

Biomonitoring der Wasserqualität mit *Elodea densa*

Vorgelegt von Birte Wolff
am 14.2.2005

Gliederung:

I. ZUSAMMENFASSUNG	3
II. EINLEITUNG	4
a. Wasserverschmutzung und Qualitätskontrolle	4
b. Klärwerk Regensburg	5
c. Die Photosynthese	7
d. Einleitung zu den Versuchen	7
III. FRAGESTELLUNG	8
IV. MATERIAL UND METHODEN	9
a. Modellpflanze	9
b. Die Insektizide	9
c. Die Behälter	10
d. Die Messgeräte	10
e. Proben aus den Gewässern:	10
V. MODELLENTWICKLUNG	11
VI. ERGEBNISSE	13
b. Die pH Versuche	13
c. Die Temperaturversuche	14
d. Die Klärversuche	15
f. Nachweis von Insektizid mit der Standardmethode der Kläranlage	17
VII. DISKUSSION	18
VIII. ANHANG:	22
IX. LITERATURLISTE	26

I. Zusammenfassung

Wasserverschmutzung ist eines der dringendsten Probleme unserer Zeit. Um sie zu verringern muß man sie erkennen und verschiedene Messinstrumente entwickeln. Spezifische Methoden können bekannte Umweltgifte erkennen. Dies bietet aber keinen Schutz vor neuen, unbekanntem Schadstoffen. In dieser Arbeit wird eine unspezifische und schnelle Kontrollmethode vorgeschlagen: Die Sauerstoffproduktion einer Wasserpflanze *Elodea densa* (der „Gemeinen Wasserpest“), welche von der Wasserqualität abhängt.

Bei meinen Versuchen wurde je ein 25 g schweres *Elodea densa* Bündel in 24 l Wasser gehalten. Der produzierte Sauerstoff wurde aufgefangen und in Messröhrchen geleitet. Die O₂-Produktion pro Zeit wurde so bei verschiedenen Bedingungen getestet. Die Pflanze ist jedoch empfindlicher als allgemein angenommen. Für eine Dauerproduktion muss enthärtetes, abgestandenes und mit Mineralstoffen angereichertes Wasser verwendet werden. Licht ist die wichtigste Außenbedingung für hohe Sauerstoffproduktion. Wenn die Versuche im Sommer im Freien durchgeführt wurden, war die O₂-Produktion je nach Sonneneinstrahlung zwischen 0.93 ml/h, und 2.73 ml/h (± 0.38 ml bzw. ± 3.09 ml S.D. [=Standardabweichung]), bezogen auf das Gewicht der Pflanze: 0,04-0,12 ml/(h×g). Bei 40 W elektrischem Licht wurde nur 0.30 ml/h (± 0.13 ml S.D.) produziert. Der pH-Wert des Wassers spielte ebenfalls eine Rolle: bei pH = 7.5 wurde am meisten Sauerstoff produziert (1.08 ml/h). Sowohl Alkalisierung (pH = 8.6, 0.975 ml/h), als auch Säuerung (pH = 5, 0.325 ml/h) verminderten die O₂ Produktion. Ungeklärtes Abwasser aus dem Klärwerk Regensburg war trübe und blockierte die O₂-Produktion vollständig. Wurde dieses Wasser im Verhältnis 1:0, 1:1, 1:10, 1:15 oder 1:20 mit geklärtem Wasser verdünnt, sank die O₂-Produktionsmenge auf: 13.3% 20%, 52.5% 83,7%, bzw. 87,5% der optimalen Produktion. Als Test für den Ernstfall wurde Leitungswasser mit den handelsüblichen Insektiziden Bulldock[®] und Fastac[®] versetzt. Mit dem Standardnachweis der Kläranlage war das Insektizid Bulldock[®] erst bei Konzentrationen von >0.2ml/l nachweisbar. Jedoch mit *Elodea densa* waren bereits 0,02ml/l nachweisbar und reduzierten die Produktion auf 22,4%. Fastac[®] wurde ebenfalls erkannt.

Das System ist in der Lage, relevante Umweltgifte zu erkennen, die den spezifischen Kontrollen, zum Beispiel in der Kläranlage Regensburg, entgehen können. Die optimale Verdünnung von Klärwasser zur Messung in diesem System ist 1:15. Die photosynthetische O₂-Produktion von *Elodea densa* ist ein preiswertes praktikables Kontrollinstrument für Wasserverschmutzung.

II. Einleitung

Die Umweltverschmutzung unserer Erde nimmt mit der wachsenden Population und dem steigenden Lebensstandard ständig zu. Deshalb müssen neue Wege der Kontrolle und Beseitigung der Giftstoffe gefunden werden. In der folgenden Einleitung wird erläutert, warum biologische und unspezifische Kontrollen wichtig sind, wie die Photosynthese dazu beitragen kann und wie die Regensburger Kläranlage funktioniert.

a. Wasserverschmutzung und Qualitätskontrolle

In den letzten Jahrzehnten ist in der Bevölkerung die Angst vor Umweltschäden und ihren negativen Folgen für die Gesundheit stark gewachsen. Am 2. Februar 1999 berichtete die Mittelbayerische Zeitung von dem Skandal des oberbayerischen Chemiewerks SKW Trostberg in Münchsmünster. Die Donau war durch Hexachlorbenzol (HCB) verseucht worden. Man erkannte dies erst bei einer Untersuchung der Donaufische. Die meisten Fischarten hatten den Grenzwert des Giftstoffes um das Zwölfwache überschritten und waren danach über drei Jahre lang vom Verkauf ausgeschlossen worden. Solche Skandale wecken die Menschen auf. Eines unserer höchsten Güter, unsere Gesundheit, steht auf dem Spiel. Es gilt die Ursachen, die beteiligten Substanzen, deren biologische Auswirkungen, sowie die möglichen Methoden zur Kontrolle und Beseitigung der Verschmutzung zu erforschen. Wasser ist unser wichtigstes Lebensmittel und für alle anderen Organismen ebenfalls essentiell.

In dieser Arbeit soll eine Methode zur Kontrolle der Wasserverschmutzung vorgestellt werden. Es gibt zwei Arten der Kontrolle. *Spezifische* Kontrollen sind bereits an vielen Fabriken und Überwachungsanlagen an Flüssen vorhanden. Dabei wird Wasser regelmäßig auf ausgewählte Schadstoffe getestet. Die Grenzwerte für die einzelnen Schadstoffe sind festgelegt. Die Kläranlage Regensburg beispielsweise untersucht die Wasserqualität regelmäßig bezüglich Schwermetallen, Nitrit, Nitrat, Chlorid, Sulfat, Phosphor, Fluor und Ammoniak. (Klee O., 1985). Dies sind zwar häufige Gifte, es bleibt aber eine große Anzahl seltener, vermutlich auch unbekannter Gifte ohne Kontrolle. Sie alle auf einmal zu erkennen, wäre Aufgabe einer *unspezifischen* Kontrolle. Eine solche Kontrolle spart viel Geld und Zeit im Vergleich zu chemische Tests. Biologische Indikatoren eignen sich dafür besonders. (Kügel 1993, Steinberg, C. & Schiefele 1988)

Häufig verwenden Biologen Flechten als Indikatoren. Das sind flächig ausgebreitete Pflanzen, die Böden oder Bäume bedecken. Sie reagieren stark auf Klima und Luftqualität. Ihre Präsenz zeigt Biologen den grundlegenden Zustand des Ökosystems (Wirth 2002). Diese Idee wurde auf die Kontrolle des Zustands von Gewässern übertragen:

Karla Monschau-Dudenhausen beschrieb Untersuchungen dieser Art in ihrer Arbeit "Wasserpflanzen als Belastungsindikatoren in Fließgewässern"(1982). Wie bei meiner Methode wurde eine empfindliche Pflanze eingesetzt, um eine Veränderung der Wasserqualität anzuzeigen. Die Biologin machte eine Bestandsaufnahme von der Fauna verschiedener Flüsse. Sie untersuchte Zusammenhänge zwischen der Anzahl der Pflanzen und den Inhaltsstoffen des Wassers. Die chemische Belastung der Flüsse ließ sich an der Art und Anzahl Pflanzen darin ablesen. Beispielsweise enthielt auch schon ein Gewässer mit nur schwacher Abwasserbelastung schon keinen *Ranunculus fluitans* mehr.

Die hier vorgestellte Methode arbeitet nach einem anderen Prinzip. Messwert ist nicht die Artenzusammensetzung, sondern ihre Stoffwechselleistung.

b. Klärwerk Regensburg



Die natürliche Selbstreinigungskraft des Wassers wird durch die Menschen gestört. Im Übermaß beigefügte Schadstoffe überfordern das natürliche System häufig und müssen daher in speziellen Reinigungsverfahren entfernt werden. Wichtig für diese Arbeit sind vor allem die Kläranlagen. Die nun 25-jährige Kläranlage Regensburg verfügt über eine mechanische und eine biologisch-chemische Stufe der Abwasserreinigung, sowie über ein System zur Klärschlammbehandlung.

Die mechanische Stufe:

Das verschmutzte Wasser, das von der Kanalisation in die Anlage fließt, nennt sich Zulauf. Die erste Station ist die Rechenanlage mit dem Sandfangbecken. Dort bleiben sperrige Gegenstände hängen. Beide Becken sind belüftet, um das Absetzen von Klärschlamm zu verhindern. Die Sandfänge besitzen Fettabscheider, um Fette und andere schwimmfähige Stoffe abzufangen. Der Sand wird nun in spezielle Waschanlagen gefördert und abtransportiert. Anschließend sind die Vorklärbecken, wo der Klärschlamm am Boden sedimentiert und regelmäßig abgesaugt wird.

Die biologisch-chemische Stufe:

Mit Hilfe von aeroben Destruenten werden in drei Beckenteilen mit unterschiedlichen Millieubedingungen Phosphorverbindungen, organische Stoffe, und Stickstoffverbindungen aus dem Wasser eliminiert. Für die biologische Phosphatelimination (Bio-P) muss das Wasser zunächst sauerstoffarm sein. Die Mikroorganismen verlieren in dieser „Stresssituation“ Phosphat. Es folgt ein belüftetes Becken, in dem sie nun mehr Phosphat aus dem Abwasser aufnehmen, als sie im vorigen Schritt abgegeben hatten.

Als Unterstützung der Bio-P erfolgt eine chemische Phosphorelimination durch Fällmittel. Zur Zeit wird ein Fällmittel von der Fabrik „Südchemie“- („Südfloc“) verwendet. Dieses Mittel besteht aus ca. 2/3 Aluminiumchlorid und 1/3 Eisen(III)chlorid. Die Menge wird mit Hilfe kontinuierlicher Phosphormessungen reguliert.

Der nächste Reinigungsschritt findet im Belebungsbecken, oder Nitrifikationsbecken, statt. Hier werden die Destruenten durch aktives Einpumpen von bis zu 30 000 m³/h Luft mit ausreichend Sauerstoff versorgt. Sie veratmen die organischen Verbindungen wie in der Natur. Dadurch werden die restlichen Verschmutzungen abgebaut, und es setzt sich wieder Klärschlamm ab. Zugleich wird der unerwünschte Ammoniumstickstoff(NH₄) zu Nitrat(NO₃) oxidiert.

Im folgenden Denitrifikationsbecken herrscht zwar Sauerstoffmangel, aber ein Überfluss an NO₃⁻ vom vorigen Becken. Die denitrifizierenden Bakterien entziehen den im NO₃⁻ gebundenen Sauerstoff und es entsteht N₂.

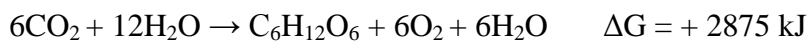
Klärschlammbehandlung:

Der Klärschlamm wird zunächst in Zentrifugen eingedickt und dann in die Faulbehälter gepumpt, wo durch die Mikroorganismen der organische Anteil weiter abgebaut wird. Dabei wird täglich ca. 8200 m³ brennbares Faulgas (Methan) gewonnen und zur Stromerzeugung im betriebseigenen Blockheizkraftwerk wiederverwendet. Dies deckt 80% des Energiebedarfes des Klärwerks. Nach Abschluss des biologischen Abbaus wird der Schlamm auf LKWs verladen und in Kohlekraftwerken als Sekundärbrennstoff zur thermischen Stromerzeugung verwertet.

Insgesamt liegt die Reinigungsleistung der Anlage in Regensburg wegen der Qualitätskontrolle im betriebseigenen Abwasserlabor deutlich über den gesetzlichen Mindestanforderungen (Wedi & Wilderer 1993, Scheurer K., Lorenz R. 2003).

c. Die Photosynthese

Die Photosynthese ist eine Stoffwechselleistung der grünen Pflanzen. Aus Kohlenstoffdioxid und Wasser werden Kohlenhydrate aufgebaut und Sauerstoff abgegeben. Dieser Vorgang benötigt Licht und wird deshalb "Photosynthese" genannt. Sie gliedert sich in zwei Schritte, die Licht- und die Dunkelreaktion. Bei der Lichtreaktion wird die Lichtenergie in Energieäquivalent ATP und Reduktions-äquivalent NADPH/H⁺ umgewandelt. Dabei entsteht elementarer Sauerstoff. Bei der Dunkelreaktion wird aus diesen Energieäquivalenten und CO₂ Zucker hergestellt. Man kann den gesamten Vorgang der Photosynthese mit folgender Gleichung beschreiben:



ΔG ist die Energie, die nötig ist, um ein Mol Traubenzucker aus 6Mol CO₂ und 6Mol H₂O herzustellen. Sie kommt von der Lichteinstrahlung und wird als chemische Energie vor allem in den entstandenen Kohlenhydraten gespeichert. Der umgekehrte Vorgang ist die Atmung. (Böger 1975, Daumer 1984)

d. Einleitung zu den Versuchen

Die ersten Versuche sollen untersuchen, wie die Pflanze auf die Faktoren pH-Wert und Temperatur reagiert.

Anschließend sollen die Pflanzen in der Kläranlage mit verschiedenen Konzentrationen des verschmutzten Zulaufs konfrontiert werden. Dabei soll nicht nur ein einzelner Aspekt der Wasserqualität, sondern eine Gesamtheit von Faktoren gemessen werden. Um das Wasser beurteilen zu können soll ermittelt werden, welche Konzentration des Zulaufs die Pflanze noch tolerieren kann.

Dann soll ein Ernstfall getestet werden. Was passiert, wenn eine große Menge an Insektiziden aus Versehen als Abfall in die Toilette gespült wird? Um eine tatsächlich mögliche Situation zu inszenieren, werden Insektizidproben von einem Bauern auf ihre Wirkung auf die Photosynthese der Pflanze getestet.

Schließlich soll experimentell überprüft werden, ob das Labor der Kläranlage Regensburg mit den üblichen Routinemethoden die Insektizide erkennen kann. Ein ideales Erkennungssystem wäre dann gefunden, wenn diese Gifte durch die normalen Überprüfungen der Kläranlage übersehen, durch das neue System aber erkannt würden.

III. Fragestellung

Hauptfrage

Bietet die Wasserpflanze *Elodea densa* als Indikator einen zusätzlichen Schutz vor Wasserverschmutzungen?

Hypothese

Wenn sich die Wasserqualität verschlechtert, vermindert sich die Sauerstoffproduktion von *Elodea densa*.

Spezifische Fragestellungen

1. Wie beeinflusst der pH-Wert die Photosyntheserate von *Elodea densa* („Gemeine Wasserpest“)?
2. Wie beeinflussen Temperaturschwankungen die Photosyntheserate der „Gemeinen Wasserpest“?
3. Kann man die Wasserpest sinnvoll im Zulauf der Kläranlage Regensburg einsetzen?
4. Wie beeinflussen die Insektizide Bulldock[®] und Fastac[®] die Photosyntheserate von *Elodea densa*?
5. Ab welcher Konzentration kann das Labor der Kläranlage Regensburg das Insektizid Bulldock[®] mit den Standardmethoden erkennen?

IV. Material und Methoden

a. Modellpflanze



Als Modellpflanze wurde die dichtblättrige Wasserpest gewählt, weil sie für anspruchslosigkeit und hohe Sauerstoffproduktion bekannt ist. Bei Wasserpflanzen (Hydrophyten) erfolgt die Aufnahme von Wasser und dem darin gelösten Kohlenstoffdioxid und den gelösten Mineralstoffen über die gesamte Oberfläche. Nach etwa 30 - minütiger Tageslichteinstrahlung bei Zimmertemperatur sind an der Oberfläche winzige Gasbläschen zu erkennen, die bei Bewegung der Pflanze abperlen und zur Wasseroberfläche aufsteigen. Die Menge des Sauerstoffs soll als Indikator für den Gesundheitszustand der Pflanze dienen. Anzunehmen war, dass die Pflanze nur bei guter Wasserqualität für Pflanzen beste Bedingungen zur Photosynthese hat (Daumer 1984, Bayrhuber 1989).

Der wissenschaftliche Name der Wasserpflanze ist *Elodea densa*. Sie stammt vermutlich aus den USA und wurde in Europa eingebürgert. *Elodea densa* ist eine Stängelpflanze mit 3 - 5 Blättchen je Blattquirl. Jeder Stängel beträgt bei Verkauf etwa 60 cm und hat einen wöchentlichen Wuchs von etwa 10 cm. Die Vermehrung erfolgt über Kopfstecklinge die ca. 20 cm lang sind. *Elodea densa* wächst erstaunlicherweise in Kalt- und Warmwasser (www.gartencenter-siemes.de, Sauerhoff 2003).

Eingruppierung: Klasse: Monocotylen (Einkeimblättrig.)

Ordnung: Helobiarae

Familie: Hydrocharitaceae

Genus: *Elodea*

Spezies: *Elodea densa*

(Sauermost 2003, Sauerhoff 2003, Sitte 1988, Erhardt 2000)

Für die Versuche wurde sie stets aus der gleichen Quelle, dem Pflanzenladen „Dehner“, Regensburg, in Bündeln von etwa 5 - 6 Zweigen, gekauft.



b. Die Insektizide

Als Testinsektizide wurden solche gewählt, die in der Landwirtschaft der Oberpfalz üblich sind. Nach Rücksprache mit einem ansässigen Landwirt fiel die Wahl auf Bulldock[®] und Fastac[®].

Bulldock[®] (Firma: Bayer) ist ein Insektizid zur Prävention. Es verhindert das Auftreten von beißenden und saugenden Insekten. Nach der Packungsbeschreibung ist Bulldock[®] „gut pflanzenverträglich“, aber gleichzeitig für Fische, Algen, Bienen und

Menschen giftig. Der Wirkstoff ist Beta-Cyfluthrin (35 g/l)(C₂₂H₁₈Cl₂FNO₃). Nach der Gefahrstoffverordnung ist Bulldock[®] als Xn = gesundheitsschädlich eingestuft.

Fastac[®] (Firma: BASF) ist ein Insektizid, welches als Kontaktmittel wirkt. Landwirte setzen es ein, wenn es zu einem Schädlingsbefall gekommen ist. Der Wirkstoff ist Alphacypermethrin (100 g/l) (C₂₂H₁₉NO₃Cl₂). Nach der Gefahrstoffverordnung ist Fastac[®] als Xi = reizend eingestuft. (<http://www.umwelt-online.de>) Beide Insektizide sind von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft amtlich geprüft und zugelassen. Der Verkauf in normalen Pflanzenläden ist nicht zugelassen.

Der pH-Wert wurde durch Natriumbisulfat, in Form des handelsüblichen Schwimmbadzusatzes pH-Minus[®] (BAYROL), beeinflusst.

c. Die Behälter

Als Wasserbehälter bewährten sich durchsichtige Plastikbehälter mit Deckel (666.984.00-12246, IKEA, Schweden). Sie fassen ca. 25 l Wasser. Um die Sauerstoffbläschen aufzufangen, wurden weiße Haushaltstrichter und einseitig verschlossene Tuben verwendet. Bei der Umrechnung des Sauerstoffs von gemessene cm in ml, benötigte man eine Pipette und einen Pellesball.

d. Die Messgeräte

Zur Temperaturmessung wurde ein Alkoholthermometer mit einer 0.5°C-Skalierung verwendet. Ein elektronischer Tauchsieder wurde für die Temperaturregelung eingesetzt. Um die Pflanzen zu wiegen, wurde eine normale Briefwaage verwendet. Die Pflanzen sollten alle gleich gut abgetropft sein.

Im Labor der Kläranlage Regensburg maß man den Sauerstoffgehalt des Wassers elektronisch. Der Klärschlamm wurde für den Versuch mit einer Luftpumpe belüftet um eine ausreichende Sauerstoffzehrung zu messen.

e. Proben aus den Gewässern:

Der Einfluss des pH und der Wasserhärte auf *Elodea densa* wurde zunächst in der Natur beobachtet. Das Südufer der Naab von Etterzhausen bis zur Donau (ca. 3km) wurde abgelaufen und der pH und die Wasserhärte gemessen. Die Härte ist ein Maß für die Menge des CaCO₃ im Wasser. Die verwendeten pH- und Härte-Teststäbchen zeigten eine Abstufung von einem halben pH-Wert bzw. 1,5 - 9°dGH. In der Altmühl, nahe der Mündung in den Ludwig-Donau-Main-Kanal, wurde eine Beobachtung der Pflanzenmenge und eine pH-Wert Messung vorgenommen. Zum Vergleich wurde das Leitungswasser in Nittendorf-Regensburg auf gleiche Weise gemessen (Römpp 1995).

V. Modellentwicklung

Es wurde die Geschwindigkeit der Sauerstoffproduktion gemessen. Mit jedem der aufwendigen Versuchen sollten gleichzeitig mehrere Einflüsse getestet werden, um die Datenmenge zu erhöhen. Zusätzlich brauchte man stets eine Kontrolle unter Normbedingungen, um Variationen der äußeren Bedingungen zu kontrollieren und so verschiedene Versuche miteinander vergleichbar zu machen.

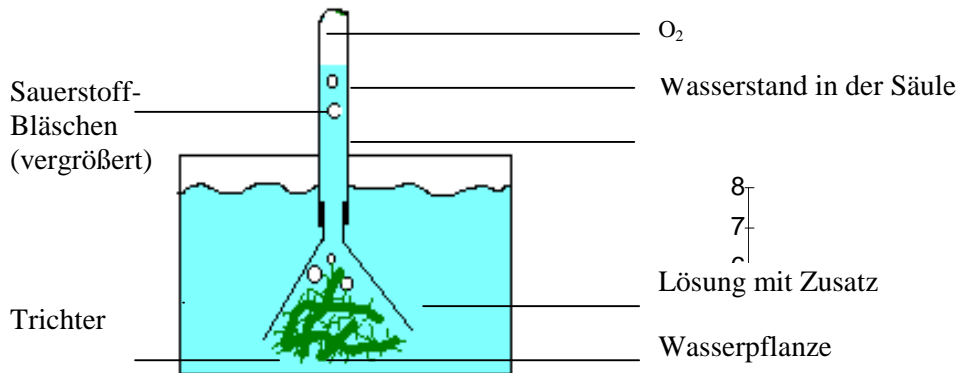
Die Gefäße müssen lichtdurchlässig, relativ groß und vor allem identisch sein. Mit Hilfe einer Briefwaage wurde das Gewicht der Pflanzenbündel ermittelt und diese zu je 25 g Pflanzenbündeln gezupft und in das Wasser gelegt.

Je ein handelsüblicher Haushaltstrichter wurde über die Pflanzen gestülpt. Auf das Ende dieser Trichter wurden mit Wasser gefüllte Tuben gestülpt. Um die Stabilität zu fördern, musste für jeden Trichter ein Drahtgestell gebastelt werden, welches auf dem Boden stand. Der Draht auf der Außenseite des Trichters diente der zusätzlichen Beschwerung. Um die Tuben noch weiter zu fixieren, wurde von Ecke zu Ecke ein langer Draht über die Öffnung des Behälters gespannt. So entstand in der Mitte ein Kreuz, an welchem mit einem kleineren Stück Draht eine Schlaufe für die Tube geformt wurde. (siehe Anhang [1])

Nach einigen Versuchen ergab sich folgendes Standardvorgehen. Es wurde bei allen in Ergebnisse aufgeführten Versuchen eingesetzt:

1. Je 24 l Wasser in die drei Behälter gefüllt. Je nach Versuch wurden nun Zusätze zugegeben. Nach Möglichkeit wurde das Wasser einen Tag stehen gelassen, bevor die Pflanze eingesetzt wurde.
2. Zu jedem Behälter wurde ein *Elodea densa* Büschel von 25 g unter die Trichter gelegt.
3. Die Trichter wurden mit der großen Öffnung nach unten in die Behälter gedrückt.
4. Die Tuben wurden unter Wasser gedrückt und von unten durch die Schlaufe geschoben, so dass keine Luft hinein kam.
5. Die Tuben wurden fest auf die kleine obere Trichteröffnung gedrückt.
6. Es wurde geprüft, ob alle Pflanzenstücke unter dem Trichter waren.
7. Bei einer Versuchsanordnung im Raum wurde nun die Beleuchtung eingeschaltet. (je eine Halogenlampe mit 40 Watt und eine gewöhnliche Lampe mit 100 W)
8. Während des Versuchs wurde die Gasmenge in den Tuben regelmäßig gemessen (Zentimetermaß) und protokolliert.
9. Ein Versuch galt als beendet, wenn eine Tube kein Wasser mehr enthielt.

Skizze1: Versuchsaufbau



Versuchsaufbau in dem Labor der Kläranlage Regensburg:

Für den Standardinsektizidnachweis der Kläranlage wurde ein vorgeschriebener Versuchsaufbau durchgeführt: Belebtschlamm der Kläranlage Regensburg wurde in einen belüfteten Behälter gegeben. Mit einem Reagenzbecher entnahm man 100 ml des Belebtschlammes. Der Fühler des nun kalibrierten Sauerstoffmessgeräts wurde hineingehalten und der Behälter mit einem Deckel luftdicht verschlossen. Nach wenigen Minuten war die Sauerstoffabnahme konstant und nun wurden alle 30 Sekunden die Temperatur und der O₂-Gehalt des Wassers bestimmt. Einzelne Portionen von 0.015 ml Bulldock[®] gab man mit Hilfe einer Pipette in den Belebtschlamm. Diese Vorgehensweise wiederholte man bis zu einer Konzentration von 8.0 ml/l. Am Ende wurde mit einer kleinen Probe des Belebtschlammes ein Präparat zur mikroskopischen Untersuchung hergestellt.

Frage nach dem Gas

Erste Versuche bestätigten die vorausgesagte Gasentwicklung. Theoretisch hätte dieses Gas auch CO₂ sein können, denn die Pflanze atmet ständig. Bei einem Kontrollversuch im gleichen Raum mit und ohne Beleuchtung ergab sich, dass bei Dunkelheit kein Gas produziert wurde. Schon bei leichter Dämmerung war das Phänomen jedoch stets wieder zu beobachten. Die Lichtabhängigkeit unterscheidet die Photosynthese von der Atmung. Das produzierte Gas war also Sauerstoff.

Die Tube wurde mit einem Lineal und einem wasserfesten Stift beschriftet und mit Hilfe einer Pipette sowie einem Pelletsball mit Wasser gefüllt. Erreichte der untere Teil der Wasserellipse eine cm - Markierung, konnten die ml an der Pipette abgelesen und notiert werden (siehe Anhang [2]). Für jeden cm errechnete man einen Mittelwert. Diese Werte „x“, wurden je durch ihre zugehörige cm Anzahl „n“ geteilt. Für diese Berechnung durfte der erste cm nicht berücksichtigt werden, denn die Tube ist unten gewölbt. Der Mittelwert von allen x/n-Werten ist = 1.30559.

$$\Rightarrow 1 \text{ cm O}_2 \text{ in Tube} = 1.3 \text{ ml O}_2$$

VI. Ergebnisse

a. Beobachtung der Gewässer:

Mit den ersten Beobachtungen sollten die Toleranzbereiche der Pflanze ermittelt werden. Die Untersuchung der einheimischen Gewässer ergab: In der Naab wurden nur sehr wenige *Elodea densa* gefunden. An dem drei Kilometer langen Ufer wurden nur 3 Stängelpflanzen gefunden. Der pH betrug hier 8,2, die Gesamthärte 6,5° und die Karbonhärte 4,4°. Auffallend große Mengen an Wasserpest fanden sich in der Altmühl. An flachen Stellen war das gesamte Flussbett bewachsen. Dort war der pH 7.

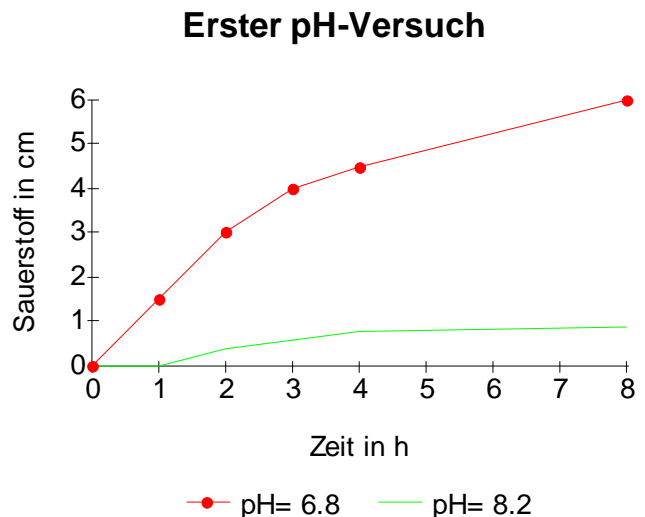
In Leitungswasser aus Nittendorf beträgt der pH 7, die Gesamtwasserhärte 23°, und die Karbonathärte 10 - 13°. In diesem relativ harten Wasser zeigten die Pflanzen innerhalb von sechs Tagen braune Verfärbungen und die Sauerstoffproduktion stagnierte. Später wurde das Flusswasser der Naab mit geringerer Härte verwendet. In diesem Wasser gedeihen die Pflanzen ganz prächtig (siehe Anhang [3]).

b. Die pH Versuche

Die pH-Versuche wurden mit Naabwasser durchgeführt. Im ersten Behälter, ohne pH-Minus®, lag der pH bei 8,2. Der Behälter blieb auch nach einigen Tagen noch durchsichtig. Im zweiten Behälter war nach Zugabe von 25g pH-Minus® der pH = 6,8. An diesem Behälter setzten sich Algen ab.

Wertetabelle der Sauerstoffproduktion
mit den pH-Werten 6,8 und 8,2 im Vergleich:

Zeit (in h)	O ₂ in pH=6,8 (in cm)	O ₂ in pH=8,2 (in cm)
0	0	0
1	1,5	0
2	3	0,4
3	4	0,6
4	4,5	0,8
8	6	0,9

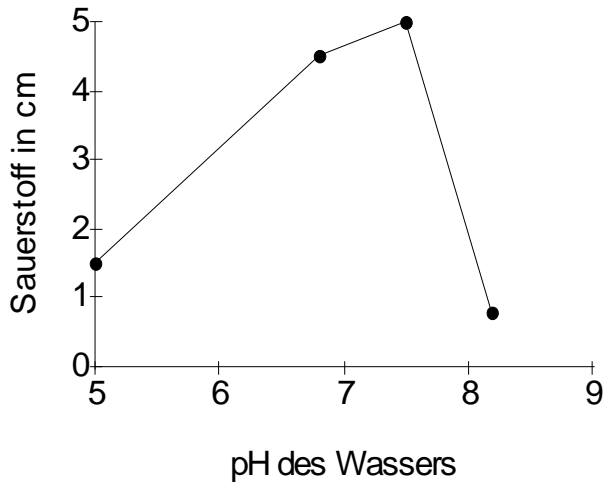


Im basischen Wasser war die Sauerstoffproduktion eindeutig geringer als im leicht Sauren. Beide Kurven flachten nach drei Stunden zunehmend ab.

Zweiter pH-Versuch:

Im zweiten pH-Versuch wurden niedrigere pH-Werte getestet. In dem Wasser mit pH = 5 ergab sich keine hohe Sauerstoffausbeute. Nach etwa 4 Tagen wurde der Behälter mit

dem pH=7,5 von innen durch Algen grün. Der Behälter mit pH=5 blieb wesentlich länger durchsichtig. (siehe Anhang [4])



O₂-Produktion nach 6 Stunden in Abhängigkeit vom pH:

Aus den beiden Versuchen ergab sich die O₂-Produktion nach 6 Stunden als bester Messwert. Trägt man die O₂-Produktion nach sechs Stunden in Abhängigkeit vom pH aus beiden Versuchen auf, dann zeigt sich ein deutliches Optimum bei pH=7,5. Dies entsprach den Beobachtungen in der Natur.

c. Die Temperaturversuche

Die Temperaturversuche wurden im Haus durchgeführt. Jeder Behälter erhielt künstliche Beleuchtung und ein Thermometer. Mineralstoffarmes Leitungswasser wurde durch Zugabe von je einem Liter fauligem Regenwasser pro Behälter verbessert. Das Wasser wurde mit einem Tauchsieder erhitzt bzw. mit Eiswürfeln abgekühlt. Die damit erreichte Temperatur wurde möglichst konstant gehalten, indem der Tauchsieder je nach Temperatur an oder ausgeschaltet bzw. neues Eis zugegeben wurde.

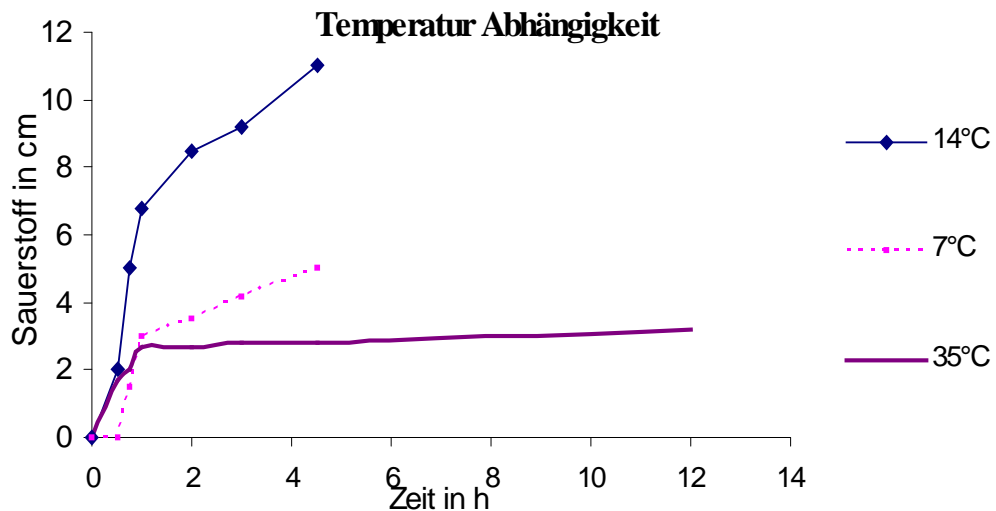
Beobachtungen und Ergebnisse

Die Sauerstoffproduktion war sehr stark von der Temperatur abhängig. Sie war in kaltem Wasser zunächst völlig eingeschränkt, in warmem Wasser jedoch genauso hoch wie beim Versuchsansatz mit Zimmertemperatur. Nach einer Stunde änderte sich das: Die Produktion im warmen Wasser wurde langsamer, die im Kalten so schnell wie die Kontrolle. Am Ende des Versuchs waren alle Pflanzen immer noch so grün und vital wie am Anfang.

Wertetabelle der Sauerstoffproduktion bei 14°C, 7°C und 35°C:

Zeit (in h)	1.Behälter mit Starttemp. 14° C	2.Behälter mit Starttemp.7°C	3.Behälter mit Starttemp. 35°C
0	0	0	0
0,5	2	0	1,7
0,75	5	1,5	2
1	6,8	3	2,7
2	8,5	3,5	2,7
3	9,2	4,2	2,8
4,5	10,5	5	2,8
12	>15	>15	3,2

(Im Haus, künstliche Beleuchtung, nach 6h keine Regulierung der Temperatur mehr, zwei Tuben waren nach 12 Stunden mit O₂ gefüllt es wurden deshalb keine weiteren Messungen notiert)



Schlussfolgerung aus den ersten Versuchen:

Nach diesen Versuchen erkennt man, dass die Wasserpest auf Umweltfaktoren empfindlich reagiert. Das bedeutet, dass sie ein stenökes Lebewesen ist und deshalb als Indikator für die Verschmutzung eines Lebensraums dienen könnte. Um diese Vermutung weiter zu prüfen, wurden die Pflanzen auch in äußerst verschmutztem Wasser getestet, nämlich mit dem Wasser einer Kläranlage.

d. Die Klärversuche

Die Versuche der Hauptfragestellung wurden im Freien durchgeführt. Schon der Anblick des übelriechenden und sehr trüben Zulaufs des Klärwerks Regensburg ließ vermuten, dass die Methode hierin ungeeignet ist. In der Tat produzierte *Elodea densa* in dieser Flüssigkeit nahezu keinen Sauerstoff. In der nächsten Versuchsreihe wurde daher das Zulaufwasser verdünnt, und zwar mit dem Ablauf des Klärwerks. Ziel war es, eine möglichst hohe und doch verträgliche Konzentration des schmutzigen Wassers zu ermitteln, um eventuelle zusätzliche Schadstoffe zu erkennen.

Beschreibung der Wasserqualität der insgesamt getesteten Konzentrationen:

Zulauf: übelriechend, sehr trüb (Trichter nicht zu sehen), viele Krankheitserreger

1:1 übelriechend, sehr trüb, viele Krankheitserreger

1:10 durchsichtig mit braunem Schleier, Trichter gut zu sehen

1:15 kaum ein Unterschied zu 1:10, nur etwas heller

1:20 fast wie Ablauf, gelb-bräunlich durchsichtig, wenige Krankheitserreger

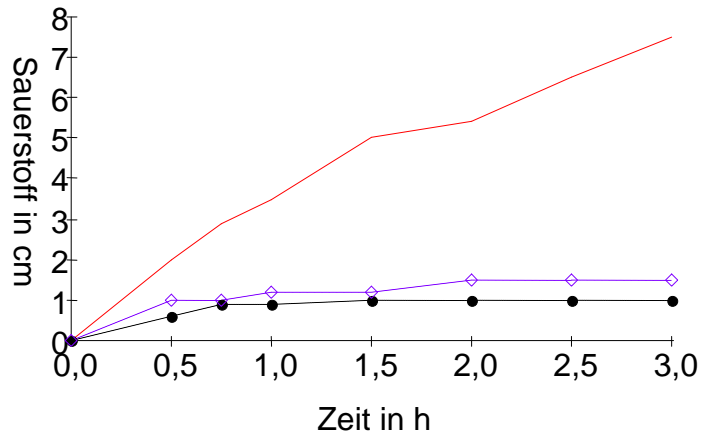
Ablauf: klar, leicht gelblich, wie Naab-Wasser, sehr wenige Krankheitserreger

In drei aufeinanderfolgenden Versuchen wurden verschiedene Mischungen überprüft.

Erstes Experiment an der Kläranlage

Sauerstoffproduktion in Zulauf, Ablauf und einer 1:1 Verdünnung

Time in h	Effluent	Influent	1:1 Dilution
0	0	0	0
0,5	2	0,6	1
0,75	2,9	0,9	1
1	3,5	0,9	1,2
1,5	5	1	1,2
2	5,4	1	1,5
2,5	6,5	1	1,5
3	7,5	1	1,5

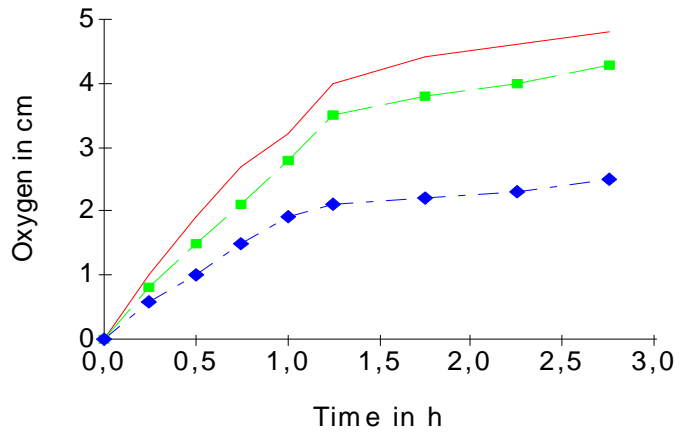


● Zulauf — Ablauf ◆ 1:1 Verdünnung

Zweites Experiment an der Kläranlage

Sauerstoffproduktion in Ablauf und Verdünnung von 1:20 und 1:10

Zeit in h	Ablauf	1:20	1:10
0	0	0	0
0,25	1	0,8	0,6
0,5	1,9	1,5	1
0,75	2,7	2,1	1,5
1	3,2	2,8	1,9
1,25	4	3,5	2,1
1,75	4,4	3,8	2,2
2,25	4,6	4	2,3
2,75	4,8	4,3	2,5

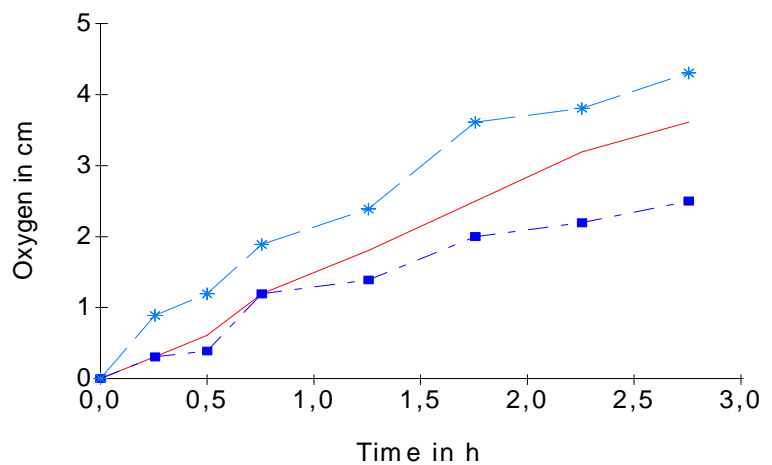


— Effluent —■ 1:20 —◆ 1:10

Drittes Experiment an der Kläranlage

Sauerstoffproduktion in Ablauf und Verdünnungen von 1:15 und 1:10

Zeit in h	1:15	1:10	Ablauf
0	0	0	0
0,25	0,3	0,3	0,9
0,5	0,6	0,4	1,2
0,75	1,2	1,2	1,9
1,25	1,8	1,4	2,4
1,75	2,5	2	3,6
2,25	3,2	2,2	3,8
2,75	3,6	2,5	4,3



— Effluent —■ 1:10 —* 1:15

Dieser erste Versuch zeigte eine eindeutige Hemmung der Photosynthese durch beide Insektizide. Bulldock[®] hatte eine geringfügig stärkere Giftwirkung als Fastac[®].

Anschließend wurden noch zwei weitere Versuche im Freien mit identischem Aufbau durchgeführt. Nach 3,25 Stunden ergaben sich folgende Ergebnisse: Bei dem ersten Versuch mit klarem Himmel hatten die Pflanzen im sauberen Wasser 8,5 cm Sauerstoff produziert. Die Pflanzen im mit Bulldock[®] angereichertem Wasser hatten in der Tune fast 7 cm, aber die mit Fastac[®] bloß 5 cm Sauerstoff erzeugt. Der letzte Versuch, bei bewölktem Himmel, verlief ähnlich wie der erste. Es zeigte sich eine starke toxische Wirkung der Insektizide, allerdings wirkte Fastac[®] toxischer als Bulldock[®]. Im sauberen Wasser hatten sich 3,1 cm O₂ angesammelt, im mit Bulldock[®] angereicherten Wasser ergaben sich nur 1,7 cm und in dem mit Fastac[®] 1 cm O₂.

Die Insektizidversuche belegten eindeutig, dass die handelsüblich verwendeten Insektizide nicht nur den Stoffwechsel der Insekten, sondern auch den von Pflanzen beeinflussen. Beide Insektizide wirkten mit ähnlicher Intensität. Die Pflanze zeigte bei 0.02 ml Insektizid/l Wasser eine eindeutige Verminderung der Photosyntheserate.

f. Nachweis von Insektizid mit der Standardmethode der Kläranlage

Es galt herauszufinden, ob das Labor der Kläranlage Regensburg mit seinen regelmäßigen chemischen Tests die Präsenz eines der beiden Insektizide erkennen könnte. Laut Auskunft des Laborleiters sind die spezifischen chemischen Tests dazu nicht in der Lage. Bakterien können jedoch als Indikator für die Verschmutzung dienen. Dabei wird nicht die Menge an lebenden Bakterien gemessen, sondern ihr Stoffwechsel.

Ergebnisse:

Die Sauerstoffzehrung blieb unverändert bis 0.2 ml Bulldock[®]/l erreicht war. Bei dieser Konzentration stank das Wasser schon stark nach Insektizid. Bei weiterer Konzentrationssteigerung (>0,2 ml/l) wurde die Sauerstoffzehrung etwas geringer. Die Bakterien waren zum größten Teil abgetötet. Im Anhang befinden sich mikroskopische Aufnahmen des Wassers mit 0.8 ml Bulldock[®]/l Belebtschlamm. (siehe Anhang [5])

Dieser Versuch zeigte, dass die angewandte Standardmethode des Kläranlagenlabors das vorhandene Insektizid nicht ermitteln kann.

VII. Diskussion

Die Versuche zeigten die Abhängigkeit der O₂-Produktion von *Elodea densa* von pH-Wert, Temperatur, Lichtstärke und Giftstoffen. In der folgenden Diskussion werden die Einflüsse auf die Methode beleuchtet, die Wertigkeit der Methode besprochen und weitere Verbesserungsmöglichkeiten empfohlen.

Einfluss des pH-Wertes und der Wasserhärte

Nach meinen Versuchen ergab sich eine wesentlich bessere O₂-Produktion bei pH=7,5 als bei pH=8,2 oder pH=5. Um einen optimalen pH-Wert zu ermitteln, müssen wohl noch mehr Versuche gemacht werden. Es liegen zwei Membranen zwischen dem Wasser außerhalb der Zelle und dem Ort der Photosynthese: die Zellmembran und die äußere Chloroplastenmembran. Sie müssten einen großen Einfluss des pH auf die Photosynthese verhindern. Die Ergebnisse zeigten aber das Gegenteil. Bei einer längerfristigen pH-Veränderung außerhalb der Zelle starben die Pflanzen. Die einfachste Erklärung hierfür bezieht sich auf die pH-Abhängigkeit von Proteinen, die durch falsche Protonenkonzentrationen denaturiert werden. Aus der Rolle der Protonen innerhalb der Chloroplasten ergibt sich eine zweite Erklärung: Bei der Photolyse entstehen Protonen:

$$\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$$

Die Reaktionsgeschwindigkeit ist allgemein abhängig von den Produkten. Zu viel H⁺ verlangsamt diese Gleichgewichtsreaktion, zu wenig H⁺ begünstigt sie. Im Alkalischen wird jedoch die Herstellung von NADH/H⁺ gehemmt. Als Folge stauen sich die Elektronen entlang der Elektronentransportkette und die Photolyse wird eingestellt. Insgesamt hatte der pH einen großen Einfluss auf die O₂-Produktion und eine starke Veränderung der Protonenkonzentration wirkte immer toxisch. (Kleinert 1997)

Frisches Leitungswasser erwies sich als sehr ungünstig für die Pflanzen. Diese Erfahrung wurde von anderen Biologen ebenfalls gemacht. Der Härtegrad dieses Wassers ist wesentlich höher als der das pflanzenverträglichen Flusswassers.

Einfluss der Temperatur:

Die optimale Temperatur der Versuche war 14 °C. Alle biochemischen Prozesse laufen bei niedrigen Temperaturen langsamer ab. Wenn dagegen Proteine zu stark erhitzt werden, kommt es zu einer irreversiblen Hitzedenaturierung. Wenn die Störgröße Temperatur im Freien zu stark ist, kann man den Versuchsaufbau unter kontrollierten Bedingungen im Haus aufbauen. Für alle Versuche ist ein simultaner Kontrollansatz zum Schutz vor Fehlinterpretationen notwendig (Becker 1979).

Einfluss der Lichtstärke:

Nur mit ausreichender Lichtenergie wird der Elektronensog des ionisierten Chlorophylls stark genug, um eine Photolyse zu katalysieren. Dies bestätigte sich in den Beobachtungen über die Abhängigkeit vom Sonnenlicht und von der Trübung des Wassers. Erst nach einer Verdünnung des trüben Kläranlagen Zulaufs von 1:15 konnte die Photosynthese schnell genug ablaufen, um sie sinnvoll messen zu können.

Einfluss der Sauerstoffsättigung, Kohlenstoffdioxidkonzentration und Atmung

Da diese Methode den Sauerstoff misst, der an die Wasseroberfläche steigt, ist die Sauerstoffsättigung des Wassers eine wichtige Komponente. Wenn das Wasser nicht mit Sauerstoff gesättigt ist, wird der produzierte Sauerstoff zunächst vom Wasser aufgenommen. Erst wenn der Sättigungswert erreicht ist, kann das Gas in der Tube gemessen werden.

Ein Edukt der Photosynthese ist CO_2 . Nach dem Massenwirkungsgesetz ist die Menge des Produkts O_2 abhängig von der Menge der Edukte. Je höher die CO_2 -Konzentration des Wassers, desto höher kann die O_2 -Produktion werden.

Beide Werte sind erstens stark abhängig von der Temperatur, denn Wasser nimmt bei höheren Temperaturen weniger O_2 und CO_2 auf. Zweitens sind die Werte abhängig von der Art des Befüllens der Versuchsbehälter. Die Befüllung muss innerhalb eines Versuchs stets auf die gleiche Weise durchgeführt werden. Eine lange Fallstrecke des Wassers beim Befüllen erhöht die O_2 - und CO_2 -Konzentration im Wasser. Bei den hier beschriebenen Versuchen wurde das Wasser für Messansatz und Kontrollansatz stets aus derselben Quelle entnommen und auf dieselbe Art in die Behälter eingefüllt. Die O_2 - und CO_2 -Sättigung können also Einfluss auf die gemessene O_2 -Produktion gehabt haben, nicht aber auf den Vergleich zwischen Messung und Kontrolle der Versuche (www.lpm.uni-sb.de).

Bei Diskussionen um die Interpretation der Daten mit Fachleuten tauchte immer wieder eine mögliche Störgöbe auf: die Atmung der Pflanze. Sie ist zwar vorhanden, behinderte jedoch die Aussagekraft der Methode als Umweltindikator nicht: Am Tag wird mehr Glukose bei der Photosynthese hergestellt als veratmet wird, und mehr CO_2 aufgenommen als abgegeben. Bei Dunkelheit nimmt die Pflanze dagegen weniger CO_2 auf als sie bei der Atmung abgibt. Wenn die CO_2 -Aufnahme und Abgabe gleich sind, ist der Lichtkompensationspunkt erreicht. Um Sauerstoff abgeben zu können, muss die Lichtstärke über dem Lichtkompensationspunkt liegen. (Daumer 1984) Die hier experimentell ermittelten Werte geben deshalb immer die Nettphotosyntheseleistung (scheinbare Photosyntheseleistung) wieder. Aber die Kenntniss des Wertes der Bruttphotosyntheseleistung ist nicht erforderlich für den Einsatz der Methode zur Giftstofferkennung. Wichtig ist nur die stets gleichbleibende Versuchsanordnung mit

Kontrollansatz. Für die Fähigkeit auftretende Giftstoffe feststellen zu können, ist nicht der Absolutwert der Photosyntheseleistung entscheidend, sondern deren Veränderung.

Entdeckung von Giftstoffen:

Die Insektizidversuche zeigten, dass die Pflanzen empfindlicher sind, als die Bakterien. Während sich erst bei einer Insektizidkonzentration von $>0.2\text{ml/l}$ eine leichte Stoffwechselstörung der Bakterien feststellen ließ, reichten bei den Pflanzen schon $\text{ca.}0.02\text{ ml/l}$ aus. Das ist sehr erstaunlich, da im Allgemeinen die größeren Organismen mehr Gift aushalten. Eine Erklärung dafür ist, dass der Giftstoff sich langsam ausbreitet. Die Pflanze war dem Giftstoff immer länger als 4 Stunden ausgesetzt, die Bakterien dagegen höchstes 2,2 Stunden. Zusätzlich waren in diesen 2,2 Stunden die Insektizidkonzentrationen nicht konstant, sondern stiegen an. Vielleicht wären die Bakterien nach einiger Zeit auch bei niedrigeren Konzentrationen gestorben. Fastac[®] sowie Bulldock[®] können aufgrund der polaren Bindungen Proteine denaturieren. Die elektronegativen Cl-Gruppen könnten beispielsweise eine In-duktionswirkung auf ein Proteinenzym mit positivem Coenzym haben. Die Ladungen der gesamten Tertiärstruktur wären damit zerstört, und die Photosynthese gebremst.

Monschau-Dudenhausen (M.D.) hat „Wasserpflanzen als Belastungs-indikatoren in Fließgewässern“ untersucht. Allerdings gibt es einen wesentlichen Unterschied zwischen ihrer und meiner Untersuchungsmethode. M.D. machte eine Be-standsaufnahme der Wasserpflanzen als Zeichen für die Wasserqualität. Jedoch, wie sie selber erkannte, kann sogar ein völliges Fehlen von Pflanzen nicht nur durch Verschmutzung entstehen. Auch ungünstige Sediment-, Strömungs oder Beschattungs-verhältnisse können Pflanzenwachstum verhindern. Außerdem ist diese Methode nicht schnell genug, um eine akute Katastrophe zu verhindern. Je nach Gewässergröße und Giftstoff dauert es einige Tage bis die Pflanzenmenge deutlich verringert wird, und der Vorgang, die Pflanzen zu zählen, dauert weitere Wochen.

Meine Methode fordert nur eine Beobachtung des Zustands einer Pflanze gemessen an ihrer Stoffwechselaktivität. Die Dauerüberwachung einer Pflanze bietet den Vorteil, dass der Schadstoff wesentlich schneller erkannt werden kann. Außerdem kann diese Methode unabhängig von den Außenbedingungen aufgebaut werden. Meine Methode ist daher geeigneter um Giftstoffe rechtzeitig zu erkennen.

Da *Elodea densa* kein spezifischer Indikator ist, zeigt sie nicht an, was genau an dem Wasser ungünstig ist. Wird eine Verschlechterung der Sauerstoffproduktion gemessen, muss danach mit Hilfe spezifischer chemischer Tests die genaue Ursache festgestellt werden.

Probeentnahmen und spezifische Kontrollen z.B. der BSB₅- und CSB-Werte (Biologischer Sauerstoff-Bedarf und Chemischer Sauerstoff-Bedarf = Maße für den Anteil an biologisch abbaubaren bzw. nicht abbaubaren Substanzen im Wasser) werden in der

Kläranlage Regensburg etwa jeden Tag durchgeführt. Der BSB₅ hat aber eine Reaktionszeit von 5 Tagen. In dieser Zeitspanne der langwierigen Analysen könnte bereits eine Umweltkatastrophe passiert sein. Diese Gefahr kann mit Hilfe des Pflanzenindikators vermindert werden. Möglicherweise können auch einige der teuren, regelmäßigen spezifischen Tests auf einzelne Stoffe eingespart werden. Eine Kontrolle der Sauerstoffmenge pro Tag reicht aus (Meinhard · Moisl, 1995., Experte).

Darüber hinaus könnte das Labor der Regensburger Kläranlage neuartige Kohlenstoffverbindungen, wie sie zum Beispiel in schädlichen Insektiziden vorkommen, nicht erkennen. Gegen diese Art von Giftstoffen sind also die Gewässer gar nicht geschützt. Ohne den Bioindikator besteht daher die akute Gefahr einer Vergiftung der Auslaufstelle. Aber nicht nur Kläranlagen, sondern auch Industriefirmen geben Wasser in Flüsse. Das HCB-Unglück von vor vier Jahren hätte möglicherweise durch die Verwendung von *Elodea densa* rechtzeitig bemerkt werden können. Dazu sollte man *Elodea densa* auch in Flüssen einsetzen.

Weiteres Vorgehen:

Nachdem diese Arbeit die grundsätzliche Eignung der Methode gezeigt hat, sollte diese als nächster Schritt in einem kontrollierten Feldversuch unter echten Bedingungen getestet werden. Dieses Modell sollte man vor und nach einer Kläranlage einer Stadt plazieren. Ist die Sauerstoffproduktion der Pflanzen bereits vor der Kläranlage gesunken, kann man daraus schließen, dass sich ein neuer Schadstoff im Wasser befindet. Tritt die Veränderung hingegen nur hinter der Anlage auf, muss es sich um eine Fehlfunktion der Kläranlage selbst handeln.

Die Praktikabilität muss noch verbessert werden, dies sollte aber im Einsatz vor Ort geschehen. Aus der Erfahrung dieser Arbeit sollte das System in einem Raum mit elektrischer Lichtquelle aufgebaut werden. Statt des Wassertransports per Hand sollte ein Durchflusssystem mit Schläuchen entwickelt werden.

Fazit

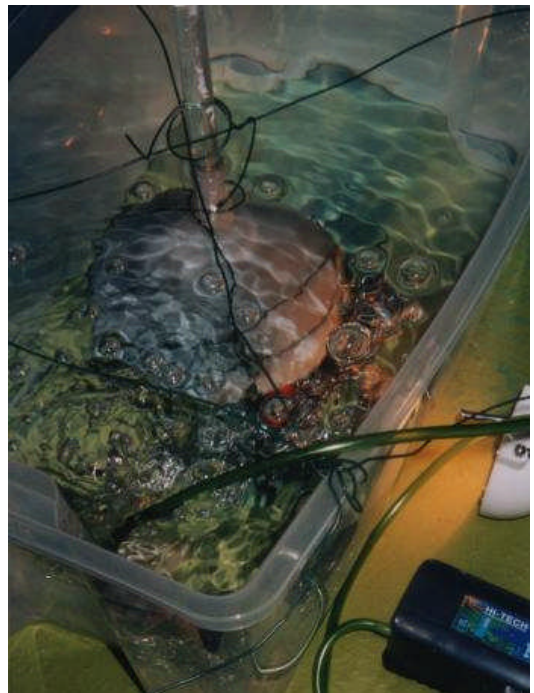
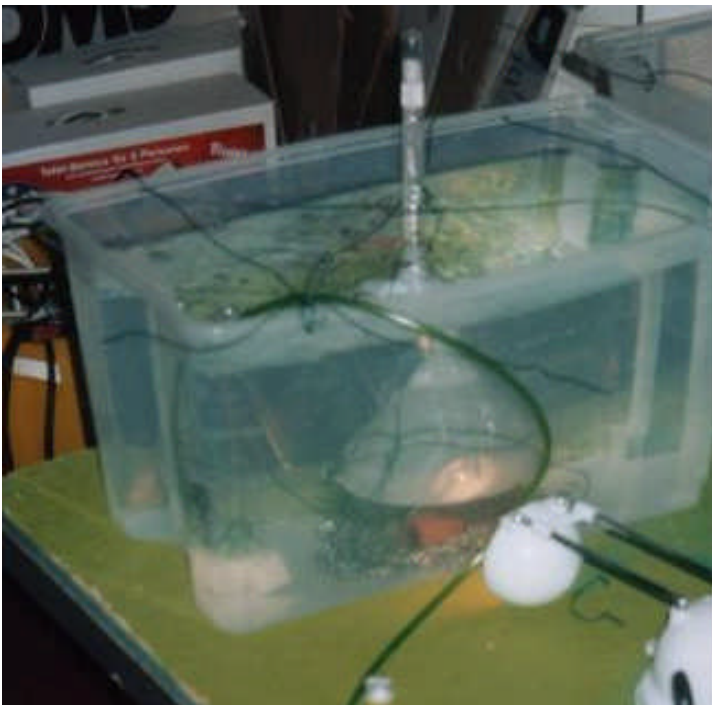
Die O₂-Produktion von *Elodea densa* hat sich als vielversprechende, schnelle und sensitive Methode zur unspezifischen Erkennung von Wasserverschmutzung herausgestellt.

VIII. Anhang:

[1] von Seite 11

Photos des Versuchsaufbaus





[2] von Seite 12

Berechnung des Sauerstoffvolumens aus dem gemessenen Flüssigkeitsspiegel

O ₂ cm in Tube =n	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	4. Versuch	5. Versuch	Mittelwert der ml Werte = x	Mittelwert pro cm =x/n
1	1	1.1	1	1	0.9	1	1
2		2.5	2.5	2.4	2.4	2.45	1.225
3	4	4	4.2	3.6	3.5	3.86	1.28
4	5.5	5.5	5.7	4.9	5	5.32	1.33
5	7	7	7.1	6.4	6.4	6.76	1.356
6	8.5	8	8.3	7.7	7.8	8.06	1.3433
7	9.6	9.6	10.2	9.2	9.2	9.56	1.3657
8	11	11	11.1	10.7	10.7	10.9	1.3625
9	12.2	12.3	12.5	12	12	12.2	1.3555
10	14	13.6		13.3	13.2	13.525	1.3525
11	15.4	15	15.3	14.6	14	14.86	1.350
12	16	16.4	16.4	16	16	16.16	1.3466

[3] von Seite 13

Foto des 3-Fach Tauchtests. Leitungswasser oben, Flusswasser der Naab unten.



Gesamtwasserhärte:

Leitungswasser: 23°

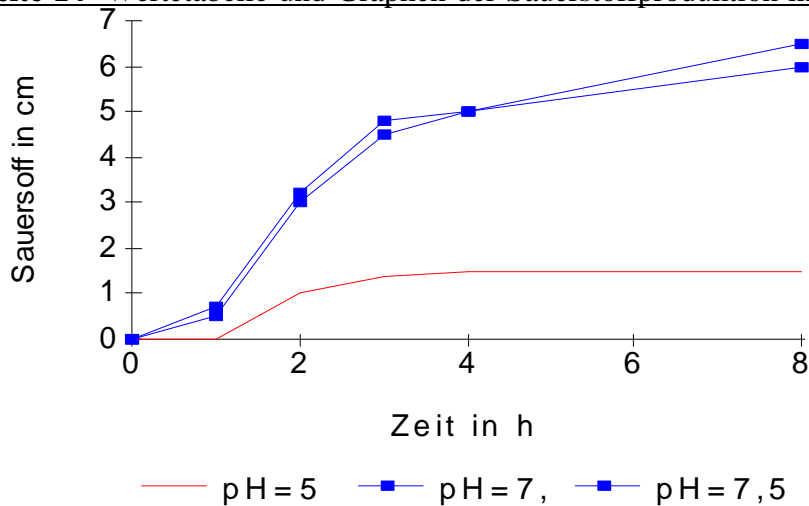
Flusswasser: 6.5°

Karbonathärte:

Leitungswasser: 10-13°

Flusswasser: 4.4°

[4] von Seite 14 Wertetabelle und Graphen der Sauerstoffproduktion mit den pH-Werten 5 und 7,5

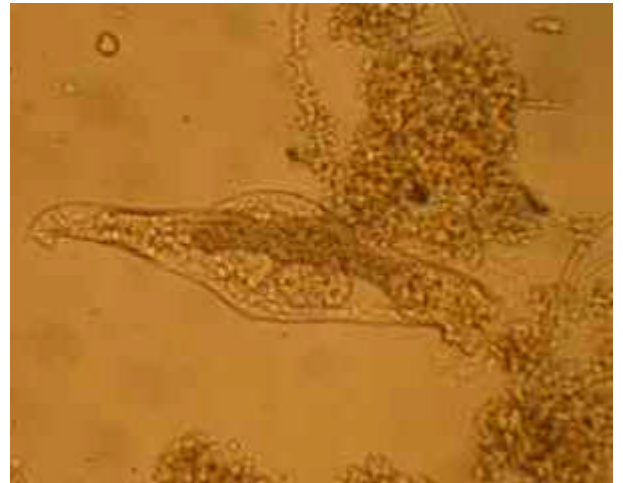
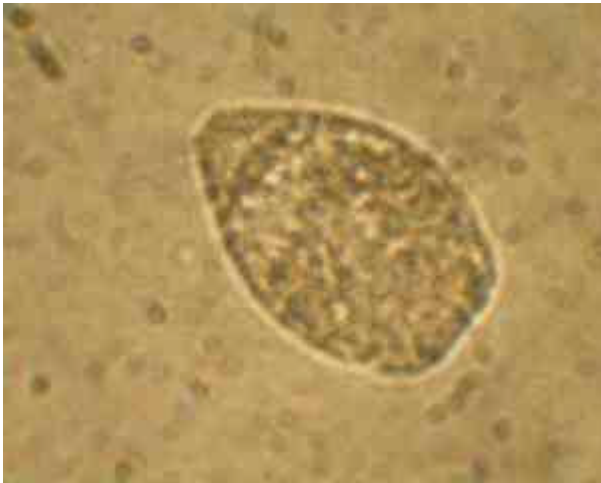


Zeit (in h)	O ₂ in pH=5 (in cm)	O ₂ in pH=7,5 (in cm)	O ₂ in pH=7,5 (in cm)
0	0	0	0
1	0	0,5	0,7
2	1	3	3,2
3	1,4	4,5	4,8
4	1,5	5	5
8	1,5	6	6,5

[5] von Seite 17

Mikroskopische Bilder

Mikroskopische Bilder zeigen die schlechte Wasserqualität. Es sind darauf nur tote Kleinsttierchen zu erkennen. Sie stammen aus Belebtschlamm der Kläranlage Regensburg und habe ich mit dem Insektizid Bulldock nach und nach vergiftet. Der stand bei 0,8ml/l wurde unter dem Mikroskop untersucht. Es wurde kein Leben gefunden. Die kleinen Bakterien waren nicht zu sehen, aber es ist bewiesen, dass einige noch lebten, da die Sauerstoffzehrung des Wassers nicht völlig verschwunden war.



IX. Literaturliste

- Alloway BJ., Ayres DC.: Schadstoffe in der Umwelt, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg-Berlin-Oxford, 1996 (p. 1-17, 23-28, 37-41, 64, 87-126, 142-187, 239-42, 255, 317-327,)
- Azab M., Effects of Herbicides on Aquatic Plant (*Elodea Canadensis*), Saarbrücken 2000, Doktorarbeit
- Bayrhuber H., Kull U.: Linder Biologie, Schroedel Schulbuchverlag GmbH, Hannover, 1989 (152)
- Becker W.: Physiologische Untersuchungen zur Photosynthese von Algen unter extremen Temperaturbedingungen, Wriezen/Oderbruch 1972, Doktorarbeit (33-39, 62-72)
- Böger P.: Photosynthese und Pflanzliche Produktivität, Universitätsverlag GmbH, Konstanz, 1975, ISBN: 3 87940 091 1, (9, 7-20,)
- Brüggemann R., Münzer B. & Trapp S.: Methoden zur Früherkennung von Gewässerbelastungen. In: Auswirkungen von Abwassereinleitungen auf die Gewässerökologie, Band 47, R. Oldenbourgverlag, München · Wien, 1993, ISBN: 3-486-26297-1 (417-426)
- Daumer K., Schuster M.: stoffwechsel ökologie und umweltschutz, Bayerischer Schulbuch-Verlag, München, 1984 (41-54)
- Erhardt W., Götz E.: Zander, Handwörterbuch der Pflanzennamen, Ulmer, Stuttgart, 2000 (362)
- Klärwerk Regensburg, PowerPoint Präsentation, Datei: KW_Regensburg-manuell.ppt, Regensburg, 2003
- Klee O.: Angewandte Hydrobiologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart · New York, 1985 (1-3, 210-215)
- Kleinert R.: Biologie Stoffwechsel Oberstufe 691, Mentor Verlag GmbH, München, 1997 (79-100)
- Kügel B.: Ökologische Bewertung des Gewässerzustandes mittels aquatischer Bioindikatoren am Beispiel der Vils/Oberpfalz. In: Auswirkungen von Abwassereinleitungen auf die Gewässerökologie, Band 47, R. Oldenbourgverlag, München · Wien, 1993, ISBN: 3-486-26297-1 (134-155)
- Meinhard B. · Moisl F.: Genetik · Stoffwechsel · Ökologie – Leistungskurs, Stark Verlag, Freising, 1995 (v.a. 204)
- Mittelbayerische Zeitung, Regionalteil, 2.2.1999, 28.5.1999, 11.6.1999
- Monschau-Dudenhausen K.: Wasserpflanzen als Belastungsindikator in Fließgewässern, Beiheft Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ., Karlsruhe, 1982, ISSN 0342-6858
- Nobel W.: Der Einfluß der Belastungstoffe Chlorid, Borat und Phosphat auf die Photosyntheseleistung submerser Weichwassermakrophyten, Hohenheim 1980, Doktorarbeit

- Oehmnichen J.: Chemie für Landwirte, Verlag M. & H. Schaper, Hannover, 1984
- Römpf: Chemie Lexikon, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1995 (1699)
- Sauerhoff E.: Etymologisches Wörterbuch der Pflanzennamen, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart, Stuttgart, 2003 (240)
- Sauermost R.: Lexikon der Biologie, Band 11, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2003
- Scheurer K., Lorenz R.: Regensburg plant & baut, Klärwerk Regensburg, Q-BUS GmbH / Wagner Media, Regensburg, 2003
- Schwoerbel J.: Methoden der Hydrobiologie Süßwasserbiologie, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1980
- Sitte P., Ziegler H., Ehrendorfer F., Bresinsky A.: Strasburger Lehrbuch der Botanik, Gustav Fischer, Stuttgart, 1988 (120, 355, 736, 804, 833, 906, 912)
- Steinberg C. & Schiefele S.: Biological indication of trophy and pollution of running waters; Z. Wasser –Abwasser-Forschung 21, Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim 1988 (227-234)
- Wedi D. & Wilderer P.: Erfahrungen und betriebliche Auswirkungen beim technisehn Einsatz der biologischen Phosphorelimination im Belebungsverfahren. In: Auswirkungen von Abwassereinleitungen auf die Gewässerökologie, Band 47, R.Oldenbourgverlag, München · Wien, 1993, ISBN: 3-486-26297-1 (246-289)
- Wirth W., Gloxhuber C.: Toxikologie, Georg-Thieme Verlag, Stuttgart · New York, 1981 (72-73,84-87)
- Wirth V.: Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde – Serie C – Wissen für alle, Nr. 50 Indikator Flechte · Naturschutz aus der Flechtenperspektive, Druckerei Oehler Offset, Fellbach, Stuttgart, 2002, ISSN 0341-0161, (6-21, 58-60)
- <http://www.tgs-chemie.de/biochemie.htm>
- <http://www.dennerle.de/Gartenteich/unterwasserpflanzen.htm>
- <http://www.gartencenter-siemes.de/pflanzen.html>
- http://www.umwelt-online.de/recht/eu/65_69/zan1_ges.htm (Gefahrensymbole und Gefahrenbezeichnungen für gefährliche Stoffe und Zubereitungen)
- http://www.lpm.uni-sb.de/chemie/C_Chemie/texte/Kohlenst08.htm

„Ich erkläre hiermit, dass ich die Facharbeit ohne fremde Hilfsmittel angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benützt habe.

Regensburg, den 14. Februar 2005.....“