



Bundesrealgymnasium Schloss Wagrain
Schlossstrasse 31/ 4840 Vöcklabruck
0043 7672 29308

Lena Vogl
8B

Vorwissenschaftliche Arbeit

Algen als klimafreundliche Nahrungsmittel-Alternative

Sind Algen ein geeignetes Nahrungsmittel für die Zukunft?

eingereicht bei

Prof. MMag Claudia Kriechbaum

Vöcklabruck, am 03.03.2023

Abstract

Climate change and global warming are problems that currently trouble the entire world. Finding new renewable sources of energy as well as reducing carbon dioxide emissions are two of the main priorities governments and scientists should be working on together. Changing one's diet proposes a great chance to the individual to contribute to this process and live a more resource-friendly life. In this paper I analyse the benefits of seaweed and micro-algae as eco-friendly food and test their suitability as an alternative to meat.

For this reason, I gathered information on algae in the food industry in the past and present. Additionally, I compared species of algae to different kinds of meat in terms of nutrients and sustainability. In order to determine whether these and other nutrients are fit for the future, I worked with values such as the saturation value. Furthermore, I conducted an algae farm at home and tested various aspects of this project. In addition to the biological aspects, I printed elements with a 3D-printer. Besides, I observed the changes the daily intake of an algae-based dietary supplement has on the results of blood tests.

The conducted research on nutrients and sustainability of algae and meat resulted in better outcomes for algae-categories for nearly every value tested. My evaluation of the suitability of the algae-farm-project as a future food source for homes in every climatic zone are positive, since the earnings profitability is way higher than the energy balance. The observation of blood values state that the intake of algae-based dietary supplements has an effect on some values such as phosphorus and the formation of leukocytes.

Der Klimawandel und die globale Erderwärmung sind Probleme, die derzeit die ganze Welt bewegen. Daher sind zwei der Hauptziele, an denen Regierungen, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gemeinsam arbeiten sollten, die Suche nach erneuerbaren Energiequellen und die Reduktion der CO₂-Emissionen. Die eigene Ernährung zu verändern, stellt eine Möglichkeit dar, als Einzelperson zu diesem Prozess beizutragen und ein ressourcenfreundliches Leben zu führen. In dieser Arbeit analysiere ich die Vorteile von Algen als umweltfreundliche Nahrungsmittel und teste ihre Eignungsfähigkeit als Fleischalternative.

Deshalb habe ich zunächst viele Informationen zu Algen in der historischen und in der heutigen Lebensmittelindustrie gesucht. Außerdem habe ich verschiedene Algen- und Fleischarten in den Bereichen Inhaltsstoffe und Nachhaltigkeit verglichen. Damit ich feststellen kann, ob diese oder andere Lebensmittel als zukünftiges Nahrungsmittel geeignet sind, habe ich beispielsweise mit dem Sättigungswert gearbeitet. Neben der Gründung meiner eigenen Algenfarm und diversen Untersuchungen zu diesem Projekt, sowie dem Druck einiger 3D-Elemente, habe ich die Veränderung in den Blutwerten bei einer täglichen Einnahme eines Nahrungsergänzungsmittels auf Algenbasis beobachtet.

Die durchgeführten Vergleiche bei Inhaltsstoffen und Nachhaltigkeit ergaben bessere Werte bei den Algen in fast jeder der getesteten Kategorien. Meine Auswertung des Algenfarm-Projekts als zukünftige Nahrungsquelle für Menschen in jeder Klimazone sind sehr positiv ausgefallen, da die Ertragsrentabilität viel höher ist als die Energiebilanz. Aus der Beobachtung der Blutwerte resultiert, dass die Einnahme von algenbasierten Nahrungsergänzungsmitteln einen Effekt auf manche Werte wie Phosphor und die Bildung der Leukozyten haben kann.

Vorwort

Bereits seit der Unterstufe bin ich an Algen interessiert. Ich habe nie wirklich verstanden, wie man sich vor ihnen ekeln kann. Dafür habe ich sie gesammelt. In Marmeladengläsern haben viele verschiedene Arten ein neues Zuhause in meinem Zimmer gefunden. Sie stammen unter anderem aus der Ostsee, dem Atlantik, aus Teichen von Bekannten und Seen in der Umgebung. Seit sich in unserem Garten auch ein Teich befindet, bin ich für die „Algenplage“ verantwortlich. Aus ihnen stelle ich filzartiges Papier her. In Urlauben findet man mich meist am Strand beim Inspizieren diverser angeschwemmter Bestandteile von Algen. Mittlerweile bin ich von den biologischen Vorgängen und Hintergründen der Algen fasziniert.

Die immerzu an Aktualität gewinnende Klimadebatte traf bei mir ebenfalls auf großes Interesse. Meine Reaktion darauf war, meinen Fleischverzehr drastisch zu reduzieren. Meiner Meinung nach stellt diese Handlung einen gewissen Widerstand gegen Verhaltensmuster und Gewohnheiten dar, der immer präsent ist und sofort auffällt. Wichtig sind Veränderungen wie diese, weil jetzt Handlungsbedarf gefordert ist, um eine Klimakatastrophe möglichst verhindern zu können. Nach einem gesamten Jahr vegetarischer Ernährung habe ich die Erfahrung gemacht, dass viele Restaurants und Marken diese Umstellung als Nachteil sehen. Fleisch ist billig und entspricht der Norm. Deshalb gibt es viele Fleischalternativen, die Ähnlichkeit zu Fleisch aufweisen. Für mich war das etwas befremdlich, da ich nicht einen fleischlosen Lebensstil führen wollte, um dann vegetarische Extrawurst zu essen, die genau wie das ursprüngliche Produkt schmeckt. Daher wollte ich Fleischalternativen finden, bei denen nicht das Fleisch im Mittelpunkt steht, sondern die Alternative. Algen waren hier ein großer Treffer, da sie reich an Nährstoffen sind, geschmacklich aber sehr weit von Fleisch entfernt sind.

Ich war begeistert von der Idee, eine eigene kleine Algenfarm aufzubauen, die Nahrung liefern würde. Bei der Materialsuche waren meine Großeltern eine große Hilfe, denen ich an dieser Stelle herzlich danken möchte. Die Internetrecherche gestaltete sich nicht so einfach, doch schließlich fand ich den richtigen Verkäufer für meine Startkultur. Unglücklicherweise empfing ich das erste Paket beschädigt und auch die zweite Kultur starb bereits nach zwei Tagen ab. Doch der nette Anbieter schickte mir sogar noch ein drittes Paket gratis, weshalb ich mich auch bei Clemens Scheuner bedanken will. Nach einer weiteren Recherche entdeckte ich ein Angebot in Österreich. Jemand verkaufte eine Spirulina-Kultur in Graz. Nach einer kurzen Unterhaltung erfuhr ich, dass Sina Chlod soeben ihre Masterarbeit über die Kultivierung von Algen fertiggestellt hatte. Durch sie erhielt ich einige weiterführende Informationen. Außerdem bekam ich eine Chlorella-Kultur sowie ein Nährstoffmedium für meine Farm zu meiner Bestellung. Auch ihr möchte ich für den offenen Austausch danken.

Ebenfalls an diesem Projekt beteiligt waren Herr Professor Waltenberger und einige Schüler aus dem Informatik-WPG, bei denen ich mich herzlich für die Unterstützung bedanke. Sie halfen mir, meine Vorstellungen von 3D-Elementen zu verwirklichen. Trotz der Schwierigkeiten mit den 3D-Druckern funktionierte am Ende doch noch alles.

Ein großes Dankeschön gilt auch meiner Betreuerin, Frau Professor Kriechbaum, für ihre hilfreichen Tipps und Anmerkungen sowie ihre ständige Bereitschaft bei aufgetauchten Fragen.

Zu guter Letzt möchte ich mich noch bei meinen Eltern bedanken, die mich immer unterstützt haben und die sich damit abfinden mussten, dass Algen auch in unserer Küche hin und wieder einen Auftritt als Nahrungsmittel machen.

Inhalt

Abstract.....	2
Vorwort.....	3
1 Einleitung	6
1.1 Literaturhintergründe	7
1.1.1 Petra Neumayer: Algen – Gesundheit aus dem Meer.....	7
1.1.2 Miek Zwamborn: Algen – Ein Portrait	7
1.1.3 Jean Francois Camille Montagne: Phykologie oder Einleitung ins Studium der Algen.....	7
1.1.4 Ole G. Mouritsen: Seaweeds – edible, available & sustainable	8
2 Geschichte	9
3 Algen in der Ökologie	11
3.1 Algenblüte	12
3.2 Giftige Stoffe	13
3.3 Algen und der Klimawandel.....	13
4 Biologie der Algen	14
4.1 Definition	14
4.2 Biologische Hintergründe	15
4.2.1 Aufbau	15
4.2.2 Vorkommen und Ansprüche	16
4.2.3 Taxonomie	17
4.3 Phänomene und Eigenschaften	18
4.3.1 Biolumineszenz	18
4.3.2 Schaum.....	18
5 Algeninhaltsstoffe und deren Wirkung im Körper	19
6 Verschiedene Verwendungen und Traditionen von Algen	24
6.1 Nahrungsmittel.....	24
6.2 Lebensmittelindustrie	25
6.2.1 Jodgewinnung.....	25
6.2.2 Carrageen (E407) aus Spinosum	25
6.2.3 Alginate	25
6.2.4 Spirulina und Chlorella	26
6.3 Kosmetik	26
6.4 Medizin.....	26
6.5 Wärme- und Energielieferant.....	26
6.5.1 Antrieb.....	28

7	Kultivierung von Algen.....	29
7.1	Zucht von Makroalgen.....	29
7.1.1	Afrika.....	29
7.1.2	Amerika.....	29
7.1.3	Asien.....	30
7.1.4	Europa	30
7.2	Zucht von Mikroalgen.....	31
7.3	Nachhaltigkeitsvergleich.....	32
7.4	Betriebe.....	33
7.4.1	Spirulix	33
8	Empirie.....	35
8.1	Testung Nahrungsergänzungsmittel Spirulina-Pulver	35
8.2	Züchtung von Spirulina und Chlorella.....	38
8.2.1	Planung.....	38
8.2.2	Ziele	38
8.2.3	Materialien	39
8.2.4	Vorbereitung	41
8.2.5	Durchführung	41
8.2.6	3D-Elemente	43
8.2.7	Ernte	46
8.2.8	Kochen.....	52
8.2.9	Beobachtungen und Erkenntnisse.....	54
8.2.10	Fehleranalyse.....	56
8.3	Zusatzversuche.....	56
8.3.1	Mikroskopieren.....	56
8.3.2	Bakterienkultur auf Agarplatte	58
9	Diskussion.....	61
10	Literaturverzeichnis.....	63
11	Abbildungsverzeichnis	66

1 Einleitung

Der Klimawandel ist eine aktuelle Krise, mit der sich derzeit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf dem ganzen Planeten beschäftigen. Klimaaktivistinnen und -aktivisten setzen sich für den Schutz der Umwelt ein und plädieren für einen möglichst nachhaltigen Lebensstil. Auch ich habe mich mit den Auswirkungen meines derzeitigen Lebensstils auf die Umwelt befasst und entschieden, ein Jahr lang vegetarisch zu leben. Während dieser Zeit wurde ich auf viele Fleischalternativen wie Tofu oder chemische Fleischimitate aufmerksam. Als ich auf die Verwendung von Algen als Fleischersatz stieß, war ich sofort Feuer und Flamme, diese Alternative auszuprobieren.

Zwar finde ich, dass der Lebensstil eine persönliche Entscheidung ist, die jede und jeder selbst treffen muss, doch es muss klar sein, dass wir nicht weitermachen können wie bisher. Deshalb sollte die Suche nach passenden Alternativen vor allem in der Lebensmittel- und Treibstoffindustrie eine zentrale Rolle spielen.

Im Rahmen dieser Arbeit möchte ich mich mit der Nutzung von Algen als Nahrungsmittel beschäftigen. Dabei möchte ich auf die unterschiedlichen Arten bei der Ernährung sowie auf andere aktuelle und historische Verwendungszwecke, welche derzeit in der Forschung diskutiert werden, näher eingehen. Außerdem sollen Algen- und Fleischprodukte in Hinsicht auf Inhaltsstoffe und Nachhaltigkeit gegenübergestellt werden. Weiters sollen die Eigenschaften von Algen als Nahrungsmittel auf die Tauglichkeit und Anwendbarkeit als realistisches Lebensmittel in der Zukunft geprüft werden.

Zunächst sollen eine Literaturrecherche sowie eine gründliche Internetrecherche durchgeführt werden. Um bei der Literaturrecherche möglichst viele Aspekte abdecken zu können, wurden verschiedenste Werke ausgewählt, wobei jedes ein eigenes Grundthema hat: Ein Gesundheitsratgeber, ein Werk, welches sich mit Algen und Kunst beschäftigt, ein Werk über die Systematik der Algen aus dem 19. Jahrhundert und ein Buch, welches sehr viel Fachwissen vereint. Tatsächlich hat die Beschaffung der Literatur wenig bis gar keine Hürden dargestellt. Bei der Internetrecherche stellten Arbeiten und Projekte von Universitäten eine enorme Hilfe dar.

In dieser Arbeit soll zunächst die Rolle von Algen in der Geschichte und in der Umwelt aufgedeckt werden. Anschließend soll über die biologischen Hintergründe wie Taxonomie und Aufbau informiert werden. Danach beschäftige ich mich mit den Inhaltsstoffen von mehreren Algenarten und vergleiche diese mit diversen Fleischarten. Als nächstes sollen die Traditionen sowie verschiedene Verwendungsbereiche beschrieben werden. Außerdem soll die Kultivierung und die Bilanz der Herstellung von Algenprodukten angesprochen werden. Zum Schluss wird der praktische Teil der Arbeit von meinen Erfahrungen handeln, die ich bei der Eigenzucht von Spirulina- und Chlorella-Algen gemacht habe. Dabei wird ausführlich beschrieben, wie eine Algenzucht zu Hause funktioniert und wie die Ernte durchgeführt wird. Zusätzlich werden die Algenkulturen auf Verunreinigungen untersucht und unter dem eigenen Mikroskop betrachtet. Neben der Algenzucht wird auch die Wirkung des Nahrungsergänzungsmittels Spirulina-Pulver getestet.

1.1 Literaturhintergründe

Aufgrund der vielseitigen Literatúrauswahl dieser Arbeit soll diese gleich zu Beginn erläutert werden. Getroffen wurde diese Selektion basierend auf Recherche im Internet, sowie gezielter Suche in diversen Bibliotheken.

1.1.1 Petra Neumayer: Algen – Gesundheit aus dem Meer

Petra Neumayer wirkt als freie Medizinjournalistin und Sachbuchautorin. Unter ihrem Namen erschienen bereits einige Gesundheitsratgeber.

Zwar sind in diesem Buch auch viele wissenschaftliche Aspekte eingearbeitet, trotzdem sollen Leserinnen und Leser mehr von den praktischen Anwendungen profitieren. Ungefähr ein Drittel des Buches beschäftigt sich mit der Biologie der Algen, während der Rest auf Rezepte, Gesundheit und Kosmetik fokussiert ist. Dennoch bietet Petra Neumayer interessante Fakten und eine vielseitige Auswahl an Anleitungen und Mitteln für alle möglichen Krankheiten wie Schnupfen, Arthritis, Darmprobleme und Allergien. Auch einige Schönheitsrezepturen und Einsätze von Algen in der Lebensmittelindustrie werden erwähnt.

1.1.2 Miek Zwamborn: Algen – Ein Portrait

Miek Zwamborn studierte Bildende Kunst in Amsterdam und war anschließend 15 Jahre als Schleusenwärterin tätig. Heute ist sie Autorin und Übersetzerin und lebt und arbeitet auf der Isle of Mull in Schottland.

Die Autorin erzählt von ihrer persönlichen Geschichte mit Algen. Es werden viele literarische sowie dramaturgische Beispiele vorgeführt, in denen Algen vorkommen. Miek Zwamborn kombiniert Fachwissen mit erzählerischem Schreibstil und baut zudem vielfältige Informationen ein. Diese sind teils aus biologischer, teils aus historischer, künstlerischer oder literarischer Sichtweise relevant. Zudem bietet sie eine kleine Auswahl an privaten Rezepten an, welche mit kleinen Anekdoten ausgeschmückt sind. Zu guter Letzt hat sie Portraits von 12 Algenarten erstellt, welche detailreich beschrieben werden.

1.1.3 Jean Francois Camille Montagne: Phykologie oder Einleitung ins Studium der Algen

Jean Francois Camille Montagne lebte von 1784 bis 1866 in Frankreich. Er agierte als Arzt beim französischen Militär. Mit 48 verließ er das Militär, um sich der Biologie zu widmen. Neben Pilzen, Farnen, Flechten und Moosen beschäftigte er sich auch mit Algen. Im Internationalen Pflanzen Index steht die Abkürzung „Mont.“ für ihn.

Zunächst ist zu erwähnen, dass dieses Buch zur antiquarischen Literatur zählt. Es ist eine Kopie des originalen Werkes und wurde daher in altem Stil und alter Schrift verfasst. Dadurch lässt sich das Buch sehr schwer lesen, da die Sätze sehr lang sind, die Schrift schwer zu lesen ist und auch die Rechtschreibung nicht der heutigen entspricht. Zudem besteht das Buch nur aus theoretischem Hintergrundwissen ohne jegliche praktische Anwendungen. Dennoch verbirgt sich ein riesiger Wissenssatz zwischen den Seiten: Montagne beschäftigt sich mit der Geschichte, den Inhaltsstoffen, Organen, Einteilung, Fortpflanzung und vielem mehr. Beim Lesen merkt man, wie fortgeschritten der Wissensstand dieser Zeit tatsächlich war. Karl Müller übersetzte das Buch aus dem Französischen und verfasste einige Zusätze.

1.1.4 Ole G. Mouritsen: Seaweeds – edible, available & sustainable

Ole G. Mouritsen ist ein Professor für Biophysik. Er interessiert sich besonders für Biotechnologie, Biomedizin und Ernährungswissenschaften.

Dieses Buch umfasst einen sehr breiten Bogen an Informationen über Algen und zählt zur neuen Wissenschaftsliteratur. Da es vor allem um Algen im Meer geht, kommen größtenteils Makroalgen vor. Dennoch beleuchtet der Autor viele verschiedene Aspekte und beschäftigt sich unter anderem mit der Geschichte, Biologie, Züchtung, Chemie, Geschmack und industriellem Nutzen von Algen. Neben Rezepten für diverse Verwendungen als Suppen, Brot, Nudeln, Snacks, Getränken und vielem mehr, bietet das Buch auch technische und wissenschaftliche Details wie die Nährstoffzusammensetzung gewisser Algen, chemische Verbindungen von Algenerzeugnissen oder die Evolution der Algen. Die vielen Bilder veranschaulichen beschriebene Techniken und Organismen gut. Mouritsen spricht auch Traditionen mit Algen in allen Teilen der Welt an und lässt die ansässige Bevölkerung durch Mythen und Geschichten zu Wort kommen. Außerdem erklärt er die Techniken der internationalen Algenzucht sehr genau und verwendet Begriffe in der jeweiligen Sprache.

2 Geschichte

Mikroalgen gibt es schon über 3 Milliarden Jahre und Makroalgen wuchsen bereits vor 500 Millionen Jahren auf unserem Planeten. Damals fungierten Cyanobakteria als erste Sauerstofflieferanten, welche die Entstehung der sauerstoffreichen Erdatmosphäre ermöglichten. Sie gehören zu den ältesten Lebewesen unseres Planeten und haben sich seither kaum verändert. Auch heute noch sind Algen einer der Hauptsauerstofflieferanten unserer Erde: Manche Schätzungen geben an, dass Algen 90% des Sauerstoffs in der Atmosphäre produzieren. (vgl. Pejic-Pulkowskit, 2011)

Neben Sauerstoff sind Algen auch für viele wichtige Nährstoffe verantwortlich, welche die Evolution des Menschen begünstigten. Sie sind eine Quelle für Omega-3-Fettsäuren. Neueste Forschungen zeigen, dass die Entwicklung des Gehirns vor allem auf fünf Nährstoffe basiert: Jod, Eisen, Kupfer, Zink und Selen. Sie kommen vor allem in Küstennähe vor, beispielsweise in Algen und Fischen. Es gibt auch archäologische Funde, welche zeigen, dass Meeresalgen bereits um 12000 v.Ch. von Menschen verwendet wurden. (vgl. Mouritsen, 2013, pp. 5-6)

Der chinesische Kaiser Shen Nong, welcher vor ca. 5000 Jahren gelebt hat, soll die medizinischen Anwendungen von Algen erkannt haben. Auch in einer ägyptischen Schrift von 1500 v.Ch. werden den Algen heilende Wirkungen zugeschrieben. In Japan wurden *Porphyra lacinata* (Nori) erstmals im 6. Jahrhundert n.Ch. geerntet. Die Kultivierung dieser Alge begann im 17. Jahrhundert n.Ch. Durch Kathleen Drew-Bakers Entdeckung der Fortpflanzung der Alge im Jahr 1949 wurde die Entstehung des Industriezweigs der kommerziellen Algenproduktion überhaupt ermöglicht. (vgl. Mouritsen, 2013, p. 23)

Um 1300 n.Ch. wurden bereits Spirulina-Algen am Texcoco-See in Mexiko und am Chad-See in Afrika kultiviert. Im Westen findet man die erste Erwähnung von Algen bei Ruggiero Frugardi, welcher um 1200 n.Ch. die Wirkung von verbrannten Algen gegen Kropfbildung



Abbildung 1: *Alaria esculenta* (Atkins, 1843)

erforschte. An der französischen Küste wurden bis Anfang des 20. Jahrhunderts jährlich viele Tonnen Seetang geerntet und anschließend verbrannt. Dadurch wurden die Seifen- und Glasindustrie gefördert und auch Schwarzpulver wurde aus der Asche der Algen hergestellt. Miek Zwamborn beschreibt in ihrem Buch „Algen“ aus dem Jahr 2019 einen Film von Jean Epstein. 1929 erschienen stellt „Finis Terrae“ das Leben von vier Algenfischern dar und portraitiert ihre Arbeit sehr genau.

In der historischen Literatur werden Algen von vielen Entdeckern erwähnt, unter ihnen Christoph Kolumbus, Strabon, Rufius Festus Avienus und Alexander von Humboldt. Im 19. Jahrhundert fertigte Eliza M. French (1809-1889) hunderte Alben an, in denen sie Algenarten katalogisierte. Anna Atkins (1799-1871) erstellte im Oktober 1843 im ersten

Fotobuch der Welt eine Sammlung von Zyanotypien von Algen, die die Organismen so erscheinen lassen, als würden sie im Wasser schweben. Allerdings waren Algen nicht immer so beliebt: Der römische Dichter Virgil (70 v.Ch. – 19 v.Ch.) schrieb einst „nihil vilior alga“ (Nichts ist widerlicher als Algen). Dabei soll er den Gestank am Strand beschrieben haben. Der japanische Dichter Bashō (1644-1694) verfasste ein Haiku über Algensammler:

*„Erzähl mir vom
Leid des Berges, du, der du
Algen sammelst“*

Dieses zeigt, dass die Arbeit der Algensammler in der Kultur schon immer eine große Rolle gespielt hat. Außerdem wird die Wichtigkeit, die diese Tätigkeit bereits damals in der japanischen Gesellschaft hatte, nochmals betont. Diese beiden Zitate sollen die Gegensätze darstellen, welchen Algen auch in der heutigen Gesellschaft noch ihren Ruf verdanken. (vgl. Zwamborn, 2019, pp. 92, 114)

3 Algen in der Ökologie

In der Umwelt erfreuen sich Algen beim Menschen keiner großen Beliebtheit. Das schnelle Wachstum mancher Algenarten kann zum Verhängnis werden. Sowohl in Teichen und Aquarien als auch auf Fassaden sind Algen oft nicht erwünscht und werden sogar bekämpft. Auch die jährliche Algenblüte bringt einige Probleme mit sich.

In Teichen kann übermäßiger Algenbewuchs zum Problem für andere Lebewesen werden. Die häufigsten Algenarten in Teichen gehören der Gattung *Zygnema*, also der Fadenalgen an. Da die Algen in der Nacht zu viel O_2 benötigen, sinkt der Sauerstoffgehalt im Teich. Am Tag verbrauchen sie CO_2 . Durch die Abnahme des Kohlenstoffdioxidgehalts im Wasser steigt der pH-Wert schnell an. (vgl. Langer, 2022)

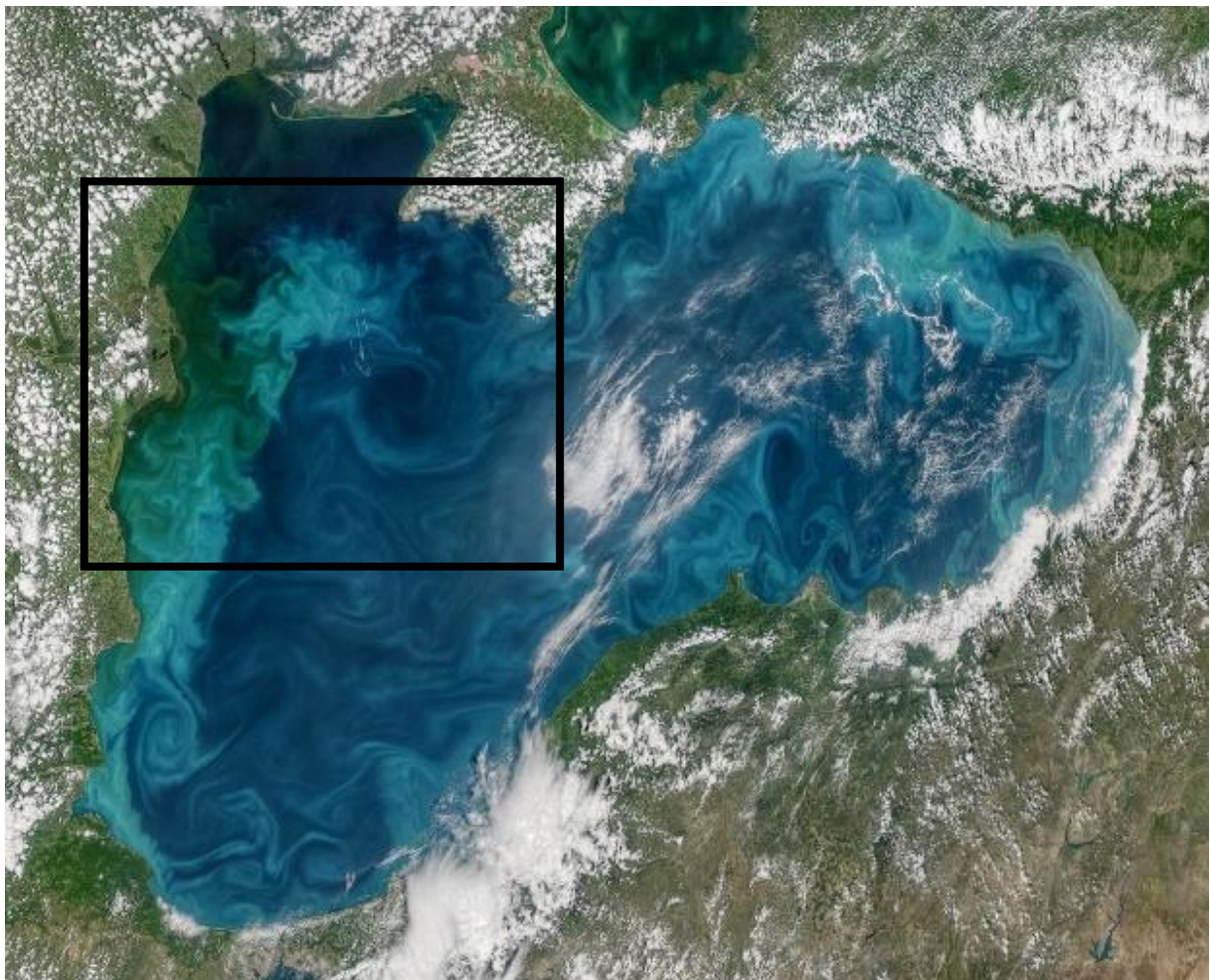


Abbildung 2: Algenblüte im Schwarzen Meer (verändert nach Kuring, 2017)

3.1 Algenblüte

Als Algenblüte wird jene Zeit im Jahr bezeichnet, in der aufgrund von idealen Nährstoff- und Temperaturbedingungen ein massenhaftes Auftreten und Fortpflanzen von Algen erfolgt. Sichtbar wird eine Algenblüte durch Verfärbung des Wassers bei Mikroalgenarten, beziehungsweise durch übermäßiges Auftreten von Organismen bei Makroalgen. Vor allem an Stränden in Badeorten führt die Algenblüte des Öfteren zu Problemen, da bestimmte Zonen aus gesundheitlichen Gründen zum Schutz für den Menschen gesperrt werden müssen. Dieses natürliche Phänomen kann, wenn es durch Nährstoffe und Düngungsmittel aus Abwässern begünstigt wird, zu einer Katastrophe werden, da die Zersetzung der Algen durch Bakterien dem Wasser Sauerstoff entzieht, welcher dann das Überleben von anderen sauerstoffabhängigen Organismen bedroht.

Auf Abbildung 2 und 3 kann man bunte Striche erkennen, welche die Blüte von Algen im Schwarzen Meer darstellen. Die Algenblüte in dieser Region tritt normalerweise nur im Sommer auf, doch aufgrund des Klimawandels verschieben sich die Blütezeiten. Nun kann es bereits im Mai zur Blüte kommen. Die blaue Farbe ist meist in der Mitte des Meeres und die grüne an den Ufern. Das liegt an dem erhöhten Nährstoffvorkommen an den Mündungen der Flüsse. (vgl. Pejic-Pulkowskit, 2011)

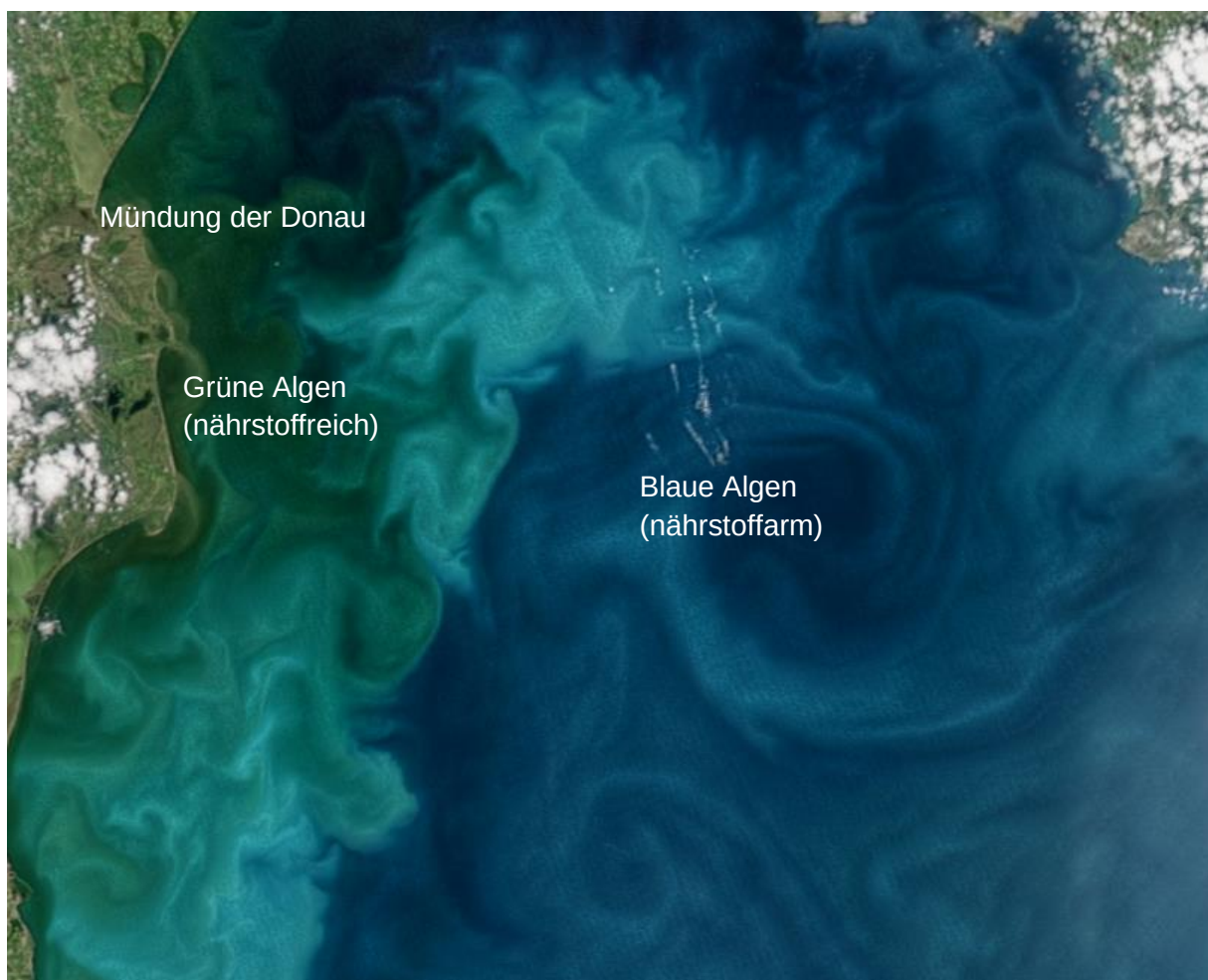


Abbildung 3: (Ausschnitt aus Abbildung 2) Die Algen zeigen auch Strömungen im Schwarzen Meer an (verändert nach Kuring, 2017)

3.2 Giftige Stoffe

Einerseits gibt es Algen, die von selbst Nervengifte produzieren, welche bei Menschen und Tieren wirken. Andererseits kann es als Folge extremer Überdüngung bei der Algenblüte zur Bildung von Giftgasen kommen. Dies passiert, wenn das Meer durch die Landwirtschaft zusätzlich mit Stickstoff oder Phosphor angereichert wird oder durch Saharastaub Eisen ins Wasser gelangt. Dann kommt es zu einer immensen Vermehrung von Cyanobakteria, die Stickstoff zu organischen Verbindungen umwandeln. Diese sind eine der Hauptvoraussetzungen für Kieselalgen, welche sich ebenfalls in kürzester Zeit vermehren. Sie stoßen Neurotoxine aus, welche riesigen Mengen an Fischen und anderen Lebewesen das Leben kosten. Außerdem bilden sich Gaswolken über dem Wasser, die an Land auch bei Menschen Schleimhautreizungen und Atemprobleme herbeiführen. (vgl. Karlowski, 2017)

Tatsächlich birgt auch der Verzehr von Algen eine kleine Gefahr: Der hohe Jodgehalt kann leicht überschätzt werden und bei zu hoher täglicher Einnahme zu diversen Schilddrüsenerkrankungen und Problemen des Verdauungstraktes führen. Zudem binden manche Algenarten Schwermetalle und werden dadurch ungenießbar. Einige spezielle Arten bilden selbst giftige Stoffe und sind absolut nicht für den Verzehr geeignet. (vgl. Mouritsen, 2013, p. 38)

3.3 Algen und der Klimawandel

Viele Expertinnen und Experten sind der Meinung, dass Algen eine greifbare Lösung bieten würden, den Klimawandel abzubremesen. Zwar gibt es noch nicht genügend Untersuchungen in diese Richtung, doch durch die vielseitigen Einsatzbereiche haben Algen gute Chancen. Einerseits könnten alternative Treibstoffe hergestellt werden, andererseits wären Algen längerfristig sowohl gesundheitlich als auch ökologisch eine sehr gute Alternative für tierische Nahrungsmittel. Außerdem gibt es Bestrebungen, das Algenwachstum im Meer zu fördern, da diese sowohl CO₂ als auch Stickstoff in hohen Anteilen ihrer Eigenmasse speichern können. Zudem sind sie für einen Großteil des Sauerstoffs in der Atmosphäre verantwortlich. Nach dem Tod dieser Organismen sinken die Körper an den Boden und die Gase werden dort für Jahrtausende gebunden. (vgl. Zwamborn, 2019, p. 142)

4 Biologie der Algen

Algen kommen überall in unserer Umgebung vor, auch wenn wir sie meistens nicht bemerken – egal ob zwischen Pflastersteinen, auf Hausmauern oder in Gartenteichen. Als Phykologie wird die Wissenschaft bezeichnet, die sich mit Algen beschäftigt.

4.1 Definition

In der Biologie wird die Bezeichnung „Alge“ oft als Sammelbegriff und nicht als Verwandtschaftsgruppe verwendet, welcher in 12-15, beziehungsweise 9 Abteilungen gegrenzt wird. Grundsätzlich werden darunter eukaryotische, pflanzenartige Lebewesen zusammengefasst, die größtenteils im Wasser leben und Photosynthese betreiben. Außerdem werden einige einzellige sowie mehrzellige Protista hinzugezählt, beispielsweise kernhaltige Algen (Mikro- und Makroalgen). (vgl. Freudig, et al., 1999)

Algen sind mit Pflanzen verwandt, doch es gibt auch Gruppen, die zu den Pflanzen zählen. Grünalgen, welche größtenteils in Plankton vorkommen oder in Symbiose mit Pilzen als Flechten leben, besitzen eine Zellwand aus Cellulose und Pektin und werden aufgrund ihrer Gemeinsamkeiten oftmals zu den Moosen und Farnpflanzen gezählt. (vgl. Freudig, et al., 1999)

Blualgen, auch Cyanobakteria genannt, sind biologisch gesehen keine Algen, da sie Prokaryoten sind. Zwar betreiben sie Photosynthese und waren unter den ersten Sauerstoffproduzenten auf der Erde, doch nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen gehören sie zu den Bakterien, werden aber oft trotzdem zu den Algen gezählt. (vgl. Pejic-Pulkowskit, 2011).

Wie die Namen schon sagen, sind Makroalgen mehrzellige, oft große, pflanzenartige Gewächse. Meist besitzen sie auch einen Stängel, *Cauloid* genannt, und blattähnliche Gebilde, die *Phylloide*. Sie halten sich mit wurzelähnlichen Haftorganen, den *Rhizoiden* meist an Felsspalten, Muscheln oder Steinen fest. Sie sind sehr anpassungsfähig und können in viel-

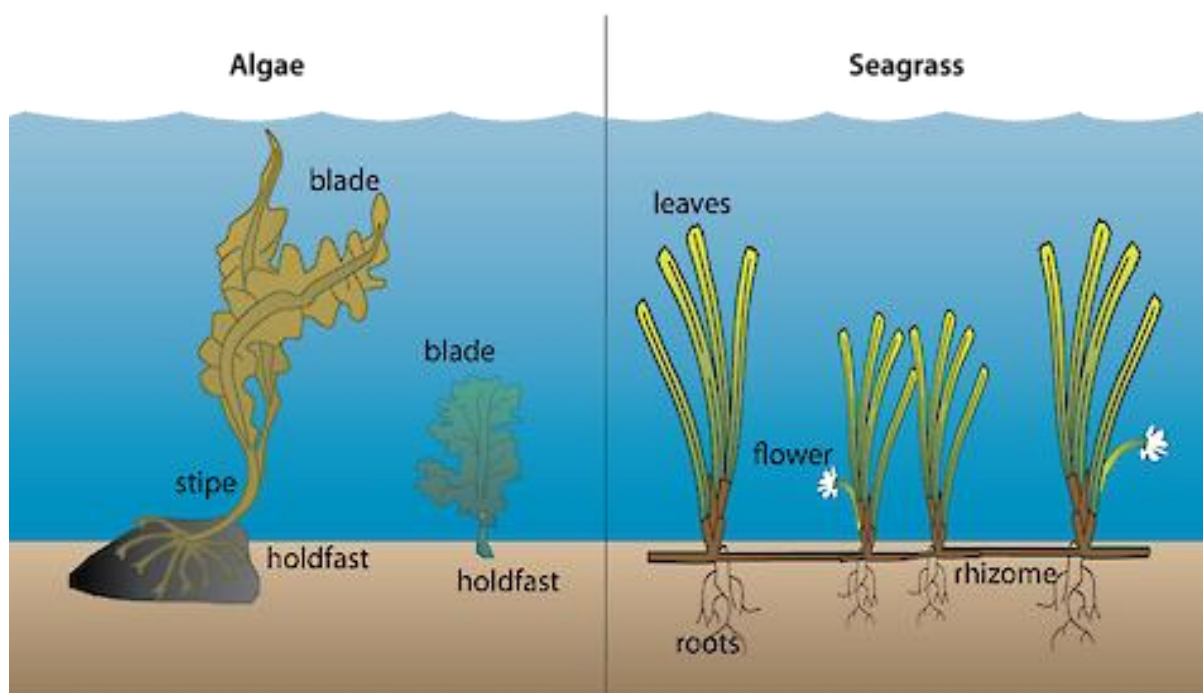


Abbildung 4: Unterschied im Aufbau von Makroalgen im Vergleich zum Seegras (Traganos, 2020)

fältigen Umgebungen bei Extrembedingungen überleben. Makroalgen findet man in allen Klimazonen. Jede einzelne Zelle kann sich unabhängig von den anderen selbst versorgen. Ein Beispiel für Makroalgen ist Tang (*Laminaria* spp.). In Abbildung 4 ist links ein Tanggewächs zu sehen. In Gruppen können sie zu riesigen Kelp- oder Tangwäldern heranwachsen, wobei manche Arten, beispielsweise der Riesentang (*Macrocystis pyrifera*), eine Länge von über 40 Metern bei einem Wachstum von 30 bis 50 Zentimeter pro Tag erreichen können. Die Artenbesetzung in den Kelp- und Tangwäldern ist regional unterschiedlich.

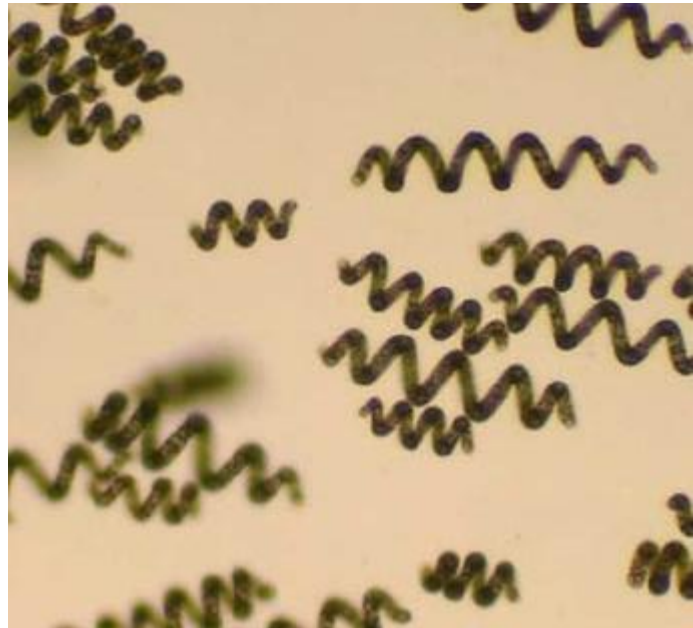


Abbildung 5: Spirulina-Algen unter dem Mikroskop (Koru, 2012)

Mikroalgen sind einzellige Algen. Man kann sie einzeln nicht mit freiem Auge sehen, aber eine Grünfärbung des Wassers ist ein Indikator für ihr Vorkommen. Wichtige Vertreter sind Spirulina und Chlorella, wobei Spirulina (*Arthrospira platensis* und *Arthrospira maxima*) Cyanobakteria sind und Chlorella zu den Algen zählt. In Abbildung 5 sind Spirulina-Algen unter dem Mikroskop dargestellt. (vgl. Cathaud, 2006-2021)

4.2 Biologische Hintergründe

Es wird angenommen, dass Algen für die Produktion von Sauerstoff in der Atmosphäre vor rund 3,5 Milliarden Jahren verantwortlich sind. Eukaryotische Algen wie sie heute vorkommen, sind vor ca. 2,2 Milliarden Jahren durch die Aufnahme eines Prokaryoten von einer eukaryotischen Zelle entstanden. Die älteste gefundene Algenversteinung ist 1,7 Milliarden Jahre alt. Heute sind sie laut wissenschaftlichen Schätzungen für die Hälfte der weltweiten Sauerstoffproduktion verantwortlich und somit überlebensnotwendig für Mensch und Tier. (vgl. Freudig, et al., 1999)

4.2.1 Aufbau

Aufgrund der großen Vielfalt gibt es keinen allgemeinen Aufbau, dem jede Algenart folgt. Es kann allerdings gesagt werden, dass die allermeisten Arten Chlorophyllbestandteile besitzen, um Photosynthese betreiben zu können. Bei färbigen Arten wird das Grün dieses Stoffes durch andere Farbpigmente überdeckt, wodurch eine große Farbenvielfalt entsteht. Zudem haben einzellige Algen meist keine feste Zellwand, sondern eine proteinreiche zytoplasmatische Außenschicht. Bei mehrzelligen Algen bestehen die Zellwände aus unterschiedlichsten Stoffen, unter anderem Cellulose, Kieselsäure (bei Kieselalgen), Alginsäure (bei Braunalgen), Agar (bei Rotalgen) und Calcium- oder Magnesiumcarbonat, was für Kalkablagerungen relevant ist. (vgl. Mouritsen, p. 4)



Abbildung 6: *Ulva lactuca* am Strand in Belgien (Vogl, 2022)

4.2.2 Vorkommen und Ansprüche

Grundsätzlich kommen Algen fast überall vor. Wenn sie außerhalb von Gewässern wachsen, benötigen sie meist feuchte Plätze mit genügend Sonneneinstrahlung. Auch trockene Orte, an denen es hin und wieder regnet, beispielsweise Duschen oder Hausmauern, sind geeignet. Außerdem gehen sie Symbiosen mit Pilzen ein, in denen sie als Flechten auf Bäumen, Mauern und Zäunen leben. Algen betreiben einen sehr nährstoffarmen Stoffwechsel, für den sie nur Phosphat, Nitrat und vor allem Sonnenlicht benötigen. Sie können fest-sitzend und freischwimmend leben und pflanzen sich meist mittels Mitose fort.



Abbildung 7: *Fucus vesiculosus* am Strand in Belgien (Vogl, 2022)

Makroalgen befinden sich meist in Küstennähe. Dort bekommen sie auch bei Verankerung am Boden noch genügend Licht. Beispiele für diese Arten sind diverse Tangarten wie der Blasentang (*Fucus vesiculosus*). Es gibt allerdings auch freischwimmende Arten, wie den Meersalat (*Ulva lactuca*), oder einige Arten der Golftange (*Sargassum* spp.).

Der Ozean beherbergt die meisten Arten an Algen. Es wird geschätzt, dass sämtliche Algenarten eine Fläche einnehmen, welche 8% der wasserbedeckten Oberfläche entspricht. Allerdings sind Sandküsten aufgrund der unablässigen Untergrundbewegung nicht sehr beliebt. (vgl. Zwamborn, 2019, p. 15)

4.2.3 Taxonomie

Nach Schätzungen von Forscherinnen und Forschern soll es zwischen 280 000 und 400 000 verschiedene Algenarten geben, von denen ca. 39 000 erforscht sind. Aufgrund der riesigen Vielfalt ist es schwierig, die vielen unterschiedlichen Arten zu klassifizieren, da Aufbau und Größe, biochemische Vorgänge, Lebenszyklus und viele anderen Kriterien variieren. Allerdings können genetische Analysen bei der Zuordnung helfen. (vgl. Mouritsen, 2013, p. 21)

Ein erstes Einteilungsprinzip basiert auf Professor Pascher und wird im Lexikon der Biologie auf der Onlineplattform von Spektrum unter „Algen“ angeführt. Es ist neunstufig, bezieht sich auf die morphologischen Formen und wird auf Basis derer gegliedert:

- Plankton: passiv im Wasser treibende Organismen
- Neuston: einzellige Algen, die an der Wasseroberfläche leben
- Benthos: am Grund festsitzende Algen (z.B.: Braun- und Rotalgen)
- Algen in Fließgewässern
- Aerophyten: leben an feuchten Standorten außerhalb des Wassers
- Thermale Algen: leben in heißen Quellen, die teilweise über 50°C messen
- Kryophyten: leben auf Schnee und Eis
- Epibionten: leben auf anderen Pflanzen oder Tieren
- Symbiontische Algen: Lebensgemeinschaft mit anderen Organismen (z.B.: Flechten)

Camille Montagne erstellte wie viele seiner Kollegen um 1850 in seiner Schrift „Phykologie oder Einleitung ins Studium der Algen“ eine sehr genaue Systematik, um sämtliche bekannten Arten einteilen zu können. Zunächst werden drei Familien gebildet, welche anschließend weiter in Tribus, Section, Gattung und Art unterteilt werden:

- Zoospermeen: einfache, kugelförmige Algen
 - Z.B.: Nostochineen, Oscillarieen und Conferven
- Florideen: einfädige oder zellige Algen
 - Ceramieen, Cryptonemeen und Rhizophyllineen
- Phykoideen: blasen- oder schlauchförmige Algen
 - Dictyoteen, Laminarieen und Fuceen

Eine weitere Einteilung, welche Miek Zwamborn in ihrem Buch „Algen – Ein Portrait“ von 2019 anwendet, ist auch geläufig. Sie ist sogar die heute am gängigsten verwendete Art der Taxonomie. Dabei werden die verschiedenen Arten so unterteilt:

- Grünalgen (*Chlorophyta*): Sie kommen ein- aber auch mehrzellig vor und leben hauptsächlich im Süßwasser. Sie sind vorwiegend durch Chlorophyll A gefärbt, welches auch in Landpflanzen vorkommt.

- Rotalgen (*Rhodophyta*): Diese Gruppe besteht hauptsächlich aus mehrzelligen Arten und erhält durch Phycobiline ihre rötliche Färbung. Meist leben sie in Salzwasser.
- Braunalgen (*Phaeophyta*): Sie beinhalten mehrzellige, komplex gebaute Algen und sind ausschließlich im Meer zu finden. Das Farbpigment Fucoxanthin sorgt für die braune Färbung.
- Kieselalgen (*Diatomeen*): Sie sind als einzellige Algen Teil des Phytoplanktons und ebenfalls braun. Kieselalgen haben ein Außenskelett aus Siliziumdioxid.
- Panzeralgen (*Dinophyta*): Die Panzeralgen sind meist Einzeller und mit Platten besetzt. Manche Arten können eine Überlebenskapsel erzeugen, in der sie am Grund auf bessere Zeiten warten.
- Blaualgen (*Cyanophyta*): Auch als Cyanobakteria bezeichnet, zählen die Cyanophyta trotz ihres Daseins als echte Bakterien zu den Algen. Sie haben keinen Zellkern und sind mit einer kalkbindenden Schleimschicht umgeben.
- Kalkalgen (*Haptophyta*)
- Cryptomonaden
- Weitere Kleingruppen

4.3 Phänomene und Eigenschaften

Wie bereits erwähnt, können Algen unter Extrembedingungen wie Eis und hohen Temperaturen überleben. Auch starken Strömungen, sowie Schwankungen im Salz- und pH-Wert halten sie stand. Hier wird noch etwas näher auf die ungewöhnlichen Eigenschaften mancher Arten und Phänomene, die durch Algen hervorgerufen werden, eingegangen.

4.3.1 Biolumineszenz

An manchen Stränden kann man im Dunklen das Meer leuchten sehen. Dies entsteht durch die einzelligen Dinoflagellaten. Sie kommen weltweit in Salzwasser vor und bilden riesige Kolonien, wenn das Nährstoffangebot stimmt. Die Beleuchtung dient dem Selbstschutz: Durch das Licht machen sie ihre eigenen Fressfeinde sichtbar, wodurch diese wiederum von deren eigenen Feinden gefressen werden. Je intensiver die Sonneneinstrahlung bei Tag ist, desto stärker leuchten die Mikroorganismen bei Nacht. Das Leuchten beruht auf chemischen Prozessen: Bei Berührungen reagiert das Enzym Luciferase mit dem lichtgebenden Stoff Luciferin. Dabei wird Energie als Licht abgegeben. (vgl. Wengel, 2019)

4.3.2 Schaum

Oft kann man am Rand eines Gewässers weißen Schaum beobachten, welcher von vielen als chemische Verschmutzung missdeutet wird. Dieser hat allerdings eine ganz natürliche Ursache: Wenn Algen oder andere im Wasser lebende Organismen absterben, geben sie organisches Material an die Umgebung ab. Darunter befinden sich auch Eiweiße, die bei der Bewegung des Wassers, ähnlich wie beim Schlagen von Eiweiß in der Küche, Luftbläschen einschließen und dadurch Schaum bilden. (vgl. Hey, 2018)

5 Algeninhaltsstoffe und deren Wirkung im Körper

Jede Algenart hat eine unterschiedliche Zusammensetzung, daher hat es wenig Sinn, einen Durchschnitt anzugeben. Um einen Vergleich anzugeben, werden hier vier Algenarten angeführt. Sie stammen alle von unterschiedlichen Familien, um die Nährstoffdifferenzen zu visualisieren.

Tabelle 1-4: Inhaltsstoffe von vier verschiedenen Algenarten (vgl. Mouritsen, 2013, pp. 241-244)

Kombu (<i>Saccharina japonica</i>)	
Inhaltsstoff	Gehalt (pro 100g)
Fette	1,1g
Proteine	7g
Kohlenhydrate	55g
Ballaststoffe	3g
Jod	150-500mg
Kalzium	0,8g
Natrium	3,1g
Kalium	6g
Magnesium	120mg
Phosphor	150mg
Eisen	15mg
Kupfer	0,5mg
Energie	1100kJ
Vitamin A	0,129mg
Vitamin B ₁₂	0,3mg
Vitamin C	11mg

Meersalat (<i>Ulva</i> spp.)	
Inhaltsstoff	Gehalt (pro 100g)
Fette	0,6g
Proteine	24g
Kohlenhydrate	40g
Ballaststoffe	5g
Jod	20mg
Kalzium	730mg
Natrium	1,1g
Kalium	700mg
Magnesium	2,8g
Phosphor	-
Eisen	100mg
Kupfer	-
Energie	900kJ
Vitamin A	0,3mg
Vitamin B ₁₂	6mg
Vitamin C	10mg

Laver/Nori (<i>Porphyra</i> spp.)	
Inhaltsstoff	Gehalt (pro 100g)
Fette	2g
Proteine	34g
Kohlenhydrate	45g
Ballaststoffe	7g
Jod	0,5-1,5mg
Kalzium	470mg
Natrium	3,6g
Kalium	3,5g
Magnesium	600mg
Phosphor	400mg
Eisen	23mg
Kupfer	<0,5mg
Energie	1350kJ
Vitamin A	9mg
Vitamin B₁₂	20mg
Vitamin C	20mg

Spirulina	
Inhaltsstoff	Gehalt (pro 100g)
Fette	7g
Proteine	65g
Kohlenhydrate	14g
Ballaststoffe	6g
Jod	0,1mg
Kalzium	700mg
Natrium	900mg
Kalium	1,2g
Magnesium	180mg
Phosphor	120mg
Eisen	100mg
Kupfer	6mg
Energie	1250kJ
Vitamin A	0,165mg
Vitamin B ₁₂	0g
Vitamin C	9mg

Überraschend ist, dass Spirulina 0g an Vitamin B₁₂ enthalten, da die Mikroalge oft als Ersatzquelle für Vegetarier und Veganer empfohlen wird. Der Grund dafür ist, dass in dieser Tabelle nur die für den Menschen genießbaren Nährstoffe angegeben sind. Spirulina enthält schon Vitamin B₁₂, allerdings ist dies ein sogenanntes Vitamin-B₁₂-Analoga, welches von der

Struktur her gleich ist, aber vom Körper nicht verwertet werden kann. Dennoch ist diese Art reich an Eisen und Proteinen. Kombu hat einen sehr hohen Jodgehalt. Deshalb ist bei regelmäßiger Einnahme Vorsicht geboten, da die benötigte tägliche Menge bei 0,15mg liegt. Bei frischen Algen kann der Wert sogar noch höher sein.

Tabelle 5-8: Inhaltsstoffe von vier verschiedenen Fleischarten

Rindfleisch	
Inhaltsstoff	Gehalt (pro 100g)
Fette	4g
Proteine	22g
Kohlenhydrate	0g
Ballaststoffe	0g
Jod	-
Kalzium	5,3mg
Natrium	62mg
Kalium	360mg
Magnesium	24mg
Phosphor	217mg
Eisen	2,9mg
Kupfer	-
Energie	540kJ
Vitamin A	0mg
Vitamin B₁₂	3,6µg
Vitamin C	0g

(vgl. Roseland, et al., 2013)

Schweinefleisch	
Inhaltsstoff	Gehalt (pro 100g)
Fette	7g
Proteine	22g
Kohlenhydrate	0g
Ballaststoffe	0g
Jod	-
Kalzium	7mg
Natrium	48mg
Kalium	374mg
Magnesium	26mg
Phosphor	226mg
Eisen	0,5mg
Kupfer	-
Energie	652kJ
Vitamin A	0mg
Vitamin B ₁₂	0,53µg
Vitamin C	0g

(vgl. Patterson, et al., 2009)

Hühnerfleisch	
Inhaltsstoff	Gehalt (pro 100g)
Fette	7,2g
Proteine	30g
Kohlenhydrate	0g
Ballaststoffe	-
Jod	-
Kalzium	-
Natrium	214mg
Kalium	337mg
Magnesium	30,4mg
Phosphor	261mg
Eisen	-
Kupfer	-
Energie	780kJ
Vitamin A	-
Vitamin B ₁₂	0,7µg
Vitamin C	0mg

(vgl. Federation, 2020)

Lammfleisch	
Inhaltsstoff	Gehalt (pro 100g)
Fette	16g
Proteine	19g
Kohlenhydrate	0g
Ballaststoffe	0g
Jod	-
Kalzium	8mg
Natrium	50mg
Kalium	292mg
Magnesium	20mg
Phosphor	173mg
Eisen	1,7mg
Kupfer	-
Energie	853kJ
Vitamin A	0mg
Vitamin B ₁₂	2,6µg
Vitamin C	0g

(vgl. Nguyen, et al., 2017)

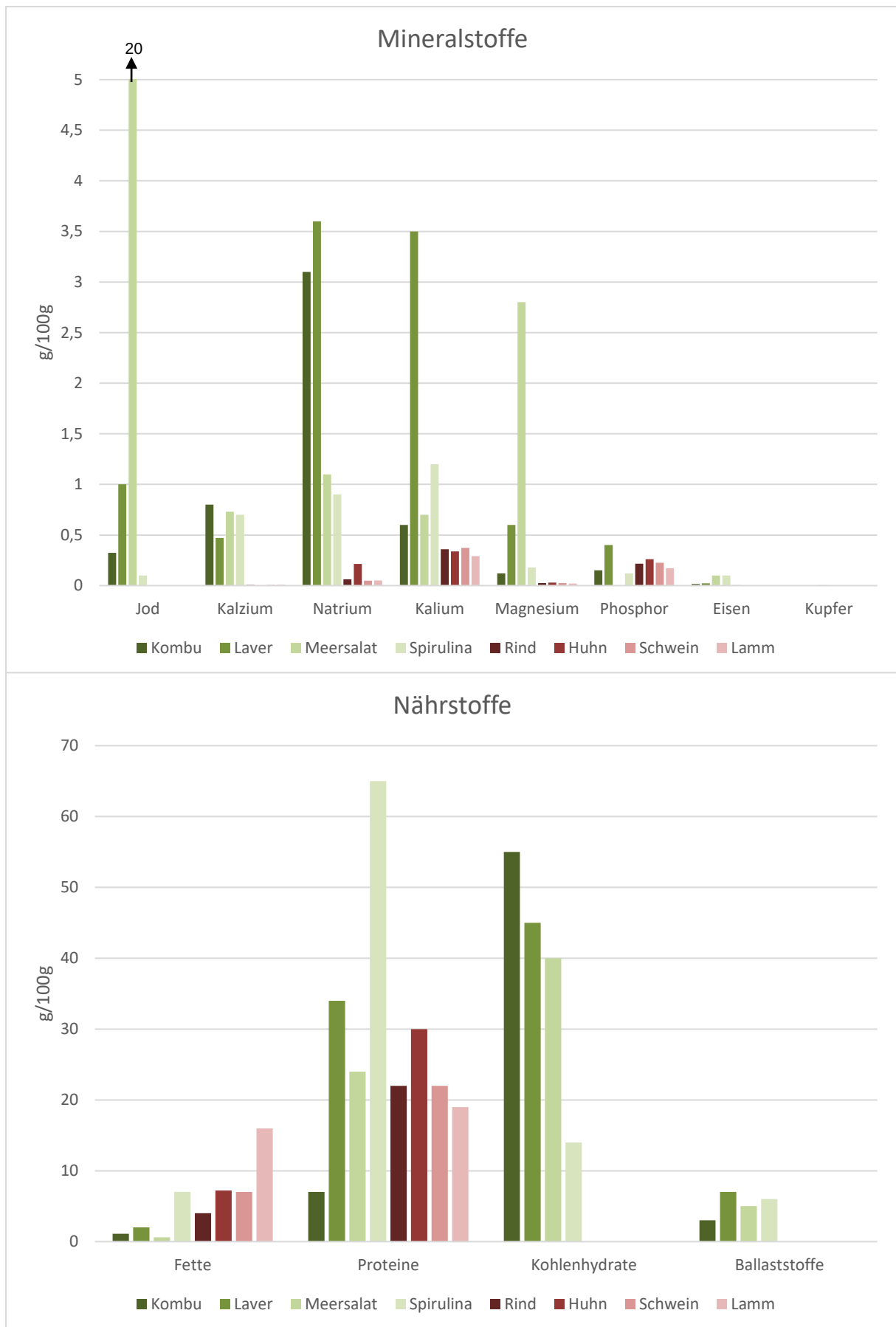


Abbildung 6: Mineralstoffe und Nährstoffe von verschiedenen Algenarten (grün) und Fleischarten (rot) pro 100g im Vergleich (Vogl, 2023)

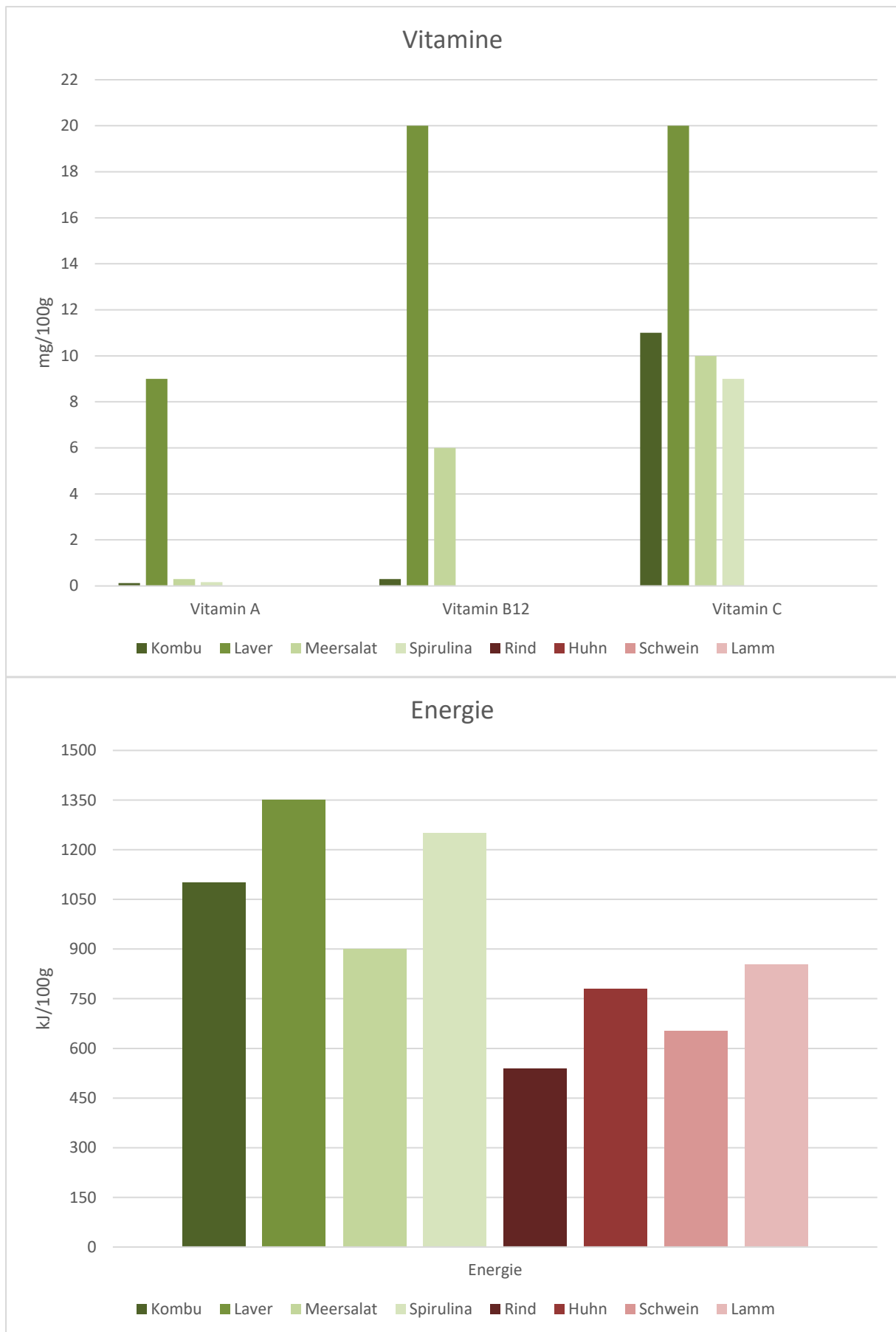


Abbildung 7: Vitamine und Energie von verschiedenen Algenarten (grün) und Fleischarten (rot) pro 100g im Vergleich (Vogl, 2023)

Gegenüberstellung der Inhaltsstofftabellen von Algen- und Fleischarten:

Die Tabellen wurden als Balkendiagramme (Abb. 6 und 7) auf den vorherigen Seiten veranschaulicht. Die Diagramme zeigen, wie die unterschiedlichen Inhaltsstoffe zwischen Algen und Fleisch verteilt sind. Dabei beschreiben die grünen Balken die Algen und die rötlichen die Fleischsorten. Sämtliche Angaben sind in g/100g beziehungsweise mg/100g berechnet. Die Energie wird in kJ/100g angegeben.

Im Vergleich zu Fleisch haben die meisten Algensorten einen viel größeren Anteil an Vitamin B₁₂, beispielsweise beinhaltet Laver 20mg, während Rindfleisch nur einen Anteil von 3,6µg hat. Auch der Anteil an Eisen ist bei den Algen wesentlich höher: 15-100mg, während er bei Fleisch zwischen 0,5 und 2,9mg liegt. Diese beiden Inhaltsstoffe sollen zeigen, dass auch ohne Fleisch ein gesunder Eisen- und Vitamin-B₁₂-Spiegel gehalten werden kann.

Einhundert Gramm an Algen enthalten zwischen 0,6 und 7g Fett, während der Wert bei Fleisch viel höher ist, nämlich von 4 bis 16g. Zudem ist der Höchstwert an Proteinen bei den Algen mehr als doppelt so hoch im Vergleich zu den Fleischsorten. Lammfleisch schneidet mit 853kJ bei den Fleischsorten als höchster Wert ab, doch der liegt noch immer weit unter dem höchsten Energiewert der Algen, welcher 1350kJ beträgt. Auch Vitamine und Minerale sind in den Algen viel höher: Vitamin A ist in Fleisch gar nicht vorhanden, während die Reichweite bei Algen von 0,129mg bis 9mg beträgt.

Die signifikantesten Ausschläge der Fleischsorten im Durchschnitt sind Fette, Proteine, Vitamin B₁₂, Natrium, Kalium, Phosphor und Energie. Im Vergleich dazu zeigen Algen in jeder Kategorie außer Kupfer einen Ausschlag. Deutlich wird im Diagramm dargestellt, dass Algen in jeder Kategorie Vorreiter sind. Nur bei den Fetten haben die Fleischsorten einen höheren Wert.

6 Verschiedene Verwendungen und Traditionen von Algen

Mittlerweile haben Algen Anwendung in unterschiedlichsten Bereichen gefunden. Sowohl in der Forschung als auch in der Küche werden sie gebraucht. In diesem Kapitel soll die vielfältige Einsetzbarkeit dieser Organismen behandeln. Außerdem sollen Traditionen, die es auf der ganzen Welt gibt, vorgestellt werden.

6.1 Nahrungsmittel

In der traditionellen Küche kennt man Algen vor allem aus Japan, China und Korea als Sushi, Suppe oder ähnliches. Doch auch in Mexiko, Großbritannien und Frankreich werden sie auf verschiedenste Weisen zu nahrhaften Gerichten verarbeitet. Bereits die Wikinger wussten von der gesunden Wirkung und nahmen Algen zu sich, um sich vor der Krankheit Skorbut zu schützen. In Großbritannien ist das sogenannte „Laverbread“ sehr beliebt, welches mit Seetang zubereitet wird. Im Gegensatz zu seinem Namen ist es kein Brot, sondern eine Paste, die in Wales zum Frühstück gegessen wird.

Wie bereits erwähnt, sind Suppen ein sehr geläufiges Nahrungsmittel. In verschiedensten Regionen auf der Welt, unter anderem Asien und Chile, werden Algen als Suppenwürze oder -inhalt verwendet. Sie verleihen einen maritimen Geschmack und bilden weiche Suppenstücke. Die koreanische Miyeokguk-Suppe wird mit Seetang, Knoblauch und Sojasauce zubereitet.

In der Küche können Algen einerseits roh und getrocknet verarbeitet werden. Andererseits gibt es unterschiedlichste Zubereitungsweisen: Algen können gekocht, gebraten, geröstet, eingelegt oder gedämpft werden. Diese vielseitige Anwendung zeigt die große Bandbreite an Einsatzfähigkeiten, die Algen anstelle von anderen Produkten bieten. (vgl. Reder, 2003)

Auch als Tee-Ingredienzien werden Algen verwendet. Sie sollen als Abnehmhilfe wirken, aufgrund ihrer reichen Inhaltsstoffe. Neben Tee kann aus Algen auch ein weinähnliches Getränk gewonnen werden. Es heißt Laminaria und basiert auf Fermentation. Da sich der Begriff „Wein“ nur auf Getränke mit Traubenbasis beziehen darf, ist der naheliegende Name Algenwein laut EU-Richtlinien nicht zulässig. Neben dem Alkoholgehalt hat es aber auch noch anderes zu bieten: Forscher fanden heraus, dass eine Flasche den Vitalstoffbedarf eines Erwachsenen drei Wochen lang deckt. (vgl. Lehn, 2006)

Generell kann gesagt werden, dass Algen eher in der traditionellen Küche von Küstenstaaten auftauchen werden und dort eine Geschichte haben. Deshalb sind sie in Österreich auch noch eher unbekannt. In der Küche werden Algen am häufigsten mit Asien assoziiert. Dort haben sie auch schon eine lange Tradition. Vor allem die Kulturen Chinas, Japans und Koreas haben eine weit zurückreichende gemeinsame Geschichte mit ihnen. Ob in der Medizin, Folklore, Kunst, Kosmetik oder Ernährung, überall tauchen sie auf.

Weltweit bekannt sind die Nori-Blätter, welche um Sushirollen gewickelt werden. Sie werden aus *Porphyra tenera* oder *Porphyra yezoensis* hergestellt. Nach der Ernte werden die Algen klein geschnitten, gewaschen und ähnlich wie bei der Papierherstellung auf Rahmen getrocknet. Neben Nori-Algen sind in Japan auch Salate aus der Algenart *Goma wakame* sehr beliebt. Dabei werden die Algen mit verschiedenstem Gemüse wie Gurken, Karotten, Zwiebeln oder Rettich und Sesam garniert. Auch Seetrauben (*Caulerpa lentillifera*) sind als Salat sehr populär.

In der koreanischen Küche sind Algen keine Seltenheit. Sie sind in vielen Rezepten vorgesehen und werden auf Märkten verkauft. Bekannt sind unter anderem die Arten Gim, welche der Nori-Alge aus Japan ähnelt, und Kombu (*Saccharina japonica*), eine Braunalge. Ihr Geschmack ähnelt dem von Fisch und ist abhängig von der Region, in der sie gewachsen ist. Sie werden beispielsweise zum Würzen von Tteok-bokki oder Kimchi-jjigae verwendet. Auch Gimhap, eine Art Reisrolle, wird mit Algen zubereitet. (vgl. Henke, 2019)

6.2 Lebensmittelindustrie

In der Lebensmittelindustrie haben Algen bereits seit Jahrzehnten einen fixen Platz eingenommen. Aus ihnen werden Nahrungsergänzungsmittel und Zusatzstoffe gewonnen.

6.2.1 Jodgewinnung

Algen haben einen sehr hohen Jodgehalt. Deshalb ist es wichtig, die vorgeschriebene Tagesmenge nicht zu überschreiten. Dennoch können sie auch wichtige Nährstofflieferanten sein. Ein Jodmangel kann zu Kropfbildung führen, daher ist es wichtig, eine ausgewogene Ernährung beizubehalten. Heute wird Jod zum Salz hinzugeführt. Ein Großteil dieses Jods wird seit dem 18. Jahrhundert aus Braunalgen wie Kelp oder Laminarien gewonnen. (vgl. Mouritsen, 2013, p. 60 f.)

6.2.2 Carrageen (E407) aus *Spinosum*

Aus der Rotalge *Spinosum* (*Euchema denticulatum*) wird der Zusatzstoff E407 hergestellt. Die Rotalge wird an den Küsten Kanadas, Maines, Großbritanniens, Spaniens und Sansibars angebaut. Auf Sansibar ermöglicht der Anbau von *Spinosum* Frauen finanzielle Unabhängigkeit. Sie binden Stecklinge an Seile, welche dann für zwei bis drei Monate im Meer wachsen. Bei der Ernte hat sich die Biomasse um das 20-fache vermehrt. Aufgrund mangelnder Infrastruktur können die Algen nicht sofort in Sansibar weiterverarbeitet werden, sondern müssen gewaschen, getrocknet und an Einkäufer verkauft werden. Anschließend werden aus großen Mengen an getrockneten *Spinosum* entweder mit Alkohol und einer Alkalilösung oder Kaliumchlorid Carrageen chemisch gewonnen. Diese wirken als Bindungsmittel für Fette und Proteine und verhindern das Absetzen von Flüssigkeiten. Der Zusatzstoff E407 wird in vielen Bereichen verwendet, unter anderem der Kosmetik- und Lebensmittelindustrie, zur Herstellung von Farben und Arzneimitteln, in der Labortechnik und in der Papier- und Textilindustrie. Auch bei Bio-Produkten sind Carrageene mittlerweile zugelassen. (vgl. Mouritsen, 2013, pp. 208-211)

6.2.3 Alginate

Diese Polysaccharide kommen in Braunalgen vor und werden vor allem als Gel verwendet. Sie bestehen aus langen Ketten, welche wiederum zwei verschiedene Monosaccharide aneinanderreihen. Mit Kalzium- oder Magnesiumionen tritt die Gelierung bei viel niedrigeren Temperaturen als bei Pektinen ein. Bei diesem Prozess wird eine große Menge an Wasser gebunden. Alginate werden gerne in der Lebensmittelindustrie verwendet. Dort agieren sie als Binde- und Verdickungsmittel und haben einen vielfältigen Anwendungsberiech gefunden: Unter anderem dienen sie bei Eis, Fleischprodukten, Fruchtcremen, Pudding, Saucen, künstlichen Kirschen, Butter oder Bierschaum als Zusatzmittel. Weiters werden sie aufgrund ihrer Funktionsfähigkeit als Elektrolyten in Batterien eingebaut und auch die Textil- und Papierindustrie macht von ihren bindenden Eigenschaften Gebrauch. (Mouritsen, 2013, p. 205)

6.2.4 Spirulina und Chlorella

Die beiden als Nahrungsergänzungsmittel bekannten Mikroalgenarten sind Spirulina und Chlorella. Der Unterschied ist, dass Chlorella eine Mikroalge ist und Spirulina ein Cyanobakterium. Beide können zuhause gezüchtet werden und sind in Tabletten- und Pulverform erhältlich. Man kann sie entweder direkt mit Wasser verdünnen und trinken oder zu Joghurt, in Smoothies oder andere Gerichte beimischen. Ihnen werden viele Heilfähigkeiten zugeschrieben, doch es gibt nur wenige Studien, die dies tatsächlich beweisen. Dennoch sorgen sie für eine ausgewogene Ernährung und einen gesunden Nährstoffhaushalt, da sie reich an Proteinen und wichtigen Aminosäuren sind. (vgl. Mouritsen, 2013, p. 38)

6.3 Kosmetik

Bereits 1998 wurden ca. 50 verschiedene Algenarten in der Kosmetikindustrie verwendet. Besonders Algenbäder oder Gesichtsmasken für verschiedene Hauttypen seien sehr effektiv, meint Petra Neumayer in ihrem Buch „Algen – Gesundheit aus dem Meer“. Dafür können Algenpulver zu den Basisrezepten hinzugefügt werden. Natürlich ist es auch möglich frische Algen zu verwenden.

Die sogenannte Algotherapie, welche verschiedene Behandlungen und Bäder mit Algen verwendet, wird bereits weltweit in Anspruch genommen. Die Haut wird dadurch weich und geschmeidig. Allerdings ist die Wirkung solcher Behandlungen schwer auf die einzelnen Stoffe zurückzuführen. Unter anderem werden gewisse Algen auch für Sonnencreme verwendet, da sie UV-Licht absorbieren. Die bereits erwähnten Carragene verleihen vielen Kosmetikprodukten Stabilität und Konsistenz. (Mouritsen, 2013, p. 220)

6.4 Medizin

Die medizinischen Wirkungen von unterschiedlichen Stoffen, die aus Algen extrahiert werden können, ist noch nicht ausreichend erforscht. In traditioneller Volksmedizin werden sie bereits lange für verschiedenste Krankheiten und Beschwerden verwendet, unter anderem bei Rheuma, Tuberkulose, Grippeinfektionen, Wunden, Wurmbefall und Krebs, so meint Ole G. Mouritsen in seinem Buch „Seaweeds – Edible, Available & Sustainable“ aus dem Jahr 2013. Viele Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen beschäftigen sich mit dieser Thematik. Einige der Stoffe haben antibiotische oder antivirale Effekte. Sie sollen gegen Herpes, HIV/AIDS und HPV wirken. Dabei halten sie den Virus davon ab, in die Zellen einzutreten. Zusätzlich stärken sie das angeborene Immunsystem und verhindern eine weitere Infektion über das Blut. Carrageene enthalten beispielsweise Gele, welche HIV binden können. Sogenannte Terpene, welche in Braunalgen enthalten sind, zeigen antivirale und krebshemmende Wirkungen. Außerdem könnten sie sich auch gegen Malaria auswirken und Tumorwachstum hemmen.

6.5 Wärme- und Energielieferant

Neben Kosmetik und Nahrung sind Algen auch im Energiesektor verwendbar. Wenn sich Algen an der Hauswand befinden und diese grün färben, geschieht dies normalerweise zum Ärger der Bewohner. Sie können aber auch die Energieversorgung regeln. In Hamburg wurde das erste derartige Haus in Zusammenarbeit von Baufirmen, Expertinnen und Experten, sowie Architektinnen und Architekten 2013 fertiggestellt. Ursprünglich das sogenannte „BIQ“ für die Internationale Bauausstellung in Hamburg gedacht, heute sind die 15 Mietwohnungen darin belegt. Insgesamt kostete das Projekt ca. 4,5 Millionen Euro. (vgl. Galileo, 2017)



Abbildung 8: BIQ in Hamburg (verändert nach Upton, 2013)

Durch die 129 Glaskästen mit Mikroalgen können 38% der einfallenden Sonnenenergie für die Wärmeversorgung der Bewohner genutzt werden. Im Jahr fallen dabei 40.000 Kilowattstunden Energie an. Der Rest wird von den Algen selbst genutzt, die sich dadurch vermehren. Weitere Energie wird durch die Biomasse gewonnen, die im Keller des Hauses vollautomatisch und periodisch geerntet wird. Im Sommer kann alle 20 Minuten geerntet werden, wodurch 50 Liter Algenkonzentrat pro Tag entstehen, wobei 10 Liter ungefähr einem Kilo Algenmasse entsprechen. Der Preis pro Kilogramm beträgt bei unverarbeiteter Masse ungefähr 30 Euro. Im Handel sind die verarbeiteten Produkte allerdings um einiges teurer. (vgl. Galileo, 2017)

Anschließend kann die Biomasse auch in der Kosmetik- und Pharmaindustrie, als Fischfutter oder in Biogasanlagen verwendet werden. Theoretisch könnte sie auch als Nahrungsmittel eingesetzt werden. Die Algen werden von einer Pumpe mit Luftblasen versorgt und gleichzeitig durchgemischt. Außerdem wird aus dem Abwasser der Bewohner im Haus Biogas erzeugt, welches die Algen mit Nährstoffen versorgt. (vgl. Galileo, 2017)

Normalerweise würden sich solche Bioreaktoren nicht rentieren, da mehr Energie während des Prozesses verbraucht wird, als durch Biomasse eingebracht werden könnte. Aufgrund der Pumpe, welche nur sehr wenig Leistung benötigt, und der Durchmischung auf Luftbasis funktioniert dies allerdings. Zudem wirken die Algen als Licht- und Lärmschutz, sowie Wärmedämmung. Die Chlorella-Algen passen ihre Farbe der Sonnenintensität an. (vgl. Gabrielczyk, 2013)

6.5.1 Antrieb

Außerdem produzieren Algen Öle. Diese könnten in der Zukunft Kerosin für Flugzeuge ersetzen. Wissenschaftler haben entdeckt, dass bei Entzug von wichtigen Nährsalzen eine Schockreaktion bei den Algen ausgelöst wird. Dadurch lagern sie mehr Öle ein, die dann bearbeitet werden. Danach ergibt sich die gleiche chemische Formel wie Kerosin. Es wurden vereinzelt schon Flugzeuge gebaut, die dieses Kerosin nutzen und bereits 2010 startete das erste Sportflugzeug auf der Berlin Air Show, welches nur mit Algenkerosin flog. Weitere Forschungen ergaben, dass der Verbrauch des Algenkerosins aufgrund des hohen Energiegehalts der Algen 1,5 Liter pro Stunde geringer ist als jener des herkömmlichen Kerosins. Bei bestimmten Arten kann auf diese Weise auch Wasserstoff erzeugt werden. (vgl. Galileo, 2017)

7 Kultivierung von Algen

Um als internationales Nahrungsmittel zu gelten, können Algen nicht nur auf natürlichem Weg geerntet werden, weil sonst die Bestände bei größerem Bedarf zu schrumpfen beginnen würden. Deshalb werden auch Algen mittlerweile in eigenen Farmen gezüchtet. In Asien haben solche Betriebe bereits eine lange Tradition.

7.1 Zucht von Makroalgen

Mittlerweile werden Makroalgen in vielen Gebieten auf der ganzen Welt gezüchtet. Aufgrund des globalen Markts können diese dann in andere Länder exportiert werden. Der gegenseitige Austausch ist wichtig, da die Nachfrage stetig steigt. Länder wie Österreich sind auf Importe angewiesen.

7.1.1 Afrika

In Sansibar wird die Rotalge *Spinosum* (*Euchema denticulatum*) gezüchtet. Auf den langen flachen Stränden werden Pflöcke in den Sand geschlagen, die durch Schnüre verbunden sind. An die Schnüre werden Stecklinge der vorhergehenden Generation gebunden, die in 2 bis 3 Monaten ihre Biomasse verzwanzigfachen. Die Verwendungsformen dieser Alge wurden bereits im Kapitel Lebensmittelindustrie behandelt. (vgl. Sieg, 2020)

7.1.2 Amerika

Die unter anderem durch den Klimawandel ausgelöste Suche nach alternativen Treibstoffen fand in Nordamerika Gehör. Seit einiger Zeit beschäftigen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dort intensiv mit der Herstellung von Biotreibstoffen aus Algen, landwirtschaftlichen Resten und Getreide. Deshalb besteht auch der Großteil der Algenproduktion aus Betrieben, die sich damit beschäftigen. (vgl. Pienkos, et al., 2011)

Wie in Abbildung 9 zu erkennen ist, produzierte Amerika im Jahr 2019 insgesamt 488 140 Tonnen an Algen, wenn die Wildernte und Zucht zusammengerechnet werden. Die Masse wird dabei als Nassgewicht angegeben. Seit 1950 ist es in Amerika zu einer Steigerung um 367 220 Tonnen gekommen. Das bedeutet, dass die durchschnittliche jährliche Steigung bei 5322 Tonnen liegt. Interessant ist, dass bei der Algenproduktion bis 1990 ein starker Anstieg zu beobachten ist, die Kurve danach aber wieder abflacht. Von 1990 bis 2000 ging die Produktion sogar zurück.

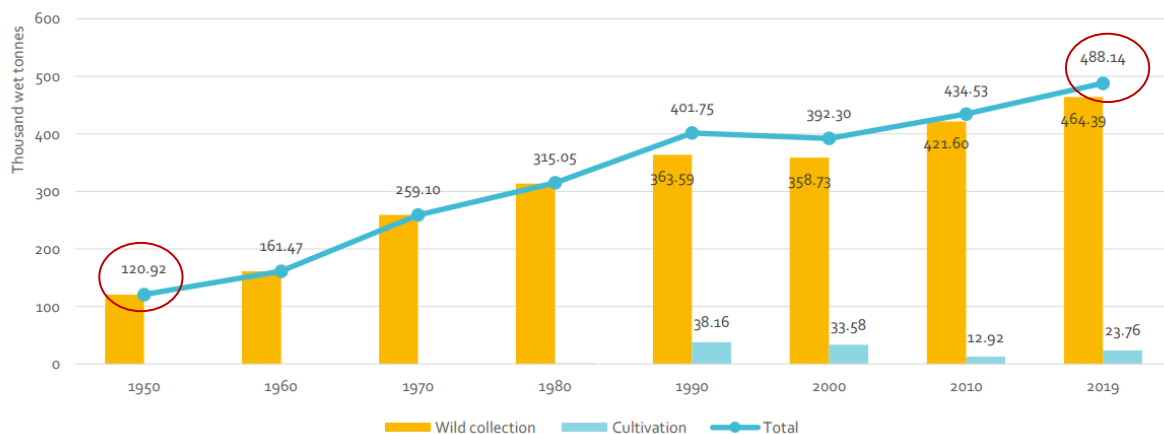


Abbildung 9: Algenproduktion in Amerika von 1950-2019 (verändert nach Food and Agriculture Organization of UN, 2021)

7.1.3 Asien

In Asien würden schon seit jeher Algen geerntet werden, so Miek Zwamborn in ihrem Buch „Algen“, welches 2019 erschienen ist. Es konnte jedoch keine kommerziellen Betriebe geben, da man von der Wildernte abhängig war. Doch durch die Entdeckung des Fortpflanzungszyklus von Dr. Kathleen Drew-Baker um 1950 entstand der große Industriezweig der Nori-Produktion. Bis heute liegt über 90% der globalen Algenproduktion in Asien.

Im Jahr 2019 lag die Algenproduktion in Asien bei 34,88 Millionen Tonnen. Abbildung 10 ist zu entnehmen, dass 310 000 Tonnen davon der Wildernte entsprachen und 34,57 Millionen Tonnen gezüchtet wurden. Die insgesamt Steigerung der Algenproduktion von 1950 bis 2019 betrug 34,72 Millionen Tonnen. Demnach betrug die durchschnittliche Steigerung pro Jahr 503 188 Tonnen. Ab 1990 beginnt die Algenproduktion in Asien stark zu wachsen. In den nachfolgenden drei Jahrzehnten liegt die durchschnittliche Steigung kontinuierlich höher als in den Jahren zuvor.

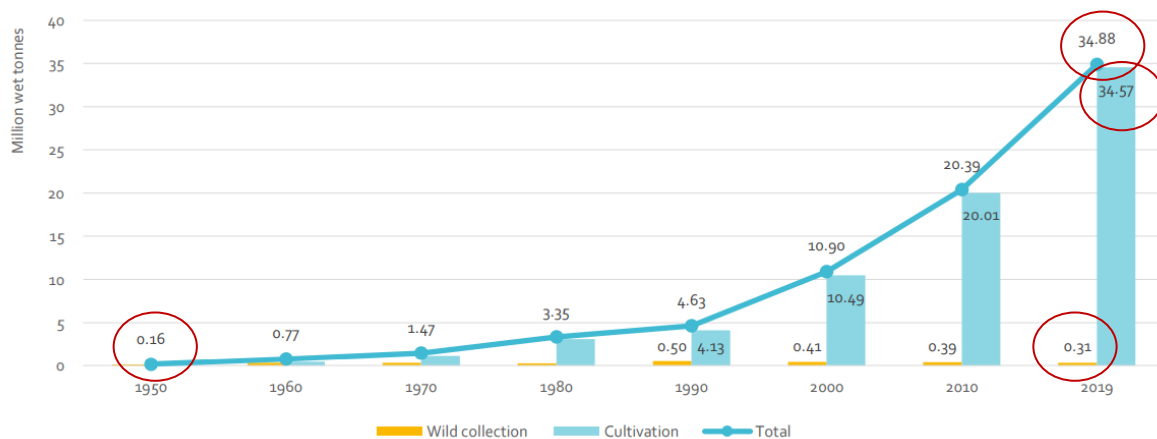


Abbildung 10: Algenproduktion in Asien von 1950-2019 (verändert nach Food and Agriculture Organization of UN, 2021)

7.1.4 Europa

In Europa wird in fast jedem Küstenstaat zumindest ein kleiner Teil an Algen gezüchtet. Vor allem Norwegen, Großbritannien, Irland, Dänemark, Frankreich und Portugal haben eine gefestigte Produktion. Abbildung 11 zeigt, wie viele Betriebe es pro Land gibt.

In Norwegen ist die Algenzucht bereits ein fixer Industriezweig. Das liegt auch daran, dass dort optimale Konditionen herrschen. Neben Grünalgen werden auch Rot- und Braunalgen gezüchtet. Der Anteil an Braunalgen ist der größte. Die wichtigsten Arten sind Tangleweed (*Laminaria hyperborea*) mit einem Gesamtanteil der geernteten Biomasse von 80% und Knotentang (*Ascophyllum nodosum*). Im Durchschnitt ergeben sich in Norwegen pro Quadratmeter ca. 10 bis 20 kg geerntete Algen. Pro Jahr ergibt sich dadurch ein Ertrag von 100.000 bis 175.000 t frische Meeresalgen. In Norwegen überwiegen allerdings die Betriebe, welche nur ernten. Auf Bedenken von Kritikern hin wurde die Nachhaltigkeit dieser Betriebe und deren Nutzen für die Umwelt untersucht. Dabei ergab sich, dass der Schaden an den Beständen durch anderwärtige kommerzielle Verschmutzung viel größer ist. Außerdem werden durch die Kultivierung die Arten bewusst gefördert. Durch einen mehrjährigen Standortwechsel der abgegrenzten genutzten Gebiete wird für eine Erholungsphase gesorgt. (vgl. Mouritsen, 2013, p. 206 f.)

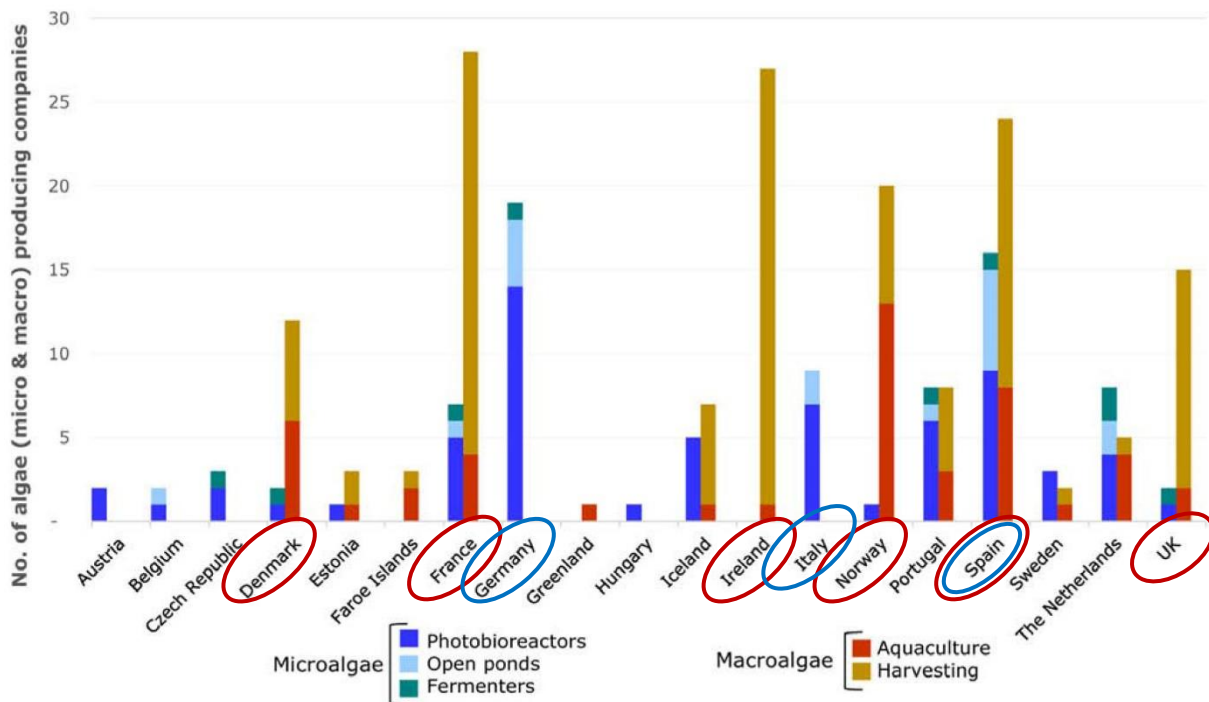


Abbildung 11: Anzahl der in Europa Makro- und Mikroalgen produzierenden Betriebe pro Land sortiert nach Produktionsverfahren (verändert nach Araújo & et al. , 2021)

Aquakulturen von Makroalgen sind in Dänemark, Frankreich, Großbritannien, Irland und Spanien häufiger anzutreffen, obwohl es in diesen Ländern eine Tradition der Algenernte und anschließenden Verbrennung dieser gibt. Die Asche wurde in der Glas- und Seifenindustrie weiterverarbeitet. Abbildung 11 zeigt, dass in diesen Ländern der Anteil an Firmen, die Algen produzieren oder ernten, größtenteils zwischen 15 und 28 liegt. Diese Länder wurden rot eingekreist.

In Deutschland, Italien und Spanien liegt die Produktion von Mikroalgen auf einem guten Weg. Dafür werden Fotobioreaktoren, Teiche und Fermentoren eingesetzt. Die Anzahl der Firmen liegt hier etwas niedriger. Den Höchstwert hat Deutschland mit 19 Firmen. Auch in Österreich gibt es zwei Fotobioreaktoren. Die bedeutenden Länder der Mikroalgenproduktion wurden blau eingekreist.

7.2 Zucht von Mikroalgen

Die Kultivierung von Mikroalgen gestaltet sich um einiges einfacher, denn es wird kein Meerzugang benötigt. Deshalb haben sich mittlerweile auf der ganzen Welt Betriebe angesiedelt. Durch den geringen Produktionsaufwand und die niedrige Energiebilanz ist die Ertragsrentabilität sehr hoch. Ernährungswissenschaftler sehen darum eine Chance für Mikroalgen als zukünftiges Weltnahrungsmittel. Sie könnten aufgrund ihrer effizienten Nährstoffbilanz mehr Menschen ernähren als derzeitige Nahrungsmittelproduktionen abdecken. Außerdem haben sie sehr niedrige Ansprüche und können in jeder Klimazone gezüchtet werden.

7.3 Nachhaltigkeitsvergleich

Nun sollen die verschiedenen Erzeugungsweisen von Pflanzen- und Fleischarten in Bezug auf Nachhaltigkeit überprüft werden. Neben der gesundheitlichen Auswirkung sollte auch der ökologische Aspekt eine Rolle spielen. In der nachstehenden Tabelle können wichtige Nachhaltigkeitsfaktoren im Vergleich zwischen den unterschiedlichen Nahrungsmitteln abgelesen werden.

Wie die Tabelle zeigt, schneiden Mikroalgen in sämtlichen Kategorien am besten ab. Sowohl der Wasserverbrauch als auch der CO₂-Verbrauch pro Kilogramm sind bei den Algen am niedrigsten. Sie verbrauchen pro Kilogramm 20l Wasser. Für ein Kilogramm Schweinefleisch werden 63l benötigt, bei Rindfleisch liegt der Wert bei 148l und bei Hühnerfleisch bei 36l. Sojabohnen und Erbsen benötigen beide 75l pro Kilogramm.

Die Werte der CO₂-Emissionen werden hier nur für die Produktion gerechnet, da die Transportwege für jedes Produkt unterschiedlich sind. Der Ausstoß an Treibhausgasen liegt bei Algen sogar im negativen Bereich, da sie bei der Produktion und Zucht mehr CO₂ aufnehmen und speichern als sie tatsächlich verbrauchen. Für Schweine- und Rindfleisch erreicht der Wert 4,6kg beziehungsweise 13,6kg. Hühnerfleisch verursacht 5,5kg CO₂ pro Kilogramm. Sojabohnen produzieren 1kg und Erbsen 1,4kg CO₂ pro Kilogramm.

Pro Hektar können 6171kg Algen gewonnen werden, während Schweine-, Rinder- und Hühnerfleisch jeweils 66kg, 80kg und 148kg pro Hektar liefern. Diese niedrigen Werte kommen durch den Energieverbrauch der Tiere zustande. Zur Nutzfläche zählt in diesem Fall der Lebensraum, sowie die Anbaufläche für das Futter. Durch Sojabohnen können auf einem Hektar 663kg und durch Erbsen 230kg gewonnen werden.

Tabelle 9: Nachhaltigkeitsvergleich zwischen den Nahrungsmitteln Mikroalgen, Schweine-, Rind- und Hühnerfleisch, Sojabohnen und Erbsen in verschiedenen Kategorien (Moomaw, et al., 2017), (Reinhardt, et al., 2020)

	Mikroalgen	Schweinefleisch	Rindfleisch	Hühnerfleisch	Sojabohnen	Erbsen
Wasser (l/kg)	20	63	148	36	75	75
Treibhausgase (CO ₂ in kg/kg Nahrungsmittel)	0	4,6	13,6	5,5	1	1,4
Nutzfläche (kg/ha)	6171	66	80	148	663	230
Energie (kcal/kg)	2780	1558	1290	1864	1470	420
Energieertrag (kcal/ha)	17 155 380	102 828	103 200	275 872	974 610	96 600
Sättigungswert 1 (E*A/2500)	6862	41	41	110	389	38
Sättigungswert 2 (E*A/2000)	8577	51	51	137	487	48
Sättigungswert Durchschnitt	7719	46	46	123	438	43

Der Energiegehalt liegt bei Algen bei 2780kcal pro Kilogramm. Bei Schweine-, Rind- und Hühnerfleisch liegt er jedoch bei 1558kcal, 1290kcal und 1864kcal. Sojabohnen und Erbsen schneiden hier nicht so gut ab: Bei ihnen liegt der Wert bei 1470kcal und 420kcal.

Der Sättigungswert ergibt sich, wenn der Energiegehalt und die Nutzfläche multipliziert und anschließend durch den durchschnittlichen täglichen Kalorienverbrauch eines Menschen dividiert werden. Er gibt an, wie viele Menschen von einem Hektar an einem Tag ernährt werden können. Ein Mann braucht durchschnittlich 2500kcal pro Tag, während eine Frau durchschnittlich nur 2000 benötigt. Deshalb gibt es zwei verschiedene Sättigungswerte aus denen anschließend der Durchschnitt berechnet wird.

Bei Mikroalgen beträgt der durchschnittliche Sättigungswert 7719, das bedeutet, dass 7719 Menschen an einem Tag von einem Hektar Mikroalgen ernährt werden können. Bei Rind- und Schweinefleisch beträgt dieser Wert nur 46. Bei Hühnerfleisch liegt er etwas höher bei 123. Sojabohnen haben einen durchschnittlichen Sättigungswert von 438 und bei Erbsen liegt er bei 43.

Daraus lässt sich schließen, dass Algen ein Nahrungsmittel sind, welches in Zukunft eine viel größere Rolle spielen wird, als es das jetzt tut. Durch die negativen CO₂-Emissionen kann dem Klimawandel entgegengewirkt werden. Auch der niedrige Wasserverbrauch ist gut für die Umwelt. Da immer mehr Menschen die Erde bevölkern, ist es wichtig, sich nach alternativen Nahrungsmitteln umzusehen, weil die Nahrungsmittelindustrie bereits jetzt an ihre Grenzen stößt. Der Vergleich des Sättigungswerts von Algen und Fleisch zeigt, dass Algen als Nahrungsmittel sehr gut dafür geeignet sind. Sie besitzen den 167-fachen Sättigungswert von Rind- und Schweinefleisch.

Ein ausgewogener Lebensstil, bei dem auf Fleisch zumindest größtenteils verzichtet wird, wäre demnach am besten. Dies stimmt auch mit vorhergehenden Inhaltsstoffanalysen zusammen.

7.4 Betriebe

Weil der Markt noch nicht so ausgebaut ist wie bei anderen Produkten, sind auch Betriebe noch nicht so weit verbreitet. Allerdings wird ihm eine vielversprechende Zukunft vorausgesagt und dementsprechend kann man bereits vereinzelt Betriebe finden.

Auch in den Niederlanden werden Algen gezüchtet. Nach einem Essen während eines Urlaubsaufenthalts in Ibiza entdeckte Willem Sudderland Essen aus Algen für sich. Er erkannte, dass sie gesund und eine Möglichkeit sind, die Ernährung der immer größeren Weltpopulation auch in Zukunft sicherzustellen. Kurzerhand gründete er das Unternehmen „Seamorefood“, welches überwiegend Nahrung aus Seetang herstellt. Vor allem Chips, Nudeln, Wraps und Speck sind sehr beliebt. Die Produkte werden bereits in vielen Geschäften vor allem im Nordwesten Europas verkauft. (vgl. Sudderland, kein Datum)

7.4.1 Spirulix

Das österreichische Unternehmen Spirulix aus Niederösterreich forscht seit 2015 und züchtet seit 2017 Spirulina-Algen. Diese werden wie in Abbildung 16 zu sehen ist, in großen Becken rotiert. Daraus stellen sie durch Pressen, Trocknen und Mahlen unter österreichischen Standards Pulver her, welches anschließend zu verschiedenen Produkten weiterverarbeitet werden kann. Beispielsweise verkaufen sie Müsli, Cracker, Schokolade und das reine Pulver

als Nahrungsergänzung. Leider hat sich auf Anfrage niemand vom Betrieb gemeldet, ansonsten wäre ein Besuch der Algenfarm unternommen worden. (vgl. Pfehl, kein Datum)



Abbildung 12: Zuchtbecken bei Spirulix (Pfehl, kein Datum)



Abbildung 13: Müsliarten der Firma Spirulix (Vogl, 2023)



Abbildung 14: Apfel-Zimt-Müsli der Firma Spirulix (Vogl, 2023)

8 Empirie

Im empirischen Teil dieser Arbeit sollen die Wirkung von Algen im menschlichen Körper sowie die Aspekte der Algenzucht in Eigenproduktion genauer betrachtet werden. Im ersten Teil soll dazu ein Algenpulver als Nahrungsergänzungsmittel über einen längeren Zeitraum hinweg eingenommen werden. Anschließend soll durch Untersuchung des Blutes festgestellt werden, welche Wirkung dieses Nahrungsergänzungsmittel gehabt hat. Der zweite Teil beschäftigt sich mit der Züchtung von Spirulina- und Chlorella-Algen, sowie deren Ansprüche und Versorgung. In diesem Projekt soll Nachhaltigkeit eine große Rolle spielen, weshalb nicht alle Materialien neu sind, sondern auch alte Gefäße und Gerätschaften wiederverwendet werden.

8.1 Testung Nahrungsergänzungsmittel Spirulina-Pulver

In diesem Experiment soll die Wirkung des Nahrungsergänzungsmittel Spirulina getestet werden. Dazu wurden im Zeitraum von fünf Monaten jeden Tag zwei Teelöffel Spirulina-Pulver eingenommen. Das Pulver wurde meist aufgelöst in Wasser, beigemischt in Smoothies oder in Aufstriche vermischt konsumiert.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag dabei auf den vor allem auf den Eisen- und Vitamin-B₁₂-Werten, weil diese unter anderem bei der Verwendung als Fleischersatz interessant sind. Neben den Werten der Mineralien Natrium, Kalzium, Chlor, Phosphor und Magnesium, sollten auch die Erythrozyten, die Leukozyten, die Lymphozyten und der Hämoglobinwert sowie der Cholesterinspiegel überprüft werden.

Meine Ernährung während des Testungszeitraums setzte sich sehr ausgewogen zusammen. Im Sommer nahm ich im Zeitraum von Juli bis August ca. alle zwei Wochen Fleisch zu mir, während ich meinen Fleischkonsum seit September auf maximal ein Mal pro Monat reduzierte. Neben Fisch bestanden meine Mahlzeiten auch vermehrt aus Linsen und Bohnen. Zusätzlich befand sich viel Obst und Gemüse auf meinem Speiseplan.

Deutlich verändert hat sich auch die Umgebung. Während im Sommer hohe Temperaturen herrschten, verliefen Herbst und Winter sehr kalt. Außerdem befand ich mich im August in den Ferien, während ich im Jänner dem Stress der Schule ausgesetzt war. Durch die vermehrten Stoffwechselvorgänge bei Stresssituationen kann dieser auch einen Effekt auf die Blutwerte haben.

Tabelle 10: Werte Blutbefund 18.08.2022 und 23.01.2023

Wert	Bedeutung	18.08.2022	24.01.2023	Grenzen	Einheit
NBZ	Nüchternblutzucker	78	85	0-100	mg%
Chol	Gesamtcholesterin	141	153	100-200	mg/dl
HDL-Chol	High-Density-Lipoprotein (Cholesterin)	51	59	55-1000	mg/dl
LDL-Chol	Low-Density-Lipoprotein (Cholesterin)	80	82	0-155	mg/dl
NONHDL	(Chol) – (HDL-Chol)	90	94	-	mg/dl
Trigl	Triglyceride	50	62	25-180	mg/dl
GGT	Gamma-Glutamyl-Transferase	7	10	4-35	U/l
HS	Harnsäure	6	4,7	2,4-5,7	mg/dl
Ery	Erythrozyten	4,11	3,93	4-5,5	Mio/ul
Leuco	Leukozyten	3,62	4,07	4-9	G/l
Hämoglobin		12,5	12,5	12-16	g/dl
Hämatokrit	Anteil Blutzellen in Blutvolumen in %	37	35,8	-	%
MCV	Durchschnittliches Volumen der Erythrozyten	89	91,2	82-92	fl
MCHC	Konzentration von Hämoglobin in Erythrozyten	34	34,9	29-36	pg
Thromb	Thrombozyten	244	201	150-400	g/dl
Segm	Segmentkernige Granulozyten	1,5	2,3	1,8-7,5	G/l
Lympho	Lymphozyten	1,5	1,6	0,7-5,2	G/l
TSH	Thyreoida-stimulierendes Hormon (Schilddrüse)	2,25	2,68	0,25-5	G/l
Na	Natriumkonzentration	143	145	-	uU/ml
Ca	Kalziumkonzentration	2,36	2,36	2,15-2,6	mmol/l
Cl	Chloridkonzentration	106	108	-	
Ph	Phosphatkonzentration	1,27	1,44	0,6-1,6	mmol/l
Mg	Magnesiumkonzentration	0,86	0,78	0,65-1,05	mmol/l
Fe	Eisenkonzentration	135	78	60-180	
Transferrin	Transportiert Eisen	329	339	200-380	mg/dl
VB12	Vitamin B ₁₂	522	400		pg/ml

Um den Unterschied im Blut festzustellen, wurden vor und nach der Einnahme eine Blutabnahme vorgenommen. Die Werte sind in der oben Tabelle zu sehen. Es ist noch anzumerken, dass diese Werte nicht unbedingt durch die Einnahme des Spirulina-Pulvers herbeigeführt worden sind. Es gibt viele weitere Faktoren, die die Blutwerte beeinflussen, welche allerdings nicht zu neutralisieren sind. Neben der Nahrung spielen auch äußere Faktoren wie Stress, Krankheit oder körperliche Belastung eine große Rolle.

Der Nüchtern-Blutzuckerspiegel und der Gesamtcholesterinwert haben sich erhöht. Der Gesamtcholesterinwert setzt sich aus HDL, LDL und Triglyceriden zusammen. Auch HDL- und LDL-Cholesterin haben sich erhöht. LDL-Cholesterin ist für die Ablagerung von Lipidmolekülen verantwortlich, während HDL-Cholesterin diesen Ablagerungen entgegenwirkt.

Die Gamma-Glutamyl-Transferase ist ebenfalls angestiegen. Sie kommt vorwiegend in der Gallenblase vor. Der Wert der Harnsäure hat sich im Gegensatz dazu verringert. Die Anzahl

der Erythrozyten ist geringfügig gesunken, während die Anzahl der Leukozyten gestiegen ist. Der Hämoglobin-Wert ist gleichgeblieben. Der prozentuelle Anteil der Blutzellen im Blutvolumen ist gesunken, während das durchschnittliche Volumen der Erythrozyten sowie die Hämoglobinkonzentration der Erythrozyten gestiegen sind. Die Anzahl der Thrombozyten ist im Vergleich gesunken, während sowohl der Wert der segmentkernigen Granulozyten, welche eine besondere Form der Leukozyten sind, als auch der Wert der Lymphozyten, die eine wichtige Rolle bei der Immunabwehr spielen, gestiegen. Das TSH, ein Hormon der Schilddrüse, hat ebenfalls zugenommen.

Während die Natrium-, Chlorid- und Phosphatkonzentration gestiegen sind, ist die Konzentration von Magnesium und Eisen gesunken. Der Kalzium-Wert hat sich nicht verändert. Der Wert des Transferrins ist ebenfalls geringfügig angestiegen, während der Vitamin-B₁₂-Wert gesunken ist.

Am auffallendsten ist, dass die Werte von Eisen, Magnesium und Vitamin B₁₂ gesunken sind. Dies hängt sicherlich auch mit der geringen Fleischeinnahme zusammen. Dennoch sind diese Werte vor allem deshalb interessant, weil der Hersteller des Spirulina-Pulvers sein Produkt durch einen hohen Eisengehalt auszeichnet. Außerdem enthalten Spirulina-Algen eigentlich einen sehr hohen Eisengehalt von 100mg pro 100g.

8.2 Züchtung von Spirulina und Chlorella

Die Züchtung der Spirulina-Algen wird nach der Anleitung des Projekts „spirulinasociety“ durchgeführt. Dieses wurde von Anya Muangkote ins Leben gerufen und setzt sich für erneuerbare Energien und Veränderungen im politischen und wirtschaftlichen Bereich ein. Durch frei zugängliche Anleitungen und Designs für 3D-Teile sollen Menschen dazu ermutigt werden, sich dem derzeitigen Produktions- und Konsumverhalten kritisch zu stellen. Die Anleitungen sind sehr genau und führen Schritt für Schritt zur eigenen Spirulina-Produktion. (vgl. Muangkote, 2021)

In diesem Kapitel soll die Algenzucht als Versuch dargestellt werden. Am Anfang werden die Planung, Ziele und benötigten Materialien behandelt. Die Vorbereitung stellt die Beschaffung der Materialien sowie die nötigen Maßnahmen vor Beginn der Kultivierung vor. Die Durchführung beschreibt sämtliche Schritte, die am Anfang gemacht wurden. Anschließend folgt die Beschreibung der Ernte, welche ebenfalls in Form eines Versuchs erfolgt. Danach werden die möglichen Zubereitungs- und Aufbewahrungsmöglichkeiten vorgestellt. Die Beobachtungen und Erkenntnisse werden mit dem erstellten Beobachtungsprotokoll zusammengefasst. Zum Schluss folgt noch die Fehleranalyse.

Die weiterführenden Versuche beschäftigen sich auch mit diesem Projekt. Zunächst wurden die Kulturen mikroskopiert. Dadurch kann die Reinheit bis zu einem gewissen Grad getestet werden. Anschließend wird die Reinheit der Kulturen noch durch die Vermehrung auf Agarplatten im Brutschrank getestet. Dadurch können ungewollte Bakterien festgestellt werden.

8.2.1 Planung

Der erste Schritt ist die Beschaffung der Materialien. Gemäß der Anleitung von „spirulinasociety“ müssen zunächst passende Gefäße gefunden werden. Diese sollten aus Glas sein und möglichst wenig Kanten haben. Bei Behältern aus Plastik besteht die Gefahr, dass Inhaltsstoffe herausgelöst werden. Danach muss ein geeigneter Platz ausgesucht werden. Da bei diesem Projekt zusätzliche Materialien durch 3D-Druck erstellt werden, sollte auch dieser Schritt möglichst bald angesetzt werden. Nachdem alle Materialien beschafft wurden, soll eine Kultur lebender Spirulina-Algen besorgt werden. Es ist wichtig, dass ca. ein Viertel der Kultur als Backup behalten wird. Der Rest kann im vorgesehenen Gefäß angesetzt werden. Nach und nach können die Nährstoffe hinzugefügt werden und das Volumen wird erhöht. Wenn die Konzentration sehr hoch ist, kann eine Ernte durchgeführt werden und die Algen können konsumiert werden.

8.2.2 Ziele

Das Ziel dieses Projekts ist es, herauszufinden, ob Algen eine zuverlässige Nahrungsquelle sein können. Außerdem soll untersucht werden, wie einfach eine Algenzucht zuhause wirklich ist und ob sie als Fleischersatz effektiv sein kann.

8.2.3 Materialien

Die verwendeten Materialien werden hier aufgelistet. Einige der Instrumente können in Abbildung 15 betrachtet werden.

- Große zylinderförmige Behälter (Glas oder Plastik)
- Luftpumpe (ca. 4 Watt) mit Schläuchen und Rückschlagventil
- Zeitschaltuhr (mit einstellbaren Programmen)
- Lebende Spirulina-Kultur (aus dem Internet oder von Bekannten)
- Nährstoffe
- Filter (Kaffeefilter, Nylontuch, etc.)
- Deckel (3D-Print oder Stoff)
- Thermometer
- pH-Streifen
- Pipette

Tabelle 11: Preise der Materialien (Vogl, 2022)

Produkt	Preis
Behälter	-
Luftpumpe	25€
Zeitschaltuhr	-
Spirulina-Kultur	• 25€ (ohne Versand 16€) • 20€ (Paket mit Nährstoffen, zwei verschiedenen Algenarten und Versand)
Nährstoffe	-
Filter	6€
Deckel	- (3D-Druck in der Schule)
Thermometer	-
pH-Streifen	17,55€
Secchi-Lineal ¹	-
Pipette	-
Gesamt	93,55€

¹ Messgerät für Konzentration



1: Secchi-Lineal

2: Spatel

3: Petrischale

4: große Spritze

5: kleine Spritze

6: Pipette

7: pH-Streifen

8: Nährstoffe

9: Plastikbehälter

10: großes Reagenzglas

11: kleines Reagenzglas

12: Trichter

13: Thermometer an
Schnur

Abbildung 15: Materialien (Vogl, 2023)



Abbildung 16: Zerstörte erste Lieferung (Vogl, 2022)

8.2.4 Vorbereitung

Zunächst muss man alle benötigten Materialien beschaffen und zusammentragen. Vieles kann man aus den verschiedensten Quellen zusammentragen, beispielsweise eine Zeitschaltuhr oder die Glasbehälter. Anschließend muss man eine Portion lebender Algen auf-treiben. Diese findet man entweder im Internet oder vielleicht sogar durch Bekannte. Allerdings ist es wichtig, die Qualität der Produkte zu prüfen, da diese für den Verzehr gedacht sind. Bei Bestellung kann es zu langen Lieferzeiten kommen. Um die Algen nach ihrer Reise nicht noch mehr zu stressen, sollte bei der Ankunft bereits alles bereitstehen. Deshalb müssen alle verwendeten Gerätschaften noch einmal gründlich gereinigt und getestet werden. Die Zeitschaltuhr kann bereits im Vorhinein programmiert werden und auch die Nährstoffzusammensetzung kann berechnet und bereitgestellt werden.

Meine eigene Erfahrung mit Bestelldiensten lief nicht sehr gut: Die erste Bestellung kam beschädigt an und der Inhalt war während des Transports ausgelaufen, wie Abbildung 16 zeigt. Dank des netten Verkäufers erhielt ich eine weitere Portion Algen.

8.2.5 Durchführung

Nach der Ankunft sollte die Kultur in ein größeres Glas umgefüllt werden und sich dort 24 Stunden lang vom Transport erholen. Es soll allerdings nicht die gesamte Kultur umgefüllt werden, sondern nur ca. $\frac{3}{4}$, damit immer noch eine Backup-Kultur übrigbleibt. Während dieser Zeit soll sie nicht im direkten Sonnenlicht stehen. Anschließend soll die Kultur auf das doppelte Volumen verdünnt werden, wobei ein Nährstoffmedium hinzugefügt werden soll.

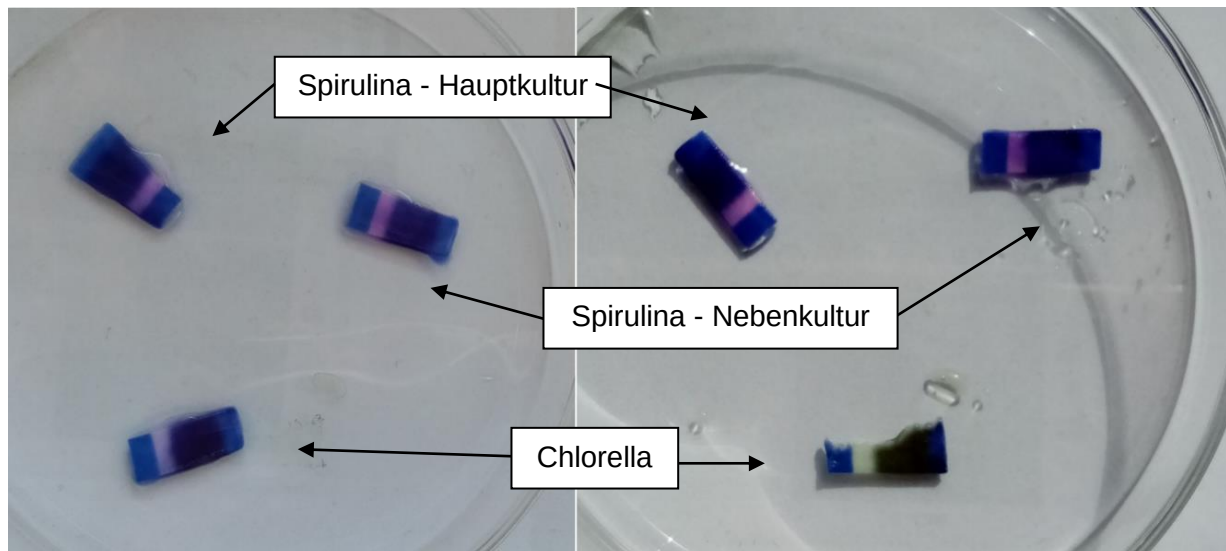


Abbildung 17: pH-Wert-Messung verschiedener Kulturen (rechts: vor Nährstoffzugabe; links: 1 Tag nach erster Nährstoffzugabe) (Vogl, 2022)

Dieses besteht aus verschiedenen Mineralien und Nährstoffen, welche die Algen zum Wachsen benötigen und sorgt unter anderem dafür, dass der pH-Wert zwischen 8 und 9 liegt. Bei mir lag der pH-Wert nach der Volumenvergrößerung zwischen 10 und 11. Danach habe ich die Nährstofflösung hinzugegeben und einen Tag später erneut den pH-Wert gemessen, wobei er dann bei 9 lag. Diese Messungen sind in Abbildung 17 zu erkennen. Wichtig ist, dass der pH-Wert nicht zu niedrig ist. Ein zu hoher Wert ist in Ordnung, da die Algen eine große Toleranz haben. Ein niedriger Wert kann allerdings zu Problemen führen, da sich dann Keime in der Kultur vermehren können, die durch einen stark basischen pH-Wert sofort abgetötet werden.

Da die Algen viel Licht brauchen, sammeln sie sich immer zum Licht. Deshalb sollte das Wasser alle paar Stunden in Bewegung versetzt werden, damit sie durchgemischt werden und jede Zelle Licht erhält. Außerdem ist es wichtig, die Temperatur im Auge zu behalten. Besonders in den Wintermonaten kann die Umgebung schnell zu kalt werden und bei Sonneneinstrahlung kann es zur Überhitzung kommen. Die Temperaturen, welche die Algen aushalten, liegen zwischen 16 und 40°C. Auch die Lichteinstrahlung kann für die Algen zu intensiv sein. Deshalb sollten sie vor allem zu Beginn direktem Sonnenlicht nicht zu lange ausgesetzt sein. Am besten ist ein 30-minütiger Wechsel zwischen Sonne und Schatten in den ersten Tagen, um eine Gewöhnung zu schaffen.



Abbildung 18: (v.l.n.r) Chlorella-Kultur, Spirulina-Hauptkultur, Spirulina-Nebenkultur (Vogl, 2022)

8.2.6 3D-Elemente

Den geeigneten Deckel zu finden ist nicht ganz einfach: Er soll luftdurchlässig sein, aber die Kultur soll nicht mit Staub in Berührung kommen. Es sollte ein Luftschlauch für die Pumpe durchpassen, aber trotzdem soll die Abdeckung dicht bleiben. Wenn bei einer Kultur eine Luftpumpe nicht essenziell ist, kann ein dünnes Material wie Stoff oder ein Taschentuch mit Hilfe eines Gummibandes an der oberen Öffnung festgemacht werden. In Abbildung 19 werden zwei verschiedene Abdeckmöglichkeiten dargestellt: einerseits die Taschentuch-Variante und andererseits ein Deckel aus dem 3D-Drucker nach dem Design von „spirulina-society“. Auf Seite 44 können noch weitere Deckel und 3D-Elemente betrachtet werden, deren Design ebenfalls von „spirulinasociety“ stammt.



Abbildung 19: Verschlussmöglichkeiten bei Algenzucht (Vogl, 2023)



Abbildung 21: 3D-Aufsatz als Verschluss (Vogl, 2023)



Abbildung 23: 3D-Aufsatz als Verschluss mit Öffnung für den Schlauch der Luftpumpe (Vogl, 2023)

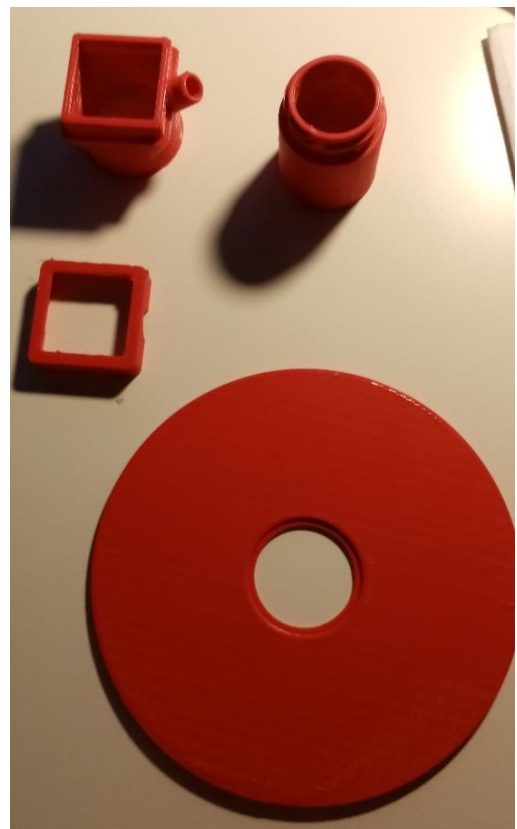


Abbildung 20: 3D-Elemente, die für einen Aufsatz benötigt werden (Vogl, 2023)

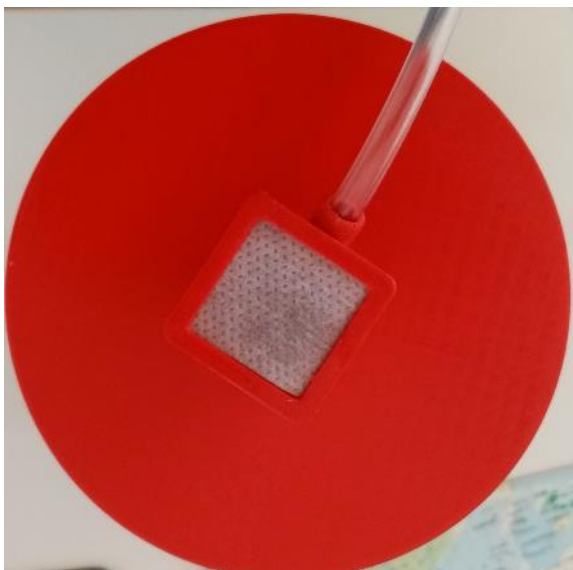


Abbildung 22: 3D-Aufsatz mit Öffnung und Luftfilter oben (Vogl, 2023)

Im Falle einer benötigten Luftpumpe haben sich die 3D-Designs des Projekts „spirulinaso-ciety“ als hilfreich erwiesen. Diese sind nachhaltig gestaltet, sodass sie ein kleinstmögliches Volumen haben. Sie passen auf viele verschiedene Gefäßformen. Es wird empfohlen, PLA-Filamente zu verwenden, da diese erneuerbar und nicht giftig sind. Das ist wichtig, da an-sonsten durch die Verbindung von Wasser und Wärme giftige Stoffe aus dem Material her-ausgelöst und in die Algenkultur gelangen könnten. Meine 3D-Teile konnte ich an unserer Schule ausdrucken. Nach dem Drucken mussten die Teile noch abgeschliffen werden, bevor sie ineinanderpassten.



Abbildung 24: Zwei verschiedene 3D-Abdeckungen auf den Behältern mit Algen-Kulturen (Vogl, 2023)

8.2.7 Ernte

Wenn die Konzentration der Kultur hoch genug ist, kann die Kultur entweder durch Zugabe von Kulturmedium verdünnt werden oder durch Ernte. Es hat sich herausgestellt, dass die Ernte der Algen ein etwas kompliziertes Verfahren ist. Hier soll sie als Versuch beschrieben werden.

Materialien:

- Filterpapier
- Schere
- 2 Trichter
- Wäscheklammer
- Büroklammern
- Diverse Glasbehälter
- Secchi-Lineal
- Elemente für Erhöhung (Hocker, Bücher, etc.)



Abbildung 25: Faltschema des Filterpapiers (Vogl, 2023)

Die Materialien, die für die Ernte verwendet wurden, sind teilweise improvisiert. Sämtliche Materialien sollen vor dem Gebrauch genau gereinigt werden, um Verunreinigung der Kultur beziehungsweise der geernteten Algen zu vermeiden.

Durchführung:

Zunächst muss eine Höhendifferenz zwischen der Kultur und den Behältern für die Ernte erreicht werden. Dafür wurden ein Hocker und Bücher verwendet. Empfehlenswert ist es, eine Unterlage auf das oberste Buch zu legen, da der Prozess der Ernte die Umgebung durch Bespritzung verschmutzen kann. Anschließend wird der Schlauch der Luftpumpe vom Gerät getrennt. Wenn am anderen Ende ein Rückschlagventil angebracht ist, so muss dieses ebenfalls entfernt werden. Das Filterpapier wird in einer Kreisform zugeschnitten und



Abbildung 26: Aufbau der Materialien für die Algenernte (Vogl, 2022)

anschließend so gefaltet, wie Abbildung 25 zeigt. Der grüne Bereich wird auf den gelben gelegt, sodass er sich anschließend zwischen blau und gelb befindet. Der Radius soll an die Größe des Trichters angepasst werden. An diesem wird das ausgeschnittene Filterpapier mit Büroklammern festgemacht. Abbildung 27 zeigt die Anordnung des Filterpapiers im Trichter. Der Trichter wird anschließend auf ein Glas gesetzt. Dieses sollte einen ungefähr gleich großen Durchmesser wie der Trichter haben, damit die Elemente gut aufeinander sitzen. Es ist wichtig, dass sich der Behälter mit dem Trichter unterhalb der Kultur befindet, da nur so der Druck genutzt werden kann. Bevor die Ernte beginnt, ist es nützlich, das Filterpapier zu befeuchten, da der Filtrationsprozess ansonsten sehr lange dauert.

Wenn alles bereitsteht, kann die Ernte begonnen werden. Dazu wird an dem Ende des Schlauchs, das sich außerhalb der Kultur befindet, wie bei einem Strohhalm mit dem Mund angesaugt, bis die Flüssigkeit unterhalb des anderen Endes angelangt ist. Anschließend wird der Schlauch kurz geknickt und über den Trichter gehalten. Das Wichtigste dabei ist, dass sich das Schlauchende nicht zu weit oben befindet, da die Flüssigkeit sonst zurück in die Kultur rinnt. Dieser Vorgang wird auf Abbildung 28 dargestellt. Bei der Filtration muss sehr vorsichtig umgegangen werden. Das Filterpapier darf im Trichter nur so weit angefüllt werden, dass es nicht übergeht. Mithilfe der Wäscheklammer kann das Schlauchende im umgeknickten Zustand verschlossen werden. Dabei soll es allerdings in einen anderen Behälter gegeben werden, da das Schlauchende noch immer tropfen kann.

Wenn der Behälter der Ernte nach der Filtration voll ist, so kann die gefilterte Flüssigkeit über den zweiten Trichter wieder zum Kulturmedium hinzugegeben werden. Die durch das Filterpapier gewonnenen Algen können mithilfe des Secchi-Lineals auf dem Filterpapier zusammengekratzt werden. Dieser Vorgang kann so oft wiederholt werden, bis die Konzentration den gewünschten niedrigeren Wert erreicht hat. Zum Schluss kann noch ein Nährstoffmedium zur Kultur hinzugefügt werden.

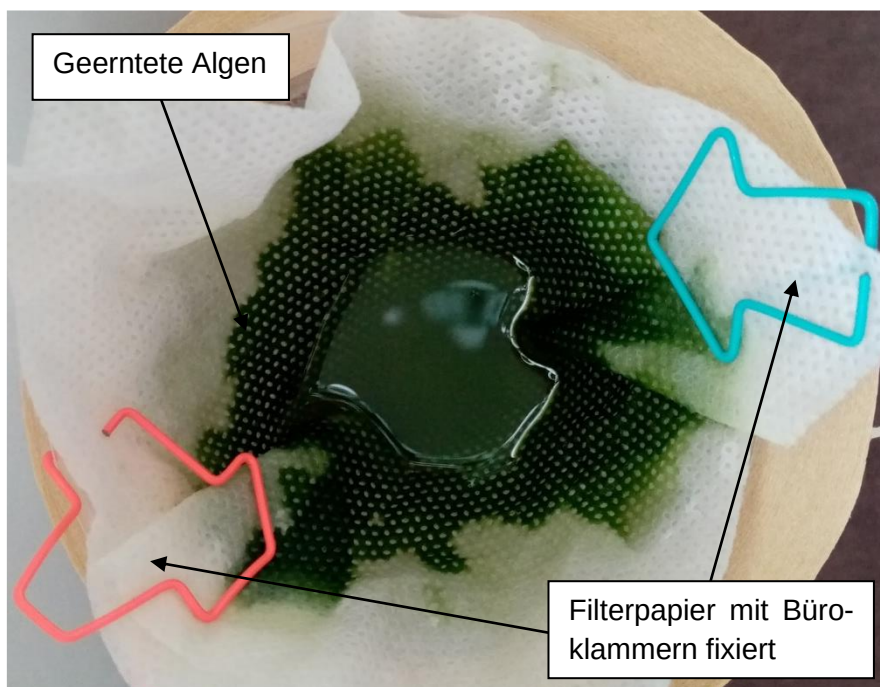


Abbildung 27: Filterpapier in Trichter (Vogl, 2023)

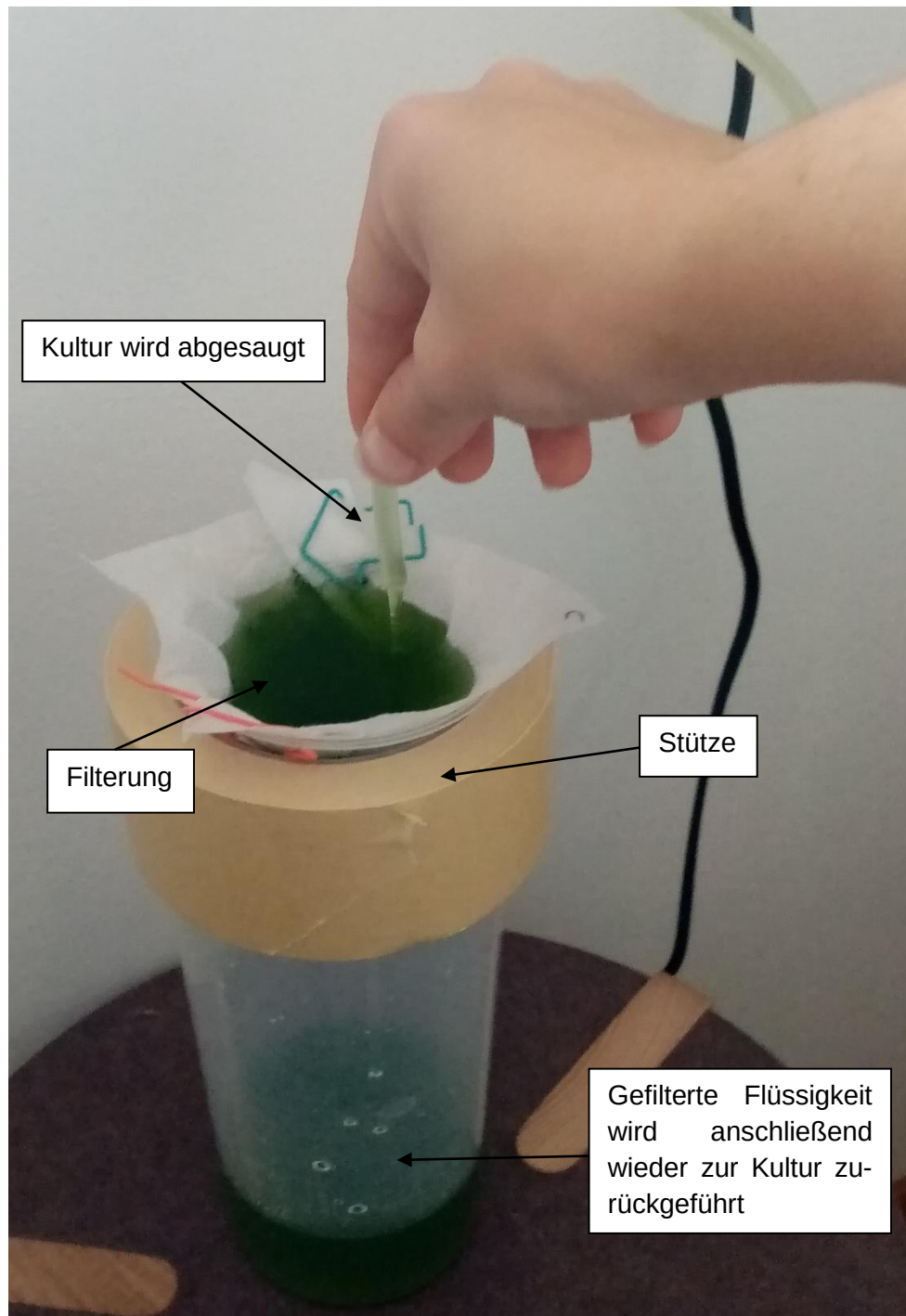


Abbildung 28: Ablauf der Algenernte (Vogl, 2023)

Beobachtung/Anmerkungen:

Bei Spirulina-Algen funktioniert die Ernte sehr gut. Aufgrund ihrer Größe können sie leicht vom Filterpapier aufgefangen werden und bilden nach dem Abtropfen des Wassers eine schleimartige Masse.

Da die Chlorella-Algen viel kleiner sind, funktioniert die Ernte über das Filterpapier nur mäßig gut. Sie setzen sich im Papier fest und lassen sich nicht so leicht herauslösen. Ich habe dieses Problem durch Ausdrücken mithilfe einer Hartplastikfläche gelöst. Dieser Vorgang wird auf Abbildung 29 veranschaulicht.



Abbildung 29: Ausdrücken des Filterpapiers bei Chlorella-Algen auf einem Geodreieck (Vogl, 2023)



Abbildung 31: Geerntete Spirulina-Algen (Vogl, 2023)



Abbildung 30: Geerntete Chlorella-Algen (links) und Spirulina-Algen (rechts) (Vogl, 2023)

8.2.8 Kochen

Mit den geernteten Spirulina-Algen lassen sich viele Rezepte ergänzen. Da die Algen jedem Gericht untergemischt werden können ergibt sich eine Vielfalt an Möglichkeiten.

Einerseits können Algen gleich nach der Ernte in nasser Form verarbeitet werden. Andererseits können sie auch getrocknet werden. Dazu werden sie einfach für einige Zeit in den Ofen gestellt. Die getrocknete Masse kann anschließend aufbewahrt werden.

Smoothies sind eine beliebte Variante. Jede erdenkliche Kombination kann vor dem Verzehr noch mit einer Portion Algen verfeinert werden. Diese verleihen dem Endprodukt je nach Menge einen grünlichen Farbstich.



Abbildung 32: Smoothie mit Spirulina-Algen (Vogl, 2023)

Aber auch in anderen Speisen macht sich eine Portion Algen gut. Wenn sie bereits beim Kochen in das heiße Gericht hinzugefügt werden, kann es zu einem Nährstoffverlust kommen. Deshalb sollten sie am Ende darübergestreut werden.



Abbildung 33: Eierspeise mit Spirulina-Algen (Vogl, 2023)



Abbildung 34: Spirulina-Algen als Brotaufstrich (Vogl, 2023)

Weiters können getrocknete Algen auch mit Frischkäse zu einem neuen Aufstrich gemischt werden, wie Abbildung 24 zeigt. Dabei verleihen sie dem Aufstrich einen eigenen etwas bitteren Geschmack, der an Kräuter erinnern lässt.

8.2.9 Beobachtungen und Erkenntnisse

Das Wachstum der Algenkulturen ist durch die Konzentration gut zu beobachten. Anhand der Farbe der Kulturen kann man bis zu einem gewissen Grad auch den Zustand dieser beurteilen. Allerdings gestaltet es sich etwas schwierig, zwischen den vielen Parametern den richtigen auszuwählen, wenn es der Kultur nicht gut geht.

Die Spirulina-Kultur reagiert bei allen gegebenen Parametern schneller als die Chlorella-Kultur. Sie hat einen höheren pH-Wert und verträgt nicht so viel Lichtintensität wie die Chlorella-Algen. Bei zu hoher Lichtintensität färbt sich die Kultur gelblich und sie muss unbedingt in den Schatten gestellt werden. Dort soll sie einige Tage oder Wochen verweilen, bis sich die Farbe wieder normalisiert. Die gelbe Farbe ergibt sich nämlich aus dem Zerfall der Zellen, welcher aufgrund der Beschädigung durch zu hohe Lichtintensität auftritt. Die Erholungsphase dauert meist ziemlich lange. Wenn die Kultur an den gleichen Ort zurückkehren soll, wäre es gut, sie mit einem weißen Tuch zu bedecken, da die Sonne dann nicht mehr so intensiv einstrahlen kann.

Beeindruckend ist, dass bei gesunden Spirulina-Kulturen die einzelnen Fäden mit bloßem Auge gesehen werden können, wie Abbildung 35 veranschaulicht.

Die Spirulina-Kultur benötigt einen gewissen Zeitraum des Experimentierens, damit sich alle Parameter einpendeln, während die Chlorella-Kultur pflegeleichter ist.



Abbildung 35: Sichtbare fadenartige Struktur der Spirulina-Algen (Vogl, 2022)

Tabelle 12: Beobachtungen der Chlorella- und Spirulina-Kulturen im Zeitraum von 28.09.2022 bis 26.01.2023 (Vogl, 2023)

Datum	Spirulina		Chlorella	
	pH-Wert	Anmerkungen	pH-Wert	Anmerkungen
28.09.2022		24h in Originalverpackung rasten lassen, kein direktes Sonnenlicht		24h in Originalverpackung rasten lassen, kein direktes Sonnenlicht
30.09.2022	11	In größere Behälter umfüllen, + 200ml Wasser (20°C)	7	In größere Behälter umfüllen, + 200ml Wasser (20°C)
01.10.2022	9	Nährstoffe: 1,5g in 50ml H ₂ O	7,5	Nährstoffe: 0,75g in 25ml H ₂ O
02.10.2022		Kultur mit 200ml H ₂ O verdünnen		
05.10.2022	9	Mikroskopieren	7	Mikroskopieren
09.10.2022		Zwei Spirulina-Kulturen zusammenfügen		
10.10.2022		Größerer Behälter, Volumen verdoppeln		
12.10.2022				Größerer Behälter, Volumen verdoppeln
13.10.2022	9	Nährstoffe: 50ml + 2g	7	Nährstoffe: 50ml + 2g
18.10.2022		Volumen verdoppeln auf ca. 6l (22°C)		+100ml (22°C)
31.10.2022	11,5-12	23,5°C Konzentration: 2cm Ernte: 1 Tuch aus 350ml	10	23°C Konzentration: 2,3cm
05.11.2022	10,5	Ernte: 1,5l gefiltert +1,1l frisches Wasser +7ml Nährstofflösung	9	Ernte: 1,5l gefiltert +300ml frisches Wasser
12.11.2022	10-11	Klumpig, setzen sich ab; tote Ablagerungen unten; Konzentration nimmt ab; Farbe zu hell → Algen abschöpfen, Wasser erneuern → Algen auf 4 Kulturen aufteilen	9	
16.11.2022		Kulturen scheinen sich zu erholen		Setzen sich immer wieder ab → umrühren
20.11.2022		2 kleine Kulturen werden zu einer großen zusammengeführt		
23.11.2022	10	Weitere Erholung	10	Merkbare Produktion von Sauerstoff bei intensiver Sonneneinstrahlung
26.11.2022	9,5-10; 8-8,5		9,5-10	
02.12.2022		Konzentration nimmt wieder zu Farbe: dunkelgrün		Konstante Farbe Konzentration hat zugenommen
16.12.2022	10	Temperatur schwankt am Tag von 18°C – 25°C	10	Temperatur schwankt am Tag von 18°C – 25°C
18.12.2022		Wieder klumpig		
20.12.2022	10-10,5		9-10	
26.12.2022	10-11	Olivgrün, leicht klumpig	9-10	

05.01.2023		Umfüllen in anderen Behälter		
12.01.2023		+500ml Wasser +2g Nährstoffe in 30ml Wasser		
26.01.2023	10	+1l Wasser	9	

8.2.10 Fehleranalyse

Bereits der erste Versuch scheiterte. Mögliche Gründe dafür sind:

- Zu lange und zu bald in der Sonne
- Zu schnelle Steigerung des pH-Werts
- Evtl. Luftpumpe zu intensiv (Beschädigung der Zellkörper)
- Zu großes Wasservolumen bei Ersteinfüllung

Der zweite Versuch funktionierte dann.

Die Färbungen der Spirulina-Kultur und der damit verbundene Zerfall kamen mit ziemlich großer Sicherheit durch die Lichtintensität zustande. Aufgrund der verschiedenen Parameter kann dies nicht so leicht erklärt werden, aber auch diverse Foren und Ratgeber nennen die Lichtintensität als den Grund für Stress und Verfärbung der Kultur. (vgl. Muangkote, 2021)

8.3 Zusatzversuche

Durch weiterführende Versuche sollen mehr Informationen zu den Algen gefunden werden. Unter anderem beziehen sich diese Experimente auf die Wachstumsbedingungen und die Reinheit der Kulturen.

8.3.1 Mikroskopieren

Beim Mikroskopieren kann die Reinheit der Kulturen, sowie das Aussehen der unterschiedlichen Arten beobachtet werden. Durch eine Ölimmersion kann das Präparat noch genauer untersucht werden.

Materialien:

- 2 Pipetten
- Deckgläser
- Immersionsöl
- Lichtmikroskop
- Objektträger
- Proben der Algenkulturen
- Wasserfreier Alkohol

Durchführung:

Mit einer Pipette wird ein Tropfen der gewünschten Kultur auf den Objektträger gegeben. Anschließend wird das Deckglas daraufgelegt. Wenn sich zu viel Flüssigkeit unter dem Deckglas befindet, kann diese mit einem Taschentuch abgesaugt werden. Anschließend wird das Präparat am Objektisch platziert. Üblicherweise wird mit der kleinsten Vergrößerungsstufe angefangen. Mithilfe des Grobtriebs werden die Linsen so eingestellt, dass ein scharfes Bild erscheint. Der Feintrieb kann noch präzisere Einstellungen vornehmen. Danach können die anderen Vergrößerungsstufen verwendet werden.

Bei der Ölimmersion wird ein Tropfen Immersionsöl auf das Deckglas des Präparats gegeben. Wichtig ist, dass hierbei nur das speziell gekennzeichnete Ölobjektiv verwendet wird. Dieses wird dann so auf den Öltropfen gesetzt, dass die untere Öffnung seitlich in den Tropfen geschoben wird. Nach der Verwendung muss das Öl mit einem speziellen Reinigungsmittel, beispielsweise wasserfreiem Alkohol, entfernt werden, da das Objektiv sonst beschädigt werden könnte.

Beobachtung:

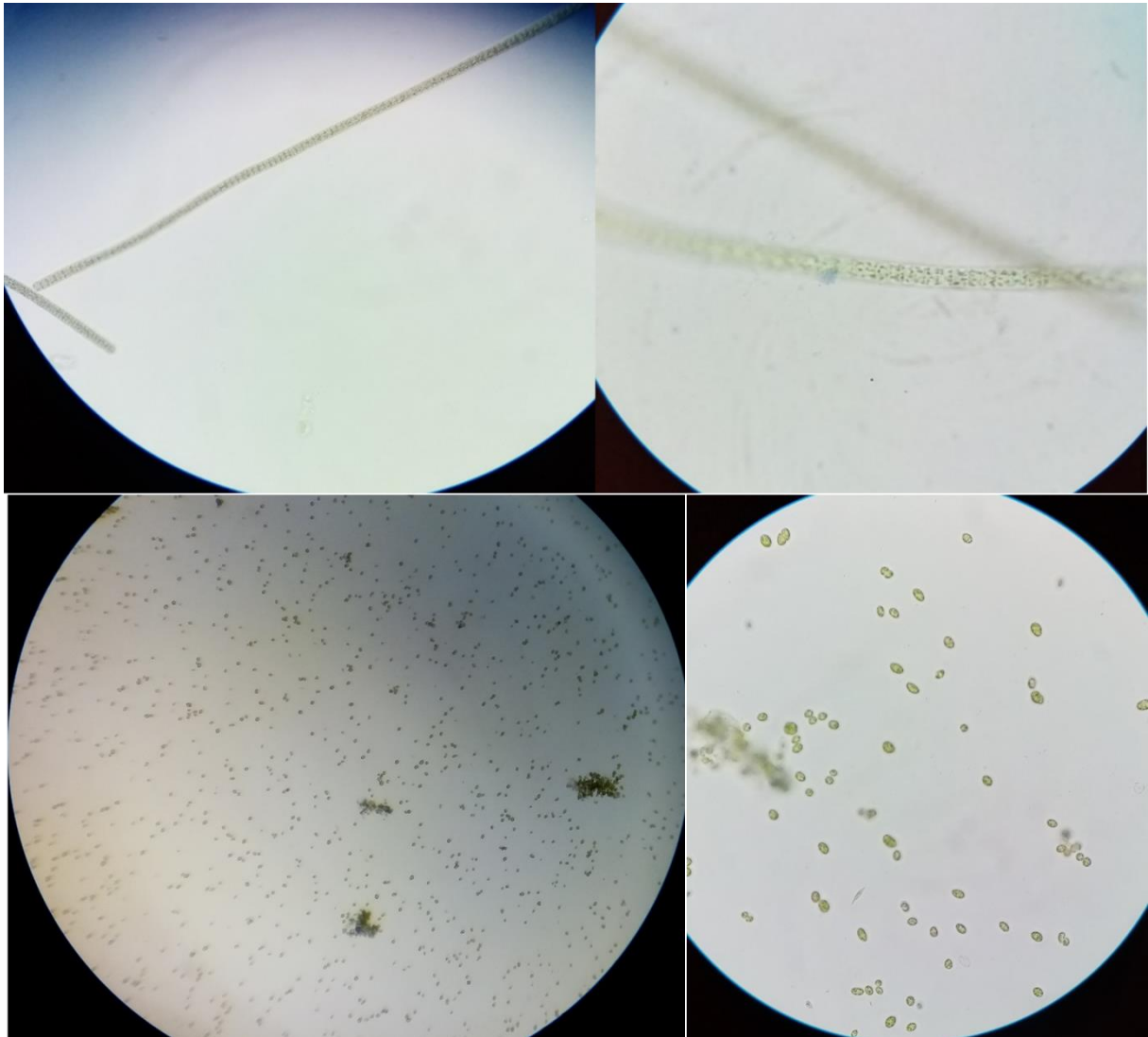


Abbildung 36: (v. l. n. r.) Spirulina (40x vergrößert); Spirulina (Ölimmersion); Chlorella (10x vergrößert); Chlorella (40x vergrößert) (Vogl, 2022)

8.3.2 Bakterienkultur auf Agarplatte

Durch einen Ausstrich auf einer Agarplatte soll festgestellt werden, wie rein die Kulturen sind. Dadurch soll die Anzahl der Bakterien Auskunft über die Genießbarkeit geben.

Materialien:

- 2 Pipetten
- 7 Petrischalen
- Agarpulver
- Heizplatte
- Proben der Algenkulturen
- Spatel
- Waage
- Wärmeschrank
- Wasser

Planung:

Zuallererst soll klargestellt werden, was untersucht wird und woraus die Vorgangsweise besteht. Dazu habe ich einen Plan erstellt, der angibt, wie viele Petrischalen benötigt werden und was in diesen untersucht wird sowie wofür die diversen Abkürzungen stehen.

Tabelle 13: Aufschlüsselung der Abkürzungen (Vogl, 2022)

Name	Algenart	Sonneneinstrahlung	Temperatur	Konzentration
Sp1	Spirulina	Ja	19°C	1:1
Sp2	Spirulina	Nein	30°C	1:10
Sp3	Spirulina	Nein	30°C	1:1
Cl1	Chlorella	Ja	19°C	1:1
Cl2	Chlorella	Nein	30°C	1:10
Cl3	Chlorella	Nein	30°C	1:1

Durchführung:

Als erstes werden 150ml Wasser mit 3g Agarpulver vermischt und auf einer Heizplatte aufgekocht. Sobald Luftbläschen vom Boden aufsteigen, wird das Becherglas von der Heizplatte genommen. Anschließend wird die Flüssigkeit in die Petrischalen gefüllt, wobei darauf geachtet wird, dass die Deckel nur so kurz wie möglich gehoben werden. Danach müssen die Agarplatten auskühlen und fest werden.



Abbildung 37: Fertige sterile Agarplatten (Vogl, 2022)



Abbildung 38: Kochen der Agarlösung (Vogl, 2022)

Als nächstes werden die passenden Algenlösungen bereitgestellt. Die unterschiedlichen Konzentrationen werden durch Verdünnung mit H₂O erreicht. Mit separaten Pipetten werden die Lösungen auf die Agarplatten aufgetragen. Mithilfe eines desinfizierten Drigalski-Spatels werden die Algenlösungen auf dem Agar verstrichen und möglichst auf die gesamte Kreisfläche verteilt. Um die Agarschicht dabei nicht zu zerstören, muss bei diesem Schritt sehr vorsichtig gearbeitet werden. Anschließend werden die Agarplatten im Brutschrank platziert.

Die Platten bleiben so lange im Brutschrank (maximal 60 Stunden), bis ein aussagekräftiges Ergebnis zu sehen ist. In diesem Fall betrug die Zeitdauer im Wärmeschrank 41 Stunden. Zwei der sechs Platten wurden auf der Fensterbank platziert, um die Auswirkung von niedrigerer Temperatur beobachten zu können.

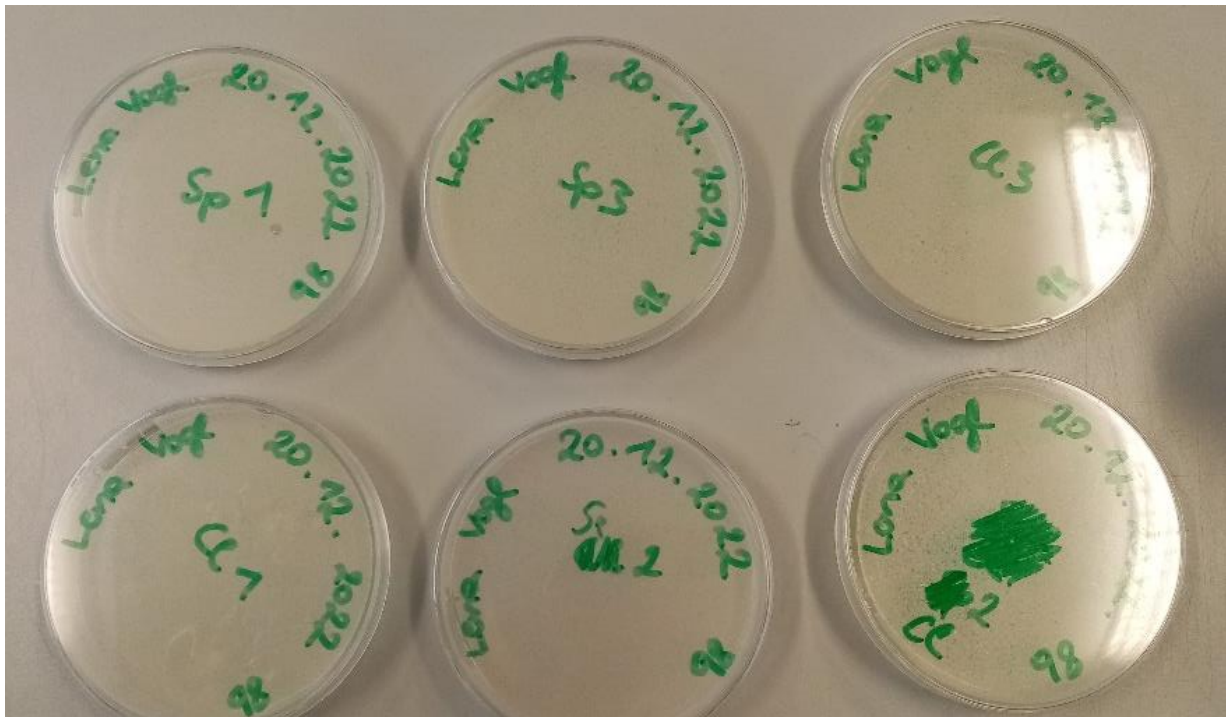


Abbildung 39: Fertige bestrichene Agarplatten mit Beschriftung (Vogl, 2022)

Beobachtung:

Nach den 41 Stunden im Brutschrank konnte auf fast allen Agarplatten eine dünne weißliche Schicht erkannt werden. An manchen Platten traten separate Bakterienkulturen auf. Die Platten auf der Fensterbank zeigten sehr wenig bis keinen Ausschlag und es wuchsen beinahe keine Bakterien.

Der Ausschlag auf den Chlorella-Platten ist verhältnismäßig stärker ausgefallen.

Tabelle 14: Beobachtungen bei den verschiedenen Proben (Vogl, 2022)

Name	Beobachtungen
Sp1	Feine Bakterien-schicht auf Agar
Sp2	1 schwache große Kultur; 7 kleine Kulturen
Sp3	7 kleine Kulturen (ca. 2mm); Rand verstärkt
Cl1	Feine Bakterien-schicht auf Agar
Cl2	1 große Kultur (ca. 1cm); 7 mittelgroße Kulturen (2-3mm); 16 kleine Kulturen
Cl3	4 schwache mittelgroße Kulturen; Rand verstärkt

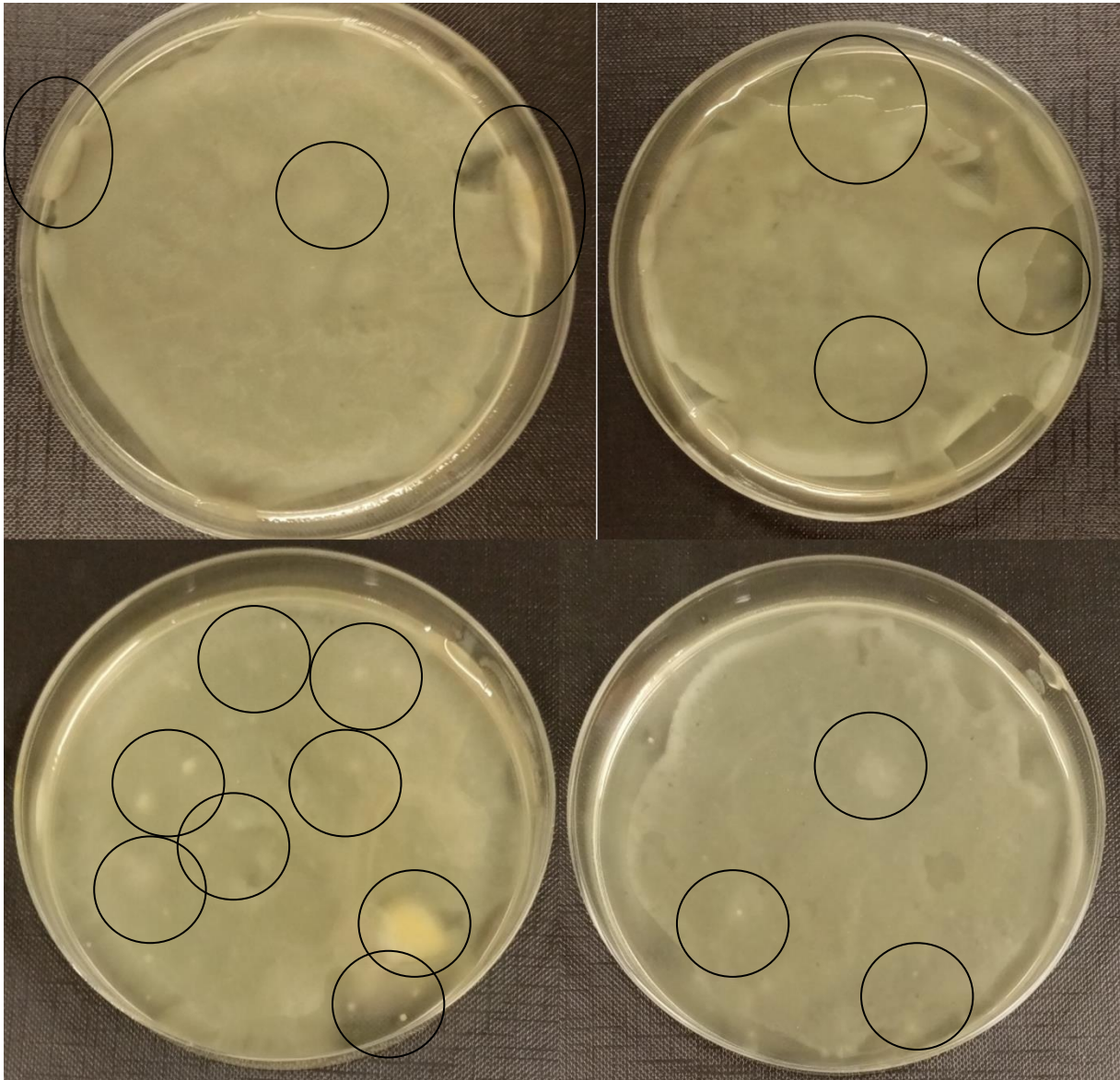


Abbildung 40: Vergleich C13, Sp3 / C12, Sp2 (Vogl, 2022)

Erkenntnis:

Den Unterschied zwischen Chlorella- und Spirulina-Platten könnte man durch die verschiedenen pH-Werte erklären. Diese sorgen unter anderem auch dafür, dass die Anzahl der Bakterien und Keime so gering wie möglich gehalten wird. Da Chlorella einen niedrigeren pH-Wert hat, ist diese Kultur unreiner.

Fehleranalyse:

Da die Anzahl der Agarplatten relativ gering ist, lassen sich keine genauen Aussagen über die Unterschiede zwischen den Algenarten treffen. Außerdem besteht bei der Anfertigung der Agarplatten die Gefahr, dass sie durch Keime aus der Luft verunreinigt werden.

9 Diskussion

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Möglichkeit geschaffen, bessere Einsicht in die Zusammenhänge zwischen dem Klimawandel und der eigenen Ernährung zu gewinnen. Durch kritische Auseinandersetzung wurden Probleme, die durch den hohen Fleischkonsum der Menschen entstehen, aufgedeckt und Lösungsansätze vorgebracht.

Die aus den Erkenntnissen der Recherche folgenden Resultate sind, dass Algen bereits in vielen Ländern einen kleinen Wirtschaftssektor erobert haben. In manchen Gebieten, beispielsweise Frankreich oder Japan, haben sie sogar eine lange Tradition. Außerdem ergab sich aus den Inhaltsstoffanalysen, dass Algen um vieles gesünder sind als Fleisch. Die variationsreichen Zubereitungsmöglichkeiten lassen erkennen, dass Algen ein großes Potential als Fleischalternative haben. Die Inhaltsstoffe lassen weiters darauf schließen, dass sie Fleisch in Zukunft größtenteils ersetzen könnten. Derzeit werden Algen vor allem als Nahrungsergänzungsmittel in der Lebensmittelindustrie gebraucht.

Auch im Energiesektor könnten Algen zukünftig Anwärter für Posten erneuerbarer Energien sein. Projekte wie das BIQ in Hamburg zeigen, dass in Algen ein noch viel größeres Potential steckt, als bisher vermutet. Derzeitige Forschungen an Beton oder Kerosin aus Algen sind noch am Laufen.

Insbesondere die Zucht von Mikroalgen bietet vielversprechende Chancen für die Zukunft der Welternährung. Dieses Kultivierungsmodell ist global anpassungsfähig und verspricht außerdem neben einem geringen Produktionsaufwand und einer niedrigen Energiebilanz bei der Züchtung eine hohe Ertragsrentabilität. Die Inhaltsstoffe zeigen, dass auch der Nährwert sehr hoch ist. Im Nachhaltigkeitsvergleich steigen Mikroalgen ebenfalls als Sieger aus. Da sie in der Produktion selbst CO₂-neutral bleiben, stellen sie auch eine klimafreundliche Nahrungsmittelalternative dar. Der sogenannte Sättigungswert ist bei Mikroalgen um das 167-fache höher als bei Rind- und Schweinefleisch. Er sagt aus, wie viele Menschen vom Energieertrag eines Hektars Nutzfläche einen Tag lang ernährt werden können. Wie der praktische Teil der Arbeit zeigt, ist die Zucht von Mikroalgen bis auf einige Komplikationen nicht sonderlich aufwendig. Sie stellen daher eine Erfolg versprechende Alternative für den Nahrungsmittelsektor dar.

Die Analyse der Blutwerte bei der Einnahme von Spirulina-Pulver ergab das Gegenteil der Erwartungen: Die Eisen-, Vitamin-B₁₂- und Magnesiumwerte sind im Verlauf der fünf Monate sogar gesunken. Am stärksten lässt sich dies bei den Vitamin-B₁₂-Werten erkennen, die von 522pg/ml auf 400pg/ml gesunken sind. Dafür sind beispielsweise die Werte der Leukozyten von 3,62G/l auf 4,07G/l und die der Phosphatkonzentration von 1,27mmol/l auf 1,44mmol/l gestiegen. Aus dem Gesamtbild lässt sich dieses Ergebnis allerdings nicht akkurat deuten, da bei den Blutwerten viele andere Faktoren mitspielen.

Die Durchführung der Algenzucht ließen zu dem Schluss führen, dass diese Form der Eigenkultivierung sich nur in größerem Ausmaß als Ersatz für Fleischprodukte eignet. Bei nur einem Gefäß ist der Ertrag zu niedrig, um regelmäßig Spirulina-Algen einnehmen zu können, doch bei einer Farmgröße ab fünf Gefäßen mit jeweils 10-12 Liter könnte der Ertrag viel besser ausfallen. Praktisch ist, dass die Algen sehr wenig Aufmerksamkeit brauchen und sich Probleme durch die Farbe und den Geruch ablesen lassen können. Auch die Rezepte und Verwendungszwecke gestalten sich als sehr einfach und geschmackvoll. Die Ernte müsste für eine weite Verbreitung in der Gesellschaft vereinfacht werden, um mehr Menschen dafür begeistern zu können. Um Unreinheiten, welche die Agarplatten angezeigt haben, zu ver-

meiden, könnte mit dem pH-Wert experimentiert werden. Je höher dieser ist, desto weniger Bakterien können darin leben.

Weiterführend könnte man Besichtigungen bei heimischen Algenfarmen wie Spirulix vornehmen. Außerdem wäre es möglich, Produkte, die bereits am Lebensmittelmarkt verfügbar sind, zu testen und zu bewerten beziehungsweise Inhaltsstoffanalysen durchzuführen. Weiters könnten Interviews mit anderen Algenzüchtern gemacht werden, beispielsweise mit der Entwicklerin des Projekts „spirulinasociety“, Anya Muangkote. Auch großflächigere und genauere Blutwertanalysen wären möglich. Dafür müsste es eine Kontrollgruppe geben, es müsste mehr Probanden geben und die Bedingungen wie Ernährung, Jahreszeit, Gemütszustand, etc. müssten über den angegebenen Zeitraum annähernd gleichbleiben. Bei Frauen sind Blutwerte außerdem zyklusabhängig, was auch in Betracht gezogen werden sollte.

10 Literaturverzeichnis

Anon., kein Datum [Online]

Available at: <https://q.co/kqs/kAxmNy>

[Zugriff am 31 12 2021].

Araújo, R. & et al., 2021. Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. *Frontiers in Marine Science*, Band 7.

Atkins, A., 1843. *Photographs of British Algae: Cyanotope Impressions*. s.l.:s.n.

Cathaud, M., 2006-2021. *Differences and Similarities between Chlorella & Spirulina*. [Online]

Available at: <https://www.echlorial.fr/blog/infographie-chlorella-spiruline/>

[Zugriff am 01 11 2021].

F. a. A. O. o. U., 2021. *Global seaweeds and microalgae production, 1950-2019*. [Online]

Available at: <https://www.fao.org/3/cb4579en/cb4579en.pdf>

[Zugriff am 06 01 2023].

Federation, A. C. M., 2020. *Nutritional Benefits of Chicken*. [Online]

Available at: [https://www.chicken.org.au/nutritional-](https://www.chicken.org.au/nutritional-database/?cut1=13683&cut2=13542&cut3=13978&gender=f&agerange=4)

[database/?cut1=13683&cut2=13542&cut3=13978&gender=f&agerange=4](https://www.chicken.org.au/nutritional-database/?cut1=13683&cut2=13542&cut3=13978&gender=f&agerange=4)

[Zugriff am 24 09 2022].

Freudig, D., et. al. & 1999. *Spektrum*. [Online]

Available at: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie>

[Zugriff am 01 11 2021].

Gabrielczyk, T., 2013. *Diese lebende Hauswand produziert Energie*. [Online]

Available at: [https://www.welt.de/wissenschaft/article115860368/Diese-lebende-Hauswand-](https://www.welt.de/wissenschaft/article115860368/Diese-lebende-Hauswand-produziert-Energie.html)
[produziert-Energie.html](https://www.welt.de/wissenschaft/article115860368/Diese-lebende-Hauswand-produziert-Energie.html)

[Zugriff am 02 01 2022].

Galileo, 2017. *Algen: Alles Wissenswert rund um das Super-Food | Galileo | ProSieben*, Berlin: s.n.

Galileo, 2017. *Leben in Algen: Energiegewinnung und nahrhaft zu gleich | Galileo | ProSieben*, Berlin: s.n.

Henke, S., 2019. *Korea - Meine kulinarische Reise ins Land der vielen Wunder - Mit 60 authentischen Rezepten*. München: Christian Verlag .

Hey, H., 2018. *Woher kommt der weiße Schaum am Strand?*. [Online]

Available at: [https://www.weltderwunder.de/artikel/woher-kommt-der-weisse-schaum-am-](https://www.weltderwunder.de/artikel/woher-kommt-der-weisse-schaum-am-strand)
[strand](https://www.weltderwunder.de/artikel/woher-kommt-der-weisse-schaum-am-strand)

[Zugriff am 27 11 2021].

Karlowski, U., 2017. *Red Tide - Giftgas aus dem Meer*. [Online]

Available at: [https://www.stiftung-meeresschutz.org/themen/meeresverschmutzung/red-tide-](https://www.stiftung-meeresschutz.org/themen/meeresverschmutzung/red-tide-giftgas-aus-dem-meer/)
[giftgas-aus-dem-meer/](https://www.stiftung-meeresschutz.org/themen/meeresverschmutzung/red-tide-giftgas-aus-dem-meer/)

[Zugriff am 27 11 2021].

- Koru, E., 2012. *ResearchGate*. [Online]
Available at: https://www.researchgate.net/figure/Microscopic-view-of-microalgae-Spirulina-Cyanobacteria-Photo-by-E-Koru_fig1_221925238
[Zugriff am 23 02 2023].
- Kuring, N., 2017. *Turquoise Swirls in the Black Sea*. [Online]
Available at: <https://www.nasa.gov/image-feature/turquoise-swirls-in-the-black-sea>
[Zugriff am 24 09 2022].
- Langer, C., 2022. *Oase Teichbau*. [Online]
Available at: [https://www.oase-teichbau.de/tipps-und-tricks/ursachen-fuer-fadenalgen-im-teich#:~:text=CO2%2C%20KH%20und%20pH%2DWert,-Auch%20der%20CO2&text=Eine%20starke%20Oberfl%C3%A4chenbewegung%20entl%C3%A4sst%20viel,Wert\)%20nicht%20mehr%20stabil%20ist.](https://www.oase-teichbau.de/tipps-und-tricks/ursachen-fuer-fadenalgen-im-teich#:~:text=CO2%2C%20KH%20und%20pH%2DWert,-Auch%20der%20CO2&text=Eine%20starke%20Oberfl%C3%A4chenbewegung%20entl%C3%A4sst%20viel,Wert)%20nicht%20mehr%20stabil%20ist.)
[Zugriff am 30 01 2023].
- Lehn, B. v., 2006. [Online]
Available at: <https://www.welt.de/print-welt/article227163/Wozu-Algenwein-aus-der-Ostsee-gut-ist.html>
[Zugriff am 31 12 2021].
- Montagne, J. F. C. & Müller, K., 1851. *Phykologie oder Einleitung ins Studium der Algen*. Halle: MV-NaturalScience.
- Moomaw, W., Berzin, I. & Tzachor, A., 2017. Cutting Out the Middle Fish: Marine Microalgae as the Next Sustainable Omega-3 Fatty Acids and Protein Source. *Industrial Biotechnology*, 13(5).
- Mouritsen, O. G., 2013. *Seaweeds - edible, available & sustainable*. Chicaago and London: The University of Chicago Press.
- Muangkote, A., 2021. *spirulinasociety*. [Online]
Available at: <https://spirulinasociety.org/>
[Zugriff am 06 01 2023].
- Neumayer, P., 1998. *Algen - Gesundheit aus dem Meer*. München: Wilhelm Goldmann Verlag.
- Nguyen, Q. V., Roseland, J. M., Patterson, K. Y. & et al., 2017. *USDA Nutrient Data Set for Retail Lamb Cuts, for the USDA food composition database*, Beltsville: Nutrient Data Laboratory (NDL).
- Patterson, K. Y. et al., 2009. *USDA Nutrient Data Set for Fresh Pork (From SR), Release 2.0*, Beltsville: Nutrient Data Laboratory.
- Patterson, K. Y. et al., 2009. *USDA Nutrient Data Set for Fresh Pork (From SR), Release 2.0*, Beltsville: Nutrient Data Laboratory (NDL).
- Pejic-Pulkowskit, S., 2011. *Was Sie über Algen wissen sollten*. [Online]
Available at: <https://www.geo.de/natur/oekologie/4203-rtkl-algen-was-sie-ueber-algen-wissen-sollten>
[Zugriff am 01 11 2021].

Pfiehl, K., kein Datum *Spirulix*. [Online]
Available at: <https://www.spirulix.at/>
[Zugriff am 30 12 2021].

Pienkos, P., Laurens, L. & Aden, A., 2011. Making Biofuel from Microalgae. *American Scientist*, Band 99, p. 474.

Reder, H., 2003. *WebArchive*. [Online]
Available at: https://web.archive.org/web/20070930160947/http://www.pharmazie.uni-wuerzburg.de/Studium/Lmc/Seminare/Algen_als_Nahrungsmittel.pdf
[Zugriff am 30 12 2021].

Reinhardt, G., Gärtner, S. & Wagner, T., 2020. *Ökologische Fußabdrücke von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland*, Heidelberg: Institut für Energie und Umweltforschung.

Roseland, J. M., Nguyen, Q. V., Williams, J. R. & Patterson, K. Y., 2013. *USDA Nutrient Data Set for Retail Beef Cuts from SR, Release 3.0*, Beltsville: Nutrient Data Laboratory.

Roseland, J. M., Nguyen, Q. V., Williams, J. R. & Patterson, K. Y., 2013. *USDA Nutrient Data Set for Retail Beef Cuts from SR, Release 3.0*, Beltsville: Nutrient Data Laboratory (NDL).

Sieg, K., 2020. Wunderpflanze Rotalge. *Welt der Frauen*, 04.pp. 38-43.

Sudderland, W., kein Datum *Seamorefood*. [Online]
Available at: <https://www.seamorefood.com/>
[Zugriff am 30 12 2021].

Traganos, D., 2020. *ResearchGate*. [Online]
Available at: https://www.researchgate.net/figure/Physiology-of-Seagrass-vs-Algae-or-Seaweed-Courtesy-of-the-Integration-and_fig1_346351766
[Zugriff am 23 02 2023].

Upton, J., 2013. *Grist*. [Online]
Available at: <https://grist.org/climate-energy/this-apartment-building-comes-with-its-own-algae-fueled-power-supply/>
[Zugriff am 23 02 2023].

Vogl, L., 2021-2023. s.l.:s.n.

Wengel, A., 2019. *Biolumineszenz - Meeresleuchten*. [Online]
Available at: https://www.planet-wissen.de/natur/forschung/phaenomen_licht/pwiebiolumineszenz100.html
[Zugriff am 27 11 2021].

Zwamborn, M., 2019. *Algen*. 1 Hrsg. Berlin: Matthes & Seitz Berlin.

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: <i>Alaria esculenta</i> (Atkins, 1843)	9
Abbildung 2: Algenblüte im Schwarzen Meer (verändert nach Kuring, 2017).....	11
Abbildung 3: (Ausschnitt aus Abbildung 2) Die Algen zeigen auch Strömungen im Schwarzen Meer an (verändert nach Kuring, 2017)	12
Abbildung 4: Unterschied im Aufbau von Makroalgen im Vergleich zum Seegras (Traganos, 2020)	14
Abbildung 5: Spirulina-Algen unter dem Mikroskop (Koru, 2012)	15
Abbildung 6: Mineralstoffe und Nährstoffe von verschiedenen Algenarten (grün) und Fleischarten (rot) pro 100g im Vergleich (Vogl, 2023).....	21
Abbildung 7: Vitamine und Energie von verschiedenen Algenarten (grün) und Fleischarten (rot) pro 100g im Vergleich (Vogl, 2023).....	22
Abbildung 8: BIQ in Hamburg (verändert nach Upton, 2013)	27
Abbildung 9: Algenproduktion in Amerika von 1950-2019 (verändert nach Food and Agriculture Organization of UN, 2021)	29
Abbildung 10: Algenproduktion in Asien von 1950-2019 (verändert nach Food and Agriculture Organization of UN, 2021)	30
Abbildung 11: Anzahl der in Europa Makro- und Mikroalgen produzierenden Betriebe pro Land sortiert nach Produktionsverfahren (verändert nach Araújo & et al. , 2021)	31
Abbildung 12: Zuchtbecken bei Spirulix (Pfiehl, kein Datum)	34
Abbildung 14: Müslisorten der Firma Spirulix (Vogl, 2023)	34
Abbildung 13: Apfel-Zimt-Müsli der Firma Spirulix (Vogl, 2023)	34
Abbildung 15: Materialien (Vogl, 2023)	40
Abbildung 16: Zerstörte erste Lieferung (Vogl, 2022).....	41
Abbildung 17: pH-Wert-Messung verschiedener Kulturen (rechts: vor Nährstoffzugabe; links: 1 Tag nach erster Nährstoffzugabe) (Vogl, 2022)	42
Abbildung 18: (v.l.n.r) Chlorella-Kultur, Spirulina-Hauptkultur, Spirulina-Nebenkultur (Vogl, 2022)	42
Abbildung 19: Verschlussmöglichkeiten bei Algenzucht (Vogl, 2023)	43
Abbildung 20: 3D-Elemente, die für einen Aufsatz benötigt werden (Vogl, 2023)	44
Abbildung 21: 3D-Aufsatz als Verschluss (Vogl, 2023)	44
Abbildung 22: 3D-Aufsatz mit Öffnung und Luftfilter oben (Vogl, 2023)	44
Abbildung 23: 3D-Aufsatz als Verschluss mit Öffnung für den Schlauch der Luftpumpe (Vogl, 2023)	44
Abbildung 24: Zwei verschiedene 3D-Abdeckungen auf den Behältern mit Algen-Kulturen (Vogl, 2023).....	45
Abbildung 25: Faltschema des Filterpapiers (Vogl, 2023)	46
Abbildung 26: Aufbau der Materialien für die Algenernte (Vogl, 2022)	47
Abbildung 27: Filterpapier in Trichter (Vogl, 2023)	48
Abbildung 28: Ablauf der Algenernte (Vogl, 2023)	49
Abbildung 29: Ausdrücken des Filterpapiers bei Chlorella-Algen auf einem Geodreieck (Vogl, 2023)	50
Abbildung 30: Geerntete Chlorella-Algen (links) und Spirulina-Algen (rechts) (Vogl, 2023) ..	51
Abbildung 31: Geerntete Spirulina-Algen (Vogl, 2023).....	51
Abbildung 32: Smoothie mit Spirulina-Algen (Vogl, 2023).....	52
Abbildung 33: Eierspeise mit Spirulina-Algen (Vogl, 2023)	52
Abbildung 34: Spirulina-Algen als Brotaufstrich (Vogl, 2023)	53
Abbildung 35: Sichtbare fadenartige Struktur der Spirulina-Algen (Vogl, 2022)	54

Abbildung 36: (v. l. n. r.) Spirulina (40x vergrößert); Spirulina (Ölimmersion); Chlorella (10x vergrößert); Chlorella (40x vergrößert) (Vogl, 2022)	57
Abbildung 37: Fertige sterile Agarplatten (Vogl, 2022).....	58
Abbildung 38: Kochen der Agarlösung (Vogl, 2022)	58
Abbildung 39: Fertige bestrichene Agarplatten mit Beschriftung (Vogl, 2022).....	59
Abbildung 40: Vergleich Cl3, Sp3 / Cl2, Sp2 (Vogl, 2022)	60

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende vorwissenschaftliche Arbeit eigenständig verfasst und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen verwendet habe.

Ort, Datum

Unterschrift