, M. (2008). *Bildungsideologien: ein zeitdiagnostischer Essay an der Schwelle zur Wissensgesellschaft*. Springer DE.

Pröschold, T. (2013). Skript, VO Biology and molecular phylogeny of algae and protists. Wien.

Pröschold, T.; Leliaert, F. (2007). 7 Systematics of the green algae: conflict of classic and modern approaches. *Unravelling the algae: the past, present, and future of algal systematics*, 123.

- Pulz, O.; Gross, W. (2004).** Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied microbiology and biotechnology*, 65(6), 635-648.
- Rao, A. R.; Dayananda, C.; Sarada, R.; Shamala, T. R.; Ravishankar, G. A. (2007).** Effect of salinity on growth of green alga *Botryococcus braunii* and its constituents. *Bioresource technology*, 98(3), 560-564.
- Reichardt, S. (2008).** Die Wirksamkeit verschiedener Medien für den Biologieunterricht. Grin Verlag, 1st Ed.
- Ryan, F. (2002).** *Darwin's blind spot: evolution beyond natural selection*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Schäfer, M. S. (2007).** *Wissenschaft in den Medien: die Medialisierung naturwissenschaftlicher Themen*. Springer.
- Schagerl M. (2012).** Skript, PP Kulturtechniken von Mikroalgen und ökophysiologische Experimente. Wien, Universität Wien.
- Sineshchekov, O. A.; Govorunova, E. G. (1999).** Rhodopsin-mediated photosensing in green flagellated algae. *Trends in plant science*, 4(2), 58-63.
- Skjånes, K.; Lindblad, P.; Muller, J. (2007).** BioCO₂ – A multidisciplinary, biological approach using solar energy to capture CO₂ while producing H₂ and high value products; *Biomolecular Engineering*, 24 (4), 405-413.
- Stockenreiter, M. (2012).** *Ecological optimization of biomass and lipid production by microalgae* (Doctoral dissertation, *Imu*).
- Streble, H.; Krauter, D. (2010).** Das Leben im Wassertropfen. Stuttgart, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. Kg, 12th Ed.
- Till, W. (2007).** Skript, VO Diversität und Phylogenie der Niederen Pflanzen. Wien, Universität Wien

Wang, B.; Zarka, A.; Trebst, A.; Boussiba, S. (2003). Astaxanthin accumulation in *Haematococcus pluvialis* (chlorophyceae) as an active photoprotective process under high irradiance¹. *Journal of phycology*, 39(6), 1116-1124.

Wehr, J. D. (2002). *Freshwater algae of North America: ecology and classification*. Academic Press.

Zhekisheva, M.; Boussiba, S.; Khozin-Goldberg; I., Zarka, A.; Cohen, Z. (2002). Accumulation of oleic acid in *Haematococcus pluvialis* (chlorophyceae) under nitrogen starvation or high light is correlated with that of astaxanthin esters¹. *Journal of phycology*, 38(2), 325-331.

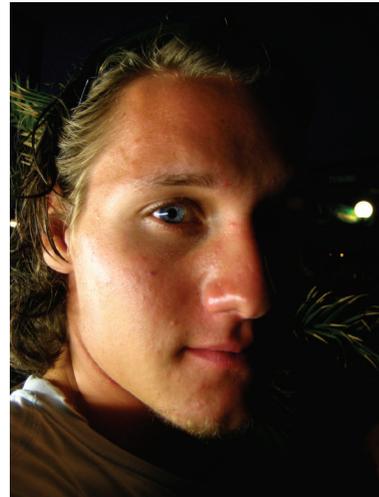
<http://www.algaebase.org/>

<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d44/44.htm>

.

.

Lebenslauf



Personal information

Date of Birth	9 th March 1983
Citizenship	Austria
Address	Diefenbachgasse 45-47/4/24
E-mail	anselm.pavlik@chello.at
Mobile	+43 69911315837

Education

10/2008 – 03/2011	Landscape Design, University of applied Arts, Vienna University graduate program
10/2006 –	Biology & life sciences, University of Vienna University graduate program, main in ecology
10/2003 – 07/2007	Bachelor of Arts, Bruckner private university, Linz Composition, music production & new media technologies Studio SAMT (Sound Advanced Media Technologies)
09/2002 – 09/2003	Civilian service Federal police headquarters (BPD Wien), Vienna
09/1997 – 07/2002	High school for music & art BORG, Hegelgasse 12, Vienna

Working experience

11/2011	Jingle for cinema advertisement (freelance), Vienna “Kurt Frozen Yogurt”, instruments and music arrangement
11/2010	Jingle for cinema advertisement (freelance), Sulz/Tirol “V-Pack, Lehre mit Profil”, instruments and music arrangement

06/2010	Jingle for cinema and radio advertisement (freelance), Vienna ViennaOnline.at, instruments and music arrangement
06/2007-	IKEA OHG, Vösendorf Employee at cash and pay
02/2004 – 05/2006	Cedon museum shops, Palais Liechtenstein, Vienna Employee at sales
04/2004	Pegasus incoming & Mondial, Vienna Tourist support and escort, info desk at congresses (German, English, Italian)
02/2003 – 11/2007	Sammlung Essl and Schömer Haus, Klosterneuburg Sound engineering and technical assistance for concerts, events and exhibitions

Technical Skills

	Windows & Mac OS X
	Microsoft Office (Word/Excel/PowerPoint)
	GIS Tools (ArcView/ArcGIS/Geomedia Professional)
	Statistical Tools (Statgraphics)
	Adobe CS (Photoshop/Illustrator/After Effects/Premiere Pro/etc.)
	Logic Studio
	Reason

Languages

German	Mother tongue
Italian	Mother tongue
English	B2 (independent user) level
French	B1 (threshold user) level