

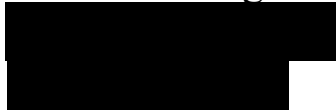
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences
Department Ökotrophologie

**Die ernährungsphysiologische Bedeutung von Algen für die
Ernährung des Menschen und ihre Nutzung als Lebensmittel in
der Zukunft**

-Diplomarbeit-

Vorgelegt am 15.01.2007
von

Vanessa Kroeger



Referenten:
Prof. Dr. Michael Hamm
Dipl. Oec.troph. Holger Koopmann

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. M. Hamm und bei Herrn Dipl. Oec. troph. H. Koopmann für die fachliche Unterstützung und die freundliche Betreuung meiner Diplomarbeit bedanken.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Großmutter, die mir das Ökötrophologie-Studium ermöglicht hat.

1. Abkürzungsverzeichnis.....	4
2. Einleitung.....	5
3. Aufbau der Arbeit und Zielsetzung.....	7
4. Biologische Grundlagen.....	8
4.1. Allgemeinwissen über die Alge.....	8
4.2. Rotalgen (Rhodophyta).....	10
4.3. Braunalgen Phaeophyta).....	10
4.4. Grünalgen (Chlorophyta).....	11
4.5. Cyanobakterien (ehemals Blaualge Cyanophyta).....	11
5. Algen als Nahrungsmittel.....	14
5.1. Algengerzeugnisse und ihre Verwendung.....	14
5.1.1. Nori.....	14
5.1.2. Kombu.....	16
5.1.3. Wakame.....	18
5.2. Nahrungsergänzungsmittel aus Mikroalgen.....	19
5.2.1. Spirulina platensis.....	19
5.2.2. Chlorella pyrenidosa.....	21
5.2.3. AFA-Algen.....	23
5.2.4. BlueBioTech als Beispiel für Hersteller von Mikroalgen als Nahrungsergänzung.....	24
6. Ernährungsphysiologische Bedeutung.....	24
6.1. Makroalgen.....	24
6.1.1. Nährstoffzusammensetzung von Wakame und Kombu.....	25
6.1.2. Beschreibung der Nährstoffzusammensetzung.....	29
6.1.3. Zusammenfassende Bewertung der Nährstoffzusammensetzung von Makroalgen.....	32
6.2. Mikroalgen.....	35
6.2.1. Nährstoffzusammensetzung von Spirulina platensis.....	35
6.2.2. Beschreibung der Nährstoffzusammensetzung.....	38
6.2.3. Zusammenfassende Bewertung der Nährstoffzusammensetzung von Spirulina platensis.....	41
6.2.4. Medizinische Forschung mit Spirulina platensis.....	44
6.3. Kritische Inhaltsstoffe.....	50
6.2.1. Jod.....	50
6.2.2. Arsen.....	52
6.2.3. Algentoxine.....	54
6.2.4. Cyanobakterientoxine.....	56
6.2.5. Schwermetalle.....	59
6.4. Abschließende Bewertung der Ernährung mit Makroalgen.....	61
6.5. Abschließende Bewertung der Nahrungsergänzungsmittel aus Mikroalgen.....	61

7. Recht.....	62
7.1. Nahrungsergänzungsmittelverordnung (NemV).....	62
7.2. Novel FoodVO.....	64
8. Lebensmittel mit Algen die derzeit angeboten werden.....	65
9. Nutzung der Alge als Lebensmittel in der Zukunft.....	67
9.1. Functional Food.....	67
9.2. Health Food.....	70
9.3. Verwendung von Algen als Weltraumnahrung.....	71
9.4. Proteinquelle für die wachsende Weltbevölkerung.....	72
10. Zusammenfassung.....	76
11. Abstract.....	78
12. Abbildungsverzeichnis.....	80
13. Tabellenverzeichnis.....	81
14. Literaturverzeichnis.....	82
15. Internetquellen.....	84

1. Abkürzungsverzeichnis

ADS (Aufmerksamkeitsdefizid-Syndrom)

ADHS (Aufmerksamkeitsdefizithyperaktivitäts-Syndrom)

AIDS (Aquired Immune Deficiency Syndrome)

BgVV (Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin)

BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung)

BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit)

CFP (Ciguatera fish Poisoning)

DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.)

DNA (Desoxyribonucleic acid)

DSP (Diarrhetic Shellfish Poisoning)

ESA (European Space Agency)

FAO (Food and Agriculture Organisation)

HIV (Human Immunodeficiency Virus)

NCI (National Cancer Institut)

NemV (Nahrungsergänzungsmittel Verordnung)

NASA (National American Space Agency)

PSP (Paralytic Shellfish Poisoning)

RDA (Recommend Daily Allowance)

WHO (World Health Organisation)

2. Einleitung

Seit der Urzeit sind die Algen (Phycophyta) auf unserem Planeten zu finden. Für zweieinhalb Milliarden Jahre waren sie die einzigen Pflanzen auf der Erde. Die höheren Pflanzen haben sich erst vor ca. 500 Millionen Jahren aus einer Grünalgen-Linie entwickelt und begannen nach und nach das Land zu erobern.

(Hubert, Ziegler, 2000, S.121)

Der Name Alge stammt aus dem lateinischen und bedeutet soviel wie „krautiges Seegewächs“. In den Weltmeeren wachsen pro Jahr ca. 6 Milliarden Tonnen mikroskopischer Algen. Diese sind für unser Klima von herausragender Bedeutung und in der Nahrungskette stehen sie als Primärproduzenten an erster Stelle.

Klassifiziert sind ca. 26.000 Algenarten, Wissenschaftler gehen jedoch davon aus, dass es über 400.000 Arten gibt. Weltweit werden ca. 500 Algenarten gegessen, davon sind aber nur 160 wirtschaftlich von Bedeutung.

(www.planet-wissen.de)

Traditionell sind die Algen schon seit alters her Bestandteil des menschlichen Lebens. Schon um 2500 v. Chr. wurden sie in China genutzt, bevor die Kultur dann auch in Japan, Korea und auf den Pazifikinseln übernommen wurde.

(Reder, 2003, S.7)

Auch die Azteken am „Texcocosee“ nutzten die Alge schon, neben Mais, Bohnen und Kürbis als eines der Hauptnahrungsmittel. Die getrockneten Fladen aus grünem Brei, die sie von der Oberfläche des Sees abschöpften, nannten sie „Tecuitlatl“. Dieses Nahrungsmittel diente ihnen als Kraftnahrung, es waren Algen der Gattung *Spirulina platensis*. Wahrscheinlich spielte diese Mikroalge auch bei den Mayas, auf der Halbinsel Yucatan, eine wichtige Rolle in der Ernährung.

Die Alge *Spirulina* wurde bereits 1827 von dem deutschen Algenspezialisten Deubner im Tschadsee in Afrika entdeckt, damals erhielt sie auch ihren wissenschaftlichen Namen.

Der belgische Botaniker Jean Leonard beobachtete Mitte der 60er Jahre bei einer Expeditionsreise durch die Sahara wie die Mitglieder des Kanembustammes mit Hilfe von Strohkörben einen grünen Schaum von der Oberfläche des Tschadsees schöpften. Genau wie die Azteken lange Zeit zuvor, trockneten auch sie die grüne Masse aus *Spirulina*-Algen in der Sonne und formten anschließend kleine Kuchen daraus. Dieser Stamm nannte das Hergestellte Lebensmittel „Diehe“, welches sogar auf dem örtlichen Markt gehandelt wurde und auch heute noch neben dem Hauptnahrungsmittel Hirse ein wichtiger Bestandteil in ca. 70 Prozent aller Gerichte ist.

(Rahn-Huber, 1998, S.7-10)

Der Hauptabsatzmarkt liegt heute im ostasiatischen Raum. Weltweit werden rund 8 Millionen Tonnen Algen jährlich geerntet, um dann zu Nahrungsmitteln, Viehfutter oder Kosmetika verarbeitet zu werden. In Japan machen sie etwa 10 Prozent der Ernährung aus, es werden dort ca. 300.000 Tonnen Algen pro Jahr verspeist.

In Europa werden Algen seit einigen Jahrhunderten vor allem als Viehfutter und Düngemittel verwendet. In der Lebensmittelindustrie werden Algenextrakte als Stabilisator und Verdickungsmittel (Hydrokolloide) eingesetzt und es sind verschiedene Präparate zur Nahrungsergänzung mit Algen auf dem Markt.

Einen deutlichen Trend zu höherem Verbrauch, zeigt die Weltproduktion von Meerespflanzen, zu denen neben Algen noch weitere Gewächse zählen. Von noch 7 Million geernteten Tonnen Algen (Frischgewicht) im Jahr 1994, stieg die Produktion auf 8,5 Millionen Tonnen an Meerespflanzen im Jahr 1998.

(Reder, 2003, S.4 und S.9)

Derzeit hat ein Boom eingesetzt der in Richtung gesunde Ernährung bzw., Health Food“ geht. Er kommt aus den USA, hier werden Produkte aus frisch gepresstem Weizen- oder Gerstengras oder auch in Wasser aufgelöstes Algenpulver als Getränk verzehrt, dieses wird als „Greenfood“ bezeichnet.

(www.nwzg.de)

In den USA zählen Meerespflanzen zu den meistverkauften Nahrungsergänzungsmitteln.
(Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S.32)

Auch in Deutschland bzw. Europa werden die Algen derzeit wieder entdeckt, in der Bretagne und in Wales handwerkeln Gourmet-Spitzenköche mit ihr herum, Sushi kann man schon abgepackt in der Kühltruhe des Supermarktes finden, die Makroalgen werden bei uns nun auch vermehrt in Reformhäusern, Asia- und Bioläden angeboten und der Markt der Nahrungsergänzungsmittel die aus Algen hergestellt werden, expandiert.

(www3.ndr.de)

Den Nahrungsergänzungsmitteln aus Mikroalgen werden allgemein in unwissenschaftlichen Artikeln viele Heilwirkungen nachgesagt. Angefangen mit einem erhöhten Wohlbefinden, sollen sie auch gegen Stress und Depressionen wirken, sowie für eine höhere Konzentrationsfähigkeit und für eine verbesserte Denkleistung sorgen.

(Reder, 2003, S.7. und 8)

Den Spirulina-Produkten wird vor allem nachgesagt, das Immunsystem zu stärken, den Cholesterinspiegel zu senken, Arteriosklerose vorzubeugen und eine Übersäuerung des Körpers auszugleichen.

Außerdem soll sie verschiedene Schwermetalle und andere Umweltgifte aus dem Körper ausleiten können und auch besonders Chlorella soll diese Wirkung haben. Letztere soll auch wegen dem „CGF“ (Chlorella-Growth-Factor) lebensverlängernd wirken.

(Arndt, 2003, S.42 sowie S.62. S.66)

Die Afa-Alge soll positiv auf Gehirn und Nerven wirken und so die Konzentrations- und Merkfähigkeit erhöhen, weshalb behauptet wird, dass sie bei ADS und ADHS hilft. Auch soll sie ein geeignetes Mittel sein, um sich gegen Krebserkrankungen und Virusinfektionen wie Herpes, AIDS, Grippe, Windpocken, Mumps etc. zu schützen.

(Arndt, U., 2003, S. 9. und S.58)

Aufgrund der verbreiteten Algennutzung in Ostasien, sowie dem steigenden Interesse an der Alge in Europa sowie den USA und der vielfältigen verwirrenden Aussagen über die Nahrungsergänzungsmittel aus Spirulina, Chlorella und der AFA-Alge, ist es an der Zeit dieses „alte Nahrungsmittel Alge“ Ernährungswissenschaftlich, sowie ihre mögliche Nutzung als Lebensmittel in der Zukunft, näher zu betrachten.

3. Aufbau der Arbeit und Zielsetzung

In vorliegender Arbeit geht es um die Alge als Nahrungsmittel und ihre ernährungsphysiologische Bedeutung für die Ernährung des Menschen. Ziel ist es einen umfassenden Überblick über Makro- bzw. Mikroalgen, sowie über ihre Verwendung und ihren Nutzen als Lebensmittel bzw. Nahrungsergänzungsmittel darzustellen und einen Einblick in Möglichkeiten einer zukünftigen Nutzung von Algen in der Ernährung des Menschen geben.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den drei am häufigsten genutzten Algengerzeugnissen: Nori, Wakame und Kombu. Außerdem wird auf die drei am häufigsten genutzten Arten zur Nahrungsergänzung eingegangen: *Spirulina platensis*, *Chlorella pyrenidosa* und die Afa-Alge (*Aphanizomenon flos-aquae*).

Der erste Teil beinhaltet biologisches Grundlagenwissen über die Alge an sich, sowie über die Rotalge, Braunalge, Grünalge und die Cyanobakterien (Blaualgen). Auf diesem Wissen beruht die weitere Betrachtung.

Im zweiten Teil werden die Algengerzeugnisse Nori, Wakame und Kombu, sowie die Nahrungsergänzungsmittel aus *Spirulina platensis*, *Chlorella pyrenidosa* und der Afa-Alge vorgestellt.

Der ernährungsphysiologische Teil behandelt die Nährstoffzusammensetzung von Wakame und Kombu beispielhaft für die Makroalgen, sowie die von *Spirulina platensis* beispielhaft für die Mikroalgen. Die vorkommenden Inhaltsstoffe werden tabellarisch dargestellt, anschließend wird dies kurz betrachtet und im Hinblick auf die menschliche Ernährung bewertet. Die weitere Betrachtung geht näher auf kritische Inhaltsstoffe ein die vorkommen können, wie Jod, Arsen, Algentoxine bzw. Cyanobakterientoxine und die Schwermetalle, diese können negativ auf die Gesundheit wirken.

Auf medizinische Studien die, die möglichen Heilwirkungen der Makroalgen belegt, wird dann näher eingegangen wenn Studien zu diesem Thema vorliegen bzw. wird über die Studien mit *Spirulina platensis* ein ausgewählter Überblick gegeben.

Der rechtliche Teil geht vor allem auf die Novel-Food-Verordnung ein, da Nahrungsergänzungsmittel aus Algen hierunter fallen. Außerdem wird auf den Verstoß der gesundheitsbezogenen Werbung eingegangen, denn den Nahrungsergänzungsmitteln aus Algen werden immer wieder viele Heilwirkungen nachgesagt, was vom Gesetzgeber nur für Arzneimittel erlaubt ist. Außerdem wird noch auf die rechtliche Situation bezogen auf Nahrungsergänzungsmittel eingegangen.

Anschließend werden derzeitige Produkte die schon mit bzw. aus Algen hergestellt werden, wie Nudeln, Tee und Wein, vorgestellt.

Der abschließende Teil stellt die Nutzung der Alge als Lebensmittel in der Zukunft vor. Verschiedene Bereiche in denen die Verwendung von Algen in der Zukunft möglich ist werden vorgestellt. Hierzu zählt Functional-Food, einer der Zukunftstrends Health-Food und die Ernährung von Astronauten. Außerdem wird der mögliche Einsatz von Mikroalgen als Proteinquelle für die wachsende Weltbevölkerung erläutert.

4. Biologisches Grundlagen Wissen über die Alge

4.1. Allgemeinwissen über die Alge

Der Name Alge stamm von der lateinischen Bezeichnung „algae“ und bedeutet, diverse Sippen von Seegrass und Tang. (Huber, Zigler, 2002, S.183.)

Zu den Algen (Phycophyta) gehören ca. 26.000 Arten.

(Redaktion Schule und Lernen, 2000, S.17)

Sie sind einfach organisierte photoautotrophe Pflanzen, die Einzeller, kolloidbildende Arten, aber auch viele vielzellige Formen umfassen. Nach ihrer Größe werden sie in Mikro- bzw. Makroalgen unterteilt. Für das Leben im Meer und Süßwasser sind Algen sehr wichtig, denn sie stellen die Nahrung vieler Tiere dar. Die größeren Arten formen unter Wasser ganze Wälder und bilden damit den Lebensraum zahlreicher Tierarten. Auch als Nahrungsmittel für das Vieh und selbst für den Menschen gewinnen sie an Bedeutung.

(Jüngling et al., 1990, S.32.)

Zu den bekanntesten Arten gehören die Grünalge (Chlorophyceae), Braunalge (Phaeophyceae), Rotalge (Rhodophyceae) und die Blaualge (Cyanophyta). Letztere wird heute allerdings unter dem Begriff Cyanobakterien geführt, da sie zu den Procaryoten zählen. Im Folgenden werden diese vier Arten kurz beschrieben, da die Arbeit diese Algenarten behandelt. Tabelle 1 zeigt die Einordnung der Algengruppen in das System der Pflanzen.

Tabelle 1. : *Einordnung der Algengruppen in das System der Pflanzen*

(Müller, Müller, 1994, S.43)

Kategorie	Taxa
Reich:	<u>Procaryota- kernlose Organismen</u>
Unterreich:	Bacteriobionta- Bakterien und Blaualgen
Abteilung:	Cyanobacteria- Blaualgen
Reich:	<u>Eucaryota- kernhaltige Organismen</u>
Unterreich:	Rhodobionta
Abteilung:	Rhodophyceae-Rotalgen
Unterreich:	Chromobionta
Abteilung:	Chromophyta
Klasse:	Phaeophyceae-Braunalgen
Unterreich:	Chlorobionta
Abteilung:	Chlorophyta
Klasse:	Chlorophyceae-Grünalgen

Die Algen besitzen einen echten Zellkern und zählen damit zu den Eukaryoten, mit Ausnahme der Cyanobakterien. Die DNS der Alge befindet sich in den Chromosomen, die in den Zellkernen liegen und wiederum von einer Kernmembran umschlossen sind.

Algen enthalten Plastiden (teilungsfähige Körperchen innerhalb der Zellen), die die Assimilationspigmente enthalten. Abhängig von der Art können die Farbstoff führenden Plastiden in Form vieler kleiner Plättchen in der Zelle vorliegen, es kann eine Zelle aber auch nur ein großes Plastid enthalten oder die Plastiden sind bandförmig. Die farbstoffhaltigen Plastiden der Algen, haben genau die selben Aufgaben und den selben Feinbau, wie die Blattgrünkörner (Chloroplasten) der höheren Pflanzen Sie werden allerdings eigentlich nicht als Chloroplasten sondern als Chromatophoren (Farbstoffträger) bezeichnet.

Die Einteilung der Algen in Klassen erfolgt unter anderem nach der Zusammensetzung der Chloroplasten- bzw. Chromatophorenfarbstoffe.

Alle Arten enthalten Chlorophyll, aber es sind nicht alle Chlorophyllarten (a,b,c,d,e) bei den verschiedenen Klassen vertreten. Weitere Farbstoffe, die den Grundton der Chromatophoren verändern können, sind Carotinoide, Xanthophylle und (selten) Phycobiline.

(Streble, Krauter, 2002, S.46)

Algen können keine Blüten ausbilden, sie können sich jedoch wie die höheren Pflanzen ungeschlechtlich und geschlechtlich Vermehren. (Generationswechsel)

(Jüngling et al., 1990, S.32.)

Die Alge gehört zu den Lagerpflanzen, sie werden auch als Thallophyten bezeichnet. Lagerpflanzen werden sie aufgrund ihres mehr oder weniger vielzelligen Vegetationskörpers, der im Gegensatz zu den höheren Pflanzen nicht in Sprossachse, Blätter und Wurzeln differenziert ist, genannt. Dieser wird als so genannter Thallus bezeichnet.

(Müller, Müller, 1994, S.40)

In allen Meeren der Welt sind die Algen verbreitet und sie sind außerordentlich vielgestaltig. Manche erinnern an Salatblätter, wie z.B. der Meersalat, andere sind bandförmig schmal wie die Meerbohne. Algen die sehr groß sind und eine Länge bis zu 15 m erreichen, bezeichnet man als Tang. (Schmidt, 2004, S.13)

Es gibt bis zu 100 m lange Braunalgen, dessen Aufbau trotz ihrer Größe einfacher als der von Landpflanzen ist. (Cyprionka, 2002, S.37)

An unseren heimischen Küsten kennt man den „Braunen Blasentang“ (*Fucus vesiculosus*), der „Grüne Darmtang“ (*Enteromorpha intestinalis*) und der „Rote Seeampfer“ (*Delesseria Sanguinea*), sieh folgende Abbildung.

(Müller, Müller, 1994, S.39)

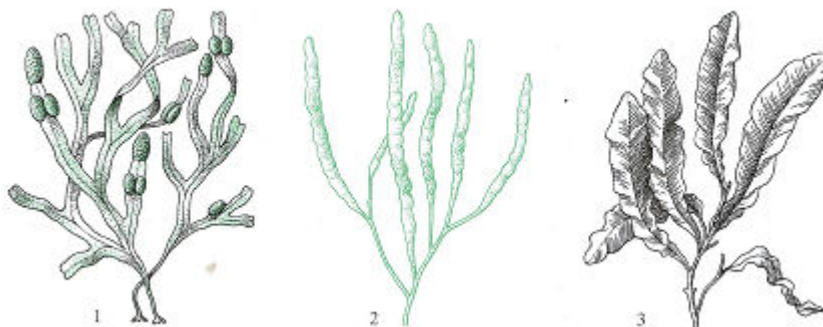


Abbildung 1: Tange des Ostseestrandes (1. Blasentang, 2. Darmtang, 3. Seeampfer)

(Müller, Müller, 1994, S.40)

4.2. Rotalgen (Rhodophyta)

Es sind ca. 4.000 Rotalgenarten bekannt. Sie leben fast ausschließlich im Meer, ein paar Arten kommen aber auch im Süßwasser vor. Der Thallus ist fast immer vielzellig und sitzt mit einer Haftscheibe oder mit Haftfäden am Untergrund fest.

(Redaktion Schule und Lernen, 2000, S. 421)

Reservestoff ist die Florideenstärke, die chemisch dem Glykogen näher verwandt ist als der gewöhnlichen Stärke. Die kleinen Stärkekörner werden im Zytoplasma als Reservestoffe abgelagert. Die Chromatophoren enthalten Chlorophyll a, verschiedene Carotinoide und die charakteristischen Farbstoffe: Phykoerythrin (rot) und Phykocyan (blau). Diese Farbstoffe, die bei den verschiedenen Algenarten in unterschiedlicher Menge vorliegen, ermöglichen es vielen Rotalgen im Meer in Wassertiefen vorzudringen, die andere photoautotrophe Pflanzen keine Lebensmöglichkeit mehr bieten.

Die Rotalgen können auch in diesen Tiefen, die noch nicht vom Wasser absorbierten Reste des Lichtes verwerten. Die Innenschicht der Zellwände besteht aus Cellulose, die äußeren Lagen aus Pektinstoffen. Aus den äußeren Schichten mancher Arten werden Agar-Agar und Carrageen gewonnen. (Streble, Krauter, 2002, S.63).

Viele Arten der Rotalge werden vom Menschen in vielfacher Weise genutzt. Agar-Agar gewinnt man aus den äußeren Zellwandschichten von Arten der Gattung Gelidium und Gracilaria, dieses wird als Verdickungsmittel in der Nahrungsmittelindustrie verwendet, aber auch in der Mikrobiologie als Nährbodenmaterial für Pilze- und Bakterienkulturen.

Carrageen wird aus den äußeren Zellwandschichten von Chondrus crispus und Gigartina mamillata (wird getrocknet auch als Irish-Moos bezeichnet) sowie anderer Arten dieser Gattung gewonnen und wird zu Arzneimitteln zwecken, in der technischen und der Nahrungsmittelindustrie verwendet.

Die Gattung Porphyra wird vor allem in Ostasien als Nahrungsmittel (Nori) kultiviert. (Brechner et.al., 2001, S.15)

4.3. Braunalgen (Phaeophyta)

Die ungefähr 2.000 Braunalgenarten gedeihen fast ausschließlich im Salzwasser. Am häufigsten kommen sie in Meeresküsten gemäßigter Zonen vor. Auch sie leben festgewachsen an Unterlagen am Boden der Gewässer. Es gibt winzige fadenförmige Vertreter aber auch vielschichtige Arten, mit mehreren Metern großen Thalli. Die Braunalgen gehören wie die Rotalgen zu den hoch entwickelten Algen.

Als Photosynthesepigmente enthalten sie Chlorophyll a und c, Beta-Carotin, Violaxanthin und Fucoxanthin (braun). Letzteres überdeckt alle anderen Pigmente.

(Brechner, 2001, S.436-S.437)

Photosyntheseprodukte sind Fette, das Kohlenhydrat Mannit und das Polysaccharid Laminarin. Die Zellwände enthalten außer Cellulose, Salze der Alginsäure. Diese Alginat werden in der Lebensmittelindustrie als Hydrokolloid verwendet.

(Streble, Krauter, 2002, S.64)

Der an der Nord- und Ostsee vorkommende Blasentang oder der Zuckertang (*Laminaria saccharina*) sind bekannte Arten der Braunalgen. Aus der Asche einiger anderer Arten kann Jod gewonnen werden. *Laminaria*-Arten dienen in Asien als Nahrungs- und Düngemittel.

(Brechner, 2001, S.436-S.437 und Redaktion Schule und Lernen, 2000, S.88)

Aus einer Braunalgen-Art wird Kombu sowie Wakame hergestellt.

4.4. Grünalgen (Chlorophyta)

Die ungefähr 7.000 Arten leben vorwiegend am Boden oder im Plankton des Süßwassers. Bei den Vertretern dieser Abteilung kommen alle Organisationsstufen, vom Einzeller bis zum Komplex gestalteten Organismus mit blattartigen Thalli vor. Am Marine Plankton haben die Grünalgen nur einen geringen Anteil. Manche Arten leben auf oder in feuchten Böden oder epiphytisch auf Bäumen. (Brechner, 2001, S.272.)

Übereinstimmende Merkmale mit den grünen Pflanzen sind die Chlorophylle a und b, der gleiche Satz an Carotinoiden (Alpha, Beta und Gamma), Lutein, Zeaxanthin und Violaxanthin unter anderem. Aufgrund dessen nimmt man an, dass ein Großteil der heute lebenden Landpflanzen von den Grünalgen abstammt. Die grüne Farbe bleibt bei den Grünalgen, im Gegensatz zu den anderen Arten, erhalten. (Reder, 2004, S.5.)

Als Reservestoffe werden Stärke und Fett gebildet, als Zellwandmaterial dient unter anderem Cellulose. Im Vergleich zu den Rot- und Braunalgen spielen die Grünalgen für eine direkte Anwendung als Lebensmittel nur eine untergeordnete Rolle. Bekannt ist jedoch die Alge *Chlorella pyrenidosa*, diese wird als Nahrungsergänzungsmittel in Pulver oder Tablettenform angeboten. (Redaktion Schule und Lernen, 2000, S.222)

4.5. Cyanobakterien (Ehemals Blaualgen Cyanophyta)

Früher wurden die Cyanobakterien zu den Phycophyta (Algen) gezählt und als Klasse Cyanophyta (Blaualgen) geführt. Da sie allerdings keinen echten Zellkern aufweisen gehören sie als Prokaryoten nicht zu den Algen, sondern in die Verwandtschaft der Bakterien. Ihre Zellen sind jedoch 5-10 Mal größer als normale Bakterienzellen. (Huber, Ziegler, 2000, S.117-119)

Nach der neuen Systematik gehören sie zu einem der großen Äste der Bakterien (Bacteria), mit den Ordnungen Chroococcales, Pleurocapsales, Oscillatoriales, Nostocales und Stigonematales. Morphologisch gesehen sind sie eine heterogene Gruppe von phototrophen Bakterien. Sie unterscheiden sich von anderen phototrophen Bakterien dadurch, dass sie oxygene Phototroph sind, das bedeutet dass bei der Photosynthese Sauerstoff freigesetzt wird. Man nimmt an das Cyanobakterien die ersten Sauerstoff erzeugenden phototrophen Organismen auf der Erde waren und für die Umwandlung der ursprünglich anoxischen in eine oxische Erdatmosphäre verantwortlich sind. (Brechner, 2001, S.317.f.)

Cyanobakterien sind gramnegativ und können einzellig vorkommen oder mehrzellig. Die Zellform ist meist kugelig bis stäbchen- und fadenförmig. Es sind in etwa 1500 Cyanobakterien in der Phycologie (Algenkunde) beschrieben worden. (Huber, Ziegler, 2000, S.117-S.119)

Weltweit sind sie in Süß-, Brack- und Salzwasser, sowie im Boden verbreitet, jedoch sehr selten unter sauren Bedingungen. Bei vielen Planktonarten sind Gasvesikel verbreitet, die der Auf- und Abwärtsbewegung im Wasser dienen. (Brechner, 2001, S.317-S.318)

Die Zellhüllen der Cyanobakterien bestehen aus einer Cytoplasmamembran auf der außen die Zellwand liegt, welche in Mureinschicht und eine äußere Membran unterteilt ist. Die letzt genannte Membran besteht aus Lipopolysacchariden und Protein. Es können zum Teil noch ein oder mehrere, oft geschichtete und dicke äußere Hüllen aufgelagert sein, die wahrscheinlich aus Polysacchariden aufgebaut sind. Die unten stehende Abbildung verdeutlicht den schematischen Aufbau der Zellhülle. (Huber, Ziegler, 2000, S.117-S.119)

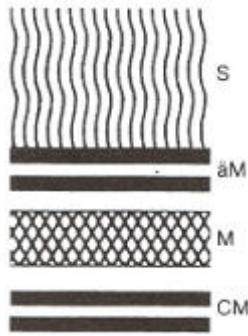


Abbildung.2: Schematischer Aufbau der Zellhüllen von Cyanobakterien
(Huber, Ziegler, 2000, S.119)

Als Reservestoff wird die Cyanophyceanstärke gespeichert, diese Ähnelt dem Glycogen im chemischen Aufbau. (Redaktion Schule und Lernen, 2000, S.111.)

Die Photosynthese der Cyanobakterien findet an bzw. in deren Thylakoidmembranen statt und läuft dort ähnlich wie in den Thylakoiden der Chloroplasten der eukaryotischen Algen ab. Nach der sogenannten „Endosymbiontenhypothese“ nimmt man an, dass Cyanobakterien bzw. Cyanobakterien-Vorfahren die Vorläufer der Chloroplasten höherer Pflanzen sind. Sie nutzen für ihre Photosynthese nicht nur den Teil des Lichtspektrums, den auch die grünen Pflanzen verwenden, sondern sie enthalten neben Chlorophyll a noch zusätzlich Phycobiline. Hierzu zählen Phycocyanin (blau) oder Phycoerythrin (rot). Phycocyanin verleiht vielen Cyanobakterien ihre bläuliche Färbung, manchen verleiht Phycoerythrin eine rötliche Färbung (z.B. Spirulina). Das Verhältnis der einzelnen Pigmente kann aber stark schwanken, so dass Cyanobakterien auch grün oder in einem dunklen Braun erscheinen können. (Huber, Ziegler, 2000, 118. und S.121.)

Als akzessorische Pigmente findet sich bei den Cyanobakterien Beta-Carotin, zum Teil auch Zeaxanthin, Echinenon und Myxoxanthophyll, jedoch kein Lutein. (Reder, 2003, S.6.)

Phycobiline ermöglichen die Nutzung eines größeren Bereiches des Lichtspektrums. Cyanobakterien können so Schwachlichtbereiche erfolgreich besiedeln, wie z.B. tiefe Schichten in Seen. (Streble, Krauter, 2002, S.63)

Viele Cyanobakterien sind außer zur Photosynthese auch in der Lage Stickstofffixierung zu betreiben, hierbei wandeln sie elementaren Stickstoff in Ammonium um.

Bei ihnen ist die Besiedelung und das Massenvorkommen in so genannten Grenzbiotopen besonders auffällig, in denen sie aufgrund ihres besonderen Stoffwechsels und der Fähigkeit lange größte Trockenheit und Kälte, sowie sehr hohe Temperaturen zu ertragen, leben können. (Huber, Ziegler, 2000, S.118)

Es kommt oft zu einer Massenentwicklung der Cyanobakterien vor allem in eutrophierten Gewässern. Hierbei tritt eine Verfärbung (rot, blau, grün) auf der Wasseroberfläche auf, die auch bis in zwei Meter Tiefe reichen kann, sie wird als „Wasserblüte“ bezeichnet. Es kann durch die Cyanobakterienansammlung auch eine dicke schaumige Masse auf der Wasseroberfläche auftreten. (Brechner, 2001, S.317-S.318)

Einige Formen können hochgiftige Neurotoxine und Lebertoxine bilden, die zu Fischvergiftungen und Viehvergiftungen führen können (z.B. Microcystis), aber auch beim Menschen Hautreizungen und nach Genuss von verunreinigten Lebensmitteln oder

Trinkwasser Vergiftungen verursachen können. Auf diese kritischen Stoffe wird allerdings später näher eingegangen. (Hubert, Ziegler, 2000, S.117-118)

Die Vermehrung der hauptsächlich im Süßwasser lebenden Cyanobakterien erfolgt nur durch Zweiteilung, eine geschlechtliche Fortpflanzung ist nicht bekannt. Eine Fortbewegung ist wegen der fehlenden Geißeln in der Regel nicht möglich. Nur wenige Arten können mit Hilfe ihres verquellenden Schleims auf feuchtem Untergrund Kriechbewegungen ausführen. Einige Arten sind Symbiosepartner bei Flechten, Palmfarnen (*Cycas*) und Algenfarnen (*Azolla*). Bekannte Gattungen sind die Gallertalge (*Nostoc*) auf feuchter Erde und die Schwingalge (*Oscillatoria*) im Schlamm verschmutzter Gewässer.

(Redaktion Schule und Lernen, 2000, S.111)

Bekannte Arten der Cyanobakterien sind *Spirulina platensis* und die Afa-Alge, beide werden als Nahrungsergänzungsmittel verkauft.

Tabelle 2 : *Photosynthesepigmente, Reservestoffe und Zellwandbestandteile der behandelten Algenarten im Überblick* (Reder, 2003, S.7. und Huber, Ziegler, 2002, S.184.)

Abteilung	Chlorophylle und Pigmente	Carotinoide	Reservestoffe	Zellwandbestandteile
Rotalgen (Rhodophyta)	a, Phycocyanin, Phycoerythrin	Beta-Carotin, Lutein	Florideenstärke	Cellulose, Galaktane
Braunalgen (Phaeophyta)	a, c	Beta-Carotin, Fucoxanthin, Violaxanthin	Laminarin	Cellulose, Kiselsäure, Alginat
Grünalgen (Chlorophyta)	a, b	Alpha-, Beta-, und Gamma-Carotin, Lutein, Violaxanthin, Zeaxanthin, Neoxanthin	Stärke	Protein, Polysaccharide, Cellulose, Xylane, Mannane
Cyanobakterien (Cyanophyta)	a, Phycocyanin, Phycoerythrin	Beta-Carotin, Myxoxanthophyll, Zeaxanthin, Echinenon	Cyanophyceenstärke	Murein, Lipopolysaccharide

5. Algen als Nahrungsmittel

Weltweit werden im Jahr mehr als 9 Millionen Tonnen marine Makroalgen geerntet. Haupterzeuger sind China, Japan, die Philippinen sowie Nord- und Südkorea. Zu den Makroalgen, die größten Teils in Aquakulturen angebaut werden, gehören die Braun-, Rot- und Grünalgen. In den asiatischen Ländern sind Algengerzeugnisse seit Jahrhunderten Bestandteil der traditionellen Küche. Auf dem deutschen Markt haben sie erst in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. (www.dge.de/print&sid=362)

Seit den 90er Jahren werden verstärkt Nahrungsergänzungen aus Mikroalgen angeboten und der Trend lässt auch im neuen Jahrtausend nicht nach.

Das folgende Kapitel stellt im ersten Teil die Algengerzeugnisse Nori, Kombu und Wakame näher vor und im zweiten Teil wird auch auf die Mikroalgen *Spirulina platensis*, *Chlorella pyrenidosa* sowie die Afa-Alge näher eingegangen

5.1. Algengerzeugnisse und ihre Verwendung



Abbildung 3: Algenvielfalt aus der japanischen Küche: ganz oben grüne und schwarze gepresste und getrocknete Blätter aus **Nori**, darunter Arame (wird in dieser Arbeit nicht behandelt), ganz unten grüne und helle **Kombublätter** (Schmidt, 2004, S.12)

5.1.1. Nori

Nori (japanisch) wird aus Rotalgen der Arten *Porphyra tenera* sowie *Porphyra yezoensis* hergestellt. Sie zählt nicht nur mengenmäßig, sondern auch geschmacklich zu den bedeutendsten Algenarten. (Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S.36.)

Bereits seit 300 Jahren werden in Japan Nori-Algen angebaut. Dort ist die Algenzucht zu Nahrungszwecken ein bedeutender Wirtschaftszweig, aber auch in anderen Ländern wie z.B. Korea wird die Nori-Alge angebaut. Die Nori-Erzeugnisse beider Länder sind so gut wie identisch, die koreanische Variante (Kim) ist aber etwas günstiger im Handel.

Manchmal ist Nori auch unter der chinesischen Bezeichnung „Zicai“ oder auf Englisch unter „purple laver“ zu finden. (Schreier, 2004, S.14.)

Den größten Marktwert aller Algen besitzt Nori, welche alleine von Japan für 1 Milliarde US Dollar produziert wird. (Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S.32.)

Da Japan in der Algenproduktion Marktführer ist, werden folgend die Anbaumethoden dieses Landes beschrieben.

Anbau:

Von September bis Oktober werden die Sporen der einjährigen Meerespflanze auf ein Netz gesetzt und in das Meer gehängt. Die Wachstumsperiode der Nori-Alge ist von September bis Mai, es sind während dieser Zeit mehrere Ernten möglich.

Sie werden nach ca. 1-2 Monaten geerntet, wenn sie auf etwa 20 cm Größe herangewachsen sind. Hierbei werden die Thalli (blattartige Auswüchse), entweder von Hand oder durch Ernteschiffe von den Seilen der Netze abgerissen. Die Basis des Thallus verbleibt am Seil und kann so erneut auswachsen. (Reder, 2003, S.14.)

Die Ernte erfolgt nachts oder früh morgens und anschließend werden sie sofort zu Nori-Blättern verarbeitet, da frisches Nori sein Aroma schnell verliert. (www.sojahaus.com)

Im Sommer, werden die Netze eingeholt und bei Wasserentzug unter 30% eingefroren, da während dieser Jahreszeit die Wassertemperatur für die Algen zu hoch ist.

Herstellung von Blatt-Nori:

Das frische Nori wird gut gewaschen, fein gehackt und mit Wasser zu einem Brei vermischt.

Um 4 kg Nori herzustellen werden 100 Liter Frischwasser benötigt.

Der Brei wird wie bei der Papierherstellung in ein eckiges Sieb gepresst und anschließend auf Bambusmatten in der Sonne getrocknet. Danach werden sie gestapelt und in einen maximal 50 °C heißen Ofen gegeben, um den Wassergehalt auf 18 % zu reduzieren.

(Reder, 2003, S.14.)

Im genormten Format von 19x21 cm und einem Gewicht von 2,5 Gramm kommen die Blätter in Zellophan- oder Folienbeuteln mit meistens zehn Blättern Inhalt in den Handel.

(Ryuichi, 1999, S.22.)

Heute ist die Herstellung automatisiert, doch bis vor 40 Jahren war dies noch reine Handarbeit. Nori-Blätter werden in Japan „Ita-Nori“ genannt, „Ita“ bedeutet soviel wie Blatt. Die gerösteten Nori-Blätter werden dann als „Yaki-Nori“ bezeichnet, da „Yaki“ auf japanisch rösten heißt.

Die nicht gezüchtete Nori-Alge wird „Iwanori“ genannt, sie kommt natürlich in feinen Felsspalten vor. Die an den Felsen klebenden Algen werden wie Nori im Winter geerntet, sie müssen jedoch mühsam von Hand gepflückt werden. Da um diese Jahreszeit das Meer oft stürmisch ist, kann diese Arbeit sogar lebensgefährlich sein. (www.sojahaus.com)

Verwendung von Nori:

Sie werden im Asia-Laden als dunkelgrüne, getrocknete und anschließend geröstete, quadratische, papierartige Blätter verkauft.

Benutzt werden sie unter anderem um Sushi-Rollen damit zu umwickeln.

Aus Nori wird auch das Gericht „Temaki“ hergestellt (siehe Abbildung 4 auf der nächsten Seite). Hierbei werden die Nori-Blätter zu Kegeln geformt, mit Reis, Gemüse und Fisch gefüllt.

Beim „Nigiri-Sushi“ (Hängeformte, belegte Sushi) wird ein Nori-Streifen (ca. 1 cm Breit und 7,5 cm lang) verwendet, um den Belag auf dem Sushi festzubinden. (Ryuichi, 1999, S.66-70)



Abbildung 4: Temaki-Sushi (Ryuichi, 1999, S.66.)

Die gerösteten und gesalzenen Nori-Blätter kann man auch schon „Pur“ zum knabbern in der Tüte kaufen. Zerkleinertes Nori kann als Zutat in eine Soße verwendet werden.

(www.vergetarisch.einkaufen.de)

Die Nori-Algen-Blätter sollten luftdicht verschlossen oder tiefgekühlt aufbewahrt werden, um das Aroma zu erhalten. (Yamamoto, Hicks, 2000, S11.)

5.1.2. Kombu

Kombu oder auch Konbu (japanisch) stammt aus Laminaria-Algen, wobei verschiedene Spezies eine Rolle spielen, vor allem wird die Braunalgenart *Laminaria japonica* verwendet, es wird aber auch die Grünalge *Laminaria digitata* für Kombu genutzt. In China wird es als „Haidai“ bezeichnet und im englischen Sprachgebrauch werden die Laminaria-Arten unter der Bezeichnung „Kelp“ (Seetang) zusammengefasst. (Reder, 2003, S.13.)

Kombu ist eine recht feste und dicke Algenart, sie wird in Japan in mehr als 100 verschiedenen Sorten, Größen und Qualitäten gehandelt.

(Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S.35.)

Diese langjährige Algenart wächst auf eine Größe von mehreren Metern heran.

(www.sojahaus.com)

Der Gebrauch von Kombu verbreitete sich schon vor langer Zeit in ganz Japan. Die traditionelle Küche Okinawas verwendete Kombu schon sehr früh und der Verbrauch ist dort heute noch der Höchste. Früher wurde Kombu nur aus Wildbeständen geerntet, im 20. Jahrhundert fand man dann eine Methode um ihn zu kultivieren und er wurde billig und überall verfügbar. Über 90% des japanischen Kombu kommen heute aus kultiviertem Anbau. (wikipedia.org/wiki/Kombu)

Nahe Verwandte (*L. digitata* und *L. saccharina*) werden an der Atlantikküste erfolgreich kultiviert. Aufgrund des hohen Jodgehaltes der Laminariaarten sind sie in Deutschland zum Verkauf als Lebensmittel nicht zugelassen.

(www.biothemen.de/wakame-nori-kombu.html)

Anbau:

Einerseits wird sie aus natürlichen Beständen geerntet, andererseits wird sie gezüchtet. Hierfür werden im Sommer Zoosporen auf dünnen Seilen ausgesät, die in Tanks mit gekühltem Meerwasser (10°C) heranwachsen können. Wenn die natürliche Temperatur des Meeres dauerhaft weniger als 20 °C beträgt, werden die jungen Sporophyten in dickere Seile eingedreht. Die Seile werden oben mit einem Schwimmer sowie unten mit einem Betonstein befestigt und dann senkrecht in das Meer gestellt. (Reder, 2003, S.13.)

Verwendung:

Kombu ist in Form von getrockneten harten, flachen meistens schwarzen Platten erhältlich, die mit einem feinen weißen Pulver (überschüssiges Salz) überzogen sind. Vor Verwendung wischt man die Platten mit einem feuchten Tuch ab, um den Belag zu entfernen. Er darf nicht zu lange gewaschen werden, da er hierdurch an Geschmack verliert. Verschrumpelte, dünne Ware sollte man nicht kaufen. (Ryuichi, 1999, S.21.)

Kombu löst seine Nährstoffe schnell im Wasser. Lässt man ein Stück 20 Minuten einweichen, lösen sich 90% des Jodids, 60% des Natriums sowie des Kaliums und 50% des Phosphors. Aus diesem Grund wird Kombu meist für Gerichte verwendet, in denen man das Wasser benötigt, wie z.B. als Suppenbasis. (www.sojahaus.com)

In der japanischen Küche wird es als eine von drei Hauptanteilen des „dashi, einer Suppengrundlage, verwendet. Hierfür wird ein Streifen (10 cm mal 10 cm) frischer Kombu mitgekocht und auch in der Suppe serviert oder die Brühe wird mit Pulver aus getrocknetem Kombu zubereitet. (Yamamoto, Hicks, 2000, S.28 und Ryuichi, 1999, S.104.)

Ein Hauptbestandteil der Miso-Suppe ist „dashi“. Dieser Suppe können fast alle Arten von Gemüse, Fleisch, Fisch oder Meeresgemüse zugefügt werden. Idealerweise eignet sich unter anderem Algen wie z.B. Kombu und Wakame, diese werden hierbei nicht mitgegart, sondern man gibt sie fein zerschnitten einfach in die Servierschale und gießt die heiße Suppe darüber. Zur Aromatisierung des Sushi-Reis wird ein Stück Kombu dem Kochwasser zugegeben. (Ryuichi, 1999, S.21-106.)

Auch der Verzehr von frischem Kombu ist möglich. Als Snack zu grünem Tee werden 5-6 cm lange und 2 cm breite Streifen süß-sauer eingelegter Kombu gereicht. In der chinesischen und koreanischen Küche wird er beim kochen von Bohnen zugesetzt, um das Gericht mit Nährstoffen anzureichern und die Verdaulichkeit zu verbessern.

Außerdem unterstreicht Kombu die natürliche Süße von bestimmten Gemüsesorten, wie z.B. von Möhren. (Rahn-Huber,1996, S.91.)

Kombu eignet sich auch zum Frittieren, oder aber fein zerstoßen als Würze oder Salzersatz. (www.biothemen.de/wakame-nori-kombu.html)

Blätter dieser Algenart können auch zu Zubereitung von Tee verwendet werden oder man kann sie verschiedenartig einlegen.

Die Laminaria-Arten enthalten viel Glutaminsäure, diese unterstützt die Geschmacksrichtung umami, daher sind Gerichte die hieraus zubereitet werden besonders schmackhaft.

(Reder, 2003, S.13 und 14)

5.1.3. Wakame



Abbildung 5: Wakame (Schmidt, 2004, S.412)

Wakame (japanisch) wird aus der Braunalge *Undaria pinnatifida* hergestellt. (Hogen et al., 2001, S.16.)

Diese einjährige Meerespflanze wächst in 6-12 Meter Tiefe und bildet 1-2 Meter lange sowie 30-40 cm breite Wedel, welche einem großen stark gezackten Blatt ähneln.

(Reder, 2003, S.16.)

In Japan werden ca. 100.000 Tonnen Wakame im Jahr produziert. Der Anteil aus Züchtung macht 90% aus. (www.sojahaus.com)

Nach Nori ist Wakame die wichtigste japanische Speisealge und gilt als Delikatesse. Sie wird seit kurzer Zeit auch in der Bretagne kultiviert.

(www.biothemen.de/wakame-nori-kombu.html)

Anbau:

Die Sporen werden auf Seile gesetzt und in das Meer gehängt. Über den Winter wachsen sie dann auf ihre stattliche Größe heran, bis sie in den Monaten von März bis Juni geerntet werden. (www.sojahaus.com)

Die Wedeln werden nach der Ernte erst mit Meerwasser und dann mit frischem Wasser gewaschen. Dann wird die mittlere Blattrippe, durch zerschneiden des Wedels in zwei gleiche Teile, entfernt. Die zerschnittenen Teile werden anschließend getrocknet oder in Salz eingelegt. (Reder, 2003, S. 16.)

Die Eingesalzene Wakame hat mehr Aroma als die getrocknete, allerdings ist die Haltbarkeit der getrockneten deutlich länger. (www.sojahaus.com)

Verwendung:

Wakame wird frisch (blanchiert) als Gemüse sowie getrocknet oder gesalzen verzehrt. (Schmidt, 2003, S.412.)

Die getrocknete Variante wird vor dem Kochen kurz in kaltem Wasser eingeweicht. Die gesalzene muss erst unter fließendem kaltem Wasser gewaschen werden und danach für ca. 3-5 Minuten in kaltem Wasser eingeweicht werden. Möchte man mit der Wakame einen Salat zubereiten, so sollte die Zeit des Einweichens verlängert werden. Nutzt man sie für Suppen, so kann die Zeit kürzer sein. (Yamamoto, Hicks, 2000, S.12)

Wie schon erwähnt wird Wakame zum aromatisieren von Miso-Suppe verwendet. (Ryuichi, 1999, S.26.)

Sie schmeckt aber auch ungekocht recht gut, so kann man sie auch zur Zubereitung von Salaten verwenden. (Rahn-Huber, 1998, S.91.)

Aufgrund des relativ hohen Salzgehaltes, sollte man die zubereiteten Gerichte weniger als üblich salzen. Ein mineralstoffreiches Würzmittel lässt sich aus der zerstoßenen getrockneten Wakame herstellen. (Schmidt, 2004, S.412.)

5.2. Nahrungsergänzungsmittel aus Mikroalgen

Seit ein paar Jahren finden Algen immer größere Beliebtheit als Nahrungsergänzungsmittel. Sie werden als Tabletten, Kapseln oder Pulver in Reformhäusern, Bioläden, Apotheken und dem Internet angeboten. Es haben sich hier besonders Produkte aus *Spirulina platensis*, *Chlorella pyrenoidosa* und *Aphanizomenon flos-aquae* durchgesetzt. (Rahn-Huber, 1998, S.14) Im Weiteren werden diese drei Mikroalgen näher beschrieben.

5.2.1. *Spirulina platensis*



Abbildung 6: *Spirulina platensis* unter dem Mikroskop (Rahn-Huber, 1998, S.14)

Die auf dem Nahrungsergänzungsmittelmarkt angebotenen Spirulina-Produkte werden aus der Mikroalge *Spirulina platensis* gewonnen. Von der WHO (Weltgesundheitsorganisation) wird sie als „Health-improving-Agent“ eingestuft. (Reeder, 2003, S.22.)

Sie gehört zur Gattung der Cyanobakterien, welche früher als Blaualgen bezeichnet wurden und ist die bekannteste Süßwasser-Alge. Dieses Bakterium ist mehrzellig und besteht aus zylindrischen Zellen mit einem Durchmesser von ungefähr 1-5 μm . Die Zellen sind in langen Filamenten hintereinander angeordnet und die Filamente sind rechts- oder linkshändig wendelförmig. Der Name *Spirulina* wird von der lateinischen Bezeichnung „spirula“ abgeleitet, was so viel wie „kleine Windung“ bedeutet. Die Wendeln haben einen Durchmesser von ca. 5-12 μm und ihre Länge kann 0,5 mm oder sogar mehr erreichen. Das Längenwachstum der Filamente erfolgt durch Zellteilung und die Vermehrung durch den Zerfall der Filamente. *Spirulina platensis* enthält Chlorophyll a und b, also dieselben Chlorophylle wie höhere Pflanzen, jedoch erhält sie durch andere Farbpigmente die das Chlorophyll überlagern einen rötlichen oder grün-bläulichen Farbton. (Huber, Ziegler, 2002, S.97.)

Die dünne Zellwand besteht aus Mucopolysacchariden. (Reeder, 2003, S.22.)

Ihr natürliches Vorkommen ist in stark alkalischen Salzseen mit einem pH-Wert zwischen 9 und 11. Vor allem kommt sie in subtropisch bis tropischen Gewässern mit hohem Salzgehalt in Mittelamerika, Afrika und Australien vor. (Rahn-Huber, S.98 und S.17.)

Flamingos leben in großen Kollonien an diesen Seen. Die *Spirulina*-Alge dient ihnen als Nahrung, welche sie mit ihren Schnäbeln aus dem Wasser filtern können. Ihre schöne Farbe ihres Gefieders verdanken sie den enthaltenen Carotinoiden.

Spirulina wird heute in speziellen Wasserfarmen in tropischen und subtropischen Gebieten in natürlichen Seen oder in extra dafür angelegten Becken kommerziell angebaut.

(www.biothemen.de/spirulina.html)

Hierfür wird meist im Labor ein reiner Stamm vorkultiviert, bevor er dann in die Zuchtbecken eingesetzt wird. Für ihr Wachstum benötigt sie Sonne und nährstoffreiches Wasser, denn die Qualität des Wassers bestimmt die spätere Beschaffenheit der Alge. Meistens wird Frischwasser in Kombination mit nährstoffreichem Meerwasser eingesetzt. Zudem wird das Wasser durch Schaufelräder ständig in Bewegung gehalten und mit weiteren Nährstoffen versorgt. In den warmen Monaten von April bis November kann sie täglich geerntet werden, da sich die Anzahl der Algen alle drei Tage verdoppelt. Bei der Ernte wird Spirulina in mehreren Arbeitsschritten aus dem Wasser gefiltert, das restliche Wasser aus der Algenmasse abgetropft wird diese in einem Trockenturm sprühgetrocknet. Abschließend wird das konzentrierte Algenpulver in nahrungsmittelleichte Foliensäcke abgefüllt und vakuumverpackt. Folgende Abbildung zeigt die Zuchtbecken der „Earthrise-Farm“ in Kalifornien. (baerbel-drexel.de)



Abbildung 7: Fußballfeld große Zuchtbecken der Earthrise-Farm in Kalifornien
(baerbel-drexel.de)

Die Hersteller der Spirulina-Produkte werben mit möglichst naturnahen Anbaumethoden, wie ausschließlichem Wachstum im natürlichen Sonnenlicht und Verzicht des Einsatzes von Pestiziden, Bestrahlung oder Gentechnik. Außerdem wird nur mit Nährstoffen aus pflanzlichen Rohstoffen gedüngt und eine ständige Wasser- und Abwasserkontrolle durchgeführt. (Reder, 2003, S. 21. und S.22.)

So wirbt z.B. die Firma „BlueBioTech“ in ihrem Forschungs-Profil damit, das sie geschlossene Systeme für die Züchtung von Mikroalgen verwenden. Außerdem nutzen sie, eine auf jede einzelne Algenart abgestimmte Kombination aus Nährstoffen, die „Scale-up Technologie“ und Induktionsmethoden sowie eine weltweit einzigartige Messtechnik auf zellphysiologischer Ebene. Durch eine elektronische Steuerung erhalten sie reproduzierbare Ergebnisse bei jeder Fermentation. Auch sind Separation, Reinigung und Trocknung auf die jeweilige Algenart abgestimmt. (www.bluebiotech.de/profil/forschung.htm)

Manche Hersteller strecken das Mikroalgenpulver mit Stärke, Apfelpektin oder anderen preiswerten Füllstoffen. Von solchen Produkten ist eher abzuraten. (Rahn-Huber, 1998, S.32.)

Ein Problem ist, dass die Mikroalgen während des Kultivierungsprozess mit anderen Algenarten verunreinigt werden können. Wenn diese „Fremdalgen“ Toxine bilden, reichern sich diese dann später im Spirulina-Produkt an. Um dieses Problem zu umgehen, muss der Anbauprozess stärker kontrolliert werden und hierbei dann vor allem das Wasser. In wie weit solche Maßnahmen helfen, wird zum jetzigen Zeitpunkt noch erforscht. (Reder, 2003, S. 21. und S.22.)

Es gibt auch spezielle Nahrungsergänzungen aus Spirulina. Von der Firma „Bluebiotech“ vermarktete Produkte sind z.B. „BlueBio-Eisen“, hierbei wird das Eisen im natürlichen

Wachstumsprozess der Mikroalge in *Spirulina platensis* gebunden. Weitere Produkte gibt es mit Zink, Selen, Coenzym Q10 und Calcium. (Bluebiotech-Produktkatalog)

Mikroalgen werden in der Regel in dunklen, lichtgeschütztem Glas- und Blechbehältern angeboten. Manchmal werden sie auch in Kunststoffdosen angeboten, welche sich jedoch nicht so gut eignen, da in dieser Verpackung ein schnellerer Nährstoffverlust bei der Lagerung entsteht.

Im verschlossenen, nicht angebrochenen Behälter sind Mikroalgen im Prinzip unbegrenzt haltbar. Angebrochene Mikroalgen-Produkte sollten lichtgeschützt und möglichst kühl aufbewahrt werden. Der beste Lagerplatz ist der Kühlschrank, eine dunkle Vorratskammer oder zumindest ein geschlossener Kühlschrank.

Für die Nahrungsergänzungen aus Mikroalgen wird im allgemein eine Tagesdosis von 3 Gramm angegeben. Bei Pulvern muss man die Menge abwiegen und in Tabletten entspricht dies etwa 6-9 Tabletten pro Tag (3-mal am Tag 2-3 Tabletten). Als Obergrenze wird von den Vertreibern der maximale Einsatz von 40 Gramm angegeben.

In Büchern sowie dem Internet sind viele Rezepte mit Spirulinapulver zu finden. Hierzu gehören z.B. Saltsaucen- und Dressings, Dips und Aufstriche und Drinks, das Pulver wird hierfür mit etwas Wasser angerührt und bei heißen Speisen erst nach dem Garen zugefügt. (Rahn-Huber, 1998, S. 34., S.37 und S.42.)

5.2.2. *Chlorella pyrenidosa*

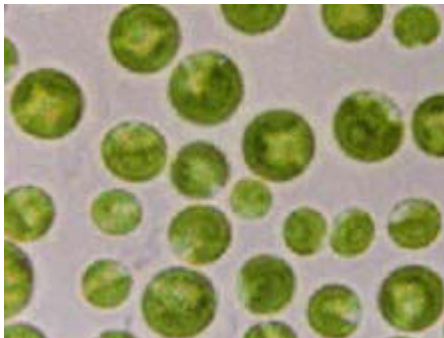


Abbildung 8: *Chlorella pyrenidosa* unter dem Mikroskop
(www.rainforest-newsletter.de)

Die angebotenen Chlorella-Produkte werden aus der Mikroalge *Chlorella pyrenidosa* hergestellt. (Reder, 2003, S.22.)

Der Name *Chlorella* leitet sich aus dem lateinischen ab und bedeutet soviel wie „kleines junges Grün“.

Mit der Entdeckung im Jahre 1890 durch den Biologen M.W. Beyernick wurde *Chlorella* in der westlichen Wissenschaft bekannt. (Liebke, 1998, S.11)

Sie gehört zur Gattung der Grünalgen und besteht nur aus einer Zelle, welche mit einem Durchmesser von 2-10 μm sehr klein ist. Die Abbildung 9 auf der nächsten Seite zeigt den schematischen Aufbau der Zelle.

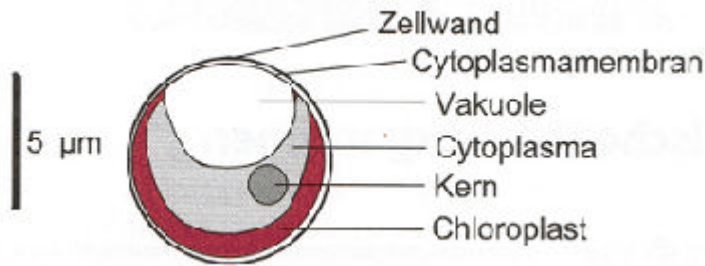


Abbildung. 9: Schema des Aufbaus der Grünalge Chlorella (Cypriónka, 2006, S.38)

Innerhalb der Gattung Chlorella unterscheidet man zehn Arten, von denen die meisten genetisch stark voneinander abweichen. Zu den bekanntesten Vertretern zählen Chlorella pyrenidosa und Chlorella vulgaris. (Liebke, 1998, S.11.)

Die Gattung Chlorella gilt als bevorzugtes physiologisches Studienobjekt. (Huber, Ziegler, 2002, S.250.)

Ihre grüne Farbe erhält sie durch Chlorophyll a und b, welches nicht durch weitere Farbpigmente überlagert wird. Die Zellwand besteht aus Cellulose. Ihre Vermehrung erfolgt nur ungeschlechtlich. Sie lebt im Süßwasser und ist in der Natur weit verbreitet, sie kann aber auch gezielt kultiviert werden. Bei der Produktionstechnologie wird zwischen der Kultivierung in offenen und geschlossenen Systemen unterschieden. (Huber, Ziegler, 2002, S.250. und 184.)

Unter offenen Systemen versteht man Zuchtbecken, die unter freiem Himmel direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind. Unter geschlossenen Systemen versteht man die Zucht in verglasten Treibhäusern oder in Röhren. (www.rainforest-newsletter.de)

In modernen Kultivierungsbetrieben wird Chlorella in mit Essigsäure versetztem Süßwasser gezüchtet. (Rahn-Huber, 1998, S.18.)

Die Produktion unterliegt auch hier strengen Richtlinien, die den Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmitteln und chemisch-synthetischen Wachstumsregulatoren verbietet. Die Ernte erfolgt wenn die Algenkonzentration in den Zuchtbecken einen idealen Wert erreicht hat. Würde Chlorella direkt nach der Ernte verzehrt werden, könnte der Mensch die Inhaltsstoffe zu weniger als 50% nutzen. Deshalb müssen in einem weiteren Schritt die festen Zellwände schonend mechanisch aufgebrochen werden, um die Nährstoffe für das menschliche Verdauungssystem zugänglich zu machen. Anschließend erfolgen die Sprühtrocknung und das Pressen zu Tabletten, wobei die meisten Hersteller weder Bindemittel noch Hilfsmittel verwenden. (www.rainforest-newsletter.de)

Bei der Zucht in einem geschlossenen System ist eine Kontamination mit Pathogenen ausgeschlossen. Bei der Produktionsweise in offenen Systemen können Staub, Schwermetalle und Pestizide die Kulturen durch den Kontakt mit der Atmosphäre kontaminieren. Auch sind hierbei eine Besiedelung mit Insekten und anderen Lebewesen sowie eine Kontamination mit deren Exkrementen nur schwierig zu vermeiden.

Bis zur Mitte des Jahres 2000 stammten alle in Deutschland erhältlichen Chlorella-Produkte aus offenen Zuchtssystemen in asiatischen Ländern wie Japan oder Taiwan, denn in anderen Ländern scheiterte damals die industrielle Nutzung an den mit der Kultivierung verbundenen hohen Kosten. In den asiatischen Ländern war die industrielle Nutzung jedoch aufgrund der günstigen klimatischen Bedingungen, verbunden mit der traditionellen Akzeptanz von Algenprodukten durch die einheimische Bevölkerung, möglich. Das Handelsvolumen beträgt derzeit in Asien ca. 500 Millionen US Dollar pro Jahr. Gegenwärtig werden ca. 30 Chlorella-Arten weltweit in Forschungseinrichtungen kultiviert und als Reinkultur vertrieben. Hinsichtlich einer industriellen Nutzung ist jedoch Chlorella pyrenidosa besonders geeignet,

da sie unter günstigen Kultivationsbedingungen sehr rasch wächst und aufgrund ihrer Zellwand Druckbelastungen bis zu 600 bar übersteht. Eine einzelne Mutterzelle teilt sich innerhalb von 16-20 Stunden in 4 Tochterzellen, die sich wiederum innerhalb der nächsten 16-20 Stunden nach dem gleichen Muster vervielfachen. Somit ist Chlorella hinsichtlich des pro Quadratmeter und Zeiteinheit möglichen Biomasse Ertrags allen bekannten Nutzpflanzen überlegen. (www.danziger138.de/Chlorella.htm)

In Japan gehört Chlorella mit über fünf Millionen Anwendern zu den bei weitem populärsten Nahrungsergänzungszusätzen. Dies beruht zum Teil auf einer behördlichen Klassifizierung als „praktisches Lebensmittel“ (ein Lebensmittel, welches anhand wissenschaftlicher Beweise als nützlich erscheint innerhalb einer Diät). (www.rainforest-newsletter.de)

Die verbreitetste Darreichungsform der Chlorella-Produkte ist die Tablette.

Auch bei Chlorella-Produkten wird eine Einnahme von 2-3 Gramm pro Tag empfohlen, welche zu den Mahlzeiten erfolgen sollte und mit viel Wasser eingenommen werden sollte.

(Liebke, 1998, S.23 und S.27.)

5.2.3. Afa-Alge

Afa-Algen-Produkte sind aus der Mikroalge Aphanizomenon flos-aquae (unsichtbar blühende Wasserblume). Diese Süßwasseralge gehört zur Gattung der Cyanobakterien, früher als Blaualgen bezeichnet. (Schreier, 2003, S.23.)

Die Afa-Algen findet man auch unter der Bezeichnung „Bluegreen-Algae“ auf dem Nahrungsergänzungsmittelmarkt, wo sie wesentlich teurer als Spirulina- bzw. Chlorella-Produkte angeboten werden. (Rahn-Huber, 1998, S.19)

Auch sie besitzt, wie Spirulina, eine leichtverdauliche Zellwand, welche aus Stärke besteht.

Sie kommt nur im ca. 250 Quadratkilometer großen „Upper Klamath Lake“ im US-Staat Oregon vor. Vor ca. 7.000 Jahren kam es zu einem Vulkanausbruch des nahe gelegenen

Mt. Mazama, hierbei wurde die Kappe des Berges gesprengt und die Mineralstoffe wurden aus dem Inneren der Erde in einem großen Umkreis verstreut. Über die Tausenden von Jahren sammelte sich Wasser in dem Krater an, so entstand der „Crater Lake“. Zusammen mit weiteren warmen und kalten Quellen speist er heute den tiefer gelegenen „Klamath Lake“ mit seinem mineralstoffreichen Wasser. Diese Zuflüsse werden „Rivers of Light“ genannt. Hinzu kommt auch ein günstiges Klima mit bis zu 300 Sonnentagen im Jahr, welches für das Wachstum der Algen notwendig ist. Die Ernte erfolgt mit Booten, wenn die Algen tagsüber an die Wasseroberfläche steigen. (www.naturel.biz...)

Da die Produkte aus der Afa-Alge nicht künstlich gezüchtet werden können und sie deswegen ausschließlich aus dem „Klamath Lake“ stammen, ist ihre Anwendung als Nahrungsergänzungsmittel durchaus bedenklich. Denn bestimmte Stämme von Aphanizomenon flos-aquae besitzen die Fähigkeit zur Neurotoxinbildung (Anatoxin-A) und können zudem mit anderen Cyanobakterien verunreinigt sein, die ebenfalls Toxine bilden können. In den USA haben Untersuchungen an den Afa-Algen-Produkten ergeben, dass diese erhebliche Mengen Microcystin (lebertoxisch) enthalten können. (Reder, 2003, S.23.)

5.2.4. Die Firma Bluebiotech als Beispiel für Hersteller von Mikroalgen als Nahrungsergänzung

BlueBioTech wurde als Start-up-Unternehmen der Biotechnologie Branche im Dezember 2000 gegründet. Hieraus ist inzwischen eine Firmengruppe entstanden. Diese besteht aus der Marketing- und Vertriebszentrale BlueBioTech International GmbH in Hamburg, der Entwicklungs- und Forschungs-Abteilung bei der BlueBioTech GmbH in Büsum und der Algenfarm mit Standort in China.

BlueBioTech stellt Nahrungsergänzungen aus *Spirulina platensis* und *Chlorella pyrenoidosa* her, sie produzieren aber auch Produkte für die Medizin und Kosmetik. Außerdem werden die Produkte auch im Bereich der Aquakultur genutzt.

Die Algenfarm in China ist zertifiziert nach ISO 9001 und liegt in einem Gebiet, in dem keine Landwirtschaft und keine Industrie angesiedelt sind. So sollen keine Pestizidrückstände in den Produkten vorliegen. Für die Züchtung wird reines Quellwasser verwendet. Durch Formationen der Gesteinsgeologie wird das Wasser auf natürliche Weise gereinigt und während der Filtration mit Mineralien angereichert. Bei der Ernte wird auf den optimalen Zeitpunkt geachtet und bei der Weiterverarbeitung der Algen werden schonende Verfahren in Reinräumen genutzt. Die Nährstoffe bleiben so in größtmöglichen Mengen erhalten. Dies wird in regelmäßigen Analysen zur Qualitätssicherung an akkreditierten Laboren in China und Deutschland untersucht.

Zu den Produkten die BlueBioTech vermarktet zählen neben *Spirulina* 100% Rein, eine Mischung aus *Spirulina* und *Chlorella*, sowie etliche *Spirulina*-Varianten, wie z.B. *Spirulina*-Eisen, *Spirulina*-Zink, *Spirulina*-Selen und *Spirulina*-Calcium, sowie ein *Spirulina*-Diät Drink mit dem man ganze Tagensmahlzeiten ersetzen soll. Letztendlich gibt es auch noch „Belloissimo“ ein Futterergänzungsmittel mit *Spirulina* für Hunde zur Unterstützung der Gesundheit und Vitalität. Weitere Entwicklungen neuer Rezepturen für Futterergänzungsmittel für Katzen und Pferde stehen unmittelbar vor der Marktreife.

(BlueBioTech-Produktkatalog)

6. Ernährungsphysiologische Bedeutung

Es werden im Folgenden die Nährstoffe von insgesamt drei der behandelten Algen dargestellt. Zum einen von Wakame und Kombu, als Beispiel für die Makroalgen und von *Spirulina platensis* als Beispiel für die Mikroalgen. Tabellarisch werden die verschiedenen Nährstoffe aufgeführt, um einen Gesamteindruck über die Inhaltstoffe zu geben, hierauf folgt eine Beschreibung der Nährstoffzusammensetzung, eine zusammenfassende Bewertung der enthaltenen Nährstoffe und zum Abschluss wird auf die Bedeutung der Ernährung mit Makro- bzw. Mikroalgen näher eingegangen.

6.1. Makroalgen

Im Folgenden werden die Nährstoffe von Wakame und Kombu (getrocknet) beispielhaft dargestellt. Die Daten über die Gesamtzusammensetzung der Nährstoffe beziehen sich auf Angaben aus dem Database Japan Science and Technology im März 2003 und entstammen der Quelle sojaha.com. Die Angaben des Rohproteingehaltes, der Aminosäurezusammensetzung und des Jodgehaltes sind aus einer Untersuchung über Wakame und Kombu als Nahrungsergänzung, sie erschien in Food Technology im Jahr 2004. Die enthaltenen Nährstoffe der Algen bzw. Algenprodukte unterliegen Schwankungen, da der Nährstoffgehalt von der Algenart und vom Ernteort bzw. von den Nährstoffen im Wasser, sowie auch von der Zubereitungsart abhängig ist. Somit kann der Nährstoffgehalt der Algen variieren.

6.1.1. Nährstoffzusammensetzung von Wakame und Kombu

Tabelle 3: Nährstoffzusammensetzung von **Wakame** (getrocknet, bezogen auf 100g Trockengewicht) (www.sojahaus.com)

Energie	117 kcal (490 KJ)	Vitamin D	0 µg
Wasser	12,7 g	Vitamin E	1 mg
Eiweiß	13,6 g	Vitamin K	660 µg
Fett	1,6 g	Vitamin B1	0,39 mg
Kohlenhydrate	41,3 g	Vitamin B2	0,83 mg
Asche	30,8 g	Niacin	10,5 mg
Natrium	6600 mg	Vitamin B6	0,09 mg
Kalium	5200 mg	Vitamin B12	0,2 µg
Calcium	780 mg	Folsäure	440 µg
Magnesium	1100 mg	Pantothensäure	0,46 mg
Phosphor	350 mg	Vitamin C	27 mg
Eisen	2,6 mg	gesättigte FS	0 g
Zink	0,9 mg	einfach ungesättigte FS	0 g
Kupfer	0,08 mg	mehrfach ungesättigte FS	0 g
Mangan	0,3 mg	Cholesterin	0 mg
Vitamin A, Retinol	0 µg	Ballaststoffe	32,7 g
Vitamin A, Carotin	7800 µg		

Tabelle 4: Nährstoffzusammensetzung von **Kombu** (getrocknet, bezogen auf 100g Trockengewicht) (www.sojahaus.com)

Energie	145 kcal (607 KJ)	Vitamin D	0 µg
Wasser	9,5 g	Vitamin E	0,9 µg
Eiweiß	8,2 g	Vitamin K	90 µg
Fett	1,2 g	Vitamin B1	0,48 µg
Kohlenhydrate	61,5g	Vitamin B2	0,37 µg
Asche	19,6 g	Niacin	1,4 mg
Natrium	2800 mg	Vitamin B6	0,03 mg
Kalium	6100 mg	Vitamin B12	0 µg
Calcium	710 mg	Folsäure	260 µg
Magnesium	510 mg	Pantothensäure	0,21 mg
Phosphor	200 mg	Vitamin C	25 mg
Eisen	3,9 mg	gesättigte FS	0,31 g
Zink	0,8 mg	einfach ungesättigte FS	0,27 g
Kupfer	0,13 mg	mehrfach ungesättigte FS	0,28 g
Mangan	0,3 mg	Cholesterin	0 mg
Vitamin A, Retinol	0 µg	Ballaststoffe	27,1 g
Vitamin A, Carotin	1100 µg		

Tabelle 5: Rohproteingehalt in g/100g Trockengewicht und die Aminosäurezusammensetzung in mg/g der Makroalgen Wakame (*Undaria pinnatifida*) und Kombu (*Laminaria digitata japonica*) (Kolb et al., 2004, S.59)

Rohproteingehalt (g/100g)	Wakame	Kombu
	16,3 +/- 1,27	6,2 +/- 0,4

Aminosäuren (in mg/100g)

(Kolb et al., 2004, S.59)

Die essentiellen Aminosäuren sind fett markiert.

	Wakame	Kombu
Asparaginsäure	101,8 +/- 12,7	46,9 +/- 4,3
Glutaminsäure	106,5 +/- 5,7	38,6 +/- 1,1
Serin	57,6 +/- 0,8	24,5 +/- 2,0
Threonin	73,3 +/- 5,7	34,1 +/- 4,6
Glycin	87,6 +/- 8,7	33,1 +/- 4,1
Alanin	272 +/- 7,0	45,1 +/- 6,3
Arginin	84,1 +/- 11,7	29,6 +/- 2,3
Prolin	55,2 +/- 4,0	19,1 +/- 1,4
Valin	168,4 +/- 3,2	60,1 +/- 7,6
Methionin	35,8 +/- 4,2	14,9 +/- 1,1
Isoleucin	79,1 +/- 1,8	26,1 +/- 3,5
Leucin	137 +/- 13,6	44,5 +/- 0,9
Tryptophan	4,3 +/- 0,2	1,9 +/- 0,1
Phenylalanin	78 +/- 1,7	28,2 +/- 0,7
Cystein	24,1 +/- 1,7	19,6 +/- 1,7
Lysin	111,2 +/- 10,7	47,7 +/- 2,3
Histidin	52,5 +/- 3,7	23,8 +/- 1,4
Tyrosin	43,1 +/- 1,6	17,4 +/- 1,3
<u>Total</u>	1571,6 +/- 98,7	554,6 +/- 46,7

*Tabelle 6: Übersicht über enthaltene Nährstoffe in 100g **Wakame** Trockengewicht und der Gehalt an Nährstoffen in Prozent des empfohlenen Tagesbedarfs*

Nährstoff	In 100g enthalten *1)	RDA (25-51 J.) *2)	% der RDA in 100g *3)
Natrium	6600 mg	550mg	1200%
Kalium	5200 mg	830mg	626,51%
Calcium	780 mg	1000mg	78%
Magnesium	1100 mg	350mg (Männer) bzw. 300mg (Frauen)	314,29% bzw. 366,66%
Phosphor	350 mg	700mg	50%
Eisen	2,6 mg	10mg (Männer) bzw. 15mg (Frauen)	26% bzw. 17,33%
Zink	0,9 mg	10mg (Männer) bzw. 7mg (Frauen)	9% bzw. 12,86%
Vitamin A, Carotin	7800 µg	1000µg (Männer) bzw. 800µg (Frauen)	780% bzw. 975%
Niacin	10,5 mg	16mg (Männer) bzw. 13mg (Frauen)	65,63% bzw. 80,77%
Vitamin B6	0,09 mg	1,5mg (Männer) bzw. 1,2mg (Frauen)	6% bzw. 7,5%
Vitamin B12	0,2 µg	3µg	6,66%
Folsäure	440 µg	400µg	110%
Pantothensäure	0,46 mg	6mg	7,66%
Vitamin C	27 mg	100mg	27%
Ballaststoffe	32,7 g	30g	109%

*1) (www.sojaha.com)

*2) (DGE et al., 2000, S. 151, 159, 169, 165, 174, 191, 69, 109, 113, 131, 117, 123, 137)

*3) (nach eigenen Berechnungen)

Tabelle 7: Übersicht über enthaltene Nährstoffe in 100g **Kombu** Trockengewicht und der Gehalt an Nährstoffen in Prozent des empfohlenen Tagesbedarfs

Nährstoff	In 100g enthalten *1)	RDA (25-51 J.) *2)	% der RDA in 100g *3)
Natrium	2800 mg	550mg	509,09%
Kalium	6100 mg	830mg	734,94%
Calcium	710 mg	1000mg	71%
Magnesium	510 mg	350mg (Männer) bzw. 300mg (Frauen)	145,71% bzw. 170%
Phosphor	200 mg	700mg	28,57%
Eisen	3,9 mg	10mg (Männer) bzw. 15mg (Frauen)	39% bzw. 26%
Zink	0,8 mg	10mg (Männer) bzw. 7mg (Frauen)	8% bzw. 11,43%
Vitamin A, Carotin	1100 µg	1000µg (Männer) bzw. 800µg (Frauen)	110% bzw. 137,5%
Vitamin D	0 µg	5µg	0%
Vitamin E	0,9 µg	14mg (Männer) bzw. 12mg (Frauen)	6,43% bzw. 7,5%
Vitamin K	90 µg	-	-
Vitamin B1	0,48 µg	1,2mg (Männer) bzw. 1,0mg (Frauen)	40% bzw. 48%
Vitamin B2	0,37 µg	1,4mg (Männer) bzw. 1,2mg (Frauen)	26,43% bzw. 30,83%
Niacin	1,4 mg	16mg (Männer) bzw. 13mg (Frauen)	8,75% bzw. 10,77%
Vitamin B6	0,03 mg	1,5 mg (Männer) bzw. 1,2mg (Frauen)	2% bzw. 2,5%
Vitamin B12	0 µg	3µg	0%
Folsäure	260 µg	400µg	65%
Pantothensäure	0,21 mg	6mg	3,5%
Vitamin C	25 mg	100mg	25%
Ballaststoffe	27, 1 g	30g	90,33%

*1) (www.sojahaus.com)

*2) (DGE et al., 2000, S. 151, 159, 169, 165, 174, 191, 69, 79, 87, 101, 105)

*3) (nach eigenen Berechnungen)

Tabelle 8: Jodgehalt in Wakame und Kombu bezogen auf 100g Trockengewicht und der Gehalt in Prozent des empfohlenen Tagesbedarfs
(Kolb et al., 2004, S.60 und DGE, 2000, S.179)

Nährstoff	In 1g Wakame enthalten	In 1g Kombu enthalten	RDA (25-51 J.)	% der RDA in 100g
Jod	0,26mg	1,70mg	200µg = 0,2mg	130% bzw. 850%

6.1.2. Beschreibung der Nährstoffzusammensetzung

Wakame

Mineralstoffe:

Wakame enthält pro Gramm 66 mg **Natrium**. Der empfohlene Tagesbedarf beträgt 550 mg (Frauen und Männer, 25-51 J.). Ein Gramm Wakame würde somit zu 12% die empfohlene Tagesdosis decken und 10g würden 120% der Tagesdosis decken.

Pro Gramm enthält Wakame auch 52 mg **Kalium**. Der empfohlene Bedarf liegt bei 830 mg pro Tag (Frauen und Männer, 25-51 J.). Ein Gramm deckt somit den Tagesbedarf zu 6,27% bzw. deckt 10g den Tagesbedarf zu 62,65%.

(DGE, 2000, S.151)

Wakame enthält pro Gramm 7,8 mg **Calcium**. Der Tagesbedarf von 1000 mg (Frauen und Männer, 25-51 J.) wird also von 10 g zu 7,8% gedeckt.

(DGE, 200, S.159)

Pro Gramm sind 11 mg **Magnesium** in Wakame enthalten. Der empfohlene Tagesbedarf liegt bei 350 mg für Männer (25-51 J.) und bei 300 mg für Frauen (25-51 J.). Eine Menge von 10 g Wakame deckt den Tagesbedarf eines Mannes zu 31,43% und den einer Frau zu 36,66%.

(DGE, 200, S.169.)

Wakame enthält pro Gramm 3,5 mg **Phosphor**. Der Tagesbedarf (Frauen und Männer, 25-51 J.) liegt bei 700 mg. Der Tagesbedarf wird von 10 g Wakame zu 5% und von einem Gramm zu 0,5% gedeckt. (DGE, 200, S.165.)

Pro Gramm enthält Wakame 0,026mg **Eisen**. Der Tagesbedarf eines Mannes (25-51 J.) liegt bei 10 mg pro Tag und der einer Frau (25-51 J.) bei 15 mg pro Tag. Eine Menge von 10g deckt somit den Tagesbedarf eines Mannes zu 2,6% und den einer Frau zu 1,73%.

(DGE, 2000, 174)

Eine Menge von 10 g Wakame enthält 0,09 mg **Zink**. Der Tagesbedarf eines Mannes (25-51 J.) entspricht 10 mg und der einer Frau (25-51 J.) entspricht 7 mg. Eine Menge von 10 g Wakame deckt so den Tagesbedarf eines Mannes zu 0,9% und den einer Frau zu 1,29%.

(DGE, 2000, S.191)

Vitamine:

Wakame enthält pro Gramm 78 µg **Carotin**. Der Tagesbedarf für Vitamin A liegt bei 1000 µg für Männer (25-51 J.) und bei 800 µg für Frauen (25-51 J.). Der Tagesbedarf eines Mannes wird somit von einem Gramm Wakame schon zu 7,8% und der einer Frau zu 9,75% gedeckt.

(DGE, 2000, S.69)

Wakame enthält in 10 g eine Menge von 0,1 mg **Vitamin E**. Der Tagesbedarf eines Mannes (25-51 J.) liegt bei 14 mg und der von Frauen (25-51 J.) liegt bei 12 mg. Der Tagesbedarf eines Mannes wird von 10 g Wakame zu 0,71% und der einer Frau zu 0,83% gedeckt.

(DGE, 2000, S.87.)

Wakame enthält 0,039 mg **Vitamin B1** in einer Menge von 10 g. Der Tagesbedarf für Männer (25-51 J.) entspricht 1,2 mg und der von Frauen 1 mg. Eine Menge von 10 g Wakame deckt somit den Tagesbedarf eines Mannes zu 3,25% und den einer Frau zu 3,9%.

(DGE, 2000, S.101)

Wakame enthält 0,083 mg **Vitamin B2** in 10g. Der Tagesbedarf eines Mannes (25-51 J.) liegt bei 1,4 mg und der einer Frau bei 1,2 mg. Eine Menge von 10 g Wakame deckt also den Tagesbedarf eines Mannes zu 5,93% und der einer Frau zu 6,92%.

(DGE, 2000, S.105)

Wakame enthält 0,02 µg **Vitamin B12** in einer Menge von 10 g. Der empfohlene Tagesbedarf (Frauen und Männer, 25-51 J.) liegt bei 3 µg. Eine Menge von 10 g Wakame deckt somit den Tagesbedarf zu 0,66%.

(DGE, 2000, S.131)

Wakame enthält 0,009 mg **Vitamin B6** in 10g. Der Tagesbedarf von einem Mann (25-51 J.) liegt bei 1,5 mg und der einer Frau (25-51 J.) bei 1,2 mg. Der Tagesbedarf von einem Mann wird von 10 g Wakame zu 0,6% und der einer Frau zu 0,75% gedeckt.

(DGE, 2000, S. 113)

Wakame enthält 44 µg **Folsäure** in 10 g. Der Tagesbedarf (Frauen und Männer, 25-51 J.) liegt bei 400 µg. Eine Menge von 10 g Wakame deckt so den Tagesbedarf zu 11%.

(DGE, 2000, S.117)

Wakame enthält in 10 g eine Menge von 1,05 mg **Niacin**. Der empfohlene Tagesbedarf eines Mannes (25-51 J.) entspricht 16 mg und der einer Frau (25-51 J.) entspricht 13 mg. Der Tagesbedarf von einem Mann wird von 10 g Wakame zu 6,56% und der einer Frau zu 8,08% gedeckt. (DGE, 2000, S.109.)

Wakame enthält 0,046 mg **Pantothensäure** in 10 g. Der Tagesbedarf (Frauen und Männer, 25-51 J.) liegt bei 6 mg. Der Tagesbedarf wird von 10 g Wakame zu 0,77% gedeckt.

(DGE, 2000, S.123)

Wakame enthält 2,7 mg **Vitamin C** in 10 g. Der Tagesbedarf (Frauen und Männer, 25-51 J.) liegt bei 100 mg. Eine Menge von 10 g Wakame deckt so den Tagesbedarf zu 2,7%.

(DGE, 2000, S.137)

Weitere Nährstoffe:

Pro Gramm enthält Wakame 0,327 g **Ballaststoffe**. Die empfohlene Tagesmenge an Ballaststoffen liegt bei 30 g. Eine Menge von einem Gramm Wakame erfüllt den Tagesbedarf so zu 1,09%.

Kombu

Mineralstoffe:

Kombu enthält pro Gramm 28 mg **Natrium**. Bei einem Tagesbedarf von 550 mg (Männer und Frauen, 25-51 J.) macht dies schon 5,09% des empfohlenen Tagesbedarfs aus.

(DGE, 2000, S.151)

Kombu enthält pro Gramm 61 mg **Kalium**. Bei einem Tagesbedarf von 830 mg (Männer und Frauen, 25-51 J.) macht dies 7,35 % der empfohlenen Tagesmenge aus.

(DGE, 2000, S.151.)

Kombu enthält 71 mg **Calcium** in 10 g. Bei einem Tagesbedarf von 1000 mg (Männer und Frauen, 25-51 J.) macht dies 7,1 % des empfohlenen Tagesbedarfs aus.

(DGE, 2000, S.159)

Kombu enthält 51 mg **Magnesium** in 10 g. Bei einem Tagesbedarf von 350 mg (Männer, 25-51 J.) bzw. 300 mg (Frauen, 25-51 J.) macht dies 14,57% bzw. 17% der empfohlenen Tagesmenge aus. Bereits ein Gramm erfüllt den Tagesbedarf eines Mannes zu 1,46% und den einer Frau zu 1,7%. (DGE, 2000, S.169)

Kombu enthält 20 mg **Phosphor** in 10 g. Bei einem Tagesbedarf von 700 mg (Männer und Frauen, 25- 51 J.) macht dies 2,86% des empfohlenen Tagesbedarfs aus.

(DGE, 2000, S.165)

Kombu enthält 0,39 mg **Eisen** in 10 g. Bei einem Tagesbedarf von 10 g (Männer, 25-51 J.) bzw. 15 g (Frauen, 25-51 J.) macht dies 3,9% bzw. 2,6% der empfohlenen Tagesmenge aus.

(DGE, 2000, S.174)

Kombu enthält 0,08 mg **Zink** in 10g. Bei einem Tagesbedarf von 10 mg (Männer, 25-51 J.) bzw. 7 mg (Frauen, 25-51 J.) macht dies nur 0,8% bzw. 1,14% der empfohlenen Tagesmenge aus. (DGE, 2000, S. 191)

Vitamine:

Kombu enthält 0,09 mg **Vitamin E** in 10 g. Bei einem Tagesbedarf von 14 mg (Männer, 25-51 J.) bzw. 12 mg (Frauen, 25-51 J.) macht dies 0,64% bzw. 0,75% des empfohlenen Tagesbedarfs aus.

(DGE, 2000, S.87)

Kombu enthält 0,048 mg **Vitamin B1** in 10 g. Bei einem Tagesbedarf von 1,2 mg (Männer, 25-51 J.) bzw. 1 mg (Frauen, 25-51 J.) macht dies 4% bzw. 4,8% der empfohlenen Tagesmenge aus.

(DGE, 2000, S.101)

Kombu enthält 0,037 mg **Vitamin B2** in 10 g. Bei einem Tagesbedarf von 1,4 mg (Männer, 25-51 J.) bzw. 1,2 mg (Frauen, 25-51 J.) macht dies 2,64% bzw. 3,08% des empfohlenen Tagesbedarfs aus.

(DGE, 2000, S. 105)

Kombu enthält 0,003 mg **Vitamin B6** in 10g. Bei einem Tagesbedarf von 1,5 mg (Männer, 25-51 J.) bzw. 1,2 mg (Frauen, 25-51 J.) macht dies nur 0,2% bzw. 0,25% des empfohlenen Tagesbedarfs aus.

(DGE, 2000, S.113)

Kombu enthält 26 µg **Folsäure** in 10 g. Bei einem Tagesbedarf von 400 µg (Männer und Frauen, 25-51 J.) macht dies 6,55% der empfohlenen Tagesmenge aus.

(DGE, 2000, S.117)

Kombu enthält 0,14 mg **Niacin** in 10 g. Bei einem Tagesbedarf von 16 mg (Männer, 25-51 J.) bzw. 13 mg (Frauen, 25-51 J.) macht dies nur 0,88% bzw. 1,08% des empfohlenen Tagesbedarfs aus.

(DGE, 2000, S.109)

Kombu enthält 0,021 mg **Pantothensäure** in 10 g. Bei einem Tagesbedarf von 6 mg (Männer und Frauen, 25-51 J.) macht dies nur 0,35% des empfohlenen Tagesbedarfs aus.

(DGE, 2000, S. 123)

Kombu enthält 2,5 mg **Vitamin C** in 10 g. Bei einem Tagesbedarf von 100 mg (Männer und Frauen, 25-51 J.) macht dies 2,5% der empfohlenen Tagesmenge aus.

(DGE, 2000, S. 137)

Weitere Nährstoffe:

Kombu enthält pro Gramm 0,271 g **Ballaststoffe**. Bei einem Tagesbedarf von 30 g (Männer und Frauen) macht dies schon 0,90% der empfohlenen Tagesmenge aus.

6.1.3. Zusammenfassende Bewertung der Nährstoffe in Makroalgen

Die ostasiatische Bevölkerung (Japan, Korea, China) nutzen die Makroalgen traditionell in ihrer Ernährung, man nimmt an das die dortige niedrige Brustkrebs-Rate mit dieser Ernährungsform zusammenhängt.

Die erste limitierende Aminosäure in Wakame und Kombu ist Tryptophan. Zusammen mit Körnern bzw. Samen und Hülsenfrüchten können sie jedoch die biologische Wertigkeit von Wakame und Kombu erhöhen und stellen somit vor allem für Veganer und Vegetarier eine gute Proteinquelle dar.

Marine Algen sind eine hervorragende Quelle für Beta-Carotin, Folsäure, Niacin, Vitamin B1 und B2, aber auch Vitamin B12 ist z.B. in Wakame enthalten. Momentan ist jedoch noch nicht eindeutig klar wie gut die Bioverfügbarkeit von Vitamin B12 aus Algen ist.

Außerdem sind Marine Algen auch eine gute Mineralstoffquelle, die Zusammensetzung und der Gehalt sind aber von dem Nährstoffgehalt des Wassers abhängig. Der Mineralstoffgehalt von Makroalgen ist höher als der in essbaren Landpflanzen und tierischen Lebensmitteln, somit können sie in kleinen Mengen verzehrt unsere Nahrung mit wichtigen Mineralstoffen ergänzen. (Kolb et a., 2004, S.57-S.58)

Kombu ist reich an Jod, Eisen, Calcium, Phosphor, Vitamin C und B1, sowie Alginsäure. Außerdem ist viel Magnesium enthalten.

Wakame enthält Magnesium, Calcium, Kalium, Phosphor, Eisen, Vitamin C und den B-Komplex, Fucoidin sowie Alginsäure. Der Gehalt an Glutaminsäure gibt Wakame einen Geschmacksverstärkenden Effekt.

(Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S.34 und S.36.)

Es gibt Braunalgen, die mit einem Gehalt von 100 mg Calcium pro Kilogramm Trockenmasse 10- bis 14-mal mehr Calcium enthalten als dieselbe Menge Kuhmilch. Der Gehalt an Jod in den Meeresalgen kann ebenfalls sehr hoch sein, was im Kapitel kritische Inhaltsstoffe unter dem Punkt Jod behandelt wird.

Da Algen ein sehr konzentriertes Nahrungsmittel sind, werden sie in der Regel nur in kleinen Mengen verzehrt. (Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S.33. bis 34.)

Die Marinen Algen enthalten zwischen 40 und 60% Kohlenhydraten und einen großen Anteil an Ballaststoffen. Das Protein der Makroalgen, dessen biologische Wertigkeit sehr hoch ist und annähernd dem des Hühnereiweiß entspricht, macht einen Anteil zwischen 5-35% aus. Die Schwankungsbreite ist von Algenart und Alter, aber auch von der Erntesaison abhängig. Den höchsten Eiweißgehalt weist Nori auf. Mit 35% enthält sie fast soviel Eiweiß wie die Sojabohne. Marine Algen können aufgrund der Aufnahmefähigkeit des äußeren Zellgewebes die Mineralien wie Calcium, Eisen, Jod und Phosphor aus dem Meerwasser absorbieren.

(Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S.33-34.)

Die Kohlenhydrate in Phaeophyceae (Braunalgen), beinhalten lösliche Ballaststoffe, wie Alginate, Laminarin, Fucoidan und Cellulose, sie sind unverdaulich für den Organismus. Sie können metallische Ionen binden und können so Schwermetalle über den Fäzes aus dem Körper ausscheiden. (Kolb et al., 2004, S. 57-58)

Im Tierversuch zeigten Alginate eine Blutfettsenkende Wirkung. (Reeder, 2003, S. 16.)

Der Fettgehalt in Makroalgen ist sehr niedrig, er liegt im Bereich zwischen 1-5 % in der Trockenmasse. Die Lipide in Makroalgen haben eine höhere Zusammensetzung an ungesättigten Fettsäuren als Landpflanzen. Außerdem besitzen Makroalgen auch antibiotische und antikanzerogene Eigenschaften. (Klob et al., 2004, S.58.)

Algen unterstützen Verdauung und Stoffwechsel und regen allgemein den Kreislauf an. In wissenschaftlichen Studien konnten mittlerweile die schützende Wirkung auf Körperzellen, der vorbeugende Effekt bei Lichtbedingter Hautalterung, die Verbesserung des Blutbildes und die Stärkung des körpereigenen Immunsystems bewiesen werden. Durch chemische und enzymatische Fettspaltung können Störungen des Blutzuckerhaushalts und des Cholesterinspiegels ausgeglichen werden. Durch den Gehalt an Aminosäuren wie Tyrosin, Glycin und Prolin können Stress, psychische Erschöpfung und Depressionen gehemmt und die Konzentrations- und Merkfähigkeit verbessert werden. Algen können aufgrund des Ballaststoffgehaltes auch bei Darmproblemen angewendet werden.

(Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S.34.)

Wie jede Pflanze haben Makroalgen neben den essentiellen Nährstoffen auch bioaktive Substanzen ohne Nährstoffcharakter vorzuweisen. Zu diesen gesundheitsfördernden Sekundärenpflanzenstoffen mit pharmakologischer Wirkung und Ballaststoffen zählen beispielsweise Algenfarbstoffe, (wie Chlorophyll und Carotinoide), Gerüstsubstanzen (Polysaccharide, wie Alginsäure, Fucoidan und Laminarin, Pektin, Schleimstoffe, Galaktane), Sterole (Fucosterol) und Polyphenole (Phlorotannine).

In den Werbeaussagen von Anbietern algenhaltiger Phytotherapeutika und Nahrungsergänzungsmittel, sowie in populären Ernährungsratgebern werden Algen als so genannte „Nährstoffbomben“ und Wunderdrogen gegen nahe zu jede Krankheit gepriesen. Diese Behauptungen stützen sich allerdings nicht auf wissenschaftliche Wirkungsbeweise in der Praxis. Ein Nachweis von Wirkprofilen im Labor und Tierversuch bedeutet nämlich noch keinen Beweis für die medizinische Anwendbarkeit beim Menschen, vor allem bei lebensbedrohlichen Erkrankungen wie Krebs und AIDS. Etwa 40 Präparate aus Algen sind weltweit in der klinischen Prüfung, zugelassen ist jedoch noch keines. Allerdings ist auch zu beachten, dass es mindesten 30 Jahre von der Entdeckung eines neuen Stoffes bis zur Entwicklung eines marktfertigen Medikaments dauert.

Im Weiteren werden einige Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung von Algeninhaltsstoffen vorgestellt. (Steneberg, 2004, S.102)

Antikancerogene und antimikrobielle Wirkungen

Die geringe Brustkrebsrate der Japanerinnen führen einige Wissenschaftler auf deren hohe Jodzufuhr durch Fisch und Algen zurück. Es liegen aber bis Heute noch keine direkten Beweise, in Form einer Studie an Patientinnen vor, dass jodreiche Lebensmittel das „Antibrustkrebs-Element“ in der japanischen Kost sind.

Es können eventuell auch andere Algeninhaltsstoffe eine antikancerogene Wirkung haben. Im Jahre 1983 stellte Jane Teas eine mögliche Brustkrebsverhütende Wirkung durch den häufigen Verzehr von Laminaria-Arten (Braunalgen) fest. Als mögliche antikancerogene Wirkung machten sie den positiven Einfluss auf Darmflora und Immunsystem durch den Gehalt an Ballaststoffen, 1-3 β -Glucan und antibiotisch wirksame Substanzen verantwortlich. Überhaupt scheinen Makroalgen antimikrobielle Eigenschaften zu haben. Es enthielten 28 von 44 vor Gran Canaria gesammelte Arten von Rot-, Grün- und Braunalgen Substanzen einige gram-negativer und gram-positiver Bakterien, Mycobakterien, Hefen und Pilzen. Bereits 1954 wurde von Walsh und Vacca bei Untersuchungen der Art *Ascophyllum nodosum* festgestellt, dass die antimikrobielle Wirkung scheinbar Jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt. Die höchste Aktivität war im Frühjahr festzustellen und die niedrigste im Winter. (Steneberg, 2004, S.103.)

Inhaltstoffe mit möglicher pharmazeutischer Wirkung

Sulfatierte Polysaccharide (SPS)-Fucoidan:

Als potentielle Arzneimittel werden seit Jahren die Reservestoffe und Zellwandbestandteile von Makroalgen untersucht. Im Blickpunkt stehen vor allem sulfatierte Polysaccharide (SPS). Bekannte SPS in Rhodophyta (Rotalgen) sind Agar Agar und Carrageen. In Phaeophyta (Braunalgen) sind die häufigsten SPS die Fucane, wozu die Substanzen Fucoidin, Fucoidan, Ascophyllan, Sargassan und Glucuronoxylifucan zählen. Die Fucoidane sind allerdings die Spitzenreiter der Forschungsaktivitäten. Hierbei wurden, in wissenschaftlichen Laboren und im Tierversuch, antitumorale, antivirale, antibakterielle, antioxidative, immunotrope und antikoagulierende Eigenschaften entdeckt. Die Struktur der Fucoidane variiert je nach Algenart, sie bestimmt die biologische Aktivität. Da Fucoidane als Nebenprodukt bei der Alginatproduktion für Lebensmittel- und Kosmetikindustrie anfallen, sind sie leicht zu gewinnen. In Zukunft können die Fucoidane möglicherweise zur Behandlung von Herpes (HSV1) und HIV-Erkrankungen, Helicobakter pylori-Infektionen und zur dermalen Wundheilung eingesetzt werden. Japanische Forscher konnten unter der Gabe von Wakame im Tierexperiment und auch im Laborversuch an menschlichem Gewebe die Abtötung von Brustkrebszellen beobachten. Die Antitumoraktivität von Fucoidan ist möglicherweise über die Steigerung der Immunantwort zu erklären.

Bei sulfatierten Polysacchariden wurde auch eine antivirale Aktivität auf Retroviren wie HIV und Herpes Simplex Virus in Laborteste nachgewiesen. In vitro wurde ermittelt, dass mit dem Grad der Sulfatisierung die Anti-HIV-Aktivität zunimmt. Es sind jedoch bisher erst wenige Polysaccharide isoliert und untersucht worden, somit sind die pharmakologischen antiviralen Eigenschaften und Mechanismen der SPS aus Algen noch weitgehend unbekannt. Ein patentiertes Fucoidan (Galacto Fucan Sulfat GFS) aus der Braunalge *Undaria pinnatifida* wird von dem australischen Biotechnologie-Unternehmen Marinova für den Einsatz bei den Viruserkrankungen Herpes Simplex und HIV sowie Brustkrebs erforscht. In Tests mit menschlichen Probanden mit aktiven und latenten Herpes-Infektionen ergeben nach dem Verzehr von GFS erhöhte Heilungsraten.

Pharmakologen arbeiten derzeit an einer Verbesserung und Standardisierung der Gerinnungshemmenden und auch Lipidsenkenden Eigenschaften natürlicher SPS. Wissenschaftlich ist jedoch noch nicht erwiesen ob, diese Effekte durch einen erhöhten Verzehr von Braunalgen erreicht werden können. Der Einsatz von Fucoidan in Functional-Food und Arzneimitteln wird diskutiert. (Sterneberg, 2004, S.101.-105.)

Weitere Inhaltsstoffe

Braunalgen (z.B. die *Laminaria*-Arten) enthalten nennenswerte Mengen an Phytosterolen, wie *Fucosterol*. In vitro wurden antithrombotische Eigenschaften nachgewiesen und auch über lipidsenkende Eigenschaften wird berichtet.

Manche Braunalgen bilden auf ihrer Oberfläche Substanzen, welche Fraßfeinde abschrecken und Angriffe von Mikroben verhindern. Sie wurden als *Phlorotannine* (zu den Polyphenolen zählende Oligomere von Phloroglucinol) identifiziert.

Die Omega-3-Fettsäuren senken erhöhte Blutfettwerte, verbessern die Fließeigenschaften des Blutes und sind Bestandteil von Nervenzellen und Neurotransmittern. Eine Zufuhr von *Eicosapentaensäure* (EPA) führt zur Bildung von Prostaglandinen, -zyklinen und Leukotrienen mit antithrombotischen, gefäßerweiternden und entzündungshemmenden Eigenschaften. Allerdings liegen noch keine Empfehlungen über die optimale Zufuhrmenge von EPA zu Verringerung der Arteriosklerose vor. Algen enthalten geringe Mengen EPA, Spitzenreiter ist Wakame (186mg/100g), danach kommt Hoshinori (30-45 mg/100g) und dann Kombu

(20-25 mg/100g). Algen können also in Mengen aufgenommen gute EPA-Quellen darstellen. Im Vergleich zu Fischöl ist der EPA-Gehalt in Algen jedoch eher gering. Hering enthält 2070 mg EPA/100g Omega-3-Fettsäuren. Es gibt Eier mit einem besonders hohen Gehalt an EPA, um dies zu erreichen, wird das Legehennenfutter mit Algen-Biomasse ergänzt.

Auch in der Naturheilkunde werden Algen, in Form von Agar Agar, Carrageen und Blasentang, genutzt. In der traditionellen Chinesischen Medizin werden drei algenhaltige Präparate angewendet. Hierzu zählen Kombu (Braunalge Laminaria und Grünalge Ecklonia), Haizao (Braunalge Sargassum) und Zicai (Rotalge Porphyra). Es werden häufig Kombinationspräparate der Algen zur Behandlung von Kropf, Schwellungen und Geschwülsten eingesetzt. Der therapeutische Einsatz von Algen ist aber umstritten, da auch gesundheitsschädigende Wirkungen durch natürliche Inhaltsstoffe (Carageen), sowie Anreicherungen von Arsen, Jod und Toxinen nicht auszuschließen sind.

Agar Agar und Carrageen, Alginate und Alginsäure werden ernährungsphysiologisch als Ballaststoffe gesehen. Aufgrund ihrer Wasserlöslichkeit, bilden sie auch im Darm hochviskose Lösungen. Durch die Volumenerhöhung wird die Energiedichte verringert, wodurch das Sättigungsgefühl erhöht und die Resorption von Zucker und Cholesterin verringert wird. Belegt ist auch eine positive Wirkung auf die Darmflora. Agar Agar und Carrageen hemmen die Aktivität der bakteriellen Enzyme β -Glucuronidase und β -Gluconidase. Hierdurch wird sowohl die Reaktivierung gebundener Kanzerogene als auch die Bildung von β -glykosidisch gebundener Saccharide wie z.B. Cellulose verhindert. Eventuell kann der Bindungseffekt der Algen-Polysaccharide im Verdauungstrakt zur gezielten Schadstoffreduktion des Körpers therapeutisch genutzt werden. Die Anwendung sollte aber wegen der verminderten Spurenelement-Resorption sorgfältig überlegt sein. Im Tierexperiment belegt ist, dass eine zehnpromzentige Zugabe von Wakame ins Futter wirksam die Aufnahme und Rückresorption von Dioxinen aus dem Verdauungstrakt verhindert. Natrium-Alginat wird zur Reduzierung der Strontium(Sr)-Aufnahme durch die Nahrung, im Falle einer nuklearen Katastrophe, empfohlen. Die Verwendung von Carrageenan in Lebensmitteln und Pharmakologie ist umstritten, aufgrund der zunehmenden Erkenntnisse über Krebs verursachende Eigenschaften. Im Tierversuch wurde festgestellt, dass insbesondere das kurzkettige Carrageen Tumore im Magen-Darm-Trakt auslösen kann. Experimente ergeben das, dass von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) als sicher eingestufte natürlich vorkommende höhermolekulare Carrageen im Verdauungstrakt in die Gesundheitsgefährdende Form abgebaut wird. (Steneberg, 2004, S.101.-105.)

6.2. Mikroalgen

Im Folgenden wird der Nährstoffgehalt von *Spirulina platensis* beispielhaft für die Mikroalgen dargestellt. Die Daten entstammen einer Analyse der Firma BlueBioTech, die *Spirulina*-Produkte zur Nahrungsergänzung anbietet. Hiernach werden die wichtigsten ernährungsphysiologischen Inhaltsstoffe beschrieben.

6.2.1. Nährstoffzusammensetzung von *Spirulina platensis*

Im Folgenden werden die Nährstoffe von *Spirulina platensis* beispielhaft für die Mikroalgen dargestellt. Die Daten entstammen einer Nährstoffanalyse des Nahrungsergänzungsherstellers BlueBioTech. Laut Hersteller sind die Angaben durchschnittswerte und unterliegen den bei Naturprodukten üblichen Schwankungen.

Tabelle 9: Allgemeine Nährstoffanalyse von *Spirulina platensis* bezogen auf 100g Trockengewicht (BlueBioTech-Auf einen Blick)

Makronährstoffe in %

Proteine	60
Kohlenhydrate	14
Fette	6,5

Essentielle Aminosäuren in %

Isoleucin	5,2
Leucin	9,5
Lysin	5,2
Methionin	1,3
Phenylalanin	5,1
Threonin	5,7
Tryptophan	2,6
Valin	6,0

Nicht-essentielle Aminosäuren:

Alanin	8,9
Arginin	7,1
Asparaginsäure	7,8
Cystein	0,3
Glutaminsäure	15,2
Glycin	6,1
Histidin	1,7
Prolin	4,4
Serin	6,2
Tyrosin	4,3

Vitamine in mg/100g

Biotin (H)	0,132
Vitamin B12 (Cobalamin)	0,079
Phanthothensäure (Vitamin B5)	40,9
Folsäure	0,175
Nicotinsäure	14,8
Vitamin B6 (Pyridoxin)	0,33
Vitamin B2 (Riboflavin)	2,32
Vitamin B1 (Thiamin)	2
Vitamin E (Alpha-Tocopherol)	1

Mineralstoffe in mg/100g

Calcium	430
Phosphor	820
Eisen	70
Natrium	720
Chlorid	64
Magnesium	350
Mangan	3,1
Zink	3,2
Kalium	1000
Selen	< 0,1
Kupfer	0,75
Chrom	0,15

Weitere Inhaltsstoffe in mg pro 100g

Carotinoide	380-413
Chlorophyll	1500-2000
Pestizide	Nicht nachweisbar
Arsen	<0,025
Blei	<0,08
Cadmium	<0,01
Quecksilber	<0,002

Tabelle 10: Übersicht über enthaltene Vitamine in 100g Spirulina Trockengewicht und der Gehalt an Vitaminen in Prozent des empfohlenen Tagesbedarfs

Nährstoff	In 100g enthalten *1)	RDA (25-51 J.) *2)	% der RDA in 100g *3)
Vitamin B12 (Cobalamin)	0,079 bzw. 79µg	3µg bzw. 0,003mg	26333%
Phanthothensäure (Vitamin B5)	40,9	6mg	681,66%
Folsäure	0,175 bzw. 175µg	400µg bzw. 0,4mg	43,75%
Nicotinsäure	14,8	16mg (Männer) 13mg (Frauen)	92,5% bzw. 113,85%
Vitamin B6 (Pyridoxin)	0,33	1,5mg (Männer) bzw. 1,2mg (Frauen)	22% bzw. 27,5%
Vitamin B2 (Riboflavin)	2,32	1,4mg (Männer) bzw. 1,2mg (Frauen)	165,71% bzw. 193,33%
Vitamin B1 (Thiamin)	2	1,2mg (Männer) bzw. 1mg (Frauen)	166,66% bzw. 200%
Vitamin E (Alpha- Tocopherol)	1	14mg (Männer) bzw. 12mg (Frauen)	7,14% bzw. 8,33%

*1) (BlueBioTech- Auf einen Blick)

*2) (DGE et al., 2000, S.131, 123, 117, 109, 113, 105, 101, 87)

*3) (nach eigenen Berechnungen)

Tabelle 11: Übersicht über enthaltene Mineralstoffe in 100g Spirulina Trockengewicht und der Gehalt an Mineralstoffen in Prozent des empfohlenen Tagesbedarfs

Nährstoff	In 100g enthalten *1)	RDA (25-51 J.) *2)	% der RDA in 100g *3)
Calcium	430mg	1000mg	43%
Phosphor	820mg	700mg	117,14%
Eisen	70mg	10mg (Männer) bzw. 15mg (Frauen)	700% bzw. 466,66%
Natrium	720mg	550mg	130,91%
Chlorid	64mg	2000mg	3,2%
Magnesium	350mg	350mg (Männer) bzw. 300mg (Frauen)	100% bzw. 116,66%
Zink	3,2mg	10mg (Männer) bzw. 7mg (Frauen)	32% bzw. 45,71mg
Kalium	1000mg	830mg	120,48%
Selen	< 0,1mg bzw. 100µg	30-70µg bzw. 0,030- 0,070mg	333,3% bis 142,85%

*1) (BlueBioTech- Auf einen Blick)

*2) (DGE et al., 2000, S. 159, 165, 174, 151, 169, 191, 195)

*3) (nach eigenen Berechnungen)

6.2.2. Beschreibung der Nährstoffzusammensetzung

Im Folgenden wird auf den Gehalt der Nährstoffe in Spirulina näher eingegangen. Die Daten beziehen sich auf die vorangestellte Analyse von Spirulina platensis.

Vitamine:

Spirulina enthält 0,079 mg bzw. 79 µg **Vitamin B12** pro 100g Trockengewicht. Der empfohlene Tagesbedarf liegt bei 3 µg (Männer und Frauen, 25 und 51 J.) pro Tag. Um den Tagesbedarf zu decken müsste man 3,80 g Spirulina verzehren. Mit 3 g nimmt man 2,37 µg Vitamin B12 auf, was 79 % des Empfohlenen Bedarfs entspricht. (DGE, 2000, S.131.)

Spirulina enthält 2 mg **Vitamin B1** pro 100 g Trockengewicht. Der empfohlene Tagesbedarf liegt bei 1,2 mg pro Tag für Männer (25-51 J.) und 1 mg pro Tag für Frauen (25-51 J.). Um den Tagesbedarf zu decken müssten Männer 60 g und Frauen 50 g Spirulina verzehren. Die Menge von 3 g Spirulina enthält 0,06 mg Vitamin B1 und würde hiermit zu 5 % den Tagesbedarf von Männern und zu 6 % den von Frauen decken. (DGE, 2000, S.101.)

Spirulina enthält 2,32 mg **Vitamin B2** pro 100 g Trockengewicht. Die empfohlene Tagesdosis liegt bei 1,4 mg pro Tag für Männer (25-51 J.) und bei 1,2 mg pro Tag für Frauen (25-51 J.). Um den empfohlenen Tagesbedarf eines Mannes mit Spirulina zu decken, müsste er 60,34 g verzehren und eine Frau müsste 51,72 g zu sich nehmen. Die Menge von 3 g Spirulina enthält 0,070 mg Vitamin B2, dies entspricht 5 % des Tagesbedarfs eines Mannes und 5,83 % des Tagesbedarfs einer Frau. (DGE, 2000, S. 105.)

Spirulina enthält 0,33 mg **Vitamin B6** pro 100 g Trockengewicht. Der empfohlene Tagesbedarf liegt für Männer (25-51 J.) bei 1,5 mg pro Tag und für Frauen (25-51 J.) bei 1,2 mg pro Tag. Um den Tagesbedarf eines Mannes an Vitamin B6 mit Spirulina zu decken, müsste dieser 454,55 g zu sich nehmen und eine Frau 363,64 g verzehren. In 3 g Spirulina

sind 0,0099 mg Vitamin B6 enthalten, dies deckt den Tagesbedarf eines Mannes zu 0,66 % und den einer Frau zu 0,83 %. (DGE, 2000, S. 113.)

Pro 100g Trockengewicht enthält Spirulina 1 mg **Vitamin E**. Der Tagesbedarf eines Mannes (25-51 J.) entspricht 14 mg pro Tag und der einer Frau (25-51 J.) 12 mg pro Tag. Um den Tagesbedarf eines Mannes zu decken müssten 1,4 kg Spirulina verzehrt werden und um den einer Frau zu decken 1,2 kg. Die empfohlene Menge von 3 g Spirulina enthält 0,03 mg Vitamin E, das entspricht 0,21 % der empfohlenen Tagesdosis eines Mannes und 0,25 % der Tagesdosis einer Frau. (DGE, 2000, S87.)

Spirulina enthält auch **Niacin**, es sind 14,8 mg pro 100 g Trockengewicht. Der empfohlene Tagesbedarf liegt für Männer (25-51 J.) bei 16 mg pro Tag und für Frauen (25-51 J.) bei 13 mg pro Tag. Den Tagesbedarf eines Mannes decken 108,12 g Spirulina und den einer Frau decken 87,84 g Spirulina. Die Menge von 3 g Spirulina enthält 0,44 mg Niacin und deckt somit zu 2,75 % den Tagesbedarf eines Mannes und zu 3,38 % den einer Frau. (DGE, 2000, S.109.)

Spirulina enthält pro 100g Trockengewicht 40,9 mg **Pantothensäure**. Der Tagesbedarf von Frauen und Männern (25-51 J.) liegt bei 6 mg Pantothensäure pro Tag. Um diesen Tagesbedarf zu decken, muss man 14,67 g Spirulina verzehren. Die Menge von 3 g Spirulina enthält 1,23 mg Pantothensäure, was 20,5 % der empfohlenen Tagesdosis entspricht. (DGE, 2000, S.123.)

Spirulina enthält 0,132 mg bzw. 132 µg **Biotin** pro 100 g Trockengewicht. Der Tagesbedarf an Biotin liegt für Männer und Frauen (25-51 J.) bei 30-60µg. Um den Tagesbedarf zu decken müsste man, wenn man von empfohlenen 30 µg ausgeht, 22,73 g Spirulina verzehren. In 3 g Spirulina sind 3,96 µg Biotin enthalten, diese decken zu 13,2 % den empfohlenen Tagesbedarf. (DGE, 2000, S.127.)

Die Menge von 100g Spirulina enthält 0,175 mg bzw. 175 µg **Folsäure**. Der empfohlene Tagesbedarf (Männer und Frauen, 25-51 J.) liegt bei 400 µg pro Tag. Um seinen Tagesbedarf zu decken müsste man 228,57 g Spirulina verzehren. Mit einer Menge von 3 g nimmt man 5,25 µg Spirulina auf, was 1,31 % des empfohlenen Tagesbedarfs entspricht. (DGE, 2000, S.117.)

Mineralstoffe:

Spirulina enthält 720 mg **Natrium** pro 100 g Trockengewicht, um den empfohlenen Tagesbedarf (Männer und Frauen, 25-51 J.) von 550 mg zu decken müsste man 76,39 g Spirulina verzehren. Mit der Tagesdosis von 3 g Spirulina würde man 21,6 mg Natrium aufnehmen, was 3,93 % der empfohlenen Tagesdosis entspricht. (DGE, 2002, S. 151.)

Spirulina enthält 1000 mg **Kalium** pro 100 g Trockengewicht. Der empfohlene Tagesbedarf (Männer und Frauen, 25-51 J.) von 830 mg würde erreicht werden, wenn man 83 g Spirulina verzehren würde. Mit der Tagesdosis von 3 g Spirulina würde man 30 mg Kalium aufnehmen, was 3,61 % der empfohlenen Tagesdosis beträgt. (DGE, 200, S.151.)

Spirulina enthält 430 mg **Calcium** pro 100 g Trockengewicht. Der Tagesbedarf (Männer und Frauen, 25-51 J.) liegt bei 100 mg pro Tag. Um den Tagesbedarf zu decken müsste man 232,56 g Spirulina verzehren. Die Menge von 3 g Spirulina enthält 12,9 mg Calcium, dies entspricht 1,29 % der empfohlenen Tagesdosis. (DGE, 2000, S159.)

Spirulina enthält 64 mg **Chlorid** pro 100g Trockengewicht, um den Tagesbedarf (Männer und Frauen, 25-51 J.) von 2000 mg zu decken, müsste man 3,125 kg Spirulina verzehren. Mit einer Tagesdosis von 3 g Spirulina würde man 19,2 mg Chlorid aufnehmen, was knapp einem Prozent der empfohlenen Tagesdosis entspricht. (DGE,2000, S.151.)

In Spirulina sind pro 100 g Trockengewicht 350 mg **Magnesium** enthalten. Der empfohlene Tagesbedarf für Magnesium entspricht für Männer (25-51 J.) 350 mg und für Frauen (25-51 J.) 300 mg pro Tag. 100 g Spirulina würden den Tagesbedarf eines Mannes decken und 85,71 g den Tagesbedarf einer Frau. Mit 3 g Spirulina pro Tag würde man 10,5 mg aufnehmen, was 3 % bzw. 3,5 % der empfohlenen Tagesdosis an Magnesium ausmacht. (DGE, 2000, S.169.)

In Spirulina sind pro 100g Trockengewicht 3,2 mg **Zink** enthalten. Der empfohlene Tagesbedarf von Männern (25-51 J.) beträgt 10 mg und der von Frauen (25-51 J.) 7 mg pro Tag. Männer müssten somit 312,5 g Spirulina verzehren und Frauen 218,75 g verzehren um den Tagesbedarf zu erfüllen. Eine Menge von 3 g Spirulina enthält 0,096 mg Zink und deckt somit zu 0,96 % den Tagesbedarf von Männern und zu 1,37 % den von Frauen. (DGE, 2000, S.191.)

Spirulina enthält auch **Selen**, pro 100 g Trockengewicht ist es unter 0,1 mg bzw. unter 100 µg. Die empfohlene Tagesdosis für Selen liegt zwischen 30 und 70 µg (Männer und Frauen, 25- 51 J.). Um die empfohlene Tagesdosis zu decken müsste man 30 bis 70 g Spirulina verzehren. Die Menge von 3 g Spirulina enthält 0,003 mg bzw. 3 µg Selen was, wenn man von empfohlenen 30 µg pro Tag ausgeht 10 % des Tagesbedarfs entspricht. (DGE, 200, S195.)

Spirulina enthält pro 100 g Trockengewicht 820 mg **Phosphor**. Der empfohlene Tagesbedarf liegt bei 700 mg (Männer und Frauen, 25-51 J.). Eine Menge von 85,37 g Spirulina würde den Tagesbedarf an Phosphor decken. In 3 g Spirulina sind 24,6 mg Phosphor enthalten, dies entspricht 3,5 % der empfohlenen Tageszufuhr. (DGE, 2000, S.165.)

Spirulina enthält in 100g Trockengewicht 70 mg **Eisen**. Der Tagesbedarf eines Mannes (25-51 J.) beträgt 10 mg pro Tag und der einer Frau (25-51 J.) 15 mg pro Tag. Um den Tagesbedarf eines Mannes zu decken, müsste dieser 14,29 g Spirulina verzehren und eine Frau müsste 21,43 g verzehren. Die Menge von 3 Gramm Spirulina enthält 2,1 mg Eisen, das sind 21 % des Tagesbedarfs eines Mannes und 14 % des Tagesbedarfs einer Frau. (DGE, 2000, S.174.)

Weitere Inhaltsstoffe:

Pro 100 g Trockengewicht enthält Spirulina 380 bis 418 mg **Carotinoide**. Die empfohlene Tagesdosis für Vitamin A liegt bei 1000 µg bzw. 1 mg pro Tag für Männer (25-51 J.) und bei 800 µg bzw. 0,8 mg pro Tag für Frauen (25-51 J.). Eine Menge von 3 g Spirulina enthält 11,4 mg bis 17,47 mg Carotinoide. Geht man vom ersten Wert aus, so entspricht diese Menge dem 11,4-Fachen der empfohlenen Tagesdosis eines Mannes und dem 14,25-Fachen der empfohlenen Tagesdosis einer Frau. Schon ein Gramm Spirulina enthält 3,8 mg Carotinoide, was 380% der empfohlenen Tagesdosis von Männern und 475 % des Tagesbedarfs einer Frau ausmacht. (DGE, 2000, S.69.)

Spirulina enthält in 100g Trockengehalt 1500 bis 2000mg **Chlorophyll**. Für Chlorophyll liegen keine Richtwerte- bzw. Schätzwerte vor, allerdings ist die Aufnahme von grünem Gemüse und somit von Chlorophyll sehr wichtig für die Ernährung des Menschen. Ein Gramm Spirulina enthält 15 mg bis 20 mg Chlorophyll. Mit einer Menge von 3 g Spirulina würde man 45 mg bis 60 mg Chlorophyll aufnehmen.

Schwermetalle wie Arsen, Blei, Cadmium und Quecksilber sind zwar in Spirulina nachzuweisen, die Werte sind allerdings so gering, dass ein Verzehr im Grammbereich bedenkenlos ist.

6.2.3. Zusammenfassende Bewertung der Nährstoffe in *Spirulina platensis*

Spirulina enthält zu 60% hochwertige Proteine, darunter auch alle acht essentiellen Aminosäuren, Gamma-Linolsäure, viele Mineralsstoffe, darunter auch Zink, Selen, Eisen und Calcium. Außerdem enthält sie auch zahlreiche Vitamine, hierunter alle Vitamine des B-Komplexes, Vitamine E und Folsäure sowie Carotinoide, Chlorophyll und Phycocyanin. (Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S.39.)

Protein:

Spirulina hat mit 60% Protein den höchsten Proteingehalt aller natürlichen Nahrungsmittel. Die biologische Wertigkeit des Eiweiß ist vergleichbar mit der von Fleisch. Das Eiweiß aus Spirulina enthält jedoch kein Cholesterin. Seinen Proteinbedarf deckt man allerdings schmackhafter aus anderen Quellen. Sie enthält alle acht essentiellen Aminosäuren und weiter zehn der nicht-essentiellen Aminosäuren.

Vitamine:

Spirulina enthält eine Reihe Vitamine, siehe Tabelle 9 bzw. 10. Die Mikroalge deckt mit 3g Einnahme pro Tag den Bedarf an Vitamin B12 zu 79 % und der Bedarf an Vitamin A (Pro-Vitamin-A) wird sogar überschritten. Die Nährstoffe sind in Spirulina natürlich gebunden und sind vom Körper besser zu verwerten als synthetische Monosubstanzen. Außerdem sind sie auch verträglicher für Magen und Darm. Die Gefahr von toxischen Überdosierungen wie z.B. bei der Substitution mit Vitamin A besteht hier praktisch nicht.

Vitamin A (Pflanzliche Vorstufe ist das Beta-Carotin) ermöglicht das Sehen und die Dunkeladaptation der Netzhaut. Ein Mangel, wie in den Entwicklungsländern besonders häufig, kann zur Erblindung und zum Tode führen. Außerdem ist es ein wichtiges Hautschutzvitamin. Spirulina enthält 20-mal mehr Beta-Carotin als Karotten.

Carotinoide müssen im Magen-Darmtrakt erst aus den Pflanzenzellen herausgelöst werden, hierfür sind gut zerkleinerte Speisen oder aber auch Gemüsesäfte besonders günstig. Die Aufnahme von Spirulina in Pulverform bzw. als Tablette die sich dann auflöst ist also recht günstig.

Außerdem wirkt sich Fett für die Aufnahme positiv aus, da Carotinoide fettlöslich sind und zusammen mit Fett von den Darmzellen aufgenommen werden. Carotinoide wirken als Antioxidantien, da sie in der Lage sind als Radikalfänger zu wirken. Im Tierversuch konnte durch die Gabe von Beta-Carotin, die Entstehung von Hauttumoren, die durch UV-Licht ausgelöst werden, durch die Verabreichung von Carotinoiden verhindert werden. Viele der epidemiologischen Studien, welche den Zusammenhang zwischen der Aufnahmen einer carotinoidreichen Nahrung und dem Auftreten von Krebserkrankungen erforschen, zeigen, dass eine hohen Carotinoid-Aufnahme das Risiko für Krebs, gerade für Krebs der Atmungs- und des Verdauungstrakts senken kann.

Es wurde in internationalen Studien untersucht ob Carotinoide Lungenkrebs vorbeugen können, es zeigte sich jedoch, dass die Verabreichung von Beta-Carotin nicht die erwartete Wirkung hatte, es taten nämlich geringfügig mehr Lungenkrebsfälle auf als in der Vergleichsgruppe. Hierauf wurden weitere Studien abgebrochen. Dieser unerwartete Ausgang, wird zum einen damit erklärt, dass die an Lungenkrebs erkrankten Teilnehmer bereits vor Beginn der Studie irreparable Schädigungen an der Lunge hatten. Plausibel scheint dies wenn man beachtet, dass die Teilnehmer im Durchschnitt seit über 35 Jahren mindestens ein Päckchen Zigaretten pro Tag geraucht hatten. Zum anderen wurde aber auch vermutet, dass das verabreichte Beta-Carotin die Aufnahme anderer wirksamer Carotinoide aus dem Blut blockierte. Beta-Carotin wird zur Krebsprävention und vorbeugend gegen degenerative

Erkrankungen eingesetzt, Rauchern ist jedoch eine hohe Zufuhr an Beta-Carotin aufgrund der bisherigen Erkenntnis nicht zu empfehlen. (Leitzmann, Groeneveld, 1997, S. 61.)

Einige Gramm Spirulina enthalten die zur Vorbeugung gegen verschiedene Krebsarten empfohlene Menge von 15 mg Carotin (1 Gramm Spirulina enthält 3,8 mg Carotin, siehe vorhergehenden Teil).

Vitamin B12 ist eigentlich kaum in pflanzlichen Lebensmitteln, mit Ausnahme fermentierter Produkte wie z.B. Bier, Sauerkraut und Sojasoße enthalten. Bei Vegetariern kann es zu einem Mangel an Vitamin B12 kommen. Hierbei kann es zu einer perniziösen Anämie und neurologischen ausfällen kommen. Es ist aber auch für den Folsäurehaushalt wichtig. Ein Mangel an Folsäure während der Schwangerschaft wird mit aborten, Missbildungen und Neuralrohrdefekten in Verbindung gebracht. In neuester Zeit wird eine Kombination der Vitamine B12, B6 und Folsäure zur Prävention von Arteriosklerose eingesetzt. Spirulina wäre aufgrund ihres Gehaltes an Vitamin B12 eine alternative für Vegetarier.

(www.biothemen.de/spirulina.html)

Auch der Gehalt an Pantothersäure in Spirulina ist beträchtlich. Eine Einnahme von 3 Gramm Spirulina würde den Tagesbedarf von Männern und Frauen (25-51 J.) zu 20,5% decken. Pantothersäure gehört auch zu den Vitaminen der B-Gruppe. Sie ist von zentraler Bedeutung im intermediären Stoffwechsel, da sie essentieller Bestandteil des Coenzym A ist. Coenzym A spielt eine Schlüsselrolle beim Abbau von Fetten, Kohlenhydraten und verschiedenen Aminosäuren sowie bei der Biosynthese von Steroiden wie z.B. Cholesterin und Terpenen wie z.B. Vitamin A und E. In geringen Mengen kommt Pantothersäure jedoch in nahe zu allen Lebensmitteln vor. Ein erhöhter Bedarf liegt aber bei Diabetes mellitus, Absorptionsstörungen, die Einnahme von oralen Kontrazeptiva und Antibiotika sowie bei chronischem Alkoholkonsum vor. (Be Mäder, 1997, S.170-174.)

Mineralstoffe und Spurenelemente:

Der Tagesbedarf einiger Mineralsstoffe kann schon bei 10g Einnahme zu einem großen Anteil gedeckt werden und das bei einer minimalen Kalorien- und Fettzufuhr. Spirulina enthält nur 36 Kalorien in 10g und ist aufgrund ihrer Mineralstoffzusammensetzung auch für Menschen die Fasten oder abnehmen möchten. Neben den aufgeführten Mineralstoffen enthält Spirulina auch Barium, Bor, Chrom, Kobalt, Molybdän, Titan und Vanadium.

(www.biothemen.de/spirulina.html)

Der weltweit am häufigsten vorkommende Mineralstoffmangel ist der Eisenmangel 80 Prozent der Weltbevölkerung leiden daran und ungefähr ein Drittel ist anämisch. Warnsymptome sind Müdigkeit, Blässe und Schwindelgefühle. Weitere Folgen können Störungen des Immunsystems durch mangelhafte Blutbildung mit Verzögerung der körperlichen und geistigen Entwicklung bei Kindern sein. Gerade bei Frauen ist der Eisenbedarf erhöht, aufgrund der Menstruation. Eisenpräparate werden oft schlecht vertragen und können evtl. sogar gefährlich sein. Eisen ist zwar in fast allen Lebensmitteln enthalten, jedoch meist nur in geringen Mengen. Als guter Eisenlieferant gilt Fleisch, man müsste hiervon aber täglich 750 g verzehren. Zwar ist in Innereien mehr Eisen enthalten, jedoch sprechen andere Gründe gegen den häufigen Verzehr. Für Vegetarier sind Gemüse, Vollkornprodukte und Saaten als Eisenlieferanten geeignet. In einer Schwangerschaft, bei Blutverlusten oder Diäten reicht dies jedoch nicht zur Deckung des Bedarfs aus. Eine Menge von 3 Gramm Spirulina deckt den empfohlenen Tagesbedarf eines Mannes zu 14 % und den einer Frau zu 21 %. Eine Ergänzung der Nahrung mit Spirulina könnte somit für Frauen während der Schwangerschaft und für Vegetarier eine Möglichkeit sein die Eisenzufuhr über die Nahrung zu erhöhen. Allerdings sind ärztliche Untersuchungen trotzdem nötig.

Spirulina deckt mit einer Menge von 3 Gramm den Tagesbedarf (550 mg) an Natrium von Männern und Frauen (25-51 J.) schon zu 21%. Durch eine Zufuhr von Kochsalz (Natriumchlorid) wird der Tagesbedarf allerdings schon leicht gedeckt, denn 1 Gramm Kochsalz enthält 400mg Natrium und 600mg Chlorid.
(DGE et al., 2000, S.151. und Be Mäder, 1997, S.246-247.)

Weitere Inhaltsstoffe

Spirulina enthält auch den blauen Farbstoff Phycocyanin, der im Gegensatz zu den Carotinoiden wasserlöslich ist. Phycocyanin gilt als Entgifter und Radikalfänger in der Leber und den Nieren, deren Funktion er unterstützt und deren Zellen er schützt. Leber und Niere sind an der Entgiftung vom Blut beteiligt und so hohen Konzentrationen an schädlichen Stoffen ausgesetzt. Evtl. ist der erfolgreiche Einsatz von Spirulina bei Opfern der Strahlenkrankheit in Russland im hohen Phycocyaningehalt begründet. Auf diese Studie wird im folgenden Gliederungspunkt näher eingegangen.

Solche Ergebnisse, die eine Stimulation des Immunsystems und der Bildung von roten und weißen Blutkörperchen durch Spirulina zeigen, gibt es auch in Japan, Mexiko und den USA. Das Wirkungsspektrum der Antioxidantien bzw. des Phycocyanins ist aber noch weitgehend unerforscht. (www.biothemen.de/spirulina.html)

Enzyme:

Enzyme sind sehr spezifisch wirkende Biokatalysatoren, welche zu den Proteinen zählen. Sie beschleunigen chemische Umsetzungen im Organismus, das bedeutet alle Stoffwechselfvorgänge und Regulationsmechanismen im Körper. Es gibt tausende verschiedener Enzyme und genau so viele Vorgänge die sie steuern. Unerhitzte Lebensmittel enthalten stets Enzyme, somit sind sie auch in Spirulina enthalten. Die Zufuhr von Enzymen über die Nahrung ist allerdings noch nicht ausreichend erforscht.

Gamma-Linolensäure:

Spirulina enthält die sehr seltene Fettsäure Gamma-Linolensäure, die sonst nur in Hanf-, Nachtkerzen- und Borretschöl vorkommt. Sie enthält ungefähr 5-6% Fett, davon mehr als die Hälfte ungesättigter Fettsäuren und fast 1% Gamma-Linolensäure. Fettsäuren sind für den Menschen unverzichtbar, denn sie sind wesentlicher Bestandteil aller Membranen, die wiederum für die Funktion aller Zellen sowie den Informationsfluss zwischen den Zellen und somit auch den Nerven essentiell sind. Auch die Hormone, welche ebenfalls viele Körperfunktionen steuern, sind aus Fett aufgebaut. Die Omega-3-Fettsäuren, die z.B. in Fischen vorkommen, haben blutdrucksenkende und entzündungshemmende Eigenschaften, weshalb sie medizinisch zur Prävention koronarer Herzkrankheiten und Rheuma eingesetzt werden. (www.biothemen.de/spirulina.html)

Spirulina soll den Stoffwechsel und die Widerstandsfähigkeit des Immunsystems verbessern, den Cholesterinspiegel senken, Schutz vor Radioaktiverstrahlung bieten, die Blutbildung stimulieren und das körpereigene Selbstheilungsvermögen unterstützen.

(BlueBioTech-Produktkatalog)

Aufgrund dessen wird unter dem nächsten Gliederungspunkt näher auf die bisherige medizinische Forschung mit *Spirulina platensis* eingegangen.

6.2.4. Medizinische Forschung mit *Spirulina platensis*

Seit einigen Jahrzehnten werden medizinische Forschungen mit *Spirulina platensis* z.B. in Japan den USA und zum Teil auch in Europa durchgeführt. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über ausgewählte Studien. Anschließend werden Ergebnisse einzelner Studien kurz vorgestellt.

Tabelle 12: *Übersicht über medizinische Studien mit Spirulina platensis*
(www.spirulinasource.com)

Medizinisches Fachgebiet	Patient	Land	Jahr
Anti-AIDS-Virus-Effekt	Menschliche Zellen	USA	1996
Anti-viraler-Effekt	Menschliche Zellen	Japan	1996
Anti-Herpes-Virus-Effekt	Hamster	Japan	1993
Cholesterinsenkung	Menschen	Japan	1988
Cholesterinsenkung	Ratten	Japan	1984 und 1990
Reduzierung oraler Krebstumore	Hamster	USA	1986 und 1988
Reduzierung oraler Krebstumore	Menschen	Indien	1995
Stärkung des Immunsystems	Mäuse	Japan	1994
Stärkung des Immunsystems	Katzen	USA	1996
Anti-Diabetes-Effekt	Ratten	Japan	1991
Senkung von Bluthochdruck	Ratten	Japan	1990
Verbesserung der Ernährungssituation von Unterernährten	Menschen	Mexiko	1973
Verbesserung der Ernährungssituation von Unterernährten	Menschen	Indien	1991 und 1993
Bioverfügbarkeit von Eisen	Ratten	USA	1986
Verbesserung der Ernährungssituation bei Eisenanämie	Menschen	Japan	1978
Gewichtsverlust-Effekt	Menschen	Deutschland	1986
Reduzierung von Strahlenschäden	Menschen	Russland	1994

Cholesterin reduzierender Effekt:

Eine Studie wurde mit 30 Männern vom Department of Internal Medicine der Tokai-Universität im Jahr 1988 in Japan durchgeführt, die entweder einen hohen Cholesterinspiegel, leichten Bluthochdruck (Hypertension) oder hohe Blutfettwerte (Hyperlipidämie) besaßen. Sie zeigten niedrigere Serum-Cholesterin-Werte, niedrigere Triglycerid-Werte und LDL-Werte, nachdem sie über vier Wochen ihre Ernährung mit Spirulina ergänzt haben. Die Gruppe A verzehrte 4,2 Gramm (ca. 8 Tabletten) Spirulina täglich für acht Wochen. Das Total-Serum-Cholesterin sank bei ihnen signifikant um 4,5% innerhalb von 4 Wochen. Die Gruppe B verzehrte Spirulina für vier Wochen und beendete hiernach den Verzehr. Bei ihnen hat sich das Serum-Cholesterin zwar erst verringert, kehrte dann aber schließlich auf den anfänglichen Wert zurück.

Die Wissenschaftler fanden heraus, dass die Triglycerid-Werte sich unbedeutend verringerten, die LDL-Cholesterin-Werte verringerten sich jedoch signifikant um 6,1% innerhalb von vier Wochen. Die Reduktion des Serum-Cholesterins war bei den Männern höher, die von Anfang an die höchsten Cholesterin-Werte besaßen. Die Studie bestätigt einen Serum-Cholesterin senkenden Effekt von Spirulina, sowie einen günstigen Effekt bei kardiovaskulären Erkrankungen. Nachteile oder Nebenwirkungen sind nicht aufgetreten. Die japanische Studie hat sich jedoch leider nicht damit beschäftigt wie Spirulina den Cholesterinspiegel senkt. Becker et.al hatte den cholesterinsenkenenden Effekt schon früher während einer Gewichtsverlust-Studie mit Spirulina, im Jahr 1986 in Deutschland, entdeckt. Weitere Forschungen aus den Jahren 1983 und 1984, von Devi und Venkataraman sowie Kato und Takemoto, an Ratten in Japan zeigten, niedrige Cholesterin-Werte, jedoch keine Gewichtsabnahme, das lässt nahe liegen, dass kein Zusammenhang zwischen der Cholesterinreduktion und einem Gewichtsverlust besteht.

(www.spirulinasource.com)

Natürliches Beta-Carotin und Krebsprävention:

Viele Studien in der Vergangenheit beschäftigten sich mit Beta-Carotin und seinen Krebspräventiven Eigenschaften. In vielen wurde bewiesen, dass ein hoher Konsum von Obst und Gemüse die reich an Beta-Carotin sind das Risiko an Krebs (der Atmungsorgane und des oberen Verdauungstraktes) zu erkranken verringert. (Leitzman, Groeneveld, 1997, S.68)

Eine Studie von Ben Amotz aus dem Jahr 1987 an der Duke University in Israel verglich natürliches Beta-Carotin mit synthetischem. Natürliches Beta-Carotin wurde besser aufgenommen vom Körper, da es die 9-cis-Carotinoid-Isomere enthält, die bei synthetischem Beta-Carotin fehlt. Das legt nahe, dass natürliches Beta-Carotin z.B. aus Algen oder Gemüse stärker antioxidativ wirkt als synthetisches Beta-Carotin.

Anti-Krebstumor-Effekt:

Da Spirulina so reich an Beta-Carotin ist, wurde sie auf Anti-Krebs-Eigenschaften getestet. Die „Harvard University School of Dental Medicine“ konnte in einer Studie von Schwartz, Sklar und Suda im Jahr 1986 die Anzahl und Größe orale Krebstumore bei Hamstern mit einem Spirulina-Extrakt reduzieren. In einer Studie von Bambu et al. im Jahr 1995 wurde das chemopräventive Potential von Spirulina an Tabak-Kauern in Kerala Indien untersucht. Knapp die Hälfte der Personen nahm ein Jahr lang ein Gramm Spirulina täglich zu ihrer gewohnten Kost ein, die andere Hälfte erhielt ein Placebo. Bei der Gruppe die Spirulina einnahmen ging der Oral-Krebs bei allen zurück und bei der Placebogruppe nur bei 7 % von ihnen. Nach einem weiteren Jahr mit Unterbrechung der Einnahme von Spirulina kehrte in 45 % der Fälle allerdings der Orale-Krebs zurück.

Einfluss von Phycocyanin auf das Immunsystem:

Im Jahr 1982 wurde in Japan von Iijima und Shimamatsu et al. Phycocyanin oral an Mäusen mit Leberkrebs verabreicht. Die Überlebensrate der Behandelten Gruppe von Ratten war signifikant höher als bei der Kontrollgruppe, der kein Phycocyanin gegeben wurde. Nach 5 Wochen haben 90% der Behandelten Gruppe überlebt, jedoch waren von der Kontrollgruppe nur noch 25% am leben. Nach 8 Wochen waren noch 25% der Behandelten Ratten am leben, jedoch keine der Kontrollgruppe mehr. Das legt nahe, dass Phycocyanin möglicherweise die Überlebenschancen krebserkrankter Tiere bzw. eventuell auch von Menschen erhöht. In einer weiteren Studie an Ratten waren nach 2 Wochen die weißen Blutzellen bzw. die Lymphozyten-Aktivität von der mit Phycocyanin behandelten Gruppe höher als bei der Kontrollgruppe und höher oder gleich als bei einer „normalen Gruppe“ (ohne Krebs). Das legt nahe, dass Phycocyanin auch die Lymphozyten-Aktivität erhöht. Das Lymphsystem ist mit für einen gesunden Organismus verantwortlich. Phycocyanin bekämpft nicht den Krebs direkt, sondern hilft dem Körper durch Stärkung der Widerstandskräfte des Lymphsystems. Phycocyanin ist möglicherweise zur Prävention degenerativer Organkrankheiten durch Stärkung des Immunsystems geeignet. In einer anderen Studie von Zhang Cheng-Wu et al. in China wurde im Jahr 1994 dokumentiert, dass Phycocyanin die Blutbildung, sowie das Hormon Erythropoetin (EPO) stimuliert. EPO wird von einer gesunden Leber gebildet und reguliert die Knochenmark-Zellproduktion der roten Blutkörperchen.

Einfluss von Polysacchariden auf das Immunsystem:

Mehrere Studien haben den immunstimulierenden Effekt von Lipopolysacchariden aus Spirulina untersucht. Studien aus Asien an Tieren (z.B. Baojiang et al.) haben gezeigt, dass Polysaccharid-Extrakt aus Spirulina die Makrophagen-Funktion, die Antikörperproduktion und die Infektionen bekämpfenden T-Zellen erhöhen. Weitere Studie z.B. von Lisheng et al. aus China haben festgestellt, dass Polysaccharide und Phycocyanin aus Spirulina die Immunität von Mäusen erhöht, durch Erhöhung der Knochenmark-Produktion, Wachstum von Thymus und Milz und der Biosynthese von Serum-Protein. Im Jahr 1996 verhinderte, ein wasserähnliches Extrakt aus Spirulina „Calcium-Spirulan“, in einer Studie von Hayashi et al. in China, die Vervielfältigung vom Herpes-Simplex-Virus und anderen Viren, dennoch war es für menschliche Zellen sicher. In den USA vergrößerte in einer Studie von Qureshi et al., ein wasserlösliches Extrakt die Makrophagenaktivität in Hühnern. In weiteren Studien von Qureshi et al. aus dem Jahr 1996 zeigten Hühner, denen eine Kost mit weniger als einem Prozent Spirulina gefüttert wurde, eine verbesserte Immunleistung ohne das irgendwelche Nebeneffekte auftraten. Der gleiche Nutzen wurde von Qureshi et al. auch bei Katzen festgestellt.

Effekt von Sulfolipid-Extrakten aus „Blue-Green-Algen“ auf HIV:

Das NCI, in den USA, sucht weltweit nach natürlichen Pflanzen und Organismen, die möglicherweise eine biologische Aktivität gegen Krebs aufweisen. Das NCI hat 18000 Extrakte aus marinen Organismen auf ihre Aktivität gegen Tumore, Viren und Pilze und auf Immunsystem stimulierende Eigenschaften untersucht. Im Jahr 1986 begann das NCI tausende von verschiedenen „Blue-Green-Algen“ bzw. Mikroalgen auf Effekte gegen das AIDS-Virus und hundert verschiedene Krebsarten getestet. Im Jahr 1989 wurde dann vom NCI angekündigt, dass Sulfolipide eine bemerkenswerte Aktivität gegen das HIV-Virus zeigen. Die Sulfolipide verhindern, dass das Virus die Zellmembran durchdringen kann, womit sie so vor viralen Infektionen schützen können. Das NCI hat jedoch ausdrücklich betont, dass ein größeres Testprogramm einschließlich von Tests an Menschen nicht beginnen werden bis man Sulfolipide problemlos in höherer Quantität bekommen kann. Die Wissenschaftler nutzten Extrakte aus den Mikroalgen *lyngbya*, *phormidium*, *oscillatoria* (ein Mitglied der Spirulina Familie) und *anabaena*. Von der Gattung *Spirulina maxima* ist bekannt

das sie Glycolipide und Sulfolipide enthält. Sie enthält insgesamt zwischen 5-8% Lipide, wovon 40% Glycolipide und 2-5% Sulfolipide sind. Bei Analysen von der Earthrise Fram, welche Mikroalgen-Nahrungsergänzungen vertreibt, lag der Gehalt an Sulfolipiden in Spirulina nur bei 1%. Allerdings ist es möglich Mikroalgen so zu kultivieren, das der Lipidgehalt signifikant erhöht wird und somit auch der Gehalt an Sulfolipiden. Dann wäre es eventuell möglich Sulfolipide in der benötigten Quantität zu gewinnen um sie als Anti-AIDS-Mittel einzusetzen. Im Jahr 1996 haben die Wissenschaftler des NCI die Entdeckung eines weiteren Extrakts aus einer Mikroalge der Gattung nostoc bekannt gegeben, das Cyanovirin-n, es kann möglicherweise gegen HIV wirken. Diesem antiviralen Protein wirt Priorität in der weiteren Forschung eingeräumt.

Reduktion von Neuro- und Lebertoxinen:

Im Jahr 1988 reduzierte Spirulina in einer Studie von Yamane an der Chiba University in Japan Nierenvergiftungen bei Ratten, die durch Quecksilber und drei Medikamente hervorgerufen waren. Die Wissenschaftler untersuchten das Serum-Creatin und den Nitrogen-Gehalt im Urin um den Grad der Vergiftung festzustellen. Den Ratten wurde eine Kost mit einem Anteil von 30% Spirulina verfüttert, worauf die beiden Werte dramatisch sanken. Ähnliche Effekte wurden beobachtet als die Ratten mit drei gewöhnlichen Medikamenten (Para-aminophenol ein Schmerzstiller, Gentamicin ein Antibiotika und cis-dichlor-diaminoplatinum ein Anti-Krebs-Medikament) vergiftet waren. In fast allen fällen verringerten sich beide Werte sehr, außer in zwei fällen, hier stieg das Serum-Creantin wieder auf den original Wert. In einer Follow-Up Studie von Fukino et al. im Jahr 1990 wurde weiterhin noch die Urinale Exkretion von zwei Enzymen gemessen. In der Gruppe von Ratten, bei denen der Anteil an Spirulina in der kost 30 Prozent betrug wurde die Aktivität von beiden signifikant reduziert. Der effektive Bestandteil der für die Unterdrückung der renalen Vergiftung verantwortlich ist, war Phycocyanin. Die Studien legen nahe, dass Spirulina möglicherweise einen nützlichen Effekt hat, für Menschen die an einer Schwermetallvergiftung leiden. Außerdem auch, dass Nierenschäden durch Medikamente möglicherweise verringert werden, wenn man gleichzeitig Spirulina zu sich nimmt. Nebenwirkungen limitieren die Dosis von vielen Medikamenten, was eine längere Erholungsphase zur Folge hat. Mit Gebrauch von Spirulina in Krankenhäusern oder bei ambulanten Patienten wären so eventuell höhere Dosierungen der Medikamente möglich sowie eine kürzere Erholungszeit. Es müssen jedoch vorher noch weitere Studien an Menschen folgen.

Effekte gegen Diabetes mellitus und Bluthochdruck:

Spirulina hat möglicherweise einen positiven Effekt für Menschen die an Diabetes mellitus leiden. Die Forschung auf diesem Gebiet ist allerdings noch nicht weit fortgeschritten. Eine japanische Studie an Ratten, von Takai et al. aus dem Jahr 1991 fand heraus, dass wasserlösliche Fraktionen aus Spirulina effektiv zur Senkung des Serums-Glucose-Wertes sind. Eine andere Studie an Ratten von Iwata et al. aus dem Jahr 1990 stellte auch fest, dass es einen zu hohen Blutdruck senkt. Weitere Studien an Tieren bzw. an Menschen müssen folgen und eindeutige Beweise liefern bevor man Spirulina möglicherweis bei diesen Erkrankungen anwenden kann.

Förderung der Bildung von Lactobacillus:

Das Bakterium Lactobacillus gehört zu einer gesunden Darmflora. Er verbessert die Verdauung und die Absorption, ist mitverantwortlich für den Schutz vor Infektionen und an der Stimulation des Immunsystems. Eine Studie von Tokai et al. in Japan im Jahre 1987 an Ratten zeigte, dass Spirulina das Wachstum vom Lactobacillus erhöht, denn bei der Gruppe die Spirulina Einnahm war die Anzahl drei mal höher als bei der Kontrollgruppe. Eine Kost

mit 5 % Spirulina-Anteil für hundert Tage zeigte, erstens, dass sich das Gewicht des Kotes um 13 % vergrößert, zweitens, dass sich die Anzahl von Lactobacillus um 327 % erhöht und drittens, dass sich der Vitamin B1-Gehalt im Kot um 43% erhöht. Spirulina unterstützt somit die Vitamin B1 Absorption. Das könnte Folgen für Menschen die mit dem HIV-Virus erkrankt sind haben, denn manche Forscher glauben, dass die Unfähigkeit Nährstoffe aus dem Darm zu absorbieren, eine Ursache für eine ernsthafte Immunstörung sein kann. Ein Mangel bzw. die Abwesenheit an Lactobacillus im Darm führt dazu, dass Infektionen leichter ausbrechen können. Eine Nährstoffmangelabsorption mit gelegentlichen Infektionen kann zum vollen Ausbruch von AIDS führen. Eine Strategie zur Bekämpfung des Ausbruchs der AIDS-Erkrankung basiert auf der Supplementation (Korrektur einer schlechten Absorption) und das Erhalten bzw. Erhöhen des Lactobacillus im Darm. Weitere Forschungen auf diesem Gebiet müssen zeigen ob der Lactobacillus auch bei Menschen durch den Verzehr von Spirulina im Darm erhöht wird und ob dies bzw. auch die Absorptionsverbesserung von Vitamin B1 bei Menschen mit der AIDS Erkrankung möglicherweise hilfreich ist.

Wundheilung und Antibiotische Effekte:

Es gibt bereits Cremes und Masken sowie Badezusätze mit Spirulina, sie sollen angeblich die Hautgesundheit fördern. Der Kanembu-Stamm im Chad nutzt frisch geerntete Algen als Hautpackung um damit bestimmte Krankheiten zu behandeln. In Frankreich gibt es bereits pharmazeutische Produkte mit Spirulina, die die Wundheilung fördern. Die Patienten verwenden Spirulina-Extrakte in Cremes, Salben, Lösungen und Suspensionen. Eine Studie von Yoshida aus dem Jahre 1977 in Japan zeigte, dass Kosmetik-Packungen die Spirulina enthalten und ihre enzymatischen Hydrolysate den Metabolismus der Haut fördern und Narben reduzieren. Andere Forschungen von Martinez-Nadal aus dem Jahr 1970 sowie von Jorjani und Amirani aus dem Jahr 1978 zeigen weiterhin, dass Extrakte aus Spirulina das Wachstum von Bakterien, Hefen und Pilzen verhindert. Die antibiotischen Substanzen in diesen Extrakten könnten nach weiterer Forschung eventuell in der Medizin Anwendung finden.

Verbesserung der Ernährungssituation unterernährter Kinder:

Im Jahr 1973 wurden in einer Studie von Ramos Galvan 10 Gramm Spirulina pro Tag an unterernährte Kinder in Mexiko verabreicht, die Studie zeigte speziell bei den Säuglingen und Kleinkindern eine schnelle Erholung von der Mangelernährung. Auch hier wurden keine Nebeneffekte einer mit Spirulina angereicherten Kost festgestellt. Eine Studie aus dem Jahr 1976 von Sautier und Tremolieres aus Frankreich haben auch bei Erwachsenen eine Verbesserung von Mangelernährung festgestellt. Eine Studie von Annapurna et al. aus dem Jahr 1991 wurde mit Vorschulkindern durchgeführt, die an einem Vitamin-A-Mangel litten, das der Carotin-Gehalt in Spirulina den Kindern hilft sich von den Symptomen des Vitamin-A-Mangels zu erholen. In Rumänien wurde in einer städtischen Klinik in Bukarest Spirulina-Tabletten an unterernährte Patienten verabreicht. Die Patienten, welche an Gewichtsverlust in Verbindung mit chronischer Pankreatitis, rheumatischer Arthritis, Anämie, Diabetes mellitus und anderen Symptomen litten, gewannen wieder an Gewicht und ihre Gesundheit verbesserte sich. Im Jahr 1987 wurde in China Spirulina als „Baby-Formular-Ernährung“ mit gebackenen Graupen an Babys im Nanjing Kinderkrankenhaus gegeben. 27 von 30 Kindern im Alter zwischen 2-6 erholten sich in einer kurzen Zeit von Appetitlosigkeit, Nachtschweiß, Diarrhoe und Verstopfung. In einer anderen Studie von Yonghuang et al. aus dem Jahr 1994 erholten sich Kinder die an einem Zink-Mangel litten schneller durch die Gabe von Zink-Spirulina (Spirulina mit einem hohen Gehalt an Zink) als die Kinder, die mit einem Standard-Zink-Supplement behandelt wurden.

Bioverfügbarkeit von Eisen und Effekte auf eine Anämie:

Ein Eisenmangel kommt häufig bei Frauen, Kindern und älteren Menschen vor. Eisen ist für die Bildung der roten Blutzellen und für ein starkes Immunsystem essentiell. Typische Eisen-Supplemente werden allerdings nicht sehr gut vom Körper absorbiert. In einer Studie von Johnson und Shubert wurde im Jahr 1986 Spirulina gegen ein typisches Eisen-Supplemente verglichen. Die Ratten die mit Spirulina gefüttert wurden absorbierten 60 % mehr Eisen als die Ratten, die die Eisen-Supplemente bekamen. Diese Studie legt nahe, dass die Bioverfügbarkeit von Eisen aus Spirulina relativ hoch ist. In einer früheren Studie aus dem Jahr 1982 von Takemoto am Medical College in Japan wurde Spirulina erfolgreich zur Verbesserung von Anämie an Ratten getestet. Im Jahr 1978 wurde von Takeuchi in Japan an der „Tokyo Medical and Dental University“ Spirulina an acht Frauen gegeben, welche an Unterernährung litten und eine hypochronische Anämie (niedriger Hämoglobingehalt im Blut) zeigten. Die Frauen verzehrten vier Gramm Spirulina nach jeder Mahlzeit. Nach dreißig Tagen erhöhte sich der Hämoglobingehalt im Blut um 21 %. Eine Anämie lag dann also nicht mehr vor. Athleten die ein intensives Training betreiben können an einem nicht-anämischen Eisenmangel leiden, der von Symptomen wie Erschöpfung und Muskelermüdung begleitet ist. Eine Studie von Trojancanec et al. aus dem Jahr 1998 in Mazedonien mit männlichen und weiblichen Athleten, die über zwei Monate Spirulina einnahmen zeigten deutlich erhöhte Eisenreserven. Die Studien legen nahe, dass eine Ergänzung der täglichen Kost mit Spirulina helfen kann die Symptome eines Eisenmangels zu verhindern und die physische Kapazität von Athleten zu optimieren. Genauere Studien auf diesem Gebiet müssen aber noch folgen bevor man Spirulina bei Eisenmangel oder zur Nahrungsergänzung von Sportlern empfehlen kann.

Gewichtsabnahme:

In einer Studie von Becker et al. aus dem Jahr 1986 wurde an 15 Testpersonen ein appetitreduzierender Effekt von Spirulina untersucht. In dieser Doppelblind-Studie mit einer Placebogruppe, nahmen die übergewichtigen Personen, die eine Diät durchführten sechs Spirulina-Tabletten drei Mal am Tag für vier Wochen ein. Die Studie zeigte eine kleine aber statistisch signifikante Reduktion vom Körpergewicht. Außerdem wurde auch eine statistisch signifikante Reduktion des Serum Cholesterins festgestellt. Ob die Reduktion vom Körpergewicht ausschließlich durch die Einnahme von Spirulina zu Stande kam oder durch die sowie so gleichzeitig durchgeführte Diät ist nicht festgestellt.

Effekt auf Personen mit Strahlungsschäden:

Im Belarus Institut für Strahlen-Medizin in Minsk Russland wird Spirulina seit 1993 zur Behandlung von Strahlenschäden bei Kindern und Jugendlichen eingesetzt. Die Radioaktivität des Urins wird durch eine Einnahme von fünf Gramm Spirulina pro Tag in zwanzig Tagen um 50 % reduziert. Die Kinder werden so zwar nicht geheilt, jedoch verbessert sich ihr Krankheitszustand. Außerdem wurden keine Nebenwirkungen durch die Einnahme festgestellt.

Eine Studie von Loseva und Tkatschenko aus dem Jahr 1997 in Minsk Russland, mit Kindern zwischen 10 und 16 Jahren, die in durch radioaktive Strahlung belasteten sind, belegt, eine verbesserte Ausscheidung radioaktiver Substanzen und einen viel versprechenden Einfluss auf Blut- und Immunparameter.(Loseva, Tkatschenko, 1997, S.603.)

Eine Studie von Events im Jahr 1994 wurde mit 270 Kindern durchgeführt, die in hoch verstrahlten Gebieten wohnen. Die Kinder waren chronisch Verstrahlt und hatten erhöhte Immunglobulin-Werte (IgE-Werte), was ein Anhaltspunkt für allergische Reaktionen im Körper ist. Einem Teil der Kinder wurden 20 Tabletten Spirulina pro Tag (ca. 5 Gramm) für 45 Tage verabreicht. Die IgE-Werte im Blut wurden durch den Konsum von Spirulina

verringert, was eine Normalisierung der allergischen Reaktionen im Körper bedeutet. Weitere Forschung in Belarus von Loseva zeigte im Jahr 1999 eine Immunbildung, eine Normalisierung der Peroxid-Lipid-Oxidation und entgiftende Effekte durch den Verzehr von Spirulina-Supplementen bei Kindern und Jugendlichen. (www.spirulinaresource.com)

Obwohl zahlreiche Studien mit Spirulina durchgeführt wurden, ist der Kenntnisstand über mögliche positive gesundheitliche Effekte noch zu gering um Empfehlungen auszusprechen. Es müssen noch weitere Untersuchungen vor allem an Menschen durchgeführt werden. Die Forschung gesundheitlicher Wirkungen von Spirulina steht auch heute noch relativ am Anfang.

6.3. Kritische Inhaltsstoffe

Ein Kritischer Inhaltsstoff der Makroalgen ist, das Spurenelement Jod, dieses kann in den Salzwasseralggen in hohen Mengen enthalten sein. Weiterer sind Schwermetalle und Arsen, denn die Algen sind in der Lage diese zu akkumulieren. So können für den Menschen durch den Verzehr von Makroalgen negative Effekte entstehen. Eine Verschmutzung der Meere beeinflusst somit auch die Qualität der Algen. (Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S.34.)

Durch vermehrten Eintrag von Nährstoffen (vor allem Stickstoff) in Grundwasser, Flüsse und küstennahe Gewässer werden Massenentwicklungen von Mikroalgen ermöglicht, die oft giftige Substanzen produzieren. (www.uni-koeln.de)

So kann auch der Verzehr von Mikroalgen als Nahrungsergänzung negativ sein, wenn das verwendete Produkt mit toxinbildenden Cyanobakterien-Stämmen verunreinigt ist. Im Weiteren soll hierauf näher eingegangen werden.

6.3.1. Jod

Jod ist ein zu den Spurenelementen zählender Mineralstoff. Er wurde 1811 erstmals aus der Asche von Braunalgen isoliert. Ab 1816 wurde Jod zur Behandlung des Kropfes eingesetzt.

Jod ist Bestandteil der Schilddrüsenhormone Trijodthyronin (T3) und Thyroxin (Tetraiodthyronin Abk. T4). Sie steigern den Grundumsatz und erfüllen wichtige Funktionen im Kohlenhydrat-, Fett- und Eiweißstoffwechsel, auch regulieren sie unter anderem den Wasserhaushalt, Körpertemperatur, Herzfrequenz und die Funktion des zentralen Nervensystems. Aufgrund dessen ist eine ausreichende Jodzufuhr über die Nahrung essentiell.

Jodreich sind in erster Linie Meeresfische, -früchte und Algen. Auch pflanzliche und tierische Lebensmittel enthalten Jod, die Menge hängt jedoch davon ab wie viel Jod in den Böden des jeweiligen Gebietes vorkommt. In der Bundesrepublik Deutschland sind die Böden eher arm an Jod und so auch die darauf angebauten Lebensmittel. Deshalb zählt Deutschland zu den Jodmangelgebieten.

Bis zu 80 % des Körperbestandes an Jod (10-15 mg) befinden sich in der Schilddrüse, aber auch alle Gewebe und das Blut enthalten Jod, in der Regel in Form der Schilddrüsenhormone. Das in der Nahrung vorkommende Jod liegt vor allem in Form von Jodid vor, welches über den Darm nahe zu vollständig aufgenommen wird. Hauptsächlich wird Jod mit dem Harn ausgeschieden, ein Teil jedoch auch über den Stuhl und den Schweiß.

(Hogen et al., 2001, S.332.)

Die empfohlene tägliche Jodzufuhr soll bei Jugendlichen und Erwachsenen von 13 bis 51 Jahre 200 µg Jod pro Tag betragen. Auch Kinder benötigen zwischen dem 1 und 4 Lebensjahr schon 100 µg Jod pro Tag. Für Schwangere wird ein Wert von 230 µg und für Stillende ein Wert von 260 µg Jod pro Tag angegeben. (DGE, 2000, S179.)

Um seine Jodzufuhr zu decken sollte man zweimal wöchentlich Meeresfisch essen und Jodsalz bzw. mit Jodsalz hergestellte Lebensmittel verwenden. (Hamm, 2003, S.33.)

Gute Jodlieferanten sind Meeresfische, wie z.B. Kabeljau, er enthält 255 µg in 150 g und um seine tägliche Zufuhr an Jod zu decken müsste man hiervon nur 118 g essen. Hingegen enthalten z.B. Kartoffeln nur 1,5 µg Jod pro 100 g und um hiermit seinen täglichen Bedarf zu decken müsste man 13,3 kg Kartoffeln verspeisen.

Bei einem Jodmangel kommt es zu Vergrößerung der Schilddrüse (so genannte Struma), da sie versucht durch die Vergrößerung trotzdem genügend Hormone zu produzieren.

In Deutschland hat über zehn Prozent der Bevölkerung eine deutlich vergrößerte Schilddrüse. Die vergrößerte Schilddrüse kann zu Atembeschwerden und Schluckstörungen führen und ständige Müdigkeit, Antriebsschwäche sowie geringe Abwehrkräfte können auf einen Jodmangel hinweisen.

Im Fetal- und Säuglingsstadium wirkt sich ein Jodmangel besonders schwer aus, es kann hierdurch die körperliche und geistige Entwicklung verzögert sein. Im schlimmsten Fall entsteht eine schwere Störung der geistigen Entwicklung (Kretinismus). Aufgrund dessen muss die Jodversorgung der Mutter während Schwangerschaft und Stillzeit gesichert sein. Aber auch bei Klein- und Schulkindern ist die Jodversorgung wichtig, da es sonst zu Lern- und Merkschwierigkeiten kommen kann. (Hamm, 2003, S.90. bis 93.)

Jod gehört zu den Stoffen die bemerkenswert ungiftig sind. Ein gesunder Erwachsener verträgt bis zu 1000 µg Jod pro Tag über einen längeren Zeitraum. Die gute Verträglichkeit ist dadurch bedingt, dass die Schilddrüse bei hohen Gaben von Jod „gesperrt“ wird. So wird verhindert, dass die Schilddrüse bei einem zu großen Jodangebot überschüssige Hormone bildet. Die Behauptung das Jod in höheren Dosen Hautkrankheiten hervorruft ist nicht wissenschaftlich belegt. Tatsächlich gibt es bestimmte Hautkrankheiten, die durch Halogene (Flur, Chlor, Brom, Jod) hervorgerufen werden. Ein Risiko hierdurch ist allerdings eher durch Chlorid als Bestandteil des Kochsalzes zu erwarten, als durch Jod das normalerweise in viel kleineren Mengen zugeführt wird. Außerdem wird auch angeführt, dass Jod allergische Reaktionen hervorrufen kann. Dies ist aber nicht zu erwarten, soweit es sich um die Aufnahme von Jod in Lebensmitteln handelt. Ein sonder Fall liegt dann vor, wenn die normale Funktion der Schilddrüse gestört ist, wie bei der Schilddrüsenüberfunktion. Hierunter versteht man eine Schilddrüsenfunktion, die sich der Kontrolle der üblichen Steuerungsmechanismen des Körpers entzieht. Dann tritt bei einem Überangebot an Jod eine überhöhte Synthese von Schilddrüsenhormonen auf, die im Organismus zu Störungen führt. Bei physiologischen Joddosen, wie sie bei der üblichen Verwendung von Jodsalz auftritt, sind derartige Störungen nicht zu beobachten. Außerdem ist zu beachten, dass die Schilddrüsenüberfunktion meistens durch einen Jodmangel, der zu einem Kropf führt, bedingt ist. Beim Jodmangel können in der Schilddrüse Areale (so genannte autonome Adenome oder „heiße Knoten) entstehen, die Schilddrüsenhormone im Überschuss produzieren, wenn entsprechend hohe Jodmengen zugeführt werden. In diesen Fällen ist die Ursache der Störung im chronischen Jodmangel und nicht primär im Überschuss zu sehen. Auch Personen mit Schilddrüsenüberfunktion müssen ausreichende Mengen Jod zu sich nehmen.

Eigentlich sind, auch bei einer Überschreitung der physiologischen Jodmengen im Regelfall Gesundheitsstörungen nicht zu befürchten. Es kann allerdings durch unkontrolliertem Verzehr von Meeresalgen und die Zufuhr von Jod zur medizinischen Diagnostik dem Körper sehr

hohe Jodmengen (Milligramm- oder Grammbereich) zugeführt werden, so dass es bei einer Empfindlichkeit zu Störungen kommt. (Hogen et al., 2001, S.336.)

Als oberer tolerabler Zufuhrwert werden von der WHO 1000µg Jod pro Tag benannt. Da Deutschland zu den Jodmangelgebieten zählt sollte allerdings eine Zufuhr von 500 µg Jod pro Tag aus Vorsorgegründen nicht überschritten werden.(www.deg.de/print&sid=362)

In Ländern mit einer ausreichenden Jodversorgung, wie z.B. im asiatischen Raum, wo Makroalgen traditionell verwendet werden, ist ein plötzliches Überangebot an Jod kaum mit einem gesundheitlichen Risiko verbunden.

Es wird von Seiten der DGE und vom BfR (früher BgVV) verstärkt vor jodreichen Algengerzeugnissen gewarnt. Die Jodgehalte von Algen und Seetangprodukten sind nämlich üblicherweise sehr hoch. Die Lebensmittelüberwachung der Bundesländer wies in beanstandeten Algengerzeugnissen bis zu 6500 mg Jod pro Kilogramm Trockengewicht nach. Nach Ansicht des BfR können Lebensmittel und Würzmittel aus Algen oder Seetang mit mehr als 20 mg Jod pro Kilogramm Trockenmasse die Gesundheit schädigen. Algen bzw. Seetang, die einen höheren Gehalt an Jod aufweisen sind somit aus Gründen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes nicht verkehrsfähig. Das BfR plädiert für die Festsetzung von Höchstmengen auf europäischer Ebene und die obligatorische Kennzeichnung des Jodgehaltes.(www.dge.de/print&sid=362)

Tabelle 13: *Jodgehalte und Herkunft ausgewählter Marinen Makroalgen*
(Steneberg, 2004, S.106.)

Algenart	Jodgehalt (mg/kg im Trockengewicht)	Herkunft
Laminaria japonica (wird vor allem für Kombu verwendet)	1700-2600	Japan
Undaria pinnatifida (Wakame)	104-350	Japan, China, Nord- und Südkorea
Porphyra tenera (Nori)	5-60	Japan

Neben den japanischen Algen sind gefriergetrocknete Algen aus der Bretagne erhältlich, denen ein Teil des Jods entzogen wurde und bei denen der genaue Jodgehalt auf der Packung verzeichnet ist. So kann man mit diesen Algen zur Deckung seines Jodbedarfes betragen, jedoch eine übermäßige Jodaufnahme vermeiden. (Hogen et al., 2001, S.15.)

6.3.2. Arsen

Arsen gehört zu den Halbmetallen (AS), es ist im Boden, in der Luft, im Meer und auch im menschlichen Körper in Spuren allgegenwärtig. Für mache Tiere und Pflanzen ist Arsen essentiell, aber noch bisherigen Erkenntnissen für den Menschen nicht. In fast allen Algen kann Arsen sowohl artspezifisch als auch in verschiedenen Bindungsformen nachgewiesen werden.

In Algen und Algengerzeugnissen wurden folgende Verbindungen entdeckt:

- organisch DMAA= Dimethylarsinsäure, Arseno-Zucker und –Betain.
- anorganisch in drei- und fünfwertigen Verbindungen

Die Giftigkeit ist sehr unterschiedlich, während metallisches Arsen, die schwerlöslichen Sulfide und organische Arsen-Zuckerverbindungen nahezu ungiftig sind, so sind die Arsenverbindungen hoch toxisch, die vom Körper schnell in die Blut- und Lymphbahn aufgenommen werden. Vor allem das dreiwertige Arsen ist hoch toxisch. Das fünfwertige Arsen kann im Organismus zu dreiwertigem Arsen reduziert werden. Für Arsen typisch ist die Speicherung im Kreatin der Haut, Haare und Fingernägel, wo es mit den Thiol-Gruppen des Kreatins reagiert. Anorganisches Arsen ist höchst toxisch, durch die Hemmung der zellulären ATP-Bildung infolge Konkurrenz mit Phosphat (akut), Hemmung der Sulfhydrylgruppen in Enzymen und Schädigung der Chromosomen. Über die toxische Wirkung von organischen Arsenverbindungen besteht derzeit noch wenig Klarheit. (Römpp, 1995, S.252)

Hohe Konzentrationen können bei Meerestieren auftreten. Diese wandeln allerdings anorganisches Arsen in arsenorganische Verbindungen (z.B. Arsencholin und Arsenobetain) um, von denen bisher angenommen wurde, dass sie vom Organismus kaum resorbiert und unverändert ausgeschieden werden. In verschiedenen Meeresalgen, wie z.B. den Braunalgen *Laminaria* sp. und *Hizikia fusiforme*, sind Gesamtarsengehalte von über 100 mg/kg Trockengewicht gefunden worden. Der Gehalt an anorganischem Arsen ist in den genannten Algen jedoch bisher unbekannt. (Nau, 2003, S.115-S.116)

Bisherige Einschätzungen stuften die organischen Verbindungen als gering toxisch ein, allerdings ergaben neue Befunde, dass Monomethylarsinsäure (MMAA) und Dimethylarsinsäure (DMAA) (zwei, Metabolite, die möglicherweise auch aus organischem Arsen im Körper gebildet werden) zelltoxisch sind, die DNA schädigen können und im Tierversuch Hauttumore fördern. Mit der Sicherheitsbewertung organischer Arsenverbindungen in essbaren Porphyra-Algen, befasst sich eine Human-Studie. Von Wei und seiner Forschungsgruppe wurden Gesamt-Arsen-Konzentrationen von 2,1 bis 21,6 mg/kg (überwiegend vorliegend als Arseno-Zucker) in Proben aus dem chinesischen Meer festgestellt. Im Urin der Probanden konnte eine deutlich höhere Konzentration an DMAA nach dem Verzehr der Algen festgestellt werden. Bisher ging man davon aus, dass Algen fast ausschließlich organisch gebundenes Arsen enthalten, im Juli 2004 wurde aber der Nachweis toxischer anorganischer Arsenverbindungen publik. (Römpp, 1995, S.252.)
 Folgende Tabelle zeigt die Konzentration von Arsen (gesamt und anorganisch) in 31 aus China, Japan, Korea und den USA importierten Algenprodukten, die in London getrocknet verkauft wurden, in allen Proben wurde Arsen nachgewiesen.

Tabelle 14: *Konzentration von Arsen (gesamt und anorganisch) in 31 Proben essbarer Algen vor und nach der Zubereitung* (Sterneberg, 2004, S.106.)

Arsen(As)-Konzentration (mg/kg)

Art	Verkaufsprodukt		Nach der Zubereitung		Einweichwasser	
	total	anorganisch	total	anorganisch	total	anorganisch
Wakame	35	<0,3	4	<0,3	0,4	<0,01
Kombu	50	<0,3	3	<0,3	0,3	<0,01
Nori	24	<0,3				

Das krebserregende anorganische Arsen fand sich allerdings nur in Hijiki-Proben (ein anderes Algengerzeugnis).

Da Arsen in der Erdkruste sehr verbreitet ist, kann es dementsprechend in bestimmten Gebieten in sehr hohen Konzentrationen in Brunnen und Trinkwasser vorkommen.

(Nau, 2003, S.115-S.116)

In Gegenden, in denen Schwermetalle abgebaut werden, tritt Arsen als Begleitsubstanz der Schwermetalle z.B. im Staub auf und kann so in die Luft, den Klärschlamm, auf Felder und in Gewässer gelangen. In der Bundesrepublik Deutschland wurde der Einsatz von Arsen (z.B. als Insektizid) in zwischen stark reduziert bzw. für die meisten Bereiche verboten. Der in Deutschland für Trinkwasser derzeit gültiger Grenzwert liegt bei 0,01 mg pro Liter. Mediziner schätzen, dass die durchschnittliche tägliche Aufnahme von Arsen bei 0,05 mg liegt. (Hogen et al., 2001, S.43.)

Chronische Vergiftungen, z.B. über die Aufnahme belastenden Staubes oder durch Kontakt mit arsenhaltigen Präparaten, führen zunächst zu einer Hyperpigmentierung der Haut (Arsenmelanose). Danach kommt es bei vielen Betroffenen zu einer vermehrten Hornhautbildung (Hyperkeratose) in den Handflächen und an den Fußsohlen. Hierbei verdickt sich die Haut und es kommt gleichzeitig zu schmerzhaften Einrissen. Nach längerer Aufnahme kann es zu neurologischen Störungen und sogar zur Bildung von Tumoren (Arsenkrebs) in verschiedenen Organen kommen. Vor allem betroffen sind Haut, Lunge, Harnblase und Niere. (Nau, 2003, S.116.)

6.3.3. Algentoxine

Etwa 30-50 Arten besitzen die Fähigkeit Toxine zu bilden, die über den Verzehr von Muscheln, Fischen oder über Wasseraufnahme den menschlichen Organismus erreichen können und so eine Gefährdung für Tier und Mensch darstellen. Es gibt vier Klassen von toxinbildenden Arten, hierzu zählen die Dinophlagellaten (Dinophyceae), diese bilden die Wasserblüten in den Ozeanen, die Cyanobakterien (Cyanophyceae), die in Flüssen, Seen und Brackwasser Blüten bilden können und die Bacillariophyceae (Kieselalgen) sowie die Prymnesiophyceae. Die beiden letztgenannten werden hier allerdings nicht näher behandelt. (Reder, 2004, S.24.)

Die klassischen Algentoxine sind fast ausschließlich Gifte von Dinophlagellaten.

Zu den toxischen Substanzen zählen unter anderem Saxitoxin, Brevetoxin, Dinophysistoxin und Ciguateratoxin. (Nau, 2003, S.167-168)

Diese werden von Fischen über die Nahrungskette, oder direkt von Muscheln aufgenommen. Hierbei kommt es zu einer Konzentration der Toxine in diesen Organismen. Beim Verzehr durch den Menschen kann es dann zu unterschiedlichen Vergiftungen kommen.

Die Toxine rufen verschiedene Krankheiten hervor mit unterschiedlichen Symptomen. Im Folgenden werden diese drei näher vorgestellt:

- Paralytic shellfish Poisoning
- Diarrhetic Shellfish Poisoning
- Ciguatera Fish Poisoning

Paralytic Shellfish Poisoning (PSP)

Die paralytische Muschelvergiftung ist eine Krankheit, die durch das Algentoxin Saxitoxin ausgelöst wird, von dem sich weitere 20 toxische Derivate ableiten lassen.

Weltweit bilden unterschiedliche Organismen Saxitoxin und Derivate. Hierzu zählen insbesondere Dinophlagellaten, aber auch Makroalgen und Cyanobakterien.

(Reder, S.24-26)

Dieses Toxin besteht chemisch aus einem Perhydropurinring und 2 Guanidingruppen. Diese Verbindung ist hitzestabil. (Lindner, 1990, S.106.)

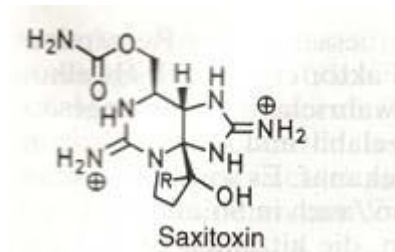


Abbildung 10: Strukturformel von Saxitoxin (Lindner, 1990, S.106)

Wenn eine Algenblüte der Dinophlagellaten entsteht, kommt es zu einer Anreicherung der Toxine in Schalentieren, vor allem Muscheln. Die Schalentiere nehmen die Toxine mit der Nahrung auf und speichern sie im Verdauungstrakt, sie selbst sind jedoch von der toxischen Wirkung nicht betroffen. Beim Verzehr dieser Tiere durch den Menschen, kann es zu leichten bis tödlichen Vergiftungen kommen, je nach der aufgenommenen Menge.

Die Vergiftungserscheinungen treten bereits 5-30 Minuten nach der Muschelmahlzeit ein. Die Symptome sind ein Prickeln in der Lippengegend und eine Starre der Mundmuskulatur, die gefolgt von einer völligen Lähmung der Extremitäten sein kann. Es treten außerdem prickelnde Sensationen an den Extremitäten auf und der Schweresinn ist gestört. In folge einer Atemlähmung kann der Tod eintreten. Das Toxin blockiert die Fortleitung des physiologischen Reizes in motorischen und sensiblen Nerven. Es blockiert spezifisch den Natriumeinstrom in die Nervenfasern bei der Erregung. Die tödliche Dosis an Saxitoxin liegt für den Menschen wahrscheinlich bei 1 mg. (Lindner, 1990, S.106)

Bei Aufnahme einer nichttödlichen Dosis, werden die Toxine über den Urin ausgeschieden und es kommt nach ca. 12 Stunden zu einer Besserung der Symptome. Derzeit gibt es noch kein geeignetes Gegenmittel, das gegen alle PSP-Toxine wirksam ist, so dass eine Therapie der Vergiftung noch nicht möglich ist. Als präventive Maßnahme kann man allerdings die Schalentiere kochen, denn obwohl die Toxine hitzestabil sind, verringert sich die Vergiftungsgefahr, da diese in das Wasser abgegeben werden. (Reder, 2004, S.24-26)

Diarrhetic Shellfish Poisoning (DSP)

Die Diarrhoe hervorrufende Muschelvergiftung, ist eine durch kontaminierte Muscheln ausgelöste Krankheit. Sie wird durch die Dinophysistoxine zusammen mit der Okaidinsäure und den Pectenotoxinen hervorgerufen. Diese stammen aus Dinophlagellaten die den Muscheln (z.B. Miesmuscheln an der Nordsee) als Nahrung dienen.

Die Symptome der Vergiftung sind Übelkeit, Erbrechen, Magen-Darm-Krämpfe und Durchfall. Die Dinophysistoxine hemmen die Proteinphosphatase 2A. (Nau, 2003, S.168.)

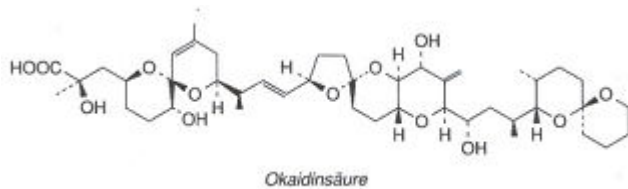


Abbildung 11: Strukturformel der Okaidinsäure (Huber, Ziegler, 2002, S.193.)

Ciguatera Fish Poisoning (CFP)

Das aus dem Spanischen stammende Wort „ciguatera“ bezeichnete Ursprünglich eine Vergiftung, die auf den Verzehr der Muschel *Turbo pica* (auf Spanisch „cigua“) zurückzuführen war. Heute versteht man darunter allerdings eine der weltweit häufigsten Fischvergiftungen, die oft in tropischen Gebieten rund um den Indischen- und den Pazifischen-Ozean sowie der Karibik epidemieartig auftritt.

Das Ciguatoxin wird von Dinophlagellaten gebildet, die auf diversen Mikroalgen leben. Durch den Verzehr dieser Algen durch Riffische gelangt das Ciguatoxin in die Nahrungskette, so dass vor allem der Verzehr von größeren Raubfischen (Barrakudas, Schnapper, Makrelen zu dieser Vergiftung führen kann.

Das Ciguatoxin führt im Bereich von präsynaptischen cholinergen Nervenendigungen zu einer Öffnung der Natriumkanäle und zu einem verstärkten Calciumeinstrom, so dass vermehrt Acetylcholin freigesetzt wird. Zu den Symptomen der Vergiftung zählen eine schmerzhafte Reizung der Mund- und Rachenschleimhaut, das Prickeln und Brennen an Händen und Füßen, eine allgemeine Muskelschwäche, Erbrechen, Durchfall, bis hin zu starken Krämpfen und Tod infolge einer Atemlähmung. (Nau, 2003, S.169.)

Die Vergiftungssymptome können 2 Wochen anhalten und wenn man die Vergiftung überlebt bleibt eine gesteigerte Empfindlichkeit für ein halbe Jahr zurück. (Lindner, 1990, S.112.)

6.3.4. Cyanobakterientoxine

Viele Cyanobakterien sind in der Lage, verschiedene für Tier und Mensch potentiell tödliche Giftstoffe (Neuro- bzw. Lebertoxine) zu bilden. Die Toxine befinden sich in den Zellen und werden erst nach dem Absterben der Cyanobakterien frei. Für Wild- und Nutztiere sind sie besonders gefährlich, denn sie können toxische Cyanobakterien bei einem Massenvorkommen („Wasserblüte“) beim Trinken aufnehmen. Die Aufnahme die als tödliche Dosis bezeichnet wird liegt zwischen wenigen Millilitern und einem Liter.

Toxische Stämme finden sich z.B. in den Gattungen: *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum* und *Nordularia*. Wichtige Neurotoxine, die z.B. von *Anabaena flos-aquae* oder *Oscillatoria*-Stämmen produziert werden, sind Anatoxin und Saxitoxin (Neosaxitoxin). (Huber, Ziegler, 2000, S.122.)

Aus *Aphanizomenon flos-aquae* konnten fünf Toxine isoliert werden. Eines konnte als Saxitoxin und eines als Neosaxitoxin identifiziert werden, die anderen drei sind noch von unbekannter Struktur. (Lindner, 1990, S.114.)

Die verschiedenen Toxine werden je nach der Vergiftungsart in Neuro- und Lebertoxine eingeteilt. Die Tabelle 15 zeigt eine Übersicht der Toxine.

Tabelle 15: Übersicht der von Cyanobakterien gebildeten Neuro- bzw. Lebertoxine (Reder, 2004, S.33-34)

Neurotoxine	Hepatotoxine
Saxitoxine	Microcysteine
Anatoxin-A	Nodularin
Anatoxin-A(S)	Cylindrospermoxin

Neurotoxine:

Die Neurotoxine stören auf verschiedene Weise die Signalübertragung von Nervenfasern zu den Muskelzellen. Anatoxin A ist ein Nicotinsäure-Antagonist und „imitiert“ Acetylcholin.

(Huber, Ziegler, 2000, S.122)

Es blockiert den Natriumeinstrom in die postsynaptische Effektorzelle des muskulären Neurons und führt so zur Lähmung.

(Lindner, 1990, S.114)

Strukturell ist Anatoxin A ein Organophosphat, das die Cholinesterase hemmt.

(Huber, Ziegler, 2000, S.122)

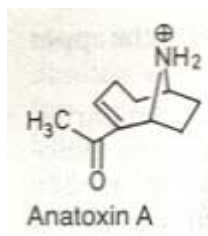


Abbildung 12: Strukturformel von Anatoxin-A (Lindner, 1990, S.114)

Lebertoxine:

Lebertoxine werden auch von vielen Stämmen gebildet, es sind ringförmige Peptide, der wichtigste Vertreter ist das Microcystin (über 50 Varianten), welches von Microcystis und Nodularin, welches von Nodularia gebildet wird.

(Huber, Ziegler, 2000, S.122)

Die Microcysteine sind toxische cyclische Heptapeptide, in ihnen kommt die ungewöhnliche Aminosäure N-Methyl-dehydroalanin, 3-Amino-9-methoxy-10-phenyl-2,6,8-trimethyldeca-4,6-diensäure und Erythro-β-methyl-D-Asparaginsäure vor.

Die nächste Abbildung 13 zeigt die Strukturformel der Microcysteine

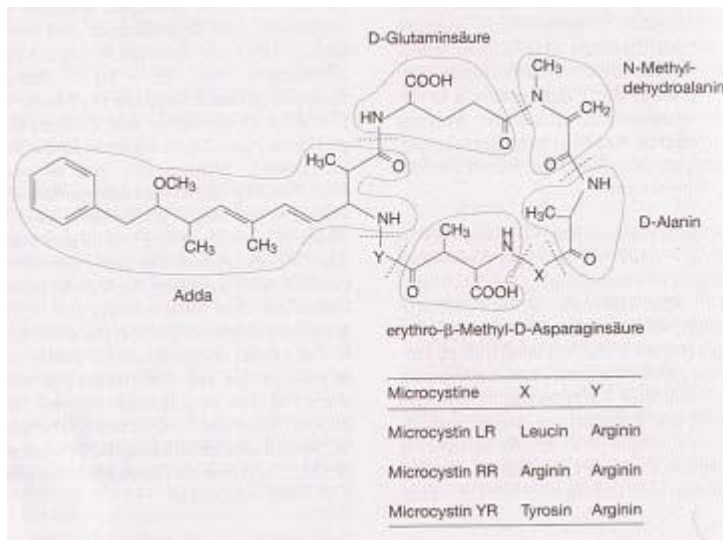


Abbildung13: Strukturformel der Microcysteine LR, RR und YR (Adda = 3-Amino-9-methoxy-10-phenyl-2,6,8,-trimethyldeca-4,6,-diensäure) (Nau, 2003, S.170.)

Die Microcysteine sind hepatotoxisch, sie führen zu Lebervergrößerungen, intrahepatischen Blutungen, Lebernekrosen, bis hin zu akutem Leberversagen. Außerdem wirken sie auch neurotoxisch und verursachen dabei unter anderem Tinnitus, Vertigo, Kopfschmerzen, bis hin zu Taubheit, Erblindung und Krämpfen. Sie sind Hemmstoffe der Proteinphosphatase 1 und 2A und wirken tumorpromovierend. (Nau, 2003, S. 169.)

Beim Baden in verunreinigten Gewässern können durch die Toxine beim Menschen Hautjucken und Ausschläge hervorgerufen werden, auch verursachen sie vorübergehend Funktionsstörungen und Schädigungen von Magen, Darm, Leber und Niere sowie von Mund- und Nasenschleimhäuten. Für eine tödliche Vergiftung sind die beim Baden und Schwimmen aufgenommenen Wassermengen zu gering. Es wird angenommen, dass die Lebertoxine in subletalen Dosen aufgenommen (z.B. über das Trinkwasser) als Krebspromotoren wirken und so die Entstehung von Krebs mit begünstigen können. Andererseits wird aber auch geprüft, ob diese Toxine als Medikamente eingesetzt werden können, z.B. um ein Tumorwachstum zu unterdrücken. Man nimmt nämlich an, dass die Neuro- und Lebertoxine den Cyanobakterien als Schutz vor Fressfeinden dienen, da sie auch extrem schädlich für planktische Kleinlebewesen sind. Die normalerweise genutzten Spirulina-Arten bilden keine Toxine. Vorsicht ist aber bei Cyanobakterien-Präparaten unbekannter Herkunft und Zusammensetzung geboten, da heute auch Produkte mit Anabaena und Aphanizomenon (Gattungen mit hochtoxischen Stämmen) angeboten werden.

Häufig treten Vergiftungen im Spätsommer oder Frühherbst in eutrophierten Gewässern auf, an heißen und relativ windstillen Tagen, wenn erhöhte Temperaturen und alkalische bis neutrale pH-Werte im Wasser vorliegen. Im Jahre 1998 konnten tierpathogene Cyanobakterien der Gattung Oscillatoria sogar in oligotrophen alpinen Seen der Schweiz nachgewiesen werden. Diese waren die Ursache für eine Reihe von Vergiftungsanfällen bei Almvieh. Die dortigen standörtlichen Gegebenheiten (Nährstoffknappheit, niedrige Wassertemperaturen) sind genau das Gegenteil von jenen, die bisher als förderlich für eine Massenproduktion von Algengiften angesehen wurden.

Im Jahre 1878 wurde von G. Francis die erste eindeutig wissenschaftliche Beschreibung einer Cyanobakterien-Vergiftung dargelegt. Damals hatten sich im Mündungsbereich des Murray (Australien) dicke grüne Schumschichten ausgebreitet, die wahrscheinlich von Nodularia

spumigena stammten. Innerhalb von Stunden starben das Vieh und andere Tiere die davon tranken. (Huber, Ziegler, 2000, S.122)

Die gefährlichen Algenblüten entstehen überall auf der Welt wenn die Wassertemperatur, die Nährstoffverhältnisse und die Lichtbedingungen optimal sind. Algenblüten sind verantwortlich für den Verlust von mehreren Millionen Dollar für die Fischerei und die Tourismusindustrie. Nun gibt es eine Forschergruppe in Florida, die von Ken Carder von der Universität von Süd-Florida geleitet wird. Diese Forschergruppe nutzt Satellitenbilder von der NASA um Algenblüten aufzuspüren. Diese Blüten erscheinen als Lichtflecke aufgrund des Chlorophyllgehaltes. Diese Möglichkeit wird evtl. in Zukunft dabei helfen solche Algenblüten frühzeitig zu erkennen oder sogar zu vermindern. (earthobservatory.nasa.gov)

6.3.5. Schwermetalle

Die Folge der technologischen Nutzung der Metalle ist die Kontamination von Luft, Wasser und Boden. Über den Eintrag in die Umwelt wirken Metalle entweder direkt oder über die Nahrungskette (z.B. über Algen die mit Schwermetallen belastet sind) auf den Menschen und die Tiere ein. Die toxische Wirkform von Metallen hängt häufig von ihrer chemischen Form ab. Viele Metalle werden im Organismus durch metabolische Prozesse umgewandelt (z.B. oxidiert, reduziert oder methyliert), hierdurch kann sich die Wirkform der aufgenommenen oder ausgeschiedene Form eines Metalls unterscheiden. Einige Metalle sind beim Menschen und im Tierversuch karzinogen. Bei Metallen wird die Bedeutung der Dosis für die toxische Wirkung besonders deutlich, denn viele Metalle (z.B. Co, Cu, Mn, Mo, Se, Zn) sind in niedrigen Konzentrationen für den menschlichen Organismus essentielle Spurenelemente, während höhere Konzentrationen cytotoxisch oder karzinogen wirken. (Eisenbrand, Metzler, 1994, S.245.)

Im Weiteren soll kurz auf zwei ausgewählte Schwermetalle eingegangen werden, um dessen Toxizität für den Menschen näher zu verdeutlichen.

Cadmium:

Cadmium wird vor allem in Legierungen und Batterien verwendet und gelangt so oder als Verunreinigung von Phosphatdünger sowie Klärschlamm in die Umwelt und in Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft. Es bildet keine organischen Verbindungen und kommt nur als Cd^{2+} vor. Die Resorptionsquote von Cadmiumverbindungen aus dem Gastrointestinaltrakt ist gering (unter 10 %), steigt jedoch bei Calcium- oder Eisenmangel. Deutlich besser werden Cadmiumverbindungen, vor allem das feinverteilte Oxid, über die Lunge aufgenommen (bis zu 30 % der inhalierten Menge).

Für Raucher besteht eine erhebliche zusätzliche Exposition, da eine Zigarette ca. 1-2 µg Cadmium enthält. (Eisenbrand, Metzler, 1994, S.245 und S.250.)

Nur etwa 1µg wird täglich über den Harn ausgeschieden. Laut WHO soll die Aufnahme von Cadmium 530 µg pro Woche nicht überschreiten. (Hogen et al., 2001, S.339.)

Aufgenommenes Cadmium akkumuliert vor allem in der Niere und Leber. Dort wird es größtenteils an Metallothionein gebunden, ein Protein das zu 30 % aus Cystein besteht. Cadmium wird aufgrund dieser Proteinbindung nur sehr langsam ausgeschieden, die Halbwertszeit beträgt 10-30 Jahre.

Bei einer akut toxischen Wirkung hoher Dosen von Cadmiumverbindungen, kommt es zu Brechdurchfällen nach oraler Aufnahme und Lungenödemen. Bei chronischer Einwirkung über die Luftwege treten, neben Entzündungen der Schleimhäute von Nase und Rachen und Zerstörung des Riechepithels, verschiedene Lungenschäden auf. Bei oraler Aufnahme von

Cadmiumverbindungen über lange Zeit kommt es zu irreversiblen Nierenschäden, die sich unter anderem im Proteinurie, Glucosurie und fortschreitender Nierenfibrose äußern.

Bei einer Konzentration von 200 µg/g Gewebe Cadmium in den Nierenrinden ist bei 10 % der Population und bei 300 µg/g bei 50 % mit Nierenschäden zu rechnen. Der Nierenschaden ist vermutlich Ursache der Knochenveränderungen, die nach chronischer Einwirkung von Cadmiumverbindungen beobachtet werden. Durch eine gestörte Rückresorption von Ca²⁺ im Nierentubulus kommt es zu Calciumverlusten des Blutes und Mobilisierung von Ca²⁺ aus dem Knochen. Als Folge kommt es zur Osteomalzie und Osteoporose. Eine wichtige Rolle für die niedrige Ca²⁺-Resorption im Nierentubulus spielt wahrscheinlich die verminderte Bildung von aktivem Vitamin D (1,25-Dihydroxycholecalciferol) in der geschädigten Niere. Ein niedriger Plasmaspiegel von aktiviertem Vitamin D, Osteomalzie und Osteoporose wurden an Patienten beobachtet die an der so genannten „Itai-Itai-Krankheit“ leiden.

(Eisenbrand, Metzler, 1994, S.250.)

Diese Krankheit entsteht aufgrund einer längeren übermäßigen Cadmiumzufuhr, das entspricht etwa 300 µg pro Tag. Sie trat in Japan bei Menschen nach dem Verzehr von cadmiumbelastetem Reis auf. Die Reisfelder wurden mit Wasser bewässert, welches mit Cadmiumverbindungen belastet war. (Hogen et al., 2001, S.339)

Außerdem führen chronische Einwirkungen von Cadmium zu Schädigungen der männlichen Keimzellen, der Herzkranzgefäße und zu Bluthochdruck. Im Tierversuch sind Cadmiumverbindungen eindeutig Kanzerogen, für den Menschen steht es im Verdacht Krebs der Lunge und Prostata auszulösen. (Eisenbrand, Metzler, 1994, S.250)

Aufgrund der Fähigkeit von Algen Schwermetalle zu akkumulieren, kann der Cadmiumgehalt in Marinen Algen sehr hoch sein und kann sogar 20-mal so hoch sein wie bei Landgemüse. Es gibt weltweit noch keine systematische Kontrolle der geernteten Algen.

(Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S. 34)

Quecksilber:

Quecksilber kann aufgrund seines geringen Dampfdrucks als Metall über die Lunge, in Form von Quecksilbersalzen und als Methylquecksilber aus dem Gastrointestinaltrakt resorbiert werden. Hg⁰ wird schnell im Organismus zu Hg²⁺ oxidiert. Organische Quecksilberverbindungen reichern sich im Zentralnervensystem an, die anorganischen in den Nierenrinden. Alle Quecksilberformen sind plazentagängig. Eine Ausscheidung von Quecksilbersalzen erfolgt bevorzugt über die Niere, die von organischen Verbindungen über den Darm, wobei es hier zu einem enterohepatischen Kreislauf kommt. Organische Quecksilberverbindungen haben beim Menschen eine Halbwertszeit von ca. 40 Tagen, die von Methylquecksilber liegt sogar bei ca. 70 Tagen.

Eine hohe Affinität zu Thiol-Gruppen hat Hg²⁺, dieses wirkt stark denaturierend auf Proteine. Eine akute Quecksilbervergiftung aus anorganischen Verbindungen beginnt mit einer oft heftigen und lang anhaltenden Entzündungen des Magen-Darm-Trakts (Gastroenteritis), gefolgt von erhöhtem Harnfluss (Polyuri) und schließlich stark vermindertem Harnfluss (Anurie). Eine Entzündung des Dickdarms (Colitis) und der Mundschleimhaut (Stomatitis) folgen Tage später. Die Ursache dafür ist eine vermehrte Ausscheidung von Hg²⁺ durch die Dickdarmwand und in den Speichel. Nach 2 bis 4 Wochen kann ein Spättdod eintreten.

(Eisenbrand, Metzler, 1994, S.248.)

6.4. Abschließende Bewertung der Ernährung mit Makroalgen

Trotz der hohen Gehalte an essentiellen Nährstoffen ist der Verzehr von Braun-, Grün- und Rotalgen nicht uneingeschränkt zu empfehlen. Der Gehalt an Gesundheitserhaltenden und fördernden Inhaltsstoffen variiert je nach Art, Ernteort und Zeitpunkt. Vor allem Braunalgen enthalten sehr viel Jod, so dass ein Verzehr in Deutschland gesundheitlich riskant ist. Der Verzehr von den Algeninhaltsstoffen die in der Lebensmittelindustrie verwendet werden ist jedoch gesundheitlich unbedenklich. Aufgrund der widersprüchlichen Erkenntnisse über mögliche Gesundheitsrisiken von Carrageen sollte vorsichtshalber auf andere Zusatzstoffe zurückgegriffen werden. (Steneberg, 2004, S.107.)

6.5. Abschließende Bewertung der Ernährung mit Mikroalgen

In den Medien wird immer wieder berichtet, dass die Qualität unserer Böden und Lebensmittel nach lasse. Die moderne Landwirtschaft, der Anbau in Treibhäusern und der durch den Umweltschmutz bedingte saure Regen seien schuld daran, dass Böden und Pflanzen nicht mehr so nährstoffreich seien wie damals. Dies kann aber von Seitens der DGE nicht bestätigt werden. Im Gegenteil, im Vergleich zu früher wird der Nährstoffgehalt der Böden von den Experten sogar höher eingeschätzt und den Nährstoffgehalt pflanzlicher Lebensmittel beurteilen sie als unverändert.

(www.dge.de/modules.php?print&sid=52)

Die aktuellen Referenzwerte der DGE sollen nicht nur einen Mangel verhüten, sondern die lebenswichtigen physischen und psychischen Funktionen sicherstellen und bei nahezu allen gesunden Personen der Bevölkerung die Gesundheit erhalten und auch fördern. Deshalb beinhalten die Referenzwerte auch präventive Aspekte von Nährstoffen und Nahrungsinhaltsstoffen.

Nahrungsergänzungsmittel sind nach Meinung der DGE, mit Ausnahme von Folsäure zur Prophylaxe eines Neuralrohrdefektes und jodiertem Speisesalz zur Vorbeugung eines Jodmangels, nicht Notwendig wenn man sich ausgewogen und abwechslungsreich ernährt. Nur für Risikogruppen mit erhöhtem Bedarf, wie Schwangere, Hochleistungssportler, Raucher oder Personen mit starkem Alkoholkonsum sowie Senioren, die sich einseitig oder unzureichend ernähren, kann eine Nahrungsergänzung sinnvoll sein. Diese sollte allerdings nicht ohne ärztliche Anweisung zu Supplementen greifen.

(www.dge/modules.php?print&sid=129)

Mikroalgen enthalten biologisch hochwertige Proteine, welche einen hohen Anteil an essentiellen Aminosäuren aufweisen. Prinzipiell können Mikroalgen bzw. Algen somit eine zusätzliche Eiweißquelle darstellen.

Ob die Verabreichung von Mikroalgen bzw. Algen in Tablettenform allerdings einen positiven Effekt hat, ist fraglich. Man muss annehmen, dass sie durch täglich eine oder mehrere Tabletten zugeführte Menge an Proteinen, Vitaminen und anderen Nährstoffen nur sehr gering ist. Eine Verbesserung der Protein- bzw. der Nährstoffversorgung ist bei einer geringen Menge daher nicht anzunehmen und eine ernährungsphysiologisch sinnvolle Ergänzung der Nahrung fraglich. Für das BfR (früher BgVV) sind „Spezielsituationen“ für Kranke oder Gesunde, bei denen der Verzehr der Mikroalge bzw. der Alge hilfreich sein kann, nicht ersichtlich.

(www.dge.de/modules.php?article&sid=321)

Eine Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln allgemein bzw. von ein paar Gramm Algen ist keine Alternative zum täglichen Verzehr von 5 Portionen Obst und Gemüse in roher und erhitzter Form.

(www.dge.de/modules.php?print&sid=499)

Strenge Vegetarier können vom hohen Vitamin B12 Gehalt und vom relativ hohen Eisengehalt in Spirulina profitieren und ihre Nahrung damit ergänzen, allerdings ist noch nicht eindeutig geklärt wie hoch die Bioverfügbarkeit von Vitamin B12 aus Algen ist.

(Verbraucherzentrale Bundesverband e.V., 2005, S.33 und S.44)

Ein prinzipielles Problem bei der Verwendung von Mikroalgen als Nahrungsmittel ist das sie die Eigenschaft besitzen, toxische Substanzen wie Schwermetalle, Benzopyrene und Pestizide zu akkumulieren. Einige Cyanobakterien, wie *Aphanizomenon flos-aquae*, können außerdem auch selbst Toxine bilden, so dass eine gesundheitliche Unbedenklichkeit des Verzehrs von Algengerzeugnissen nach dem jetzigen stand der Kenntnis nicht garantiert ist.

Da Nahrungsergänzungsmittel täglich über einen längeren Zeitraum Konsumiert werden, ist bei einer chronischen Belastung des Organismus mit derart großen Microcystein-Mengen eine Gefährdung der Gesundheit nicht auszuschließen.

Den Nahrungsergänzungsmitteln aus Afa-Algen werden in der letzten Zeit in vielen Medien heilende Wirkungen wie z.B. das sie bei ADHS und Demenzerkrankungen wie Alzheimer helfen, zugeschrieben. Diese Wirkungen sind allerdings nicht wissenschaftlich nachgewiesen. Somit ist von der Anwendung von Afa-Algenprodukten bei Erkrankungen abzusehen, denn sie können eine medizinische Therapie nicht ersetzen.

Das BfR rät dazu, dass Kinder Afa-Algenprodukte grundsätzlich nicht verzehren sollen und Erwachsenen wird eine Einschränkung des Konsums empfohlen.

(www.dge.de/modules.php?article&sid=321)

Allgemein sollte man, wenn man Mikroalgen zur Nahrungsergänzung verzehren möchte keine Afa-Algen verwenden und wenn man andere Mikroalgen-Produkte verwendet, dann sollte man sie von zertifizierten Herstellern erwerben, die regelmäßig Analysen durchführen.

7. Recht

7.1. Nahrungsergänzungsmittelverordnung (NemV)

Nahrungsergänzungsmittel werden vom Gesetzgeber wie Lebensmittel behandelt, auch wenn ihr Auftreten eher an Arzneimittel erinnert. Nahrungsergänzungsmittel bedürfen keiner Zulassung und unterliegen keiner Prüfung durch ein Bundesamt, bevor sie auf den Markt kommen. Der Hersteller ist nur wie bei Lebensmitteln allgemein verpflichtet die gesundheitliche Unbedenklichkeit der Produkte zu garantieren und irreführende oder krankheitsbezogene Aussagen im Zusammenhang mit den Produkten zu vermeiden.

Laut der aktuellen Verordnung über Nahrungsergänzungsmittel (NemV vom 24.5.04.) heißt es, Satz (1):

Ein Nahrungsergänzungsmittel ist ein Lebensmittel, das

1. dazu bestimmt ist, die allgemeiner Ernährung zu ergänzen,
2. ein Konzentrat von Nährstoffen oder sonstigen Stoffen mit ernährungsspezifischer oder physiologischer Wirkung allein oder in Zusammenhang darstellt und

3. in dosierter Form, insbesondere in Form von Kapseln, Pastillen, Tabletten, Pillen und anderen ähnlichen Darreichungsformen, Pulverbeuteln, Flüssigampullen, Flaschen mit Tropfeinsätzen und ähnlichen Darreichungsformen von Flüssigkeiten und Pulvern zur Aufnahme in abgemessenen kleinen Mengen, in den Verkehr gebracht wird.

Außerdem heißt es in Satz (2): Nährstoffe im Sinne dieser Verordnung sind Vitamine und Mineralstoffe, einschließlich der Spurenelemente.

In der Anlage ist genau festgelegt, welche Stoffe Vitamine und Mineralstoffe und Spurenelemente sind. Das Produkt darf darüber hinaus weitere Stoffe enthalten, wenn diese vor dem Gesetz Lebensmittel sind (z.B. Spinatextrakt) und/oder ihre gesundheitliche Unbedenklichkeit außer Frage steht (z.B. Gelatine als Zusatz).

Die Packung der Nahrungsergänzungsmittel muss die Vorschriften der Lebensmittelkennzeichnungsverordnung erfüllen.

1. Es müssen die Namen der enthaltenen Stoffe genannt werden (z.B. Vitamin C),
2. Die empfohlene tägliche Verzehrsmenge muss angegeben sein,
3. ein Warnhinweis, dass diese Menge nicht überschritten werden darf und
4. der Hinweis, dass ein Nahrungsergänzungsmittel keinen Ersatz für eine ausgewogene und abwechslungsreiche Ernährung darstellen soll, ist Pflicht.

In Deutschland müssen die Hersteller von Nahrungsergänzungsmitteln, das Inverkehrbringen eines Nahrungsergänzungsmittels beim BVL anzeigen. Die Lebensmittelüberwachung prüft, ob die gesetzlichen Vorschriften eingehalten werden. Es wird aber keine Prüfung einer Wirksamkeit z.B. für mehr Vitalität vorgenommen.

Nahrungsergänzungsmittel suggerieren dem Verbraucher, dadurch dass sie als Tabletten, Kapseln oder Dragees wie Arzneimittel auftreten, dass bei ihnen die Wirksamkeit geprüft und das Produkt von einer Behörde zugelassen worden ist. Dies ist aber nicht der Fall. Den Verbrauchern fällt die Abgrenzung zwischen Nahrungsergänzungsmitteln und frei verkäuflichen Arzneimitteln recht schwer.

(Verbraucherzentrale Bundesverband e.V., 2005, S.20-22)

Die deutsche NemV wurde aufgrund einer europäischen Richtlinie erlassen. Eine ähnliche Verordnung existiert somit in allen EU-Ländern, sie wird aber in jedem Land unterschiedlich praktiziert. Es gibt z.B. nicht in jedem Land eine Anzeigepflicht bei einer Behörde, wenn ein neues Nahrungsergänzungsmittel auf den Markt kommt. Die Anzeigepflicht kann umgangen werden, wenn die Produkte aus einem Land mit liberaler Handhabung per Post versandt werden oder aus dem nicht europäischen Ausland über das Internet bestellt werden. Bei diesen Produkten muss der Verbraucher selber entscheiden, ob er mit diesem Produkt sich und seiner Gesundheit gutes tut oder sie sogar gefährdet. Außerdem konnten sich die europäischen Länder noch nicht einigen, welche Höchstmengen an bestimmten Inhaltsstoffen sie in Nahrungsergänzungsmitteln tolerieren. In der NemV, ist lediglich ein Vorschlag für die angemessene Zufuhr an einigen (nicht alle) Vitaminen und Mineralstoffen angegeben. Auf der Verpackung von Nahrungsergänzungsmitteln taucht er als europäische RDA auf. Auf ihn wird Bezug genommen, wenn die Höhe der zugesetzten Vitamine und Mineralstoffe erläutert werden sollen. Diese Angaben dienen der einfacheren Vergleichbarkeit der Produkte. Um bei Nahrungsergänzungsmitteln einer zu geringen Dosierung entgegenzuwirken, lautet es in der NemV das, eine Tagesportion eines Nahrungsergänzungsmittels wenigstens 15 Prozent der empfohlenen Menge eines bestimmten Nährstoffs enthalten. Sonst muss der Verbraucher auf den geringeren Gehalt an Vitaminen oder Mineralstoffen hingewiesen werden.

(Verbraucherzentrale Bundesverband e.V., 2005, S.23-S.26)

Die Verbraucherzentralen fordern eine EU-weit gültige Regelung für Nahrungsergänzungsmittel und eine Festlegung von verbindlichen Höchstmengen. Weiterhin sollte für die Inhaltsstoffe die Wirksamkeit wissenschaftlich gesichert sein. (Schlieper, 2002, S.203)

7.2. Novel Food Verordnung

In der Novel-Food-Verordnung werden folgende neuartige Lebensmittel oder Lebensmittelzutaten unterschieden:

- Lebensmittel und Lebensmittelzutaten, die gentechnisch veränderte Organismen enthalten oder aus solchen bestehen, z.B. Joghurt mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen.
- Lebensmittel oder Lebensmittelzutaten, die aus gentechnisch veränderten Organismen hergestellt wurden, solche jedoch nicht enthalten, z.B. gentechnisch veränderte Tomaten.
- Lebensmittel oder Lebensmittelzutaten mit neuer und gezielt veränderter Struktur, z.B. Fettersatzstoffe.
- *Lebensmittel und Lebensmittelzutaten, die aus Mikroorganismen, Pilzen oder Algen bestehen oder aus diesen isoliert worden sind, z.B. Einzellerproteine.*
- Lebensmittel oder Lebensmittelzutaten, die aus Pflanzen oder Tieren isoliert worden sind, außer Lebensmitteln oder Lebensmittelzutaten, die mit herkömmlichen Vermehrungs- oder Zuchtmethoden gewonnen wurden.

Lebensmittel die unter die Novel-Food-Verordnung fallen, dürfen:

- keine Gefahr für den Verbraucher darstellen,
- keine Irreführung des Verbrauchers bewirken,
- sich von Lebensmittel oder Lebensmittelzutaten, die sie ersetzen sollen, nicht so unterscheiden, dass ihr normaler Verzehr Ernährungsmängel für den Verbraucher mit sich bringt.

Produkte die unter die Novel-Food-Verordnung fallen müssen vor dem Inverkehrbringen auf ihre gesundheitliche Unbedenklichkeit geprüft werden und werden von der EU-Kommission erst dann zugelassen, wenn die gesundheitliche Unbedenklichkeit feststeht. Konventionelle Lebensmittel bedürfen hingegen keiner staatlichen Zulassung. Die Kennzeichnung von Novel-Food muss erfolgen, wenn die Lebensmittel Unterschiede zu herkömmlichen Lebensmitteln aufweisen und wenn sie gentechnisch veränderte Organismen enthalten. Der Verbraucher soll über Zusammensetzung, Nährwert und Verwendungszweck der Lebensmittel informiert werden. (Schlieper, 2002, S.203.)

8. Lebensmittel mit Algen die derzeit angeboten werden

Über das Internet sind vereinzelnde Lebensmittel, die Algen als Zutat enthalten, zu bekommen. In diesem Kapitel werden verschiedene von ihnen vorgestellt um einen Eindruck über die Vielfältigkeit des Einsatzes der Alge in Lebensmitteln zu geben. Außerdem gibt es in vielen Büchern und im Internet weitere

Rezeptideen zu Verwendung von Mikroalgenpulver in Rezepten, auf diese wird aber unter diesem Punkt nicht näher eingegangen.

Über „beaubon“ kann man im Internet einen *Tee mit Spirulina* für knapp vier Euro kaufen. Er wird in 100g Beuteln vertrieben. Laut der Produktbeschreibung ist es eine fein abgestimmt aromatisierte Kräuterteemischung mit Birnengeschmack und *Spirulina platensis*. Er wird als Anti-Ageing-Tee bezeichnet.

Die folgende Abbildung zeigt den Tee mit Spirulina, wie er im Internet angeboten wird.



Abbildung14: Kräutertee mit Spirulina (www.beaubon.de)

Die Zutaten bestehen aus: Hagebuttenschalen, Zimt, Melisse, Schizandrabeeren, Schwarze Johannisbeeren, Beerenblätter, grüner Mate, Spirulina Algen und Aroma. Pro Tasse soll man zwei gehäufte Teelöffel verwenden und den Tee 8-10 Minuten ziehen lassen.

Weitere Produkte aus Algen werden im Internet z.B. über den „MaRenate-Shop“ vertrieben. Hierzu zählen „*Sea Chips*“ (Tortillachips mit Seealgen) und „*Kelp Chrunch*“ (ein Müsliriegel mit Seealgen), siehe folgende Abbildungen.



Abbildung 15: Sea Chips (Tortillachips mit Seealgen) (www.marenate.de)

Die Zutaten der „Sea Chips“ sind Steingemahlener ganzer Mais, Safran- und/oder Sonnenblumenöl, verschiedene Meeresalgen, Zwiebeln sowie Knoblauch. Sie stammen sämtlich aus zertifiziertem, kontrolliert biologischen Anbau. Das Produkt ist ohne Salzzugabe und ohne Natriumglutamat.



Abbildung 16: Kelp Crunch (Müsliriegel mit Seealgen) (www.marenate.de)

Die Zutaten vom „kelp Crunch sind Sesam, Ahorn- sowie Reissirup und Makroalgen. Das Produkt wird ohne Salzzugabe und ohne Natriumglutamat hergestellt.

Über das Internet werden auch *Bio-Dinkelnudeln mit Spirulinaanteil* vertrieben. Sie werden in einer 250g Packung angeboten und bestehen aus 245g Bio-Dinkelmehl und 5g Spirulinapulver, siehe folgende Abbildung.



Abbildung 17: Dinkel-Walznudeln mit Spirulina (food.teslaplatten.ch)

Ganz neu ist der *Algenwein*. Er wird von der Firma Ocean Wellness aus *Laminaria saccharina* (dem Zuckertang) hergestellt. Die untere Abbildung zeigt ihn.



Abbildung 18: Algenwein (o-well.de)

Eigentlich war das Hauptstandbein des kleinen Betriebes bislang Naturkosmetik, ganz nebenbei haben sie jedoch den ersten Algenwein der Welt erfunden. Ein Fass mit Algenextrakt, der lange gelagert hatte und an den Sauerstoff gelangt war, duftete auf einmal nach Sherry und erinnerte aufgrund seiner samtbraunen Farbe an Wein. Den Algenwein kann man natürlich trinken, man kann ihn aber auch zum ablöschen oder zum abschmecken von Salatsößen nehmen und er eignet sich auch als Grundlage für Sorbets. Im Kieler Restaurant „Fischers Fritz“ setzt Küchenchef Uwe Thomsen bereits den Algenwein ein und auch einige Hotels und Gesundheitsfarmen sind Abnehmer des Weins.

Die Algenfarm der Firma ist in Kiel an der Ostsee, in welcher die Laminaria-Algen in einem 100x100 Meter großen Gebiet heranwachsen. Nach der Ernte werden die Algen fermentiert, eingemaischt und gären mit Bakterien- und Hefekulturen in großen Tanks bei Raumtemperatur. Nach vier Wochen entsteht dann ein Wein mit einem Alkoholgehalt von 14-16%. Er soll würzig und frisch schmecken und an Cidre erinnern. Der Wein enthält viele Vitamine, Mineralstoffe und Spurenelemente, aber auch sehr viel Jod. Bereits 2 cl enthalten 0,2 bis 0,5 mg Jod und decken damit den empfohlenen Tagesbedarf von Jugendlichen und Erwachsenen schon zu gut, denn pro Tag ist eine Aufnahme von 200µg erforderlich. Sollte der Algenwein in größerem Umfang produziert werden, können sich die Hersteller auch den teilweisen Entzug von Jod aus dem Getränk vorstellen. (welt.de)

Als neues Produkt wird die Firma noch einen Algengetränk auf den Markt bringen. Hierbei handelt es sich um einen Saft auf Apfelbasis mit Algen. (www.dw-world.de)

9. Nutzung der Alge als Lebensmittel in der Zukunft

Von den über 40.000 bekannten Algenarten werden derzeit weniger als 1 % kommerziell genutzt, z.B. als Arzneimittel, Kosmetika und als Lebensmittelkomponenten. Dabei schätzen Algenforscher, dass nur etwa 5 % der weltweit vorkommenden Algenarten überhaupt bekannt sind. Es muss bezweifelt werden das die übrigen noch entdeckt werden. Es fehlt zum einen an Fachleuten und zum anderen häufen sich Hinweise das eine größere Zahl von Algen vom Aussterben bedroht ist.

In der Grundlagenforschung von Biologie und Biomedizin stellen Algen wichtige Modellsysteme dar. In Hunderten von Labors weltweit werden Mechanismen der Photosynthese, der zellulären Bewegung, des Zellalters, der Sekretion und viele andere Phänomene untersucht. (www.uni-koeln.de)

Da Algen derzeit im Mittelpunkt der Forschung auf vielen Gebieten stehen, ist ein zukünftiger verbreiteter Einsatz der Algen in der Lebensmittelindustrie durchaus vorstellbar.

9.1. Functional Food

Das ernährungswissenschaftliche Fachwissen erweitert sich immer mehr und hat auch im Alltagsbewusstsein Fuß gefasst. Die Konsumenten ringen mit dem Dilemma sich gesund, geschmacklich anspruchsvoll und trotzdem nicht zu teuer zu ernähren. Hieraus ist die Idee des Functional-Food entstanden, es galt gerade in den letzten Jahren als der Hit auf dem Lebensmittelsektor. Unter dem Begriff Functional-Food werden Produkte mit einem „Extraschuss Gesundheit“ offeriert. Sie sollen es den Konsumenten einfacher machen, sich gesund zu ernähren, ohne dabei Abstriche beim Genuss zu machen.

Ein Lebensmittel wird als funktionell angesehen, wenn es über adäquate ernährungsphysiologische Effekte hinaus eine nachweisbare Wirkung auf eine oder mehrere Zielfunktionen im Körper ausübt, so dass eine verbesserte Gesundheit oder ein gesteigertes Wohlbefinden und/oder eine Reduktion von Krankheitsrisiken erzielt wird. Funktionelle Lebensmittel werden ausschließlich in Form von Lebensmitteln angeboten und nicht als Pille oder Kapsel. Somit sollten sie ein integraler Bestandteil des normalen Ernährungsverhaltens sein und ihre Wirkung auch bei üblichen Verzehrsmengen entfachen. Ein Functional-Food kann ein natürliches Lebensmittel sein oder eines sein, zu dem Bestandteile hinzugefügt oder von dem welche abgetrennt wurden. Außerdem kann es auch ein Lebensmittel sein, in dem die natürliche Struktur ein oder mehrerer Komponenten modifiziert oder dessen Bioverfügbarkeit verändert wurde. Ein funktionelles Lebensmittel kann einerseits für alle Konsumenten oder nur für definierte Bevölkerungsgruppen funktionell sein.

(Rützler, 2005, S.151-160)

Ernährungsfunktionelle Komponenten von Functional-Food sind: Ballaststoffe, antioxidative Vitamine, Folsäure, einfach ungesättigte und mehrfach ungesättigte Omega-6- und Omega-3-Fettsäuren sowie bestimmte Phospholipide, Sekundäre Pflanzenstoffe, vor allem Carotinoide, Polyphenole, Phytosterine, Phytoöstrogene und Glukosinolate, gut verfügbare Calciumquellen in Verbindung mit natürlichen Promotoren des Calciumstoffwechsels wie z.B. Fluorid oder Vitamin D, Pre- und Probiotika mit positivem Einfluss auf die Darmflora, Proteine, Peptide sowie Aminosäuren, Zink und Selen. Über diese ernährungsfunktionellen Nahrungsbestandteile, die eine vorbeugende gesundheitliche Wirkung bewirken, liegen fundierte wissenschaftliche Erkenntnisse vor. Sie kommen einerseits in herkömmlichen Lebensmitteln vor, wie z.B. Gemüse, Fisch, Sojaprodukte und Fleisch, sie können aber auch ganz gezielt in Functional-Food zugesetzt oder angereichert werden. (Hamm, 2003, S.251-252.)

Beispiele für funktionelle Lebensmittel sind, Eier mit einem erhöhten Gehalt an DHA (Omega-3-Fettsäure), phytosterolhaltige Margarine zur Senkung des Cholesterinspiegels, Fruchtsaftgetränke mit Grüntee-Extrakt, pro- und präbiotische Milchprodukte, aber auch vitaminisierte Suppeneinlagen für Kinder oder „Brainsnacks“ für Schreibtischarbeiter.

Die längste Tradition im Bereich Functional-Food hat Japan. Dort werden solche Produkte mit dem Siegel „Food for Specified Health Use (FOSHU) oder frei übersetzt, „Nahrungsmittel mit spezifischem Gesundheitsnutzen“ gekennzeichnet. Dort dürfen funktionelle Lebensmittel, nach dem Durchlauf eines strengen Zulassungsverfahrens, seit 1991 den rechtlich geschützten Begriff FOSHU tragen.

In den USA ist der Umgang mit Functional-Food anders, dort werden seit 1993 von den Behörden gesetzlich autorisierte Health-Claims (Gesundheits- oder Krankheitsbezogene Aussagen zu einem Produkt) zugelassen. Diese Aussagen basieren auf fundierten wissenschaftlichen Erkenntnissen über die Zusammenhänge zwischen Ernährung und Krankheit. Zugelassene Health claims in den USA sind: Calcium und Osteoporose, Nahrungsfett und Krebs, Gesättigte Fettsäuren, cholesterin und koronare Herzkrankheiten, Ballaststoffe und krebs, lösliche Ballaststoffe in Obst, Gemüse und getreideprodukten und koronare Herzkrankheiten sowie Folsäure und Neuralrohrdefekt. Die Zulassung erfolgt in den USA von der Food and Drug Administration (FDA).

In der EU und somit auch in Deutschland gibt es bisher keine rechtliche Regelung für Functional Food. Sie werden hier sowohl als Lebensmittel für den allgemeinen Verzehr als auch als diätetische Lebensmittel, nicht aber als Arzneimittel angeboten. Solche Produkte kommen also als Lebensmittel auf den Markt und unterliegen so dem Lebensmittelrecht, wie der Lebensmittelkennzeichnungsverordnung und gegebenenfalls den Vorschriften der Diätverordnung. (Schlieper, 2002, S339.)

In Deutschland besteht ein Verbot krankheitsbezogener Werbeaussagen z.B. „Beseitigt, lindert oder verhütet...“. Gesundheitsbezogene Werbeaussagen sind dagegen erlaubt z.B. „unterstützt die körpereigenen Abwehrkräfte“ oder „leistet einen aktiven Beitrag für ihr Wohlbefinden“. Solche Aussagen müssen jedoch ausreichend gesichert sein.

Allein durch den Verzehr funktioneller Lebensmittel kann die Gesundheit aber nicht gesteigert werden. Sie sind lediglich eine mögliche Ergänzung einer Gesundheitsbewussten Ernährung. (Schlieper, 2002, S.203.)

Der Umsatz im Marktsegment Functional-Food wurde im Jahr 1997 von AC Nielsen in Deutschland auf 300 Millionen Mark geschätzt, mit jährlichen Wachstumsraten von etwa 10 %. Laut dieser Prognosen sollte im Jahre 2050 der Anteil der Functional-Food-Produkte am

gesamten Lebensmittelmarkt 50 % erreichen. Derzeit lassen sich jedoch nur 1.400 Produkte aus 41 Warengruppen diesem Segment zuordnen. Das sind noch nicht einmal 2 % des deutschen Lebensmittelmarktes. Somit müssen die Prognosen wahrscheinlich um einiges nach unten korrigiert werden.

Functional-Food der Zukunft wird nicht mehr als Massenlebensmittel angeboten, sondern als maßgeschneiderte Nahrung für spezifische Bedürfnisse und Lebensphasen. Beispiele hierfür sind: Säuglinge (Aufbau und Stärkung, Unterstützung der Entwicklung), Kleinkinder (Wachstums- und Entwicklungsförderung), Mittlere Altersgruppen (Erhaltung, Stärkung, Gesundheitsförderung, Vorsorge, Verlangsamung des Alterungsprozesses, Leistungsförderung), Ältere Menschen (Unterstützung, spezifische Stärkung, Heilung, Verlangsamung des Alterungsprozesses) oder Personen mit Gewichts- oder Verdauungsproblemen. (Rützler, 2005, S.151-160)

Eine besonders interessante Zielgruppe für Functional-Food stellen die „jungen alten“, die Generation 50 plus, dar. Im Jahre 1974 waren weltweit 230 Millionen Menschen über 65 Jahre alt, im Jahr 2000 waren es 420 Millionen und 830 Millionen werden es im Jahr 2025 sein. Wenn die Menschheit älter wird, wächst auch die Bereitschaft, Geld für die Gesundheit auszugeben. So wird auch die wissenschaftliche Suche nach gesundheitsfördernden Ingredienzien von Jahr zu Jahr intensiver. Erwünschte gesundheitsfördernde Wirkungen sind dabei vor allem Effekte wie Senkung der Blutviskosität, Beeinflussung der Produktion von Blutgerinnungstoffen, Senkung des cholesterin- und triglyceridspiegels im Blut, therapeutische Wirkungen bei Arteriosklerose, rheumatischer Arthrose und Arthritis (Rützler, 2005, S.157)

Da Mikroalgen wie z.B. Spirulina einige Nährstoffe enthalten, die als Komponenten von Functional Food eingesetzt werden, wie antioxidative Vitamine, Folsäure, Carotinoide, Zink, Selen sowie Aminosäuren einschließlich der essentiellen, steckt in ihnen ein Potential für die Anreicherung in Functional-Food-Produkten.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, gibt es in den USA den Trend zum Verzehr von Mikroalgen-Shaks, was schon in gewissem Maße einem funktionellen Lebensmittel entspricht. Denn das Milchgetränk erhält durch die Zugabe der Mikroalgen einen Zusatznutzen. Er besteht darin, dass das Produkt nun noch weitere ernährungsphysiologisch wichtige Nährstoffe enthält, wie z.B. essentielle Aminosäuren oder essentielle Fettsäuren.

Die meistverwendete „Foshu-Zutat“ ist inzwischen Seegras. Im Jahr 2006 kam falscher Kaviar auf den Markt: in rosa. Er soll die für Sushi unverzichtbaren Lachseier ersetzen. Ein anderes Seegrasprodukt, auch ganz neu, ist eine Süße-Variante Aprikosenschnitten „Wiener Art“. (Symrise GmbH, 2006, S.17)

Weitere Einsatzgebiete der Mikroalgen bzw. auch Makroalgen in der Lebensmittelindustrie könnten Saft- sowie Erfrischungsgetränke, Teigwaren wie Nudeln, Kekse oder Brot, aber auch Soßen bzw. Dressings sein. Der Einsatz von Mikroalgen wie z.B. Spirulina in der Lebensmittelindustrie erfolgt in Pulverform oder als Extrakt, weshalb der Ideenvielfalt kaum Grenzen gesetzt sind. Andererseits gibt es wohl kaum industrielle Erfahrungswerte über den Einsatz von Makro- bzw. Mikroalgen wie z.B. Spirulina in Lebensmitteln, weshalb auf diesem Gebiet noch viel Forschung betrieben werden müsste.

Ob die enthaltenen Nährstoffe in den Mikro- bzw. den Makroalgen wirklich positive Gesundheitliche Effekte auf den Menschen erzielen und ob durch den Verzehr von angereicherten Mikro- bzw. Makroalgen in Lebensmitteln wirklich präventiv gegen vereinzelte Erkrankungen vorgegangen wird muss noch weiter Erforscht werden. Aufgrund der bisher vorgenommenen Studien über Mikro- bzw.- Makroalgen und deren Inhaltsstoffe

und Wirkungen ist jedoch anzunehmen, dass weitere Forschungen auf dem Gebiet der Ernährung mit Algen durchaus lohnenswert wären.

9.2. Health Food

Health Food (Gesunde Essen) ist einer der Zukunftstrends in der Lebensmittelindustrie.

Seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist die Ernährungswissenschaft, in Deutschland Ökotrophologie, eine eigenständige Disziplin, die jedoch heute vor völlig anderen Herausforderungen steht als zu Beginn der naturwissenschaftlichen Nahrungsforschung. Im Zentrum der Betrachtung stehen nicht mehr Mangelernährung, Sicherheit der Lebensmittelversorgung und Untergewicht, sondern Übergewicht und Nahrungsüberfluss kennzeichnen die Ernährungssituation in den meisten industrialisierten Ländern. In den so genannten „Überflusgesellschaften“ setzen sich die Wissenschaftler daher hauptsächlich mit Übergewicht und Ernährungsbedingten Krankheiten auseinander. Somit ist heute „richtige Ernährung gleichzusetzen mit gesunder Ernährung.

Alle Wertewandelstudien der jüngsten Vergangenheit erklären Gesundheit übereinstimmend zum höchsten Gut der Menschen. Nach dem Marktforschungsinstitut Allensbach ist Gesundheit für die Deutschen der höchste Wert überhaupt und löst damit Begriffe wie Sicherheit oder intakte Natur ab, allerdings wurde die weltpolitische Lage der vergangenen Jahre in dieser Studie noch nicht berücksichtigt. Eine Ähnliche Entwicklung in der Schweiz und in Österreich ist zu erkennen. (Rützler, 2005, S.73 und S.74)

Den Menschen ist ihre Gesundheit wichtig, hieraus resultiert der Wunsch nach gesunden Lebensmitteln. Somit steht die Lebensmittelindustrie vor der Herausforderung, Lebensmittel zu entwickeln, die den steigenden Gesundheitsansprüchen genügen und gleichzeitig andere Kernbedürfnisse wie Genuß und Preis zu integrieren.

Gesundheit und Ernährung wachsen näher zusammen, dies zeigt sich unter anderem in unzähligen Lebensmitteln, die mit unterschiedlichen Ansätzen einen erhöhten Gesundheitsnutzen versprechen. (Sigrist, 2005, S.108-109)

In Zukunft wird das Verständnis des Zusammenhangs zwischen Ernährung und Gesundheit weiter wachsen. Immer mehr Mechanismen im Zusammenspiel von Lebensmittelinhaltsstoffen und biochemischen Prozesse werden entschlüsselt. Damit steigt auch der Druck auf die Lebensmittelindustrie und den Handel, denn Essen ist für eines der größten Gesundheitsprobleme der heutigen Zeit verantwortlich, das Übergewicht. Auch eine Vielzahl anderer Zivilisationskrankheiten ist durch die Ernährung bedingt. Lebensmittelprodukte, die eben diesen Erkrankungen vorbeugen, versprechen hohe Wachstumsquoten. Essen übernimmt in der Zukunft dann immer mehr die Funktion heutiger pharmazeutischer Erzeugnisse. Eines der Probleme der Medizin, die auf der Einnahme von Medikamenten beruht, ist die Applikation und die Sicherstellung der regelmäßigen Einnahme der Tabletten. Lebensmittel eignen sich für den Einbau von pharmakologisch aktiven Substanzen weil regelmäßige Mahlzeiten zum Alltag der meisten Menschen gehören. Gesundheitsfördernde Stoffe wie z.B. ungesättigte Omega-3-Fettsäuren müssen nicht mehr durch den Verzehr von Fisch aufgenommen werden, sondern werden bereits heute von Algen extrahiert oder können in Zukunft durch gentechnische Herstellung anderen Nahrungsmitteln zugefügt werden.

Trotz den Fortschritten, die heute in der Entwicklung von funktionellen Lebensmitteln gemacht werden, muss man sich im Klaren sein, dass bis zu Marktreife von Esswaren, die unseren Gesundheitszustand maßgeblich verbessern, ohne dass wir unsere Lebensweise anpassen, noch viele Fragen zu klären sind. (Sigrist, 2005, S.110-S.111)

Folgende Abbildung verdeutlicht in drei Phasen, wie sich Lebensmittelmarkt und Gesundheitsmarkt in Zukunft überschneiden werden.

Konvergenz von Food- und Gesundheitsmarkt in drei Phasen



Abbildung 19: Konvergenz von Food und Gesundheitsmarkt (Sigrist, 2005, S.113)

In weiter Zukunft werden die positiven gesundheitlichen Wirkungen von Algen eventuell weitgehend erforscht sein und dann wäre der Einsatz von Makro- oder Mikroalgen wie z.B. *Spirulina platensis* auch im Health Food-Bereich denkbar.

9.3. Verwendung von Mikroalgen als Weltraumnahrung

Die NASA und das amerikanische Forschungslabor der Armee in Massachusetts haben die Food-Technologie stark beeinflusst. Das Raumfahrtsprogramm ist für eine Vielzahl von „Spin-offs“ direkt verantwortlich, welche sich in der Konsumgüterwelt einen festen Platz erobert haben. Es wurden z.B. der Wasser-Filter oder gefriergetrocknete Produkte direkt von der NASA-Forschung der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt. Weitere Innovationen der Raumfahrtforschung sind das Mikrowellengerät und die Bestrahlung von Lebensmitteln zur Haltbarmachung.(Sigrist, 2005, S.96.)

Eine Herausforderung für die Raumfahrt ist heute noch der Flug zum Mars. Hierfür werden Lebensmittel benötigt die auch in fünf Jahren noch essbar sein müssen.

Die Europäische Raumfahrtagentur ESA sucht schon seit einigen Jahren einen Weg, wie und welche Lebensmittel auf anderen Planeten oder im Raumschiff angebaut werden können. Wie genau ein solches Ökosystem auf dem Mars aussehen könnte ist noch offen. Derzeit ist vorstellbar, dass die Astronauten möglicherweise im Jahr 2030 zum Mars aufbrechen könnten. Im Moment müssen bei Weltraummissionen alle Lebensmittel von der Erde in den Weltraum gebracht werden. Dies wäre bei einer Mission zum Mars nicht mehr möglich, da die Vorräte

viel zu schwer wären und zu viel Platz benötigen würden. Somit versucht man, die Ess-Abfälle zu recyceln und eigenes Essen anzubauen. Aus diesem Grund untersuchen die ESA-Forscher derzeit neun verschiedene Pflanzen, die eine Basis für eine recyclingfähige Weltraumnahrung liefern könnten. Die besten Resultate hat bisher die Alge *Spirulina platensis* erzielt. Nun werden 70 Gerichte aus ihr kreiert. Abbildung 20 zeigt eines der Gerichte. (Sigrist, 2005, S.97.)



Abbildung 20: Gnocchins mit Spirulina (www.esa.int)

Zurzeit finden Versuche bei der NASA und am Nationalen Raumfahrt Laboratorium in Japan statt, Spirulina im Weltraum zur Fischproduktion in Raumfahrtstationen zu nutzen. Das schnelle Wachstum der Algen ermöglicht den gezielten und computergesteuerten Gasaustausch. Abbildung 21 verdeutlicht dies.

Es existieren Pläne für größer dimensionierte biologische Lebenserhaltungssysteme mit Mikroalgen, die Sonnenlicht und ausgeatmetes Kohlendioxid der Astronauten sowie aufbereitete Abfälle in genügend Sauerstoff, Protein und Energie für menschliches Leben im Weltraum umwandeln sollen. (biothemen.de/spirulina.html)

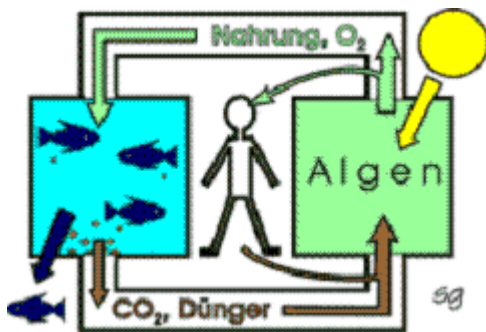


Abbildung 21: Nutzung von Spirulina in der Raumfahrt (biothemen.de/spirulina.html)

Algen als Proteinquelle für die wachsende Weltbevölkerung

„Kurz vor dem Jahrtausendwechsel erreichte die Weltbevölkerung die Sechs-Milliarden-Grenze. Jede Minute kommen 180 Erdenbürger hinzu, und wenn dieses Wachstum weiter anhält, werden im Jahr 2050 etwa zehn Milliarden Menschen auf der Erde leben.“

(Sigrist, 2005, S.80)

Bei diesen Aussichten stellt sich die Frage, wie die Ernährungssituation auf unserem Planeten in der Zukunft aussieht. Fest steht auf jeden Fall, dass der landwirtschaftlich nutzbare Boden eine endliche Ressource ist, die nicht beliebig erweitert werden kann, denn der größte Teil der Erdoberfläche kann nicht für solche Zwecke genutzt werden. Somit ist es eine Tatsache, dass jedem Menschen in Zukunft rein rechnerisch permanent weniger Nutzfläche zur Verfügung

steht. Nicht nur in den Entwicklungsländern und den Industrienationen, sondern auch in der Westlichen Welt könnte Nahrungsknappheit in einigen Jahrzehnten zum Problem werden. (Sigrist, 2005, S.80)

Schon seit langer Zeit ist man deswegen auf der Suche nach neuen Proteinquellen. Als potentielle Proteinquelle kam man schon in den 70er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts auf den Krill (*Euphasia superba*), diese kleinen, den Nordseegarnelen im Aussehen ähnliche Meereskrebse, haben einen Bestand aufzuweisen, der die gesamten anderen Fischvorkommen um ein Mehrfaches übertrifft. Der Proteingehalt des Fleisches beträgt 13g/100g. Die Schale des Krills weist jedoch einen enorm hohen Fluoridgehalt auf. Das Fluorid tritt bei der Lagerung in das Fleisch über. Aufgrund der winzigen Größe der Tiere ist eine saubere Trennung zwischen Schale und Fleisch schwierig. Rohkrill ist mit 7-36 mg Fluorid pro 100g aus ernährungsphysiologischer Sicht ein Risiko, wenn größere Mengen verzehrt werden. Bei Fütterungsversuchen mit Ratten und Schweinen kam es bei den Tieren zu Veränderungen an Leber und Nieren. Hierauf wurden alle Aktivitäten zur Verwendung von Krill eingestellt. (Smogyi, Hölzel, 1990, S.1-S.3)

Schon in den 60er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts machte die kühne Vision Furore Nahrungsmittel aus Erdöl herzustellen. Es war Ölfirmen wie „BP“ gelungen, in Fermentern mit Hilfe von Hefepilzen Eiweiß im großen Maßstab zu produzieren, so genannte Petroproteine. Es schien eine Versorgung unabhängig von Klima, Böden und Landwirtschaft greifbar zu sein. Da sich aber auch Konsumenten in der Dritten Welt nicht mit solch einer Nahrung anfreunden konnten, schiefen die Experimente in den 70er Jahren des neunzehnten Jahrhunderts wieder ein. (Sigrist, 2005, S.81)

Auch ein Konzept der 70er Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts ist „die Fortifikation (heute oft „Nutrifikation“ genannt), das ein weltweites Programm zur Nahrungsergänzung mit Aminosäuren starten ließ. Hier ging es darum, eine vermeintliche Proteinlücke („protein gap“) in der Ernährung unterentwickelter Länder mit dem technologischen „Know how“ der Industrieländer zu schließen. Es wurden Präparate aus üblicher pflanzlicher Kost der entsprechenden Region (Mais, Reis, Soja etc.) mit unüblichen Beimischungen zur Aufwertung ergänzt und in Ernährungsversuchen eingesetzt. Ein Beispiel ist das Präparat „Incaparinga“ für Südamerika. Es besteht aus 58 % Maismehl als Kohlenhydratquelle, 38 % Baumwollsamemehl als Hauptproteinquelle, Hefe, synthetischem Lysin, Calcium und Vitamin A. Das Präparat ist preiswert und hat gleichzeitig einen hohen Kalorienwert. Aufgrund der fortifizierten Zumischung von Lysin und Torula-Hefe wird ein ausgewogenes Aminosäuremuster erreicht. Es ist nicht nur lange lagerfähig, sondern aufgrund seines hohen Maisanteils hat es den zusätzlichen Vorteil, dass mit ihm die Geschmacksrichtung der lateinamerikanischen Bevölkerung berücksichtigt wird. Dies ist ein bedeutender Gesichtspunkt bei allen Versuchen, industriell hergestellte, unkonventionelle Nahrungsmittel einzuführen. Auf gleicher Basis sind auch „aufwertende“ Mischungen pflanzlicher Proteine für Indien und für den Mittleren Osten hergestellt worden.

(Grimme, 1995, S.20 – 21)

Um die wachsende Weltbevölkerung weiter ernähren zu können müssen wir versuchen das viele Salzwasser auf dem Planeten und das unfruchtbare Land zu nutzen. In den Mikroalgen, vor allem in Spirulina steckt ein großes Potential als potentielle Proteinquelle der Zukunft. Durch den Vorgang der Photosynthese verbrauchen sie einerseits Kohlendioxid, welches um einiges zu viel produziert wird, zum anderen wachsen Spirulina und andere Algen im Salz- oder Brackwasser, das es auch in heißen und trockenen Ländern gibt.

Die bisherigen Nutzpflanzen und –Tiere benötigen dagegen alle Süßwasser zur Bewässerung bzw. zum Trinken. Nur 2,5 % des Wasservorrats der Erde sind allerdings Süßwasser. Algen benötigen zwar Wasser zum wachsen, ihr relativer Wasserverbrauch zur Erzeugung von

Protein im Vergleich zu anderen Nahrungsmitteln ist jedoch sehr gering. Da Algen getrocknet verkauft werden können, sind sie bei Hitze lager- und transportfähig und sehr lange haltbar. Farmen zur Züchtung von Spirulina können auf unfruchtbarem Land errichtet werden. Sie können im Jahr bis zu 10 Tonnen reines Eiweiß je Hektar erzeugen, was sie zu den produktivsten Agrarsystemen überhaupt macht. Im Vergleich hierzu erreicht man mit Sojabohnen nur 1 Tonne und mit Rindfleisch nur 100 Kilogramm Eiweiß je Hektar. Auch die Gewichtsverdopplungszeit der Mikroalgen ist beträchtlich und macht sie zu einer schnell verfügbaren Proteinquelle. (biothemen.de/spirulina.html)

Tabelle 16: *Gewichtsverdopplungszeit einiger Lebewesen* (Gross, 1975, S.60-61)

Organismen	Zeit (Tage)
Hefen, Bakterien, Mikroalgen	0,02 - 4
Vielzellige Pflanzen	10 - 25
Huhne	20 - 40
Schwein	30 - 130
Rind	250 - 500

Fruchtbares Land wird immer knapper. Allein der Flächenverbrauch zur Rindfleischproduktion in Südamerika ist extrem und hat viel tropischen Regenwald mitsamt dem Boden und der Fruchtbarkeit vernichtet. Aber auch zum Soja- und Getreideanbau für Tierfutter werden Wälder zerstört. Die Produktion von Spirulina-Eiweiß würde den Flächenverbrauch des tropischen Regenwaldes verringern, denn zur Gewinnung der gleichen Eiweißmenge müsste er in 10- bis 100-facher Flächenausdehnung der Agrarproduktion weichen. In kleinen Anlagen auf Dorfebene kann die Spirulina-Produktion einen wesentlichen Beitrag zur Selbstversorgung der Bevölkerung in heißen Ländern leisten. Pilotprojekte gab es in Peru, Togo, Senegal und Indien. Abbildung 22 zeigt das Projekt in Togo. Mit der anspruchslosen Alge ließen sich die Ernährung und damit die Gesundheit der Bevölkerung möglicherweise verbessern.



Abbildung 22: Projekt zur Spirulina-Produktion in Togo (biothemen.de/spirulina.html)

Die Hauptursache für Mangelernährung, besonders bei Kindern, in den Entwicklungsländern ist ein Proteinmangel zusammen mit einem Vitamin- und Mineralstoffmangel. Der von der WHO und FAO angegebene minimale tägliche Proteinbedarf beträgt 31g und ist in 50g Spirulina enthalten. Ein zu hoher Proteingehalt in der Nahrung ist nicht zu empfehlen, in Mangelsituationen kann Spirulina den Ernährungsstatus jedoch verbessern. Laut Studien der FAO gibt es weltweit 14 Millionen Kinder, die an einem Vitamin-A-Mangel leiden. Pro Jahr erblinden eine halbe Million Kinder hierdurch, weitere 300 000 sterben daran im weiteren Verlauf. Hier könnte ein Gramm Spirulina schon helfen den Mangel auszugleichen. Nach

Studien der WHO leben in den Entwicklungsländern neun von zehn Kindern mit Anämie. Ein Eisenmangel schwächt den Körper, das Immunsystem und die Leistungsfähigkeit. Spirulina enthält auch relativ viel Eisen und könnte dazu beitragen die Lebenssituation zu verbessern. (biothemen.de/spirulina.html)

Die Mikroalge Scenedesmus hat in einer Studie an gesunden Erwachsenen, leicht unterernährten Kindern in der Rekonvaleszenz und an schwer unterernährten Kindern in Peru erfolge erzielt. Durch diese Studie konnte die Unschädlichkeit des Konsums der Mikrolage Scenedesmus festgestellt werden und sie erwies sich durch ihre gute Verträglichkeit sowie ihrer Akzeptabilität als wertvolles Komplementärnahrungsmittel bei der Behandlung unterernährter Kinder. Einige Studien mit Spirulina sind zwar durchgeführt worden (siehe Kapitel: med. Forschung mit Spirulina), diese sind allerdings eingige Zeit her. Weitere Forschung ist deshalb auch auf diesem Gwebiet angebracht. (Gross, 1975, S.60-61)

Tabelle 17: *Mikroalgen im Vergleich zu anderen Nahrungsmitteln*
(Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S.33.)

Nahrungsmittel	Kohlenstoffquelle	Protein In %	Fette In %	Nukleinsäure in %	Kosten US\$/t
Mikroalgen	Kohlendioxid	45-60	5-10	4-6	800
Fleisch	Organisch	50-55	10-25	-	2000
Fischmehl	Organisch	60-65	10-27	-	6
Soja	Kohlendioxid	35-45	10-20	-	175
Getreide	Kohlendioxid	7-9	2-4	-	-

In der oberen Tabelle ist zu erkennen, dass Mikroalgen z.B. im Vergleich zu Fleisch bei geringeren Produktionskosten einen höheren Prozentanteil an Proteinen und einen geringeren Anteil an Fett aufweisen. Im Gegensatz hierzu sind Algen als Nahrungsergänzungsmittel für Tierfutter eher ungeeignet, da das heute verwendete Fischmehl einen deutlich höheren Eiweiß- und Fettanteil besitzt und gleichzeitig sehr viel geringere Produktionskosten verursacht. (Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S.34.)

Eine Untersuchung über verschiedene Inhaltsstoffe in Spirulina platensis ergab, dass der Nukleinsäuregehalt und die Basenzusammensetzung zu keinen Bedenken gegen eine Verwendung von Spirulina als Proteinquelle Anlass gibt. (Bezbaruah, 1975, S.68.)

Um Algen im industriellen Maßstab mit vertretbaren Kosten zu produzieren, ist eine weitere Verbesserung der Produktion notwendig. Es werden Algen benötigt, die nach derzeitigem Kenntnisstand unbedenklich für die menschliche Ernährung sind und gleichzeitig eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einflüsse aufweisen. Andererseits muss die Produktion von Algen auch unter marktwirtschaftlichen Aspekten optimiert werden. Momentan ist eine weltweite Versorgung ökonomisch noch nicht möglich. Weitere Grundlagenforschung auf diesem Gebiet ist deshalb auch zukünftig nötig.

Eine Nutzung der Algen als Nahrungsmittel kann möglicherweise zur Lösung derzeitiger und zukünftiger Probleme der Menschheit, vor allem hinsichtlich der Ernährung, beitragen. (Wöller, Bernhard, Rebel, 2002, S.39)

10. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit geht es um die Alge als Nahrungsmittel und ihre ernährungsphysiologische Bedeutung für den Menschen. Ziel war es einen umfassenden Überblick über Makro- bzw. Mikroalgen, sowie über ihre Verwendung und ihren Nutzen als Lebensmittel bzw. Nahrungsergänzungsmittel darzustellen und einen Einblick in Möglichkeiten einer zukünftigen Nutzung von Algen in der Ernährung des Menschen zu geben.

Diese Arbeit beschreibt die drei am häufigsten genutzten Algengerzeugnisse Nori, Wakame und Kombu. Außerdem wird auf die Mikroalgen *Spirulina platensis*, *Chlorella pyrenidosa* und die Afa-Alge (*Aphanizomenon flos-aquae*) eingegangen.

Nori wird aus Rhodophyceae der Art *Porphyra tenera* sowie *Porphyra yezoensis* hergestellt. Kombu stammt aus Laminaria-Algen, vor allem wird die Phaeophyceae *Laminaria japonica* verwendet, es wird aber auch die Chlorophyceae *Laminaria digitata* genutzt. Wakame wird aus Phaeophyceae der Art *Undaria pinnatifida* hergestellt. Nori wird hauptsächlich für Sushi, Kombu als Suppenbasis und Wakame als Gemüse (blanchiert) oder getrocknet verwendet. Mikroalgen finden immer größere Beliebtheit als Nahrungsergänzungsmittel. Vor allem werden die Cyanobakterien *Spirulina platensis* und die Afa-Alge, sowie die Chlorophyceae *Chlorella pyrenidosa* angeboten.

Die Nährstoffzusammensetzung von Wakame und Kombu sowie von *Spirulina platensis* werden tabellarisch dargestellt, anschließend wird dies kurz betrachtet und im Hinblick auf die menschliche Ernährung bewertet.

Makroalgen enthalten zwischen 40-60 % Kohlenhydrate und einen hohen Anteil an Ballaststoffen. Der Proteingehalt liegt zwischen 5-35 % und der Fettgehalt zwischen 1-5 % in der Trockenmasse. Makroalgen enthalten weiterhin Farbstoffe (z.B. Chlorophyll und Carotinoide) und Gerüstsubstanzen (z.B. Alginsäure, Fucoidan und Laminarin).

Kombu enthält unter anderem Jod, Eisen, Magnesium, Calcium, Phosphor, Vitamin C und B1. Wakame enthält unter anderem Magnesium, Calcium, Kalium, Phosphor, Eisen, Vitamin C und den B-Komplex.

In wissenschaftlichen Studien konnten eine schützende Wirkung auf Körperzellen, ein vorbeugender Effekt bei lichtbedingter Hautalterung, eine Verbesserung des Blutbildes und die Stärkung des Immunsystems nachgewiesen werden. Außerdem besitzen sie auch antimikrobielle und antikanzerogene Eigenschaften. Ein Nachweis von Wirkprofilen im Labor und Tierversuch bedeuten aber noch keinen Beweis für die medizinische Anwendbarkeit beim Menschen, vor allem bei lebensbedrohlichen Erkrankungen.

Ein therapeutischer Einsatz von Algen ist umstritten, da auch gesundheitsschädigende Wirkungen durch den Gehalt an Jod oder Arsen nicht auszuschließen sind. Nach Ansicht des BfR können Lebensmittel oder Würzmittel aus Algen oder Seetang mit mehr als 20mg Jod pro Kilogramm Trockenmasse die Gesundheit schädigen.

Spirulina platensis enthält 60 % hochwertige Proteine, darunter alle acht essentiellen Aminosäuren, Gamma-Linolensäure, viele Mineralstoffe wie Zink, Selen, Eisen und Calcium. Außerdem enthält sie auch zahlreiche Vitamine wie alle des B-Komplexes, Vitamin E und Folsäure sowie auch Carotinoide, Chlorophyll und Phycocyanin. Seit einigen Jahrzehnten wurden medizinische Forschungen mit *Spirulina platensis* z.B. in Japan, den USA und in Europa durchgeführt. Der Kenntnisstand über mögliche positive Effekte ist jedoch noch zu gering um Empfehlungen abzuleiten. Das BfR nimmt an, dass die durch täglich eine oder mehrere Tabletten zugeführte Menge an Proteinen, Vitaminen und anderen Nährstoffen nur sehr gering ist. Eine Verbesserung der Protein- bzw. der Nährstoffversorgung ist bei einer

kleinen Menge daher nicht anzunehmen und eine ernährungsphysiologisch sinnvolle Ergänzung der Nahrung fraglich. Für das BfR sind „Spezialsituationen“ für kranke oder gesunde Personen, bei denen der Verzehr von Algen hilfreich sein kann nicht ersichtlich. Eine Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln allgemein bzw. von ein paar Gramm Algen ist keine Alternative zum täglichen Verzehr von 5 Portionen Obst und Gemüse in roher und erhitzter Form.

Ein prinzipielles Problem bei der Verwendung von Mikroalgen als Nahrungsmittel ist, dass sie die Eigenschaft besitzen, toxische Substanzen wie Schwermetalle und Pestizide zu akkumulieren. Einige Cyanobakterien, wie *Aphanizomenon flos-aquae* können außerdem auch selbst Toxine bilden, so dass eine gesundheitliche Unbedenklichkeit des Verzehrs von Mikroalgen-Produkten nach dem jetzigen Stand der Kenntnis nicht garantiert ist.

Den Nahrungsergänzungsmitteln aus Afa-Algen werden in der letzten Zeit in vielen Medien heilende Wirkungen wie z.B. das sie bei ADHS und Demenzerkrankungen wie Alzheimer helfen, zugeschrieben. Diese Wirkungen sind allerdings nicht wissenschaftlich nachgewiesen. Das BfR rät dazu, dass Kinder Afa-Algen-Produkte grundsätzlich nicht verzehren sollen und Erwachsenen wird die Einschränkung des Konsums empfohlen. Allgemein sollte man keine Afa-Algen zu Nahrungsergänzung verwenden und wenn man andere Mikroalgen verwenden möchte, sollte man sie von zertifizierten Herstellern erwerben, die regelmäßig Analysen ihrer Produkte durchführen.

Der rechtliche Teil beschreibt die Nahrungsergänzungsmittel-Verordnung und die Novel-Food-Verordnung. Nahrungsergänzungsmittel werden vom Gesetzgeber wie Lebensmittel behandelt. Sie brauchen keine Zulassung und unterliegen keiner Prüfung. Die Hersteller sind in Deutschland verpflichtet wie bei Lebensmitteln die gesundheitliche Unbedenklichkeit zu garantieren und irreführende oder krankheitsbezogene Aussagen im Zusammenhang mit den Produkten zu vermeiden. Lebensmittel und Lebensmittelzutaten, die aus Mikroorganismen, Pilzen oder Algen bestehen oder aus diesen isoliert worden sind, fallen unter die Novel-Food-Verordnung.

Der abschließende Teil beschreibt die Bereiche Functional-Food sowie Health-Food und geht auf die mögliche Nutzung von Algen in diesem Bereich ein. Außerdem wird der Einsatz von *Spirulina platensis* in der Ernährung von Astronauten und die Möglichkeit der Nutzung von Mikroalgen als potentielle Proteinquelle in der Zukunft vorgestellt.

Schon heute wird Seegrass als „Functional-Food-Zutat“ verwendet. Auch der Einsatz von Mikroalgen in diesem Bereich ist vorstellbar. Ob die Mikro- bzw. Makroalgen positive gesundheitliche Effekte auf den Menschen erzielen und ob durch den Verzehr von Lebensmitteln die mit Mikro- bzw.- Makroalgen angereichert sind wirklich präventiv gegen vereinzelnde Erkrankungen vorgegangen wird muss aber noch weiter erforscht werden. Essen übernimmt in der Zukunft wahrscheinlich immer mehr die Funktion heutiger pharmazeutischer Erzeugnisse. In weiterer Zukunft werden die positiven gesundheitlichen Wirkungen von Mikro- bzw. Makroalgen eventuell weitgehend erforscht sein und dann wäre der Einsatz von Algen wie z.B. *Spirulina platensis* auch im Health-Food-Bereich denkbar. Die Europäische Raumfahrtagentur ESA sucht schon seit einigen Jahren einen Weg, wie und welche Lebensmittel auf anderen Planeten oder im Raumschiff angebaut werden können. Die besten Resultate als Basis für eine recyclingfähige Weltraumnahrung hat bisher die Alge *Spirulina platensis* erzielt. Zurzeit finden Versuche bei der NASA und am nationalen Raumfahrt-Laboratorium in Japan statt, *Spirulina* im Weltraum zur Fischproduktion in Raumfahrtstationen zu nutzen. Es existieren Pläne für größere biologische Lebenserhaltungssysteme mit Mikroalgen, die Sonnenlicht und ausgeatmetes Kohlendioxid der Astronauten sowie aufbereitete Abfälle genügend Sauerstoff, Protein und Energie für menschliches Leben im Weltraum umwandeln sollen.

In der Mikroalge, vor allem in *Spirulina platensis* steckt ein großes Potential als potentielle Proteinquelle der Zukunft. *Spirulina* und andere Algen wachsen im Salz- und Brackwasser, dass es auch in heißen und trockenen Ländern gibt. Der relative Wasserverbrauch zur Erzeugung von Protein aus Mikroalgen ist jedoch im Vergleich zu anderen Lebensmitteln sehr gering. Momentan ist eine weltweite Versorgung ökonomisch noch nicht möglich. Weitere Grundlagenforschung auf diesem Gebiet ist deshalb auch zukünftig nötig.

11. Abstract

This paper addresses the algae as food and her food-physiological meaning for human beings. The objective was to give a comprehensive overview of macroalgae or microalgae, as well as its application and its use as food or food-supplement and to provide an insight into possibilities of future use of algae in the nutrition of human beings.

In this paper three of the most often used alga products are described Nori, Wakame and Kombu. In addition, it is gone into the microalgae *Spirulina platensis*, *Chlorella pyrenidosa* and the Afa-algae (*Aphanizomenon flos-aquae*). Nori is made of Rhodophyceae of the species *Porphyra yezoensis*. Kombu originates from *Laminaria japonica*, however, it is also used the Chlorophyceae *Laminaria digitata*. Wakame is made of Phaeophyceae of the species *Undaria pinnatifida*. Nori is primarily used for Sushi, Kombu as a soup base and Wakame as vegetables (blanched) or is used dried. Microalgae enjoy increasing popularity as food-supplement. Above all, the Cyanobacterias *Spirulina platensis* and the Afa-algae, as well as the Chlorophyceae *Chlorella pyrenidosa* are offered.

The nutrient compositions of Wakame and Kombu, as well as of *Spirulina platensis* are shown in tabular form, afterwards they are considered and evaluated in view of the human nutrition. Macroalgae contains between 40-60 % carbohydrates and has a high content of fibers. The protein content is between 5-35 % and the fat content between 1-5 % in the dry matter. Macroalgae furthermore contains colorings (e.g. chlorophyll and carotinoide) and scaffolding substances (e.g. alginacid, fucoidan and laminarin). Kombu contains iodine, iron, magnesium, calcium, phosphor, vitamin C and B1. Wakame contains magnesium, calcium, phosphor, iron, vitamin C and the B-complex. In scientific studies, a protecting effect on body cells, a preventive effect with light-conditioned skin ageing, an improvement of the blood and the strengthening of the immune system could be proved. In addition, they possess antibiotic and anticarcinogenic qualities. However, proving active profiles in the lab and bioassay do not prove the medical application of algae is controversial because unhealthy effects of containing iodine and arsenic can not be excluded. In According to the BfR, food or condiments made from algae or seaweed containing more than 20 miligramme iodine per kilogramme in the dry matter can damage health.

Spirulina platensis contains 60 % of highquality proteins, including all eight essential aminoacids, gamma linolenic acid, many mineral substances, like zinc, selenium, iron and calcium. In addition, it also contains numerous vitamins such as the B-complex, vitamin E and folicacid as well as carotinoide, chlorophyll and phycocyanin. Since decades medical researches with *Spirulina platensis* have been performed, e.g. in Japan, the USA and Europe. Nevertheless, the state of knowledge of possible positive effects does not suffice to derive recommendations. The BfR supposes that the amount of proteins, vitamins and other nutrients supplied by daily on or several tablets is only very low. An improvement of the protein care or the supply of nutrients is not assumed with a tiny amount, hence and a food-physiologically sensible supplement of the food doubtfully. For the BfR „special situations” for ill or healthy persons, whose consumption of algae can be helpful are not evidently. Taking food-supplements in general or a few gramms of algae is not an alternative to the everyday

consumption of five servings of raw or heated fruit and vegetables. A fundamental problem of using microalgae as food is that they have the characteristic to fortify toxic substances like heavy metals and pesticides. In addition, some Cyanobacterias, such as *Aphanizomenon flos-aquae* can also form toxins themselves, so that a sanitary harmlessness of the consumption of microalga products is not guaranteed, based on the current state of knowledge.

Lately many Medias (like newspaper articles) accredit preventiv effects for diseases like ADHS and demential illnesses to food-supplements made from Afa-algae. However, these effects are not academically proved. The BfR advises that children should not consume Afa-alga products basically and a restriction of the consumption is recommended for adults. In general one should not use Afa-algae as food-supplement and if one likes to use other microalgae he should acquire them from certificated manufacturers who regularly analyse their products.

The juridical part describes the „food-supplement-order” and the „Novel-Food-order”. The legislator considers food-supplements to be food. They do not have to be licenced and do not have to be analysed. The manufacturers in Germany are obliged to guarantee the sanitary harmlessness and to avoid delusive or illness-related statements in connection with the products. Food and food ingredients that consist of micro-organisms, fungi or algae or that have been isolated from these, are counted among the Novel-Food-order.

The final part addresses the terms „Functional-Food” as well as „Health-Food” and goes into the possible use of algae in this subject area. In addition, the application of *Spirulina platensis* in the nutrition of astronauts and the possibility of using microalgae as a potential protein source in the future is illustrated. At this stage seaweed is used as a „functional-food-ingredient”. Even the application of microalgae in this area is imaginable. If micro- or macroalgae have positive health effects on human beings and if taking foods being enriched with micro- or macroalgae really has a preventive effect according to isolated illnesses must be investigated even further. In future food probably will take over the function of today's pharmaceutical products. In further future maybe the positive health effects of micro- or macroalgae will be widely investigated and then the application of algae such as *Spirulina platensis* in „Health-Food” would be conceivable. For some years the ESA has been searching for a way how and what plants can be grown on other planet or in the spaceshuttles. Up to now the algae *Spirulina platensis* has achieved the best results being basis for recycable space food. At the moment attempts are performed in the NASA and in the national space laboratory in Japan to ascertain the possibility of using *Spirulina platensis* in space for fish production in space stations. There are plans for bigger biological life preservation systems with microalgae that should convert sunlight and breathedout carbondioxide of the astronauts, as well as processed rubbish into enough oxygen, protein and energy for human life in space.

The microalgae, especially *Spirulina platensis* has a big potential to be a potential protein source in the future. *Spirulina platensis* and other algae grows in saltwater and brackish water that is in hot and dry lands too. Nevertheless, the relative water consumption for producing protein from microalgae is very low, in comparison to other foods. At the moment a world-wide supply is economically not possible yet. Therefore, further basic research in this area will be necessary in the future.

11. Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Tange des Ostseestrandes

Abb.2: Schematischer Aufbau der Zellhüllen von Cyanobakterien

Abb.3: Algenvielfalt der japanischen Küche-Blätter aus Nori und Kombu

Abb.4: Temaki-Sushi

Abb.5: Wakame

Abb.6: Spirulina platensis unter dem Mikroskop

Abb.7: Fußballfeld große Zuchtbecken der Earthrise-Farm in Kalifornien

Abb.8: Chlorella pyrenidosa unter dem Mikroskop

Abb.9: Schema des Aufbaus der Grünalge Chlorella

Abb.10: Strukturformel von Saxitoxin

Abb.11: Strukturformel der Okaidinsäure

Abb.12: Strukturformel von Anatoxin-A

Abb.13: Strukturformel der Microcysteine

Abb.14: Kräutertee mit Spirulina

Abb.15: Sea Chips (Tortillachips mit Seealgen)

Abb.16: Kelp Crunch (Müsliriegel mit Seealgen)

Abb.17: Dinkel-Walznudeln mit Spirulina

Abb.18: Algenwein

Abb.19: Konvergenz von Lebensmittel- und Gesundheitsmarkt

Abb.20: Gnocchins mit Spirulina

Abb.21: Nutzung von Spirulina in der Raumfahrt

Abb.22: Projekt zur Spirulinaproduktion in Togo

12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.: Einordnung der verschiedenen Algengruppen in das System der Pflanzen

Tabelle 2: Photosynthesepigmente, Reservestoffe und Zellwandbestandteile der behandelten Algenarten im Überblick

Tabelle.3: Nährstoffzusammensetzung von Wakame (getrocknet, bezogen auf 100g Trockengewicht)

Tabelle.4: Nährstoffzusammensetzung von Kombu (getrocknet, bezogen auf 100g Trockengewicht)

Tabelle.5: Rohproteingehalt in g/100g Trockengewicht und die Aminosäurezusammensetzung in mg/g der Makroalgen Wakame und Kombu

Tabelle.6: Übersicht über enthaltene Nährstoffe in 100g Wakame Trockengewicht und der Gehalt an Nährstoffen in Prozent des empfohlenen Tagesbedarfs

Tabelle.7: Übersicht über enthaltene Nährstoffe in 100g Kombu Trockengewicht und der Gehalt an Nährstoffen in Prozent der empfohlenen Tagesdosis

Tabelle.8: Jodgehalt in Wakame und Kombu bezogen auf 100g Trockengewicht und der Gehalt in Prozent des empfohlenen Tagesbedarfs

Tabelle.9: Allgemeine Nährstoffanalyse von *Spirulina platensis*

Tabelle.10: Übersicht über enthaltene Vitamine in 100g *Spirulina* Trockengewicht und der Gehalt an Vitaminen in Prozent des empfohlenen Tagesbedarfs

Tabelle.11: Übersicht über enthaltene Mineralstoffe in 100g *Spirulina* Trockengewicht und der Gehalt an Mineralstoffen in Prozent des empfohlenen Tagesbedarfs

Tabelle.12: Übersicht über medizinische Studien mit *Spirulina platensis*

Tabelle.13: Jodgehalte und Herkunft ausgewählter Marinen Makroalgen

Tabelle.14: Konzentration von Arsen (gesamt und anorganisch) in 31 Proben essbarer Algen vor und nach der Zubereitung

Tabelle.15: Übersicht der von Cyanobakterien gebildeten Neuro- bzw. Lebertoxine

Tabelle.16: Gewichtsverdopplungszeit einiger Lebewesen

Tabelle.17: Mikroalgen im Vergleich zu anderen Nahrungsmitteln

14. Literaturverzeichnis

Arndt, U.: Spirulina Chlorella AFA-Algen, (Hans-Nietsch-Verlag), 2003, S.9, S.42, S.58, S.62., S.66.

Be Mäder: Vitamine, Mineralstoffe, Enzyme & Co, München (Knaur-Verlag) 1997, S.170-174 und S.246-S.247.

Bezbaruah, B.: Untersuchungen über verschiedene Inhaltsstoffe (Nukleinsäuren, Pterine) in der Blaualge *Spirulina platensis* und ihrer Kulturbedingungen, Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen, 1975, S.68.

Brechner, E. et.al.: Kompaktlexikon der Biologie – Band: A bis Fotom, Heidelberg, Berlin (Spektrum Akademischer Verlag), 2001. S.272. und S.317-S.318.

Brechner, E. et.al.: Kompaktlexikon der Biologie- Band: Foton bis Repr, Heidelberg, Berlin (Spektrum Akademischer Verlag), 2001, S.436-S.437.

Brechner, E. et.al.: Kompaktlexikon der Biologie- Band: Rept bis Z, Heidelberg, Berlin (Spektrum Akademischer Verlag), 2001. S.15.

Cypionka, H.: Grundlagen der Mikrobiologie, Berlin (Springer-Verlag) 2002. S.37-S.38.

DGE et.al: Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr, Frankfurt am Main (Umschau Braus-Verlag), 2000, S.69, S.79, S.87, S.101, S.105, S.109, S.113, S.117, S.123, S.127, S.131, S.137, S.151, S.159, S.165, S.169, S.174, S.179, S.191, S.195.

Eisenbrand, G., Metzler, M.: Toxikologie für Chemiker, Stuttgart (Georg Thieme Verlag), 1994, S.245, S.248 und S.250.

Falbe, J., Regitz, M.: Römpp Chemie Lexikon, Stuttgart (Georg Thieme Verlag), 1995, S.252.

Grimme, H.L.: Ernährung, Immunität, Krebsvorsorge-Gesund durch natürliche Lebensmittel, Berlin (Springer-Verlag), 1995, S.20-21.

Gross, R.: Untersuchung über die Verwendung von Mikroalgen in der menschlichen Ernährung-Ernährungsuntersuchung mit algenhaltigen Kostformen an gesunden und unterernährten Personen in Peru, Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen, 1975, S.60-61.

Hamm, M.: Knauers Handbuch Ernährung (Knaur-Verlag), München, 2003, S.33, S.90, S.93, S.251-S.252.

Hogen, H., et.al.: Der Brookhaus-Ernährung, Leipzig, Mannheim (Brockhaus Verlag) 2001, S.15-S.16, S.43, S.332, S. 336, S.339

- Huber, R., Ziegler, H.: Lexikon der Biologie- A bis Arj, Heidelberg, (Spektrum akademischer Verlag), 2002, S.183-S.184, S.193.
- Huber, R., Ziegler, H.: Lexikon der Biologie-Cit bis Elet, Heidelberg, (Spektrum Akademischer-Verlag), 2000, S.117-S.119. und 121-S.124.
- Huber, R., Ziegler, H.: Lexikon der Biologie Nav bis Phali, Heidelberg, (Spektrum Akademischer Verlag), 2002, S.250.
- Huber, R., Ziegler, H.: Lexikon der Biologie- Sin bis Trac, Heidelberg, (Spektrum Akademischer Verlag), 2002, S.97.
- Jüngling, H. et al: Parkland-Lexikon der Pflanzen, Stuttgart (Parkland-Verlag) 1990. S. 32-33.
- Kolb, N. et al.:Evaluation of Marine algae Wakame (*Undaria pinnatifida*) and Kombu (*Laminaria digitata japonica*) as Food Supplements, in: Food technol. Biotechnol. Nr.42/1 (2004), S. 57-61.
- Liebke, F.: Algen, München (Gräfe und Unzer-Verlag), 1998, S.11, S.23, S.27.
- Lindner, E.: Toxikologie der Nahrungsmittel, Stuttgart (Georg Thieme Verlag), 1990. S.106, S.112, S.114.
- Loseva, L.P, Tkatschenko, L.W: Immunkorrigierender Einfluß von spirulina platensis als täglicher Nahrungszusatz und bei Umweltbelastungen, in: Erfahrungsheilkunde, 10 (1997), S.603.
- Müller, G.K.; Müller, C.: Geheimnisse der Pflanzenwelt, Leipzig, Jena, Berlin (Urania-Verlag), 1994. S.39-S.40, S.43.
- Nau H, et. al :Lebensmitteltoxikologie-Rückstände und Kontaminanten- Risiken und Verbraucherschutz , Berlin (Parey Buchverlag im Blackwell Verlag GmbH), 2003, S.115-S.116, S.167-S.170.
- Redaktion Schule und Lernen: Schüler Duden Biologie, Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich (Dudenverlag), 2000. S.17, S.88, S.111, S.222, S.421.
- Reder, H., unter der Leitung von Schreier, Prof. Dr. P.: Seminararbeit Algen als Nahrungsmittel Sommersemester 2003, Bayerische Julius-Maximilians-Universität, Würzburg, S.4-S.10, S.13, S.14, S.16, S.21-S.23, S.25-S.26., S.33-S.34.
- Rahn-Huber, U.: Natürlich gesund mit Mikroalgen, München (Südwest Verlag) 1998, S.7-10, S.14, S.17-S.19, S.32, S.43, S.37, S.91, S.98.
- Rützler, H.: Was essen wir morgen?, Wien (Springer-Verlag), 2005, S.73-S.74, S.151-S.160.
- Ryuichi, Y.: Sushi, München (Wilhelm Heyne Verlag), 1999, S.21-S.22, S.26, S.66, S.70, S.104, S.106.
- Schmidt, C.: Das Teubner-Food-Lexikon, München (Teubner-Verlag), 2004, S.12-S.13, S.412.

Schlieper, C.A.: Ernährung heute, Hamburg (Verlag Handwerk und Technik) 2002, S.203.

Schlieper, C.A.: Grundfragen der Ernährung, Hamburg(Verlag Handwerk und Technik) 2002, S.339

Sigrist, S.: Food Fictions - Radikale Food Trends, Studie Nr.22., Zürich, Gottlieb Duttweiler Institut, 2005, S. 80-S.81, S.96-S.97, S.109-S.111, S.113.

Smogyi, J.C., Hölzel, D.: Marine Foods-Lebensmittel aus dem Meer, Basel (Karger Verlag), 1990, S1-S.3.

Stenenbrg, A.: Algen in Ernährung und Medizin-Meersalat und Wunderdroge?, in: Umwelt und Gesundheit, Nr.3. (2004), S.101-S.107.

Streble, H.; Krauter, D.: Das Leben im Wassertropfen-Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers, Stuttgart (Franckh-Kosmos-Verlag) 2002. S. 46, S.63-S.64.

Symrise GmbH& Co KG: Nutraceuticals, in: Senses, Nr.4 (2006), S.17

Verbraucherzentrale Bundesverband e.V.: Nahrungsergänzungsmittel- Gesünder leben durch Pillen und Pulver?, Berlin, 2005, S.12, S.20-S.26, S.33, S.44.

Wöller,R., Bernhard, A., Rebel, S., unter der Leitung Frau Helbig: Seminarfacharbeit Algen und ihre Bedeutung für Umwelt, Technik und den Menschen, November 2002, Friedrich-Schiller-Gymnasium, Weimar, S.32-S.36 und S.38-S.39.

Yamamoto, K., Hicks, R.: Das Sushi Kochbuch,München (Gräfe und Unzer Verlag), 2000, S.2, S.8, S.11-S.12.

15. Internetquellen

www.baerbel-drexel.de/seiten/spiru_main.htm (Oktober, 2006)

www.beaubon.de/Tee/Anti-Ageing-Tee/Kraeutertee-Spirulina-100g::117.html
(Oktober, 2006)

www.biothemen.de/index.php?go=http%3A/www.biothemen.de/Qualitaet/algen/wakame-nori-kombu.html (Oktober, 2006)

www.biothemen.de/Qualitaet/algen/spirulina.html (Oktober, 2006)

www.bluebiotech.de/de/profil/forschung.htm (Oktober, 2006)

BlueBioTech-Produktkatalog (Information über den Hersteller erhalten, Oktober, 2006)

BlueBioTech-Auf einen Blick (Informationen über den Hersteller erhalten, Oktober, 2006)

www.dge.de/modules.php?name=News&file=print&sid=52 (Oktober, 2006)

www.dge.de/modules.php?name=News&file=print&sid=129 (Oktober, 2006)

www.dge.de/modules.php?name=News&file=article&sid=321 (Oktober, 2006)

www.dge.de/modules.php?name=News&file=pirnt&sid=362 (Oktober, 2006)

www.dege.de/modules.php?name=News&file=print&sid=499 (Oktober, 2006)

www.dw-world.de/dw/article/0,2172339,00.htm (Oktober, 2006)

<http://earthobservatory.nasa.gov/Study/Redtide/> (November, 2006)

www.esa.int/esaCP/SEMQTE1DU8E_improving_1.html (November, 2006)

food.teslaplatten.ch/tf_I_spirulinanudeln.html (Oktober, 2006)

www.marenate.de/algen_shop.html (Oktober, 2006)

www3.ndr.de/ndrtv_pages_std/0,3147,OID1119726,00.html (Oktober, 2006)

www.nwzg.de/02NwzG_12_1997_T1.php (Oktober, 2006)
(NWZG-Ausgabe 02-12/1997-GreenFood)

www.o-well.de (Oktober, 2006)

www.planet-wissen.de/pw/Artikel,,,,,,,,,DD2081FDD74C16FFEO340003BA56905,,,,,,,,,,,,,,.html
(Oktober, 2006)

www.pzle.uni-uerzburg.de/Seminare/Algen%20als%20Nahrungsmittel.pdf
(Oktober 2006, Seminararbeit siehe unter Literaturverzeichnis Reder)

www.rainforest-newsletter.de (Oktober, 2006)

www.sojahaus.com/lexikon/algen.html (Oktober, 2006)

www.spirulinasource.com/earthfoodch4a.html (November, 2006)

www.uni-koeln.de/pi/i/1996.086.htm (Oktober 2006)

www.vegetarisch-einkaufen.de (Oktober 2006)

www.welt.de/data/2006/06/13912575.html?prx=1 (Oktober 2006)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Kombu> (Oktober 2006)

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.