

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

Wachstumshemmung von Blau-, Grün- und Kieselalgen in Schwimmteichen durch allelopathisch wirkende Wasserpflanzenexudate



Bachelor-Thesis

von

Frei Matthias

Diplomstudiengang 2005

Studienrichtung: Umweltingenieurwesen

Abgabetermin: Donnerstag, 04. Dezember 2008, 12.00 Uhr

Fachkorrektoren:

Andreas Graber, ZHAW Grüental, CH-8820 Wädenswil

Dr. Elisabeth Groß, Limnologisches Institut, Fakultät für Biologie, Universität Konstanz,
D-78457 Konstanz

Zitiervorschlag: Frei, Matthias (2008): Wachstumshemmung von Blau, Grün- und Kieselalgen in Schwimmteichen durch allelopathisch wirkende Wasserpflanzenexudate

Schlagworte (Keywords): Schwimmteiche, Algen, Cyanobakterien, Anabaena PCC 7120, Synechococcus PCC 6911, Allelopathie, Makrophyten, Agardiffusionsanalyse

Adresse: Matthias Frei, Unterdorf 7, 8421 Dättlikon, Email: mf.daettlikon@bluewin.ch

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, erste Erkenntnisse über die Wirksamkeit allelopathisch wirksamer Stoffe von submersen Pflanzen in Schwimmteichen zu erhalten und ihre Wirksamkeit *in situ* zu untersuchen. Langfristig sollen Pflanzempfehlungen zur Algenkontrolle herausgegeben werden, mit Arten, die nachweislich algenhemmende Stoffe produzieren und ans Umgebungswasser abgeben und so den Algendruck im Schwimmteich reduzieren. Mit dieser Arbeit wurde ein erster Schritt in Richtung biologischer Algenbekämpfung mittels Allelopathie in Schwimmteichen gemacht. Dazu wurden unterschiedliche Systeme aus der Schweiz und Portugal untersucht.

Aus Schwimmteich-Wasserproben wurden Allelochemikalien extrahiert und in der Agardiffusionsanalyse (ADA) verwendet. Es wurde die Hemmwirkung auf die Cyanobakterien (Blaualgen) *Anabaena* PCC7120 und *Synechococcus* PCC6911 getestet. Gleichzeitig wurden physikalische und chemische Parameter, die Pflanzenbestände sowie die Kieselalgen, Chlorophyll a und die aufsitzenden Algen aufgenommen. Anschliessend wurden diese Werte mit dem Grad der Hemmung in Zusammenhang gebracht.

Es ist bekannt, dass diese allelopathisch aktiven Stoffe einem raschen biologischen Abbau unterworfen sind. Der teilweise Abbau von Hemmstoffen durch Kiesfilterbakterien, ist auch nach den vorliegenden Resultaten zu vermuten. Dieser Abbau findet aber auch im Bachlauf, Sediment und im Freiwasser statt. Es konnte aber gezeigt werden, dass trotzdem verschiedene Hemmstoffe im System Schwimmteich vorhanden sein können. Mindestens einige dieser Hemmstoffe waren in genügend hoher Konzentration vorhanden, um eine Hemmung des Cyanobakterien-Wachstums hervorzurufen. Der Vergleich der Hemmungsgrade hat gezeigt, dass nicht nur ein grosser Pflanzenbestand für die Hemmstoffintensität entscheidend ist. Der Beitrag einzelner Pflanzenarten zur Hemmung konnte nicht klar eruiert werden. Es konnte auch kein klarer Zusammenhang zwischen den aufgenommenen Parametern und der Hemmwirkung gefunden werden. Eine Hemmung von Grün- und Kieselalgen sowie festsitzenden Algen konnte im Datenvergleich nicht deutlich beobachtet werden. Es ist also schwierig abzuschätzen, inwiefern die allelopathisch aktiven Stoffe die Wasserqualität effektiv beeinflussen. Dies muss eine allelopathische Wirkung auf diese Algenarten aber nicht ausschliessen, da diese auch durch eine Vielzahl anderer Einflüsse beeinträchtigt oder gefördert werden. Für die Wirksamkeit des Pflanzenbewuchses und der möglichen allelopathischen Aktivität der Teichpflanzen spricht, dass keine Probe vorhanden war, bei der eine starke Hemmung in den durchgeführten Laborversuchen (ADA) und gleichzeitig ein starkes Algenaufkommen (Kieselalgen, Chlorophyll a) *in situ* vorhanden war.

Mit den vorliegenden Probenmengen und den daraus resultierenden Datenmengen konnte das effektive Verhalten der Hemmstoffe im System Schwimmteich wie erwartet nicht abschliessend beurteilt werden. Allelopathisch aktive Stoffe können bei der Algenbekämpfung zwar ein wichtiges Puzzleteil zum Erfolg sein, werden aber kaum als Wundermittel gegen Algenwachstum in Schwimmteichen dienen können. Deshalb wurden grundlegende Massnahmen für algenfreie Schwimmteiche gesammelt und aufgezeigt. Im Ausblick wurden weitere Untersuchungen vorgeschlagen, die diese Arbeit konkretisieren und weiterführen, damit ein gezielter Einsatz der Allelopathie in Schwimmteichen möglich wird.

Abstract

The purpose of this documentation was to acquire knowledge about the activity of allelopathically active compounds of submersed macrophytes in swimming ponds and their activity *in situ*.

In the long term, references of plants should be issued with species which produce and release allelopathically active compounds to reduce the algae stress in swimming ponds. With this documentation a first step has been made in direction of biological combat against algae in swimming ponds by using allelopathy. Therefore, different Swiss and Portuguese systems have been analysed.

The activity of exudated allelopathically active compounds from the water of swimming ponds was tested in the agar diffusion assay (ADA). The growth inhibition was tested with filamentous and chroococcal cyanobacteria (*Anabaena* PCC7120 und *Synechococcus* PCC6911) as target species. Simultaneously, physical and chemical parameters, plants, diatoms, chlorophyll a and covered epiphytic algae were documented. Afterwards, these parameters were compared with the level of inhibition (ADA). It is a fact, that those allelopathically active compounds are liable to a rapid biological decomposition. A fractional decomposition by allelopathically active is to be assumed in the present case. This decomposition also takes place in the streamzone, sediment and free water. Nevertheless, it could be shown that different allelopathically active compounds exist in swimming ponds. At least some of these inhibitors were available in an effectual high concentration to repress the cyanobacteria's growth. The comparison of the level of growth inhibition (ADA) showed that not only a big plant volume is essential for a big intensity of allelopathically active compounds. The contribution of several plants towards the inhibition couldn't be clearly determined. Also the correlation between the assimilated parameters and the growth inhibition (ADA) couldn't be found. A growth inhibition of diatoms, covered algae and green algae couldn't be shown clearly. This makes it difficult to appraise in what way allelopathically active compounds actually affect the water quality. It doesn't, however, mean that the impact of allelopathy to this algae species has to be eliminated. They are affected or aided by many other effects too. The evidence of the effectiveness of the plants and the possible allelopathically activity is that there was no swimming pond with a virulent growth inhibition in the agar diffusion assay (ADA) and coeval a strong advent of algae *in situ*. With the present quantities of samples and the resultant data volume the effective attitude of the allelopathically active compounds in the swimming ponds couldn't finally been appraised, as was expected.

Allelopathy can be an important piece of the puzzle to the success. However, it will hardly be a panacea in the combat against algae in swimming ponds. Therefore the basic measures for algae-free swimming ponds were collected and presented. Further analysis for the future have been suggested in the chapter conclusion („Fazit“). They will concretise this documentation and the knowledge about allelopathy to allow us to take a step forward to the more tightly focused combat against algae with allelopathy in swimming ponds.

Dank

Die vorliegende Arbeit ist in das KTI-Projekt „Algenrasenfilter zur Biomanipulation von Schwimmteichen“ eingegliedert, welches in Zusammenarbeit der Fachstelle Ökotechnologie mit 11 Schwimmteichbauern des Schweizerischen Verbandes für naturnahe Badegewässer und Pflanzenkläranlagen (SVBP) aufgebaut wurde. Das Ziel dieses Projektes sowie dieser Arbeit ist die Förderung des Verständnisses für die Vorgänge im Schwimmteich und explizit die Verminderung von Algenwachstum in Schwimmteichen.

Für das Interesse an dieser Arbeit und die Finanzierung des benötigten Materials danke ich dem Schweizerischen Verband für naturnahe Badegewässer und Pflanzenkläranlagen (SVBP) und der Kommission für Technologie und Innovation des Bundes (KTI).

Für das Aufgleisen und Überlassen des sehr interessanten Themas sowie für die fachliche Betreuung und Unterstützung danke ich Herrn Andreas Graber, Dipl. Umwelt-Natw. ETH.

Frau Dr. Elisabeth Gross und ihren Mitarbeiterinnen möchte ich für die Benutzung des Labors an der Universität Konstanz (für die Agardiffusionsanalyse) und für die fachliche Betreuung danken.

Für die Organisation der Aufnahmen in Portugal möchte ich mich bei Udo und Claudia Schwarzer bedanken (Bio Piscinas, Lda) sowie bei Dr. Ana Maria Geraldes für die Durchführung der Teichaufnahme.

Heinz Meier von der Meier Gartenbau AG, Stefan Lehnert von der Lehnert Erb AG, Simon Lustenberger von der Niederberger + von Wyl AG und Christian Erni der ERNI Gartenbau + Planung AG danke ich für Ihr Interesse und die Unterstützung bei der Schwimmteichauswahl.

Für das hilfsbereite zur Verfügung Stellen der Schwimmteiche möchte ich mich bei allen beteiligten Schwimmteichbesitzern bedanken.

Inhaltsverzeichnis

Liste der Abkürzungen	7
1. Einleitung.....	8
2. Literaturübersicht	9
2.1. Schwimmteiche	9
2.1.1. Definition	9
2.1.2. Schwimmteichtypen und technische Komponenten	9
2.1.3. Limnologie	11
2.1.4. Betriebsparameter	13
2.1.5. Mikroorganismen in Schwimmteichen	14
2.1.6. Wasseraufbereitung und Biofilm.....	14
2.2. Algen im Schwimmteich	15
2.2.1. Kurze Übersicht: Algenarten im Schwimmteich.....	15
2.2.2. Methoden der Algenbekämpfung.....	16
2.3. Pflanzen im Schwimmteich.....	19
2.4. Allelopathie	19
2.4.1. Stand der Forschung.....	19
2.4.2. Allelopathie zur Algenhemmung in Schwimmteichen	25
3. Material und Methoden	26
3.1. Auswahlverfahren	26
3.2. Feldmethoden	27
3.2.1. Aufnahmezeitpunkt	27
3.2.2. Teichbeschreibung.....	27
3.2.3. Vermessung.....	27
3.2.4. Algenbewuchs	27
3.2.5. Pflanzen	27
3.2.6. Physikalische Parameter.....	29
3.2.7. Trübung	29
3.2.8. Wasserprobenentnahme	29
3.2.9. Probenvorbereitung für die Agardiffusionsanalyse.....	30
3.3. Labormethoden	30
3.3.1. Agardiffusionsanalyse (Hemmhofstests)	30
3.3.2. Huminstoffgehalt.....	33
3.3.3. Chemische Messwerte	33
3.3.4. Chlorophyll a.....	33
3.3.5. Kieselalgen	34
4. Resultate	35
4.1. Agardiffusionsanalyse	35
4.1.1. Wachstumshemmung der Organismen.....	38
4.1.2. Bilder der Hemmhöfe	38

4.2.	Algenbewuchs.....	40
4.3.	Pflanzenaufnahme	42
4.3.1.	Pflanzliste und PVI der einzelnen Pflanzenarten aller Teiche	42
4.3.2.	Pflanzenvolumenindex und Vermessung.....	45
4.4.	Huminstoffgehalt	48
4.5.	Chemische Messwerte	48
4.6.	Chlorophyll a	49
4.7.	Kieselalgen	50
5.	Diskussion	52
5.1.	Diskussion der Resultate.....	52
5.1.1.	Schwimmteiche und Aufnahmezeitpunkt	52
5.1.2.	Algen	52
5.1.3.	Agardiffusionsanalyse	53
5.1.4.	Pflanzenbestand	62
5.1.5.	Wasserchemie	63
5.1.6.	Fazit	64
5.1.7.	Empfehlungen.....	68
5.1.8.	Ausblick	69
5.2.	Diskussion der Labormethoden	70
5.2.1.	Agardiffusionsanalyse	70
5.2.2.	Kieselalgen	70
5.2.3.	Verbesserungsvorschläge.....	70
6.	Literatur	71
7.	Verzeichnisse	74
7.1.	Abbildungsverzeichnis.....	74
7.2.	Tabellenverzeichnis.....	75
Anhang	76
Anhang A:	Aufnahmeprotokoll.....	76
Anhang B:	Pflanzenproben, Wasserproben und Teichbeschreibungen	79
Anhang C:	Rohdaten zusammengefasst.....	92
Anhang D:	Fachartikel zur Bachelorthesis	97

Liste der Abkürzungen

PCC 6911	einzellige Cyanobakterien, Synechococcus PCC6911 (ADA)
PCC 7120	fadenartige Cyanobakterien, Anabaena PCC7120 (ADA)
K15	Aufgetragene Menge 15 µl, entspricht 150 ml Wasser
K30	Aufgetragene Menge 30 µl, entspricht 300 ml Wasser
ADA	Agardiffusionsanalyse
PVI	Pflanzenvolumenindex
AC	Allelopathische Chemikalien
HC/HS	Humic compounds/Huminstoffe
TA	Tanninsäure
<i>In situ</i>	die Untersuchung eines Prozesses dort, wo dieser natürlich auftritt

1. Einleitung

Problematik und Stand der Forschung in Kürze

Es gibt einige Methoden um gegen Algenwachstum vorzugehen. Phosphor wird meist als begrenzender Faktor bezeichnet (Rindlisbacher, 2002), weswegen in Schwimmteichen als Grundregel darauf geachtet wird, dass möglichst geringe Einträge über indirekte oder direkte Nährstoffzufuhr stattfinden. Der Nährstoffkreislauf wird durch die Anwesenheit von Makrophyten in vielerlei Hinsicht positiv beeinflusst. Damit einhergehend wird ebenfalls die Biomasse des Phytoplanktons sowie das Wachstum und die Konkurrenz unter verschiedenen Phytoplanktern beeinflusst (Kufel und Ozimek, 1994; O`Dell et al., 1995). Neben dem Konkurrenzkampf um Ressourcen, Platz, Nährstoffen und vor allem Licht haben verschiedene Untersuchungen gezeigt, dass noch weitere Faktoren das Zusammenleben der Pflanzen bestimmen. Manche Pflanzen geben chemische Stoffe an ihre Umgebung ab, welche das Wachstum anderer Pflanzen hemmen oder fördern können. Diese Fähigkeit wird als Allelopathie bezeichnet (Molisch, 1937). Über kürzlich gemachte Studien im Bereich Allelopathie in aquatischen Systemen vermittelt Gross (2003) sowie Erhard (2006) einen umfassenden Überblick. Eine Auswahl möglicher Pflanzen für den Schwimmteichbau liefert Gross (2005) und Erhard (2006). Allerdings werden die Studien bezüglich der angewandten Methoden sowie der Relevanz der allelopathisch wirksamen Stoffe auch kritisch hinterfragt (Erhard 2006). Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich ausschliesslich mit negativen allelopathischen Wirkungen auf Algen in Schwimmteichen.

Bedeutung dieser Arbeit im Stand der Forschung

Dass allelopathisch aktive Stoffe von verschiedenen Pflanzen ausgeschieden werden, ist bekannt. Die Einflüsse und Beziehungen von anderen Stoffen sind aber *in situ* oft schwierig von der Allelopathie zu abstrahieren (Qasem und Hill, 1989). Die allelopathisch aktiven Verbindungen sind meist instabil und werden in der Umwelt schnell durch Mikroorganismen, Vernetzung mit anderen Stoffen oder Licht (UV) um- oder abgebaut (Gross, 2005). Das genaue Verhalten der Stoffe im aquatischen System und die effektive ökologische Relevanz sind aus diesen Gründen noch nicht genau bekannt. Untersuchungen explizit in Schwimmteichen gibt es noch keine. Da sich Schwimmteiche von natürlich entstandenen Gewässern in vielen Gesichtspunkten unterscheiden, ist das Potential dieser Stoffe als Beitrag zur Wasserqualitätsverbesserung in Schwimmteichen mit den vorhandenen Studien schwierig abzuschätzen.

Ziel dieser Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, Erfahrungen mit allelopathisch wirksamen Stoffen in Schwimmteichen zu sammeln und erste Tendenzen bezüglich Allelopathie in Schwimmteichen festlegen zu können. Langfristig sollen Pflanzempfehlungen zur Algenkontrolle herausgegeben werden, mit Arten, die nachweislich algenhemmende Stoffe an das Umgebungswasser abgeben und so der Algendruck im Schwimmteich reduziert werden kann.

2. Literaturübersicht

2.1. Schwimmteiche

Im Gegensatz zu früher, als nur sterile, mit Chlor behandelte Schwimmbäder gebaut wurden, werden seit 1985 auch Schwimmteiche in Betracht gezogen. Österreich hat seit 1980 einen regelrechten Boom erlebt, inzwischen wurden mehr als 30'000 Schwimmteiche gebaut. Auch in Deutschland wurden bis heute 50 öffentliche Naturbäder ins Leben gerufen. Seit 1998 findet auch in der Schweiz und einigen weiteren europäischen Ländern ein Umdenken statt (Graber 2005). Öffentliche Naturbäder können in der Schweiz z.B. in Biberstein (Freibad Biberstein, erstes öffentliche Naturbad in der Schweiz), Winterthur (Geiselweid) oder am Greifensee (Milandia) ausprobiert werden.

2.1.1. Definition

Das Bundesamt für Gesundheit in der Schweiz hat 2004 die folgende Definition für Schwimmteiche gewählt: „Badeteiche umfassen zwei oder mehrere Becken, von denen ein Teil für die Badenden bestimmt ist, während der andere Teil für die Regenerierung des Wassers benötigt wird. Diese Regenerierung geschieht hauptsächlich mittels Diffusion des Wassers durch verschiedene mineralische Schichten sowie durch die Aktivität von Wasserpflanzen, Algen und der natürlich vorkommenden Mikroorganismen“ (Bundesamt für Gesundheit, 2004).

Ein Kleinbadeteich im Sinne der ÖNORM M 6235 (1998) ist ein "künstlich angelegter, gegenüber dem Untergrund abgedichteter, fallweise mit technischen Einrichtungen versehener, durch eine Wasserspende beschickter Teich mit einer Fläche von höchstens 10'000 m², von welchem ein Teil des Gewässers zum Baden bestimmt ist, während der andere Teil der Regeneration dient. Eine chemische Wasseraufbereitung im Sinne von Beckenbädern erfolgt nicht. Die Reinhaltung des Wassers erfolgt ausschließlich über ökosystemare Kreisläufe von Mikro- und Makroorganismen des Kleingewässers, die durch technische Massnahmen unterstützt werden können".

2.1.2. Schwimmteichtypen und technische Komponenten

Je nach den Bedürfnissen der Schwimmteichbesitzer und dem Platzangebot wird auf mehr oder weniger technische Hilfen zurückgegriffen. Mit dem richtigen Einsatz dieser Hilfsmittel soll das klare Wasser besser gewährleistet werden. Vom Naturteich ohne Technik bis zum Hightech-Teich ist fast alles möglich (Tab. 1).

Tabelle 1: Schwimmteichtypen (Weixler, 2005, verändert nach Graber, 2007)

Bestandteil	Schwimmteichtyp				
	1	2	3	4	5
- Künstliches Gewässer ohne Wasseraustausch	x	x	x	x	x
- Bachlauf, Wasserfall		x	x	x	x
- Skimmer mit Strömungspumpe			x	x	x
- Festbettfilter (ev. mit Feinfilter) und starke Umwälzpumpe				x	x
- Springbrunnen				x	x
- Beleuchtung, Einströmdüsen					x
Umwälzung in % Teichvolumen/Tag	0	20	> 50	100	1000
Pflanzfläche in %	70	60	50	40	< 20
Schwimmfläche in % (ca.)	30	40	50	60	> 80
Baukosten in CHF/m ² (ca.)	300	450	500	750	div.

Typ 0: Flussbad oder natürlicher Badesee

Typ 1: Naturteich zum Schwimmen

Typ 5: High-Tech, Klarwassergarantie, Luxusvariante oder Öko-Pool

Um die Funktionen der einzelnen Bauteile zu zeigen, wurde für das Funktionsschema ein Schwimmteich mit relativ hohem technischen Einsatz gewählt. Die Bauteile in anderen Teichen unterscheiden sich kaum gegenüber dem aufgezeigten System, doch sind die Kreisläufe teilweise anders konzipiert. Die limnologischen Vorgänge dazu werden im Kapitel 2.1.3 „Limnologie in Schwimmteichen“ genauer abgehandelt.

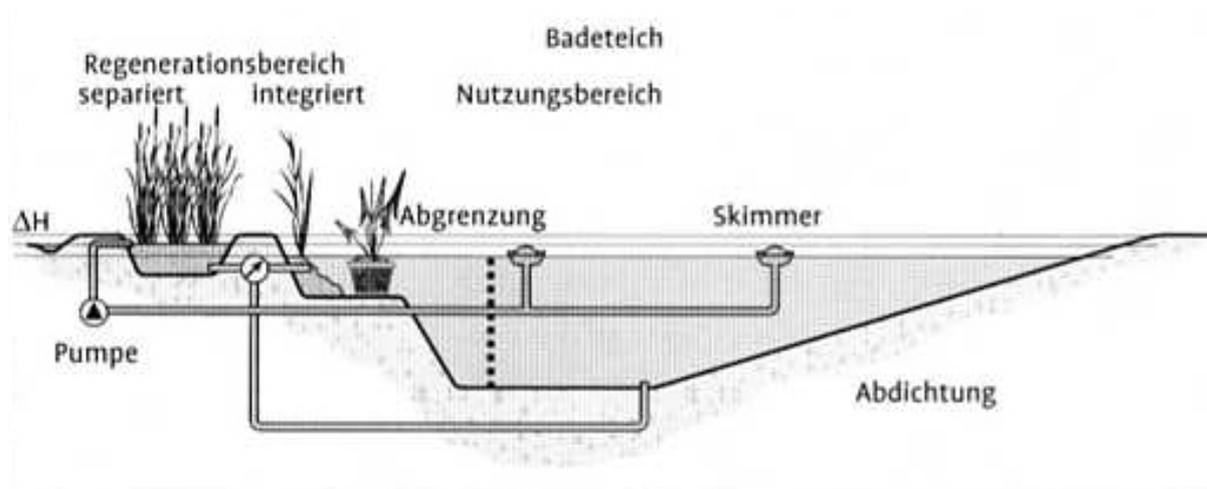


Abbildung 1: Schwimmteich Funktionsschema (Mahabadi und Rohlfing, 2005)

Beschrieb der üblichsten Komponenten:

- **Nutzungsbereich:** Im Normalfall unbepflanzter, von Badegästen genutzter Schwimmbereich
- **Skimmer:** Reinigung der Oberfläche von Laub, Blütenstaub, garantiert spiegelnde Oberfläche.
- **Regenerationsbereich mit Festbettfilter (ev. mit Feinfilter):** bietet Oberfläche für Biofilm, der die Wasserqualität reguliert (keine Planktonalgen, keine Wassertrübung). Gleichzeitig kann er bepflanzt werden.
 - Regenerationsbereich integriert: Flachwasserzone am Schwimmteichrand aber keine totale Abgrenzung zum Schwimmbereich
 - Regenerationsbereich separiert: Total abgetrennter Regenerationsteich der sich mit dem Niveau des Schwimmteiches automatisch ausgleicht.

Ist die regenerierende Pflanzzone mit dem dazu gehörenden Bodenfilter innerhalb des Badeschwimmteiches angeordnet, können Störungen durch Wellenschlag und Strömungen, verursacht durch Attraktionen oder Umwälzanlage, entstehen. Im Gegensatz dazu kann sich in getrennter Bauweise, bei der mit Niveau-Unterschieden gearbeitet wird, eine natürliche Teichbiozönose einstellen und die natürlichen Stoffwechselfvorgänge werden somit weniger stark von Fremdeinflüssen beeinflusst.

- **Pflanzenfilter:** Reinigung durch Pflanzen und sich ansiedelnde wasserreinigende Organismen.
- **Wasserpumpe:** Wird benötigt um Festbettfilter zu betreiben und diesen via Wasserzufuhr mit Sauerstoff und „Futter“ zu versorgen. Permanent oder zeitgeschaltet betrieben.
- **Abdichtung:** Verhindern von Wasserverlusten. Am häufigsten werden PVC Folien verwendet, es kann auch Kautschuk, Bentonit und Lehm verwendet werden. GFK Becken wirken unnatürlich, weisen dafür eine grosse Stabilität auf. Spritzbeton ist sehr teuer, dafür aber dauerhaft (Graber, 2007; Grafinger, 2005; Mahabadi und Rohlfing, 2005).

2.1.3. Limnologie

Allgemeines

„Limnologie ist die Wissenschaft von den Binnengewässern als Ökosysteme, deren Struktur, Stoff- und Energiehaushalt sie erforscht“ (Schwörbel 1993). Die Entstehung und die Betriebsweise von Schwimmteichen unterscheidet sich zwar deutlich von natürlich entstandenen, stehenden Gewässern, die physikalisch-chemischen Grundlagen und wichtigen Prozesse im Stoffhaushalt sowie die Wechselwirkung der Lebensgemeinschaften finden jedoch weitgehend genauso statt (Mahabadi und Rohlfing, 2005). Im folgenden Abschnitt werden nur die für diese Arbeit relevanten Prozesse erläutert.

Physikalische Umweltfaktoren

Die physikalischen und chemischen Umweltfaktoren bilden die Grundlage für den Stoff- und Energiehaushalt von Schwimmteichen.

Der Wärmehaushalt von Schwimmteichen wird durch die einzigartigen Eigenschaften des Wassers bestimmt. Wasser ist ein gutes Lösungsmittel mit einer sehr grossen Wärmekapazität

(4186 kJ kg^{-1}) und eine chemisch höchst aktive Verbindung. Die grösste Dichte besitzt Wasser bei $3.98 \text{ }^\circ\text{C}$. Ähnlich wie in natürlichen Gewässern können sich in Schwimmteichen Schichtungen mit verschiedenen Wassertemperaturen ausbilden. Wegen der geringen Tiefe findet durch windinduzierte Strömung und Konvektionsströme allerdings rasch eine Durchmischung statt. Ausserdem werden fast alle Schwimmteiche aktiv umgewälzt weswegen die Schichtung nicht zu Stande kommt oder kaum von Dauer ist. Über die Skimmer findet in der Regel zusätzlich ein Abfluss der warmen Oberschicht statt (Mahabadi und Rohlfing, 2005).

Weitere Einflüsse entstehen durch Unterschiede in der Nutzung, Klimaeinflüsse oder wählbare Variablen wie Teichgrösse, Verhältnis Regenerationsteich/Schwimmbereich, mit/ohne Kiesfilter, Umwälzungsintensität, Nutzungsintensität, Pflanzvolumenindex (PVI), Bachläufe und Tiefe. Generelle Angaben zur Strömung und Umwälzung sind deshalb schwierig zu machen.

Nährstoffe Phosphor und Stickstoff

Entscheidend für die Produktion und damit das Wachstum von Algen und höheren Pflanzen ist der Faktor, der im Minimum vorhanden ist. Auch der Überfluss bestimmter Faktoren ist dann nicht relevant, wenn z.B. Licht als Ressource fehlt. Phosphor ist in Schwimmteichen meist der begrenzende Faktor, weswegen in Schwimmteichen als Grundregel darauf geachtet wird, dass möglichst wenige Einträge (Siehe nächster Abschnitt) stattfinden. Neben der absoluten Phosphorkonzentration ist aber auch das Stickstoff/Phosphor-Verhältnis entscheidend. Denn wenn Stickstoff als begrenzender Faktor wirkt, können Blaualgen gefördert werden, welche in der Lage sind atmosphärischen Stickstoff zu verwerten. Zwar besteht bei niedrigen Phosphorkonzentrationen nur eine geringe Gefahr massiver Algenblüten, aber da Blaualgen Toxine produzieren können, sollte das N/P-Verhältnis auf jeden Fall beachtet werden (Mahabadi und Rohlfing, 2005).

Nährstoffeinträge

Bei den Nährstoffeinträgen unterscheidet Mahabadi und Rohlfing (2005) zwischen direkter und indirekter Nährstoffzufuhr:

- **Direkte Nährstoffzufuhr:** Menschliche oder tierische Ausscheidungen oder Eintrag von Kunstdünger durch unkontrollierte Oberflächenwasser wirken sich unmittelbar auf pflanzliches Wachstum (Algen) aus.
- **Indirekte Nährstoffzufuhr:** Pflanzliche Biomasse aus Laubfall. Nach bakterieller Zersetzung in die Grundbestandteile steht Stickstoff und Phosphor in gelöster Form für neues Wachstum zur Verfügung

Durch Sedimentation werden die meisten Stoffe aus dem Wasserkörper an der tiefsten Stelle gesammelt und können von dort gezielt entfernt werden.

Voraussetzung für die Regeneration des Wassers in Schwimmteichen ist die richtige Dimensionierung der Anlage, die richtige Pflege und Einhaltung der vorgesehenen Anzahl an Badegästen. Die Badegästeanzahl ist aber hauptsächlich in öffentlichen Anlagen mit hohen Nutzungsspitzen an einzelnen Tagen problematisch.

2.1.4. Betriebsparameter

Grundsätzlich sollte ein Naturbad mindestens den mesotrophen (nährstoffarmen) Zustand erreichen (Graber, 2006).

Tabelle 2: Richtwerte für die chemische Wasserqualität in Schwimmteichen

Chemische Parameter	Lehnert (2000)	IGB (2007)	FLL (2003)
Gesamtphosphor PO ₄ ³⁻	< 0.04 mg/l	0.01 mg/l	≤ 0.01 mg/l P
Nitrat NO ₃	< 20 mg/l	0 - 2 mg/l	< 30 mg/l
Nitrit NO ₂	< 0.5 mg/l	0.01 mg/l	
Ammonium NH ₄	< 0.2 mg/l	0.01 mg/l	< 0.5 mg/l
pH-Wert	7.8 - 8.5	6-8.8	6-9
Sauerstoffgehalt	80 – 120 %		80 - 120 %
Leitfähigkeit		200 µS/cm	
Gesamthärte		5 - 10 °dH	
Kalzium Ca		30 - 50 mg/l	
Magnesium Mg		5 - 10 mg/l	
Trübung		1 TE/F	

Anforderungen an das Füllwasser (Tab 3)

„Dem Füllwasser kommt schon bei der Erstbefüllung eine grosse Bedeutung zu, da sich die biologischen Faktoren zunächst aufgrund der chemisch-physikalischen Anfangsbedingungen einstellen. Die Kenntnis der Qualität des Füllwassers ist auch für den laufenden Betrieb wichtig. Es darf nicht benutzt werden, um eine mangelnde Funktion des Aufbereitungsbereiches auszugleichen“ (FLL 2003). „Hohe Gehalte an Phosphat und Nitrat, wie sie im Leitungswasser häufig anzutreffen sind, verschärfen das Algenproblem in neu angelegten Teichen. Hieraus wird auch deutlich, dass der häufige Versuch, eine Algenblüte mit Wasserwechsel zu bekämpfen, scheitern muss“ (Klemp 1990).

Tabelle 3: Richtwerte für Füllwasser bei Schwimmteichanlagen (FLL 2003)

Parameter	Werte
pH-Wert	6.0 – 9.0
Säurekapazität KS 4.3	> 2 mmol/l
Gesamtphosphor	< 0.01 mg P / l
Leitfähigkeit (bei 20 °C)	< 1'000 µS/cm
Nitrat	< 50.0 mg/l
Ammonium	< 0.5 mg/l
Eisen	< 0.2 mg/l
Mangan	< 0.05 mg/l
Härte	> 1 mmol/l oder > 5.56 °dH

2.1.5. Mikroorganismen in Schwimmteichen

Zur mikrobiellen Gemeinschaft werden heute nicht nur Bakterien, sondern auch mikroskopisch kleine Einzeller (Protozoen) gezählt. Deren wichtigste Vertreter, die Geisseltierchen (Flagellaten) und die Wimpertierchen (Ciliaten), werden auch dem Zooplankton zugeordnet. Zu den Bakterien zählen auch die Blaualgen (Cyanobakterien), die, da sie funktional zu den Primärproduzenten gezählt werden können, im Kapitel „Algen im Schwimmteich“ mitbehandelt werden. Bakterien stellen in aquatischen Ökosystemen die zahlenmässig dominierende Organismengruppe dar, von denen ein Grossteil gelöstes organisches Material aus dem Wasser aufnimmt, um daraus Biomasse aufzubauen. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass mit steigendem Nährstoffgehalt sowie zunehmender Trophie (Produktivität) eines Schwimmteiches die Biomasse der Bakterien ansteigt (Mahabadi und Rohlfing, 2005).

Zooplankton ist in der Lage, Algen und Bakterien aus dem Wasser zu filtrieren. Die Filtrationsrate kann so hoch sein, dass der gesamte Wasserinhalt eines Naturbades innerhalb eines Tages durchfiltriert wird und dabei zwischen 70 und 100 % der täglichen bakteriellen Produktion konsumiert wird. Damit die Zooplankton-Population nicht gefährdet wird, dürfen keine Fische in einen Schwimmteich eingesetzt werden, da sich diese von Zooplankton ernähren (Graber, 2006; Mahabadi und Rohlfing, 2005).

2.1.6. Wasseraufbereitung und Biofilm

Der Aufbereitungsbereich (Regenerationszone) sollte von Badenden gemieden werden, damit sich die Fauna und Flora zu einem ungestörten, ökologischen Lebensraum entwickeln kann. Meist werden Kiesfilter verwendet, die aktiv mit Pumpen durchströmt werden. Die Matrix des Kiesel in Regenerationsbereichen und Kiesfiltern bietet mechanische Stabilität und erlaubt es den Biofilm Organismen langfristige synergetische Wechselwirkungen aufzubauen und Hungerperioden zu über-

dauern (Mahabadi und Rohlfing, 2005). Dieser Biofilm bestehend aus Einzellern, Bakterien und Pilzen ernährt sich von den Inhaltsstoffen des vorbeifliessenden Wassers. Während Stickstoff bei der Passage durch die Bodenbereiche von den Mikroorganismen, die diese Bereiche besiedeln, umgesetzt werden kann und teilweise als gasförmiger Stickstoff aus dem System entweicht, verbleibt Phosphor im System. Eine Hauptaufgabe von Regenerationsbereichen ist die Elimination von Phosphorverbindungen durch physikalisch-chemische Anlagerung an bestimmte Substrate und durch die Aufnahme von Organismen (Graber, 2006).

2.2. Algen im Schwimmteich

Wasserqualität, Nährstoffe, Licht und Temperatur sind für das Wachstum von Algen von essentieller Bedeutung. Phosphor zu reduzieren gilt in Schwimmteichen als das A und O in der Algenbekämpfung (Rindlisbacher, 2002). Als Pionierarten und Primärproduzenten bilden Algen die erste pflanzliche Biomasse, die wiederum vielen aquatischen Pflanzenfressern als Lebensgrundlage dient. In natürlichen Stillgewässern besteht gewöhnlich ein Gleichgewicht zwischen den Algen und ihren Frassfeinden, so dass es in der Regel nicht zu einer stark ausgeprägten Algenblüte kommt (Laukötter, 1999). Die Einstellung eines natürlichen Gleichgewichts nimmt bei Neuanlage eines Teichs einige Zeit in Anspruch. Somit treten die grössten Algenprobleme in den ersten Jahren nach Befüllung des Teichs auf, wenn Mikroorganismen und Wasserpflanzen noch kaum als Konkurrenten auftreten (Wachter, 1997).

2.2.1. Kurze Übersicht: Algenarten im Schwimmteich

Das Leben der Algen ist meistens an Wasser gebunden, wo sie entweder als benthische („am Boden lebende“) Algen oder im Pelagial („Freiwasser“) als Phytoplankton vorkommen. Zwischen pelagischer und benthischer Algengemeinschaft gibt es zahlreiche Übergänge. So bilden Kieselalgen oft Biofilme, aus denen Zellen in das Freiwasser abgespült werden. Auch die Cyanobakterien werden zu dieser funktionalen Gruppe hinzugerechnet. In Schwimmteichen findet man regelmässig die folgenden Algengruppen: Grünalgen (*Chlorophyta*), Kieselalgen (Diatomeen oder auch *Bacillariophyceae*), Goldalgen (*Chrysophyceae*), Cryptomonaden (*Cryptophyceae*) und Blaualgen (*Cyanophyceae*) (Mahabadi und Rohlfing, 2005). Die Genaue Erkennung der Algenarten ist spezialisierten Biologen vorbehalten. Für die grobe Erkennung liefern Schwarzer und Schwarzer (2008) einige Erkennungsmerkmale.

In dieser Untersuchung berücksichtigte Algenarten:

Die **Grünalgen** (*Chlorophyceae*) bilden eine bedeutsame Klasse der Algen mit ca. 10'000 Arten. Grünalgen sind stets grün gefärbte, entweder einzellig lebende Kolonien oder fadenbildende Organismen, die starke Grössenunterschiede aufweisen können. Grünalgen bilden häufig Massenentwicklungen in nährstoffreichen flachen Gewässern. Auch in Schwimmteichen konnten schon Algenblüten von Grünalgen beobachtet werden. Die Zunahme von Fadenalgen mit steigender

Eutrophierung ist bekannt. Diese können sich von ihrem Substrat ablösen und an die Wasseroberfläche treiben (Mahabadi und Rohlfing, 2005).

Die **Kieselalgen** (*Diatomeae*) sind eine sehr umfangreiche Klasse der Algen mit mehr als 10'000 Arten. Kieselalgen sind bräunlich gefärbte, einzeln oder in Kolonien lebende Einzeller. Das Charakteristische der Kieselalgen ist ihre verkieselte Zellwand. Unter günstigen Bedingungen neigen Kieselalgen, meist im Frühjahr, häufig zu Massenentwicklungen und bilden auch auf Oberflächen braune, bisweilen schleimige Überzüge (Biofilme) (Mahabadi und Rohlfing, 2005).

Blualgen (*Cyanophyceae*) oder Cyanobakterien sind mit etwa 2000 Arten eine Abteilung der Prokaryonten, zu denen auch die Bakterien zählen, im Gegensatz zu den "echten" Algen, welche zu den Eukaryonten zählen. Eine Besonderheit einiger Blualgenarten stellt die Fähigkeit dar, Luftstickstoff als Stickstoffquelle zu nutzen. Eine ausreichende Stickstoffversorgung mit Nitrat und Ammonium in Schwimmteichen ist von Vorteil, damit Cyanophyceen keinen Konkurrenzvorteil gegenüber anderen Algenarten haben. Ausserdem können Blualgen Toxine bilden, bei welchen es sich um Leber- und Nerventoxine sowie dermatologisch bedenkliche Substanzen handelt (Mahabadi und Rohlfing, 2005).

2.2.2. Methoden der Algenbekämpfung

Einige Massnahmen zur Algenbekämpfung sind bekannt und können das Algenaufkommen zum Teil mehr, zum Teil weniger vermindern (Tab. 4).

Tabelle 4: Angewendete Methoden zur Algen-Verhinderung und -Verminderung

Massnahmen in der Planung und während des Baus	
Vorgehen / Mittel	Nutzen
- Erfahrung Planer/Erbauer	Damit die Anlage richtig funktioniert sind die Planung (Grössen, Bauteile, Technik, Baumaterial, etc.) und der fachgemässe Bau grundlegend.
- Bauort	Lichtintensität, äussere Einflüsse wie Laubeintrag
- Nicht zu kleine Teiche bauen	Das Wasser erwärmt sich schneller und kühlt auch wieder rascher ab in kleinen Teichen → System wird instabiler (Rindlisbacher, 2002)
- Substratwahl	Das richtige Substrat ist wichtig für das Aufkommen des Biofilms und den Pflanzen (Rindlisbacher, 2002).
- Einsatz von technischen Mitteln	Die richtige Wahl und der durchdachte Einsatz an technischen Mitteln unterstützen die Prozesse im Schwimmteich.
- Algenrasenfilter	Biologische Wasserreinigung ohne Schädigung von Zooplankton. Entfernung von Phosphor aus dem Wasser und Verminderung von unerwünschtem Algenwachstum. Keimreduktion durch Sonnenlicht, Verbesserung der Wasserhygiene. Durch gezielte Wassermwälzung, Steuerung der Temperatur (Graber und Junge, 2005).
- Zeolithfilter	lagert Kationen dauerhaft ein; Wirkung angezweifelt, die positi-

	ven Ergebnisse könnten auch nur durch die Filterwirkung und Pumpenleistung entstehen (Rindlisbacher, 2002)
- Umwälzung über einen Bachlauf	nicht zwingend notwendig, kann aber CO ² / O ² Verhältnis ausgleichen (Rindlisbacher, 2002)
- Neue Teiche mit Wasser eines anderen Teiches impfen	Wasser ist schon biologisch aufbereitet und enthält Mikroorganismen (Graber, 2006)
- Vor dem Setzen der Pflanzen, Wurzelballen abspülen	Verhindert Nährstoffeinträge (Rindlisbacher, 2002)
- Unterwasserpflanzen	entziehen dem Wasser Nährstoffe, geben Sauerstoff ab (Rindlisbacher, 2002)
- Repositionspflanzen einbringen	besitzen kräftiges Wurzelwachstum, Leitbahnen belüften den Boden → aerobe Bakterien erhalten optimale Lebensbedingungen → diese mineralisieren Schweb- und Schadstoffe. Beispiele: <i>Typha latifolia</i> , <i>T. angustifolia</i> , <i>Iris pseudacorus</i> , <i>Scirpus lacustris</i> , <i>Juncus effesus</i> , <i>Sparganium erectum</i> , <i>Acorus calamus</i> (Rindlisbacher, 2002)
- Keine Fische einsetzen	sind ungünstig, sie fressen Zooplankton und scheiden Kot aus (bei Zufütterung), (Rindlisbacher, 2002)

Verhinderung von Einträgen und Pflegemassnahmen zur Nährstoffentnahme

<u>Vorgehen / Mittel</u>	<u>Nutzen/Wirkung</u>
- im Schwimmbereich Sinkstoffe absaugen	Nährstoffentzug (Rindlisbacher, 2002)
- Duschen vor dem Baden	Die meisten Nährstoffe, Hautpartikel werden dadurch vom Teich ferngehalten (Graber, 2008).
- Pflanzenschnitt	Nährstoffentzug durch Biomassenentfernung (Rindlisbacher, 2002).
- Gegenspieler der Algen schonen und fördern	Zooplankton: Rädertierchen, Muscheln, Schwämme, Schnecken und Insektenlarven, kleine Krebse = Daphnien filtern das Wasser und fangen schwebende Partikel wie Algen und Bakterien ein (Rindlisbacher, 2002).
- Wasserwechsel vermeiden	Frischwasser enthält oft mehr Nährstoffe (vor allem Phosphor) als das Teichwasser und muss vom Teichsystem zu erst wieder biologisch aufbereitet werden. Wenn möglich Regenwasser verwenden, um den Wasserstand auszugleichen (Rindlisbacher, 2002).
- Einträge von nährstoffreichem Wasser von aussen in den Teich verhindern	Weniger Nährstoffeinträge (Bsp.: Regenwasser das über einen gedüngten Rasen den Hang abläuft)
- Während dem Pollenflug (meist 1-2 Wochen lang)	Deckel vom Skimmer abziehen (Sieb bleibt drin!). Dadurch sammelt der Skimmer nichts mehr von der Oberfläche und die

	Filterbiologie wird geschont (Graber und Wesner, 2007)
- Grosse unbeschattete Kiesflächen bepflanzen	Temperatur sinkt und Licht wird vermindert, verhindert ideale Bedingungen für Algen. Grossflächig Wasserpflanzen wie Carex, Zyperngras, oder auch Flächendecker wie Minze, Veronica etc. nachsetzen (Graber und Wesner, 2007)
- Beschattung des Teiches; Schwimmblattpflanzen beschatten Randzone	Weniger Sonneneinstrahlung → geringere Erwärmung → Förderung Zooplankton → Reduktion Algen (Rindlisbacher, 2002)
- Düngung	Nur nach fachmännischem Rat düngen. Wasserwerte überprüfen und nicht „blind“ düngen. Überdüngung wird so verhindert und man bekommt ein Gefühl für das, was man macht. Die Konzentration der Dünger wird auf die Wassermenge berechnet und liegt bei 10 mg/l, das ist ca. 1/4 des Gehaltes der Elemente im Trinkwasser. Düngung auf 100 m³: April 1 kg Harnstoff, 1 kg Kaliumnitrat KNO ₃ , 1 kg Magnesiumnitrat Mg(NO ₃) ₂ , Mai 1 kg Harnstoff, Juni 1 kg Harnstoff (Graber und Wesner, 2007)
- Wissen	Die grundlegenden Vorgänge des Systems sowie die limnologischen Grundlagen kennen, damit Massnahmen in sinnvollem Mass und zur richtigen Zeit eingesetzt werden.
- Geduld bewahren	Ein natürliches Gewässer hat zu seiner Entstehung Jahrhunderte oder Jahrtausende zur Verfügung, ein Schwimmteich erreicht das nicht über Nacht (Graf zitiert in Rindlisbacher, 2002).

Notmassnahmen

Vorgehen / Mittel	Nutzen/Wirkung
- Viele Bakterien fressen Stickstoff („Teichklar“)	Anfangswirkung gut, sobald aber die Lebensdauer der beigefügten Bakterien vorbei ist, geben sie den aufgenommenen Stickstoff wieder ab. (Rindlisbacher, 2002)
- Algenbekämpfungsmittel	Oft Symptombekämpfung, nicht die Ursache wird bekämpft
- Fadenalgen abfischen	Gebundenes Phosphor kann aus dem Teich entfernt werden
- Phosphorfällung	mit Calciumverbindungen. Branntkalk: 3 g / m ³ , mit Eisenverbindungen, Fällung mit Aluminiumchlorid (nur zum Befüllen da Al giftig ist) (Renatur) (Graber und Wesner, 2007)

Vorgehen die kontraproduktive Auswirkungen haben können

Vorgehen / Mittel	Nutzen/Wirkung
- Wasserwechsel	nicht biologisch aufbereitet, oft hoher Härtegrad, kann Phosphor enthalten
- Zu intensive Pflege	Stören des biologischen Gleichgewichtes

2.3. Pflanzen im Schwimmteich

Der Nährstoffkreislauf wird durch die Anwesenheit von Makrophyten in vielerlei Hinsicht beeinflusst und damit auch die Biomasse des Phytoplanktons sowie das Wachstum und die Konkurrenz unter verschiedenen Phytoplanktern (Kufel und Ozimek, 1994; O`Dell et al., 1995). Eingewurzelte Makrophytenarten erhalten ihre Nährstoffe vor allem über das Sediment und sind deshalb weniger starke Nährstoffkonkurrenten von Algen oder Epiphyten. Bei dichten Makrophytenbeständen findet man aber meist geringere Strömungen, geringere Turbulenzen wodurch die Sedimente stabilisiert werden und die Resuspendierung von sedimentierten Nährstoffen abnimmt. Daraus resultieren die bessere Wasserqualität mit weniger Phytoplanktern und Epiphyten sowie das dadurch bessere Makrophytenwachstum (Sand-Jensen and Pedersen, 1999). Freischwimmende Makrophyten nehmen sämtliche Nährstoffe aus dem Wasser auf und treten so oft mit Phytoplankton und Epiphyten direkt in Konkurrenz. Hauptsächlich limitierend für das Wachstum von untergetauchten Makrophyten selbst ist die Beschattung durch Epiphyten, Phytoplankton und Trübung durch resuspendiertes Sediment oder Huminstoffe (Sand-Jensen, 1990).

Die Verfügbarkeit von Phosphor ist abhängig von den Makrophytenarten und deren Dichte. Lockere Makrophytenbestände, die über ein ausgeprägtes Wurzelsystem verfügen, oxidieren die Sedimentoberfläche, wodurch die Phosphorfreilassung aus dem darunter liegenden Sediment reduziert wird. Makrophyten können also als Phosphorsenke während ihres Wachstums und als potentielle Phosphorquelle während ihrer Seneszenz betrachtet werden (Carpenter und Lodge, 1986; Rørslett et al., 1986; Jones, 1990). Ein sehr dichter Makrophytenbewuchs kann allerdings zu einer höheren Verfügbarkeit von Phosphor führen (Stephen et al., 1997). Bei schwach wurzelnden Makrophytenarten herrschen in den unteren Schichten anoxische Bedingungen, die zu der Freisetzung von Phosphor aus dem Sediment führen (Pokorny et al., 1984; Moss et al., 1986).

2.4. Allelopathie

2.4.1. Stand der Forschung

Neben dem Konkurrenzkampf um Platz, Nährstoffe und Licht haben verschiedene Untersuchungen gezeigt, dass noch weitere Faktoren das Zusammenleben der Pflanzen bestimmen. Manche Pflanzen geben chemische Stoffe an ihre Umgebung ab, welche das Wachstum anderer Pflanzen hemmen oder fördern können. Diese Fähigkeit wird als Allelopathie bezeichnet (Molisch, 1937). Die Unterscheidung zwischen allelopathischen Effekten und anderen Konkurrenzsituationen ist jedoch schwierig auseinander zu halten. Gründe für das Ausbleiben von Algenwachstum scheinen besonders die Konkurrenz um Nährstoffe und Licht zu sein (van Donk und van de Bund, 2002).

Im Sinne der ursprünglichen Definition von Allelopathie nach Molisch (1937) sind sowohl stimulierende als auch hemmende Interaktionen möglich. Unter dem Gesichtspunkt der starken Konkurrenzsituation, die zwischen zahlreichen Makrophyten und anderen autotrophen Organismen in

aquatischen Systemen herrscht, beschäftigen sich die meisten Arbeiten zur Allelopathie bei Makrophyten hauptsächlich mit den hemmenden Effekten (Wium-Andersen, 1987; Gopal und Goel, 1993). Im Hinblick auf Möglichkeiten für die Algenelimination in Schwimmteichen, werden auch im folgenden Abschnitt ausschliesslich die negativen allelopathischen Wirkungen auf Algen im Süsswasserbereich aufgezeigt.

Viele Autotrophe des Frischwassers weisen ein hohes allelopathisches Potenzial auf, welches sich auf die Biozönose auswirken soll. Die Meinungen bezüglich der ökologischen Wichtigkeit der allelopathischen Wirkung sind verschieden. Die "Rabotnov's Hypothesis" vermutet, dass Allelopathie nur zwischen Pflanzen auftreten, die nicht koevolutionierten und dies nur eine Erscheinung von künstlich zusammengesetzten Pflanzengesellschaften ist (Rabotnov, 1974). Auf der anderen Seite wird Allelopathie eine Rolle als Regulator der Ausbreitung von fast allen Pflanzen zugeschrieben (Rice, 1984) und scheint auch an der Regulierung von Algenblüten beteiligt zu sein (Keating, 1977).

Weitere vermutete Funktionen von Allelochemikalien

Phototrophe stellen eine Nahrungsressource weiterer Konsumenten dar. So konnte bei Herbivoren das Vermeiden von *Myriophyllum spicatum* sowie *Elodea* und vermindertes Wachstum von Larven auf einigen allelopathisch aktiven Pflanzen festgestellt werden (Soszka, 1975; Newman, 1991, Soszka, 1975, Gross et al. 2001). So wurde zusammenfassend festgestellt, dass die Präsenz von Sekundärstoffen die Frischwassermakrophyten gegen Frass durch Herbivoren schützt (Newman, 1991). Bei Landpflanzen wurden im Vergleich zu Wasserpflanzen mehr dieser Stoffe gefunden (Bate-Smith, 1968; McClure, 1970; Ostrofsky and Zettler, 1986).

Aktivität gegen potentielle Konkurrenten und Methodik

Viele Allelochemikalien oder Extrakte aus Wasserpflanzen wurden mit Standardorganismen wie Radischen- oder Salat-Jungpflanzen getestet. Die potenzielle allelopathische Aktivität wird dadurch zwar gezeigt, Rückschlüsse für die Ökologie in aquatischen Systemen sind aber sehr heikel, da Wasserpflanzen selten mit Salat und Radieschen konkurrieren. So sind Tests mit Organismen aus gleichen Habitaten (Algen, Cyanobakterien, aquatische Makrophyten) geeigneter, um ein Potenzial abzuschätzen. Diese werden zwar meist in Labors kultiviert und entsprechen nicht exakt den Organismen in der Umwelt, sind aber letztendlich die glaubhafteren Testorganismen (Erhard, 2006).

Hemmwirkungen der Testorganismen durch Pflanzenextrakte in Laborversuchen zeigen zwar die allelopathische Aktivität einer Pflanze, zeigen aber nicht die Wirkung und das Verhalten *in situ*. Allelopathie ist aber nur relevant, wenn die Hemmstoffe auch ausgeschieden werden und ihren Zielorganismus erreichen (Erhard, 2006). Die Allelochemikalien werden entweder aktiv über Sekretion oder passiv (z.B. über Wunden) ausgeschieden. Dieses Verhalten ist bei den gemachten Studien zu Allelopathie aber meistens nicht überprüft. Auch muss beachtet werden, dass Pflanzenbestände weitere Einflüsse haben können (Siehe Pflanzen im Schwimmteich). Gross (2007) schätzte das Potenzial so ab: „Allelopathie beeinflusst vermutlich nur die anfängliche Phase des Wachstums einiger Algen, so dass der Beginn des exponentiellen Wachstums zeitverzögert er-

folgt aber kein Unterschied in der finalen Dichte der Algen zu beobachten ist. Im See könnte eine solche Verzögerung den Pflanzen aber schon genügend Zeit zur Entwicklung geben, so dass das Gleichgewicht in Richtung der Wasserpflanzen verschoben würde.“

Beeinflussung der allelopathischen Wechselwirkung zwischen Wasserpflanzen und Algen

„Allelopathische Wechselbeziehungen sind dynamische Prozesse, die abhängig sind von verschiedenen Umweltfaktoren“ (Gross, 2007). Die Nährstoff- und Lichtverfügbarkeit, Räuber-Beute- bzw. Pflanzen-Frassfeinde-Beziehungen sowie Bakterien beeinflussen die Produktion, Ausscheidung und den Abbau der Allelochemikalien (Gross, 2007).

Kriterien zur Beurteilung der ökologischen Relevanz von Allelochemikalien

Um zu kontrollieren, ob Allelopathie effektiv einen Einfluss hat, müssen sechs Punkte beachtet werden:

- 1.) Eine Hemmung muss aufgezeigt werden
- 2.) Ein möglicher Aggressor muss ein Toxine produzieren
- 3.) Das Toxin muss in die Umwelt entlassen werden
- 4.) Dieses Toxin muss in der Umwelt transportiert oder akkumuliert werden
- 5.) Der Zielorganismus muss die Toxine aufnehmen
- 6.) Die Hemmung kann nicht nur mit physikalischen oder anderen biotischen Faktoren erklärt werden.

Willis bezweifelte, dass je eine Studie alle diese Faktoren endgültig ausschliessen konnte (Willis, 1985). Auch Gross (2007) schrieb: „Der endgültige Nachweis einer allelopathischen und nicht andersartigen Wechselwirkung ist nur durch zusätzliche Charakterisierung der aktiven Substanzen möglich.“

Vor allem bei nicht wurzelnden submersen Makrophytenarten scheint die Konkurrenz um Nährstoffe, Licht sowie die Änderung der Ionenzusammensetzung den grössten Einfluss zu haben (Sand-Jensen, 1990). Dies könnte zum Beispiel bei *Stratiotes aloides* der Fall sein. So vermindert diese die Calcium- und Kalium-Konzentration, welches als Hauptgrund für die verminderte Phytoplanktonpopulation betrachtet wurde (Brammer, 1979; Brammer und Wetzel, 1984). Weiter ist vor allem die Frage, wie sich Allelochemikalien im umgebenden Wasser verteilen und ob diese überhaupt den Zielorganismus erreichen.

Einige Untersuchungen im Überblick

In Feldexperimenten mit dem rauen Hornkraut (*Ceratophyllum demersum*) konnte gezeigt werden, dass sich die Zusammensetzung der Algengemeinschaft ändert, wenn *Ceratophyllum demersum* vorhanden ist. Der Anteil an Blaualgen nimmt im frei schwebenden Phytoplankton stark ab. Zudem konnte eine mittlere Dichte im Bestand des rauen Hornkrautes die Algenbiomasse während der zehntägigen Versuchsphase halbieren (Jasser, 1995).

Spezifische Wirkungen fanden auch Nakai et al. (1999). Sie haben jeweils drei Algenarten mit einer höheren Pflanze zusammen kultiviert. Dabei fanden sie, dass die dichtblättrige Wasserpest (*Egeria densa*), die Nadelsimse (*Eleocharis acicularis*) und die kleine Ambulia (*Limnophila sessiliflora*) jeweils negativ auf nur zwei Arten wirkten. Die Karolina-Haarnixe (*Cabomba caroliniana*)

zeigte nur schwache negative Wirkungen dafür gegen alle drei Algenarten. Die stärkste hemmende Wirkung der untersuchten Pflanzen auf Algen hatte das ährige Tausendblatt (*Myriophyllum spicatum*).

Die Wirkung vom ährigen Tausendblatt (*Myriophyllum spicatum*) ist schon recht umfassend erforscht. Verschiedene Polyphenole mit algenhemmender Wirkung wurden gefunden. Tellimagrandin II wurde isoliert, welches starke algizide Wirkung zeigte. Diese Substanz und andere Polyphenole hemmen die Aktivität von Enzymen. So zum Beispiel ein Enzym, welches den Algen ermöglicht organischen Phosphor zu lösen und für ihr Wachstum verfügbar zu machen. Wie die Forscher nachwiesen, verringert Tellimagrandin II schon in geringer Konzentration die Aktivität dieses Enzyms (Gross et al., 1996).

Nakai et al. (2000) haben sich ebenfalls mit dem ährigen Tausendblatt beschäftigt. Aus dem Wasser einer *M. spicatum* Kultur isolierten sie vier verschiedene Stoffe. Einzeln und besonders in Kombination zeigten diese eine starke negative Wirkung auf das Wachstum der Blaualge *Microcystis aeruginosa*. Durch verschiedene Versuchsanordnungen fanden Nakai et al. (1999) heraus, dass eine stete Zugabe der Wirkstoffe notwendig ist, um das Algenwachstum wirksam zu hemmen.

Wasser verschiedener Kulturen von Armelechteralgen (*Characeen*) benutzten Hootsmans und Blindow (1991) für ihre Algenversuche. Dabei zeigte sich, dass nur das Wachstum der Grünalge *Scenedesmus communis* reduziert wurde. Besonders die zerbrechliche Armelechteralge (*Chara globularis*) zeigte starke Wirkung. Dem gegenüber standen andere Versuche, in denen verschiedene Armelechteralgen das Algenwachstum sogar förderten. Weitere Untersuchungen zeigten zudem auch eine mögliche jahreszeitliche Abhängigkeit der allelopathischen Wirkung (Hootsmans und Blindow, 1991). Bei jungen Krebscheren (*Stratiotes aloides*) konnte eine stärkere hemmende Wirkung als bei älteren Exemplaren im Herbst festgestellt werden. Die Forscher erklärten die Resultate dadurch, dass der Erfolg gegen Phytoplankton zu Beginn der Wachstumsphase grösser ist, da dann die Algen noch nicht so dichte Bestände ausbilden konnten (Mulderij et al., 2005b). Die Krebschere hemmt das Wachstum verschiedener planktischer Algen. Es wird aber vermutet, dass die allelopathische Wirkung alleine nicht ausreicht, um wirksame Änderungen in der Algenpopulation zu bewirken. Weiter wurde festgestellt, dass bei Laboruntersuchungen zur Allelopathie unter optimalen Bedingungen deren Wirksamkeit in natürlichen Systemen unterschätzt wird (Mulderij et al. 2005a, Mulderij et al., 2005b). Bei der Koexistenz von Krebscheren (*Stratiotes aloides*) und der Grünalge *Scenedesmus obliquus* konnte neben einer Wachstumshemmung das Formieren der Grünalge zu Kolonien beobachtet werden. Dies führt dazu, dass die Algen vermehrt absinken und sich so die Lichtkonkurrenz für die Krebscheren vermindert (Mulderij et al., 2005b).

Tabelle 5: Liste von allelopathisch wirksamen Pflanzen

Pflanze	Wirkstoff	Wirkung	Literatur
<i>Acorus tatarinowii</i> Graskalmus		Algizide Wirkung	He, 2001
<i>Acorus gramineus</i> Großer Kalmus	Verschiedene Polyphenole	Algizide Wirkung, auch Cyanobakterien	Della Greca et al., 1989
<i>Cabomba caroliniana</i> Karolina-Haarnixe		Hohes Pflanzenaufkommen nötig für algizide Aktivität auf <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Anabaena flos-aquae</i> , <i>Phormidium tenue</i>	Nakai, 1999 Nakai, 1996
<i>Ceratophyllum demersum</i> raues Hornkraut	Sulfur oder a lipophilic, labile sulfur compound (Wium-Andersen et al., 1983).	Abgabe allelopathisch aktiver Substanzen, neg. Einfluss auf Cyanobakterien, ändert die Zusammensetzung der Phytoplanktonarten	Wium-Andersen et al., 1983 Jasser, 1994 / Jasser, 1995 Nakai, 1999 / Körner and Nicklisch, 2002 / Gross, 2005
<i>Characeen</i>	Armleuchteralgen	Thiolane	Herbizid-Wirkung, Bodendeckend, verhindern Nährstoffeintrag und Trübung durch Stabilisieren des Sediments
<i>Chara globularis</i> zerbrechliche Armleuchteralge	Thiolane	Wirkung auf <i>Scenedesmus</i> , stimulierender Effekt auf <i>Ankistrodesmus</i>	Wium-Andersen, 1982 Hootsmans, 1991 Gross, 2005
<i>Chara aspera</i> raue Armleuchteralge		Wirkung in nährstoffreichen Gewässern, auf Grünalgen	van Donk, 2002
<i>Egeria densa</i> Dichtblättrige Wasserpest		Algizide Wirkung auf <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Anabaena flos-aquae</i>	Nakai, 1999 Nakai, 1996
<i>Eichhornia crassipes</i> Wasserhyazinthe	N-phenyl-1-naphthylamine und N-phenyl-2-naphthylamine	Beides Algizide, Exudate von Jungpflanzen zeigten einfluss auf die Grünalge <i>chlamydomonas reinhardtii</i> . (Sun et. Al., 1990) Im Reagensglas nur geringe Wirkung gegen Algen gezeigt.	(Sun et. Al., 1990) (Sun et. Al., 1993)
<i>Eleocharis acicularis</i> Nadelsimse		Algizide Wirkung auf <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Anabaena flos-aquae</i> ,	Nakai, 1999
<i>Elodea canadensis</i> Kanadische Wasserpest	unbekannt, verm. phenolisch	hohe allelopathische Aktivität, Massenentwicklungen, störend da an Oberfläche schwimmend	Gross, 2005
<i>Elodea nuttallii</i> Nuttall's Wasserpest		hohe allelopathische Aktivität, Massenentwicklungen, störend da an Oberfläche schwimmend	Gross, 2005
<i>Juncus effusus</i> Flatter-Binse		Hohe konkurrenzfähige allelopathische Aktivität	Della Greca et al., 1996 Della Greca et al., 2000b Della Greca et al., 2001b
<i>Juncus acutus</i> Stechende Binse		Hohe konkurrenzfähige allelopathische Aktivität	Della Greca et al., 2002a, 2002b
<i>Limnophila sessiliflora</i> Kleine Ambulia		Algizide Wirkung auf <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Phormidium tenue</i>	Nakai, 1999
<i>Myriophyllum spicatum</i> Ähriges Tausendblatt	Tannine, Polyphenole, Tellimagrandin II, pyrogalllic acid, gallic acid, (+)-catechin, ellagic acid	Hohe allelopathische Aktivität auf verschiedene Cyanobakterien, Chlorophyten and Diatomeen, beeinträchtigt APA (alkaline phosphatase), Allelochemikalien schnell metabolisiert nach dem Ausscheiden, kontinuierliche Abgabe der Stoffe ist nötig für die Hemmwirkung	Gross, 1996 / Nakai, 1996 Gross, 1999 / Nakai, 1999 Nakai, 2000 / Gross, 2005
<i>Myriophyllum aquaticum</i> brasilianisches Tausendblatt	Polyphenole	Algizide Wirkung, weniger als <i>M.spicatum</i>	Gross, 1996

Pflanze			Wirkstoff	Wirkung	Literatur
<i>Myriophyllum</i>	<i>alterniflorum</i>	Wechselblütiges Tausendblatt	Polyphenole	Algizide Wirkung	Gross, 1996
<i>Myriophyllum</i>	<i>verticillatum</i>	Quirliges Tausendblatt	Polyphenole	Algizide Wirkung	Gross, 1996
<i>Myriophyllum</i>		Tausenblatt	Verschiedene phenolische Verbindungen	Wirkungen gegen Kulturalgen und natürlichem Phytoplanktion konnte festgestellt werden. Bei den Cyanobakterien hat <i>Synechocystis nidulans</i> , verglichen mit <i>Selenastrum</i> und <i>Scenedesmus</i> sehr sensitiv reagiert.	Fitzgerald 1969 / Planas et al., 1981 Agami and Waisel, 1985 Saito et al., 1989 / Aliotta et al., 1992 / Gross et al., 1996 / Makai et al., 2000
<i>Najas</i>	<i>marina ssp. Intermedia</i>	Nixenkraut		Abgabe allelopathisch aktiver Substanzen	Gross, 2005
<i>Nuphar</i>	<i>lutea</i>	Gelbe Teichrose	Alkaloids, Resorcinol	Extrakt zeigte hemmende Wirkung auf Salatjungpflanzen, in der natürlichen Konzentration ist mit keiner ökologischen Relevanz zu rechnen (Elakovich und Yang, 1996). Algen der Klasse Cryptophyceae wurden bei längerer Beeinflussung durch Resorcinol abgetötet (Sütfeld et al. 1996).	Elakovich and Yang, 1996 Sütfeld et al. 1996
<i>Pistia</i>	<i>stratiotes</i>	Wassersalat	Lipophile Algizide	Abgabe allelopathisch aktiver Substanzen	Aliotta et al., 1990 Aliotta et al., 1991
<i>Potamogeton</i>	<i>pectinatus</i>	Kamm-Laichkraut		beeinträchtigt <i>Scenedesmus</i> Wachstum vor allem im Frühling	Hootsmans, 1991
<i>Potamogeton</i>	<i>natans</i>	Schwimmende Laichkraut	Diterpene	Abgabe allelopathisch aktiver Substanzen	Cangiano et al., 2001 Della Greca et al., 2001a Cangiano et al., 2002
<i>Proserpinaca</i>	<i>palustris</i>	Amerikanisches Kammblatt		Abgabe allelopathisch aktiver Substanzen, ähnlich wie <i>Myriophyllum</i>	Gross, 1996
<i>Stratiotes</i>	<i>aloides</i>	Krebsschere		Hemmt Phytoplankton, <i>Scenedesmus obliquus</i> , ändert Formation von <i>Scenedesmus</i> (sedimentieren),	Mulderij, 2005a Mulderij, 2005b
<i>Typha</i>	<i>latifolia</i>	Breitblättrige Rohrkolben	Verschiedene phenolische Stoffe	Phytotoxisch	McNaughton, 1968
<i>Typha</i>	<i>domingensis</i>	Rohrkolbenart	Verschiedene phenolische Stoffe	Wirkung auf Wachstum von <i>Salvinia minima</i> , allgemein phytotoxisch, keine ökologisch relevanten Konzentrationen erkannt	Gallardo et al. 1998b Gallardo-Williams et al., 2002

2.4.2. Allelopathie zur Algenhemmung in Schwimmteichen

Chance, Hypothese

Mit einer Optimierung des Pflanzenbestandes durch Anpassung der Pflanzenartenauswahl und PVI, könnte die allelopathische Wirkung zusätzlich zu den bekannten Methoden der Algenbekämpfung einen wesentlichen Beitrag zur Wasserqualität leisten und das Algenwachstum minimieren.

Wissenslücken, zu klärende Fragen

Im Gegensatz zu den meisten in den Studien untersuchten Gewässern ist Schwimmteichwasser im Idealfall nährstoffarm. Es gibt deshalb keine vergleichbare *in situ* –Untersuchung. Das Wasser wird bei den meisten Schwimmteichen mit einer Pumpe umgewälzt und über Kies oder Pflanzenfilter filtriert. Es ist bekannt, dass diese allelopathisch aktiven Stoffe einem raschen biologischen Abbau unterworfen sind. Daher wäre es möglich, dass dieser Effekt vor allem in Schwimmteichen mit Kiesfiltern nicht zum Tragen kommt, da die Allelochemikalien durch den Biofilm auf den Substrat rasch umgesetzt werden. Wie sich unter diesen Bedingungen die allelopathisch wirksamen Stoffe verhalten, soll in dieser Arbeit abgeklärt werden. In technikfreien Schwimmteichen vom „Typ See“, die nicht über eine Wasserumwälzung verfügen, ist eine vergleichbare Situation mit Wildstandorten gegeben.

Als Grundlage für die Bearbeitung des Themas Allelopathie durch submerse Makrophyten soll untersucht werden, ob im Freiwasser von Schwimmteichen Typ 1 ohne Technik bis zum Typ 4 mit mittlerer Technik eine Algenhemmung festgestellt werden kann.

Folgende Fragen sollen dazu untersucht werden:

1. Ist eine effektive Konzentration an Allelochemikalien vorhanden?
2. Leisten Allelochemikalien von Wasserpflanzen einen messbaren Beitrag zur Wasserqualität in Schwimmteichen?
3. Ist ein Zusammenhang zwischen Pflanzenbestand, Algenaufwuchs, Chlorophyll a (Grüntrübung) und Allelochemikalien ersichtlich?
4. Lassen sich aus den Messdaten Trends ableiten, welche Pflanzenarten die algenhemmende Wirkung verursachen?

Der Bearbeitung dieses Themas durch diese Arbeit sind zeitliche und finanzielle Grenzen gesetzt. Dies begrenzt vor allem die Probenmenge, die Mehrfachbeprobungen an jedem Teich und auch die Objektmenge insgesamt. So wird die Arbeit in diesem Umfang als Wegweiser für das Vorhandensein allelopathisch wirksamer Stoffe in Schwimmteichen dienen, es wird aber keine abschließende Bearbeitung des Themas möglich sein.

3. Material und Methoden

3.1. Auswahlverfahren

Um das Potenzial der Wirksamkeit von pflanzlichen Exsudaten für die Schwimmteiche abzuschätzen, wurden einerseits möglichst naturnahe Schwimmteiche (Typ 1), andererseits auch technisch intensiv unterstützte Teiche (Typ 4) miteinbezogen. Die folgenden Auswahlkriterien wurden festgelegt und mit den Schwimmteichplanern diskutiert. Diese hatten einige Schwimmteiche in Ihrer Kundschaft ausgewählt welche den Kriterien möglichst nahe kommen.

Kriterien:

Kriterien Schwimmteich Typ 1 = „Typ See“: Kein Kiesbettfilter, PVI möglichst hoch > 40%

Kriterien Schwimmteich Typ 4 = „Typ Ökopool“: Mit Kiesbettfilter, PVI möglichst hoch

Möglichst keine Frischwasserzufuhr

Aus dem Auswahlverfahren gingen 12 Schwimmteiche hervor (Tab 6). Die Teiche Ströbel und Marroés wurden mehrfach beprobt, damit Aussagen bezüglich des Verhaltens der Hemmstoffe im System gemacht werden können.

Tabelle 6: Ausgewählte Schwimmteiche und Probeentnahmestellen

<i>Schwimmteichbezeichnung</i>	<i>Probebezeichnung</i>	<i>Probeentnahme Ort</i>
Ströbel	Ströbel Bad	Badebereich
	Ströbel Reg	Regenerations-Teich
	Ströbel Ab	Abfluss Kiesfilter
	Ströbel Frisch	Frischwasser
Merryweather	Merryweather	Badebereich
	Merryweather Zu	Zuflussschacht
Meier	Meier	Badebereich
Zwinggi	Zwinggi	Badebereich
Furrer	Furrer	Badebereich
Grundmann	Grundmann	Badebereich
Schnell	Schnell	Badebereich
Ender	Ender	Badebereich
Seiler	Seiler	Badebereich
Pacozzi	Pacozzi	Badebereich
Marroés	Marroés	Badebereich
	Marroés Reg	Regenerations-Bereich
AnaG	AnaG	Badebereich

3.2. Feldmethoden

3.2.1. Aufnahmezeitpunkt

Die Aufnahmen wurden im Juli/August durchgeführt, da in dieser Zeit die maximale Biomasseentwicklung stattfindet und zu dieser Zeit die höchste die allelopathische Aktivität vermutet wird.

3.2.2. Teichbeschreibung

Bei der Aufnahme wurde der Zeitpunkt, Wetter, Luft-Temperatur des Probeentnahmetages und das Wetter sowie Luft-Temperatur vom Vortag vermerkt. Neben Ort und Datum wurden die nicht vorhandenen Teichdaten wie Lage, Exposition des Teiches, Beschattungsgrad und Wasserzulauf ergänzt und die Teiche fotodokumentiert.

3.2.3. Vermessung

Die Masse der Anlagen wurden von Hand ausgemessen und beschränken sich auf die sichtbaren Wasservolumen. Nicht sichtbares Wasser wie das in Kiesfilterporen, der Pumpe und den Schächte, etc. wurden nicht mit berücksichtigt. Vermessen und berechnet wurden Tiefen, Flächen und Volumen von Schwimmbereich, Regenerationsbereich, Regenerationsteich, Bachlauf und Totale.

3.2.4. Algenbewuchs

Mit Hilfe einer 5-stufigen Skala wurde der Algenbewuchs auf dem Grund und an der Wand im Baderbereich, im Regenerationsbereich, sowie im Regenerationsteich optisch bewertet.

Tabelle 7: Bewertungsskala für den Algenbewuchs von Boden- und Wandflächen

Skala	Bedeutung
0	Algenfrei
1	schwacher Bewuchs, einzelne Stellen mit leichtem Algenbewuchs
2	mittlerer Bewuchs, 50 % mit Algen überwachsen
3	Starker Bewuchs, nur einzelne Stellen ohne Algenbewuchs
4	Total bewachsen

3.2.5. Pflanzen

Pflanzenarten

Es wurden alle Pflanzen die Kontakt mit dem Wasser haben in die Pflanzenliste aufgenommen, auch emerse. Es ist darauf hinzuweisen, dass durch die Momentaufnahme einige Pflanzen, die in dieser Jahreszeit zurückgezogen sind, nicht beachtet wurden.

Pflanzenvolumenindex (PVI) einer Art

Mit Hilfe eines Massbandes wurde das Schwimmteichvolumen, welches von einer bestimmten Pflanzenart belebt wird, ermittelt. Der prozentuale Anteil dieses Volumens zum Gesamtvolumen des Schwimmteiches entspricht dem PVI einer Pflanzenart. Pflanzen die mit dem Wasser Kontakt haben, aber kein sichtbares Wasservolumen einnehmen (nur durch Wurzelraum oder indirekt über Laubfall), wurden aufgenommen aber mit dem Wasservolumen 0 Liter und somit PVI 0 % eingetragen.

Totaler Pflanzenvolumenindex (PVI)

Prozentualer Anteil des Teichwasservolumens, welcher von Pflanzen belebt wird. Die PVI der einzelnen Pflanzenarten wurde summiert und zur Überprüfung mit einer optischen Totalschätzung verglichen.

Physiologische Qualität der Pflanzenarten

Die Physiologische Qualität wurde bei der Pflanzenartenaufnahme mit einer dreiteiligen Skala grob beurteilt. Die Bedeutung der Symbole wird in der Tabelle 8 erklärt.

Tabelle 8: Bewertungsskala für die physiologische Qualität der Pflanzenarten

<i>Symbol</i>	<i>Bedeutung</i>
-	Schlechter Wachstumszustand, die Pflanze ist nicht vital, der Bestand wird vermutlich verschwinden
0	Der Bestand erscheint stabil aber es sind keine Anzeichen auf eine verstärkte Verbreitung sichtbar
+	Sehr vitale Wuchsform, breitet sich aus und könnte andere Arten verdrängen

Pflanzenentnahme

Für die AG Gross (Universität Konstanz), die sich in verschiedenen Projekten mit allelopathischen Wirkungen befasst hat, wurden 10 mal 25 cm lange Apikalsprosse von je zwei Pflanzenarten der entsprechenden Teiche entnommen. Diese wurden von Algenbewuchs befreit, die Apikalspitze (oberste 1-2 cm) in 50 ml Greinertubes und die restliche Pflanze in 500 ml Polyethylen Flaschen überführt. Anschliessend wurden die Pflanzen in diesen Behältern in flüssigem Stickstoff schockgefrostet und bei -80 °C gelagert. In einer Kühlbox mit Trockeneis wurden diese nach Konstanz überführt. Allelochemikalien können bei Vorhandensein im pflanzlichen Gewebe oder in entsprechenden Extrakten daraus nachgewiesen werden. Ergebnisse aus diesen Analysen werden zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt und fliessen nicht in diese Arbeit ein. Die entnommenen Pflanzenarten werden im Anhang B aufgezeigt und werden in dieser Arbeit nicht weiter verwendet (Tab 17).

3.2.6. Physikalische Parameter

Wassertemperatur, pH, O₂-Gehalt und Leitfähigkeit wurden mit Hilfe des Hach Lange Multimeters HQd40 *in situ* im Standardverfahren ermittelt. Dazu wurden am Gerät die entsprechenden Messfühler angebracht und vor der Messung kalibriert. Die Messungen wurden an den Wasserproben-Entnahmeorten (Siehe Wasserprobenentnahmen) 20 cm unter der Wasseroberfläche durchgeführt.

3.2.7. Trübung

Die Trübung wurde mit dem 2100P/ISO/Turbidimeter von Hach® nach dem vorgegebenen Verfahren des Herstellers ermittelt.

3.2.8. Wasserprobenentnahme

Bei den Probeentnahmen wurde angenommen, dass die Strömungen im Schwimmteich zu dieser Zeit der Normalität entsprechen. Mögliche variable Schichtungen oder Strömungen wurden ausser acht gelassen. Bei allen Probeentnahmen wurde aber darauf geachtet, dass der Betrieb der Gewohnheit der Besitzer entspricht, möglichst aber keine speziellen Eingriffe kurz vor den Probeentnahmen vorgenommen wurden.

Die Wasserentnahme erfolgte mit Handschuhen von Land aus, im Schwimmbereich (1 m vom Rand entfernt und 20 cm unter der Wasseroberfläche). Dadurch sollte eine mögliche Wirkung von allelopathisch aktiven Stoffen im Schwimmbereich ermittelt werden, da diese vor allem dort erwünscht wären. Im Teich Ströbel wurde zusätzlich das Wasser im Kiesfilter, nach dem Kiesfilter und das Frischwasser beprobt. Im Teich Marroés wurde neben dem Badebereich auch der Pflanzenfilterbereich beprobt. Beim Teich Merryweather wurde der Schwimmbereich und der Zulaufschacht beprobt. Als Gefäße für die Volumen von 1000 ml dienten fabrikneue farblose Polyethylenflaschen, die vor der Analyse mehrmals mit dem zu untersuchenden Wasser durchgespült wurden. Für den Transport wurden die Flaschen mit Schraubverschlüssen des gleichen Materials verschlossen. Für die Proben mit einem Volumen von 50 ml wurden Greinertubes im selben Verfahren verwendet. Die Proben wurden mit Ausnahme der aus Portugal stammenden Proben bei stetiger Temperatur in dunklen Kühlbehältern transportiert und konnten noch am Probeentnahmetag oder spätestens einem Tag darauf weiterverarbeitet werden. Auf diese Weise sollten sie keine signifikante Veränderungen aufweisen.

Tabelle 9: Wasserentnahmen pro Probeentnahmestelle

Verwendung	Volumen [ml]	Verarbeitung
Agardiffusionsanalyse	1000	Siehe Kapitel 3.3.1
Chlorophyll a	1000	Siehe Kapitel 3.3.4
Huminst./N/P/Ca/Mg	2 mal 50	Siehe Kapitel 3.3
Kieselalgen	50	Siehe Kapitel 3.3.5

3.2.9. Probenvorbereitung für die Agardiffusionsanalyse

Für die Agardiffusionsanalyse wurde 1 Liter Wasser entnommen und vor Ort passiv über einen Faltenfilter 0.7 µm (597 1/2, 240 mm Ø, Schleicher und Schuell, Dassel, Deutschland) gefiltert. Anschliessend wurde mit Spritzen (50 ml, Norm-Ject®, Henke-Sass, Wolf GmbH, Deutschland) über einen Membranfilter mit 0.45 µm Porengrösse (Sartori, Goettingen, Deutschland) und über einen zweiten Membranfilter mit 0.2 µm Porengrösse (Whatman, Dassel, Deutschland) filtriert und die Proben bei -18 °C eingefroren, damit die Allelochemikalien nicht abgebaut werden.

3.3. Labormethoden

3.3.1. Agardiffusionsanalyse (Hemmhoftests)

Extraktion der Allelochemikalien

Ein Büchnertrichter aus Porzellan wurde über einer Saugflasche mit Gummiring angebracht und mit einem Unterdruckschlauch an die Vakuumpumpe angeschlossen. Diese konnte per Regler auf -200 bis -400 mbar eingestellt werden. Eine C18 Filterscheibe (3M Empore™, High Performance Extractions Disks, 47 mm Ø, 3 M, St. Paul, MN, USA) wurde zwischen der Lochplatte und dem Trichter mit einer Klemme fixiert. Die C18 Filterscheibe wurde wie vom Hersteller beschrieben (EPA METHOD 608 ATP 3M0222, 1995) für die Filtration vorbereitet und das vorfiltrierte Probenwasser anschliessend darüber filtriert. Der Filter wurde für 5 min. vakuumgetrocknet und das gefilterte Probenwasser verworfen. Die im Filter adsorbierten lipophilen Verbindungen wurden anschliessend mit Unterdruck dreimal mit 10 mL 100 % Methanol ausgewaschen und in einem 50 ml Erlenmeyerkolben aufgefangen. Das methanolische Eluat wurde im rotierenden Verdampfer gegen geringes Vakuum getrocknet. Dreimal wurden die Rückstände im Kolben mit je 350 µl 100 % Methanol durch eine Drehbewegung resuspendiert, die Rückstände im Ultraschallbad gelöst und in Eppendorfreaktionsgefässe überführt. Das Eluat wurde erneut im rotierenden Verdampfer getrocknet und anschliessend mit 100 µl 50 % Methanol wieder mit Hilfe von Ultraschall resuspendiert. Auf diese Weise entstand eine 10'000-fache Konzentration des Ausgangswassers.

Für die Verfahrenskontrolle wurde die oben beschriebene Methode ebenfalls mit Reinstwasser und Fischtestwasser nach DIN EN ISO 7346-3 (Tab. 10) als Nullkontrolle durchgeführt. Vier Testlösungen für die Positivkontrolle wurden auf der Basis von Fischtestwasser hergestellt und mit Tanninsäure versehen. Es wurden zu erst 10 mg Tanninsäure mit 100 ml Reinstwasser vermischt. Dieses „Tanninwasser“ wurde in verschiedenen Anteilen zu den Fischtestwasserstammlösungen gegeben und anschliessend mit Reinstwasser auf 1 Literaufgefüllt (Tab. 11).

Tabelle 10: Fischttestwasser nach DIN EN ISO 7346-3

Lösung	Bestandteil	Molare Masse und Endmolarität	Konzentration [mg/l]
A	Calciumchlorid	$\text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	11.76
B	Magnesiumsulfat	$\text{MgSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$	4.93
C	Natriumhydrogencarbonat	NaHCO_3	2.59
D	Kaliumchlorid	KCl	0.23

Je 25 ml der vier Stammlösungen werden mit destilliertem Wasser auf 1 Liter aufgefüllt.

Tabelle 11: Testlösungen mit Tanninsäure für die Positivkontrolle

Testl.	Bestandteil	Menge [ml]	Testlsg. [µgTa./l]
T1	Stammlösungen Fischttestwasser	100	
	Tanninwasser (100 mg/l)	1	100
	Reinstwasser	899	
T5	Stammlösungen Fischttestwasser	100	
	Tanninwasser (100 mg/l)	5	500
	Reinstwasser	895	
T10	Stammlösungen Fischttestwasser	100	
	Tanninwasser (100 mg/l)	10	1000
	Reinstwasser	890	
T20	Stammlösungen Fischttestwasser	100	
	Tanninwasser (100 mg/l)	20	2000
	Reinstwasser	880	

Untersuchung zur Bioaktivität

Bei der Agardiffusionsanalyse (Gross et al., 2003), wurden fädige Cyanobakterien, *Anabaena* PCC7120 und einzellige Cyanobakterien, *Synechococcus* PCC6911 verwendet, welche aus den Langzeitkulturen der AG Gross (Universität Konstanz) stammen.

Das aus den Wasserproben gewonnene Konzentrat wurde auf ca. 20 ml ausgehärteten Grundagar aus Cyanobakterien-Medium mit 1 %-Agar in einer Petrischale mit \varnothing 90 mm aufgetragen.

Damit eine gute Tropfenbildung erreicht und ein Verfließen verhindert werden konnte, wurden nur 5 µl aufgetragen und vor dem nächsten auftragen am sterilen Luftzug getrocknet. Bei beiden

Testorganismen wurden zwei Spots mit 15 µl (K15) und mit 30 µl (K30) aufgetragen. Bei den Negativ- und Positivtests wurden pro Agarplatte und Testorganismus 5, 10 und 30 µl aufgetragen. Der Durchmesser der einzelnen Auftragspunkte betrug ca. 5 mm.

Die Cyanobakterien wurden unter Berücksichtigung optischer Dichte (bemessen bei 530 nm in 10 mm Küvetten; OD₅₃₀) ins Cyanobakterien-Medium (Jüttner et al.; 1983) mit 1 % Agar eingepflegt. Bei *Synechococcus* PCC6911 wurde eine optische Dichte von Abs₅₃₀ 0,12, bei *Anabaena* PCC7120 Abs₅₃₀ 0.04 angestrebt. 10 ml des Überdeckungsagars wurde mit sterilen Pipetten über die präparierten Agarplatten gegossen, gleichmässig verteilt und nach dem Gelieren für mindestens 7 Tage bei 25 Grad und konstanter Beleuchtung (80 µmol m⁻²s⁻¹) inkubiert.

Tabelle 12: Cyanobakterien-Nährlösung (Jüttner et al., 1983)

Stamml.	Menge [ml]	Bestandteil	Konzentration [g/l]	Konzentration [mM]	Medium [mM]
A	10	Calciumchlorid-Dihydrat	8.8	60	0.60
B	10	Natriumnitrat	68.0	800	8.00
C	10	Magnesiumsulfat-Heptahydrat	9.9	40	0.40
D	10	Spurenelementlösung	s. Tab. 13	1	0.01
E	10	Natriumeisen-EDTA	0.37	1	0.01

Als Puffersubstanz wurde 150 mg/L TES zugegeben. 1- bzw. 2%er Agar wurde erhalten, in dem 10 bzw. 20 g Agar zu dem Medium gegeben wurde und im Anschluss auf 1 L aufgefüllt.

Tabelle 13: Spurenelement-Stammlösung (Jüttner et al., 1983). In einem Liter dieser Stammlösung sind je 100 ml der Lösungen 1 und 2 enthalten.

Lösung	Bestandteil	Konzentration [g/l]	Konzentration [mM]	Medium [µM]
1	Borsäure	618	10.0	10.0
	Manganchlorid-tetrahydrat	1979	10.0	10.0
	Zinksulfat-heptahydrat	58	0.2	0.2
	Kupfersulfat-pentahydrat	50	0.2	0.2
	Kobaltsulfat-heptahydrat	56	0.2	0.2
2	Natriummolybdat	484	20.0	20.0

Die Wachstumshemmung der Blaualgen ist durch klare Zonen im Überdeckungsagar, in welchem die Zielorganismen anwachsen, sichtbar. Im Normalfall steigt die Grösse dieser Zonen mit der Menge des eingesetzten Extrakts an. Die sichtbaren Hemmhöfe auf den Agarplatten wurden mit einem Massstab ausgemessen und fotografisch mit einem Grössenraster festgehalten. Da im Schwimmteich eine vollständige Hemmung der Algen angestrebt wird, wurden nur die klaren Hemmanteile für die Vergleiche mit anderen Resultaten verwendet und die diffusen verworfen. Für die Auswertung wurden die klaren Anteile beider Konzentrationen und Organismen zusammengerechnet. Die sogenannte Gesamthemmung zeigt also die Hemmfläche zwei verschiedenen Organismen durch Hemmstoffe aus je 450 ml (Total also 900 ml) Teichwasser an. Die mögliche maximale Hemmfläche pro Spot beträgt bei den vorhandenen Platten 1257 mm². (Gesamthemmung = Hemmfläche PCC 6911 mit K15 + Hemmfläche PCC 6911 mit K30 + Hemmfläche PCC 7120 mit K15 + Hemmfläche PCC 7120 mit K30)

3.3.2. Huminstoffgehalt

Wasser wurde über einen GF/F Filter mit 0.45 µm Porengrösse (Hach Lange GmbH, Düsseldorf) gefiltert, in 5 ml Küvetten gegeben und mit dem Photometer Varian Cary 50 bei einer Wellenlänge von 400 nm gemessen. Die resultierende Absorption wurde nach der Methode von Maekivi und Arst (1995) in den Huminsäuregehalt (HC) umgerechnet. $HC (mg\ l^{-1}) = A_{400nm} * 20/0.39$

3.3.3. Chemische Messwerte

Gesamt Stickstoff, gesamt Phosphor, Wasserhärte, Calcium und Magnesium wurden im standardisierten Verfahren nach Herstellerangaben mit dem Dr.Lange Photometer Xion500 ermittelt. Die Ortho-Phosphat-Bestimmung stützt sich auf die internationale Norm DIN EN ISO 6878 (Schwarzenbach, 2005). Die Wasserproben wurden mit einem Membranfilter mit 0.45 µm Porengrösse (Sartori, Göttingen, Deutschland) in 50 ml Greiner-Tubes filtriert und anschliessend in 10 mm Küvetten pipettiert. Dazu wurden Blindwert und Standard vorbereitet (Reinstwasser und Standard 650 µg P/l). Zu jeder Standard- oder Wasserprobe wurde 0.2 ml Ascorbinsäure pipettiert und 0.2 ml Molybdat-Lösung aus der Socorex-Dispenserflasche zugegeben. Die Küvetten wurden mit Parafilm verschlossen, geschwenkt und 15 min. stehen gelassen.

Anschliessend konnte mit dem Photometer Varian Cary 50 bei einer Absorption bei 890 nm und 5 Sekunden Messdauer gemessen und die Angaben in mg/l abgelesen werden.

3.3.4. Chlorophyll a

Ein Liter Wasserprobe wurde über einen Glasfaserfilter mit 0.7 µm Porengrösse (Schleicher und Schuell, Dassel, Deutschland) filtriert. Der Filter wurde mit Hilfe einer Pinzette zusammengerollt, in ein Reagenzglas mit Schraubverschluss (Sovirel, 15 mm Durchmesser, Merck, Dietikon, Schweiz) überführt und mit 10 ml 90% Ethanol übergossen. Das Reagenzglas wurde verschlossen, 10 min in einem Wasserbad von 75 °C ± 1 °C erhitzt und anschliessend sofort für 5 min in ein Ultraschallbad gestellt. Das Reagenzglas wurde mindestens eine Nacht im Kühlschrank aufbewahrt.

Die Filter wurden im Ethanol mit einem Massspachtel zerstampft. Die Lösung wurde geschüttelt und mit Spritzen (10 ml, Norm-Ject®, Henke-Sass, Wolf GmbH, Deutschland) durch einen Glasfaserfilter mit 0.7 µm Porengrösse (Schleicher und Schuell, Dassel, Deutschland) filtriert. Die Messungen im Photometer Varian Cary 50 wurden mit 1 cm Küvetten, bei einer Absorption von 665 nm und 750 nm (Trübungskorrektur) gemacht. Zum Nullabgleich diente Ethanol 90%. Mit einem Berechnungstool (Siegenthaler, 2008) konnte an Hand der Absorptionen die Massenkonzentration des Chlorophyll a in mg/l errechnet werden.

3.3.5. Kieselalgen

Für die Auszählung der Kieselalgen wurden 50 ml Wasser mit Greinertubes entnommen (Siehe auch Kapitel 3.2.8 Feldarbeit), mit einer 5 ml-Pipette 20 Tropfen Lugol zur Fixierung zugegeben und die Probe anschliessend mindestens eine Nacht im Kühlschrank aufbewahrt.

Das Wasservolumen wurde nach Sedimentation der Organismen über Nacht durch Absaugen des Oberwassers auf 25 ml halbiert, die verbleibende Probe mit dem Vortex aufgeschüttelt und danach sofort 2 mal 1 ml Wasser entnommen. Gemäss der Anleitung von Hürlimann und Niederhauser (2007) wurden die Proben zu Präparaten weiter verarbeitet. Über einem Bunsenbrenner wurde ein Dreibein mit Keramikplatte installiert und die Deckgläschen platziert. Darauf wurden an zwei Stellen auf dem Objektträger in mehreren Schritten insgesamt je 1 ml aufgetragen und zwischen den Auftragungen mit geringer Hitze zum Verdunsten gebracht. Nach dem Eintrocknen wurde die Hitze soweit erhöht, dass der organische Gehalt der Probe verkohlte. Zur Entfernung von Asche wurde das Deckglas mit einer Pinzette in entionisiertes Wasser mit 10 % HCl gegeben, in entionisiertem Wasser nochmals gereinigt und erneut getrocknet. Die Kieselalgen wurden durch die Hitze mit dem Deckglas versintert und werden deshalb nicht abgewaschen. Anschliessend wurde das Deckglas mittels Naphrax auf einem Objektträger eingebettet. Ein Tropfen Naphrax wurde auf einen Objektträger gegeben, kurz erhitzt bis das Toluol aus dem Naphrax entweicht (Blasenbildung), das Deckglas mit den Kieselalgen nach unten auf den Tropfen Naphrax gelegt und der Objektträger auf einer kühlen Unterlage abgekühlt. Die Präparate wurden beschriftet und 12 Stunden lang abgekühlt damit das Naphrax vollständig hart und die Proben somit längerfristig konservierbar wurden.

Je Probe wurden zwei solcher Objektträger präpariert und anschliessend am Mikroskop ausgezählt. Die ausgezählte Menge entspricht den Kieselalgen in 4 ml Probenwasser.

4. Resultate

Um die Übersichtlichkeit der Resultate sicherzustellen, werden in diesem Kapitel die relevanten Resultate zusammengefasst gezeigt. Die kompletten Datentabellen, Teichbeschreibungen und ein leeres Aufnahmeprotokoll sind im Anhang A, B und C zu finden.

Die Proben aus Portugal konnten trotz Express-Versand erst nach 8 Tagen ungekühltem Transport weiterverarbeitet werden. Die Pflanzenproben haben infolge dessen einen so starken Zersetzungsprozess erlitten, dass sie nicht weiter verwendet werden konnten.

Wenn nichts anderes angeführt ist, entspricht die Hemmung in diesem Abschnitt immer der Hemmung, die durch die Hemmstoffe aus 900 ml Teichwasser hervorgerufen wurde.

4.1. Agardiffusionsanalyse

Hemmung von PCC 6911 (Abb. 2, Abb. 5-8)

Keiner der Positivtests konnte eine Hemmung von PCC 6911 verursachen. Beim Negativtest T0 wurde keine Hemmung festgestellt, beim Negativtest Reinstwasser wurde mit K15 eine leichte diffuse Hemmung und eine leichte klare Hemmung bei K30 festgestellt. Die klaren und diffusen Hemmanteile unterschieden sich bei den verschiedenen Wasserproben stark. Bei den Proben Ströbel Bad, Ströbel Reg, Meier, Grundmann, Schnell und Seiler waren bei K15 gar nur diffuse Hemmungen zu verzeichnen. Bei K30 waren die klaren Hemmanteile grösser. Nur bei der Probe Meier war der diffuse Hemmanteil mit K30 grösser als der klare.

Bei der Probe Furrer wurde mit K30 die messbare Hemmgrösse von 40 mm überschritten, Algenwachstum war an einzelnen Stellen jedoch sichtbar. Bei Marroés gab es bei K15 nur eine sehr geringe und bei Merryweather bei beiden Konzentrationen keine Hemmung.

Bei Zwinggi konnte kein Algenwachstum festgestellt werden, weshalb die Probe nicht aufgezeigt wurde. Es konnte nicht unterschieden werden, ob die Algen überhaupt anwuchsen oder eine Totalhemmung vorlag.

Hemmung von PCC 7120 (Abb. 3, Abb 5-8)

Keiner der Positivtests sowie der Negativtest T0 konnte eine Hemmung von PCC 7120 verursachen. Beim Negativtest Reinstwasser wurde eine klare Hemmung bei K15 und K30 festgestellt. Die diffusen Hemmanteile waren bei allen Proben relativ gering. Bei K30 waren die klaren Hemmanteile noch deutlicher. Bei den Proben Furrer, Schnell, und Marroés wurde die messbare Grösse schon bei K15 überschritten, Algenwachstum war aber sichtbar. Bei K30 wurden die Messgrenzen von den Proben Furrer, Schnell, Seiler Marroés und AnaG überschritten, Algenwachstum war aber jedoch sichtbar. Bei Zwinggi, Ender, Marroés Reg konnte kein Algenwachstum festgestellt werden. Diese werden deshalb nicht aufgezeigt.

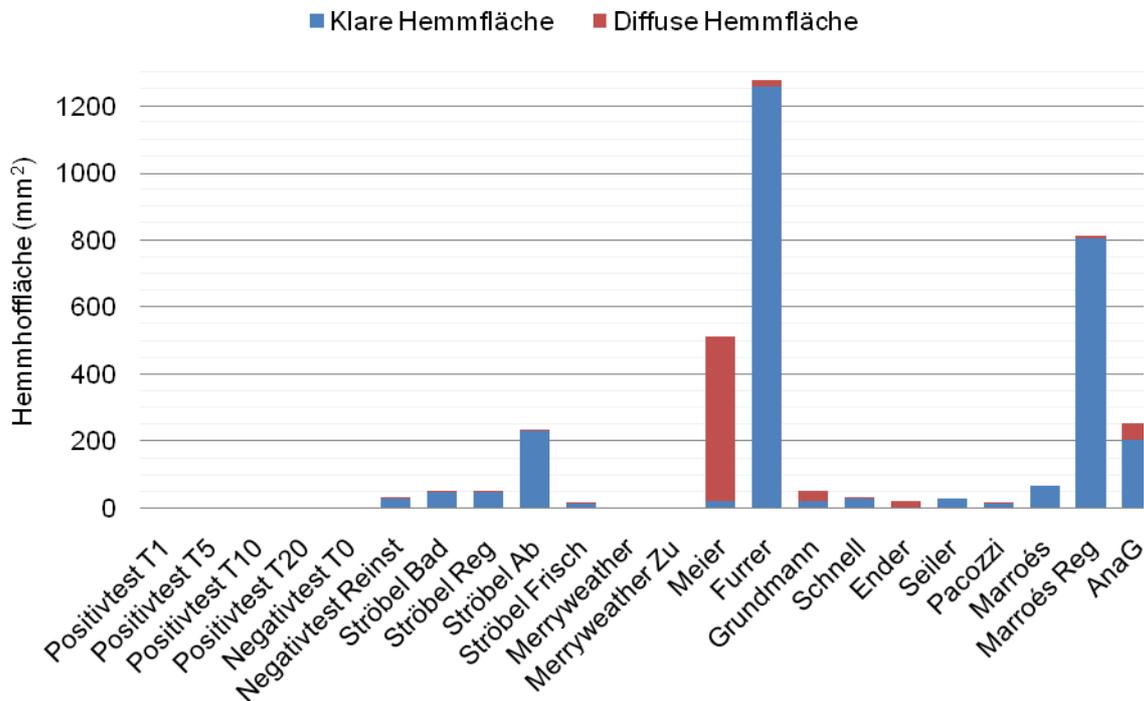
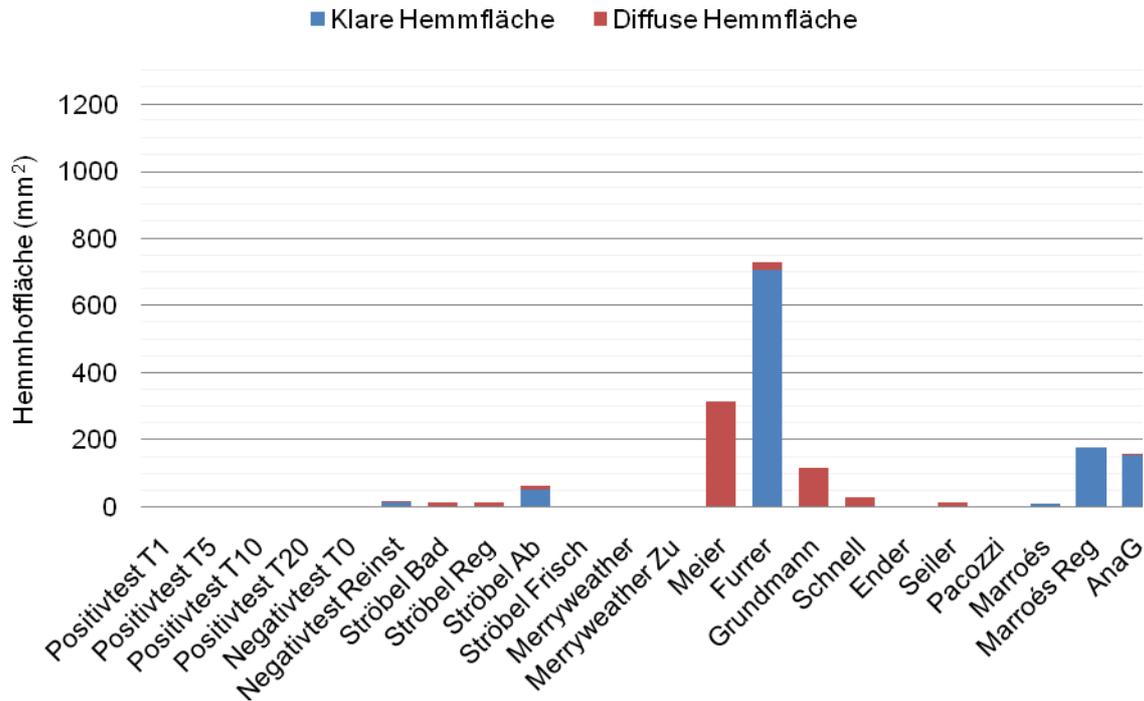


Abbildung 2: Klare und diffuse Hemmanteile bei PCC 6911 mit K15 (oben) und K30 (unten)

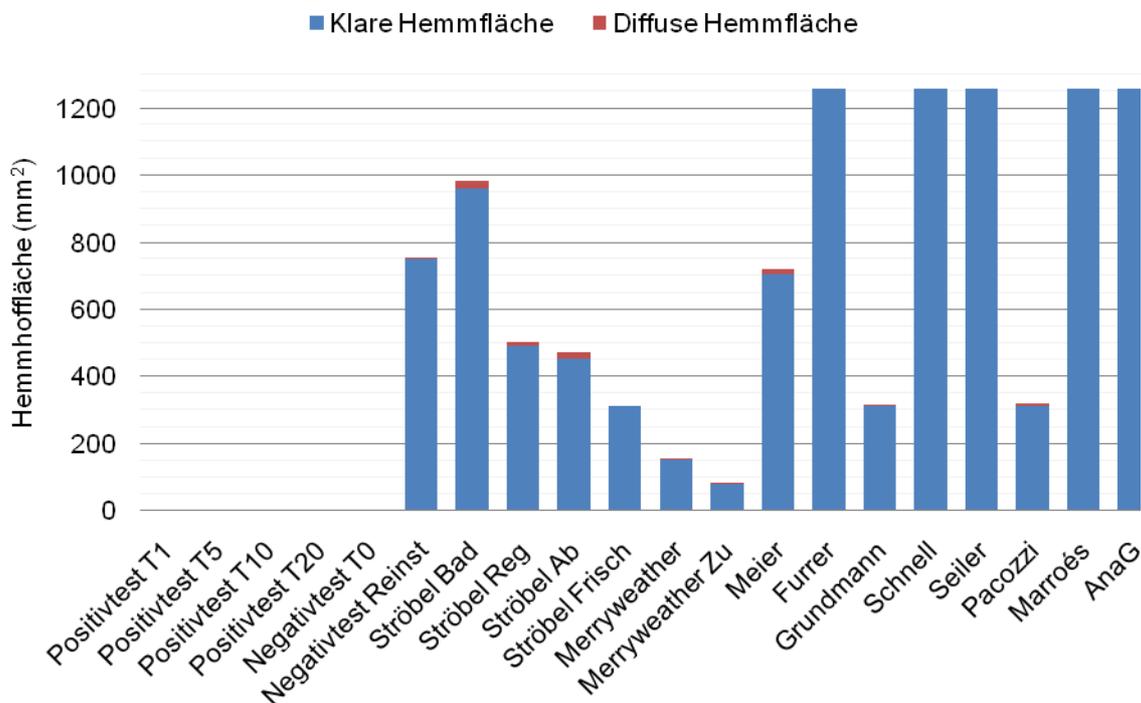
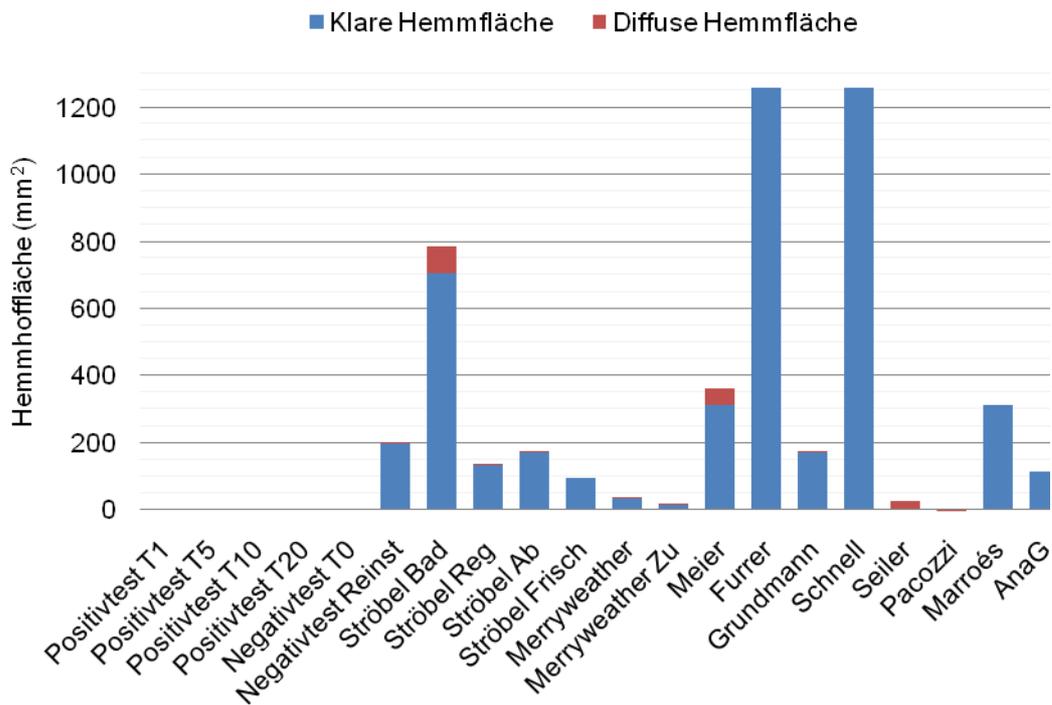


Abbildung 3: Klare und diffuse Hemmanteile bei PCC 7120 mit K15 (oben) und K30 (unten)

4.1.1. Wachstumshemmung der Organismen

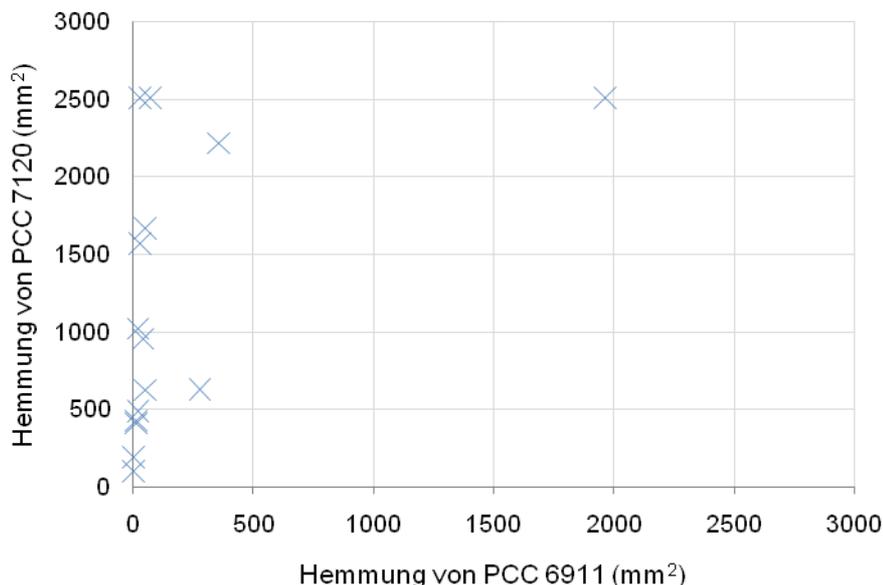


Abbildung 4: Hemmhoflächen der Testorganismen PCC 6911 und PCC 7120 durch die Proben im Vergleich.

Das fädige Cyanobakterium, *Anabaena* PCC 7120 unterlag im Vergleich zum einzelligen Cyanobakterium *Synechococcus* PCC 6911 einer stärkeren Wachstumshemmung. PCC 7120 hat auf die Hemmstoffe also sensibler reagiert als PCC 6911. Die Werte von Ender, Zwinggi und Marroés sind hier aufgrund des ungewissen Algenwachstums nicht mit einbezogen.

4.1.2. Bilder der Hemmhöfe

Die abgebildeten Hemmbilder zeigen wie unterschiedlich die beiden Organismen auf die verschiedenen Konzentrate der Teichwasser reagierten. Neben klaren Hemmbildern entstanden auch diffuse und ringförmige Hemmbilder (Abb. 5-8)

Eine klare Hemmung ist an einem deutlichen hellen Kreis erkennbar und weist darauf hin, dass die Hemmstoffe für die Algen im hellen Bereich letal waren (Abb 5). Im Gegensatz dazu konnten gewisse Hemmstoffe das Algenwachstum zwar hemmen, aber diese nicht total zum Absterben bringen, ein sogenannter algistatischer Zustand. So entstehen die diffusen Hemmhöfe (Abb 5). Bei hinausdiffundierenden Hemmstoffen entstand ein Hemmhof mit ringförmigem Muster (Abb. 6). Bei einigen Agarplatten fand eine so starke Hemmung statt, dass die messbare Grösse überschritten wurde und somit ein Maximalwert von 40 mm Durchmesser eingesetzt wurde sofern Algenwachstum noch sichtbar war (Abb. 8).

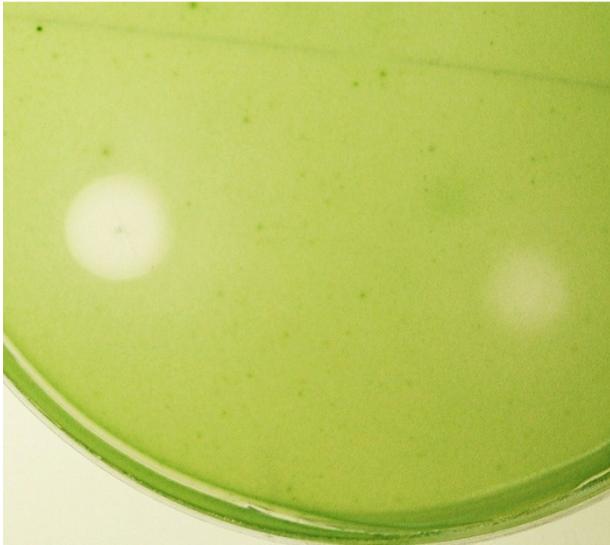


Abbildung 5: Klare Hemmung bei K30 (links im Bild) und diffuse Hemmung bei K15 (rechts im Bild) von PCC 6911 allelopathisch aktive Stoffe.

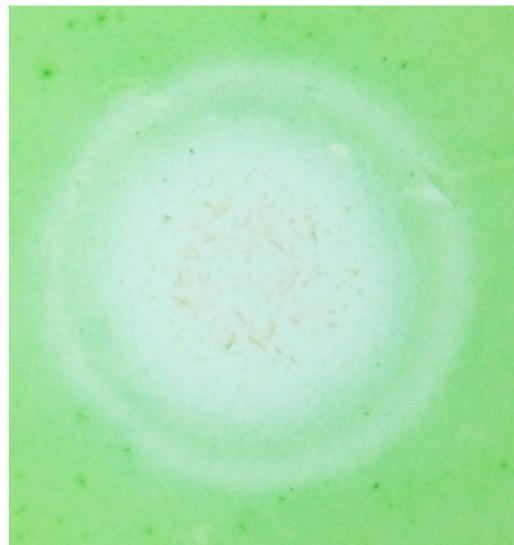


Abbildung 6: Ringförmige Hemmung von PCC 6911 durch allelopathisch aktive Stoffe.

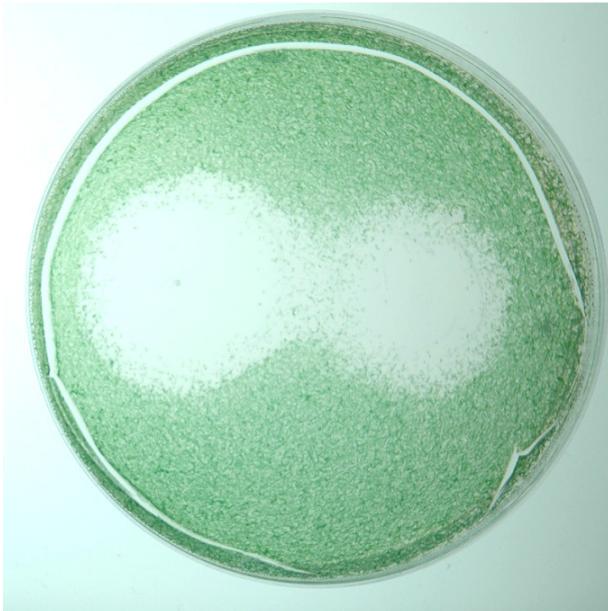


Abbildung 7: Klare Hemmung mit diffusem Rand, PCC 7120 allelopathisch aktive Stoffe.

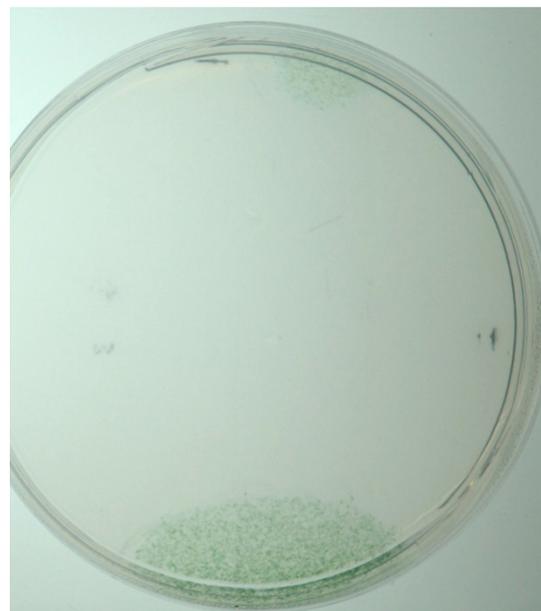


Abbildung 8: Messbare Grösse überschritten, Algenwachstum sichtbar.

4.2. Algenbewuchs

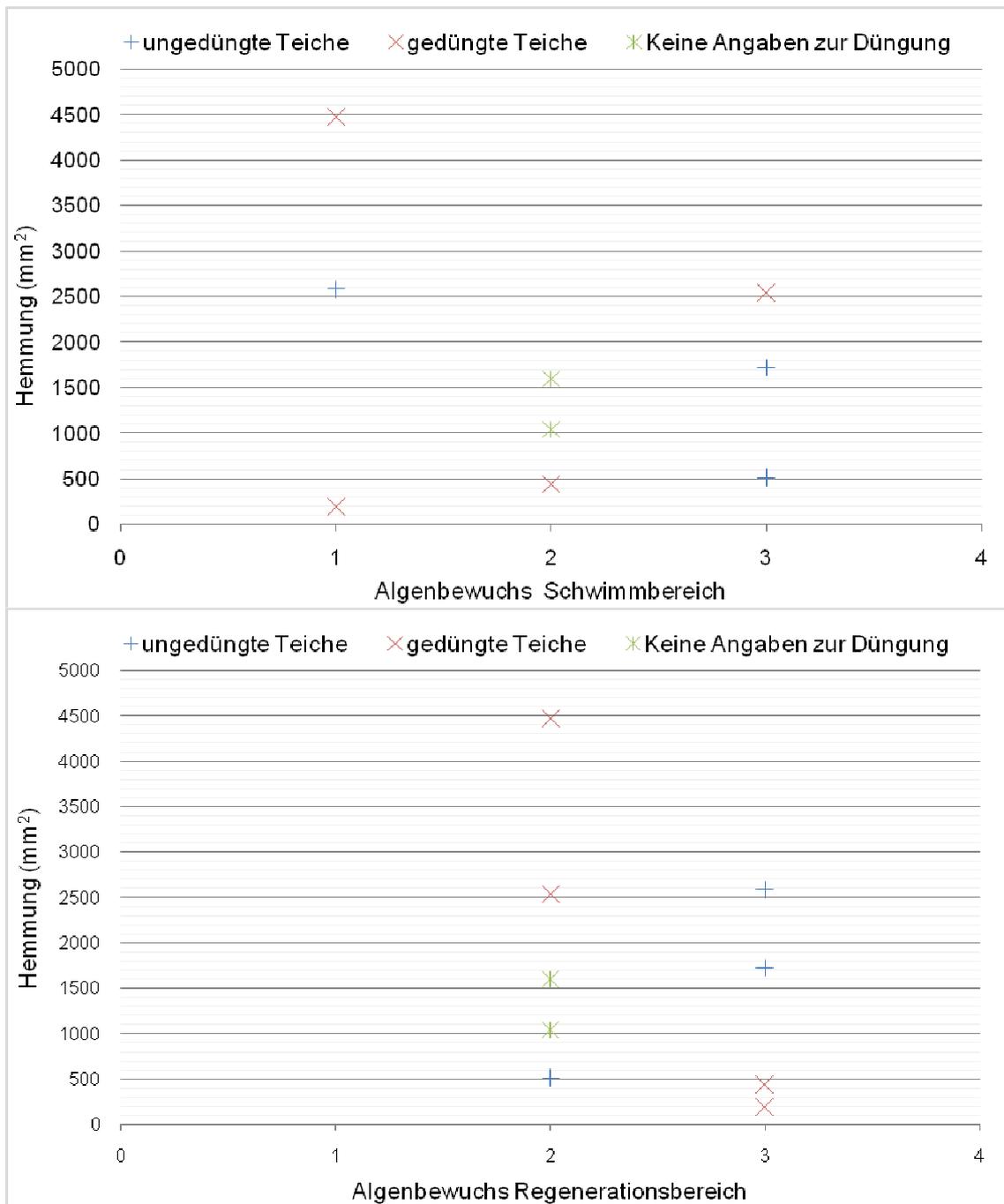


Abbildung 9: Algenbewuchs von Schwimmbereich (oben) und Regenerationsbereich (unten) und der Hemmung sowie Düngung

Es konnte kein klarer Zusammenhang zwischen der Hemmwirkung und dem Algenbewuchs gefunden werden (Abb. 9). Auch zwischen Düngung und Hemmung war keine Übereinstimmung ersichtlich. Die Werte von Ender, Zwinggi und Marroés wurden hier aufgrund des ungewissen Algenwachstums bei den Hemmhoftests nicht mit einbezogen.

Der Algenbewuchs in den Regenerationsteichen war bei Zwinggi, Furrer und Ströbel nur gering. Bei Merryweather konnte ein leicht stärkerer Bewuchs des Regenerationsteiches festgestellt werden. Die anderen Teiche verfügten nicht über ein Regenerationsteich-System.

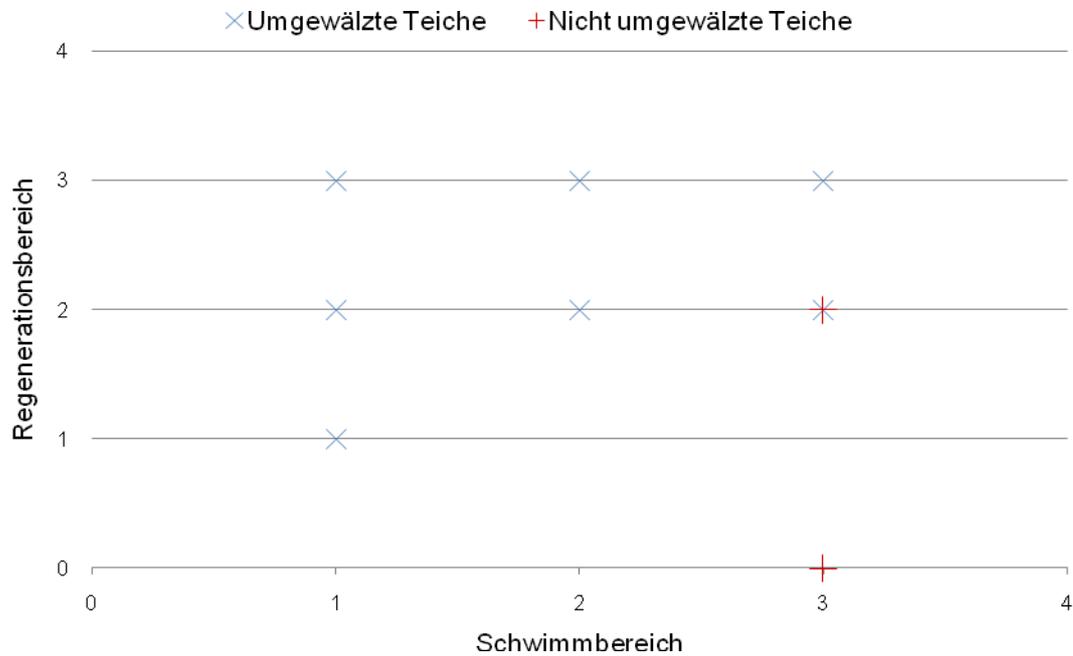


Abbildung 10: Algenbewuchs in den Schwimm- und Regenerationsbereichen

Beim Algenbewuchs konnte kein klarer Zusammenhang zwischen Regenerations- und Schwimmbereich gefunden werden. Nicht umgewälzte Teiche hatten im Gegensatz zu Umgewälzten einen stärkeren Algenbewuchs im Schwimmbereich als im Regenerationsbereich (Abb. 10).

4.3. Pflanzenaufnahme

4.3.1. Pflanzliste und PVI der einzelnen Pflanzenarten aller Teiche

Tabelle 14: Liste aller aufgefundenen Pflanzenarten und den PVI der einzelnen Arten sowie der Totale PVI der einzelnen Teiche

Botanischer Name, Deutscher Name	Teichnamen											
	Ströbel	Merryweather	Meier	Zwinggi	Furrer	Grundmann	Schnell	Ender	Seiler	Pacozi	Marroés	AnaG
<i>Acorus calamus</i> , Kalmus	0	0.04				0.16	0.02		0.01	0.06		
<i>Alisma plantago aquatica</i> , Froschlöffel	0.01		0		0.02	0.02	0.14	0.15	0.01	0		
<i>Butomus umbellatus</i> , Schwanelilie			0.01			0.05			0			
<i>Calla palustris</i> , Sumpfcalla							0.02	0				
<i>Callitriche sp.</i> , Wasserstern			0.18									
<i>Caltha palustris</i> , Sumpfdotterblume	0			0	0		0.03		0	0		
<i>Carex acuta</i> , Feine Segge									0.01			
<i>Carex gracilis</i> , Feine Segge							0.02					
<i>Carex pendula</i> , Hängende Segge			0						0			
<i>Carex pseudocyperus</i> , Scheinzypergras-Segge	0.01								0		x	
<i>Carex riparia</i> , Ufer-Segge							0.02		0			x
<i>Carex sp.</i> , Segge	0.17		0	0.07	0.06						x	
<i>Ceratophyllum demersum</i> , Rauhes Hornblatt												
<i>Chara fragilis</i> , Zerbrechliche Armleuchteralge			0.12									
<i>Chara gracilis</i> , Zierliche Glanzleuchteralge								0.1	0.02			
<i>Chara sp.</i> , Armleuchteralge						4	0.48			0.02		0.46
<i>Cladium mariscus</i> , Binsenschneide	0.02											
<i>Cyperus longus</i> , Langes Zypergras	0.29	0.21	0.12	0.01			0.1	0.02	0			
<i>Eleocharis sp.</i> , Sumpfbirse											x	
<i>Eleocharis acicularis</i> , Nadelsumpfbirse				0.01	0.03			0.58				
<i>Eleocharis multicaulis</i> , Vielstängelige Sumpfbirse											x	
<i>Eleocharis palustris</i> , Gewöhnliche Sumpfbirse								0.73	0.01			
<i>Elodea canadensis</i> , Wasserpest			0.03			0.32	0.48		0.01			
<i>Elodea nuttallii</i> , Schmalblättrige Wasserpest												
<i>Equisetum sp.</i> , Schachtelhalm			0.03	0								
<i>Eupatorium cannabinum</i> , Wasserdost				0								
<i>Eupatorium purpureum</i> , Roter Dost	0											
<i>Euphorbia palustris</i> , Sumpfwolfsmilch	0						0			0		
<i>Filipendula ulmaria</i> , Mädesüss	0				0	0	0	0	0			
<i>Geum rivale</i> , Bachnelkenwurz							0					
<i>Glyceria macima</i> , Wasserschwaden			1.09									
<i>Gratiola officinalis</i> , Gottesgnadenkraut								0				

Botanischer Name, Deutscher Name	Teichnamen											
	Ströbel	Merryweather	Meier	Zwinggi	Furrer	Grundmann	Schnell	Ender	Seiler	Pacozzi	Marroés	AnaG
<i>Hippuris vulgaris</i> , Tannenwedel				0.03		0.1	0.72	0	0.01	0.03		
<i>Iris sp.</i> , Iris		0.02	0.06	0.05	0.05	0.02	0.43	0.01	0.23	0.04		
<i>Juncus effusus</i> , Flatterbinse		0.01	0.01	0.01		0	0	0	0			
<i>Juncus inflexus</i> , Blaubinse	0		0	0.03		0.01	0.02	0	0	0		
<i>Lemna minor</i> , Kleine Wasserlinse						0						
<i>Lychnis flos-cuculi</i> , Kuckuckslichtnelke							0					
<i>Lycopus europaeus</i> , Wolfsfuss				0								
<i>Lycopus europaeus</i> , Wolfstrapp												
<i>Lythrum salicaria</i> , 'Robert' Blutweiderich				0	0.01	0	0.02	0		0.04		
<i>Mentha aquatica</i> , Wasserminze	0		0	0.01	0.34	0	0	0	0	0		
<i>Menyanthes trifoliata</i> , Fieberklee			0.01		0.23	0.05	0.05	0.39	0.01	0.44		
<i>Mimulus luteus</i> , Gauklerblume				0			0	0	0			
<i>Mimulus ringens</i> , Blaue Gauklerblume							0		0			
<i>Myosotis palustris</i> , Sumpfiger Meinnicht							0		0.02			
<i>Myriophyllum aquaticum</i> , Bras. Tausendblatt				0.13	0.7							
<i>Myriophyllum spicatum</i> , Ähriges Tausendblatt	0.06		0.61		0.05		0.1	0	0.02	0.2		
<i>Myriophyllum sp.</i> , Tausendblatt												0.44
<i>Nuphar lutea</i> , Teichrose				0.01			0.1					
<i>Nymphaea alba</i> , Seerose						2.39	0.24	0.07	0.22			
<i>Nymphaea hyb.</i> , Seerose Hybrid												x
<i>Nymphaea hyb.</i> , James Brydon Seerose								0.04				
<i>Nymphaea hyb.</i> , Marlia. Chrom Seerose								0.17				
<i>Nymphaea hyp.</i> , "Froebelii" Seerose						1.43						
<i>Nymphaea sp.</i> , Seerosen	0.02		0.12		0.45		0.24		0.22	1.76		
<i>Phragmites australis</i> , Schilf	0.92	0.08		0.02	0.68					0.78		x
<i>Pontederia cordata</i> , Hechtkraut			0.45			0.03	0.05			0.12		
<i>Potamogeton sp.</i> , Laichkraut											x	
<i>Potamogeton lucens</i> , Glänzendes Laichkraut								2.9	1.46			
<i>Potamogeton natans</i> , Schwimmendes Laichkraut								0.73	0.06			
<i>Potamogeton perfoliatus</i> , Durchwachsenes Laichkraut												x
<i>Potamogeton polygonifolius</i> , Knöterich Laichkraut											x	
<i>Primula rosea</i> , Rosenprimel					0		0					
<i>Primula sp.</i> , Primel				0								
<i>Fontinalis sp.</i> , Quellmoos	0.06											
<i>Ranunculus aquatilis</i> , Gemeiner Wasserhahnenfuss									0.01			
<i>Sagittaria sagittifolia</i> , Pfeilkraut					0		0		0.04	0.01		
<i>Schönoplectus lacustris</i> , Seebinse				0.11								
<i>Scirpus lacustris</i> , Teichsimse					0		0.01	0.97	0.02			
<i>Sparganium erectum</i> , Igelkolben	0		0.03		0	0.32	0.1	0				

Botanischer Name, Deutscher Name	Teichnamen											
	Ströbel	Merryweather	Meier	Zwinggi	Furrer	Grundmann	Schnell	Ender	Seiler	Pacozzi	Marroés	AnaG
<i>Stratiotes aloides</i> , Krebschere			0.61				0		0.45			
<i>Typha angustifolia</i> , Schmalblättriger Rohrkolben	0.01		0.03		0.08	0.11	0.02	0.29		0.1		
<i>Typha minima/laxmannii</i> Kleiner-/Laxmann-Rohrkolben				0.05	0.01		0					
<i>Typha</i> sp. Rohrkolben									0.1			
<i>Urticularia vulgaris</i> , Gem. Wasserschlauch								0.48				
<i>Veronica beccabunga</i> Bachehrenpreis					0.01		0.01					
Total PVI der einzelnen Teiche	1.57	0.36	3.51	0.54	2.72	9.01	3.18	7.63	2.72	3.60	x	x

Glossar Pflanzentabelle

AC-Aktivität aus Literatur bekannt

Pflanzen Portugal auf Foto's nicht def. Bestimmbar

x

Unbekannte PVI

PVI nach Foto-Schätzung

Im Schnitt konnten pro Teich 18.83 Pflanzenarten gefunden werden, in allen Teichen zusammen wurden 77 verschiedene Pflanzenarten gefunden. Im Schnitt war die allelopathische Aktivität von 4.40 Pflanzenarten pro Teich bekannt. Die Pflanzenarten und PVI der portugiesischen Teiche konnten anhand der Fotos nicht genau bestimmt werden (Tab. 14).

Tabelle 15: Anzahl Pflanzenarten pro Teich und Pflanzenartenanzahl eingeteilt in die physiologische Qualität

Teich	-	0	+	Total Arten
Ströbel	0	15	3	18
Merryweather	5	5	0	10
Meier	2	12	5	19
Zwinggi	3	14	2	19
Furrer	1	10	5	16
Grundmann	0	7	10	17
Schnell	11	8	14	33
Ender	7	7	13	27
Seiler	4	25	3	32
Pacozzi	1	10	5	16
Marroés	Keine Angaben vorhanden			
AnaG	Keine Angaben vorhanden			

In allen Teichen zusammen wurden 34 Pflanzenarten mit schlechter, 113 guter und 60 mit sehr guter physiologischer Qualität gefunden (Tab. 15).

4.3.2. Pflanzenvolumenindex und Vermessung

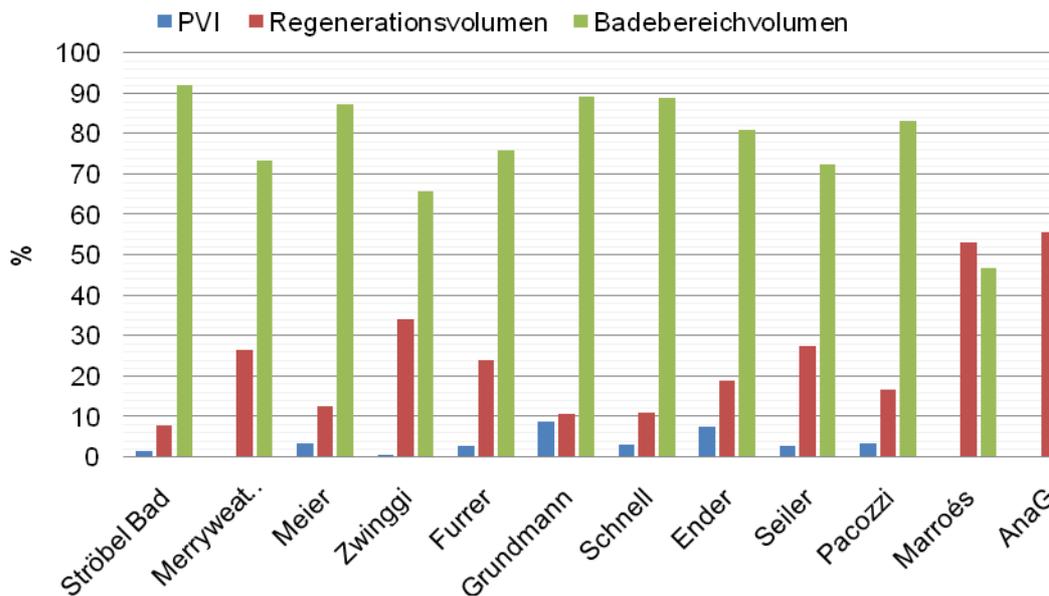


Abbildung 11: Volumenanteile von PVI, Regenerations- und Badebereich

Der Regenerationsvolumenanteil entspricht dem potenziell möglichen PVI und war nur bei Grundmann nahezu (83 %) ausgeschöpft. Zu Marroés und AnaG sind keine kompletten PVI-Daten bekannt. Der potentielle PVI war bei den Portugiesen mit über 50 % des Volumens aber bedeutend grösser als die der Schweizer Systeme (Abb. 11).

Es konnte ein geringer Zusammenhang zwischen Teichalter und dem bewachsenen Anteil des maximal möglichen PVI gefunden werden. Je älter der Teich ist, umso mehr wurde der potenzielle PVI ausgeschöpft (Abb. 12).

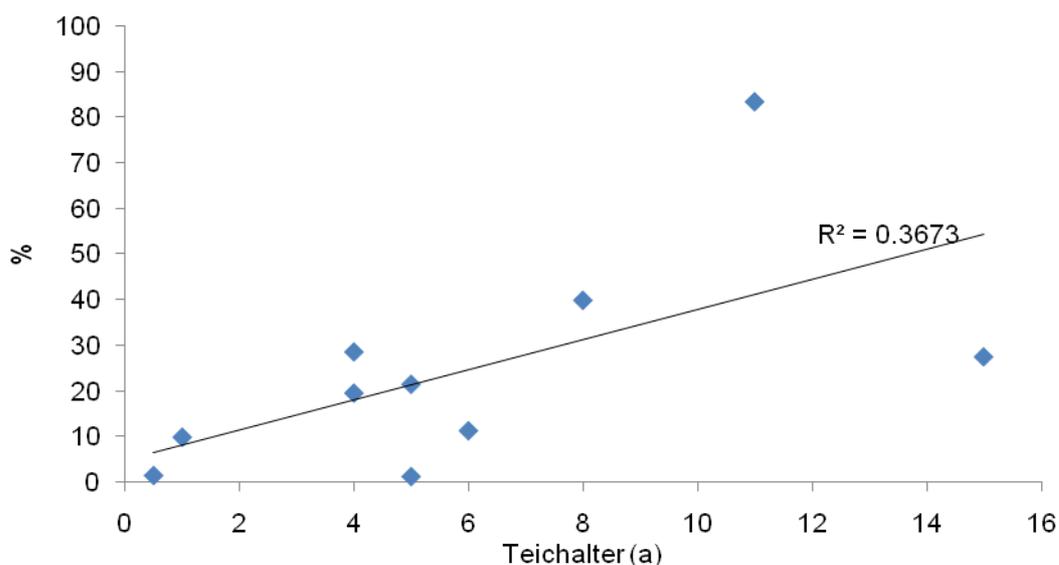


Abbildung 12: Teichalter und bewachsener Anteil vom potenziell möglichen PVI

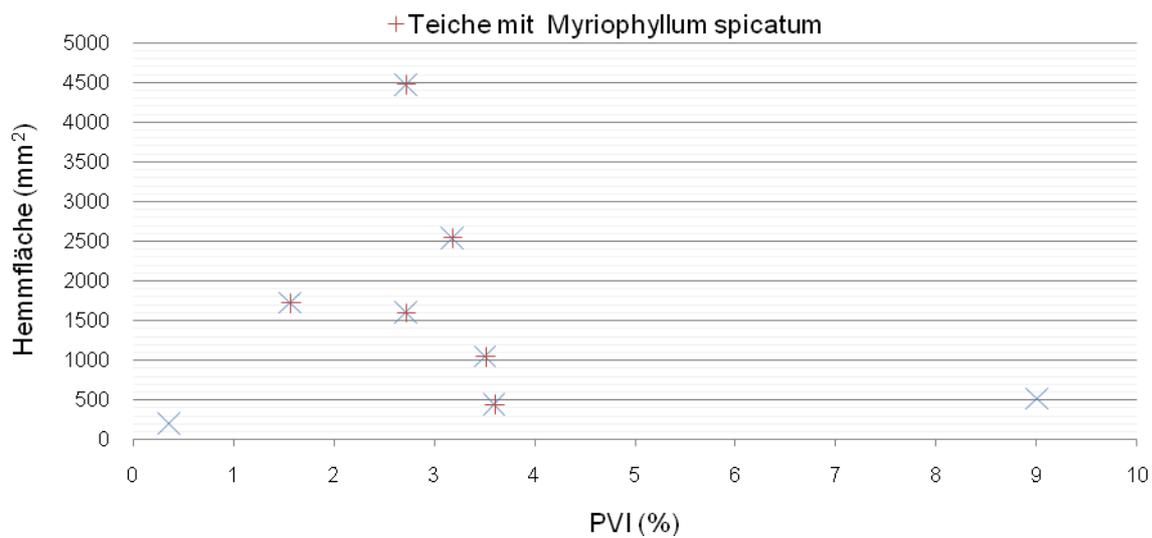


Abbildung 13: Pflanzenvolumenindex und die Gesamthemmung, mit Markierung der Teiche die *Myriophyllum spicatum* enthalten

Es konnte kein eindeutiger Zusammenhang zwischen PVI Total und der Hemmwirkung gefunden werden. Auffällig war, dass bei den meisten Proben, die eine Hemmwirkung auf die Testorganismen hatten, *M. spicatum* in den Schwimmteichen vorhanden war. Die Markierungen von *M. spicatum* beziehen sich nur auf das Vorhanden sein, nicht auf den PVI von *M. spicatum* selber (Abb. 13).

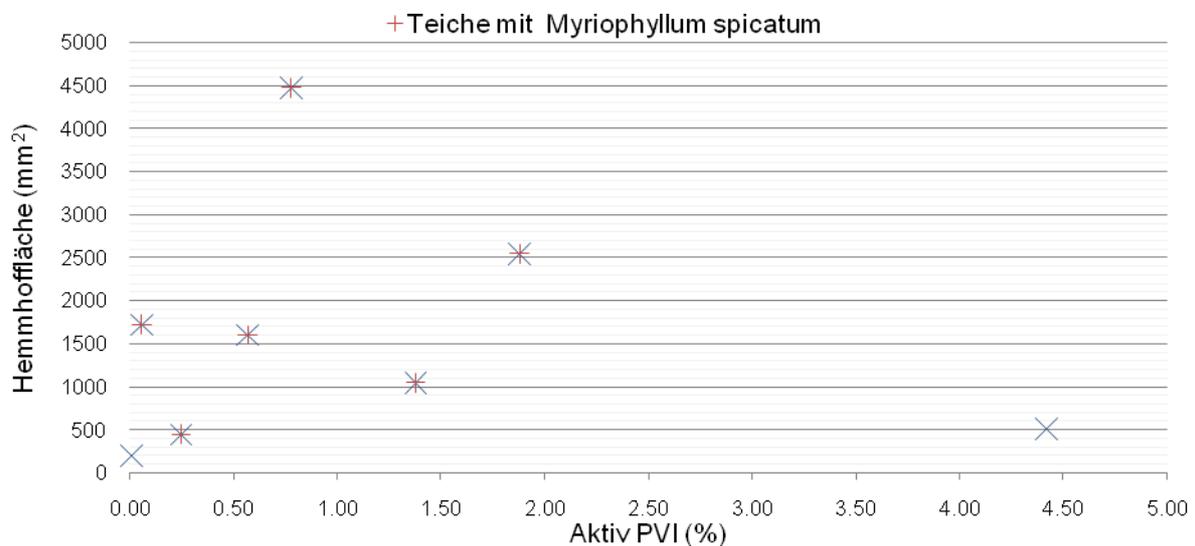


Abbildung 14: PVI der Pflanzen mit allelopathischer Aktivität (Aktiv PVI) und der Gesamthemmung, mit Markierung der Teiche die *Myriophyllum spicatum* enthalten

Es konnte kein klarer Zusammenhang zwischen PVI der bekanntlich allelopathisch aktiven Pflanzen und der Hemmwirkung gefunden werden (Abb. 14).

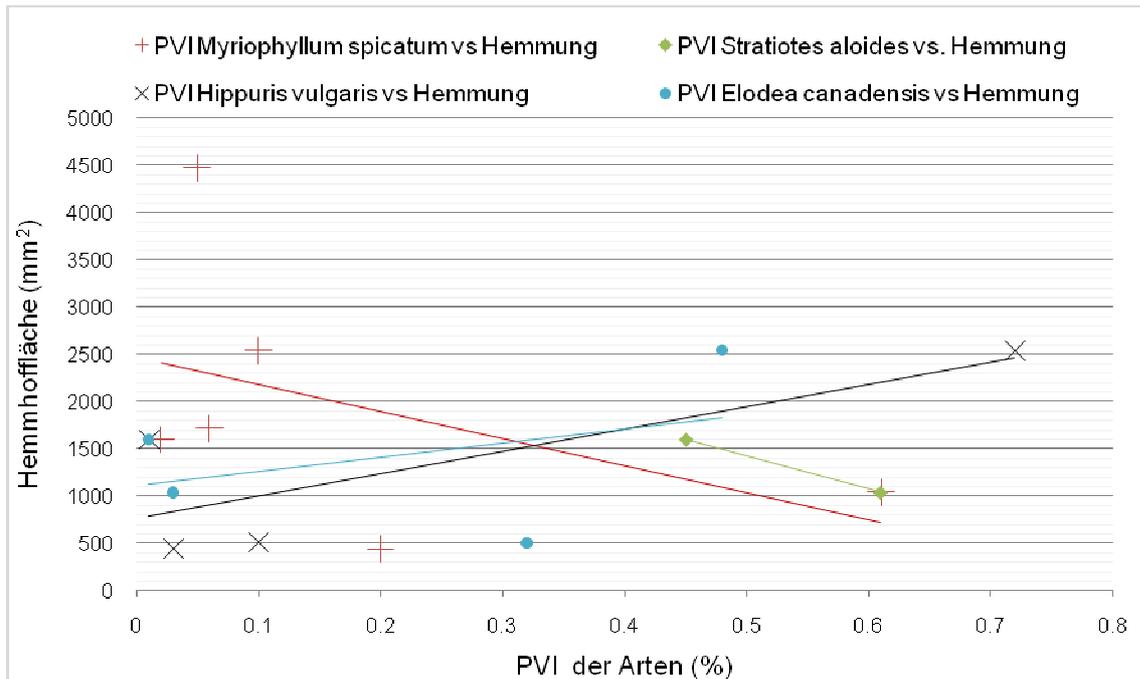


Abbildung 15: PVI der häufigsten vorkommenden, allelopathisch aktiven Pflanzen und die Gesamthemmung

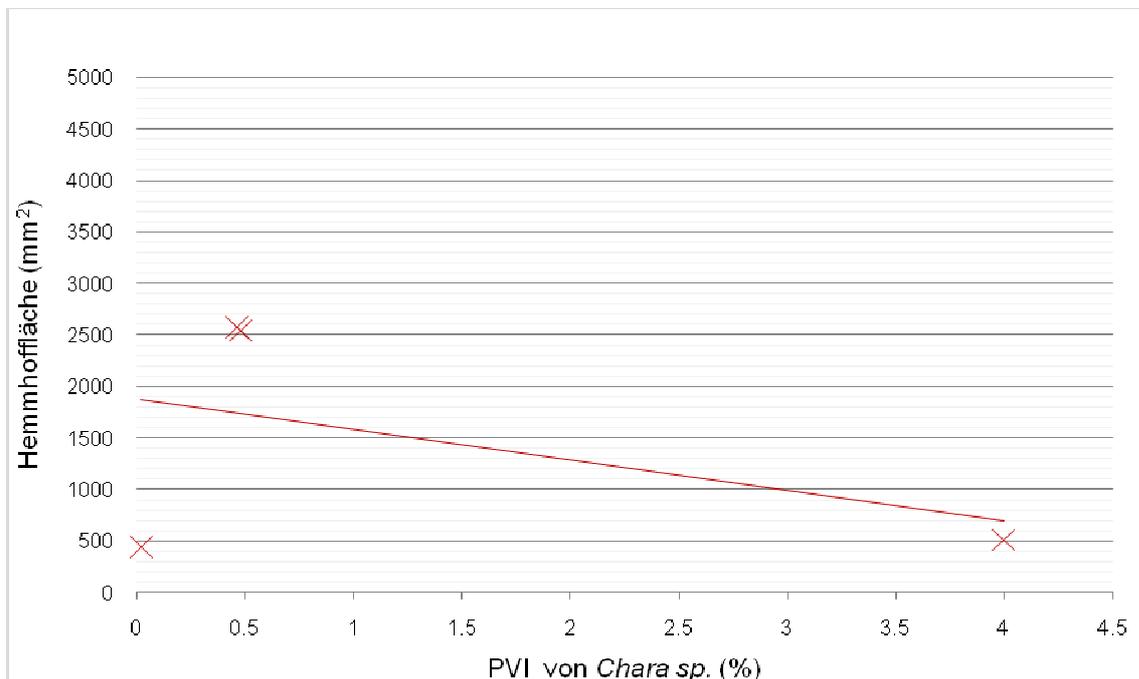


Abbildung 16: PVI von Chara sp. und die Gesamthemmung

Es wurde kein klarer Zusammenhang zwischen den PVI-Anteilen von *Myriophyllum spicatum*, *Chara sp.*, *Stratiotes aloides* und der Hemmung gefunden. Ein geringer positiver Zusammenhang zwischen den PVI-Anteilen von *Hippuris vulgaris* sowie *Elodea canadensis* und der Hemmung konnte gefunden werden (Abb.15 und 16).

4.4. Huminstoffgehalt

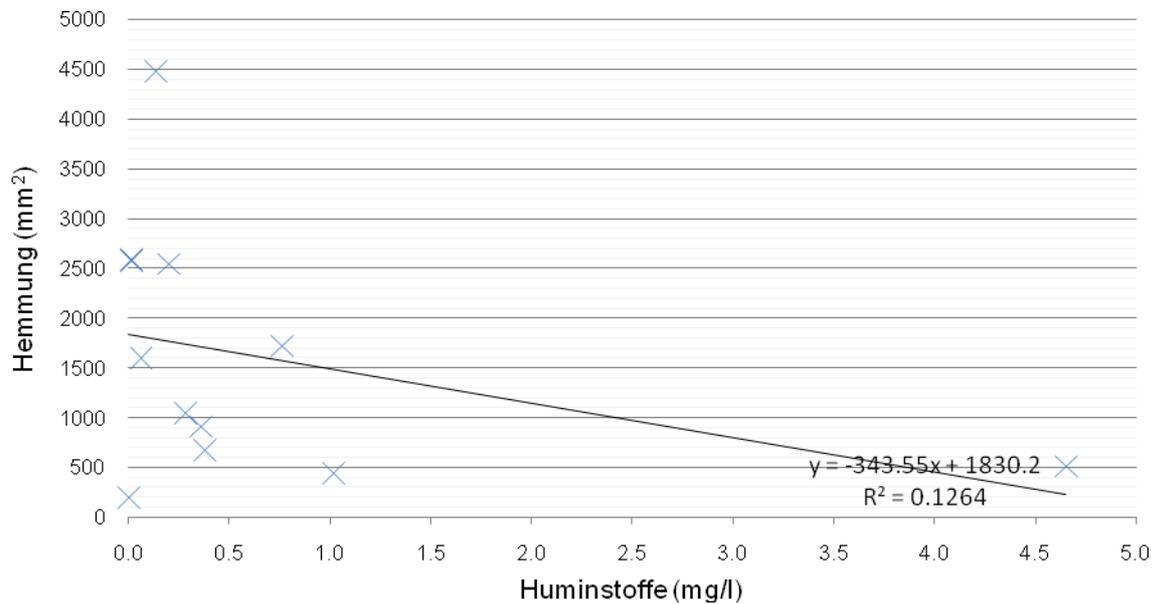


Abbildung 17: Huminstoffgehalt im Vergleich mit der Gesamthemmung

Das Bestimmtheitsmass zwischen der Menge/Anwesenheit der Huminstoffe und der Hemmung war klein. Nur bei Grundmann war ein erhöhter Wert von 4.654 mg/l zu erkennen.

4.5. Chemische Messwerte

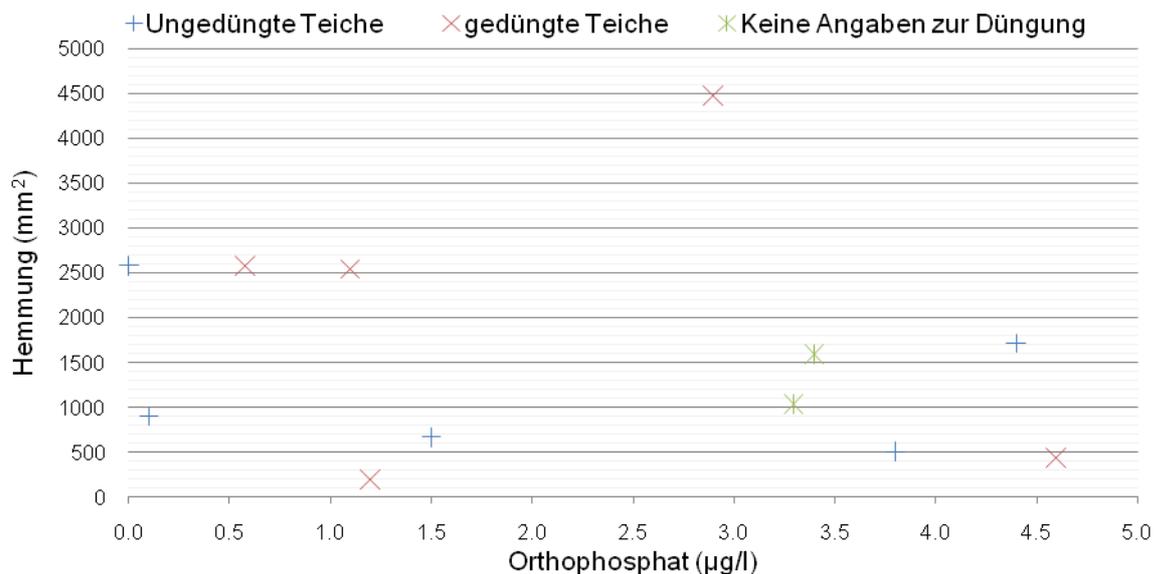


Abbildung 18: Orthophosphat im Vergleich mit der Gesamthemmung

Der Zusammenhang zwischen der Menge von Orthophosphat und der Hemmung war gering und auch die Düngung ergab kein einheitliches Bild.

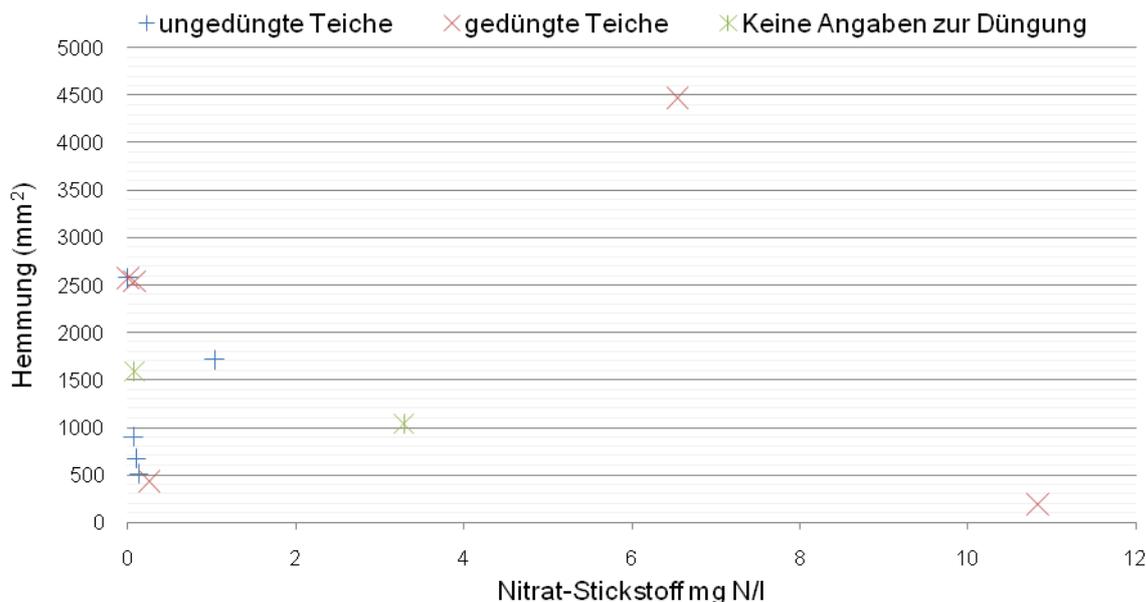


Abbildung 19: Nitrat-Stickstoff im Vergleich mit der Gesamthemmung

Der Zusammenhang zwischen Nitrat-Stickstoff und der Hemmung war gering (Abb. 19).

4.6. Chlorophyll a

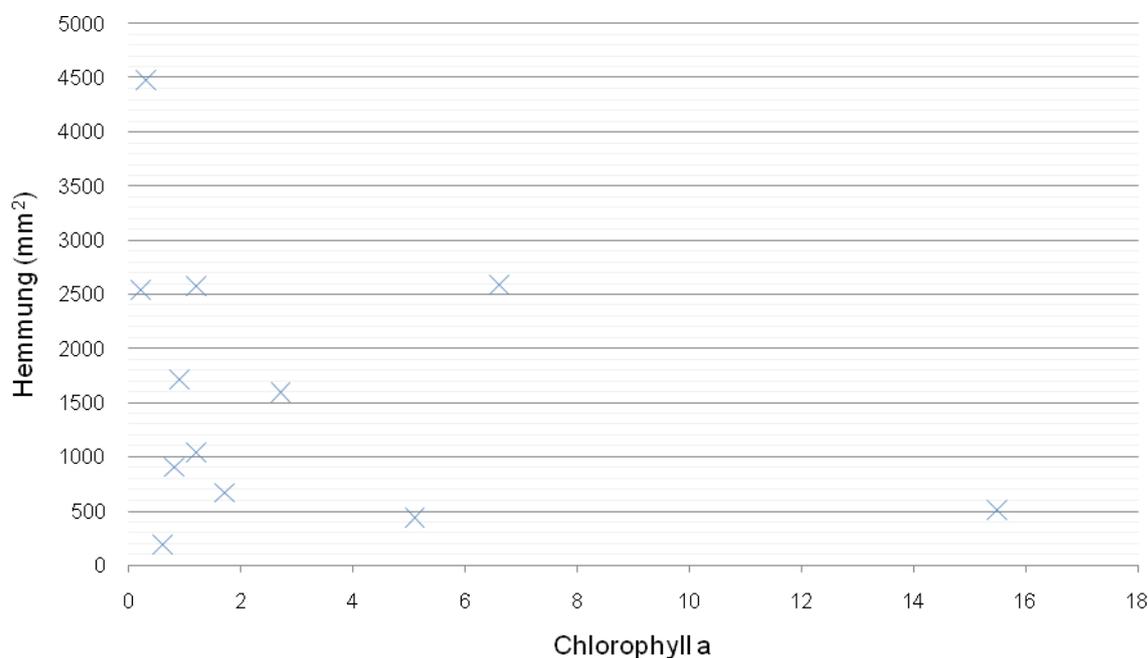


Abbildung 20: Chlorophyll a im Vergleich mit der Gesamthemmung

Es konnte kein direkter Zusammenhang von Chlorophyll a und der Hemmung gefunden werden. Es ist aber ersichtlich, dass kein Teich mit starker Hemmung und starkem Algenwachstum vorhanden ist (Abb. 20).

4.7. Kieselalgen

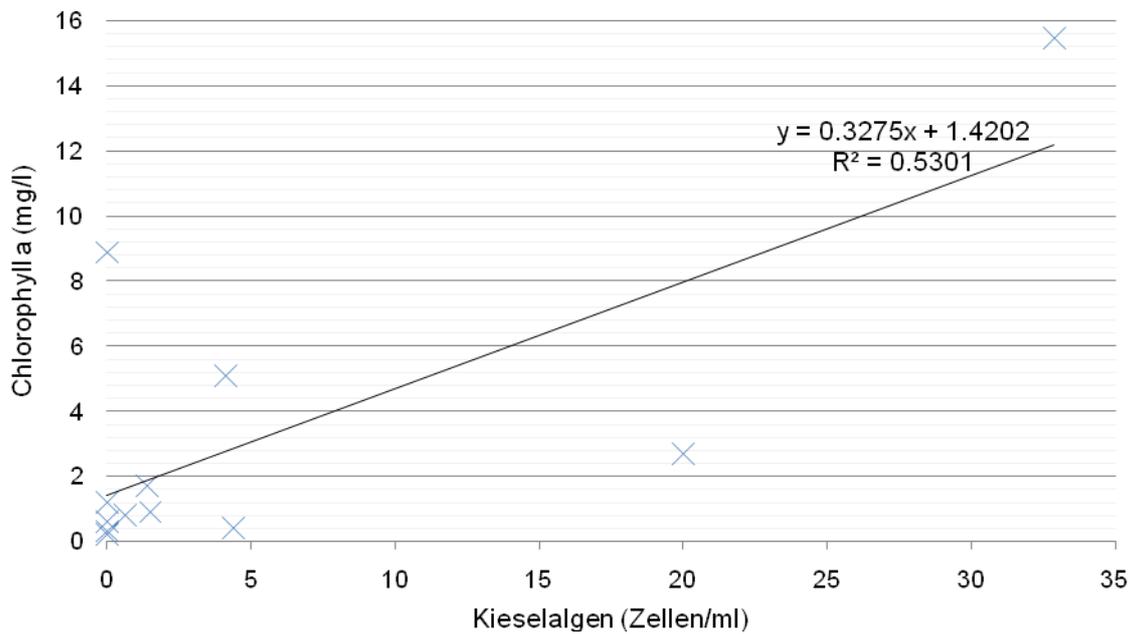


Abbildung 21: Kieselalgenanzahl und Chlorophyll a

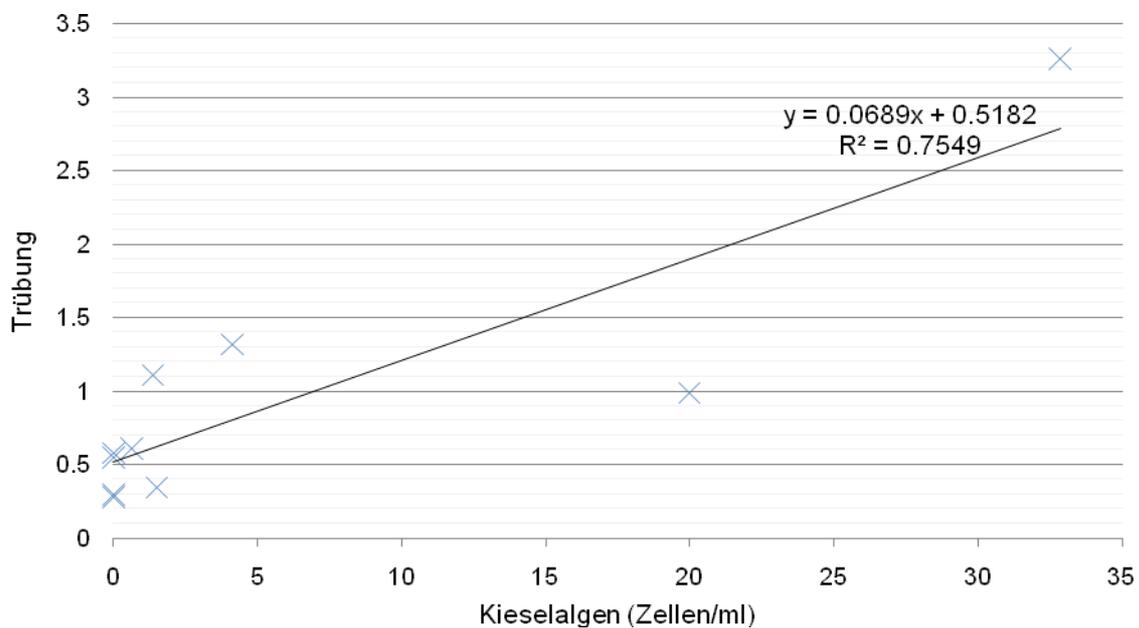


Abbildung 22: Kieselalgenanzahl und Trübung

Zwischen der Kieselalgenzellenmenge und Chlorophyll a sowie der Trübung konnte ein Zusammenhang gefunden werden (Abb. 21 und 22).

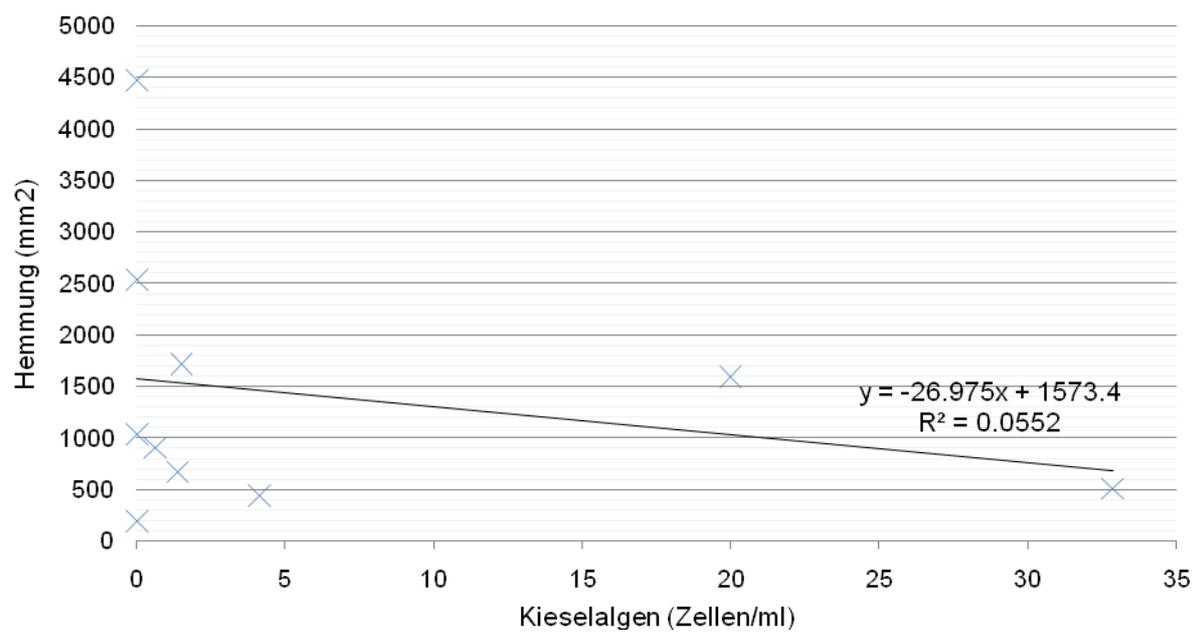


Abbildung 23: Kieselalgenanzahl und die Gesamthemmung

Es konnte kein direkter Zusammenhang zwischen der Kieselalgenanzahl und der Gesamthemmung gefunden werden (Abb. 23)

5. Diskussion

5.1. Diskussion der Resultate

5.1.1. Schwimmteiche und Aufnahmezeitpunkt

Auswahlverfahren

Die aus dem Auswahlverfahren hervorgegangenen Schwimmteiche waren meist zwischen 3-6 Jahre alt, was für ein Ökosystem extrem jung ist (Abb. 12). Der Jüngste (Zwinggi) war erst halbjährig, der Älteste (Meier) 15-jährig. Die Pflanzengemeinschaften waren somit oft noch nicht entwickelt und zeigten allgemein einen eher kleinen PVI auf. Der erwünschte PVI von > 40 % konnte in keinem Schwimmteich erreicht werden.

Aufnahmezeitpunkt

Durch die Momentaufnahme kann nicht beurteilt werden, wie sich die Hemmstoffe im Jahresverlauf verhalten. Wir gehen davon aus, dass zum Aufnahmezeitpunkt aufgrund der hohen Produktivität und des hohen Konkurrenzdrucks durch die Algen auch die Konzentration an Allelochemikalien besonders hoch ist.

5.1.2. Algen

Algenbewuchs

Bei keinem Teich waren am Beckenrand aufsitzende Algen übermässig vorhanden. Die Badebereiche zeigten im Schnitt weniger Algenbewuchs auf, was vermutlich vor allem auf die häufige Reinigung des Badebereichs zurückzuführen ist. Die Wände des Badebereichs werden oft abgebürstet und so von Algenbewuchs befreit.

Die Unterscheidung von umgewälzten und nicht umgewälzten Teichen zeigt auf, dass vor allem die nicht umgewälzten Teiche im Verhältnis weniger Algenbewuchs im Regenerationsbereich als im Schwimmbereich haben (Abb. 12). Man könnte vermuten, dass in nicht umgewälzten Teichen algenhemmende Stoffe länger im Regenerationsbereich verbleiben und dort durch die höhere Konzentration effektiver gegen das Algenwachstum wirken.

Diese nicht umgewälzten Teiche wurden in diesem Fall im Schwimmbereich nur mässig stark von den Bewirtschaftern gepflegt. Somit ist der Algenbewuchs im Schwimmbereich in diesen Teichen im Verhältnis zu Regenerationsbereich stärker als bei gereinigten.

Zusammengefasst ist es also kaum möglich, mit dieser Bewertung Rückschlüsse zu allelopathischen Wirkungen auf festsitzende Algen in der Praxis zu ziehen. Durch die Pflege wird diese Messgrösse vor allem in den Badebereichen stark beeinflusst.

Chlorophyll a

Der Chlorophyllgehalt ist bei Grundmann, Marroés und Zwinggi leicht im Vergleich zu den anderen Teichen leicht erhöht. Dementsprechend sauber wirken die restlichen Teichgewässer. Der Teichgrund ist aber bei allen noch sichtbar. Die Sichttiefen sind grösser als die Teichtiefen (> 2

m). Der Vergleich von Hemmwirkung und Chlorophyll a ergab kein klares Bild. Eine Hemmwirkung auf Algen im Freiwasser kann stattgefunden haben. Wie stark diese Wirkung auf Algen im Freiwasser *in situ* ist, kann mit den vorliegenden Resultaten nicht gesagt werden.

Kieselalgen

Kieselalgen konnten vor allem im Wasser von Grundmann und Seiler gefunden werden und sind in dieser Grössenordnung keineswegs unüblich. Im Vergleich zu den bei Grundmann gefundenen 32 Kieselalgen/ml wurden in anderen Naturbädern von Mai bis September zwischen 3-16'000 Zellen/ml gefunden (Tab. 16). Die Zellzahlen schwanken zeitlich sehr stark.

Eine relativ gute Übereinstimmung zwischen Trübung und Chlorophyll a gegenüber der Kieselalgendichte lässt vermuten, dass der Anteil von Kieselalgen bei diesen Messungen relativ gross ist. Die Evaluation des Kieselalgenaufwuchses könnte für noch mehr Klarheit sorgen.

Tabelle 16: Gefundene Kieselalgenzellzahlen/ml in Untersuchungen (schriftliche Mitteilung, Müller 2008).

Datum	Bad, Bewuchs	Zellzahl/ml
18.07.08	Naturbad Niestetal, mit vielen Makrophyten	36
16.06.08	Naturbad Hüttlingen, mit vielen Makrophyten	1800
15.07.08	Naturbad Hüttlingen, mit vielen Makrophyten	3
15.07.08	Zeven, keine Makrophyten	3
04.09.08	Zeven, keine Makrophyten	630
09.05.08	Naturbad Ebrach, keine Angabe	16'000

5.1.3. Agardiffusionsanalyse

Bilder der Hemmhöfe und Hemmstoffe

Die Bilder der Hemmhöfe zeigen je nach Probe starke Unterschiede. Die klaren, diffusen und ringförmigen Hemmhöfe können ein Zeichen dafür sein, dass verschiedene Hemmstoffe an der Hemmung beteiligt waren.

Die diffusen und klaren Hemmanteile bei K15 und K30 unterscheiden sich im Vergleich teils stark. Während bei K15 oft grosse diffuse Anteile vorhanden sind, nehmen diese bei K30 generell stark ab. Dies kann durch die verschiedenen Konzentrationen oder unterschiedlichen Wirkstoffe entstehen. Manche Hemmstoffe kommen erst in grösseren Konzentrationen zum Tragen. Während gewisse Stoffe in kleinen Konzentrationen eine algistatische Wirkung (diffuses Bild) zeigen, können diese in grösseren Konzentrationen eine letale Wirkung (klare Hemmung) erreichen. So zeigt der sensitivere Organismus PCC 7120 generell weniger diffuse Anteile auf als PCC 6911.

Hemmstoffintensität

Ein Vergleich der gemessenen Hemmflächen (bei der Agardiffusionsanalyse) mit Literaturwerten ist schwierig zu machen. Bis anhin wurden noch keine Schwimmteiche untersucht. Meistens wurde das Wasser um einzelne Pflanzen entnommen, Reinkulturen beprobt oder die Pflanzen über eine bestimmte Zeit in einem Medium belassen. Auch die aufgetragene Menge bei der Agardiffusionsanalyse und die Testorganismen wurden verschieden gewählt. Teilweise wurde im Biotest das Konzentrat aus einem Liter Probe auf einen Spot aufgetragen (Persönliche Mitteilung, Gross, 2008). In der vorliegenden Untersuchung wurden pro Spott das Konzentrat aus 150 ml (K15) bzw. 300 ml (K30) aufgetragen. Dies bei beiden Organismen, also 900 ml insgesamt pro Probeentnahmestelle. Solange man aber keinen anderen Bezug wie PVI hat, kann keine klare Aussage entstehen. Trotzdem wird im folgenden Abschnitt ein Vergleichsversuch mit einer anderen Studie gemacht.

Ceratophyllum demersum und *Najas marina* aus eutrophierten deutschen Seen (Lengenweiler See und Rohrsee) wurden im Labor 24 Stunden in Leitungswasser eingelegt. Die Proben wurden äquivalent zu 5 g Pflanzenfrischgewicht im Biotest mit PCC 7120 verarbeitet. Während *Ceratophyllum demersum*-Wasser bei PCC 7120 keine Hemmung erzeugte, konnte durch *Najas marina*-Wasser eine Hemmfläche von 283.5 mm² (Pflanzenprobe aus Lengenweiler See) bzw. 123 mm² (Pflanzenprobe aus Rohrsee) gemessen werden. Man könnte also sagen, dass bei einer Hemmung von über 283.5 mm² bzw. 123 mm² durch 300 ml (K30) oder 150 ml (K15) Schwimmteichwasserproben, eine stärkere Hemmung erzeugt wurde als mit dem Wasser dass 24 h mit 5 g *Najas marina* oder 5 g *Ceratophyllum demersum* Kontakt hatte (Abb.24).

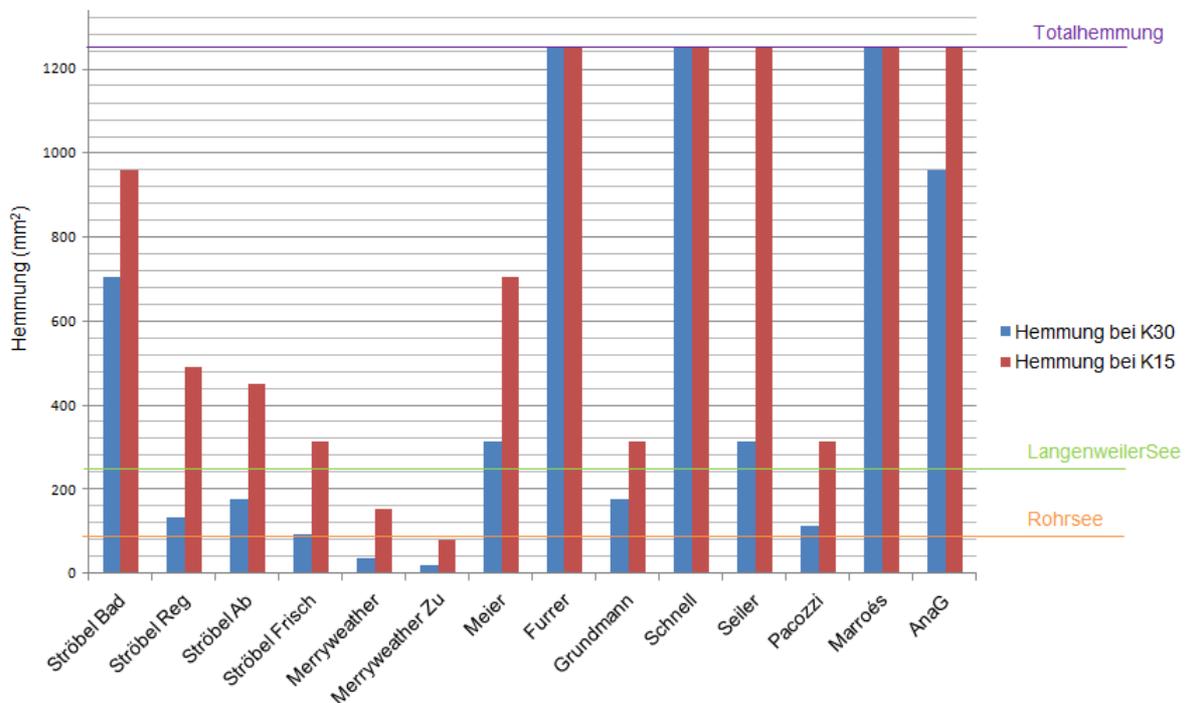


Abbildung 24: Klare Hemmung von PCC 7120 mit K15 (rot) und K30 (blau), sowie die Hemmung durch Wasser (äquivalent zu 5 g Pflanzenfrischgewicht) in welchem *Najas marina* 24 h eingelegt wurde.

Diesen Gedanken könnte man noch weiter verfolgen. So könnte man die Hemmung ausrechnen die entsteht, wenn man alle Stoffe eines Teiches auf den Biotest aufträuffeln würde. Beispiel: Ströbel hätte dann eine Hemmung von 14.5 m^2 (K30 hochgerechnet). Rechnet man das auf *Najas marina* des Lenggenweilensees um, würde das folgendes heissen: Man müsste 255.7 kg Frischgewicht *Najas marina* in Ströbels Teich über 24 h einlegen, dann hätte man die Hemmstoffstärke von Ströbel auch erreicht. Was würde man daraus schliessen? Nicht viel: Erstens sind die Konzentrationen der Hemmstoffe im Schwimmteich vermutlich nicht überall gleich, zweitens entspricht das System Schwimmteich nicht den eutrophierten, natürlichen Gewässern (sogar die gleiche Pflanzenart aus den zwei ähnlichen Seen erzeugten verschiedene Hemmungen) und drittens müsste man das Frischgewicht der Schwimmteichpflanzen im Teich Ströbel kennen. Das Einzige, was übereinstimmt, ist der Organismus PCC 7120 und die Hemmung durch allelopathisch wirksame Stoffe, wobei auch nicht garantiert ist, dass die Hemmstoffarten dieselben sind, denn in den Schwimmteichen kommt *Najas marina* nicht vor.

Positivtests

Als Vergleich wurden Tests mit Tanninsäure (TA)-Fischttestwasser durchgeführt. Da sich dieser Stoff ähnlich verhält wie der in *Myriophyllum spicatum* gefundene Hemmstoff Tellimagrandin II, wäre so ein Vergleich der Wirkstoffstärke der Schwimmteichproben und der Hemmung durch Tanninsäure als Richtwert möglich gewesen. In den durchgeführten Tests konnte jedoch in keiner Konzentration eine Hemmung der beiden Cyanobakterien-Arten durch Tanninsäure festgestellt werden. Es wäre also anzunehmen, dass die, durch die Proben verursachten Hemmungen stärker sind als die Hemmung durch die $600 \mu\text{g}$ TA (stärkster Positivtest bei K30). Es könnte aber auch sein, dass die Tanninsäure nicht richtig am C18 Filter gebunden wurden und somit im Biotest weniger oder keine Hemmstoffe vorhanden waren. Dies wiederum würde bedeuten, dass in einzelnen Ansätzen noch stärkere Hemmungen möglich gewesen wären, was das unklare Gesamtbild erklären würde. Damit ist die Anreicherungs-methode der allelopathisch wirksamen Inhaltsstoffe ein kritischer Faktor, der in zukünftigen Arbeiten genauer evaluiert werden muss. Dennoch könnte auch die Tanninsäurekonzentration lediglich zu gering gewählt sein, da im Wasser um dichte *M. spicatum* – Bestände Tanninsäurekonzentrationen von bis zu $300 \mu\text{g/L}$ detektiert werden konnten (Müller et al. 2005). Welcher dieser beiden kritischen Faktoren zutrifft, sollte abgeklärt werden.

Mögliche Ursache für das Nichtbinden der Tannine

Tanninsäure wird von den C18-Filtern unter sauren Bedingungen (in einem Medium mit pH 2-3) am besten gebunden. Fischttestwasser ist im neutralen pH-Bereich und könnte ein Grund für das Nichtbinden sein. Trifft das zu, kann also vermutet werden, dass auch bei den Schwimmteichproben nicht alle Substanzen an den Filter gebunden wurden, da sich auch diese meist im neutralen pH-Bereich befanden und so könnte die Hemmung *in situ* noch stärker sein.

Eine Ansäuerung und anschliessende Neutralisation des Mediums würde dieses Problem beheben, kann aber die Salzkonzentration beeinflussen, womit eine neue Fehlerquelle eintritt. Eine Ansäuerung mit Essigsäure wäre möglich, hat sich bei Versuchen allerdings sehr unterschiedlich bewährt (Persönliche, Mitteilung Gross, 2008).

Negativtests

Der Negativtest T0 hat wie erwartet bei beiden Organismen keine Hemmung verursacht. Der Negativtest mit Reinstwasser hingegen, zeigt bei beiden Organismen eine Hemmung. Bei PCC 6911 mit K30 wurde eine Hemmfläche von 28 mm² bei PCC 7120 mit K30 eine Hemmfläche von 755 mm² gemessen. Die Gründe dafür sind schwierig zu eruieren. Ursachen könnten Verunreinigungen im Filter, Filterhalter, Trichter oder Gefäss sein. Ein genereller Fehler in den Feldmethoden sollte nicht verantwortlich sein, da bei anderen Proben gar keine oder eine geringere Hemmung stattgefunden hat. Ein Fehler bei der Agardiffusionsanalyse ist auch mit grosser Wahrscheinlichkeit auszuschliessen, da der zweite Negativtest sowie die Positivtests keine Hemmung aufzeigten. In der weiteren Diskussion wird dieser Negativtest nicht mehr miteinbezogen, die Möglichkeit einer Fehlerquelle kann allerdings nicht ausgeschlossen werden.

Allelopathisch aktive Stoffe der einzelnen Schwimmteiche, potenzielle Hemmstoffquellen und Spezialfälle

Im folgenden Abschnitt ist oft von einigen allelopathisch bekanntlich aktiven Pflanzen die Rede. Dies bezieht sich auf die Pflanzen in der Tabelle 5.

Merryweather

PCC 6911 hat keine und PCC 7120 nur eine geringe Hemmwirkung aufgezeigt.

Der Schwimmteich ist von einem regelrechten Pflanzensterben betroffen und weist einen PVI von nur 0.38 % auf. Die Messungen haben stark erhöhte Werte bei Leitfähigkeit, Nitrat und Wasserhärte ergeben. Die Ursache dafür können vielfältig sein. Sehr wahrscheinlich ist eine viel zu starke Düngung, die Nitratwerte liegen rund Faktor sechs über dem Zielwert von 10 mg N/l (Graber und Wesner, 2007). Ebenfalls möglich wären eingebrachte Stoffe während der Erstellung, über Hangwasser oder durch andere äussere Faktoren. Eine ausführliche Überprüfung durch den Schwimmteichspezialisten wäre empfehlenswert. Als erstes sollte nach der Ursache gesucht werden und erst dann gehandelt werden.

Mögliche Massnahmen nach Graber und Wesner (2007) sind:

1. Hangdrainage, Kapillarsperre (sollte Hangwasser das Problem sein)
2. Filter ausfaulen, Filter rückspülen
3. Algen entfernen
4. Wände reinigen
5. Pflanzen nachsetzen
6. Wasser zu einem grossen Anteil wechseln (ca. 90%). Füllwasser: phosphorarmen Bezug sicherstellen (Frischwasser testen lassen)
7. Wasserwerte nach ein paar Tagen überprüfen
8. Evt. Nachdüngen (Richtwerte siehe Tabelle 4 unter Düngung)

Meier

Der diffuse Anteil der Hemmung von PCC 6911 ist auffällig gross. Bei der Hemmung von PCC 7120 ist der grösste Anteil allerdings klar. Grund dafür könnte die Sensitivität von PCC 7120 im Vergleich zu PCC 6911 sein.

Ursache dafür könnten die allelopathisch aktiven *Chara fragilis* und *Stratiotes aloides* sein.

Zwinggi

Bei beiden Testorganismen konnte kein Algenwachstum festgestellt werden. Mögliche Ursachen wäre eine Totalhemmung durch Hemmstoffe oder das nicht Anwachsen der Algen.

Eine Totalhemmung durch die Pflanzen ist bei einem PVI von 0.19 % grundsätzlich nicht zu erwarten, von den gefundenen 19 Arten sind aber 5 bekanntlich allelopathisch aktiv. Ob die Hemmung durch Pflanzen, Mitteleinsatz, oder Bausubstanzen verursacht wurde oder die Cyanobakterien im Labor nicht richtig anwachsen konnten, bleibt offen.

Der Teich hatte zum Zeitpunkt der Aufnahme ein Alter von einem halben Jahr erreicht und befand sich gerade in der ersten Grüntrübungsphase (Chlorophyll a: 8.9 mg/l, Sichttiefe bis Boden), die in diesem Teichalter als voraussehbarer ökologischer Vorgang zu bezeichnen ist. Innerhalb dieser kurzen Akklimatisierungszeit konnten sich die Pflanzen noch nicht vollständig etablieren und zeigten möglicherweise deshalb ein eher schlechtes Wachstum.

Schwarzer und Schwarzer schreiben (2008) dazu: „Eine solche Algenblüte ist erklärbar durch die Jugend des Lebensraumes Schwimmteich. Selbst bei der richtigen „Mischung“ aller Komponenten, können schon ein paar Sonnentage den Algen beste Bedingungen für eine massenhafte Vermehrung bescherehen. Als sehr einfach gebaute Organismen haben sie gegenüber den gerade erst eingesetzten Pflanzen einen Vorsprung, weil sie binnen Stunden ihre Individuenzahl vervielfachen können.“ Vor allem bei phosphorhaltigem Frischwasser kann dies vorkommen und kann durch Abkäschern von Fadenalgen auch als Phosphorsenke dienen. Ein Fadenalgenbewuchs bis 10 % der Wasseroberfläche wird als unproblematisch angesehen, kann aus ästhetischen Aspekten aber entfernt werden. Beim Wachstum von nichtfadenbildenden, sogenannten kokkalen Algen (bei Zwinggi der Fall), wird die Sichttiefe von weniger als einem Meter als problematische Richtgrenze genommen. Aber auch eine Sichttiefe von unter einem Meter im Frühjahr muss nicht dringend eine Massnahme erfordern, denn meistens setzt das Pflanzenwachstum etwas später ein. Die Pflanzen konkurrieren in ihrer Wachstumsphase automatisch wieder mit den Algen unter anderem um Nährstoffe, wodurch das Wasser wieder klarer wird. Wenn dies nicht geschieht, sollten nicht nur Symptome bekämpft werden, sondern die Ursachen für das Algenwachstum gesucht werden (Siehe auch Kapitel „Algen im Schwimmteich“) (Schwarzer und Schwarzer, 2008).

Furrer

Die Proben von Furrer haben nur bei PCC 6911 mit K15 die Messgrösse nicht überschritten, es war aber bei allen Proben noch Algenwachstum an einzelnen Randstellen sichtbar. Daraus lässt sich schliessen, dass eine starke Hemmung stattgefunden hat. Von den bekanntlich Hemmstoff produzierenden Pflanzenarten fällt vor allem der Neophyt *Myriophyllum aquaticum* mit einer sehr starker Wuchsform und einem PVI von 0.7 % auf. Die übrigen allelochemisch aktiven Pflanzenar-

ten beleben weniger als 0.01 % des gesamten Wasservolumens (Tab. 5) Das Testen dieses Pflanzenmaterials auf Allelochemikalien wäre für zukünftige Studien sehr interessant.

Grundmann

Trotz verhältnismässig grossem totalen PVI von 9.01 % und vier allelopathisch aktiven Pflanzenarten mit einem PVI von zusammen 4.42 % (wovon 4 % alleine *Chara sp.* ausmacht) bleibt die Wachstumshemmung der beiden Cyanobakterien relativ gering. Der Teich ist verhältnismässig sauer, trüb, weist einen hohen Chlorophyll a- und Huminstoff-Gehalt sowie eine leicht erhöhte Kieselalgendichte auf. Zudem ist er sauerstoffuntersättigt. Der Schwimmteich wurde nicht umgewälzt. Die erhöhte Konzentration an Huminstoffen zeigt den erhöhten Abbau von organischem Material an. Laubeintrag durch Bäume und Sträucher ist bei der Einbettung dieser Anlage in die Hecke nicht zu verhindern. Sollte klareres Wasser als Ziel angestrebt werden, müsste vor allem das Sediment abgesaugt und absterbende Biomasse entfernt werden.

Ursache für die geringe Hemmung könnte sein, dass der Teich durch die abgestellte Umwälzung und die windgeschützte Lage eine geringe Wasserbewegung aufzeigt und die Hemmstoffe somit nur langsam in den Badebereich (Ort der Probeentnahme) gelangen. Ob und wie stark die allelopathisch aktiven Stoffe zur Wasserqualität beitragen kann nicht abschliessend gesagt werden.

Schnell

Die Testorganismen haben auffallend unterschiedlich auf die Hemmstoffe reagiert. Während PCC 6911 nur eine kleine Hemmung aufzeigte, wird PCC 7120 schon in der geringeren Konzentration über den messbaren Bereich gehemmt (Algenwachstum an einzelnen Stellen sichtbar). Die Hemmung könnte mit den vielen allelopathisch aktiven Pflanzenarten in Zusammenhang gebracht werden. *Hippuris vulgaris* (PVI 0.72 %) *Chara sp.* (PVI 0.48 %) und *Elodea canadensis* (PVI 0.48 %) sind hier unter den bekannten allelopathisch aktiven Arten am stärksten vertreten (Total 1.88 % AC-aktiv).

Ender

PCC 6911 zeigt in diesem Gewässer nur wenig hemmende Stoffe an. PCC 7120 ist total gehemmt oder der Organismus wuchs nicht richtig an. Es sind keine Algenspuren sichtbar. Die Umwälzpumpe in diesem Teich ist zum Aufnahmezeitpunkt seit einem Jahr defekt. Das Teichwasser erscheint dennoch sehr klar und soll auch im Jahresverlauf trotz seltener Reinigung und keinen Eingriffen mit Mitteln keine Trübung oder Algenwachstum zeigen. Dies kann zu einem Teil durch geringe Nährstoffeinträge und dem grossen Regenerationsbereich begründet werden. Inwiefern die Allelopathie ihren Beitrag leistet, ist schwierig abzuschätzen, da die Tests kein klares Bild ergeben. Eine Mehrfachbeprobung für weitere Rückschlüsse wäre in diesem Fall interessant.

Seiler

Ähnlich wie bei Meier findet im Gegensatz zu PCC 6911 bei PCC 7120 mit K30 eine starke Hemmung statt. *Stratiotes aloides* (PVI 0.45) könnte auch hier für diese Stoffe verantwortlich sein. Bei diesem System wird ein Pflanzenteil über einen kleinen Bach durchströmt, der zweite Regenerationsteil ist kaum einer Strömung ausgesetzt. Allfällige Hemmstoffe werden also unterschiedlich gut in den Badebereich gespült.

Ähnlich wie bei Meier findet im Gegensatz zu PCC 6911 bei PCC 7120 mit K30 eine starke Hemmung statt. *Stratiotes aloides* (PVI 0.45) könnte hier für die Hemmstoffe verantwortlich sein. In dem vorliegenden Schwimmteichsystem wird ein Pflanzenbereich über einen kleinen Bach durchströmt, der zweite Regenerationsteil ist kaum einer Strömung ausgesetzt. Allfällige Hemmstoffe werden also unterschiedlich gut in den Badebereich gespült. Verschieden starke Algenvorkommen in den zwei Bereichen konnte aber nicht beobachtet werden.

Pacozzi

Auch bei Pacozzi war die Hemmung von PCC 6911 sehr gering und wurde vor allem bei PCC 7120 sichtbar. Mit einem relativ geringen PVI von 3.6 % und einem aktiven PVI von 0.25 % ist die Hemmung im Vergleich zu den übrigen Teichen als relativ stark zu bezeichnen. Grund dafür könnte hier eine gute Verteilung der Stoffe durch die Strömung im Pflanzenbereich sein. Ein Bächlein fließt durch einen Kieskörper und gelangt so zurück in den Pflanzenbereich. Bis ein allfälliger Abbau der Allelochemikalien durch die Kiesfilterorganismen stattfinden kann, müssen diese zu erst das Schwimmbecken passieren um zum Skimmer zu gelangen.

AnaG

Das Bad mit auffällig grossem Regenerationsvolumenanteil zeigt bei PCC 6911 eine mittlere, bei PCC 7120 eine sehr starke hemmende Wirkung. Mit *Chara sp.* und *Myriophyllum sp.*, welche grössere Flächen bedecken, sind potenziell Pflanzen vorhanden, die diese Wirkung verursachen könnten. Zu PVI sind keine Angaben vorhanden.

Ströbel und Marroés

Werden in den folgenden Abschnitten speziell betrachtet.

Allelochemikalien in Schwimmteichen mit Kiesfilter (Ströbel)

Die Hemmung von PCC 7120 war im Badebereich vor dem Kiesfilter (Probe „Ströbel Bad“) am stärksten (Abb. 3 unten). Im Regenerationsteich (Probe „Ströbel Reg“) nahm die Hemmung ab und veränderte sich bei Betrachtung beider Konzentrationen (K15/K30) nur noch gering nach dem Kiesfilter (Probe „Ströbel Ab“). Es wäre also zu vermuten, dass die Hemmstoffe durch den Kiesfilter zu einem Teil zwar abgebaut wurden, aber nach dem Kiesfilter immer noch genügend Substanzen für eine Hemmung der Cyanobakterie PCC 7120 vorhanden sind. Eine mögliche Quelle der Hemmstoffe könnte der am Badebereich-Rand angesiedelte *Myriophyllum spicatum* Bestand sein, der aber einen PVI von nur 0.06 % aufweist.

Bei der Betrachtung der Hemmung von PCC 6911 an denselben Stellen ergibt sich ein anderes Bild. Die höchste Konzentration wird nach dem Kiesfilter (Probe „Ströbel Ab“) gefunden. Die Hemmung im Schwimmbereich (Probe „Ströbel Bad“) und im Kiesfilter (Probe „Ströbel Reg“) sind fast identisch.

Zu beachten ist, dass bei dieser Anlage die Strömungen schwierig zu evaluieren sind. Das Wasser wird im Kiesfilterteich von der Umwälzpumpe angesogen und wird passiv (Niveausgleich) vom Schwimmbereich in den Kiesfilter „nachgedrückt“. Gleichzeitig wird im Normalbetrieb Wasser über den Skimmer angesogen. Dieser wurde bei den Probeentnahmen über einen Regler abgestellt. Es ist also schwierig abzuschätzen, von wo genau das Wasser für die Probe „Ströbel Ab“ herkommt und ob vom Normalbetrieb auch Hemmstoffe in den Leitungen waren. Auch wurden die Wasserproben „Ströbel Reg“ über dem Kiesfilter genommen. Möglich ist also, dass dieses Wasser nicht exakt dem Wasser im Kiesfilterkörper entspricht. Nimmt man an, dass Pflanzen im Regenerationsteich auch Wurzelexsudate ausscheiden (*Phragmites australis* ist vorherrschend), ist es möglich, dass die Hemmstoffe erst bei der Probe nach dem Kiesfilter (Probe „Ströbel Ab“) eine Wachstumshemmung verursachen.

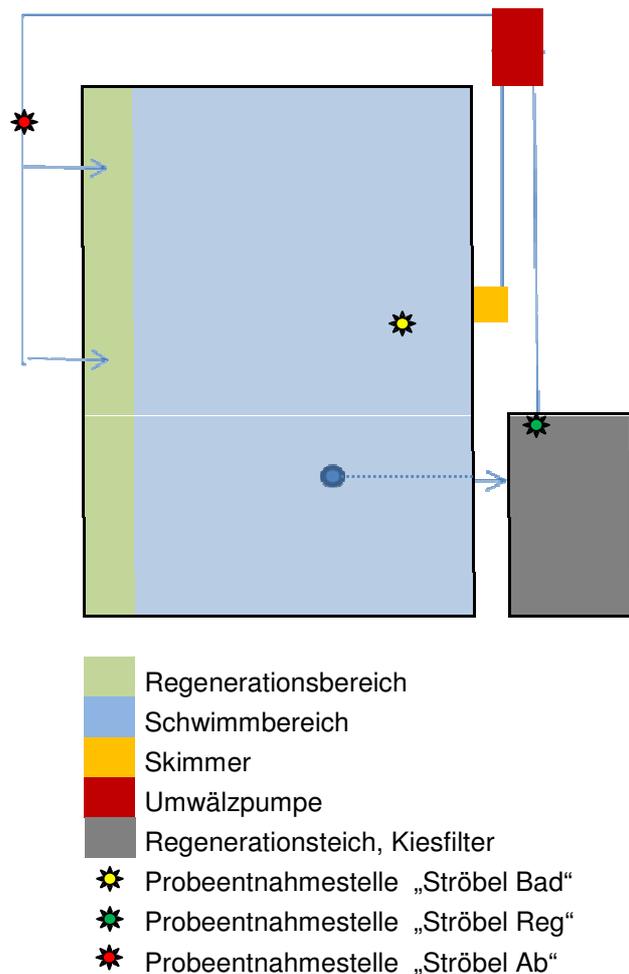


Abbildung 25: Funktionsschema Schwimmteichsystem Ströbel

Grundsätzlich wäre beim Teich Ströbel mit keiner grossen Hemmung zu rechnen gewesen. Der totale PVI sowie die Anzahl der bekanntlich aktiven Pflanzen sind minimal. Es könnte jedoch sein, dass durch die starke Umwälzung dieses Teiches ($15 \text{ m}^3/\text{h}$) die Stoffe sehr rasch im System verteilt werden und diese so trotzdem eine Wirkung im gesamten Teich haben. Die übrigen Messdaten sind, abgesehen von der etwas hohen Wasserhärte, alle im guten Bereich. Das Wasser ist nährstoffarm und weist eine geringe Trübung sowie ein geringer Huminstoffgehalt auf. Algen gibt es abgesehen von ein paar fädigen Grünalgen wenig.

Da in diesem Teich auch schon im Frischwasser eine geringe Menge an Hemmstoffen gefunden wurden und zusätzlich in der Vergangenheit schon mit verschiedenen Algenbekämpfungsmitteln gearbeitet wurde, müsste das System noch genauer überprüft werden, um ganz klare Aussagen machen zu können. Auch wäre interessant, inwiefern sich die Inhaltsstoffe in den Gewässerabschnitten chemisch unterscheiden und ob eine veränderte Hemmwirkung auf spezifische Substanzen zurückzuführen ist.

Allelochemikalien im Schwimmteich ohne Kiesfilter (Marroés)

PCC 6911 wurde durch die Probe „Marroés Reg“ stärker gehemmt als die des Schwimmbereiches. Bei PCC 7120 wird durch die Probe des Schwimmbereiches die messbare Hemmhofgrösse überschritten und bei der Hemmwirkung durch die Probe des Regenerationsbereiches findet kein Algenwachstum mehr statt.

Ein *Eleocharis sp.* Bestand könnte für die Hemmstoffproduktion in Frage kommen. Leider sind dazu keine PVI-Daten und keine genaue Artenbestimmung vorhanden.

Das Wasser wird bei diesem Teich im Pflanzenbereich angesogen und gelangt über einen Bachlauf in den Badebereich. Die Hemmtests lassen darauf schliessen, dass die im Pflanzenbereich produzierten Hemmstoffe auf dem Weg zum Badebereich (Leitungen, Pumpe, Bachlauf) oder auch erst im Badebereich leicht abgebaut werden, aber immer noch in genügend grossen Konzentrationen vorkommen. Auch hier könnte die Umwälzung als Verteiler der Hemmstoffe positive Auswirkungen auf das Algenvorkommen im Schwimmbereich haben.

5.1.4. Pflanzenbestand

Pflanzenarten

Meistens waren die vorgefundenen Pflanzenbestände wenig durch Platzkonkurrenz geprägt und befanden sich noch am Anfang der Entwicklung. Die Teiche wurden überwiegend mit vielen kleinen Horsten bepflanzt die sich langsam vergrössern oder auch zum Teil absterben.

Die genaue Entwicklung der künstlich angelegten Schwimmteiche ist bei der Planung schwierig voraussehbar (Nährstoffe, die Wasserqualität, Licht etc. im Teich). Die Standortgerechtigkeit der Pflanzen ist daher auch nicht endgültig voraussehbar. Deshalb ist es normal, dass einige Pflanzen absterben und sich andere verbreiten. Mit dem Setzen von vielen verschiedenen Arten kann so in verhältnismässig kurzer Zeit eine relativ angepasste Pflanzengesellschaft entstehen. Oft wird die Bestandesentwicklung vor allem aus ästhetischen Gründen auch durch Eingriffe (Nachpflanzen/Ausreissen) beeinflusst.

Eine Hypothese wäre, dass die künstlich entstandene Pflanzengemeinschaft, die sich durch Eingriffe immer wieder ändert, ausschlaggebend für eine starke allelopathische Wirkung sein könnte. Die in der Literatur erwähnte "Rabotnov's Hypothesis" (1974) würde dies zu einem Teil unterstützen.

Aus der Pflanzenaufnahme geht hervor, dass einige allelopathisch aktive Pflanzen vorhanden sind (Tab. 14). Der grösste Anteil der AC-aktiven Pflanze über alle Teiche machten *Chara sp.*, *Stratiotes aloides* und *Myriophyllum spicatum* aus.

Pflanzenvolumenindex (PVI)

Die allelopathische Aktivität wird in der Literatur oft mit Monokulturen oder grossen PVI in Verbindung gebracht. Die schweizerischen und portugiesischen Systeme unterscheiden sich hierbei stark.

PVI Schwimmteiche Schweiz

Die Teiche sind oftmals so bemessen, dass ca. 50 % der Wasserfläche der Regeneration dienen. Da Regenerationsbereiche aber um einiges flacher sind als die Schwimmbereiche, ist bei der schweizerischen Bauweise ein PVI von 40 % gar nicht erreichbar. Dies wird am Beispiel Ender sehr gut ersichtlich. Trotz einem hohen Regenerationsflächenanteil von 61 % beträgt der Regenerationsvolumenanteil und somit potenzielle PVI lediglich 19 %.

Auf Grund der Pflegeeingriffe und der hauptsächlich geringen Alter kann zwischen Alter und ausgeschöpften PVI kein deutlicher Zusammenhang zustande kommen (Abb. 12). Der älteste Teich Meier hat nach 15 Jahren den potenziell möglichen PVI zu 28 % ausgeschöpft, der zweitälteste Teich Grundmann nach 11 Jahren zu 83 %. Bei neu erstellten Teichen ist der PVI erstaunlich gering (Seiler 10 % nach 1 Jahr, Zwinggi 2 % nach 0.5 Jahr). Es wurde also relativ wenig bepflanzt oder ein Teil davon stirbt rasch ab. Eine starke Abweichung zeigt Merryweather (6 Jährig), dessen Pflanzen ein generelles Sterben aufzeigen. Die meisten Schwimmteiche haben den potenziellen PVI zu 1-30 % ausgeschöpft.

PVI Schwimmteiche Portugal (Marroés und AnaG)

Den portugiesischen Angaben zufolge, ist das Regenerationsvolumen grösser als der Schwimmbereich. Bei vollem Bewuchs wäre ein PVI von bis 53 % respektive 56 % möglich. Angaben zum effektiven PVI der Teiche Marroés und AnaG sind leider nicht vorhanden.

PVI der bekanntlich allelopathisch aktiven Pflanzenarten

Ein grosser PVI alleine bringt aus allelopathie-strategischer Sicht nicht viel, so lange keine allelopathisch aktiven Pflanzenarten vorhanden sind. Deshalb wurde der so genannte „aktive PVI“, der nur den PVI der bekanntlich aktiven Pflanzenarten mit einbezieht, der Hemmung gegenüber gestellt. Dies mit der Vermutung dass die allelopathische Wirkung von der Grösse des aktiven PVI abhängig ist. Es konnte mit den vorhandenen Daten nicht klar bestätigt werden (Abb. 14).

Ein weiterer Versuch, die Allelochemikalien mit einzelnen Pflanzenarten-PVI in Verbindung zu bringen, zeigte ein unklares Bild. Demnach würde bei steigendem PVI von *Hippuris vulgaris* die Wachstumshemmung der Cyanobakterien auch steigen. Diese Datenmengen sind aber zu gering, um dies zu bestätigen. Bei *Stratiotes aloides*, *Elodea canadensis* und *Chara sp.* wird kein logischer Zusammenhang gefunden oder die Datenmenge war sehr gering. *Myriophyllum spicatum* konnte zwar nicht mit dem eigenen PVI und der Hemmung in Zusammenhang gebracht werden, ist aber fast bei allen Schwimmteichen vorhanden, deren Wasserproben eine starke Hemmung der Cyanobakterien erzeugt haben.

Physiologische Qualität der Pflanzen

Bei der Betrachtung der physiologischen Qualität wird noch deutlicher, dass einige Pflanzen von anderen verdrängt oder durch die schlechte Standortgerechtigkeit sterben werden. Die Qualitätsbeurteilung zeigt, dass der prozentuale Anteil der qualitativ hochwertigen Pflanzen mit dem Teichalter tendenziell steigt und der Anteil an schlechter Qualität generell eher abnimmt (Tab. 15). In diesem Zusammenhang gibt es allerdings auch sehr starke Ausreisser.

5.1.5. Wasserchemie

Eine erhöhte Trübung konnte nur bei Grundmann festgestellt werden, die mit den erhöhten Chlorophyll-, Kieselalgen- und Huminstoffgehalten erklärbar ist.

Das Bestimmtheitsmass zwischen den Huminstoffen und der Hemmung ist klein. Ein Zusammenhang mit der Hemmung kann nicht gefunden werden.

Abgesehen von Merryweather sind alle Schwimmteiche relativ nährstoffarm und haben somit einen der wichtigen Grundsteine gegen das Algenwachstum gelegt.

5.1.6. Fazit

Stoffe, die auf Cyanobakterien (*Anabaena* PCC 6911 und *Synechococcus* PCC 7120) wachstumshemmend wirken, kommen in Schwimmteichen vor. Trotz relativ kleinen Pflanzenbeständen und geringem Vorkommen allelochemisch aktiver Pflanzenarten, kann eine hohe Wachstumshemmung vorhanden sein. Die genaue Herkunft dieser Hemmstoffe und die effektive ökologische Relevanz konnte nicht deutlich aufgezeigt werden.

Stützt man sich auf die Kontrollfragen von Willis (1985), die im Literaturteil (Kapitel 2.4.1) aufgelistet wurden, sieht das so aus:

- 1.) Eine Hemmung muss aufgezeigt werden
 - ➔ Ja, anhand von zwei Cyanobakterien-Arten (*Anabaena* PCC 6911 und *Synechococcus* PCC 7120) in Laborversuchen (ADA)
- 2.) Ein möglicher Aggressor muss ein Toxine produzieren
 - ➔ Bekannte allelopathisch aktive Pflanzen sind vorhanden, die Herkunft der wachstumshemmenden Stoffe konnte aber noch nicht klar nachgewiesen werden. Der Nachweis, dass diese ausschliesslich von Pflanzen stammen, fehlt also.
- 3.) Das Toxin muss in die Umwelt entlassen werden
 - ➔ Toxine sind im Freiwasser vorhanden. Dies konnte in der Agardiffusionsanalyse nachgewiesen werden.
- 4.) Diese Toxin muss in der Umwelt transportiert oder akkumuliert werden
 - ➔ Vermutlich werden diese, im Gegensatz zu natürlichen Stillgewässern im Schwimmteich mit Umwälzung, sogar relativ rasch transportiert. Würden diese nicht transportiert, wären die Hemmstoffe nicht auch im pflanzenlosen Schwimmbereich vorhanden.
- 5.) Der Zielorganismus muss die Toxine aufnehmen
 - ➔ Die Cyanobakterien haben diese im Labor aufgenommen. Wurden also quasi dazu gezwungen. Ob und wie stark die Pflanzen, Bakterien, Cyanobakterien sowie Grün- und Kieselalgen diese *in situ* aufgenommen haben, konnte nicht eindeutig beobachtet werden.
- 6.) Die Hemmung kann nicht nur mit physikalischen oder anderen biotischen Faktoren erklärt werden.
 - ➔ Dieser Faktor kann *in situ* kaum ausgeschlossen werden. Die Einflüsse durch andere Faktoren (positiv oder negativ für die Algen) sind extrem komplex. Wie stark beeinflusst z.B. Zooplankton die Grünalgen? Wie stark wurden aufsitzende Algen durch die Reinigungen dezimiert? Wie gross ist der Einfluss durch Nährstoffkonkurrenz?

Es kann also nicht eindeutig gesagt werden, dass Allelopathie einen Einfluss auf die Gewässerqualität in Schwimmteichen hat oder zu einer anderen Jahreszeit hatte. Es bleibt vorläufig bei einer Vermutung. Der Versuch, sich auf literarisches Wissen zu stützen gelingt kaum, da ähnliche Studien fehlen und das Gebiet Allelopathie im Ökosystem Wasser noch nicht bis ins letzte Detail erforscht wurde. Die genaue Verhaltensweise der Stoffe, die exakte Stoffidentität und die Mecha-

nismen denen diese Stoffe im Wasser unterliegen, sind noch nicht genau bekannt. Das Zitat von Gross (2007) („Der endgültige Nachweis einer allelopathischen und nicht andersartigen Wechselwirkung ist nur durch zusätzliche Charakterisierung der aktiven Substanzen möglich“) scheint die einzige Lösung zu sein, wenn man die absolute Sicherheit anstreben möchte.

Die Chance, diese Allelopathie zur Algenhemmung in Schwimmteichen einsetzen zu können, erscheint als sehr nützlich und sinnvoll. Trotz einer gewissen Unsicherheit ist es eine Tatsache, dass diese Stoffe bei gewissen Pflanzen vorhanden sind, diese ausgeschieden werden und Algen dadurch zu einem Teil beeinflusst werden. Sogar als Pessimist kann man im Sinne von „nützt es nichts so schadet es nichts“ zu einem Teil auf diese allelopathisch aktiven Pflanzen zurückgreifen (Tab. 5) und sich vielleicht schon bald über einen algenfreieren Schwimmteich erfreuen. Im Folgenden werden nochmals die wichtigsten Erkenntnisse, Unklarheiten/Schwachpunkte, Vermutungen und Thesen aufgezeigt.

Erkenntnisse

- Stoffe die auf Cyanobakterien wachstumshemmend wirken kommen in Schwimmteichen vor.
- Bei den Teichen mit höheren Anteilen an allelopathisch aktiven Pflanzenarten war auch die Wachstumshemmung der Cyanobakterien tendenziell stärker.
- Für die Wirksamkeit des Pflanzenbewuchses und der möglichen allelopathischen Aktivität der Teichpflanzen spricht, dass keine Probe vorhanden ist, bei der eine starke Hemmung in den durchgeführten Laborversuchen (ADA) und gleichzeitig ein starkes Algenaufkommen (Kieselalgen, Chlorophyll a) in Natura vorhanden ist.
- Die Bauweise der Systeme in der Schweiz und Portugal unterscheiden sich vor allem in der totalen Grösse und dem Volumenverhältnis zwischen Schwimm- und Regenerationsbereich. Die untersuchten schweizerischen Systeme sind auf Grund des oft geringen Platzangebotes mit relativ kleinen Regenerationsvolumen (potenzieller PVI von 10-35 %) ausgestattet und erreichen so im Gegensatz zu den portugiesischen Systemen (potenzieller PVI über 50%) selten grosse Pflanzenvolumenanteile (PVI).
- Die Wachstumshemmung (bei ADA) die durch portugiesische Proben stattgefunden hat, ist im Schwimmbereich vergleichbar mit der Wachstumshemmung die durch schweizerische Proben verursacht wurde. Ein lokaler Unterschied ist also nicht direkt ersichtlich.
- Die Vergleiche der Wachstumshemmung haben gezeigt, dass nicht nur der grosse PVI entscheidend ist.
- Trotz teilweisem Abbau der Stoffe im Kiesfilter sind Hemmstoffe vorhanden. Der Kiesfilter schliesst die Allelopathie also nicht aus.
- Mit den vorliegenden Probeentnahmemengen und der daraus resultierenden Datenmenge kann das effektive Verhalten der Hemmstoffe im System Schwimmteich wie erwartet nicht abschliessend beurteilt werden, kann aber als Grundlage für das Verständnis der Stoffkreisläufe und allfällige weitere Untersuchungen von grossem Nutzen sein.

Vermutungen

- Die Schwimmteiche Seiler und Meier zeigen ein spezielles Bild in der Hemmungsweise auf. Während bei beiden Teichen PCC 6911 kaum oder nur diffus gehemmt wird, kann beim Cyanobakterium PCC 7120 eine starke Hemmung beobachtet werden. Daraus kann vermutet werden, dass ein Hemmstoff vorhanden ist, auf den nur PCC 7120 anspricht und nur in diesen Teichen vorhanden ist. Die gemeinsame, bekanntlich allelopathisch aktive Pflanze, die nur in diesen Teichen vorkommt, ist *Stratiotes aloides*.
- Generell ist nach Literatur zu vermuten, dass vor allem *Hippuris vulgaris*, *Elodea canadensis*, *Myriophyllum spicatum*, *Myriophyllum aquaticum*, *Stratiotes aloides* und *Chara* sp. einen grossen Beitrag zur Hemmwirkung gegen (die getesteten) Cyanobakterien leisten (Tab. 5).
- Es muss in Betracht gezogen werden, dass von den vorgefundenen Pflanzenarten noch weitere allelopathisch aktiv sein können, zu denen noch keine Untersuchungen durchgeführt wurden.

Unklarheiten/Schwachpunkte

- Die Cyanobakterien haben die wachstumshemmenden Stoffe im Labor aufgenommen. Eine Hemmung in situ konnte nicht eindeutig aufgezeigt werden.
- Es kann kein klarer Zusammenhang zwischen Chlorophyll a, Kieselalgen, PVI, aktivem PVI und dem Algenbewuchs gegenüber der Hemmwirkung gefunden werden. Es ist also schwierig abzuschätzen, inwiefern die allelopathischen Stoffe die Wasserqualität beeinflussen. Dies muss eine Wirkung auf diese Algenarten aber nicht ausschliessen, da weitere Faktoren diese Grössen beeinflussen.
- Zwischen Pflanzenarten und der gewünschten Hemmwirkung konnten nur Rückschlüsse zu bekannten allelopathischen Pflanzen (Tab. 5) vermutet werden, da viele kleine Horste von verschiedenen Pflanzenarten in den Teichen vorhanden sind.
- Die Vergleiche in dieser Arbeit gehen aus einer Momentaufnahme hervor. Eine hemmende Wirkung kann z.B. erst kurzer Zeit vor der Probeentnahme eingesetzt haben, so dass die Wirkung auf die Algen erst zu einem späteren Zeitpunkt ersichtlich wird. Oder umgekehrt: Die eigentliche Hemmwirkung hat schon stattgefunden, deshalb sind die meisten Teiche auch glasklar. Bei Zwinggi hat vielleicht die Hemmwirkung gerade zur Aufnahmezeit eingesetzt (Teich mit leichter Grüntrübung) und zeigte deshalb gar kein Algenwachstum mehr auf in der ADA. Es stellte sich also die Frage: Wie stark wäre das Algenaufkommen ohne die vorhandenen Hemmstoffe? Wie viele Hemmstoffe wurden schon für die Algenhemmung „verbraucht“ und wie hoch ist der Beitrag von anderen Parametern zur Wasserreinigung?
- Es kann nicht gesagt werden, ob die algenfreien Agarplatten ganz gehemmt wurden oder die Algen nicht angewachsen sind.
- Der Nachweis, dass die wachstumshemmenden Stoffe ausschliesslich von Pflanzen stammen, fehlt. Andere Hemmstoffquellen (als Pflanzen) können nicht definitiv ausgeschlossen werden. Baumaterialien, Algizide und äussere Einflüsse sollten als Quellen von Hemmstoffen weiter in Betracht gezogen werden.

Thesen

- Da noch viele weitere Faktoren (z.B. Wasserqualität, Nährstoffe, Licht und Temperatur) eine Abgabe von Hemmstoffen beeinflussen können, kann es sein, dass eine Pflanzenart an jedem Standort anders reagieren kann und somit nicht zwingend das gleiche Mass an Allelochemikalien ausscheidet. → Gerade die nährstoffarme Umgebung im Schwimmteich gibt den Pflanzen Anreiz diese allelopathischen Stoffe zu produzieren.
- Durch die künstlich erzwungene Koexistenz der vielen Pflanzenarten in Schwimmteichen kommt die Allelopathie erst richtig zum Zug.
- Die Umwälzung verteilt die allelopathischen Stoffe, so dass sie schnell im gesamten System wirksam werden. Dadurch gelangen diese schnell in das Freiwasser und werden gegen freischwimmende Algen aktiv. Bei nicht umgewälzten Teichen verbleiben die Stoffe länger im Regenerationsbereich und werden zu einem grösseren Anteil von anderen Pflanzen, Epiphyten und Bakterien um- oder abgebaut.
- Am idealsten wäre, aus Allelopathie-strategischer Sicht, wenn die Teiche so gestaltet würden, dass ein Teil des Pflanzenbereichs durchströmt wird (Vorsicht mit Wellenschlag). Dazu sollten strömungsunempfindliche Pflanzen ausgewählt werden.
- Bei richtiger Planung der Schwimmteiche und gezieltem Einsatz von allelopathisch aktiven Pflanzenarten, kann die Algendichte deutlich minimiert werden.

5.1.7. Empfehlungen

Damit die Besitzer langfristig zufrieden sind, scheint es sehr wichtig, dass sich diese auch genügend mit dem Produkt Schwimmteich auseinander setzen und sich bewusst werden, welches die Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme sind.

Aus den Befragungen der Kunden geht hervor, wie unterschiedlich der Schwimmteich als solcher in der Praxis empfunden und gehandhabt wird. Vor allem wurde die sehr unterschiedliche Wahrnehmung bezüglich „sauberem“ und „dreckigem“ Teichwasser ersichtlich. Die Freude von Neukunden ist teilweise schon bei geringem Algenaufkommen getrübt. Ob dies an mangelnder Beratung, an blauäugigen Kunden oder an anderen Faktoren liegt, sei dahin gestellt. Im Gegensatz dazu geben sich einige Teichbesitzer auch mit einem Grünstich im Wasser sehr zufrieden und lassen sich auch bei Trübung nicht vom freudigen Schwimmen abhalten.

Damit algenfreie, oder zumindest algenarme Teiche möglich sind, erscheint vor allem die Handhabung durch die Kundschaft teilweise problematisch zu sein. Sofern die Kunden die grundlegenden Vorgänge und Grundsätze nicht kennen und verstehen, sind sie sich offensichtlich nicht der Konsequenzen ihrer Eingriffe bewusst. Oft scheinen Besitzer dazu zu tendieren, bei kleinen Schwankungen der Algenintensität sofort weitreichende Massnahmen zu tätigen. Weniger ist manchmal mehr, dies scheint bei der Pflege meist kein schlechter Grundsatz zu sein. Pflegemaßnahmen kann zwar kurzfristige Besserungen bewirken, stört das System aber oft und kann längerfristig zum Gegenteil führen. Jeder Eingriff sollte gut durchdacht sein. Deshalb würde ich den Kunden raten, sich über die Grundzüge dieses Ökosystems zu informieren (was sehr spannend ist!) oder die Pflege dem Fachpersonal zu überlassen, damit der Schwimmteich möglichst den Erwartungen entspricht. Es werden teilweise auch Pflege-Abonnemente von Gartenbaufirmen angeboten.

Eine geduldige Betrachtung der Vorgänge und vertiefte Systemstudie würde ich als grösste Chance für die Algenbekämpfung bezeichnen und kann auch die Freude am eigenen Schwimmteich steigern. Denn auch die Gartenbaufirma kann nicht omnipräsent sein. Literatur zu den Vorgängen in Schwimmteichen ist genügend vorhanden. Zu empfehlen ist zum Beispiel: Schwarzer, C. und U. (2008): Schwimmteiche, 136 Seiten, Ulmer, Stuttgart oder das etwas komplexere aber ausführlichere von Mahabadi und Rohlfing (2005): Schwimm- und Badeteichanlagen, 304 Seiten, Ulmer, Stuttgart. Es gibt auch Workshops für Schwimmteichbesitzer oder Besitzergemeinschaften in denen Sie die Grundsätze kennen lernen und vertiefen können.

Allelopathische Stoffe könnten bei der Algenbekämpfung ein Puzzleteil zum Erfolg sein, werden aber kaum als das Wundermittel gegen das Algenwachstum in Schwimmteichen eingesetzt werden können. Damit dieses Puzzleteil aber richtig eingesetzt werden kann, sind weitere Studien bezüglich Allelopathie nötig. Die Liste der AC-aktiven Pflanzen zu beachten (Abb. 5) und diese gezielt und vermehrt zu pflanzen, schadet zumindest nicht und könnte für zukünftige Evaluationen sehr spannend sein. Hohe PVI und die dadurch stärkere Konkurrenz um Nährstoffe, die Beschattung, richtige Pflege und Handhabung des Systems, können für die Algenbekämpfung sehr hilfreich sein.

5.1.8. Ausblick

Mit dieser Arbeit wurde ein erster Schritt in Richtung Algenbekämpfung durch Allelopathie in Schwimmteichen gemacht. Die vorliegenden Resultate konnten zeigen, dass diese Hemmstoffe in den Wasserkörpern der Schwimmteiche vorhanden sind und vermutlich einen gewissen Beitrag zur Wasserqualität leisten. Damit das Potenzial aber genauer abgeschätzt und das Wissen in der Praxis gezielt eingesetzt werden kann, wären weitere Untersuchungen nötig.

- Analyse des entnommenen Pflanzenmaterials könnte mehr Klarheit in diese Arbeit bringen: Sind Hemmstoffe in den vermuteten AC-aktiven Pflanzen vorhanden? „Ein Vergleich mit den in der Pflanze gefundenen Verbindungen ist wichtig, um auf eventuelle Vorläufersubstanzen schliessen oder die insgesamt mögliche Freisetzung aktiver Verbindungen abschätzen zu können“ (Gross, 2007). Interessant wären vor allem: *Eleocharis palustris*, *Utricularia vulgaris* und *Potamogeton lucens* von Ender, *Stratiotes aloides* und *Myriophyllum spicatum* von Meier, *Myriophyllum aquaticum* von Zwinggi und Furrer. Interessant wären im Bezug zu dieser Arbeit natürlich alle entnommenen Pflanzenarten (Tab. 17).
- Die Extraktionsmethode mit C18-Filtern sollte genauer überprüft werden, damit ein wichtiger ungewisser Faktor ausgeschlossen werden kann. Werden wirklich alle Hemmstoffe am Filter gebunden oder muss ein anderer Weg zur Extraktion gefunden werden (durch Ansäuern, oder etwas ganz Anderes)?
- Kontrolle der Positivtests: Ist Tanninsäure geeignet als Vergleichssubstanz oder wird die Substanz in neutralem Medium gar nicht gebunden? Alternativen?
- Gibt es andere Substanzen in Schwimmteichen die eine solche Algenhemmung verursachen könnten? Bausubstanzen? Pflagemittel? Spritzmittel vom Bauern nebenan?
- Strömung durch Umwälzung: Chance als Verteiler von AC? Vergleich von umgewälzten und nicht umgewälzten Teichen im Bade- und Regenerationsbereich. Eventuell Evaluation der Strömung mit Farbe.
- Teiche gezielt mit AC-aktiven Pflanzen bepflanzen, betreiben und evaluieren.
- Wie schnell werden die Hemmstoffe im Freiwasser ab- oder umgebaut? Wasser entnehmen, 1.Probe nach einer Stunde verarbeiten, 2.Probe nach einem Tag, 3.Probe nach einer Woche; abgedunkelte/nicht abgedunkelte Proben; Gekühlte/erwärmte Proben.
- Einbezug aller Algenarten im Freiwasser bei ähnlichen zukünftigen Studien, damit eine Unbekannte mehr miteinbezogen und gestrichen werden kann

5.2. Diskussion der Labormethoden

5.2.1. Agardiffusionsanalyse

Durch die gewählte Methode können keine Stoffgruppen oder effektive Konzentrationen ermittelt werden. Diese wurde gewählt, damit alle hemmenden Stoffe berücksichtigt werden und die Gesamtheit der hemmenden Stoffe zum Tragen kommt. Somit werden auch unbekannte Hemmstoffe mit einbezogen, diese müssen allerdings nicht zwingend pflanzlicher Herkunft sein. Die Abgrenzung von effektiven Pflanzenausscheidungs-Stoffen zu anderen Hemmstoffen ist auf diese Weise nicht vollständig möglich.

Einige Tests zeigten kein Algenwachstum auf. Die Wahrscheinlichkeit, dass dies auf das nicht Anwachsen der Cyanobakterien zurückzuführen ist, liegt bei PCC 7120 bei 6.8 %, bei PCC 6911 bei 0.7 %. Trotzdem kann das nicht Anwachsen natürlich möglich sein, weshalb diese Platten in den Auswertungen nicht miteinbezogen werden. Eine größere Anzahl von Replikaten wäre hilfreich, um solche Ergebnisse zu validieren.

Die Extraktionsmethode mit C18-Filtern wird in der Diskussion der Resultate unter Positivtests behandelt.

5.2.2. Kieselalgen

Probeentnahme, Verarbeitungsmethode und Daten

Da Kieselalgen vermehrt als Aufwuchs auf Steinen im Gewässer zu finden sind und der Anteil von Kieselalgen im Freiwasser verhältnismäßig gering ist, würde ein Vergleich des Kieselalgenbiofilms Aufschluss über die effektiven Kieselalgenvorkommen geben. Mit der verwendeten Methode werden nur die planktischen Kieselalgen erfasst. Auch ist der Beitrag der Kieselalgen zum Stoffumsatz der allelopathisch aktiven Substanzen noch nicht geklärt..

5.2.3. Verbesserungsvorschläge

Probenqualität

Damit ein Abbau von Hemmsubstanzen durch Lichteinflüsse noch mehr verhindert werden, könnten die Probeentnahmeflaschen in Alufolie eingewickelt werden. Ausserdem wären Probeflaschen aus Glas empfehlenswert (Persönliche Mitteilung, Gross, 2008). Die Proben aus Portugal wurden nach Anleitung von einer Fachperson entnommen. Die Wasserproben wurden in Trinkwasserflaschen versandt, ein diffundieren von Substanzen aus der PET-Flasche muss in Betracht gezogen werden. Ebenso möglich ist es, dass die Zusammensetzung der Allelochemikalien aufgrund der langsamen Poststrecke (Portugal-Schweiz) nicht mehr dem ursprünglichen Zustand entspricht und Allelochemikalien abgebaut wurden. Am besten wäre eine Verarbeitung der Proben vor Ort und anschliessendem Versand des vakuumgetrockneten Extrakts. Die Pflanzen müssten, um diese Dauer zu überstehen, vor Ort in Behälter überbracht, mit Flüssigstickstoff schockgefroren werden und anschliessend in Trockeneis gebettet in den Versand gehen.

6. Literatur

- Agami, M., Waisel, Y. (1985): Inter-relationship between *Najas marina* L. and three other species of aquatic macrophytes. *Hydrobiologia* 126: 169-173
- Agami, M., Waisel, Y. (1985): Inter-relationship between *Najas marina* L. and three other species of aquatic macrophytes. *Hydrobiologia* 126: 169-173
- Brammer, E.S. (1979): Exclusion of phytoplankton in the proximity of dominant water-soldier (*Stratiotes aloides*). *Freshw. Biol.* 9: 233-249
- Brammer, E.S., Wetzel, R.G. (1984): Uptake and release of K⁺, Na⁺ and Ca²⁺ by the water soldier, *Stratiotes aloides* L. *Aquat. Bot.* 19: 119-130
- Bristow, J.M., Whitcombe, M. (1971) : The role of roots in the nutrition of aquatic vascular plants. *Am. J. Bot.* 58: 8-13
- BAG (Bundesamt für Gesundheit) (2004): Empfehlung für die hygienische Beurteilung öffentlicher, künstlich angelegter Bädeteiche. Bulletin 19, (23. März 2006)
- <http://www.bag.admin.ch/themen/lebensmittel/04858/04864/04904/04938/index.html?lang=de> (24.November 2008)
- Cangiano, T., Della Greca, M., Fiorentino, A., Isidori, M., Monaco, P., Zarrelli, A. (2001) Lactone diterpenes from the aquatic plant *Potamogeton natans*. *Phytochemistry* 56: 469-473
- Carignan, R., Kalf, J. (1980) : Phosphorus sources for aquatic weeds: Water or sediments? *Science* 207: 987-989
- Carpenter SR, Lodge DM (1986): Effects of submerged macrophytes on ecosystem processes, *Aquat. Bot.* 26, pp. 341–370
- Della Greca, M., Fiorentino, A., Isidori, M., Monaco, P., Temussi, F., Zarrelli, A. (2001) : Antialgal furano-diterpenes from *Potamogeton natans* L. *Phytochemistry* 58: 299-304
- Elakovich, S.D., Wooten, J.W. (1989): Allelopathic potential of sixteen aquatic and wetland plants. *J. Aquat. Plant Manage.* 27: 78-84
- Elakovich, S.D., Wooten, J.W. (1995): Allelopathic, herbaceous, vascular hydrophytes. In Inderjit, KMM Dakshini, FA Einhellig, eds, *Allelopathy*:
- El-Ghazal, R.A.K., Riemer, D.N. (1986) : Germination suppression by extracts of aquatic plants. *J. Aquat. Plant Manage.* 24: 76-79
- EPA Methode 608 ATP 3M0222 (1995): An alternative test procedure for the measurement of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in waste water, Promulgated Federal Register/Vol.60, No. 148
- Erhard, D. (2006): Allelopathy in aquatic environments, Limnological Institute, University of Konstanz, Konstanz
- Erhard, D. (2001): Allelopathische Aktivität der submersen Makrophyten *Elodea nuttallii* und *Najas marina* mit Algen und Cyanobakterien. Diploma thesis. University of Konstanz, Konstanz
- Fortmann M. (2007): Das Schwimmteich-Buch, Ideen – Informationen – Innovationen, 275 S., Agrimedia GmbH, Clenze
- Franke Wolfram (2001): Der Traum vom eigenen Schwimmteich, 145 S., BLV
- FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.)(2003): Empfehlungen für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von öffentlichen Schwimm- und Bädeteichanlagen. 1. Aufl. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, Bonn.
- Gallardo-Williams, M.T., Geiger, C.L., Pidala, J.A., Martin, D.F. (2002): Essential fatty acids and phenolic acids from extracts and leachates of southern cattail (*Typha domingensis* P.). *Phytochemistry* 59: S. 305-308
- Graber, A. (2005): Schwimmteiche oder wenn Forscher baden gehen..., Infoblatt für Forschung und Entwicklung/ Dienstleistungen, Fachabteilung Umwelt und natürliche Ressourcen, Fachstelle Ökotechnologie, ZHAW, Grüental, CH-8820 Wädenswil
- Graber, A. (2006): Schwimmbecken oder Schwimmteich? Funktion, Risiken, Vergleich, Fachabteilung Umwelt und natürliche Ressourcen, Fachstelle Ökotechnologie, ZHAW, Grüental, CH-8820 Wädenswil
- Graber und Wesner, (2007): Sanierung von Schwimmteichen, Skript, Weiterbildung Schwimmteichbauer 17.10.2007
- Graber, A (2008): Persönliche Mitteilung, Institut Umwelt und Natürliche Ressourcen, Fachstelle Ökotechnologie, ZHAW, Grüental, CH-8820 Wädenswil
- Graber, A und Junge, R (2005): Forschungsprojekt Algenrasenfilter, Wasser/Abwasser: Nahrungsketten und ihre Dynamik, S.43-47
- Grafinger (1995): Limnologische Grundlagen, Firmeninterne Unterlagen
- 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. (2008): Persönliche Mittelungen, Fakultät für Biologie, Chemische Ökologie aquatischer Pflanzen, Universität Konstanz, D-78457 Konstanz
- Gross, E.M., Johnson, R.L., Hairston, Jr. N.G. (2001) : Experimental evidence for changes in submersed macrophyte species composition caused by the herbivore *Acentria ephemerella* (Lepidoptera). *Oecologia* 127: 105-114
- Gross, E.M., Meyer, H., Schilling, G. (1996) : Release and ecological impact of algicidal hydrolysable polyphenols in *Myriophyllum spicatum*. *Phytochemistry* 41: 133-138
- Hootsmans, M.J.M., Blindow, I. (1991): Allelopathic limitation of algal growth by macrophytes. In: M.J.M. Hootsmans and J.E. Vermaat, Editors, *Macrophytes, a Key to Understanding Changes Caused by Eutrophication in Shallow Freshwater Ecosystems*, Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, IHE, Delft, The Netherlands, pp. 131–156
- Hürlimann J. und Niederhauser P. (2007): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Kiesalgen Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 0740. Bundesamt für Umwelt, Bern. Anhang A4
- Jasser, I. (1995): The influence of macrophytes on a phytoplankton community in experimental conditions. *Hydrobiologia* 306 (1): 21-32
- Jones RC (1990): The effect of submersed aquatic vegetation on phytoplankton and water quality in the tidal freshwater Potomac River.
- Jupp, B.P., Spence, D.H.N. (1977) : Limitations on macrophytes in a eutrophic lake, Loch Leven. I. Effects of phytoplankton. *J. Ecol.* 65: 175-186
- Keating, K.I. (1977) : Allelopathic influence on blue-green bloom sequence in a eutrophic lake. *Science* 196: 885-887
- Klemp H. (1990): Teiche, Tümpel, Weiher. mehr wissen – besser verstehen. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. und Gesellschaft für Umwelt und angepasste Technologie e.V.
- Kufel L, Ozimek T (1994): Can Chara control phosphorus cycling in Lake Lukajno (Poland)? lake before herbicide treatment. *Lake Reserv Manage.* 11:311-316.
- Laukötter G. (1999): Der Gartenteich im Sommer _ Pflgetipps für kleine Wasserlebensräume. *Siedlung und Eigenheim* 7/1999
- Leu, E. (2001): Wirkung von Allelochemikalien aus submersen Makrophyten auf die Photosynthese. Diploma thesis. University of Freiburg, Freiburg
- Lexikon der Aquakulturtechnik (2008): <http://www.aquakulturtechnik.de> 20.November 2008
- Liebezeit G. (2003): Huminstoffe, Vorlesung Meereschemie 1, WS 2003/04, Forschungszentrum Terramare
- Mahabadi, M. und Rohlfing, I. (2005): Schwimm- und Badeteichanlagen. Planungs- und Baugrundsätze. 304 S., Ulmer, Stuttgart
- McClure, J.W. (1970) : Secondary constituents of aquatic angiosperms. In JB Harborne, ed, *Phytochemical Phylogeny*. Academic Press, London, pp. 233-268
- 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. (2005a): Allelopathic inhibition of phytoplankton by exudates from *Stratiotes aloides*. *Aquatic Botany* 82 (4): 284-296
- Mulderij, G., Mooij, W.M., Van Donk, E. (2005b): Allelopathic growth inhibition and colony formation of the green alga *Scenedesmus obliquus* by the aquatic macrophyte *Stratiotes aloides*. *Aquatic Botany* 39 (1-2): 11-21
- Müller, U., (2008) schriftliche Mitteilung, KLS-Gewässerschutz, Planungsbüro für Gewässer-Qualitäts-Management und Gewässerschutz, D-22767 Hamburg
- Nakai, S., Inoue, Y., Hosomi, M., Murakami A. (1999): Growth inhibition of blue-green algae by allelopathic effects of macrophytes. *Water Science and Technology.* 39 (8): 47-53
- Nakai, S., Inoue, Y., Hosomi, M., Murakami A. (2000): *Myriophyllum spicatum*-released allelopathic polyphenols inhibiting growth of blue-green algae *Microcystis aeruginosa*. *Water Research* 34 (11): 3026-3032
- Nakai, S., Inoue, Y., Hosomi, M., Murakami, A. (2000): *Myriophyllum spicatum*-released allelopathic polyphenols inhibiting growth of blue-green algae *Microcystis aeruginosa*. *Wat. Res.* 34: 3026-3032
- Neuenschwander, E. (1993): *Schöne Schwimmteiche*, 96 S, Ulmer, Stuttgart
- Newman, R.M. (1991): Herbivory and detritivory on freshwater macrophytes by invertebrates: a review. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 10: 89-114
- O'Dell KM, Van Arman J, Welch BH, Hill SD (1995): Changes in water chemistry in a makrophytedominated release? *Hydrobiologia* 342/343:27-34.
- ÖNORM 6235 (1998): Neuanlage und Sanierung von Kleinbadeteichen. Österreichisches Normungsinstitut; 1998.
- Ostrowsky, M.L., Zettler, E.R. (1986) : Chemical defences in aquatic plants. *J. Ecol.* 74: 279-287
- Phillips, G.L., Eminson, D., Moss, B. (1978): A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated freshwaters. *Aquat. Bot.* 4: 103-126
- Qasem, J.R., Hill, T.A. (1989): On difficulties with allelopathy methodology. *Weed Research* 29: 345-347
- Rice, E.L. (1984) : *Allelopathy*, Ed 2. Academic Press, Orlando

- Rindlisbacher (2002): Schwimmteiche in der Schweiz. Hochschule Rapperswil, Abt. Landschaftsarchitektur
- Rørslett B, Berge D, Johansen SW (1986): Lake enrichment by submersed macrophytes: a Norwegian
- Sand-Jensen K (1989): Environmental variables and their effect on photosynthesis of aquatic plant
- Sand-Jensen, K., Pedersen, O. (1999): Velocity gradients and turbulence around macrophyte stands in streams. *Freshw. Biol.* 42: 315-328
- Scheffer, M., A. H. Bakema, and F. G. Wortelboer. (1993) : Megaplant - a Simulation-Model of the Dynamics of Submerged Plants. *Aquatic Botany* 45, no. 4: 341-56.
- Schwarzer, C und Schwarzer, U. (2008): Schwimmteiche, planen, anlegen, richtig bepflanzen, 136 S., Ulmer, Stuttgart
- Soszka, G.J. (1975): The invertebrates on submerged macrophytes in three Masurian lakes. *Ekol. pol.* 23: 371-391
- Stephen D, Moss B, Phillips GL (1997): Do rooted macrophytes increase sediment phosphorus the tidal freshwater Potomac River. *J.Freshwat.Ecol.* 5:279-288.
- Sütfeld, R., Petereit, F., Nahrstedt, A. (1996): Resorcinol in exudates of *Nuphar lutea*. *J. Chem. Ecol.* 22: 2221-2231
- Toetz, D.W. (1974) Uptake and translocation of ammonia by freshwater hydrophytes. *Ecology* 55: 199-201
- Van Aller, R.T., Pessoney, G.F., Rogers, V.A., Watkins, E.J., Leggett, H.G. (1985): Oxygenated fatty acids: a class of allelochemicals from aquatic plants. In AC Thompson, ed, *The chemistry of allelopathy. Biochemical interactions among plants.* American Chemical Society, Washington, D.C., pp. 387-400
- Van Den Berg, M. S., Scheffer, M., Coops, H. and Simons J. (1998): The Role of Characean Algae in the Management of Eutrophic Shallow Lakes. *Journal of Phycology* 34, no. 5: 750-756.
- van Donk, E., van de Bund, W.J. (2002): Impact of submerged macrophytes including charophytes on phyto- and zooplankton communities allelopathy versus other mechanisms. *Aquatic Botany* 72: 261-274
- Wachter H.J. (1997): Algen im Gartenteich. *Deutscher Gartenbau* 35/1997, S. 1889
- Weixler Richard, HAUER Wolfgang (2000), *Garten und Schwimmteiche*, Leopold Stocker Verlag
- Weixler, R. (2005): Der Schwimmteich-Dschungel. *Der Schwimmteich* Nr. 2, S. 22-25.
- Willis (1985) : The historical bases of the concept of allelopathy. *J. Hist. Biol.* 18: 71-102

7. Verzeichnisse

7.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schwimmteich Funktionsschema (Mahabadi und Rohlfing, 2005).....	10
Abbildung 2: Klare und diffuse Hemmanteile bei PCC 6911 mit K15.....	36
Abbildung 3: Klare und diffuse Hemmanteile bei PCC 7120 mit K15.....	37
Abbildung 4: Hemmhoflächen der Testorganismen PCC 6911 und PCC 7120 im Vergleich.....	38
Abbildung 5: Klare Hemmung bei K30 und diffuse Hemmung bei K15 von PCC 6911.....	39
Abbildung 6: Ringförmige Hemmung von PCC 6911.....	39
Abbildung 7: Klare Hemmung mit diffusem Rand, PCC 7120.....	39
Abbildung 8: Messbare Grösse überschritten, Algenwachstum sichtbar.....	39
Abbildung 9: Algenbewuchs von Schwimmbereich und Regenerationsbereich und der Hemmung sowie Düngung	40
Abbildung 10: Algenbewuchs in den Schwimm- und Regenerationsbereichen	41
Abbildung 11: Volumenanteile von PVI, Regenerations- und Badebereich.....	45
Abbildung 12: Teichalter und bewachsener Anteil vom potenziell möglichen PVI.....	45
Abbildung 13: Pflanzenvolumenindex und die Gesamthemmung, mit Markierung der Teiche die <i>Myriophyllum spicatum</i> enthalten.....	46
Abbildung 14: PVI der Pflanzen mit allelopathischer Aktivität (Aktiv PVI) und der Gesamt- hemmung, mit Markierung der Teiche die <i>Myriophyllum spicatum</i> enthalten.....	46
Abbildung 15: PVI der häufigsten vorkommenden, allelopathisch aktiven Pflanzen und die Gesamthemmung.....	47
Abbildung 16: PVI von <i>Chara sp.</i> und die Gesamthemmung.....	47
Abbildung 17: Huminstoffgehalt im Vergleich mit der Gesamthemmung	48
Abbildung 18: Orthophosphat im Vergleich mit der Gesamthemmung.....	48
Abbildung 19: Nitrat-Stickstoff im Vergleich mit der Gesamthemmung.....	49
Abbildung 20: Chlorophyll a im Vergleich mit der Gesamthemmung	49
Abbildung 21: Kieselalgenanzahl und Chlorophyll a	50
Abbildung 22: Kieselalgenanzahl und Trübung.....	50
Abbildung 23: Kieselalgenanzahl und die Gesamthemmung.....	51
Abbildung 24: Klare Hemmung von PCC 7120 mit K15 (rot) und K30 (blau), sowie die Hemmung durch Wasser (äquivalent zu 5 g Pflanzenfrischgewicht) in welchem <i>Najas marina</i> 24 h eingelegt wurde.....	54
Abbildung 25: Funktionsschema Schwimmteichsystem Ströbel	60

7.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schwimmteichtypen (Weixler, 2005, verändert nach Graber, 2007).....	10
Tabelle 2: Richtwerte für die chemische Wasserqualität in Schwimmteichen	13
Tabelle 3: Richtwerte für Füllwasser bei Schwimmteichanlagen (FLL 2003)	14
Tabelle 4: Angewendete Methoden zur Algen-Verhinderung und -Verminderung.....	16
Tabelle 5: Liste von allelopathisch wirksamen Pflanzen.....	23
Tabelle 6: Ausgewählte Schwimmteiche und Probeentnahmestellen	26
Tabelle 7: Bewertungsskala für den Algenbewuchs von Boden- und Wandflächen	27
Tabelle 8: Bewertungsskala für die physiologische Qualität der Pflanzenarten	28
Tabelle 9: Wasserentnahmen pro Probeentnahmestelle	29
Tabelle 10: Fischttestwasser nach DIN EN ISO 7346-3.....	31
Tabelle 11: Testlösungen mit Tanninsäure für die Positivkontrolle.....	31
Tabelle 12: Cyanobakterien-Nährlösung (Jüttner et al., 1983)	32
Tabelle 13: Spurenelement-Stammlösung (Jüttner et al., 1983). In einem Liter dieser Stammlösung sind je 100 ml der Lösungen 1 und 2 enthalten.	32
Tabelle 14: Liste aller aufgefundenen Pflanzenarten und den PVI der einzelnen Arten sowie der Totale PVI der einzelnen Teiche	42
Tabelle 15: Anzahl Pflanzenarten pro Teich und Pflanzenartenanzahl eingeteilt in die physiologische Qualität	44
Tabelle 16: Gefundene Kieselalgenzellzahlen/ml in Untersuchungen	53
Tabelle 17: Liste der Untersuchten Teiche, entnommenen Pflanzen- und Wasserproben	79
Tabelle 18: Resultatentabelle zusammengefasst; Wasser	92
Tabelle 19: Resultatentabelle zusammengefasst; Pflanzen und Alter	93
Tabelle 20: Resultatentabelle zusammengefasst; weitere Faktoren und Glossar	94
Tabelle 21: Hemmdaten von PCC 6911	95
Tabelle 22: Hemmdaten von PCC 7120	96

Anhang

Anhang A: Aufnahmeprotokoll

Objektbeschreibung

Kunde / Standort:

Name, Vorname:

Adresse:

Land/ PLZ / Ort :

Telefon priv.:

Gebaut durch Firma:

Baujahr:

Systemskizze:

Masse

t Schwimmbereich:

A Schwimmbereich:

V Schwimmbereich:

t Regenerationsteil:

A Regenerationsteil:

V Regenerationsteil:

l Bachlauf:

A Bachlauf:

V Bachlauf:

A Total: _____

V Total: _____

t = tiefe, l = länge

A = Fläche

V=Volumen

Lage des Teiches:

vollsonnig

müM:

teilweise beschattet

mehrheitl. beschattet

Besonnt von _____ bis _____ Uhr

Umwälzpumpe:

Ja

Nein

Skimmer:

Ja

Nein

Andere Einrichtungen:

Befragung

Nutzung momentan: Badegäste letzte Woche: 1-10 10-20 20-30
 Kinder: Ja Nein

Pflege:

Düngung:

Frischwasserezufuhr: Menge: Häufigkeit: Letztmals am:

Letzte Reinigung:

Häufigkeit Reinigung:

Wie wird gereinigt:

Pflanzen:

Vorkommnisse mit Algen? auf Teichfolie (leichter,mittlerer,starker Bewuchs, Wann?) auf Pflanzen (l,m,s Bewuchs, Pflanzenart? Wann?) im Wasser (Trübung, Verfärbung, Wann?)**Andere spezielle Vorkommnisse?** ok**Angaben zum Aufnahmezeitpunkt**

Datum:

Zeit:

Wetter: vollsonnig teilweise bewölkt bewölkt Regen

Luft-Temperatur:

Wetter Vortag: vollsonnig teilweise bewölkt bewölkt Regen

Luft-Temperatur Vortag:

Foto: ok ok**Pflanzen**

Pflanzenarten Aufgenommen in Liste:

 ok

Qualität/Wachstumszustand der Makrophyten-Arten in Pflanzenliste:

 ok

Pflanzenvolumenindex (PVI) der Arten in Pflanzenliste:

 ok

Total Pflanzenvolumenindex Schätzung (PVI):

% des Regenerationsbereiches

Pflanzenentnahme für Konstanz:

 ok

Algenbewuchs

Schwimmbereich: 0 1 2 3 4
 Regenerationsbereich: 0 1 2 3 4
 Regenerationsteich: 0 1 2 3 4

O ok

Physikalische Messwerte

Wassertemperatur:

pH:

O₂-Gehalt:

Leitfähigkeit:

O ok

Wasserentnahme

ADA: 1 L Polyethylenflasche 0.02 µm filtriert
 Chlorophyll a: 1 L roh
 huminst./N/P/Ca/Mg: 50 ml - Tube Roh + 50 gefiltert mit 0.45 µm
 Kieselalgen: 50 ml – Tube Roh mit 20 Tropfen Lugol

O ok

Laborarbeit Resultate**Chemische Messwerte**

Total Stickstoff:

Total Phosphor:

Ca:

Mg:

Wasserhärte :

Kieselalgen:

Chlorophyll a:

Huminstoffe:

Trübung:

Agardiffusionsanalyse (ADA):

Pflanzenliste

Botanischer Name Deutscher Name	V Liter	PVI %	Qual. - 0+

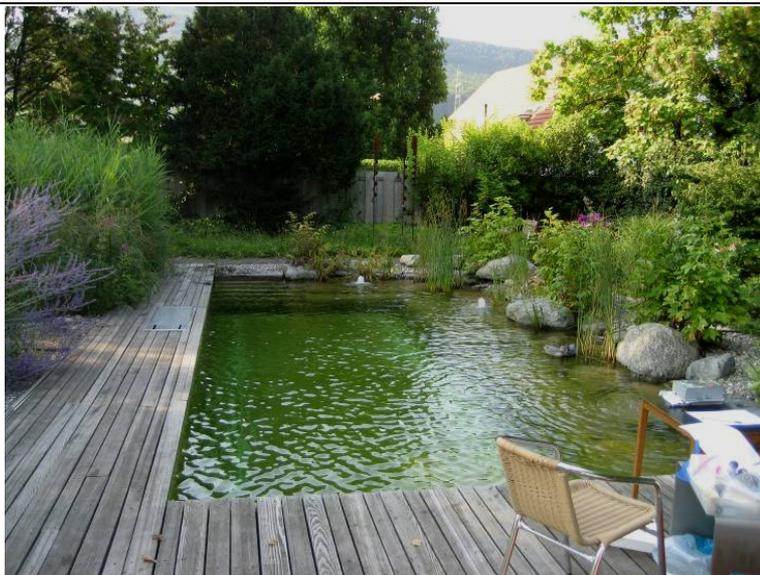
Anhang B: Pflanzenproben, Wasserproben und Teichbeschreibungen

Tabelle 17: Liste der Untersuchten Teiche, entnommenen Pflanzen- und Wasserproben

Teich Angaben	Pflanzenproben		Wasserproben	
	Name	Probe Nr.	Pflanzenart	Probe Nr.
Negativtest			Reinst	Reinstwasser
Negativtest			T0	Fischtestwasser
Positivtest 1			T1	Fischtestwasser + Tanninsäure
Positivtest 1			T5	Fischtestwasser + Tanninsäure
Positivtest 2			T10	Fischtestwasser + Tanninsäure
Positivtest 3			T20	Fischtestwasser + Tanninsäure
Ströbel	1-1 1-2	Unbestimmt <i>Myriophyllum spicatum</i>	Ströbel Bad	Badebereich
			Ströbel Reg	Reg-Bereich
			Ströbel Ab	Abfluss Kiesfilter
			Ströbel Frisch	Frischwasser
Merryweather	2-1	keine Entnahme möglich	Merryweather	Badebereich
			Merryweather zu	Zuflussschacht
Meier	3-1	<i>Stratiotes aloides</i>	Meier	Badebereich
	3-2	<i>Myriophyllum spicatum</i>		
Zwinggi	4-1	<i>Eleocharis acicularis</i>	Zwinggi	Badebereich
	4-2	<i>Myriophyllum aquaticum</i>		
Furrer	5-1	<i>Myriophyllum aquaticum</i>		Badebereich
	5-2	<i>Eleocharis acicularis</i>		
Grundmann	9-1	<i>Elodea canadensis</i>	Grundmann	Badebereich
	9-2	<i>Potamogeton sp.</i>		
Schnell	10-1	<i>Chara sp.</i>	Schnell	Badebereich
	10-2	<i>Myriophyllum spicatum</i>		
Ender	11-1	<i>Eleocharis palustris</i>	Ender	Badebereich
	11-2	<i>Utricularia vulgaris</i>		
	11-3	<i>Potamogeton lucens</i>		
Seiler	12-1	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Seiler	Badebereich
Pacozzi	13-1	<i>Chara sp.</i>	Pacozzi	Badebereich
	13-2	<i>Myriophyllum spicatum</i>		
Marroés		Transportschäden	Marroés	Badebereich
			Marroés Reg	Reg-Bereich
AnaG		Transportschäden	AnaG	Badebereich

Teichbeschreibung Ströbel

Teich: Ströbel
Land: CH
Gebaut durch: Lehnert Erb AG
Baujahr: 2004



Masse:

t Schwimmbereich:	2 m	A Schwimmbereich:	40 m ²	V Schwimmbereich:	80 m ³
t Regenerationsteich:	0.1 m	A Regenerationsteich:	20 m ²	V Regenerationsteich:	2 m ³
t Regenerationsteil:	0.5 m	A Regenerationsteil:	10 m ²	V Regenerationsteil:	5 m ³
		A Total:	70 m ²	V Total:	87 m ³

Lage: Teilweise beschattet; Morgen durch Bäume bis 10.00 Uhr grössten Teils beschattet, bis ca. 16.00 Uhr voll besonnt.

Einrichtungen: Kiesfilter, Umwälzpumpe 15 m³/h, Skimmer, Wasser wird mit 3 Sprudeln in den Regenerationsbereich des Schwimnteichs eingespiesen.

Nutzung: Badegäste Woche vor der Aufnahme: 1-10

Pflege:

- Düngung:
- Frischwasserzufuhr: Bei schönem Wetter und bei Reinigung ca. 4m³
- Letzte Reinigung: Anfang August
- Häufigkeit Reinigung: Ca. Alle 2 Wochen, Absaugen der Sedimente, Algenreinigung
- Eingesetzte Mittel: Phoslock (bei Frischwasserzufuhr), Fadenalgenentferner, Algoclear (bei starkem Algenaufkommen)
- Pflanzen: Ein Schnitt im Frühling

Vorkommnisse mit Algen?

Häufig Fadenalgen, Algenblüte nach Neubau, Im Nov. Fadenalgen wegen starker Sonneneinstrahlung, Pflanzen nicht mehr sehr aktiv → Wenig Konkurrenz

Andere spezielle Vorkommnisse?

Sehr starkes Pflanzenwachstum im Regenerationsteich (vor allem *Phragmites australis*), eher schwaches Wachstum im Regenerationsbereich (***Typha angustifolia***)

Teichbeschreibung Merryweather

Besitzer: Merryweather
Land: CH
Gebaut durch: Lehnert Erb AG
Baujahr: 2003



Masse:

t Schwimmbereich:	1.5 m	A Schwimmbereich:	22 m ²	V Schwimmbereich:	35 m ³
t Regenerationsteil:	0.5 m	A Regenerationsteil:	22 m ²	V Regenerationsteil:	11 m ³
t Regenerationsteich:	0.2 m	A Reg.-teich:	10 m ²	V Regenerationsteich:	2 m ³
l Bachlauf:	10 m	A Bachlauf:	3 m ²	V Bachlauf:	0.6 m ³
		A Total:	<u>57 m²</u>	V Total:	<u>48.6 m³</u>

Lage des Teiches:

Teilweise beschattet

Besonnt von Morgen bis am späteren Nachmittag

Einrichtungen:

Umwälzpumpe (läuft immer), Skimmer, Kiesfilter

Nutzung: Badegäste Woche vor der Aufnahme: 1-10

Pflege: Düngung: Harnstoff und Kali-Magnesia: 3 mal je 2 kg am 26. April, 23. Mai, 28. Juni

Mittel: Algoclear am 12. Mai

Frischwasserzufuhr: Automatische Wassernachfüllung ohne Wasserzähler

Letzte Reinigung: Nur leichtes Reinigen der Einstiegssteine und teils Grund

Pflanzen: Ein Schnitt Anfang Frühling

Vorkommnisse mit Algen? Leichte Algenblüte im Frühling

Andere spezielle Vorkommnisse? Generell schlechtes Pflanzenwachstum. Nach 5 Jahren und Ersatzpflanzung sind keine Unterwasserpflanzen mehr vorhanden. Keine Pflanze erscheint vital.

Teichbeschreibung Meier

Besitzer: Meier
Land: CH
Gebaut durch: Meier
 Gartenbau AG
Baujahr: Sep. 1993



Masse:

t Schwimmbereich:	2 m	A Schwimmbereich:	72 m ²	V Schwimmbereich:	144 m ³
t Regenerationsteil:	0.3 m	A Regenerationsteil:	70 m ²	V Regenerationsteil:	21 m ³
l Bachlauf:	5 m	A Bachlauf:	2 m ²	V Bachlauf:	0.02 m ³
		A Total:	144 m ²	V Total:	165 m ³

Lage des Teiches:

Teilweise besonnt. Am Morgen durch Haus beschattet, am frühen Nachmittag 50 % des Regenerationsbereiches durch einen Baum beschattet.

Pflege: Extensiv

Reinigung: Herbstputz, Falllaub entfernen

Pflanzen: Ab und zu schneiden

Vorkommnisse mit Algen?

Sehr wenige Algen im Allgemeinen

Einrichtungen: Skimmer, Umwälzpumpe, Bachlauf

Teichbeschreibung Zwinggi

Besitzer: Zwinggi
Land: CH
Gebaut durch: ERNI Gartenbau
 + Planung AG
Baujahr: 2008



Masse:

t Schwimmbereich:	1.55 m	A Schwimmbereich:	16 m ²	V Schwimmbereich:	24.8 m ³
t Regenerationsteil:	0.3 m	A Regenerationsteil:	27 m ²	V Regenerationsteil:	11 m ³
t Regenerationsteich:	0.1 m	A Reg.-teich:	12 m ²	V Regenerationsteich:	2 m ³
l Bachlauf:	7 m	A Bachlauf:	2.8 m ²	V Bachlauf:	0.1 m ³
		A Total:	58 m ²	V Total:	38 m ³

Lage des Teiches:

Teilweise beschattet

Einrichtungen:

Umwälzpumpe, Skimmer, Kiesfilter, Zeolitfilter

Nutzung: Badegäste Woche vor der Aufnahme: 1-10

Pflege: Düngung: Alle 4 Wochen 1.5 kg von unbekanntem, nicht beschriftetem, durch den Schwimnteichbauer abgegebenen Dünger

Frischwasserzufuhr: Automatisch, so eingestellt das Schwankungen möglich sind. Nach Beobachtungen des Besitzers in letzter Zeit nur mit Sommergewittern aufgefüllt

Vorkommnisse mit Algen? Seit Sonntag dem 3. August leichte Grünfärbung. Erstes mal seit Bau. Ansonsten minime Bildungen von Fadenalgen. Becken glänzt noch wie neu.

Andere spezielle Vorkommnisse? Pflanzenwachstum eher schwach, Seerosen sind weg. Probleme mit Läusen und Mehltau. Durch Besitzer mit energetischem Wasser behandelt.

Teichbeschreibung Furrer

Besitzer: Furrer Stephan
Land: CH
Gebaut durch: ERNI Fartenbau +
 Planung AG
Baujahr: Sept. 2002



Masse:

t Schwimmbereich:	1.6 m	A Schwimmbereich:	21 m ²	V Schwimmbereich:	33.6 m ³
t Regenerationsteil:	0.3 m	A Regenerationsteil:	24 m ²	V Regenerationsteil:	7.2 m ³
t Regenerationsteich:	0.15 m	A Reg.-teich:	20 m ²	V Regenerationsteich:	3 m ³
l Bachlauf:	4.5 m	A Bachlauf:	4 m ²	V Bachlauf:	0.2 m ³
		A Total:	47 m ²	V Total:	44 m ³

Lage des Teiches:

Vollsonnig

Einrichtungen:

Umwälzpumpe, Skimmer, Kiesfilter

Pflege:

Pflegt selber und möchte Algenfrei baden. Hat ein Pflegeabo mit Gärtner gemacht, war aber nicht zu Frieden.

Pflege:

- Düngung: Einmal im Frühling durch Fachpersonal
- Reinigung: Jeden Tag Boden absaugen. Im Sommer 1 mal pro Woche totes Pflanzenmaterial entnehmen, und Schwimmbereich reinigen.
- Pflanzen: Pflanzenschnitt im Frühling und Herbst, teilweise Pflanzen nachgesetzt.

Vorkommnisse mit Algen?

Nie Probleme mit Algen gehabt

Teichbeschreibung Grundmann

Besitzer: Grundmann

Land: CH

Gebaut durch: Lehnert Erb AG

Baujahr: 1997



Masse:

t Schwimmbereich:	2 m	A Schwimmbereich:	28 m ²	V Schwimmbereich:	56 m ³
t Regenerationsteil:	0.4 m	A Regenerationsteil:	17 m ²	V Regenerationsteil:	6.8 m ³
l Bachlauf:	-- m	A Bachlauf:	-- m ²	V Bachlauf:	-- m ³
		A Total:	45 m ²	V Total:	62.8 m ³

Lage des Teiches:

Mehrheitlich beschattet: Durch zwei grosse Bäume ist der grösste Teil des Teiches ganztags beschattet.

Einrichtungen: Umwälzpumpe (läuft nicht), Skimmer

Teichbeschreibung Schnell

Besitzer: Schnell
Land: CH
Gebaut durch: Niederberger
 + von Wyl AG
Baujahr: 2004



Masse:

t Schwimmbereich:	2 m	A Schwimmbereich:	32 m ²	V Schwimmbereich:	64 m ³
t Regenerationsteil:	0.25m	A Regenerationsteil:	32 m ²	V Regenerationsteil:	8 m ³
l Bachlauf:	10 m	A Bachlauf:	3 m ²	V Bachlauf:	0.15 m ³
		A Total:	67 m ²	V Total:	72.15m ³

Lage des Teiches:

Teilweise beschattet

Voll besontt bis am späteren Nachmittag

Einrichtungen:

Skimmer, Umwälzpumpe, Luftzufuhr, Carbonator und Pflanzenfilter

Nutzung: Badegäste Woche vor der Aufnahme: 1-10

Pflege: Düngung: Wasserpflanzendünger

Frischwasserzufuhr: Nur bei langen Trockenperioden, selten

Letzte Reinigung: Ca. 1 Monat vor Aufnahme

Häufigkeit Reinigung: Ca. 3 mal im Jahr

Vorkommnisse mit Algen? Fadenalgen im Frühling

Andere spezielle Vorkommnisse? War 1 Woche vor Aufnahme wegen starkem Regen durch Eintrag überdüngt und wurde mit Fällungsmittel behandelt (Weisser Schnee auf dem Grund und Pflanzen sichtbar)

Teichbeschreibung Ender

Besitzer: Ender
Land: CH
Gebaut durch: Niederberger +
 Von Wyl AG
Baujahr: 2000



Masse:					
t Schwimmbereich:	2 m	A Schwimmbereich:	38 m ²	V Schwimmbereich:	76 m ³
t Regenerationsteil:	0.3 m	A Regenerationsteil:	60 m ²	V Regenerationsteil:	18 m ³
l Bachlauf:	- m	A Bachlauf:	- m ²	V Bachlauf:	- m ³
		A Total:	98 m ²	V Total:	94 m ³

Lage des Teiches:

Vollsonnig

Einrichtungen:

Froschskimmer, Umwälzpumpe (defekt seit längerer Zeit), Carbonator

Nutzung:

Badegäste Woche vor der Aufnahme: 1-10

Pflege:

- Düngung: keine
- Frischwasserzufuhr: nur bei langen Trockenperioden, extremer Hitze oder Reinigung ca. 1-2 m³
- Letzte Reinigung: Februar (Sedimente entfernen, Pflanzen auf Stock schneiden), im Herbst wird alles stehen gelassen (Visuelle Gründe)
- Häufigkeit Reinigung: 1 mal Anfang Frühling
- Pflanzenpflege: Faulende Pflanzen werden laufend entfernt, im Herbst wird alles stehen gelassen (Visuelle Gründe), im Frühling alles auf Stock geschnitten

Vorkommnisse mit Algen?

Ende Frühling kurzes Aufkommen von Fadenalgen

Andere spezielle Vorkommnisse?

Teilweise Trüb (vorallem durch Aufwirbeln der Sedimente durch Badegäste), nach bedeckten Tagen wieder klares Wasser

Vereinzelt Hautaustrocknung bei Badegästen, bei einigen aber auch positive Auswirkungen für Haut

Teichbeschreibung Seiler

Besitzer: Seiler
Land: CH
Gebaut durch: Meier Gartenbau
 AG
Baujahr: 2007



Masse:

t Schwimmbereich:	2 m	A Schwimmbereich:	35 m ²	V Schwimmbereich:	70 m ³
t Regenerationsteil:	0.3 m	A Regenerationsteil:	32 m ²	V Regenerationsteil:	19.2 m ³
l Bachlauf:	10 m	A Bachlauf:	1 m ²	V Bachlauf:	0.1 m ³
		A Total:	73 m ²	V Total:	89.3 m ³

Lage des Teiches:

Teilweise beschattet, Windgeschützt zwischen Steinplatten eingebettet

Einrichtungen:

Umwälzpumpe, Carbonator

Teichbeschreibung Pacozzi

Besitzer: Pacozzi
Land: CH
Gebaut durch: Meier Gartenbau
 AG
Baujahr: 2003



Masse:

t Schwimmbereich:	1.7 m	A Schwimmbereich:	25 m ²	V Schwimmbereich:	42.5 m ³
t Regenerationsteil:	0.3 m	A Regenerationsteil:	25 m ²	V Regenerationsteil:	7.3 m ³
t Regenerationsteich:	0.15 m	A Reg.-teich:	8 m ²	V Regenerationsteich:	1.2 m ³
l Bachlauf:	3 m	A Bachlauf:	1.5 m ²	V Bachlauf:	0.08 m ³
		A Total:	60 m ²	V Total:	51 m ³

Lage des Teiches: Vollsonnig

Einrichtungen: Umwälzpumpe, Skimmer, Kiesfilterkubus

Nutzung: Badegäste Woche vor der Aufnahme: waren in den Ferien

Pflege:

Düngung: Stickstoffdünger und Kalium

Frischwasserzufuhr: Selten, meist reicht Regenwasser

Pflanzenpflege: Frühling 1 Schnitt, Schilf mehrmals

Vorkommnisse mit Algen? Dieses Jahr sehr wenig Algen vorhanden, nur leichte Grüntrübung im Frühling, einzelne Fadenalgen

Andere spezielle Vorkommnisse? Hoher PH (bis 10) diesen Frühling, wieder ok.

Teichbeschreibung Marroés

Name: Piscina Marroés
Ort, Land: Bragança, Portugal
Gebaut durch: Bio Piscinas, Lda
Baujahr: Januar 2002



Masse:

t Schwimmbereich:	1,4 - 2 m	A Schwimmbereich:	200 m ²	V Schwimmbereich:	350 m ³
t Regenerationsteil:	2 m	A Regenerationsteil:	200 m ²	V Regenerationsteil:	400 m ³
t Bachlauf:	0.1 m	A Bachlauf :	10 m ²	V Bachlauf :	1 m ³
		A Total:	400 m ²	V Total:	750 m ³

Lage des Teiches: 450 m.ü.M.
Sonne von 9 bis 18 horas

Umwälzpumpe: Nein

Skimmer: Nein

Andere Einrichtungen: Solarpumpe saugt aus dem Pflanzenteil Wasser in den Bach und von dort rinnt es in den Badeteil.

Momentane Nutzung: Badegäste letzte Woche 1-10 Kinder: ja

Pflege:

Düngung: Nein

Letzte Reinigung: Heute, Algen, die an der Oberfläche schwammen

Häufigkeit Reinigung: Einmal pro Woche wird der Boden abgesaugt. Vormalig nur alle 14 Tage

Wie wird gereinigt?: Bodenabsaugen und Oberfläche mit dem Kescher

Pflanzen: Keine Pflanzenpflege

Boden sichtbar. Das Wasser ist nicht sehr trüb.

Bemerkung: Dieses Jahr ist die Taucherfirma zur Grundreinigung nicht erschienen, obwohl sich die Besitzer des Teiches sehr darum bemüht hatten.

Teichbeschreibung AnaG

Name: Piscina AnaG
Ort, Land: Bragança, Portugal
Gebaut durch: Bio Piscinas, Lda
Baujahr: 2004



Masse:

t Schwimmbereich:	2 m	A Schwimmbereich:	50 m ²	V Schwimmbereich:	100 m ³
t Regenerationsteil:	0,2 - 2 m	Regenerationsteil:	100 m ²	Regenerationsteil:	125 m ³
		A Total:	150 m ²	V Total:	225 m ³

Lage des Teiches: Sonnig von 10 bis 17 horas

Einrichtungen: Solarpumpe saugt Wasser aus dem Bodengrund des Schilfufers zu einem Sprudelstein

Nutzung momentan: Badegäste letzte Woche: 1-10 Kinder: Ja

Pflege:

Düngung: eine einzige Düngung, im Fruehjahr 2008

Frischwasserzufuhr: Täglich aber nur in der Zeit von Juni -September einmal am Tag

Letzte Reinigung: März/April

Häufigkeit Reinigung: Jährlich oder zweijährlich

Wie wird gereinigt?: Bodenabsaugen und Oberfläche mit Kescher

Vorkommnisse mit Algen?

auf Teichfolie: Mittel (Frühjahr und Sommer)

auf Pflanzen: Schwach

im Wasser: Trüb im Sommer (Secchi 0.8 m) Boden nicht sichtbar.

Anhang C: Rohdaten zusammengefasst

Tabelle 18: Resultatentabelle zusammengefasst; Wasser

Wasser														
Teichan- gaben	Wasser- temp.	pH	O2- Gehalt	O2- Gehalt	Leitfähig- keit	Nitrat *	Total N	Ortho- Phosph *	Total P	Ca	Mg	Gesamt- härte	Humini- stoffe	Trübung
Name	°C		mg/l	%	µS/cm	mg/l	mg/l	µgP/l	mg/l	mg/l	mg/l	°dH	HC (mg l ⁻¹)	FTU
Reinstwasser														
Ströbel Bad	20.5	7.6	6.26	72.4	386	1.03	<	4.4	<	60.1	3.18	9.16	0.759	0.347
Ströbel Reg	20.7	7.69	6.1	70.8	388	0.10	<	1.5	<	60.1	3.18	9.16	0.379	1.11
Ströbel Ab	21.7	7.14	5.76	68.3	391	0.07	<	0.1	<	59	2.84	8.94	0.359	0.613
Ströbel Frisch						5.63	4.47	0.3	<	148	23.7	26.2		
Merryweather	26.1	7.63	8.24	107.1	1108	10.84	64	1.2	<	>150	> 24.7	>26.7	0	0.55
Merryweather Zu							16		<	>150	> 25.8	>27.1		
Meier	21.9	8.15	8.43	102.4	246	3.30	3.15	3.3	<	34.6	3.72	5.72	0.282	0.28
Zwinggi	24	8.08	8.28	103.6	620	10.98	6.7	1.2	<	82.2	6.81	13.1	0.979	0.67
Furrer	24.1	7.81	7.67	96.3	376	6.55	6.92	2.9	<	54.3	7.95	9.45	0.133	0.3
Grundmann	21.5	6.92	6.5	77.3	498	0.14	<	3.8	<	48	5.15	7.92	4.651	3.26
Schnell	24.3	7.72	8.14	104	396	0.08	<	1.1	<	50.2	8.81	9.07	0.2	0.58
Ender	23.8	7.32	7.56	96	289	0.11	<	1.1	<	50.1	3.8	7.91	0.718	1.44
Seiler	22.9	8.1	7.66	97.8	206.5	0.07	<	3.4	<	34	4.11	5.71	0.062	0.99
Pacozzi	23.6	7.84	7.76	97.1	248	0.25	<	4.6	<	40.2	2.37	6.18	1.015	1.32
Marroés	20.9	5.7	8.6	99	48.4	0	<	0	<	12.8	0	1.8	0.012	0.58
Marroés Reg	20.6	5.3	8.5	98	48.8	0	<	4.3659	<	12.4	0	1.73	0.016	0.64
AnaG	21.5	8.2	7.2	84	212.7	0	<	0.579	<	30.1	2.7	4.85	0.012	0.32

Tabelle 20: Resultatentabelle zusammengefasst; weitere Faktoren und Glossar

Weitere Faktoren							
	Kiesel- algen	Chl. a	Algenbewuchsbewertung			Volumenangaben	
Name	Zellen/4ml	mg/l	Schwimm- bereich	Reg- teich	Reg- be- reich	Gesamte Anlage (m3)	Volumenanteil Reg. (%)
Reinstwasser							
Ströbel Bad	6	0.9	3	1	3	87.0	8.0
Ströbel Reg	5.5	1.7					
Ströbel Ab	2.5	0.8					
Ströbel Frisch							
Merryweather	0	0.6	1	3	3	48.6	26.7
Merryweather Zu							
Meier	0	1.2	2	-	3	165.0	12.7
Zwinggi	0	8.9	1	0	1	38.0	34.2
Furrer	0	0.3	1	2	2	44.0	23.9
Grundmann	131.5	15.5	3	-	2	62.8	10.8
Schnell	0	0.2	3	-	2	72.2	11.1
Ender	17.5	0.4	3	-	0	94.0	19.1
Seiler	80	2.7	2	-	2	70.0	27.4
Pacozzi	16.5	5.1	2	-	3	51.0	16.7
Marroés	-	6.6	1	-	3	750.0	53.3
Marroés Reg	-	8.2	-	-	-		
AnaG	-	1.2	-	-	-	225.0	55.6

Glossar

Die Analysen wurden am Tag der Probeentnahme oder am Folgetag durchgeführt

* Die Analysen die mit * gekennzeichnet sind wurden am 3.09.2008 durchgeführt

 Standardabweichung der einzelnen Messwerte zu gross
 über dem Messbereich 1:4 verdünnt und nachgemessen

 Nachweisgrenze 250 KA/l

< unter der Messgrenze

 Messungen sind an der unteren Nachweisgrenze

 Unter dem Messbaren Bereich

 Werte Ausserhalb des erwünschten Bereiches

Tabelle 21: Hemmdaten von PCC 6911

Hemmung von PCC 6911

Konzentrationen	K15		K15		K30		K30	
	Klare Hemmung (ø in mm)	Klare Hemmfläche (mm ²)	Diffuse Hemmung (ø in mm)	Diffuse Hemmfläche (mm ²)	Klare Hemmung (ø in mm)	Klare Hemmfläche (mm ²)	Diffuse Hemmung (ø in mm)	Diffuse Hemmfläche (mm ²)
Probenamen								
Positivtest T1	0	0	0	0	0	0	0	0
Positivtest T5	0	0	0	0	0	0	0	0
Positivtest T10	0	0	0	0	0	0	0	0
Positivtest T20	0	0	0	0	0	0	0	0
Negativtest T0	0	0	0	0	0	0	0	0
Negativtest Reinst	4	13	1	1	6	28	1	1
Ströbel Bad	0	0	4	13	8	50	1	1
Ströbel Reg	0	0	4	13	8	50	1	1
Ströbel Ab	8	50	4	13	17	227	3	7
Ströbel Frisch	0	0	0	0	4	13	1	1
Merryweather	0	0	0	0	0	0	0	0
Merryweather Zu	0	0	0	0	0	0	0	0
Meier	0	0	20	314	5	20	25	491
Zwinggi	-	-	-	-	-	-	-	-
Furrer	30	707	5	20	40	1257	5	20
Grundmann	0	0	12	113	5	20	6	28
Schnell	0	0	6	28	6	28	1	1
Ender	0	0	0	0	0	0	5	20
Seiler	0	0	4	13	6	28	0	0
Pacozzi	0	0	0	0	4	13	2	3
Marroés	3	7	0	0	9	64	0	0
Marroés Reg	15	177	0	0	32	804	3	7
AnaG	14	154	2	3	16	201	8	50

Tabelle 22: Hemmdaten von PCC 7120

Hemmung von PCC 7120

Konzentrationen	K15		K15		K30		K30	
Probenamen	Klare Hemmung (∅ in mm)	Klare Hemmfläche (mm ²)	Diffluse Hemmung (∅ in mm)	Diffluse Hemmfläche (mm ²)	Klare Hemmung (∅ in mm)	Klare Hemmfläche (mm ²)	Diffluse Hemmung (∅ in mm)	Diffluse Hemmfläche (mm ²)
Positivtest T1	0	0	0	0	0	0	0	0
Positivtest T5	0	0	0	0	0	0	0	0
Positivtest T10	0	0	0	0	0	0	0	0
Positivtest T20	0	0	0	0	0	0	0	0
Negativtest T0	0	0	0	0	0	0	0	0
Negativtest Reinst	16	201	2	3	31	755	1	1
Ströbel Bad	30	707	10	79	35	962	5	20
Ströbel Reg	13	133	3	7	25	491	4	13
Ströbel Ab	15	177	1	1	24	452	5	20
Ströbel Frisch	11	95	0	0	20	314	0	0
Merryweather	7	38	1	1	14	154	1	1
Merryweather Zu	5	20	1	1	10	79	3	7
Meier	20	314	8	50	30	707	4	13
Zwinggi	-	-	-	-	-	-	-	-
Furrer	40	1257	0	0	40	1257	0	0
Grundmann	15	177	1	1	20	314	2	3
Schnell	40	1257	0	0	40	1257	0	0
Ender	-	-	-	-	-	-	-	0
Seiler	20	314	6	28	40	1257	0	0
Pacozzi	12	113	1	1	20	314	3	7
Marroés	40	1257	0	0	40	1257	0	0
Marroés Reg	-	-	-	-	-	-	-	-
AnaG	35	962	0	0	40	1257	0	0

Anhang D: Fachartikel zur Bachelorthesis

Algenfreie Schwimmteiche dank Wundermittel Allelopathie?

Eine erste Untersuchung in Schwimmteichen

Algenfreier Schwimmteich.
Das ist der Wunsch vieler
Schwimmteichbesitzer.
Allelopathisch aktive Stoffe
können zu einem Teil der
Schlüssel dazu sein.

MatthiasFrei

mafr@students.zhaw.ch



Üppiges Pflanzenwachstum schafft eine Konkurrenzsituation zum Algenwachstum und leistet einen grossen Beitrag zur Wasserqualität.

Genau so kompliziert wie sich dieses Wort „Allelopathie“ aussprechen lässt, so kompliziert ist auch das Themenfeld das dieses Wort beschreibt und das Ökosystem das dazu untersucht wurde.

Was ist Allelopathie denn überhaupt?

Neben dem Konkurrenzkampf um Platz, Nährstoffe und Licht bestimmen weitere Faktoren das Zusammenleben von Pflanzen. Manche Pflanzen geben chemische Stoffe an ihre Umgebung ab, welche das Wachstum anderer Pflanzen hemmen oder auch fördern können. Diese Fähigkeit wird als Allelopathie bezeichnet (Molisch, 1937).

Und was bringt das?

Einerseits werden die Pflanzen mit allelopathisch aktiven Stoffen von Pflanzenfressern gemieden. Andererseits gelangen diese Stoffe der Pflanzen ins Wasser und kämpfen dort gegen überhöhte Algendichten. Somit haben die Pflanzen mehr Licht und Nährstoffe und verschaffen sich vor

allem im Frühsommer einen Wachstumsvorsprung gegenüber den Algen. Wenn die Algen dann doch noch kommen, sind die Pflanzen schon sehr produktiv und stehlen den Algen fleissiger die Ressourcen weg. Das ist auch in natürlichen Gewässern mit vielen Nährstoffen hilfreich.

Hab ich allelopathisch aktive Stoffe auch in meinem Schwimmteich und kann ich diese fördern?

Ziemlich sicher haben sie diese! Von 12 untersuchten Teichen haben 11 eine Menge dieser Algenhemmstoffe enthalten. Wie man diese gezielt fördern kann, ist noch nicht ganz klar. Die Einflüsse durch das Zusammenleben der vielen verschiedenen Pflanzenarten und anderen Einflüssen auf die Algen und Pflanzen macht die Sache sehr kompliziert. Ausserdem sind die Verhältnisse in Schwimmteichen nochmals etwas anderes als in natürlichen Gewässern. Kiesfilterbakterien bauen einen Teil der Hemmstoffe ab. Die Strömung, die durch die Umwälzpumpen erzeugt wird



Kiesfilter bauen allelopathisch aktive Stoffe zwar zu einem Teil ab, es sind aber immer noch Hemmstoffe vorhanden.

kann aber als Verteiler der Hemmstoffe dienen. So sind diese dann auch im pflanzenlosen Schwimmbereich vorhanden.

Es gibt aber einige Pflanzenarten, die dafür bekannt sind, dass sie allelopathisch aktive Stoffe enthalten. So zum Beispiel das Ährige Tausendblatt (*Myriophyllum spicatum*), das Hornkraut (*Ceratophyllum demersum*), das Nixenkraut (*Najas marina ssp. intermedia*) oder Nuttall's Wasserpest (*Elodea nuttallii*). Hat man diese Pflanzen im Schwimmteich, sind die Voraussetzungen nicht schlecht. Entscheidend dabei

soll aber auch der Volumenanteil die die Pflanzen einnehmen sein. Die Untersuchung hat aber gezeigt, dass auch bei geringen Pflanzenbeständen schon eine Wirkung vorhanden ist. Wie all diese Variablen genau zusammenspielen, ist noch nicht abschliessend geklärt. Wenn eine Hemmwirkung durch allelopathisch wirksame Stoffe vorhanden war, wurden gleichzeitig keine grösseren Algendichten gefunden.

Und wenn ich die Pflanzen in meinen Teich setzte habe ich nie mehr Algenprobleme?

Allelopathisch aktive Stoffe können bei der Algenbekämpfung ein Puzzleteil zum Erfolg darstellen, werden aber kaum als *dass Wundermittel* gegen Algenwachstum in Schwimmteichen eingesetzt werden können. Damit dieses Puzzleteil richtig eingesetzt werden kann, wären weitere Studien bezüglich Allelopathie nötig. Die Liste der allelopathisch aktiven

Pflanzen zu beachten und diese gezielt und vermehrt zu pflanzen, kann auf alle Fälle nicht schaden und könnte für zukünftige Untersuchungen sehr spannend sein. Dabei sollte aber auch darauf geachtet werden die eventuell gepflanzten Neophyten im Teich bleiben und nicht in natürliche Gewässer gelangen. Denn diese konkurrieren und verdrängen dort oft einheimische Arten. Die anderen Puzzleteile wie nährstoffarmes Wasser, grosse Pflanzenvolumen und die dadurch stärkere Konkurrenz um Nährstoffe, die Beschattung durch Schwimmblattpflanzen, etc. und die richtige Pflege des Systems legen immer noch die Grundsteine für die Algenbekämpfung. Genauer dazu kann man in der Arbeit „Wachstumshemmung von Blau, Grün- und Kieselalgen in Schwimmteichen durch allelopathisch wirkende Wasserpflanzenexudate“ finden.



Im Gegensatz zu Fadenalgen die abgefischt werden können, sind frei schwimmende einzellige Algenarten schwieriger zu bekämpfen.



Das Ährige Tausendblatt (Myriophyllum spicatum) sondert allelopathisch aktive Stoffe aus.