

Sonderdruck: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Göttingen 1976.

EINE NEUE METHODE ZUR BEURTEILUNG DER BELASTBARKEIT VON SUBMERSEN MAKROPHYTEN

H. SCHUSTER, A. KOHLER & K. KREEB

Abstract

In this paper a measuring apparatus is introduced which can directly determine the net assimilation of macrophytic submersed aquatic vascular plants. This is possible inside the measuring cystem of acrylic glass by means of an electrode working after the CLARK-principle. The measuring method is subject to comparison with others. Some examples of the accuracy and continuity of measuring are registered. The advantage of this method is that within a short period of time numerous results can be obtained. With the given distribution of the single amounts a statistical analyses thereby becomes possible. The test plants are kept in aquariums wherein the water temperature, light conditions and dissolved salts can be varied or held constant. In addition a through-passing system is introduced in which natural flowing water conditions can be simulated to the furthest possible extent.

Bei der Beurteilung des Gewässergütezustandes wurde lange Zeit auf die standortsanzeigenden Wasserorganismen von Kolkwitz (1950) zurückgegriffen, wonach Liebmann (1960/1962) Güteklassen für Gewässer aufstellte. Dabei wurden höhere Wasserpflanzen entweder gar nicht oder falsch bewertet. Dies hat sich in den letzten Jahren jedoch geändert (Mattes & Kreeb 1974, Kohler 1975). Der hohe Zeigerwert, welcher den makrophytischen Wasserpflanzen bei der Beurteilung der Gewässerqualität zukommt, ist heute unbestritten. Verbreitungsmuster einzelner Arten und ganzer Gesellschaften zeigen klare Beziehungen zum Reinheits- bzw. Belastungszustand der Gewässer. Zwischen einzelnen chemischen Belastungsfaktoren und dem Vorkommen von Pflanzensippen sind enge Korrelationen zu erkennen.

Es genügt jedoch nicht, allein aus derartig rein deskriptiven Befunden kausale Zusammenhänge abzuleiten. Vielmehr gilt es, diese im Laborexperiment zu verifizieren. Dabei erscheint es auch wichtig zu ergründen, welche Substanzen die Pflanzen über einen längeren Zeitraum in höheren Konzentrationen und welche diese bereits spurenweise beeinflussen. Vor allem ist es notwendig zu wissen, in welchem Zustand sich Schadstoffe befinden müssen, um überhaupt an der Pflanze angreifen zu können.

Deshalb wurde in Hohenheim eine Aquarienanlage nach dem Muster von Glänzer et al. (1977) erstellt, in der annäherungsweise Fließwasserbedingungen simuliert werden können. Darin werden untergetauchte Wasserpflanzen bis zu vier Wochen lang mit speziellen Schadstoffen belastet. Bei Kombination der Belastungstoffe sollen deren synergistische bzw. antagonistische Wirkungen auf die Pflanzen herausgefunden werden.

Die Beurteilung einer Schädigung der Pflanzen kann auf verschiedene Weise erfolgen.

Tab.1

Vergleich der Methoden zur Messung der
Sauerstoffleistung von Wasserpflanzen

Methode	Art	Besonderheiten
Nachweis durch bewegl. Bakterien oder Leuchtbakt.	biologisch	Nachweis nur von gering- sten Mengen. Hauptsächlich bei Algen verwendet. „halbquantitativ“.
Blasenzähl- methode (Sachs 1864)	biologisch	Ergibt keine Absolutwerte Blasen enthalten nur teilweise Sauerstoff. Nebeneffekte.
Methode nach Winkler	chemisch	Gasblasenentwicklung stört Änderung des O ₂ - Gehaltes beim Umfüllen.
O ₂ -Messung durch Phospho- reszenzlöschung	photo- chemisch	Nachweis nur von gering- sten Mengen. Hauptsächlich bei Algen verwendet.
Polarographie	elektro- chemisch	Aufwendige Apparaturen, Messung nur im kleinen O ₂ -Bereich
Oxi-Methode	elektro- chemisch	Genau Bei Feldmessungen gut geeignet.
Manometr. Verfahren (Warburg)	physikalisch	Sehr genau. Dafür gros- ser Aufwand. Für Frei- landmessungen wenig geeignet.

Bei der reinen Beobachtung werden die Pflanzen möglichst vom gleichen Betrachter in verschiedenen Zeitabständen untersucht und photographiert. Diese Methode eignet sich dort, wo eine äußere sichtbare Schädigung mit einer inneren einhergeht (z.B. Zerfall der Blätter, starke Verfärbung).

Nach Messung der verbliebenen Enzymaktivität kann festgestellt werden, ob spezielle Enzyme geschädigt sind. Da bei diesem aufschlußreichen Test viel Material verbraucht wird, findet er bei Wasserpflanzen im Labor bisher keine Verwendung. Die Kultur derselben erfordert viel Platz und einen hohen Aufwand.

Deshalb wurde bisher das Hauptaugenmerk auf die Photosynthese gelegt. Ihr Vorteil liegt darin, daß reproduzierbare Ergebnisse in größerer Anzahl bereitgestellt werden können, ohne daß die Pflanzen dabei zerstört werden. Die Photosynthese ist ein Resultat vieler, nacheinander ablaufender enzymatischer Prozesse. Bei Verminderung ihrer Leistung kann nur die Gesamtschwächung festgestellt werden. Eine genaue Lokalisierung der Schädigung ist auf diesem Wege nicht möglich.

Im Wasser kann der Gaswechsel der Pflanzen nur schlecht über den CO_2 -Verbrauch gemessen werden, da hierbei Bicarbonat (HCO_3^-) mit Kohlendioxid im Gleichgewicht steht, so daß das verbrauchte CO_2 wieder nachgebildet werden kann.

Es gibt schon seit Jahren einige Methoden zur Sauerstoffmessung bei Wasserpflanzen. Sie wurden jetzt um eine modifizierte erweitert. Die meisten sind in Tab. 1 kurz charakterisiert. Die Oxi-Methode ist stärker umrandet. Es handelt sich hierbei um eine elektrochemische Sauerstoffbestimmung nach dem CLARK-Prinzip: „Polarisiert man ein geeignetes Elektrodensystem, so fließt bei Vorhandensein von Sauerstoff ein elektrischer Strom, dessen Größe direkt proportional dem O_2 -Partialdruck ist“ (nach WTW Weilheim). Die Registrierung erfolgt entweder über ein Zeigergerät oder Leuchtdioden auf einem Linienschreiber.

Diese Art der Sauerstoffmessung wurde bisher schon zur Bestimmung des Sauerstoffgehaltes im Abwasser benützt.

Damit der von den Pflanzen bei Lichteinwirkung produzierte Sauerstoff nicht entweichen kann, werden diese zur Messung in eine eigens dafür konstruierte Küvette aus Acrylgas eingebracht (770 ml Fassungsvermögen). Eine Kreiselpumpe sorgt dafür, daß der Sauerstoff gleichmäßig im Wasser verteilt wird und daß die für die Elektrode notwendige Anströmgeschwindigkeit erzeugt wird (Abb. 1). Ein dieser Küvette vorangehendes Modell wurde von Schuster & Kreeb schon anlässlich der Tagung „Umweltforschung der Universität Hohenheim“ (1976) vorgestellt.

Bei der Messung ist von großer Bedeutung, daß alle Sauerstoffmoleküle auch tatsächlich in Lösung vorliegen. Bei lebhafter O_2 -Produktion der Pflanzen wird möglicherweise die Sättigung überschritten, so daß Blasen entstehen und falsche Werte angezeigt werden. Dem kann auf zweierlei Arten vorgebeugt werden:

Entweder wird das Wasser vor der Messung sauerstoffarm gemacht, z.B. durch Abkochen, oder die Löslichkeit des Gases wird durch Erhöhung des Druckes verbessert. Aus Abb. 2 ersieht man die Abhängigkeit der drei Faktoren Druck, Temperatur und O_2 -Sättigung. Da eine weitere Erniedrigung der Arbeitstemperatur nicht möglich ist, wurde die Lösung mit Druckerhöhung als die beste betrachtet, weil besonders bei Messungen im Freiland eine Behandlung des Wassers

nur schlecht möglich ist. Da ein leichter Überdruck mit einer Spritze gut erzeugt werden kann, wurde bei fast allen bisherigen Messungen von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht. Wie man aus Abb. 3 ersieht, ändert sich das Verhalten der Pflanzen dabei nur wenig. Die sich steigernde Zunahme der Produktionsrate bis etwa 0,5 bar deutet darauf hin, daß die in den Luftkammern der Pflanzen ge-

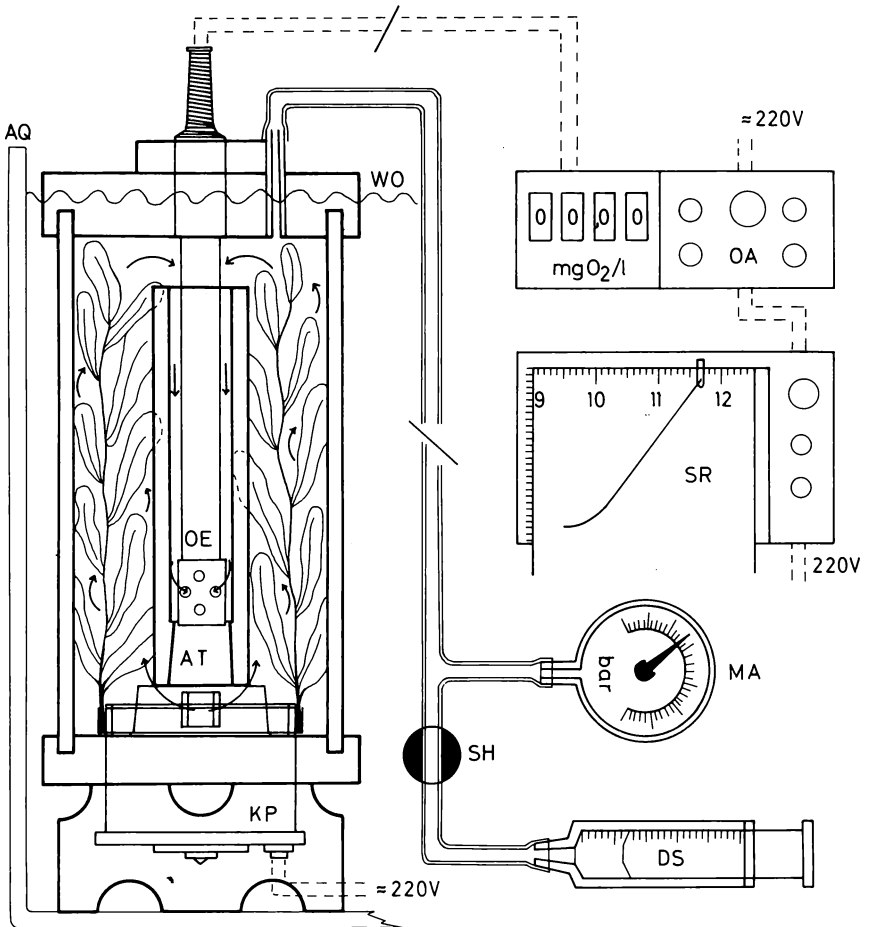


Abb.1 Halbschematische Darstellung einer Druckkuvette zur Messung der Nettoassimilation von submersen Makrophyten (nicht maßstabgetreu)

AQ : Aquarium
 AT : Ansaugtrichter
 DS : Druckspritze
 KP : Kreiselpumpe
 MA : Manometer

OA : Oxi-Anzeigegerät
 OE : Oxi-Elektrode
 SH : Sperrhahn
 SR : Schreiber
 WO : Wasseroberfläche

speicherten Gase zunächst einen Ausgleich mit dem umgebenden Wasserdruck herbeiführen. Dies tritt danach nicht mehr so stark in Erscheinung.

Wenn, wie bei den eigentlichen Messungen, die in separaten und ständig filtrierten Becken erfolgen, immer mit dem gleichen Druck gearbeitet wird (0,3 oder 0,5 atü), ergibt sich nach kurzer Meßdauer ein annähernd gerader Verlauf

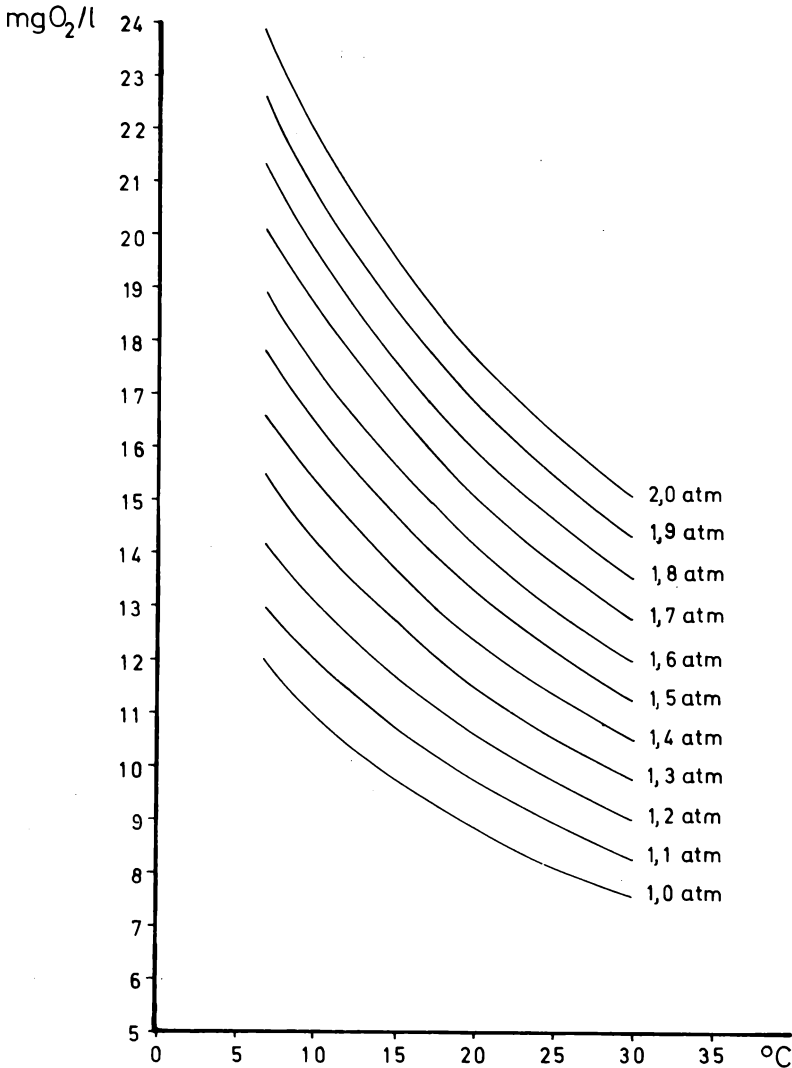


Abb.2 : Sauerstoffsättigung in Abhängigkeit von Druck u. Temperatur (eigene Berechnungen nach „TRUESDALE et al 1955“)

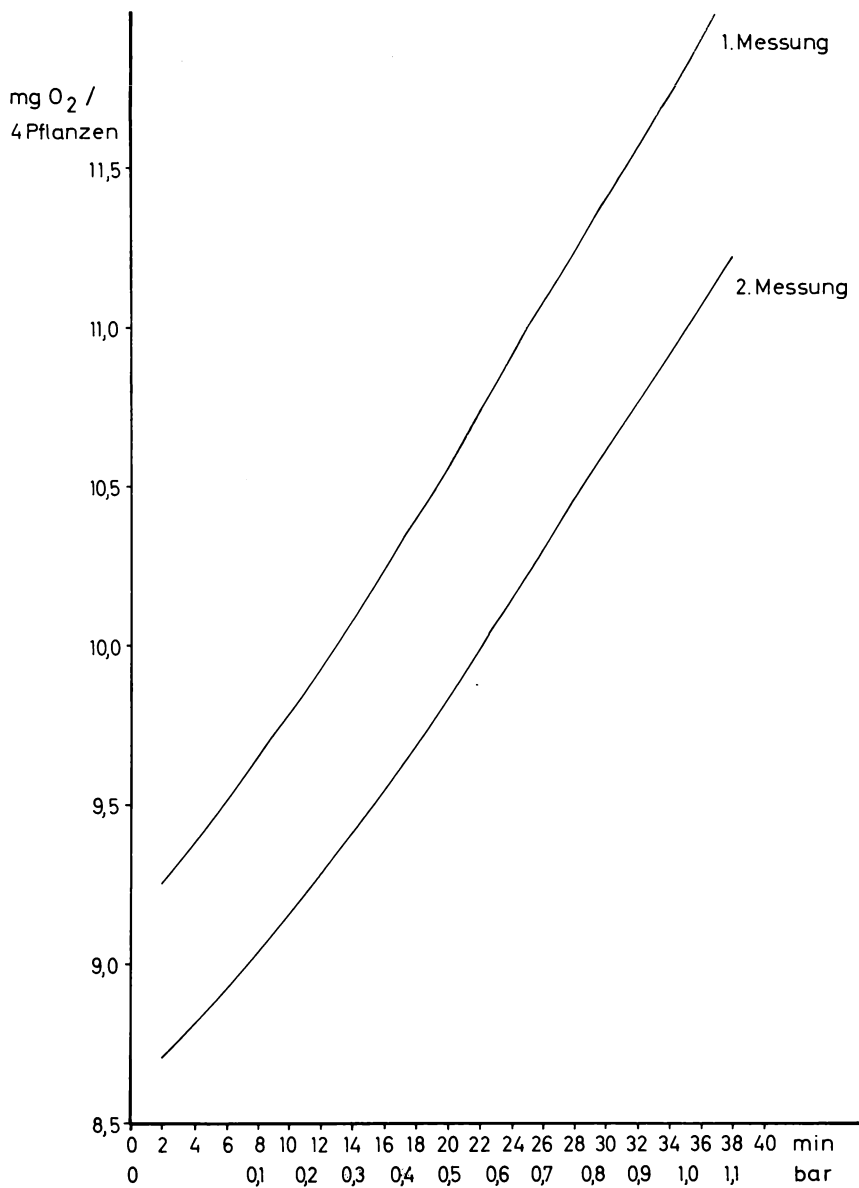


Abb.3 Potamogeton crispus je 4Pflanzen, bei zunehmendem Druck gemessen (30.07.1976)
2.Messung um 0,6mgO₂/4 Pflanzen nach unten versetzt

der Meßpunkte. Da die Abb. 4 direkt vom Schreiberprotokoll übernommen wurde, befindet sich die veränderliche Abhängige auf der Abszisse.

Aus der Aufzeichnung läßt sich graphisch genau der Meßwert ermitteln. Außerdem zeigt sich hier die Stetigkeit der Messung. Wichtig ist dabei natürlich, daß die Faktoren, die die Pflanzen direkt beeinflussen, genau kontrolliert werden. Dazu gehört außer konstanter Lichtenergie ein hinreichendes Angebot an CO_2 .

Unter diesen Voraussetzungen können während eines Tages mit denselben Pflanzen annähernd gleichmäßige Ergebnisse erhalten werden. In den Abb. 5 und 6 sieht man, daß jede gemessene Pflanzengruppe ihr Niveau während des gesamten Meßverlaufs beibehält. Dies ist an den Regressionsgeraden zu erkennen (Pflanzengruppen 4 und 5 ergeben dieselben Geraden, deshalb ist hier nur Gruppe 4 dargestellt). Abweichungen sind auf äußere Einflüsse zurückzuführen (Trübung, Temperaturänderung).

Die Versuchspflanzen werden im Labor in einer Reihe von Aquarien gehalten und über vier Wochen unterschiedlichen Belastungskonzentrationen ausgesetzt. In jedem der Einzelaquarien befinden sich 12 oder 16 Pflanzen, die zu Vierergruppen zusammengefaßt sind. Es handelt sich dabei um apikale Sproßteile von etwa 15 cm Länge, die ohne Bewurzelung mit Gummis an Glasringen festgemacht sind.

Um ein gleichmäßiges Nährstoffangebot aufrechtzuerhalten, wird über eine Schlauchpumpe Tag und Nacht neue Nährflüssigkeit zugeführt. Die Menge ist

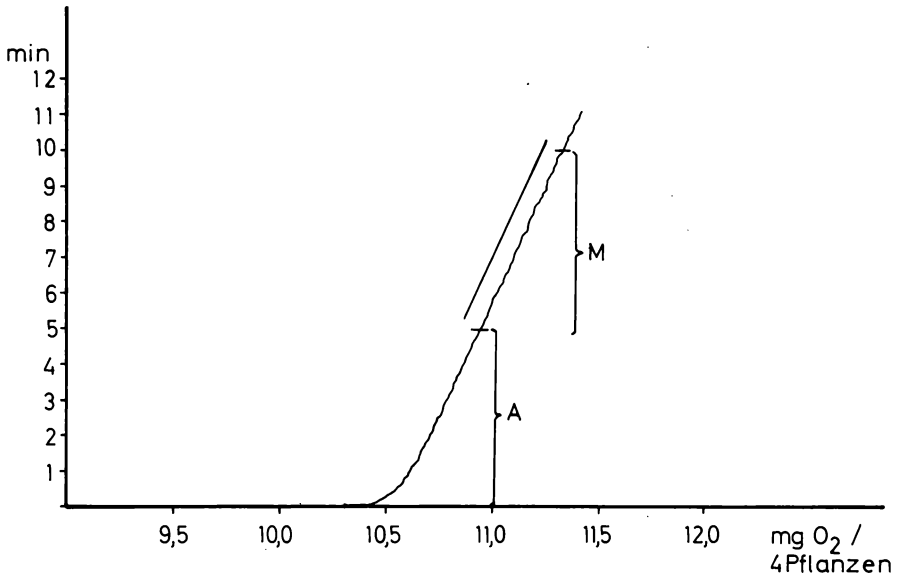


Abb.4 Meßverlauf von 4Pflanzen innerhalb 10Minuten (direkt von der Aufzeichnung übernommen)

A: Anpassungszeit

M: Meßzeit

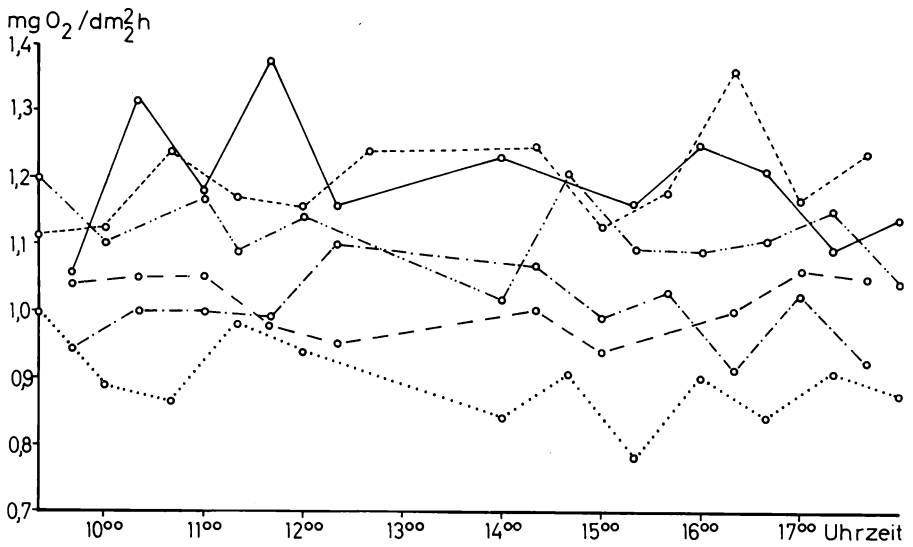


Abb.5 Meßverlauf während eines Tages bei *Potamogeton crispus* im Labor unter konstanten Bedingungen

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| — 1.Pflanzengruppe | - - - - 4.Pflanzengruppe |
| - - - - 2.Pflanzengruppe | - - - - 5.Pflanzengruppe |
| 3.Pflanzengruppe | - · - · 6.Pflanzengruppe |

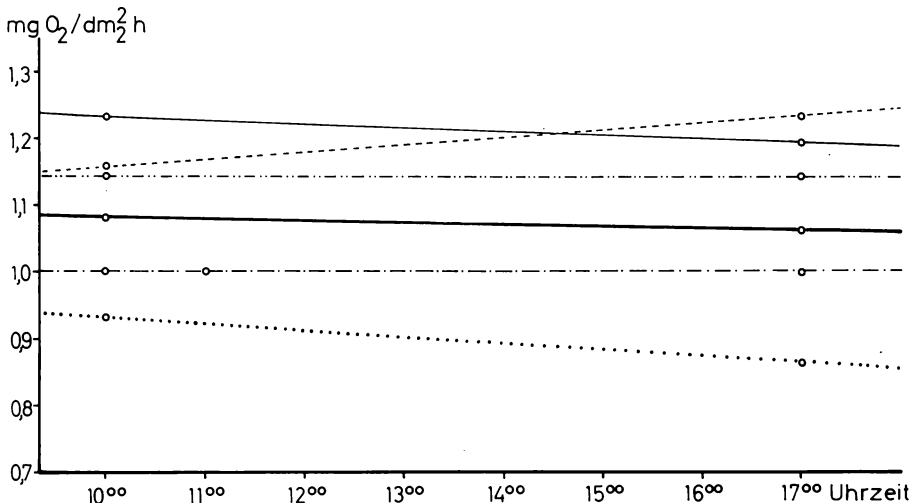


Abb.6 Regressionsgeraden des Meßverlaufs während eines Tages bei *Potamogeton crispus* im Labor unter konstanten Bedingungen

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------|
| — 1.Pflanzengruppe | - - - - 4.Pflanzengruppe | — Mittelwert |
| - - - - 2.Pflanzengruppe | - - - - 5.Pflanzengruppe | |
| 3.Pflanzengruppe | - · - · 6.Pflanzengruppe | |
- $\bar{r} = 0,1129$ $\bar{m} = -0,005$ $\bar{y} = -0,005x + 1,11595$

so dosiert, daß während 24 Stunden der 12 l umfassende Aquarieninhalt gerade einmal ausgewechselt wird. Somit ist gewährleistet, daß immer die gleiche Menge an Nähr- und Schadstoffen vorhanden ist, ferner, daß eventuell anfallende Stoffwechselprodukte der Pflanzen nicht überhand nehmen. In Abb. 7 ist das Durchflußsystem dargestellt. Mittels einer Pumpe wird jedem Aquarium ständig Luft

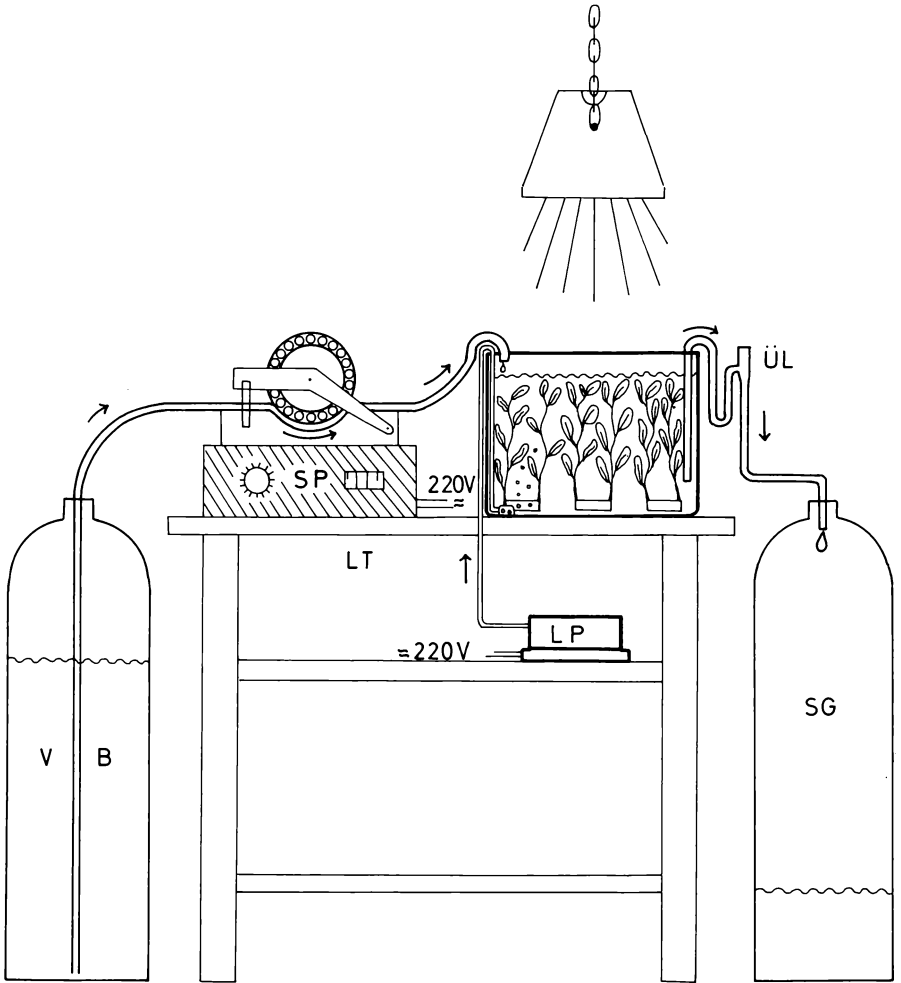


Abb.7 Durchflußsystem der Aquarienanlage (halbschematisch)

- | | |
|----------------------|------------------|
| VB : Vorratsbehälter | SG : Sammelgefäß |
| SP : Schlauchpumpe | LT : Labortisch |
| ÜL : Überlaufgefäß | LP : Luftpumpe |

eingblasen, die für eine zirkulierende Bewegung sorgt. Zur Messung der Photosyntheseleistung werden die Pflanzen alle 7 Tage herausgenommen und in einem Meßbecken in die beschriebene Küvette eingebracht. Diese wird danach luftblasenfrei mit Wasser gefüllt, das dieselbe Nährstoffkonzentration wie das Kontrollbecken besitzt. Durch Einsprudeln von CO₂ wurde vorher ein ausreichender Kohlenstoffvorrat hergestellt.

Daneben ist die Temperatur, bei der jeder Versuch gefahren wird, von elementarer Bedeutung. Hohe Temperaturen führen durch Erhöhung des Stoffwechsels meist zu starken Atmungswerten, die einen deutlichen Einfluß auf die Nettophotosynthese ausüben. Bei Flüssen und kleineren Bächen, die nicht durch Abwärme von Kraftwerken aufgeheizt sind, treten vor allem die grundwasserspeisten durch ihre niedrige Temperatur hervor. Auf der Schwäbischen Alb, woher die Versuchspflanzen hauptsächlich geholt werden, haben obengenannte Bäche selbst im Sommer kaum über 13°C, im Winter um 8-10°C. Da im Labor die natürlichen Bedingungen möglichst erhalten werden sollen, wurde für die Aquarien eine Temperatur gewählt, die der am Entnahmeort möglichst gleicht. Mit dem in Abb. 8 dargestellten Kühlsystem kann jede gewünschte Temperatur in den Aquarien ziemlich konstant gehalten werden. Von einem Kühllautomat wird über kalteisolierte Schläuche die Kühlflüssigkeit in Glasschlangen durch die Aquarien gepumpt, so daß hierbei der Wärmetausch vonstatten geht. Ein Kontrollthermometer, das in einem der Aquarien angebracht ist, regelt durch Rückkoppelung die Temperatur in der Kühlmaschine.

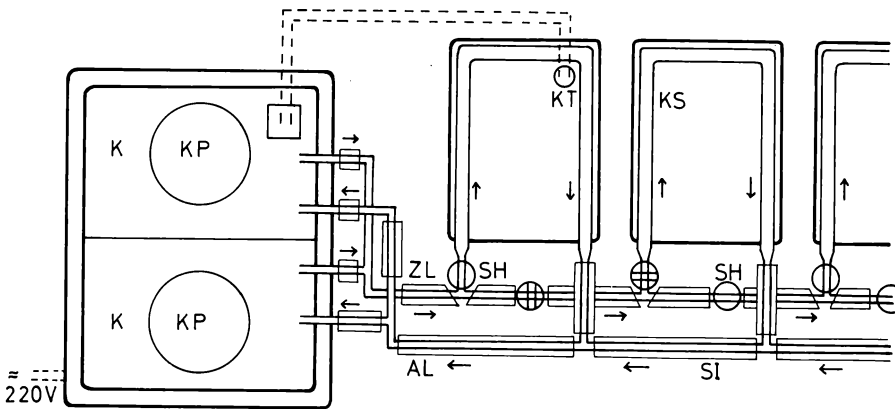


Abb.8 Kühlsystem der Aquarienanlage (Aufsicht)

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| K : Kryomat | AL : Ableitung |
| ZL : Zuleitung | SH : Sperrhähne |
| KT : Kontakt-
thermometer | SI : Schlauchisolation |
| KP : Kühlmittel-
pumpen | KS : Kühlschlangen |
| | ⊕ Stellung = geöffnet |
| | ⊗ Stellung = geschlossen |

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird eine Meßapparatur vorgestellt, mit der die Nettoassimilationsrate von makrophytischen submersen Wasserpflanzen direkt bestimmt werden kann. Möglich ist dies in einer Küvette aus Acrylglas mit einer nach dem CLARK-Prinzip arbeitenden Elektrode. Vergleiche mit anderen Meßmethoden werden gezogen. Einige Beispiele zur Genauigkeit und Kontinuität der Messung sind aufgezeichnet. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, daß in kurzer Zeit viele Ergebnisse erhalten werden können. Bei der gegebenen Streuung der Einzelwerte ist dadurch eine statistische Betrachtung möglich. Die Versuchspflanzen werden in Aquarien gehalten, in denen Wassertemperatur, Lichtverhältnisse und gelöste Substanzen konstant gehalten bzw. variiert werden können. Dazu wird eine Durchflußanlage gezeigt, in der natürliche Fließwasserbedingungen annäherungsweise simuliert sind.

Literatur

- Glänzer, U., W. Haber & A. Kohler (1977): Experimentelle Untersuchungen zur Belastbarkeit submerser Fließgewässermakrophyten. *Arch. Hydrobiol.* 79, 2: 193–232.
- Kohler, A. (1976): Makrophytische Wasserpflanzen als Bioindikatoren für Belastungen von Fließgewässer-Ökosystemen. *Verhandl. Ges. Ökologie*, Wien, 1975, 255–276.
- Kolkwitz, R. (1950): Ökologie der Saprobien. — Über die Beziehungen der Wasserorganismen zur Umwelt. *Schriftenreihe Verein f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene* 4: 1–64, Stuttgart.
- Liebmann, H. (1960/62): Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie, Bd. I u. II, Oldenbourg, München.
- Mattes, H. & K. Kreeb (1974): Die Nettophotosynthese von Wasserpflanzen, insbesondere Potamogeton densus, als Indikator für die Verunreinigung von Gewässern. *Angew. Bot.* 48: 287–297.
- Schuster, H. & K. Kreeb: Indikationen von Schwermetallschädigungen an höheren Wasserpflanzen über den CO₂-Gaswechsel. Daten und Dokumente zum Umweltschutz, Heft 19 (1976), 133–140. Vorträge anlässlich der Tagung „Umweltforschung der Universität Hohenheim“.
- Truesdale, G.A., A.L. Downing & G.F. Lowden (1955): The solubility of oxygen in water and sea water. *J. Appl. Chem.* 5: 53–62.
- WTW, Wissenschaftlich Technische Werkstätten (1976): Sauerstoffmeßgeräte und Elektroden, 2, Weilheim i. OB.

Anschriften der Verfasser:

H. Schuster und Prof. Dr. A. Kohler, Universität Hohenheim, Institut für
Landeskultur und Pflanzenökologie, Postfach 106, 7000 Stuttgart 70
Prof. Dr. K.H. Kreeb, Studienbereich 3, Pflanzenökologie, Universität Bremen
NW 2, Postfach 330440, 28 Bremen 33