

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN  
DEPARTMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT  
INSTITUT UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN

# **Allelopathische Stoffe in Wasserpflanzen**

Semesterarbeit

von

Achim Hägele

Bachelorstudiengang 2007

Abgabedatum: 23.07.2009

Studienrichtung: Umweltingenieurwesen

Fachkorrektoren:

Andreas Graber

ZHAW Grüental, CH

Dr. Elisabeth Groß

Limnologisches Institut, Fakultät für Biologie, Universität Konstanz,

D-78457 Konstanz

## Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, aus einer Auswahl bekannter allelopathisch aktiver Wasserpflanzen, diejenigen herauszustellen, die in besonderem Masse algenhemmende Wirkung zeigen. Die Ergebnisse dieser Semesterarbeit dienen dazu, Pflanzenempfehlungen hinsichtlich Algenhemmung für Schwimmteiche zu erstellen. In Zukunft soll es somit möglich sein, starkes Algenwachstum gezielt und auf natürliche Weise zu begrenzen.

Um dies zu ermöglichen, wurden aus bekanntermassen allelopathisch aktiven Wasserpflanzen, Allelochemikalien extrahiert, um damit so genannte Hemmhoftests durchzuführen. Bei diesen Hemmhoftests wurde die algenhemmende Wirkung der extrahierten Allelochemikalien auf die Cyanobakterien *Anabaena* PCC 7120 und *Synechococcus* PCC 6911 untersucht. Mit den erzielten Ergebnissen wurde ein Ranking besonders stark hemmaktiver Pflanzen erstellt. Dieses Ranking wurde mit in Schwimmteichen aufgenommenen Algensituationen abgeglichen und in Zusammenhang gebracht.

Das Vorkommen von Allelochemikalien in Wasserpflanzen und Wasser aus Schwimmteichen ist bekannt. Diesbezüglich konnten Pflanzenarten aufgezeigt werden, deren Allelochemikalien ein sehr hohes Hemmpotential besitzen und Algensituationen in Schwimmteichen aktiv beeinflussen.

Das anhand der Laboruntersuchungen erstellte Ranking konnte mit den vor Ort protokollierten Algensituationen in Schwimmteichen bestätigt werden. Die Anzahl und die Menge der vorhandenen Pflanzenproben reichte jedoch nicht aus um präzise Daten zu gewinnen. Im Ergebnis bleibt festzuhalten, dass hemmaktive Pflanzenarten ermittelt werden konnten, deren Wirksamkeit bestätigt wurde.

## **Abstract**

Object of this study was to identify those active allelopathic hydrophytes from a variety of already known active allelopathic hydrophytes that have an outstanding impeding effect on the growth of algae.

The results of the study should allow giving a specific recommendation regarding the selection of species that impede the growth of algae in swimming ponds to limit strong growth of algae in an organic way.

The recommendations provided within this study are based on so called inhibition area tests that have been performed using allelo chemicals extracted from known active allelopathic hydrophytes.

In these inhibition tests the impeding effects of the allelo chemical extract on Cyanobacteria *Anabaena* PCC 7120 and *Synechococcus* PCC 6911 were analyzed. Based on the results of this analysis a ranking of exceedingly impeding species was prepared. The results provided in the ranking were opposed to observed algae situations in swimming ponds and pulled together.

Generally, the existence of allelo chemicals in hydrophytes is recognized. This study allowed identifying species whose allelo chemicals do have a strong potential to impede the growth of algae and influence a given algae situation in swimming ponds in an active and positive way.

The ranking of species according to the results gained in laboratory tests was confirmed by on-site recorded algae situation in swimming ponds. However, the number of available plant assays was not sufficient to gain precise data. Altogether impeding species have been identified and their effectiveness on the growth of algae has been confirmed.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	
<b>Abstract</b> .....	
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Hintergrund der Arbeit.....	1
1.3 Ziel dieser Arbeit.....	1
<b>2 Allelopathie</b> .....	<b>1</b>
2.1 Stand der Forschung .....	1
2.2 Allelopathie in aquatischen und terrestrischen Systemen.....	2
2.3 Allelopathie in natürlichen Systemen.....	2
<b>3 Material und Methoden</b> .....	<b>3</b>
3.1 Auswahl an Pflanzen zur Untersuchung.....	3
3.2 Probenvorbereitung für die Extraktion .....	3
3.2.1 Herstellung des Rohextraktes der gemahlene Pflanzenteile.....	4
3.2.2 Partitionierung des Extraktes .....	4
3.3 Durchführung der Labortests .....	4
3.3.1 Vorbereitung der Hemmhoftests (Agardiffusionsanalyse).....	4
3.3.2 Durchführung der Hemmhoftests (Agardiffusionsanalyse) .....	6
3.4 Durchführung der Folin-Tests.....	7
3.5 Durchführung der PVPP-Tests.....	7
<b>4 Resultate</b> .....	<b>7</b>

4.1	Hemmhofstests.....	8
4.1.1	Hemmung von <i>Anabaena</i> sp. PCC 7120 .....	8
4.1.2	Hemmung von <i>Synechococcus</i> PCC 6911.....	11
4.2	Gesamtranking .....	13
4.3	Fotografien der Hemmungen .....	15
<b>5</b>	<b>Analyse der Algensituation in ausgewählten Schwimmteichen .....</b>	<b>16</b>
5.1	Detaillierte Auflistung der Schwimmteiche.....	17
<b>6</b>	<b>Ergebnisse Folin-Tests .....</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>Ergebnisse der PVPP-Test .....</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>25</b>
8.1	Agardiffusionsanalyse .....	25
8.1.1	Positivtests.....	25
8.1.2	Negativtests.....	26
8.1.3	Testsorganismen .....	26
8.2	Algensituation ausgewählter Schwimmteichen .....	26
8.2.1	Pflanzenvolumenindex und Hemmung des Teichwassers .....	28
8.3	Gesamtranking der Pflanzenartenk.....	28
<b>9</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>28</b>
<b>10</b>	<b>Empfehlungen .....</b>	<b>29</b>
	<b>Anhang A: Fachartikel zur Semesterarbeit .....</b>	<b>30</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>31</b>
	<b>Erklärung.....</b>	<b>33</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufteilung der Agarplatten Ø 90 m .....	6
Abbildung 2: Hemmung von PCC 7120 bei <i>Chara Vulgaris</i> (Blätter Pacozzi).....	15
Abbildung 3: Hemmung von PCC 7120 bei TA-Positivkontrolle <i>Potamogeton lucens</i> (Spitzen Ender). Keine Hemmung bei Pflanzenextrakten.....	15
Abbildung 4: Hemmung von PCC bei Extrakten von <i>Myriophyllum spicatum</i> (Blätter Pacozzi). .....	16
Abbildung 5: Hemmung von PCC 6911 bei TA- Positivkontrolle <i>Potamogeton lucens</i> (Blätter Ender). Keine Hemmung bei Extrakten. ....	16
Abbildung 6: Starke Diffusion von Allelochemikalien bei <i>Eleocharis acicularis</i> (Blätter Furrer) PCC 6911 .....	16
Abbildung 7: Sehr starke Diffusion der Allelochemikalien bei <i>Eleocharis acicularis</i> (Blätter Zwinggi) PCC 6911.....	16

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Pflanzenarten und Herkunftsteich.....	3
Tabelle 2: Cyanobakterien Nährlösung (Jüttner et al.; 1983) .....	5
Tabelle 3: Spurenelement Stammlösung (Jüttner et al.; 1983) .....	5
Tabelle 4: Mittelwerte der Einzelspots bei PCC 7120 .....	8
Tabelle 5: Mittelwerte je Pflanzenart –sortiert PCC 7120 .....	9
Tabelle 6: Ranking für <i>Anabaena</i> sp. PCC 7120 .....	10
Tabelle 7: Mittelwerte der Einzelspots bei PCC 6911 .....	11
Tabelle 8: Mittelwerte je Pflanzenart –sortiert PCC 6911 .....	12

<b>Tabelle 9: Ranking für <i>Synechococcus</i> PCC 6911 .....</b>	<b>13</b>
<b>Tabelle 10: Gesamtranking unter Berücksichtigung der Hemmwirkung .....</b>	<b>14</b>
<b>Tabelle 11: Gesamtranking unter Berücksichtigung von Hemmwirkung und Standardabweichung (Gewichtung 2:1).....</b>	<b>14</b>
<b>Tabelle 12: Situation Schwimmteich Ströbel .....</b>	<b>17</b>
<b>Tabelle 13: Situation Schwimmteich Meier .....</b>	<b>18</b>
<b>Tabelle 14: Situation Schwimmteich Zwinggi .....</b>	<b>19</b>
<b>Tabelle 15: Situation Schwimmteich Furrer .....</b>	<b>19</b>
<b>Tabelle 16: Situation Schwimmteich Grundmann .....</b>	<b>20</b>
<b>Tabelle 17: Situation Schwimmteich Schnell.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabelle 18: Situation Schwimmteich Ender .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabelle 19: Situation Schwimmteich Seiler.....</b>	<b>23</b>
<b>Tabelle 20: Situation Schwimmteich Pacozzi .....</b>	<b>24</b>

# **1 Einleitung**

## **1.1 Problemstellung und Stand der Forschung**

Algenwachstum in Schwimmteichen verringert den Badespass für deren Besitzer erheblich. Eine geringe Sichttiefe und der optische Effekt von grünem, schmutzigem Wasser sind unerwünscht. Aus diesen Gründen wird das Algenwachstum mit diversen Methoden begrenzt. Hauptsächlich wird darauf geachtet dem Schwimmteich von aussen so wenig Nährstoffe wie möglich zukommen zu lassen. Hierbei liegt das Hauptaugenmerk auf Phosphor, dem hinsichtlich Algenwachstum limitierenden Nährstoff im Gewässer (Lechner et al., 2001). Unabhängig von dieser Nährstoffproblematik wird das Wachstum auch gegenseitig, durch biochemische Beeinflussung der Pflanzen untereinander beeinträchtigt. Dies wird als Allelopathie bezeichnet (Molisch, 1937). Über aktuelle Erkenntnisse hinsichtlich Allelopathie in Gewässern geben Gross (2003) und Erhard (2006) eine Übersicht.

## **1.2 Hintergrund dieser Arbeit**

Das im Wasser von Schwimmteichen Algenhemmende Stoffe zu finden sind, wird in der Bachelor Thesis Wachstumshemmung von Blau-, Grün- und Kieselalgen in Schwimmteichen durch allelopathisch wirkende Wasserpflanzenexsudate (Frei, 2008) eindeutig aufgezeigt. Die von Frei gezeigte Hemmwirkung in Wasserproben aus Untersuchungsteichen definiert aber nicht exakt die Quelle der Hemmstoffe. Diese wird im Zuge dieser Semesterarbeit genauer erörtert

## **1.3 Ziel dieser Arbeit**

Das Ziel dieser Arbeit ist, dass im Zuge der Bachelor Thesis von Frei aus Untersuchungsteichen gesammelte gefriergetrocknete Pflanzenmaterial, auf den Inhalt an allelopathisch wirksamen Stoffen zu untersuchen. Somit sollen genauere Aussagen zum allelopathischen Potential der einzelnen Pflanzen erfolgen und letztendlich sollen die Pflanzen ausgewählt werden, die eine hohe Wirksamkeit bezüglich Algenbekämpfung in Schwimmteichen besitzen. Die Ergebnisse sollen die Möglichkeit bieten die Anzahl an interessanten Pflanzen für weitere Versuche, als auch Pflanzempfehlungen einzugrenzen und besonders viel versprechende Pflanzen herauszustellen. Ebenfalls soll der Einfluss von Umgebungsfaktoren auf allelopathisch aktive Pflanzen erläutert werden.

## 2 Allelopathie

### 2.1 Stand der Forschung

Ausserhalb des natürlichen Konkurrenzkampfes von Pflanzen, etwa um Licht und Nährstoffe, wurden in diversen Studien noch andere Einflüsse aufgezeigt. Einige Pflanzen geben chemische Substanzen in ihre Umgebung ab, die das Wachstum anderer Pflanzen beeinflussen. Dieser Effekt kann sowohl positive, als auch negative Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum haben. Diese chemische Beeinflussung wird als Allelopathie bezeichnet (Molisch, 1937). Gerade bei Wasserpflanzen ist dieser Effekt *in situ* nur schwer nachweisbar. Er erfolgte bisher überwiegend experimentell, mit Hilfe von Pflanzenextrakten (Hilt und Gross, 2008).

Die allermeisten Studien zur allelopathischen Wirkung von Makrophyten in aquatischen Systemen setzten sich mit den wachstumshemmenden Auswirkungen von allelopathischen Stoffen auseinander (Gopal und Goel, 1993; Gross 2003). Das Ausmass von allelopathischen Wirkungen wird kontrovers diskutiert (Erhardt, 2006). Allelochemikalien können aber nur dann ihre Wirkung entfalten, wenn sie ausgeschieden werden und eine Zielpflanze erreichen (Erhardt, 2006). Laut Rabotnov (1974) findet sich Allelopathie nur in synthetischen Ökosystemen. Rice (1974) widerspricht dem und erklärt Allelopathie zu einem universellen Faktor in der Pflanzenwelt, der sehr häufig auftritt.

### 2.2 Allelopathie in aquatischen und terrestrischen Systemen

Die Funktionsmechanismen der Allelopathie an Land, als auch im Wasser ähneln sich stark. Einige Unterschiede gilt es aber zu beachten. Wasserpflanzen sind im Gegensatz zu Landpflanzen hauptsächlich von Wasser umgeben. Aus diesem Grund müssen abgegebene Allelochemikalien gut wasserlöslich sein. Trotz starker Verdünnung im umgebenden Wasser muss die Konzentration an Allelochemikalien noch ausreichend sein, um eine Wirkung zu entfalten. (Gross, 2003). Allelochemikalien können aktiv oder aber aufgrund von Verletzungen ausgeschieden werden (Erhardt, 2006).

### 2.3 Allelopathie in natürlichen Systemen

Ergebnisse, die unter Laborbedingungen erzielt wurden zeigen zwar die allelopathische Aktivität, sind aber nur sehr schwierig auf *in situ* Bedingungen zu übertragen. Um doch im Labor Aussagen treffen zu können, sollten alle verwendeten Testorganismen aus demselben Lebensraum stammen, da die meisten aquatischen Pflanzen in ihrer natürlichen Umgebung kaum mit terrestrischen Pflanzen in Kontakt kommen und somit Aussagen hierzu schwierig sind. Gut geeignet, um verlässliche Aussagen in aquatischen Systemen zu treffen, sind die dortigen Algen, Cyanobakterien und Makrophyten (Erhardt, 2006).

Einige Wirkungsweisen von Allelopathie in natürlichen Systemen werden von Regiosa et al. (1999) näher erläutert. Stressfaktoren in der natürlichen Umwelt, wie etwa Nährstoffmangel und Konkurrenz um Licht, verstärken allelopathische Interaktionen (Lovett et al. ,1989). Möglicherweise bewirken verschiedene Allelochemikalien aber auch nur, dass zum Beispiel Algen in der

frühen Wachstumsphase Hemmung erfahren, zu einem späteren Zeitpunkt sich jedoch in gewohnter Weise entwickeln (Gross, 2007).

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Auswahl an Pflanzen zur Untersuchung

Um das theoretische allelopathische Potential der von Frei entnommenen Pflanzenproben zu bestimmen, wurden aus verschiedenen Untersuchungsteichen verschiedene Arten entnommen und gefriergetrocknet. Die untenstehende Tabelle benennt die entnommenen Pflanzen zur Untersuchung und ihre Herkunft.

**Tabelle 1: Pflanzenarten und Herkunftsteich**

Pflanzenarten	Strö- bel	Mei- er	Zwing -ggi	Grund- mann	Sch- nell	En- der	Sei- ler	Pa- cozzi	Fur- rer
<i>Myriophyllum spicatum</i>	x	x			x		x	x	
<i>Stratiotes aloides</i>		x							
<i>Chara vulgaris</i>							x	x	
<i>Potamogeton lucens</i>						x			
<i>Eleocharis acicularis</i>			x						x
<i>Stratiotes aloides</i>		x							
<i>Utricularia vulgaris</i>						x			
<i>Chara contraria</i>					x				
<i>Potamogeton berchtoldii</i>				x					
<i>Elodea nuttallii</i>				x					
Quellmoos	x								
<i>Myriophyllum aquaticum</i>									x

#### 3.2 Probenvorbereitung für die Extraktion

Zur Durchführung der Hemmhofstests, Folin-Tests und PVPP-Tests (Polyvinylpolypyrrolidon-Tests) wurden Extrakte aus den gefriergetrockneten Pflanzenteilen gewonnen. Hierzu wurde eine ausreichende Menge (ca. 0,5g) Pflanzenmaterial (Blätter) pro einzelner Pflanze aussortiert. Bei allen Pflanzen wurde ausreichend geeignetes Blattmaterial gewonnen. Bei *Myriophyllum spicatum* (Ströbel,Schnell,Meier,Pacozzi), *Potamogeton lucens* (Ender), *Utricularia vulgaris* (Ender), *Elodea nuttallii* (Grundmann) waren zusätzlich zum Blattmaterial auch Pflanzenspitzen vorhanden. Von diesen wurden ebenfalls jeweils ca. 0,5g gewonnen. Das jeweilige Pflanzenmaterial wurde mit Hilfe einer Kugelmühle (Pulverisette 23, Fritsch, Deutschland) zwischen 2 und 6 Minuten fein zermahlen.

### 3.2.1 Herstellung des Rohextrakts der gemahlene Pflanzenteile

Von den gemahlene Pflanzenproben wurden jeweils 20 mg in 2,5 ml Eppendorf Reaktionsgefäße gegeben. Diese wurden mit 2 ml 50% Aceton/Reinstwasser überschichtet und 2 Stunden bei 14 °C im Thermomixer (Thermomixer comfort, Eppendorf, Deutschland) bei Intervallschaltung von 2 Minuten und 1100 rpm extrahiert. Das entstandene Gemisch wurde in einer Zentrifuge (Eppendorf, Deutschland) durch Abzentrifugieren in eine feste und flüssige Phase getrennt.

### 3.2.2 Partitionierung des Extraktes

Zur weiteren Vorbereitung der Hemmhofstests, Folin-Tests und PVPP-Tests wurde der Rohextrakt für folgende Analysen partitioniert und weiterbehandelt.

- Hemmhofstests (Biotests): Für die Hemmhofstests wurden jeweils 1500 µl Extrakt in 1,5 ml Eppendorf Reaktionsgefäße gegeben und im Rotationsverdampfer (Univapo, UniEquipe, Deutschland) bei geringem Vakuum bis zur Trockene einrotiert. Die verbleibenden Rückstände wurden im Kühlschrank gelagert. Unmittelbar vor Durchführung der Biotests wurden die Rückstände mit 100 µl 50% Methanol/Reinstwasser überschichtet und im Ultraschallbad in Lösung gebracht.
- Folin-Tests: Für die Folin-Tests wurden jeweils 10 µl Extrakt bei *Myriophyllum spicatum* und 20 µl Extrakt für alle anderen Pflanzen entnommen.
- Für die AG Gross, Universität Konstanz, wurden PVPP-Tests durchgeführt. Zur Vorbereitung der Tests wurden jeweils 200 µl Extrakt in 1,5 ml Eppendorf Reaktionsgefäße gegeben und im Rotationsverdampfer (Univapo, UniEquipe, Deutschland) bei geringem Vakuum bis zur trockene Einrotiert. Der verbleibende Rückstand wurde mit 100 µl 50% Methanol/Reinstwasser resuspendiert.
- Für die AG Gross Universität Konstanz wurden für geplante HPLC Analysen noch jeweils 100 µl Extrakt in 1,5 ml Eppendorf Reaktionsgefäße gegeben und im Rotationsverdampfer (Univapo, UniEquipe, Deutschland) bei geringem Vakuum bis zur Trockene einrotiert. Bis zur weiteren Verwendung werden diese Proben im Gefrierfach im Dunkeln gelagert.

## 3.3 Durchführung der Labortests

### 3.3.1 Vorbereitung der Hemmhofstest (Agardiffusionsanalyse)

Die für die Hemmhofstests gewonnenen Extrakte wurden kurz (short spin) abzentrifugiert, um am Deckel der Eppendorf Reaktionsgefäße keine Rückstände zu verlieren. Unmittelbar vor den Hemmhofstests wurden eventuell vorhandene Rückstände mit einer Pipette resuspendiert. Vorab vorbereitete Agarplatten (Ø 90 mm) mit 1% Cyanobakterien Medium und 150 mg/L Spurenelement Stammlösung (TES) als Puffer (Jüttner et al.; 1983), (Tab. 2) und (Tab. 3), wurden kurz

unter einer Sterilbank getrocknet, um beim späteren Auftragen der Pflanzenextrakte ein Zerfließen der Extraktpunkte zu verhindern.

**Tabelle 2: Cyanobakterien Nährlösung (Jüttner et al.; 1983)**

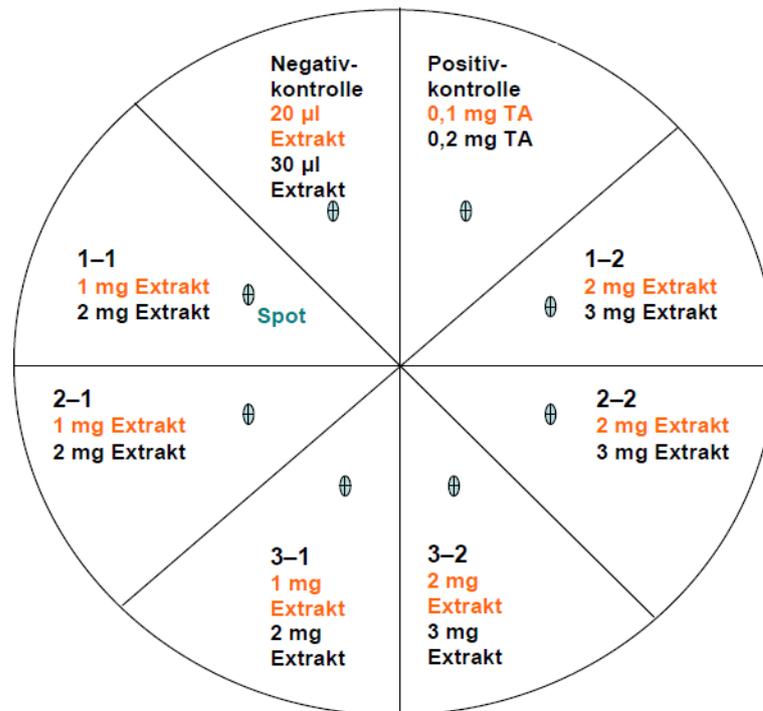
Stammlösung	Menge [ml]	Bestandteil	Stamm [g * 1 <sup>-1</sup> ]	Stamm [mM]	Medium [mM]
<b>A</b>	<b>10</b>	<b>Calciumchlorid-Dihydrat</b>	<b>8,8</b>	<b>60</b>	<b>0,6</b>
		<b>Natriumnitrat</b>	<b>68,0</b>	<b>800</b>	<b>8,0</b>
<b>B</b>	<b>10</b>	<b>di-Kaliumhydrogenphosphat Trihydrat</b>	<b>9,1</b>	<b>40</b>	<b>0,4</b>
<b>C</b>	<b>10</b>	<b>Magnesiumsulfat-Heptahydrat</b>	<b>9,9</b>	<b>40</b>	<b>0,4</b>
<b>D</b>	<b>10</b>	<b>Spurenelementlösung</b>	<b>siehe Tabelle 3</b>		
<b>E</b>	<b>10</b>	<b>Natriumeisen-EDTA</b>	<b>0,37</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>

**Tabelle 3: Spurenelement Stammlösung (Jüttner et al.; 1983)**

Bestandteil	Stamm [mg * 1 <sup>-1</sup> ]	Stamm [mM]	Medium [µM]
<b>Borsäure</b>	<b>61,8</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
<b>Manganchlorid-Tetrahydrat</b>	<b>197,9</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
<b>Zinksulfat-Heptahydrat</b>	<b>5,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>
<b>Kupfersulfat-Pentahydrat</b>	<b>5,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>
<b>Cobaltsulfat-Heptahydrat</b>	<b>5,6</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>
<b>Natriummolybdat-Dihydrat</b>	<b>48,4</b>	<b>0,2</b>	<b>2</b>

Unter der Sterilbank wurden pro Pflanzenextrakt und Platte 6 Extraktpunkte auf den Platten aufgetragen. Für *Myriophyllum* sp. und andere Pflanzen mit hohem Folingehalt wurden 3 Extraktpunkte je 1 mg (entspricht 10 µl Extrakt) und 3 Extraktpunkte je 2 mg (entspricht 20 µl Extrakt) aufgetragen. Ebenfalls wurde für *Myriophyllum* sp. und andere Pflanzen mit hohem Folingehalt pro Agarplatte 1 Positivkontrolle mit TA (10 mg Tanninsäure in 1000 µl 50% Methanol/Reinstwasser) je 0,1 mg (entspricht 10 µl Extrakt) und 1 Negativkontrolle (Rückstand von 1500 µl einrotiertem Aceton, resuspendiert in 150 µl Methanol) je 20 µl aufgetragen. Für alle anderen Pflanzen wurden für die Positivkontrolle 0,2mg TA und für die Negativkontrolle 30 µl (Rückstand von 1500 µl einrotiertem Aceton, resuspendiert in 150 µl Methanol) aufgetragen. Die

Positivkontrolle (Hemmung) und Negativkontrolle (keine Hemmung) wurden zur späteren Verfahrenskontrolle aufgetragen. Die Extraktpunkte (Spots) wurden jeweils in 10 µl Schritten aufgetragen. Nach jedem 10 µl Spot erfolgte eine Trocknung des Extraktpunktes. Somit wurde bewirkt, dass bis zum Erreichen der gewünschten Konzentration, der Spot die Zielgröße Ø 5 mm nicht überschritt. Unten stehende Abbildung erläutert die Aufteilung der Agarplatten (Abb. 1).



**Abbildung 1: Aufteilung der Agarplatten Ø 90 mm**

### 3.3.2 Durchführung der Hemmhoftests (Agardiffusionsanalyse)

Für die Agardiffusionsanalyse (Gross et al., 2003) wurden Kulturen von *Anabena* sp. PCC7120 (fädige Cyanobakterien) und *Synechococcus* PCC6911 (einzellige Cyanobakterien) als Testorganismen verwendet. Die Cyanobakterien stammen aus Langzeitkulturen der AG Gross (Universität Konstanz).

Die vorbereiteten Agarplatten wurden mit 10 ml flüssigem Agar (mit 1% Cyanobakterien Medium) (Jüttner et al.; 1983) überschichtet. Dieser 1%-ige Überschichtungsagar wurde mit den jeweiligen Cyanobakterien unter Berücksichtigung der jeweiligen optischen Dichten (bemessen bei 530 nm in 10 ml Küvetten, OD530) versetzt. Für *Anabena* sp. PCC 7120 wurde eine optische Dichte von 0,04, für *Synechococcus* PCC 6911 eine optische Dichte von 0,12 eingestellt. Nach erfolgtem Überschichten wurde bis zum Gelieren des Agars gewartet. Insgesamt wurden somit pro Testorganismus 11 Agarplatten (je 1 und 2 mg Extrakt) und 15 Agarplatten (je 2 und 3 mg) angefertigt. Die fertigen Agarplatten wurden 14 Tage bei  $25 \pm 1$  °C und konstanter Beleuchtung von  $80 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  inkubiert.

Die Wachstumshemmung der Cyanobakterien zeigt sich durch klare, nicht bewachsene Bereiche (Hemmhöfe) im Überschichtungsagar. Bei höherer Konzentration der Extrakte ist von einer Vergrößerung der nicht bewachsenen Bereiche auszugehen. Die entstandenen Hemmhöfe

wurden auf den Platten angezeichnet, ausgemessen (in mm<sup>2</sup>) und auf Millimeterpapier fotografiert. Zur Auswertung wurde die Gesamtfläche jeder Agarplatte (6362 mm<sup>2</sup>), wie in Abb. 1 ersichtlich, in 8 gleich grosse Teilflächen zu je 795 mm<sup>2</sup> unterteilt. Die Kompletthemmung einer Teilfläche entspricht somit 100%.

### **3.4 Durchführung der Folin-Tests**

Mit den Folin-Tests wird der Gehalt an Phenolen, Proteinen, Aminosäuren und Ascorbinsäure der einzelnen Proben bestimmt (Andersen und Todd 1968). Zur Durchführung der Folin-Tests wurden je Probe 2 ml Reinstwasser in Reagenzgläsern vorgelegt. Es wurden 10 µl Extrakt bei *Myriophyllum spicatum* und 20 µl Extrakt bei allen anderen Pflanzen in die Wasserfläche der Reagenzgläser pipettiert. Zur später folgenden photometrischen Bestimmung des Polyphenolgehaltes der einzelnen Proben, wurden auf dieselbe Art Nulllösungen mit jeweils 10 µl und 20 µl (50% Aceton/Reinstwasser) hergestellt. Den hergestellten Lösungen wurden jeweils 300 µl gesättigte Natriumcarbonatlösung und 100 µl 2 N Folin-Reagenz hinzugegeben. Die Proben wurden kurz vorgetext und bis zur Polyphenolbestimmung 30 min inkubiert. Die Bestimmung des Polyphenolgehaltes wurde mit Hilfe eines UV-vis Photometers (Cary 50, Varian, Inc., USA) durchgeführt.

### **3.5 Durchführung der PVPP-Test**

Mit den PVPP-Tests (Polyvinylpolypyrrolidon-Test), (Andersen und Todd 1968) wird spezifisch der Gehalt an Polyphenolen in der Probe bestimmt. Jeweils 200 µl der vorbereiteten Extrakte wurden mit 100 µl PVPP- Lösung (0,1 g Polyvinylpolypyrrolidon pro ml Reinstwasser) vermischt. Das jeweilige Gemisch wurde 2 Stunden bei 14 °C im Thermomixer (Thermomixer comfort, Eppendorf, Deutschland) bei Intervallschaltung von 2 Minuten und 1100 rpm geschüttelt. Das Gemisch wurde im short spin abzentrifugiert. Mit den so entstandenen Lösungen wurden nach oben stehender Anleitung Folin-Tests durchgeführt.

## 4 Resultate

Um eine Aussage über das allelopathische Potential der einzelnen Pflanzenarten treffen zu können, werden in diesem Kapitel die Hemmungen der Extrakte auf die Testorganismen *Anabaena* sp. PCC 7120 und *Synechococcus* PCC 6911 dargestellt. Hierzu wurden die Durchmesser der jeweiligen Hemmhöfe in Prozent, bezogen auf die maximal zur Verfügung stehende Hemmfläche von  $795 \text{ mm}^2 = 100 \%$  Hemmung ermittelt. Bei Hemmwerten von 100% kann die tatsächliche Hemmung höher liegen. In diesen Fällen wird trotzdem mit 100% Hemmung gerechnet, da sich bei Überschreitung des Messbereiches ( $795 \text{ mm}^2 = 100 \%$ ) keine exakten Werte mehr ermitteln lassen.

Die gewonnenen Werte der Hemmung je Einzelprobe werden anschließend zu Mittelwerten verdichtet, aus denen dann eine Aussage zur potentiellen Wirksamkeit der Pflanzenart getroffen werden kann. Im folgenden Abschnitt wird das arithmetische Mittel als Mittelwert bezeichnet.

### 4.1 Hemmhoftests

#### 4.1.1 Hemmung von *Anabaena* sp. PCC 7120

Bei der Negativkontrolle wurde keine Hemmung festgestellt. Bei Proben, die in der Negativkontrolle eine Totalhemmung aufweisen, kann davon ausgegangen werden, dass der Gehalt an Allelochemikalien der umgebenen Spots so hoch ist, dass die Allelochemikalien durch die komplette Agarplatte diffundieren.

Die TA- Positivkontrolle weist durchgängig eine Hemmung auf. Somit wurde gezeigt, dass TA eine gute Eignung zur Positivkontrolle aufweist.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Mittelwerte derselben Konzentration einer Agarplatte pro Pflanzenart und -teil, bezogenen auf den jeweiligen Herkunftsteich, dargestellt. Diese wurden aus den 3 vorhandenen Einzelspots errechnet (Tab. 4).

**Tabelle 4: Mittelwerte der Einzelspots bei *Anabaena* sp. PCC 7120**

<b>Hoher Foliagehalt:</b>						
<b>Pflanzenart</b>	<b>Pflanzen- zenteil</b>	<b>Schwimm- teich</b>	<b>Negativ- kontrolle</b>	<b>Positiv- kontrolle</b>	<b>Mittelwert Hemmung je Einzel- probe Ex- trakt (1mg)</b>	<b>Mittelwert Hemmung je Einzel- probe Ex- trakt (2mg)</b>
Myriophyllum spicatum	Blätter	Seiler	0,0%	9,9%	14,5%	79,8%
	Blätter	Meier	0,0%	14,2%	6,5%	19,6%
	Blätter	Ströbel	0,0%	14,2%	9,9%	21,3%
	Blätter	Schnell	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
	Spitzen	Ströbel	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Spitzen	Ströbel	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Spitzen	Schnell	0,0%	19,4%	34,6%	75,0%
Myriophyllum aquaticum	Blätter	Furrer	0,0%	19,4%	48,2%	100,0%
Potamogeton lucens	Spitzen	Ender	0,0%	19,4%	0,0%	0,0%
Elodea nuttalii	Blätter	Grundmann	0,0%	19,4%	2,2%	14,5%
	Spitzen	Grundmann	0,0%	25,2%	11,5%	77,4%
<b>Niedriger Foliagehalt:</b>						
<b>Pflanzenart</b>	<b>Pflanzen- zenteil</b>	<b>Schwimm- teich</b>	<b>Negativ- kontrolle</b>	<b>Positiv- kontrolle</b>	<b>Mittelwert Hemmung je Einzel- probe Ex- trakt (2mg)</b>	<b>Mittelwert Hemmung je Einzel- probe Ex- trakt (3mg)</b>
Stratiotes aloides	Blätter	Meier	0,0%	39,4%	1,2%	9,9%
	Blätter	Meier	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Blätter	Meier	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Chara vulgaris	Blätter	Pacozzi	0,0%	25,0%	0,5%	7,4%
	Blätter	Seiler	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Potamogeton lucens	Blätter	Ender	0,0%	19,4%	0,0%	0,0%
Eleocharis acicularis	Blätter	Zwinggi	0,0%	50,3%	41,4%	100,0%
	Blätter	Furrer	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Utricularia vulgaris	Blätter	Ender	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Spitzen	Ender	0,0%	39,4%	3,5%	19,4%
Chara contraria	Blätter	Schnell	0,0%	39,4%	0,0%	0,0%
Potamogeton berchtoldii	Blätter	Grundmann	0,0%	100,0%	0,0%	33,3%
Myriophyllum spicatum	Blätter	Pacozzi	0,0%	39,4%	0,1%	6,5%
	Spitzen	Pacozzi	0,0%	100,0%	3,5%	8,7%
Quellmoos (Art n. best.)	Blätter	Ströber	0,0%	39,4%	3,5%	7,4%

Aus den in Tab. 4 errechneten Mittelwerten wurden anschließend die Mittelwerte je Pflanzenart (Tab. 5), unterteilt in Pflanzenteile, gebildet und nach prozentualer Hemmwirkung sortiert.

Tabelle 5: Mittelwerte je Pflanzenart –sortiert bei *Anabaena* sp. PCC 7120

Hoher Folingehalt:					
Pflanzenart	Pflanzen- zenteil	Mittelwert Hemmung je Pflanze Extrakt (1mg)	Pflanzenart	Pflanzen- zenteil	Mittelwert Hemmung je Pflanze Extrakt (2mg)
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	78,2%	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	91,7%
<i>Elodea nuttalii</i>	Spitzen	11,5%	<i>Elodea nuttalii</i>	Spitzen	77,4%
<i>Potamogeton lucens</i>	Spitzen	0,0%	<i>Potamogeton lucens</i>	Spitzen	0,0%
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Blätter	48,2%	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Blätter	100,0%
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	7,7%	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	55,2%
<i>Elodea nuttalii</i>	Blätter	2,2%	<i>Elodea nuttalii</i>	Blätter	14,5%
Niediger Folingehalt:					
Pflanzenart	Pflanzen- zenteil	Mittelwert Hemmung je Pflanze Extrakt (2mg)	Pflanzenart	Pflanzen- zenteil	Mittelwert Hemmung je Pflanze Extrakt (3mg)
<i>Utricularia vulgaris</i>	Spitzen	3,5%	<i>Utricularia vulgaris</i>	Spitzen	19,4%
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	3,5%	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	8,7%
<i>Utricularia vulgaris</i>	Blätter	100,0%	<i>Eleocharis acicularis</i>	Blätter	100,0%
<i>Eleocharis acicularis</i>	Blätter	70,7%	<i>Utricularia vulgaris</i>	Blätter	100,0%
<i>Stratiotes aloides</i>	Blätter	67,1%	<i>Stratiotes aloides</i>	Blätter	70,0%
<i>Chara vulgaris</i>	Blätter	50,3%	<i>Chara vulgaris</i>	Blätter	53,7%
<i>Quellmoos (Art n. best.)</i>	Blätter	3,5%	<i>Potamogeton berchtoldii</i>	Blätter	33,3%
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	0,1%	<i>Quellmoos (Art n. best.)</i>	Blätter	7,4%
<i>Potamogeton lucens</i>	Blätter	0,0%	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	6,5%
<i>Chara contraria</i>	Blätter	0,0%	<i>Potamogeton lucens</i>	Blätter	0,0%
<i>Potamogeton berchtoldii</i>	Blätter	0,0%	<i>Chara contraria</i>	Blätter	0,0%

Pflanzenarten, welche nie eine Hemmwirkung >10 % erzielt haben (*Potamogeton lucens*, *Chara contraria*), wurden nicht in das anschliessende Ranking für *Anabaena* sp. PCC 7120 (Tab. 6) aufgenommen, da alle für diese Semesterarbeit ausgewählten Pflanzen ein allelopathisches Potential aufweisen und deshalb nur Pflanzen mit hoher allelopathischer Hemmwirkung von Interesse waren. Pflanzenarten mit einem Hemmwert von > 10 % wurden in der Tab. 5 hellrot markiert. Diese Pflanzen werden in das anschließende Ranking je Testorganismus aufgenommen, da sie als gut hemmend identifiziert wurden.

Um Platzierungen innerhalb des Rankings (Tab. 6) zu erhalten, wurden alle Einzelwerte (auch die < 10 %), der zuvor als gut hemmend identifizierten Pflanzenarten (hellrot gekennzeichnet in Tab. 5), addiert und ein Mittelwert gebildet. Somit wird ein möglichst genaues Ergebnis sicher-

gestellt, welches alle Werte der Pflanzenarten von Interesse berücksichtigt. Es ergibt sich somit folgendes Ranking (Tab.6).

**Tabelle 6: Ranking für *Anabaena* sp. PCC 7120**

Ranking	Pflanzenart	Mittelwert der Hemmung aller Pflanzenteile und Extraktkonzentrationen von PCC 7120	Standardabweichung
1.	<i>Eleocharis acicularis</i> (Nadelsimse)	85,4%	20,7%
2.	<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Flutendes Tausendblatt)	74,1%	36,6%
3.	<i>Stratiotes aloides</i> (Krebsschere)	68,6%	2,0%
4.	<i>Utricularia vulgaris</i> (Gewöhnlicher Wasserschlauch)	55,7%	51,5%
5.	<i>Chara vulgaris</i> (Gewöhnliche Armleuchteralge)	52,0%	2,4%
6.	<i>Myriophyllum spicatum</i> (Ähriges Tausendblatt)	31,5%	37,5%
7.	<i>Elodea nuttallii</i> (Schmalblättrige Wasserpest)	26,4%	34,4%
8.	<i>Potamogeton berchtoldii</i> (Berchtolds Laichkraut)	16,7%	23,6%

Um eine Aussage bezüglich der Schwankungsbreite einzelner Werte treffen zu können, wurde die Standardabweichung berechnet. Die Standardabweichung bewertet die Abweichung der einzelnen Werte vom Mittelwert. Somit können Pflanzenarten, bei denen eine hohe Variationsbreite vorliegt, von Pflanzenarten mit einer konstanteren Hemmwirkung unterschieden werden.

#### 4.1.2 Hemmung von *Synechococcus* PCC 6911

Bei der Negativkontrolle wurde keine Hemmung festgestellt. Bei Proben, die in der Negativkontrolle eine Totalhemmung aufwiesen, kann wie bei PCC 7120 (Tab. 4) davon ausgegangen werden, dass der Gehalt an Allelochemikalien der umgebenen Spots so hoch ist, dass die Allelochemikalien durch die komplette Agarplatte diffundieren.

Die TA-Positivkontrolle wies ebenfalls, wie in Tab. 4, durchgängig eine Hemmung auf, wobei auch sie zum Teil vom benachbarten Spot beeinflusst wurde. Auch bei PCC 6911 wurde die Eignung von TA als Positivkontrolle bestätigt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Mittelwerte derselben Konzentration einer Agarplatte pro Pflanzenart und –teil, bezogen auf den jeweiligen Teich, dargestellt. Diese wurden wie in Tab. 4 aus den 3 vorhandenen Einzelspots errechnet (Tab. 7).

**Tabelle 7: Mittelwerte der Einzelspots bei *Synechococcus* PCC 6911**

<b>Hoher Folingehalt:</b>						
<b>Pflanzenart</b>	<b>Pflanzen- zenteil</b>	<b>Schwimm- teich</b>	<b>Negativ- kontrolle</b>	<b>Positiv- kontrolle</b>	<b>Mittelwert Hemmung je Einzel- probe Ex- trakt (1mg)</b>	<b>Mittelwert Hemmung je Einzel- probe Ex- trakt (2mg)</b>
Myriophyllum spicatum	Blätter	Seiler	0,0%	78,5%	41,3%	100,0%
	Blätter	Meier	0,0%	14,2%	6,5%	9,9%
	Blätter	Ströbel	0,0%	14,2%	16,4%	19,6%
	Blätter	Schnell	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
	Spitzen	Ströbel	0,0%	39,4%	7,4%	100,0%
	Spitzen	Ströbel	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Spitzen	Schnell	0,0%	100,0%	40,1%	100,0%
Myriophyllum aquaticum	Blätter	Furrer	0,0%	9,9%	10,1%	70,0%
Potamogeton lucens	Spitzen	Ender	0,0%	39,4%	0,0%	0,0%
Elodea nuttalii	Blätter	Grundmann	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Spitzen	Grundmann	0,0%	6,2%	9,9%	30,2%
<b>Niedrigerer Folingehalt:</b>						
<b>Pflanzenart</b>	<b>Pflanzen- zenteil</b>	<b>Schwimm- teich</b>	<b>Negativ- kontrolle</b>	<b>Positiv- kontrolle</b>	<b>Mittelwert Hemmung je Einzel- probe Ex- trakt (2mg)</b>	<b>Mittelwert Hemmung je Einzel- probe Ex- trakt (3mg)</b>
Stratiotes aloides	Blätter	Meier	0,0%	39,4%	2,9%	6,5%
	Blätter	Meier	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Blätter	Meier	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Chara vulgaris	Blätter	Pacozzi	0,0%	32,1%	1,2%	2,3%
	Blätter	Seiler	100,0%	100,0%	6,6%	100,0%
Potamogeton lucens	Blätter	Ender	0,0%	39,4%	0,0%	0,0%
Eleocharis acicularis	Blätter	Zwinggi	0,0%	100,0%	17,2%	100,0%
	Blätter	Furrer	100,0%	100,0%	19,4%	100,0%
Utricularia vulgaris	Blätter	Ender	0,0%	39,4%	0,0%	5,3%
	Spitzen	Ender	0,0%	56,9%	0,0%	3,5%
Chara contraria	Blätter	Schnell	0,0%	56,9%	0,0%	1,7%
Potamogeton berchtoldii	Blätter	Grundmann	0,0%	100,0%	0,0%	33,3%
Myriophyllum spicatum	Blätter	Pacozzi	0,0%	39,4%	2,2%	6,5%
	Spitzen	Pacozzi	0,0%	47,8%	10,1%	32,1%
Quellmoos (Art n. best.)	Blätter	Ströber	0,0%	39,4%	4,7%	9,9%

Aus den in Tab. 7 errechneten Mittelwerten wurden anschließend die Mittelwerte je Pflanzenart (Tab. 8), unterteilt in Pflanzenteile, gebildet und nach prozentualer Hemmwirkung sortiert.

**Tabelle 8: Mittelwerte je Pflanzenart –sortiert bei *Synechococcus* PCC 6911**

<b>Hoher Folingehalt:</b>					
<b>Pflanzenart</b>	<b>Pflanzen- zenteil</b>	<b>Mittelwert Hemmung je Pflanze Ex- trakt (1mg)</b>	<b>Pflanzenart</b>	<b>Pflanzen- zenteil</b>	<b>Mittelwert Hemmung je Pflanze Ex- trakt (2mg)</b>
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	49,2%	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	100,0%
<i>Elodea nuttalii</i>	Spitzen	9,9%	<i>Elodea nuttalii</i>	Spitzen	30,2%
<i>Elodea nuttalii</i>	Blätter	100,0%	<i>Elodea nuttalii</i>	Blätter	100,0%
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	16,0%	<i>Myriophyllum aquati- cum</i>	Blätter	70,0%
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Blätter	10,1%	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	57,4%
<i>Potamogeton lucens</i>	Blätter	0,0%	<i>Potamogeton lucens</i>	Blätter	0,0%
<b>Niedriger Folingehalt:</b>					
<b>Pflanzenart</b>		<b>Mittelwert Hemmung je Pflanze Ex- trakt (2mg)</b>	<b>Pflanzenart</b>		<b>Mittelwert Hemmung je Pflanze Ex- trakt (3mg)</b>
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	10,1%	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	32,1%
<i>Utricularia vulgaris</i>	Spitzen	0,0%	<i>Utricularia vulgaris</i>	Spitzen	3,5%
<i>Stratiotes aloides</i>	Blätter	67,6%	<i>Eleocharis acicularis</i>	Blätter	100,0%
<i>Eleocharis acicularis</i>	Blätter	18,3%	<i>Stratiotes aloides</i>	Blätter	68,8%
Quellmoos (Art n. best.)	Blätter	4,7%	<i>Chara vulgaris</i>	Blätter	51,2%
<i>Chara vulgaris</i>	Blätter	3,9%	<i>Potamogeton berchtol- dii</i>	Blätter	33,3%
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	2,2%	Quellmoos (Art n. best.)	Blätter	9,9%
<i>Utricularia vulgaris</i>	Blätter	0,0%	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	6,5%
<i>Potamogeton lucens</i>	Blätter	0,0%	<i>Utricularia vulgaris</i>	Blätter	5,3%
<i>Potamogeton berchtoldii</i>	Blätter	0,0%	<i>Chara contraria</i>	Blätter	1,7%
<i>Chara contraria</i>	Blätter	0,0%	<i>Potamogeton lucens</i>	Blätter	0,0%

Um ein Ranking bei Testorganismus PCC 6911 zu ermitteln, wurde die gleiche Vorgehensweise wie bei PCC 7120 (Tab. 6) angewendet. Ebenfalls wurden Pflanzenarten, welche nie eine Hemmwirkung >10 % erzielt haben (*Potamogeton lucens*, *Chara contraria*, Quellmoos (Art n. best.)), nicht in das Ranking für *Synechococcus* PCC 6911 aufgenommen.

**Tabelle 9: Ranking für *Synechococcus* PCC 6911**

Ranking	Pflanzenart	Mittelwert der Hemmung aller Pflanzenteile und Extraktkonzentrationen von PCC 6911	Standardabweichung
1.	<i>Stratiotes aloides</i> (Krebsschere)	68,2%	0,9%
2.	<i>Elodea nuttallii</i> (Schmalblättrige Wasserpest)	60,0%	46,9%
3.	<i>Eleocharis acicularis</i> (Nadelsimse)	59,2%	57,8%
4.	<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Flutendes Tausendblatt)	40,1%	42,4%
5.	<i>Myriophyllum spicatum</i> (Ähriges Tausendblatt)	34,2%	33,4%
6.	<i>Chara vulgaris</i> (Gewöhnliche Armelechteralge)	27,6%	33,4%
7.	<i>Potamogeton berchtoldii</i> (Berchtolds Laichkraut)	16,7%	23,6%

In Tab. 9 wurde ebenfalls die Standardabweichung berechnet, um eine Aussage zur Schwankungsbreite der einzelnen Pflanzenarten treffen zu können.

## 4.2 Gesamtranking

Aus Tab. 6 und Tab. 9 leitet sich das Gesamtranking (Tab.10) ab. Bei diesem wurden die Hemmungen der Pflanzenarten bei *Anabaena* sp. PCC 7120 und *Synechococcus* PCC 6911 in gleichen Teilen berücksichtigt. Hierzu wurde pro Testorganismus aus allen gemittelten Hemmwerten derselben Pflanzenarten und –teile der Mittelwert gebildet. Die gemittelten Hemmwerte wurden addiert und erneut gemittelt. Somit fließen die Hemmwirkungen beider Testorganismen mit der gleichen Gewichtung in das Gesamtranking ein.

**Tabelle 10: Gesamtranking unter Berücksichtigung der Hemmwirkung**

Gesamtranking	Pflanzenart	Mittelwert der Hemmung aller Pflanzenteile und Extraktkonzentrationen von PCC 6911 und PCC 7120	Standardabweichung
1.	<i>Eleocharis acicularis</i> (Nadelsimse)	72,3%	38,4%
2.	<i>Stratiotes aloides</i> (Krebsschere)	68,4%	1,3%
3.	<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Flutendes Tausendblatt)	57,1%	37,8%
4.	<i>Elodea nuttallii</i> (Schmalblättrige Wasserpest)	43,2%	31,0%
5.	<i>Chara vulgaris</i> (Gewöhnliche Armelechteralge)	39,8%	23,9%
6.	<i>Myriophyllum spicatum</i> (Ähriges Tausendblatt)	32,9%	34,3%
7.	<i>Utricularia vulgaris</i> (Gewöhnlicher Wasserschlauch)	29,0%	44,2%
8.	<i>Potamogeton berchtoldii</i> (Berchtolds Laichkraut)	16,7%	19,2%

Um beim Gesamtranking die Schwankungsbreite der einzelnen Proben pro Pflanzenart zu berücksichtigen, wurde der Variationskoeffizient errechnet, welcher die Standardabweichung in ein Verhältnis zum Mittelwert setzt. Da bei der Betrachtungsweise dieser Seminararbeit aber der Hemmwirkung eine wichtigere Rolle zugemessen wird, erfolgt dies im Verhältnis 2:1. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren ergibt sich das folgende Gesamtranking (Tab. 11).

**Tabelle 11: Gesamtranking unter Berücksichtigung von Hemmwirkung und Standardabweichung (Gewichtung: 2:1)**

Gesamtranking	Pflanzenart	Mittelwert der Hemmung aller Pflanzenteile und Extraktkonzentrationen von PCC 6911 und PCC 7120	Standardabweichung	Variationskoeffizient mit doppelter Gewichtung des Mittelwertes
1.	<i>Stratiotes aloides</i> (Krebsschere)	68,4%	1,3%	0,01%
2.	<i>Eleocharis acicularis</i> (Nadelsimse)	72,3%	38,4%	0,27%
3.	<i>Chara vulgaris</i> (Gewöhnliche Armleuchteralge)	39,8%	23,9%	0,30%
4.	<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Flutendes Tausendblatt)	57,1%	37,8%	0,33%
5.	<i>Elodea nuttallii</i> (Schmalblättrige Wasserpest)	43,2%	31,0%	0,36%
6.	<i>Myriophyllum spicatum</i> (Ähriges Tausendblatt)	32,9%	34,3%	0,52%
7.	<i>Potamogeton berchtoldii</i> (Berchtolds Laichkraut)	16,7%	19,2%	0,57%
8.	<i>Utricularia vulgaris</i> (Gewöhnlicher Wasserschlauch)	29,0%	44,2%	0,76%

### 4.3 Fotografien der Hemmungen

Die abgebildeten Fotografien zeigen zur Veranschaulichung Hemmungen verschiedener Pflanzenextrakte. Es ist deutlich zu erkennen, wie unterschiedlich stark verschiedene Extrakte PCC 6911 und PCC 7120 hemmen (Abb. 4 und Abb. 5). Bei einigen Arten war keine Hemmung der Extrakte ersichtlich (Abb. 3). Abb. 6 und Abb. 7 zeigen deutliche Diffusion von Allelochemikalien bei hoher Wirksamkeit.

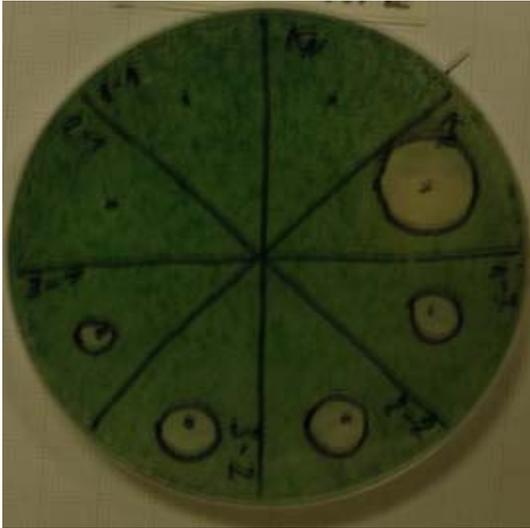


Abbildung 2: Hemmung von PCC 7120 bei *Chara vulgaris* (Blätter Pacozzi).

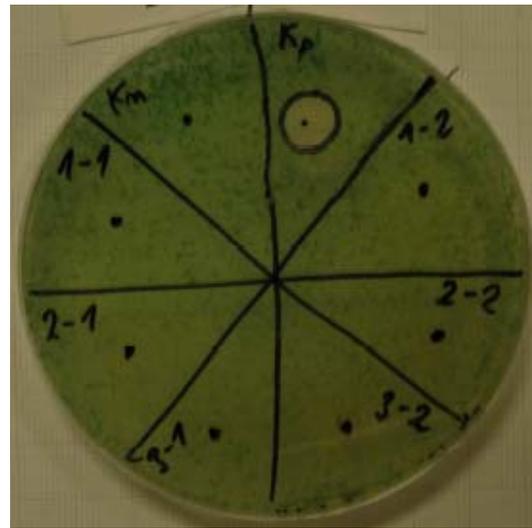


Abbildung 3: Hemmung von PCC 7120 bei TA-Positivkontrolle *Potamogeton lucens* (Spitzen Ender) Keine Hemmung bei Pflanzenextrakten.

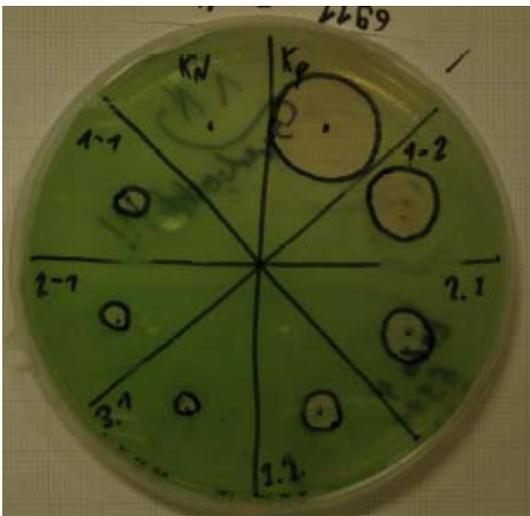


Abbildung 4: Hemmung von PCC 6911 bei Extrakten von *Myriophyllum spicatum* (Blätter Pacozzi).

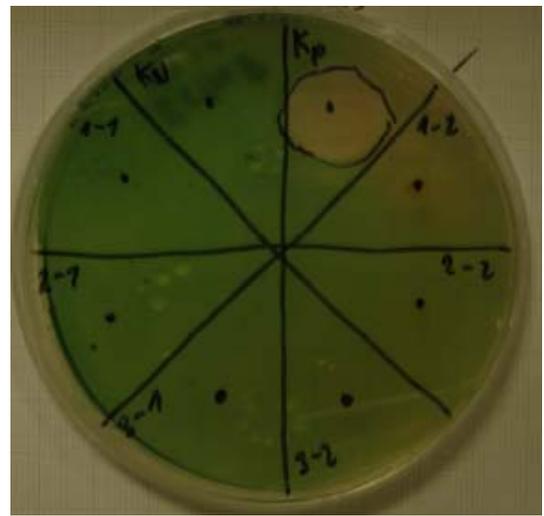


Abbildung 5: Hemmung von PCC 6911 bei TA-Positivkontrolle *Potamogeton lucens* (Blätter Ender). Keine Hemmung bei Extrakten.

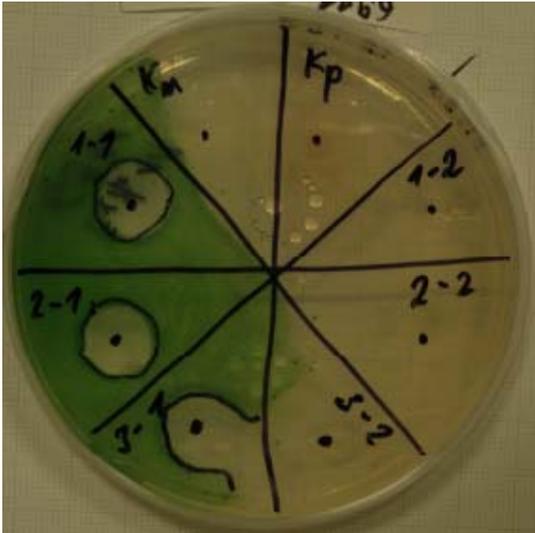


Abbildung 6: Starke Diffusion von Allelochemikalien bei *Eleocharis acicularis* (Blätter Furrer) PCC 6911

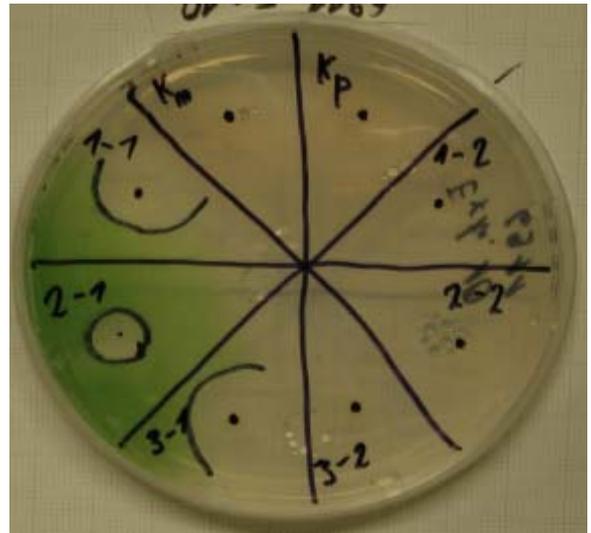


Abbildung 7: Sehr starke Diffusion der Allelochemikalien bei *Eleocharis acicularis* Blätter Zwinggi) PCC 6911.

## 5 Analyse der Algensituation in ausgewählten Schwimmteichen

Die Ergebnisse der obigen Hemmhoftests werden mit den von Frei (2008), im Zuge seiner Bachelorthesis, erstellten Teichbeschreibungen in Verbindung gebracht. Die Hemmwirkungen der Pflanzproben werden mit der jeweiligen Algensituation im Herkunftsteich verglichen. Um dies zu ermöglichen, wird für jede Pflanzenart und –teil ihr Pflanzenvolumenindex (PVI) im jeweiligen Schwimmteich angegeben. Der PVI entspricht dem prozentualen Anteil des Pflanzenvolumens am Volumen des Schwimmteichs. Da der PVI in den Feldaufnahmen nicht nach Pflanzenteilen getrennt aufgenommen wurde, wird beim Vorhandensein von Blättern und Spitzen derselbe PVI verwendet.

## 5.1 Detaillierte Auflistung der Schwimmteiche

### Schwimmteich Ströbel

- Lage: Teilweise beschattet
- Pflege: Düngung
- Pflanzen: Ein Schnitt im Frühling
- Algensituation: **Häufig Fadenalgen**

**Tabelle 12: Situation Schwimmteich Ströbel**

<b>Anabaena sp. PCC 7120</b>				
Pflanzenart	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 1 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	<b>0,06</b>	<b>9,9 %</b>	<b>21,3 %</b>
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	<b>0,06</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>
			Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Quellmoos</i>	Blätter	<b>unbekannt</b>	<b>3,5 %</b>	<b>7,4 %</b>

<b>Synechococcus PCC 6911</b>				
Pflanzenart	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 1 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	<b>0,06</b>	<b>16,4 %</b>	<b>19,6 %</b>
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	<b>0,06</b>	<b>53,7 %</b>	<b>100,0 %</b>
			Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Quellmoos</i>	Blätter	<b>unbekannt</b>	<b>4,7 %</b>	<b>9,9 %</b>

## Teich Meier

- Lage: Teilweise besonnt
- Pflege: Extensiv
- Pflanzen: Ab und zu schneiden
- Algensituation: **Im Allgemeinen sehr wenige Algen**

**Tabelle 13: Situation Schwimmteich Meier**

<b>Anabaena sp. PCC 7120</b>				
Pflanzenart	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 1 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	<b>0,61</b>	<b>6,5 %</b>	<b>19,6 %</b>
			Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Stratiotes aloides</i>	Blätter	<b>0,61</b>	<b>67,1 %</b>	<b>70,0 %</b>
<b>Synechococcus PCC 6911</b>				
Pflanzenart	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 1 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	<b>0,61</b>	<b>6,5 %</b>	<b>9,9 %</b>
			Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Stratiotes aloides</i>	Blätter	<b>0,61</b>	<b>67,6 %</b>	<b>68,8 %</b>

## Teich Zwinggi

- Lage: Teilweise beschattet
- Pflege: Düngung
- Pflanzen: keine Angaben
- Algensituation: **leichte Grünfärbung, minimale Bildung von Fadenalgen**

**Tabelle 14: Situation Schwimmteich Zwinggi**

<b>Anabaena sp. PCC 7120</b>				
	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Eleocharis acicularis</i>	Blätter	<b>0,01</b>	<b>41,4 %</b>	<b>100,0 %</b>
<b>Synechococcus PCC 6911</b>				
	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Eleocharis acicularis</i>	Blätter	<b>0,01</b>	<b>17,2 %</b>	<b>100,0 %</b>

## Teich Furrer

- Lage: Vollsonnig
- Pflege: Düngung
- Pflanzen: Pflanzenschnitt im Frühling und Herbst
- Algensituation: **Keine Probleme mit Algen**

**Tabelle 15: Situation Schwimmteich Furrer**

<b>Anabaena sp. PCC 7120</b>				
	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 1 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Blätter	<b>0,7</b>	<b>48,2 %</b>	<b>100,0 %</b>
			Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Eleocharis acicularis</i>	Blätter	<b>0,03</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>
<b>Synechococcus PCC 6911</b>				
	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 1 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Blätter	<b>0,7</b>	<b>10,1 %</b>	<b>70,0 %</b>
			Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Eleocharis acicularis</i>	Blätter	<b>0,03</b>	<b>19,4 %</b>	<b>100,0 %</b>

## Teich Grundmann

- Lage: Mehrheitlich beschattet
- Pflege: keine Angaben
- Pflanzen: keine Angaben
- Algensituation: **keine Angaben**

**Tabelle 16: Situation Schwimmteich Grundmann**

<b>Anabaena sp. PCC 7120</b>				
	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Potamogeton berchtoldii</i>	Blätter	<b>unbekannt</b>	<b>0,0 %</b>	<b>33,3 %</b>
<b>Synechococcus PCC 6911</b>				
	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Potamogeton berchtoldii</i>	Blätter	<b>unbekannt</b>	<b>0,0 %</b>	<b>33,3 %</b>

## Teich Schnell

- Lage: Teilweise beschattet
- Pflege: Düngung
- Pflanzen: keine Angaben
- Algensituation: **Fadenalge im Frühling**

**Tabelle 17: Situation Schwimmteich Schnell**

<b>Anabaena sp. PCC 7120</b>				
Pflanzenart	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 1 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	<b>0,1</b>	<b>0,00 %</b>	<b>100,0 %</b>
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	<b>0,1</b>	<b>34,6 %</b>	<b>75,0 %</b>
			Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Chara contraria</i>	Blätter	<b>0,48</b>	<b>0,0 %</b>	<b>0,0 %</b>
<b>Synechococcus PCC 6911</b>				
Pflanzenart	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 1 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	<b>0,1</b>	<b>0,00 %</b>	<b>100,0 %</b>
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	<b>0,1</b>	<b>40,1 %</b>	<b>100,0 %</b>
			Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Chara contraria</i>	Blätter	<b>0,48</b>	<b>0,0 %</b>	<b>1,7 %</b>

## Teich Ender

- Lage: Vollsonnig
- Pflege: keine Düngung
- Pflanzen: keine Angaben
- Algensituation: **Ende Frühling kurzes Aufkommen von Fadenalgen**

**Tabelle 18: Situation Schwimmteich Ender**

<i>Anabaena</i> sp. PCC 7120				
	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 1 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt
<i>Potamogeton lucens</i>	Spitzen	<b>2,9</b>	<b>0,0 %</b>	<b>0,0 %</b>
			Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Potamogeton lucens</i>	Blätter	<b>2,9</b>	<b>0,0 %</b>	<b>0,0 %</b>
<i>Utricularia vulgaris</i>	Blätter	<b>0,48</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>
<i>Utricularia vulgaris</i>	Spitzen	<b>0,48</b>	<b>3,5 %</b>	<b>19,4 %</b>
<i>Synechococcus</i> PCC 6911				
	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 1 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt
<i>Potamogeton lucens</i>	Spitzen	<b>2,9</b>	<b>0,0 %</b>	<b>0,0 %</b>
			Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Potamogeton lucens</i>	Blätter	<b>2,9</b>	<b>0,0 %</b>	<b>0,0 %</b>
<i>Utricularia vulgaris</i>	Blätter	<b>0,48</b>	<b>0,0 %</b>	<b>5,3 %</b>
<i>Utricularia vulgaris</i>	Spitzen	<b>0,48</b>	<b>0,0 %</b>	<b>3,5 %</b>

## Teich Seiler

- Lage: Teilweise beschattet
- Pflege: keine Angaben
- Pflanzen: keine Angaben
- Algensituation: **keine Angaben**

**Tabelle 19: Situation Schwimmteich Seiler**

<b>Anabaena sp. PCC 7120</b>				
	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 1 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	<b>0,02</b>	<b>14,5 %</b>	<b>79,8 %</b>
			Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Chara vulgaris</i>	Blätter	<b>unbekannt</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>
<b>Synechococcus PCC 6911</b>				
	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 1 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	<b>0,02</b>	<b>41,3 %</b>	<b>100,0 %</b>
			Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Chara vulgaris</i>	Blätter	<b>unbekannt</b>	<b>6,6 %</b>	<b>100,0 %</b>

## Teich Pacozzi

- Lage: Vollsonnig
- Pflege: Düngung
- Pflanzen: Frühling 1 Schnitt pro Jahr (Schilf mehrmals)
- Algensituation: **Leichte Grüntrübung und einzelne Fadenalgen**

Tabelle 20: Situation Schwimmteich Pacozzi

<b>Anabaena sp. PCC 7120</b>				
	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Chara vulgaris</i>	Blätter	<b>0,02</b>	<b>0,5 %</b>	<b>7,4 %</b>
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	<b>0,2</b>	<b>0,1 %</b>	<b>6,5 %</b>
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	<b>0,2</b>	<b>3,5 %</b>	<b>8,7 %</b>
<b>Synechococcus PCC 6911</b>				
	Pflanzenteil	PVI	Mittelwert der Hemmung bei 2 mg Extrakt	Mittelwert der Hemmung bei 3 mg Extrakt
<i>Chara vulgaris</i>	Blätter	<b>0,02</b>	<b>1,2 %</b>	<b>2,3 %</b>
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Blätter	<b>0,2</b>	<b>2,2 %</b>	<b>6,5 %</b>
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spitzen	<b>0,2</b>	<b>10,1 %</b>	<b>32,1 %</b>

## 6 Ergebnisse Folin-Tests

Die Ergebnisse der Folin-Tests werden in dieser Semesterarbeit nicht dargestellt. Die Folin-Tests dienten hinsichtlich der Ziele dieser Semesterarbeit nur zur Bestimmung der Konzentration der Extraktpunkte der einzelnen Pflanzenarten bei der Agardiffusionsanalyse.

## 7 Ergebnisse der PVPP-Test

Die Ergebnisse der PVPP-Tests werden nicht in dieser Semesterarbeit dargestellt. Sie werden, analog der Ergebnisse der Folin-Tests, an die AG Gross, Universität Konstanz, weitergeleitet.

## **8 Diskussion**

### **8.1 Agardiffusionsanalyse**

Die Fotografien der Hemmhöfe zeigten eine klare Abgrenzung zwischen Hemmung und Nicht-hemmung. Bei gleicher Konzentration der Extraktunkte und Pflanzenart wich die Hemmwirkung teilweise stark voneinander ab. Überwiegend liess sich bei höherer Konzentration der Extraktunkte, auch eine insgesamt vergrösserte Hemmfläche feststellen. Die Hemmhöfe entsprachen jeweils der kreisrunden Form der aufgetragenen Extraktunkte. Somit kann davon ausgegangen werden, dass Allelochemikalien in konstanter Geschwindigkeit durch den Agar diffundieren. Diffuse Hemmungen traten nicht auf. Zum Teil wurde bei geringer Konzentration keine Hemmung festgestellt. Bei doppelter Konzentration des Extraktunktes trat eine Hemmwirkung ein. In diesen Fällen kann angenommen werden, dass die Algen eine gewisse Konzentration Allelochemikalien ertragen können, jedoch mit hohen Konzentrationen nicht zu Recht kommen. In solchen Fällen wären weitere Hemmhöftests in noch höherer Konzentration sicherlich interessant, um letale Schwellenwerte festlegen zu können. Bei Hemmung im Allgemeinen, aber hauptsächlich bei Hemmung einer kompletten Agarplatte, können neben den Allelochemikalien auch andere Faktoren eine Rolle spielen. Grundsätzlich ist in diesem Zusammenhang nicht auszuschliessen, dass die Algen in Einzelfällen nicht angewachsen sind.

#### **8.1.1 Positivtests**

Die Positivtests mit Tanninsäure durchzuführen hat sich bei beiden Testorganismen als sinnvoll erwiesen. Die grösseren, der entstandenen Hemmhöfe, unterschieden sich aber teilweise spürbar. Deshalb ist es sicherlich möglich, bei grosser Anzahl von Wiederholungen, eine Art Richtwert zu entwickeln. Positivkontrollen, die 100%ige Hemmung erzielten, wurden sicherlich durch benachbarte Spots beeinflusst. Dies wird daran ersichtlich, dass bei 100%iger Hemmung der Positivtests, der direkt daneben liegende Extraktunkt ebenfalls in allen Tests Totalhemmung aufwies. In zukünftigen Versuchen wäre es diesbezüglich ratsam, die Extraktunkte so weit voneinander entfernt zu platzieren, dass keine gegenseitige Beeinflussung stattfinden kann. Um generell Wechselwirkungen auszuschliessen, wäre es ratsam, pro Agarschale deutlich weniger oder jeweils nur einen Extraktspot aufzutragen.

#### **8.1.2 Negativtests**

Bei den Negativtests trat bei den Testorganismen in den meisten Fällen keine Hemmwirkung auf. Somit wurde bewiesen, dass sich in den zur Extraktion verwendeten Lösungsmitteln keine hemmenden Verbindungen befanden. Bei Hemmung der Negativkontrolle wurde jeweils die komplette Testplatte vollständig gehemmt. Deshalb kann, wie bei den Positivtests, davon ausgegangen werden, dass die Hemmung durch Diffusionseffekte der benachbarten Spots verursacht wurde, oder die Testorganismen nicht angewachsen sind.

### 8.1.3 Testorganismen

Im Vergleich der beiden Testalgen *Anabaena* PCC 7120 und *Synechococcus* PCC 7120 wurde *Anabaena* PCC 7120 stärker gehemmt. Hieraus lässt sich ableiten, dass *Anabaena* PCC 7120 insgesamt empfindlicher auf Allelochemikalien reagiert.

## 8.2 Algensituation ausgewählter Schwimmteiche

Werden die untersuchten Pflanzenproben mit Werten des Gesamtrankings (Tab.11) hinsichtlich der Algensituation der jeweiligen Schwimmteiche (Tab. 11-20) in Verbindung gebracht, so lassen sich Auffälligkeiten feststellen. Für Schwimmteiche, deren Algensituation nicht protokolliert wurde, kann keine Aussage getroffen werden.

### Schwimmteich Ströbel:

Im Schwimmteich Ströbel wurden häufig Fadenalgen beobachtet. Die untersuchten Pflanzen aus diesem Schwimmteich sind *Myriophyllum spicatum* (Gesamtranking Platz 6) und Quellmoos (nicht gerankt). Beide Pflanzenarten haben einen geringen PVI von 0,06. Da in diesem Schwimmteich häufig Fadenalgen beobachtet wurden kann davon ausgegangen werden, dass im Wasser dieses Teichs recht wenig Allelochemikalien vorhanden sind. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass der geringe PVI in Verbindung mit einer Pflanzenart, die mit Platz 6 gerankt wurde, nicht ausreicht, um eine überzeugende Hemmung aufzuweisen. Möglich ist auch, dass *Myriophyllum spicatum* nur einen geringen Teil seiner Allelochemikalien ins umgebende Freiwasser abgibt. Frei (2008) konnte zeigen, dass Extrakte des Teichwassers Ströbel geringe allelopathische Wirkung aufwiesen. Hierbei darf aber nicht vernachlässigt werden, dass in seinen Analysen mit 10000-fachen Teichwasserextrakten gearbeitet wurde.

### Schwimmteich Meier:

Im Schwimmteich Meier traten im Allgemeinen kaum Algen auf. Die untersuchten Pflanzen dieses Schwimmteiches sind *Myriophyllum spicatum* (Gesamtranking Platz 6) und *Stratiotes aloides* (Gesamtranking Platz 1). Der PVI beider Pflanzenarten lag bei 0,61. Dass in diesem Schwimmteich kaum Algen auftraten, kann mit den beiden im Ranking vertretenen Pflanzen und dem, im Vergleich zum Teich Ströbel, 10-fachen PVI angenommen werden, dass die beiden Pflanzenarten in diesem Schwimmteich Wirkung auf das Algenwachstum zeigen. Frei (2008) konnte auch in diesem Teichwasser Hemmstoffe finden.

### Schwimmteich Zwinggi:

Im Schwimmteich Zwinggi trat eine leichte Grünfärbung des Wassers und eine minimale Bildung von Fadenalgen auf. In diesem Schwimmteich wurde nur *Eleocharis acicularis* (Gesamtranking Platz 1) mit einem sehr geringen PVI von 0,01 beprobt. Frei (2008) bietet keine Hemmwerte der Wasserextrakte dieses Schwimmteiches. Somit kann nur vermutet werden, dass diese Pflanze bei einem solch geringen PVI nicht in der Lage ist, eine wirksame Konzentration an Allelochemikalien im Teichwasser aufzubauen.

### **Schwimmteich Furrer:**

Bei diesem Schwimmteich wurde die Algensituation mit „keine Probleme mit Algen“ ins Protokoll aufgenommen. Laut Frei (2008) erzielen Wasserextrakte dieses Teiches bei der Agardiffusionsanalyse eine starke Hemmwirkung. Für *Myriophyllum spicatum* wurde in diesem Teich ein recht hoher PVI von 0,7 ermittelt. Für *Eleocharis acicularis* wurde ein sehr geringer PVI von 0,03 ermittelt. Beide Pflanzen sind im Gesamtranking vertreten. Die Algensituation in diesem Teich kann somit nicht unbedingt abschliessend erklärt werden. Es gilt aber zu beachten, dass *Myriophyllum spicatum* in den Hemmhofstests, hinsichtlich seiner Hemmwirkung, eine erhebliche Schwankungsbreite aufwies.

### **Schwimmteich Ender :**

Dieser Schwimmteich weist zum Ende des Frühlings hin ein kurzes Aufkommen von Fadenalgen auf. Es wurden *Potamogeton lucens* (nicht im Gesamtranking) mit einem PVI von 2,9 und *Utricularia vulgaris* (Gesamtranking Platz 8) mit einem PVI von 0,48 beprobt. Frei (2008) konnte bei seinen Analysen nur ein geringes Hemmpotential des Wassers feststellen. Somit lässt sich die Algensituation dieses Schwimmteiches nur schwer bewerten, wobei aber der Einfluss von *Utricularia vulgaris* bei mittlerem PVI beachtet werden sollte. Dieser Schwimmteich bestätigt das Gesamtranking hinsichtlich von *Potamogeton lucens*. Diese Art zeigte in den Hemmhofstests kaum Wirkung und ist deshalb nicht im Gesamtranking enthalten.

### **Schwimmteich Pacozzi:**

Dieser Teich zeigt leichte Grüntrübung und vereinzelt Fadenalgen. Dies lässt auf einzellige und fädige Algen schliessen. Es wurden *Myriophyllum spicatum* bei einem PVI von 0,2 und *Chara vulagris* (Gesamtranking Platz 6) bei einem PVI von 0,02 beprobt. Frei (2008) konnte für diesen Teich eine geringe Hemmwirkung der Wasserextrakte feststellen. Das geringe Algenaufkommen dieses Schwimmteiches kann somit mit dem Vorkommen gerankter Arten und dem mittleren PVI in Verbindung gebracht werden.

## **8.2.1 Pflanzenvolumenindex und Hemmung des Teichwassers**

Nimmt man für eine Musterart einen PVI von 0,5 an, so entspricht dieser bei einem Gesamtwasservolumen eines Schwimmteiches von 100 m<sup>3</sup> einem Volumen von 500 Litern. Geht man für diese Musterart von einer Totalhemmung, bezogen auf einen Hemmhofstest im Labor aus, so kann sicher gesagt werden, dass mindestens 500 l Teichwasser vollständig gehemmt werden. Im Wasser eines Schwimmteiches ist aber durchaus eine bessere Verteilung der Allelochemikalien denkbar, als im Nähragar einer Agardiffusionsanalyse. Ebenso bietet ein Schwimmteich Algen völlig andere Bedingungen, als der konstant temperierte und beleuchtete Nähragar. Vergleicht man die Teiche hinsichtlich des PVI und der jeweiligen Algensituation miteinander, so lässt sich feststellen, dass Teiche mit höherem PVI, bei allelopathisch aktiven Pflanzen, weniger Algen zeigen.

### 8.3 Gesamtranking der Pflanzenarten

*Stratioses aloides* (Gesamtranking Platz 1) zeigte auch bei anderen Analysen seiner Exudate starke Hemmung von Phytoplankton (Mulderij, 2005). Auch bei *Eleocharis acicularis* (Gesamt-ranking Platz 2) wurde im Laborversuch eine algizide Wirkung auf *Anabaena flosaque* beobachtet (Nakai, 1999). *Myriophyllum spicatum* (Gesamtranking Platz 6) zeigte in diversen Tests eine hohe allelopathische Aktivität auf verschiedene Cyanobakterien (Gross 1999 und Nakai 1999). *Elodea nutalii* (Gesamtranking Platz 5) erwies sich ebenfalls als stark allelopathisch aktiv (Gross 2005).

## 9 Fazit

Die untersuchten Pflanzenproben zeigen auf die verwendeten Testorganismen (*Anabaena* PCC 6911 und *Synechococcus* PCC 7120) im Labor eine eindeutig Hemmende Wirkung. Die Pflanzen im Gesamtranking zeigen ein deutliches allelopathisches Potential, welches sich im Literaturvergleich bestätigt. Von Frei (2008) extrahierte Wasserproben der Untersuchungsteiche, wiesen dann Hemmung auf, wenn die im Ranking erfassten Pflanzen, im Schwimmteich vorhanden waren. Untersuchungsteiche, die gerankte Pflanzenarten bei signifikantem PVI enthielten, zeigten ein geringes Algenaufkommen. Bei vergleichbarem PVI zeigte der Untersuchungsteich mit den höher platzierten Pflanzenarten mehr Hemmung. Es kann also gesagt werden, dass zum Zeitpunkt der Teichuntersuchung, Allelopathie einen Einfluss auf die Algensituation hatte. Die hier dargelegte Untersuchung stützt sich auf sehr wenige Testteiche. Ebenfalls konnten zum Teil nur wenige Wiederholungsmessungen stattfinden. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse dieser Semesterarbeit sicher nicht genau, in ihrer Tendenz aber eindeutig.

#### Schwachpunkte:

- Die Pflanzenproben zur Untersuchung waren teilweise leicht mit Algen durchsetzt. Diese Algen liessen sich vor dem Mahlen der Proben nicht vollständig aussortieren und beeinflussten möglicherweise die Hemmung.
- Die Testorganismen sind Laborkulturen und haben unter Laborbedingungen reagiert. Diese Situation lässt sich somit nicht 1:1 auf *in situ* Zustände übertragen.
- Die Teichaufnahmen wurden von Frei (2008) übernommen und stellen eine Momentaufnahme dar. Die Faktoren, die auf die jeweiligen Teiche Einfluss nehmen, sind aber sehr komplex.
- Die Entnahme der Pflanzenproben erfolgte nicht zum gleichen Zeitpunkt. Dies macht Vergleiche hinsichtlich des Gehaltes an Allelochemikalien innerhalb einer Art, bei verschiedenen Individuen, schwierig.
- Durch die Lagerung und Weiterverarbeitung der Pflanzenproben kann sich der Gehalt an Allelochemikalien in den Proben verändern.

## 10 Empfehlungen

Ein Schwimmteich sollte seinem Besitzer und Badegästen Freude bereiten. Ein starkes Algenvorkommen stört diesbezüglich erheblich. Allelopathisch wirkende Komponenten im Wasser des Schwimmteiches können dazu beitragen das Vorkommen von Algen zu begrenzen. Bei hohem Phosphataufkommen und anderen negativ wirkenden Umgebungsfaktoren, wie etwa ständiger Sonneneinstrahlung, wird es aber kaum möglich sein, allelopathische Hemmung als Wunderwaffe einzusetzen. Aus diesem Grund müssen die Umgebungsfaktoren so gesteuert werden, dass allelopathische Hemmung auch zum Zuge kommen kann. Bei Verwendung der im Gesamtranking aufgelisteten Pflanzen (Tab. 11) und einem hohen PVI, lässt sich somit übermäßiges Algenwachstum reduzieren.

## Anhang A: Fachartikel zur Semesterarbeit

Algenkontrolle im Schwimmteich mit Hilfe von Wasserpflanzen

Empfehlungen algenhemmender Pflanzen

Starkes Algenwachstum im Schwimmteich verringert den Badespass erheblich. Allelopathisch aktive Pflanzen können Abhilfe schaffen.

Achim Hägele  
AchimHaegele@gmail.com



Die Krebschere (*Stratiotes aloides*), gibt algenhemmende Stoffe in das Teichwasser ab.

Das Pflanzen sich gegenseitig in ihrem Wachstum beeinflussen können ist allgemein bekannt. Diese Fähigkeit wird Allelopathie genannt.

### Was kann Allelopathie nutzen?

Mit dem richtigen Teichdesign kann Allelopathie in Schwimmteichen Anwendung finden um ungeliebte Algen zu minimieren. Sie kann für klareres Wasser sorgen, mithelfen aufwendige Pflegemaßnahmen zu reduzieren und so dem Schwimmteichbesitzer bares Geld sparen.

### Wie kommt dieser Effekt zustande?

Allelopathisch aktive Wasserpflanzen können unbedenkliche Substanzen an das Wasser abgeben, die Algen das Wachstum erschweren.

### Haben meine Wasserpflanzen auch diese Wirkung?

Auch sie haben möglicherweise wirksame Pflanzen in ihrem Schwimmteich. Viele Wasserpflanzen zeigen allelopathische Aktivität. Einige Pflanzen sind jedoch besonders wirksam.

### Welche Pflanzen können empfohlen werden.

In Laboruntersuchungen wurden bekannte allelopathisch aktive Arten auf ihre Wirksamkeit untersucht. Die Ergebnisse wurden mit realen Algensituationen in Schwimmteichen abgeglichen. Eine Auswahl besonders wirksamer Arten ist in der Grafik unten zu sehen.

↑	Krebsschere	<i>Stratiotes aloides</i>
↑	Nadelisimse	<i>Eleocharis acicularis</i>
↑	Gewöhnliche Armleuchteralge	<i>Chara vulgaris</i>
↑	Flutendes Tausendblatt	<i>Myriophyllum aquaticum</i>
↑	Schmalblättrige Wasserpest	<i>Elodea nuttallii</i>
↑	Ahriges Tausendblatt	<i>Myriophyllum spicatum</i>
↑	Bercholds Laichkraut	<i>Potamogeton bercholdii</i>
↑	Gewöhnlicher Wasserschlauch	<i>Utricularia vulgaris</i>

# Literaturverzeichnis

- Andersen, R.A., Todd, J.** (1968): Estimation of total tobacco plant phenols by their bonding to polyvinylpyrrolidone, *Tobacco Science* 12, S.107-111.
- Erhardt, D.** (2006): Allelopathie in aquatic environments, Limnological Institute, University of Konstanz, Konstanz.
- Frei, M.** (2008): Wachstumshemmung von Blau-, Grün- und Kieselalgen in Schwimmteichen durch allelopathische wirkende Wasserpflanzenexudate. Bachelor-Thesis ZHAW Wädenswil.
- Gopal, B., Goel, U.** (1993): Competetion and allelopathie in aquatic plant comunities. *Bot. Rev.* 59, S. 155-210.
- Gross, E.M.** (2003): Allelopathy of Aquatic Autotrophs. *Critical Reviews in Plant Sciences* 22 (3&4), S. 313-339.
- Gross, E. M.** (2005) Sanfte Chemie aus Wasserpflanzen, *Der Schwimmteich*, Ausgabe 3-2005 Mai Juni Juli, S. 68-71.
- Gross, E. M.** (2007): Allelopathie, Möglichkeiten und Grenzen der Algenbekämpfung durch natürliche Herbizide aus Wasserpflanzen, Vortrag am 4. internationalen Kongress und Fachmesse für naturnahe Badegewässer, Hannover.
- Gross, E.M., Erhard, D., Ivanyi, E.** (2003): Allelopathic activity of *Ceratophyllum demersum* L. and *Najas marina* ssp. *intermedia* (Wolfgang) Casper. *Hydrobiologia*, S. 506–509, S. 583–589.
- Hilt, S., Groos, E.M.** (2008): Can allelopathically active submerged macrophytes stabilise clear-water states in shallow lakes. *Basic and Applied Ecology* 9, S. 422-432.
- Jüttner, F., Leonhardt, J. & Möhren, S.** (1983): Environmental factors affecting the formation of mesityloxyde, dimethylallylic alcohol and other volatile compounds excreted by *Anabaena cylindrica*. - *J. Gen. Microbiol.* 129, S. 407-412.
- Lechner, K., Lühr, H. P., Zanke, U.** (2001): Taschenbuch der Wasserwirtschaft, Parey Buchverlag, Berlin, S. 120.
- Lovett, J. V., Liu, D. L.** (1989): Allelopathy, chemical communication, and plant defense *Journal of Chemical Ecology* 15, S. 1193-1202.
- Molisch, H.** (1937): Der Einfluss einer Pflanze auf die andere – Allelopathie, Fischer, Jena.
- Mulderij, G. Mooij, W. M. , Smolders. A. J. P., Van Donk , E.** (2005): Allelopathic inhibition of phytoplankton by exudates from *Stratiotes aloides*. *Aquatic Botany* 82 (4), S. 284-296.
- Nakai, S., Inoue, Y., Hosomi, M., Murakami A.** (1999): Groth inhibition of blue-green algae by allelopathic effects of macrophytes. *Water Science and Technology.* 39 (8), S. 47-53.
- Regiosa, M. J., Sanchez-Moeiras, A., Gonzalez, L.** (1999): Ecophysiological approach in allelopathy *Critical Reviews in Plant Science* 18, S. 577-608.
- Rice, E.L.** (1984): Allelopathy, Ed 2. Academic Press, Orlando.

## **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Semesterarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

---

Bolheim, 23.07.2009

---

Achim Hägele