Fachinformationsdienst Biodiversitätsforschung

UB Universitätsbibliothek Frankfurt am Main

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

FID Biodiversitätsforschung

Decheniana

Verhandlungen des Naturhistorischen Vereins der Rheinlande und Westfalens

Untersuchungen zur Ökophysiologie einiger Süßwasserrotalgen - mit 3 Tabellen und 7 Abbildungen

Kremer, Bruno P.

1983

Digitalisiert durch die *Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main* im Rahmen des DFG-geförderten Projekts *FID Biodiversitätsforschung (BIOfid)*

Weitere Informationen
Nähere Informationen zu diesem Werk finden Sie im:
Suchportal der Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main.

Bitte benutzen Sie beim Zitieren des vorliegenden Digitalisats den folgenden persistenten Identifikator:

urn:nbn:de:hebis:30:4-190454

Visual Library

Decheniana (Bonn) 136, 31–42 (1983)

Untersuchungen zur Ökophysiologie einiger Süßwasserrotalgen

Bruno P. Kremer

Mit 3 Tabellen und 7 Abbildungen

(Eingegangen am 16. 2. 1982)

Kurzfassung

Verschiedene Arten einheimischer Rotalgen, neben der adventiven Warmwasserart *Compsopogon hookeri* die Formen *Batrachospermum* spec., *Hildenbrandia rivularis, Lemanea annulata* und *Lemanea fluviatilis,* wurden unter Laborbedingungen im Hinblick auf die Licht- und Temperaturabhängigkeit von Photosynthese und Atmung vergleichend untersucht. Die erhaltenen Daten werden mit Feldbeobachtungen verknüpft. Sie zeigen, daß die Besiedlung potentieller Standorte im wesentlichen von der Temperatur (≤ 15°C, *Compsopogon* > 15°C) und vom jeweiligen Lichtklima des Biotops abhängen. Die Befunde, die sich auch von der jahreszeitlichen Periodizität der Wachstumsraten ableiten lassen, finden ihre Erklärung in produktionsbiologischen Zusammenhängen.

Abstract

A variety of freshwater rhodophytes such as *Batrachospermum* spec., *Hildenbrandia rivularis, Lemanea annulata* and *Lemanea fluviatilis* as well as the adventive species *Compsopogon hookeri* (usually inhabiting tropical waters) have been investigated with respect to light and temperature effects on photosynthesis and respiration. The data obtained are related to field observations. They suggest that the occurrence in freshwater currents largely depends on the temperature (≤ 15°C, *Compsopogon* > 15°C) as well as on the light climate of the appropriate biotope. These findings may also be derived from the annual periodicity of growth rates and can be explained by relationships of algal carbon strategy.

1. Einleitung

Rotalgen (Rhodophyceae) sind eine überwiegend auf das marine Milieu beschränkte Pflanzengruppe. Nur vergleichsweise wenige Gattungen und Arten dieser Klasse, darunter allerdings ein erheblicher Anteil der Unterklasse Bangiophycidae, sind limnisch verbreitet. Von den insgesamt 11 Ordnungen der Rhodophyceae weisen drei überhaupt keine Süßwasservertreter auf, während nur eine einzige Ordnung (Compsopogonales) ausschließlich in Binnengewässern vorkommende Arten umfaßt.

Da bereits das Verbreitungsbild die Rotalgen schwerpunktmäßig dem marinen Milieu zuweist, erscheint auch verständlich, daß der bei weitem überwiegende Teil ökologischer und physiologischer Untersuchungen an marinen Arten durchgeführt wurde. Nur vergleichsweise wenige Arbeiten, von Darstellungen taxonomisch-entwicklungsgeschichtlichen Inhalts abgesehen, griffen Probleme zur Biologie der Süßwasserrotalgen auf. Unter den neueren Veröffentlichungen von ökologisch-physiologischer Relevanz sind vor allem die Darstellungen von Minckley & Tindall (1963), Dillard (1966), Rider & Wagner (1972), Geesink (1973), Woelkerling (1975), Flügge & Kies (1981) oder Raven & Beardall (1981) zu benennen, die experimentelle Bearbeitungen wichtiger einheimischer Gattungen wie *Bangia, Batrachospermum* und *Lemanea* zum Gegenstand haben. Friedrich (1973) gibt im Rahmen seiner monographischen Darstellung des Erft-Systems eine Autökologie der adventiven Rotalge *Compsopogon hookeri,* die in diesem Gewässer ihren einzigen (bekannten) mitteleuropäischen Standort aufweist.

Die genaue oder aktuelle Verbreitung der meisten autochthonen Süßwasserrhodophyceen ist für fast alle Gebiete Mitteleuropas nur ungenügend bekannt. Die nur wenigen vorliegenden Einzelnachweise bestimmter Arten ergeben insgesamt ein sehr lückenhaftes Verbreitungsbild (Friedrich 1973, 1980). Dies könnte einerseits der Ausdruck einer vielleicht noch unzureichenden algenfloristischen Bearbeitung der mitteleuropäischen Fließgewässerstandorte sein. Andererseits ist aber auch denkbar, daß die nachhaltige anthropogene Beeinträchtigung fast aller limnischen Biotope und die zumeist beachtliche Abwasserfracht zumindest der größeren Gewässer empfindlich reagierende Formen wie die Süßwasserrhodophyceen bereits weitgehend verdrängt haben. Massive Standortveränderungen sind sicher nicht ohne Effekt auf die Verbreitung aquatischer Makrophyten geblieben und haben bereits zu einem beachtlichen Verlust an potentiell in Frage kommenden Biotopen geführt (Krause 1976). Demnach wären

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

die derzeit bekannten Fundorte lediglich Restvorkommen innerhalb eines allmählich in Auflösung begriffenen Gesamtareals. Vermutlich sind sowohl die unvollständige Erfassung möglicher Fundorte wie auch die in der Kulturlandschaft allenthalben zu beobachtende Artenverarmung an der durchaus noch fragmentarischen Kenntnis der einheimischen Süßwasserrhodophyceen beteiligt. Insofern sind auch ältere regionale Erhebungen über Artenspektren, Häufigkeiten und Verbreitungsräume (BUDDE 1927; STEUSLOFF 1934) in jedem Fall revisionsbedürftig.

Fragen der Systematik und Taxonomie oder der Fortpflanzungsmodalitäten einheimischer Süßwasserrotalgen dürfen als weitgehend geklärt gelten. Auch läßt sich aus den derzeitigen Vorkommen ableiten, daß limnische Rhodophyceen offenbar nur unbelastete, phycotoxisch nahezu einwandfreie Regionen der Fließgewässer besiedeln. Sie werden daher als Indikatoren der oligosaproben (bis beta-meso/oligosaproben) bzw. der katharoben Zone herangezogen (BACKHAUS 1974; SLÁDEČEK 1973). Unklar bleiben aber in vielen Fällen die eigentlichen physiologischen Grundlagen der Standortansprüche und deren Amplituden, weil bisher nur in vergleichsweise wenigen Fällen Ansätze einer umfassenderen ökophysiologischen Charakteristik entwickelt wurden (RIDER & WAGNER 1972).

Im Rahmen von Vorarbeiten zu einer Verbreitungskartierung von Süßwasserrhodophyceen im Rheinland wurde eine Reihe neuer oder bislang offenbar übersehener Vorkommen verschiedener Arten ermittelt. Damit ergab sich gleichzeitig die Möglichkeit, genügende Mengen an Untersuchungsmaterial für Laborversuche von den Standorten zu entnehmen, ohne die Bestände zu gefährden. Die hier vorgelegten Untersuchungen gehen der Frage nach, welche abiotischen Standortparameter die Standortwahl einiger ausgewählter Rotalgenarten mitbestimmen. Dabei wird versucht, besonders über die Erfassung produktionsbiologisch wichtiger Stoffwechselleistungen (Photosynthese, Dunkelrespiration) die Präferenzen der einzelnen Arten vor allem für Licht und Temperatur abzuschätzen.

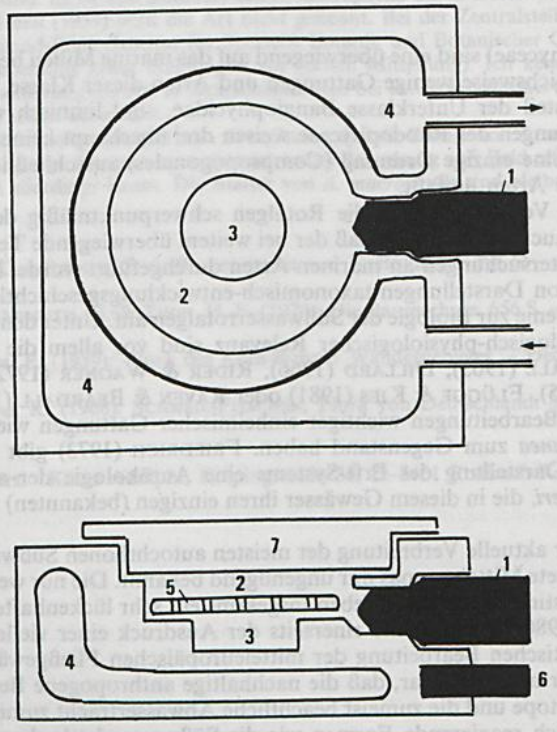

Abbildung 1. Meßvorrichtung zur oxymetrischen Bestimmung von Photosynthese- und Atmungsraten in kleinen Volumina. 1 O_2-Elektrode, 2 Meßkammer zur Probenaufnahme, 3 Aufnahme für Magnetrührstab, 4 Wasserkühlung mit Thermostatanschluß, 5 Lochscheibe, 6 Stativanschluß, 7 Schraubdeckel.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

2. Material und Methoden

Die beschriebenen Untersuchungen wurden in den Jahren 1977 bis 1981 durchgeführt. Folgende ausschließlich limnisch verbreitete Rotalgenarten standen dafür zur Verfügung:

(1) *Compsopogon hookeri* MONT. (Compsopogonales), Fundort: Erft unterhalb von Bergheim (FRIEDRICH 1973);
(2) *Lemanea annulata* KÜTZ. (Nemalionales), Fundort: Irreler Wasserfälle in der Prüm/Südeifel (KREMER 1980);
(3) *Lemanea fluviatilis* AG., Fundort: Wahnbach bei Seligenthal;
(4) *Batrachospermum* spec. (Nemalionales), Fundort: Vischelbachtal bei Berg/Nordeifel;
(5) *Hildenbrandia rivularis* AG. (Cryptonemiales), Fundort: wie 2.

Alle Gaswechselmessungen wurden spätestens 24 h nach Entnahme der Versuchspflanzen vom Standort durchgeführt. Dafür stand ein geschlossenes System zur Verfügung, das aus einer Meßküvette aus Plexiglas (Volumen 5 ml) und einer damit gekoppelten Sauerstoffelektrode (WTW EO 12 bzw. EO 166) bestand (Abb. 1). Die Meßküvette kann mit Hilfe eines angeschlossenen Kühlthermostaten (Lauda) auf eine vorgewählte Meßtemperatur eingeregelt werden. Als Lichtquelle für die Photosynthese diente ein Diaprojektor mit Halogenlampe. Die Lichtquantität wurde durch Abstandsveränderung und Zwischenschaltung von Neutralfiltern verändert. Die Messung der eingestrahlten Beleuchtungsstärke bzw. der Photonenflußdichte erfolgte mit einem Quantameter (Lambda Instruments). Alle Stoffbestandsuntersuchungen erfolgten nach Laborroutinemethoden bzw. nach den an anderer Stelle angegebenen Verfahren (KREMER 1978a, 1978b). Die Bestimmung der Gewässerkenndaten erfolgte nach dem Deutschen Einheitsverfahren zur Wasseruntersuchung (1972). Das spezifische Längenwachstum (= prozentuale tägliche Thallusverlängerung), wurde nach der Formel:

$$S = \frac{\ln\left(\frac{L_t}{L_o}\right) \times 100}{t}$$

berechnet, wobei L_o die Thalluslänge zu Meßbeginn, L_t die Länge nach t Tagen und ln = $\log_e$ bedeuten.

3. Ergebnisse

3.1. Kurzcharakteristik der Rotalgenfundorte

Bei drei der vier Fundstellen, von denen Versuchspflanzen entnommen wurden, handelt es sich um ziemlich rasch fließende (> 50 cm s^{-1}) und bereits nach Augenschein nur wenig oder sehr geringfügig belastete Mittelgebirgsbäche. Dichtrasiger Algenaufwuchs von *Lemanea* spp. und *Batrachospermum* spec. fand sich jeweils nur auf größeren bis mittleren Steinen und Blöcken. Die Hartsubstratunterlagen von *Lemanea* spp. fanden sich ausschließlich in solchen Bereichen, in denen die eingestreuten Blöcke auf kürzeren Gefällstrecken für Turbulenzen im Wasser und damit auch bei geringerer Wasserführung für eine erhöhte Sauerstoffeinmischung sorgen. *Batrachospermum* fand sich überwiegend an ruhigeren, nur wenig turbulenten Stellen. Der Fundort von *Compsopogon hookeri* in der Erft ist in der gründlichen Studie von FRIEDRICH (1973) bereits eingehend beschrieben worden. Für den Fundort Vischelbachtal sei ergänzend auf die Arbeit von GIESEN-HILDEBRAND (1976) hingewiesen.

Einige physikalisch-chemische Kenndaten der Gewässer im Bereich der Rotalgenfundstellen und ihre Schwankungsbreiten im Laufe des Untersuchungszeitraums sind in Tab. 1 zusammengestellt. Den Angaben liegen mindestens fünf über eine jeweilige Vegetationsperiode verteilte Mehrfachbestimmungen zugrunde. Alle Rotalgenfundstellen weisen relativ hohe Sauerstoffgehalte und Sauerstoffsättigungen auf, die im Laufe der einzelnen Vegetationsperioden jeweils etwas abnahmen. Gleichzeitig damit stellten sich leicht erhöhte BSB_5-Werte ein. Auf die jahreszeitlichen Aspekte dieser Schwankungen soll in diesem Rahmen nicht weiter eingegangen werden.

3.2. Biochemische Kenndaten des Versuchsmaterials

Die bei den hier vorgelegten Untersuchungen berücksichtigten Rotalgenarten zeigen einen unterschiedlich komplexen Thallusbau. Während etwa *Hildenbrandia rivularis* nur eine aus wenigen Zellschichten bestehende Kruste bildet, besteht der Thallus von *Batrachospermum*

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

	Wahnbach	Prüm	Vischelbach	Erft
T [°C]	1.8 - 16.2	0.5 - 17.4	0.9 - 15.8	11 - 19.2
pH	6.2 - 7.0	6.4 - 7.1	6.0 - 7.4	6.5 - 7.2
Leitfähigkeit bei 20°C [µS cm^{-2}]	185 - 388	276 - 498	182 - 390	380 - 452
O_2-Gehalt [mg l^{-1}]	8.8 - 12.9	7.2 - 9.5	7.9 - 10.8	6.2 - 8.5
% O_2-Sättigung	86 - 100	80 - 100	88 - 100	78 - 100
CO_2-Gehalt [mg l^{-1}]	1.5 - 8.2	2.4 - 6.8	1.7 - 8.2	0.8 - 7.3
BSB_5 [mg O_2 l^{-1}]	1.2 - 2.8	0.8 - 4.3	1.1 - 2.4	0.9 - 3.5

Tabelle 1. Schwankungsbreite einiger physikalischer und chemischer Kenndaten der Aufsammlungsstellen des Versuchsmaterials.

spec. aus verzweigten Zellfäden unterschiedlicher morphologischer Wertigkeit. Die *Lemanea*-Arten ebenso wie das allochthone *Compsopogon hookeri* sind ebenfalls nach dem Zellfadenprinzip aufgebaut, doch wird das daraus gebildete Achsensystem von einer aus kleinlumigen Zellen bestehenden Berindung verkleidet, die formale Analogien zu den höher entwickelten Rotalgenordnungen aufweist.

Diese zum Teil erheblichen Unterschiede der Thallusorganisation müßten bei einer vergleichenden Betrachtung der ökologischen Amplituden entsprechend berücksichtigt werden. Sie können jedoch nur indirekt in den Vergleich eingehen, indem der unterschiedliche Organisationsgrad der berücksichtigten Arten auf wenige quantitativ faßbare Parameter vereinfacht wird. Einige üblicherweise für diese Kennzeichnung herangezogenen Größen und Bezugssysteme sind in Tab. 2 zusammengestellt.

Die angegebenen Daten sind Mittelwerte aus mehreren Bestimmungen von Pflanzenmaterial, das zu verschiedenen Jahreszeiten gesammelt wurde. Die Werte wurden von randomisiertem Versuchsmaterial ohne Unterscheidung jüngerer oder älterer Individuen abgeleitet. Die Angaben für die verschiedenen Arten unterscheiden sich signifikant, weichen im ganzen jedoch nur relativ geringfügig voneinander ab.

3.3. Lichtabhängigkeit der Nettophotosyntheseraten

Für photoautotrophe Organismen ist das Lichtklima ihres Standortes ein Faktorengefüge von grundlegender Bedeutung. Nicht nur die Quantität des photosynthetisch nutzbaren Lichtes, sondern auch die am Wuchsort verfügbare Lichtqualität ist ein wichtiger Bestandteil der pflanzlichen Umwelt und für deren Kennzeichnung unverzichtbar.

	TG in % FG	mg Chl a g^{-1} TG	Floridosid	Florideenstärke % TG	Protein
Batrachospermum spec.	6.2 ± 2.5	2.58 ± 0.11	1.8 ± 0.4	3.2 ± 1.1	7.4 ± 1.8
Compsopogon hookeri	15.6 ± 1.8	1.24 ± 0.08	0.8 ± 0.2	2.4 ± 0.4	4.6 ± 0.9
Hildenbrandia rivularis	nb	1.39 ± 0.07	nb	nb	5.2 ± 0.7
Lemanea annulata	18.4 ± 1.2	1.80 ± 0.05	1.7 ± 0.2	3.7 ± 0.9	6.2 ± 1.4
Lemanea fluviatilis	16.9 ± 0.8	1.97 ± 0.04	2.1 ± 0.8	2.9 ± 0.7	5.8 ± 1.1

Tabelle 2. Beziehungen zwischen den Probenparametern Frischgewicht (FG), Trockengewicht (TG), Pigment- (Chl a = Chlorophyll a), Kohlenhydrat- und Proteingehalt. Mittelwerte aus 8 bis 10 Bestimmungen ± Standardabweichung. nb = nicht bestimmt.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

Besonders für marine Rotalgenarten ist die Lichtqualität ein wichtiger Standortfaktor, da sich mit zunehmender Wassertiefe auch die spektrale Zusammensetzung des auftreffenden Lichtes verändert. In limnischen Lebensräumen, besonders in Fließgewässern, werden die Vertreter der Rhodophyceae kaum in Wassertiefen unterhalb 1 m angetroffen, so daß die Frage der Lichtwirkung auf die photosynthetische CO_2-Assimilation auf die quantitative Seite der Lichtversorgung beschränkt werden kann. Schon dabei weisen die untersuchten Arten markante Unterschiede auf.

Abb. 2 zeigt die Abhängigkeit der Nettophotosyntheserate (O_2-Entwicklung) bei konstanter Versuchstemperatur (15°C) von verschiedenen Beleuchtungsstärken (gemessen in lux) bzw. Photonenflußdichten (gemessen in μmol Quanten $m^{-2}\,s^{-1} = \mu E\,m^{-2}\,s^{-1}$). Beim Vergleich der verschiedenen Kurven fällt auf, daß sich die untersuchten Rotalgenarten, von den Beträgen der Nettophotosyntheserate abgesehen, vor allem im Übergang zur Lichtsättigung der Photosynthese unterscheiden. Während *Compsopogon hookeri* bei etwa 400 $\mu E\,m^{-2}\,s^{-1}$ (entspricht ca. 20000 lux) den Sättigungsbereich erreicht, lassen die übrigen Arten einen abgestuften Übergang vom linearen Anstieg in die Lichtsättigung erkennen: Für *Batrachospermum* spec., *Lemanea fluviatilis* und *Hildenbrandia rivularis* ergeben sich Übergänge bei 250, 150 bzw. 100 $\mu E\,m^{-2}\,s^{-1}$ (entsprechend etwa 12000, 7000 bzw. 5000 lux). *Hildenbrandie rivularis* geht demnach bereits bei rund einem Drittel der Lichtmenge in die Sättigung der Photosynthese über, die etwa *Batrachospermum* spec. für den Eintritt in den Plateaubereich benötigt.

Die in Abb. 2 enthaltenen Werte wurden aus Einzelmessungen hochgerechnet, die jeweils eine Meßzeit von nur wenigen Minuten (meist 5–10 Min) umfaßten. Obwohl in allen untersuchten Fällen die Nettoraten photosynthetischer O_2-Entwicklung auch bei höherer Beleuchtungsstärke nicht zurückgehen, kann daraus nicht abgeleitet werden, daß etwa im Fall von *Hildenbrandia rivularis* auch nach längerer Einwirkungszeit von 20000 lux Beleuchtungsstärke keine Ratendepression eintritt. Es ist demnach durchaus offen und ziemlich unwahrscheinlich, daß die offensichtlich an geringe Lichtmengen angepaßten Rotalgenarten auch Starklichtbedingungen über längere Zeit ohne photooxidative Schädigungen überstehen.

Für *Hildenbrandia rivularis, Lemanea fluviatilis* und *Batrachospermum* spec. wurden Kompensationsbeleuchtungsstärken bei 120, 140 bzw. 200 lux (entspricht 2,2; 2,8 bzw. 4 $\mu E\,m^{-2}s^{-1}$) gemessen (Daten nicht in Abb. 2 enthalten). Der Lichtkompensationspunkt von *Compsopogon hookeri* liegt bei etwa 300 lux (6,2 $\mu E\,m^{-2}s^{-1}$).

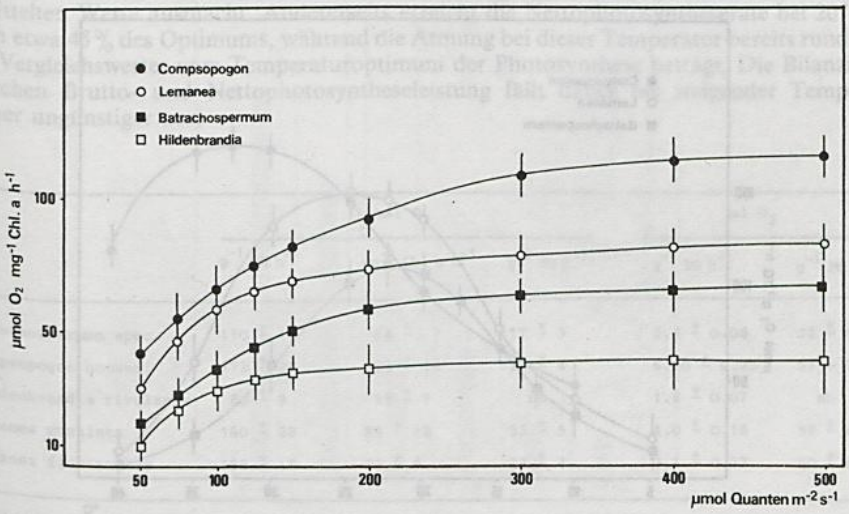

Abbildung 2. Abhängigkeit der Photosynthese von der eingestrahlten Lichtquantität. Mittelwerte aus 5–10 Bestimmungen ± Standardabweichung. Temperatur +15°C.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

3.4. Temperaturprofile der photosynthetischen O_2-Entwicklung

Neben der verfügbaren Lichtquantität, die primär in den photochemischen Reaktionsbereich der Photosynthese eingreift, ist die Temperatur eine wichtige Steuergröße der photosynthetischen Nettoleistung und damit ebenfalls ein Faktor, der die räumliche Verteilung der Algen auf potentielle Standorte mitbestimmt.

In Abb. 3 ist der Einfluß der Temperatur auf die Nettophotosyntheseraten von drei Süßwasserrotalgen wiedergegeben. Die oxymetrisch ermittelten und auf die Trockenmasse der Algen bezogenen Durchschnittswerte wurden an Versuchspflanzen gewonnen, die von der Hälterungstemperatur (10–15°C) jeweils nur kurzfristig für etwa 10–20 Min an die jeweils angegebenen Versuchstemperaturen adaptiert wurden. Schon dabei werden charakteristische Unterschiede zwischen dem allochthonen *Compsopogon hookeri* und den autochthonen Rotalgenarten (*Lemanea fluviatilis* und *Batrachospermum* spec.) deutlich. Das Temperaturoptimum der Photosynthese erstreckt sich unter den angegebenen Meßbedingungen über den Bereich zwischen 30° und 35°C, während der Kurvenverlauf für die einheimischen Arten zwischen 20° und 25°C gipfelt.

Deutlicher fallen die Unterschiede der Temperaturabhängigkeit und -charakteristik der photosynthetischen O_2-Entwicklung aus, wenn die Versuchspflanzen vor Meßbeginn über längere Zeit bereits im Hälterungsmedium den jeweiligen Temperaturen ausgesetzt waren. Diese Langzeitadaptation erstreckt sich gewöhnlich über mehrere Stunden. Die Ergebnisse sind in Abb. 4 dargestellt. *Compsopogon hookeri* behält sein Temperaturoptimum im Bereich von etwas mehr als 30°C bei. Dagegen verschiebt sich die Temperaturpräferenz von *Batrachospermum* spec. und *Lemanea fluviatilis* nach Langzeitadaptation deutlich unter die 20°C-Grenze. Temperaturen, die 20°C wesentlich überschreiten, führen sogar zu einer deutlichen Ratendepression. Bereits nach längerer Verweilzeit bei 25–30°C sinken die Nettophotosyntheseraten auf weniger als 50% der Optimalraten ab. Oberhalb 30°C geht diese Ratendepression ziemlich rasch in den Bereich irreversibler Temperaturschädigung ein. Die Temperaturprofile weisen mithin für *Batrachospermum* spec. und *Lemanea fluviatilis* einerseits sowie für *Compsopogon hookeri* zwei signifikant unterschiedene Präferenzbereiche unter sättigenden Lichtbedingungen aus.

Die Nettophotosyntheseraten im Temperaturoptimum (15°C) der einheimischen Arten sind zur besseren Vergleichbarkeit in Tab. 3 in verschiedenen Bezugssystemen dargestellt.

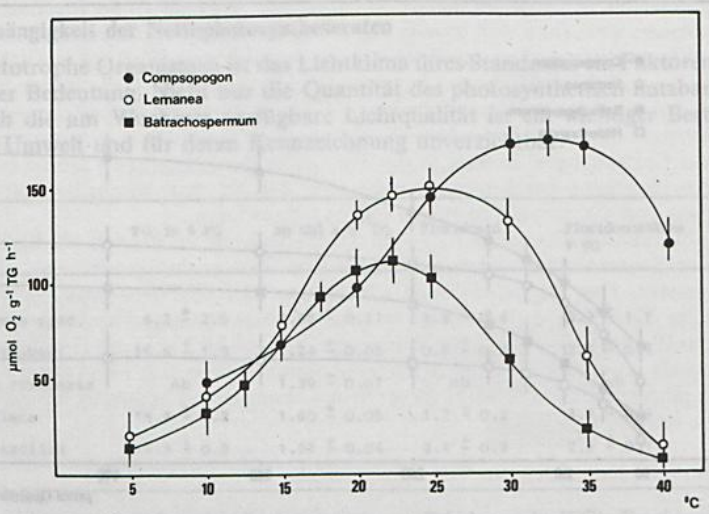

Abbildung 3. Temperaturabhängigkeit der Photosynthese. Versuche mit kurzzeitadaptierten Algen unter Lichtsättigung. Mittelwerte aus 5–10 Bestimmungen ± Standardabweichung.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

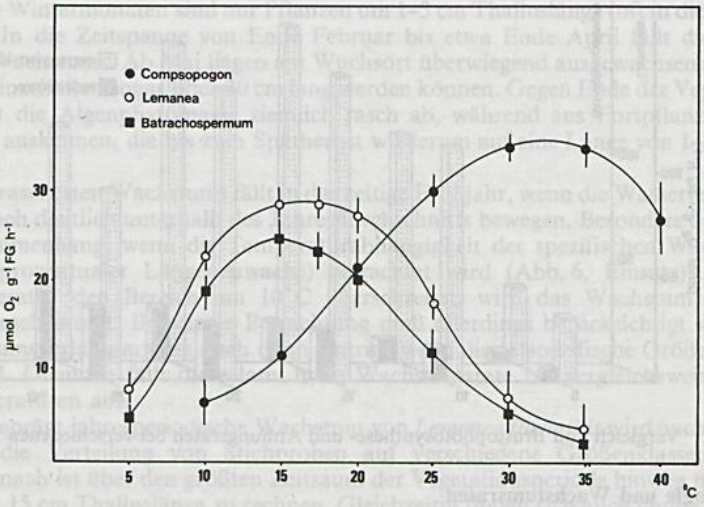

Abbildung 4. Temperaturabhängigkeit der Photosynthese. Versuche mit langzeitadaptierten Algen. Übrige Angaben wie Abb. 3.

3.5. Photosynthese und Atmungsraten

Für die Beurteilung der produktionsbiologischen Möglichkeiten der Süßwasserrotalgen in Gewässern mit weitgehend vorhersagbarem Temperaturjahresgang ist auch die Einbeziehung von Respirationsraten von Belang. In Abb. 5 sind die Atmungsraten (Dunkelatmung) langzeitadaptierter Individuen von *Batrachospermum* sepc. und *Lemanea fluviatilis* dargestellt und zu den Bruttoassimilationsleistungen in Beziehung gesetzt. Der respiratorische O_2-Verbrauch unter Dunkelbedingungen ist ebenso wie die Photosynthese temperaturabhängig. Er steigt bei höheren Temperaturen (über 20°C) relativ stärker an als im Temperaturintervall zwischen 10° und 20°C. Der Differenzbetrag zwischen Atmung und Bruttophotosynthese ist die im Experiment gemessene (apparente) Nettophotosynthese. Bei 5°C erreicht *Lemanea fluviatilis* bereits annähernd 30% der unter dem Temperaturoptimum möglichen Nettophotosyntheserate, während die Atmung nur wenig mehr als 10% der für diesen Temperaturbereich ermittelten Werte ausmacht. Andererseits erreicht die Nettophotosyntheserate bei 20°C nur noch etwa 45% des Optimums, während die Atmung bei dieser Temperatur bereits rund 130% des Vergleichswertes vom Temperaturoptimum der Photosynthese beträgt. Die Bilanzierung zwischen Brutto- und Nettophotosyntheseleistung fällt daher bei steigender Temperatur immer ungünstiger aus.

	µmol O_2			ml O_2	
	g^{-1} TG h^{-1}	mg^{-1} Chl a h^{-1}	g^{-1} FG h^{-1}	g^{-1} TG h^{-1}	g^{-1} FG h^{-1}
Batrachospermum spec.	110 ± 15	64 ± 7	17 ± 3	2.4 ± 0.08	35 ± 5
Compsopogon hookeri	172 ± 26	108 ± 14	26 ± 4	6.60 ± 0.25	57 + 7
Hildenbrandia rivularis	80 ± 9	58 ± 7	nb	1.8 ± 0.07	nb
Lemanea annulata	180 ± 28	98 ± 12	33 ± 5	4.0 ± 0.18	57 ± 8
Lemanea fluviatilis	158 ± 17	81 ± 9	26 ± 4	3.5 ± 0.17	50 ± 6

Tabelle 3. Durchschnittliche Nettophotosyntheseraten verschiedener Süßwasserrhodophyceen bei Bezug auf unterschiedliche Probenparameter. Mittelwerte aus 5 bis 10 Bestimmungen bei 15°C und Lichtsättigung ± Standardabweichung. Abkürzungen wie Tab. 2.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

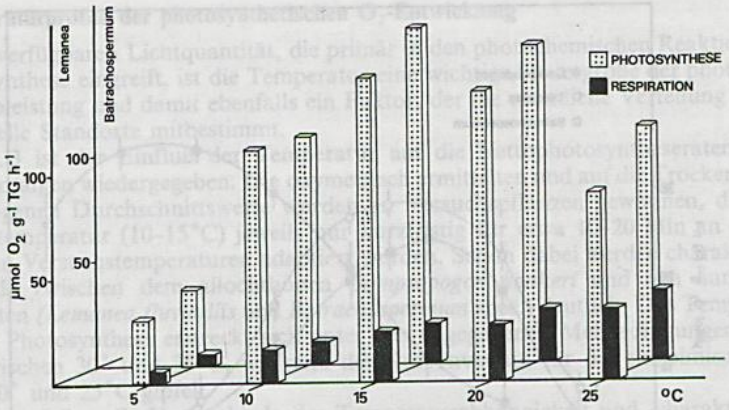

Abbildung 5. Vergleich von Bruttophotosynthese- und Atmungsraten bei verschiedenen Temperaturen.

3.6. Phänologie und Wachstumsraten

An allen erwähnten Standorten können die betreffenden Arten während des ganzen Jahres angetroffen werden. Während aber etwa die krustenförmigen Thalli von *Hildenbrandia rivularis* keine auffallenden Wachstumsrhythmen erkennen lassen, gestaltet sich der Längenzuwachs bei den übrigen hier berücksichtigten Rotalgenarten wesentlich auffälliger. Einzeldaten zum Thalluslängenwachstum wurden insbesondere für *Lemanea fluviatilis* vom Fundort Wahnbach ermittelt. Der Wachstumsverlauf bei Pflanzen dieser Spezies ist in Abb. 6 darge-

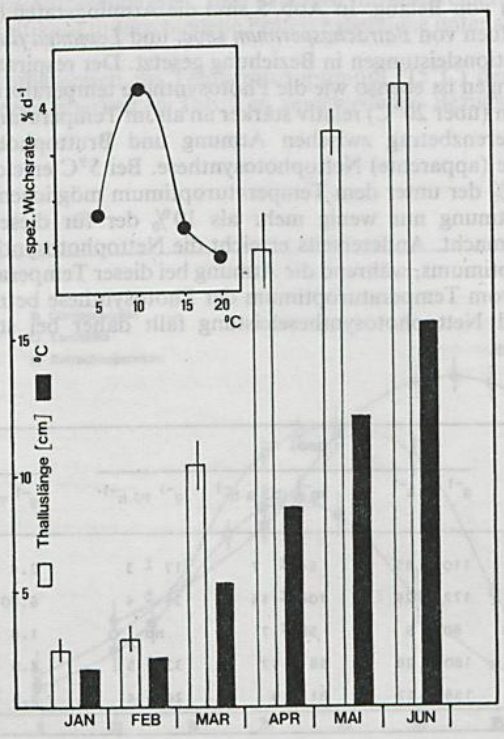

Abbildung 6. *Lemanea fluviatilis.* Wassertemperatur des Fundorts und Durchschnittslänge der Algenthalli. Stichprobe: je 100–150 Pflanzen. Auf der Basis dieser Daten wurde die spezifische Wachstumsrate für verschiedene Temperaturen berechnet (Einsatz oben).

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

stellt. In den Wintermonaten sind nur Pflanzen um 1–3 cm Thalluslänge (oft in dichten Rasen) vorhanden. In die Zeitspanne von Ende Februar bis etwa Ende April fällt die Phase des schnellsten Wachstums. Ab Mai liegen am Wuchsort überwiegend ausgewachsene Individuen vor, die in Einzelfällen sogar über 30 cm lang werden können. Gegen Ende der Vegetationsperiode nimmt die Algenphytomasse ziemlich rasch ab, während aus Fortpflanzungsstadien junge Thalli auskeimen, die bis zum Spätherbst wiederum auf eine Länge von 1–2 cm heranwachsen.

Die Zeit raschesten Wachstums fällt in das zeitige Frühjahr, wenn die Wassertemperaturen sich meist noch deutlich unterhalb des Jahresdurchschnitts bewegen. Besonders deutlich wird dieser Zusammenhang, wenn die Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wachstumsrate (= täglicher prozentualer Längenzuwachs) betrachtet wird (Abb. 6, Einsatz). Sobald die Wassertemperatur den Bereich um 10°C überschreitet, wird das Wachstum nicht mehr wesentlich beschleunigt. Bei dieser Betrachtung muß allerdings berücksichtigt werden, daß eine Wachstumsverlangsamung auch dann eintritt, wenn die artspezifische Größe annähernd erreicht wird. Dennoch fällt die relativ hohe Wachstumsrate bei vergleichsweise niedrigen Wassertemperaturen auf.

Das ausgeprägt jahresperiodische Wachstum von *Lemanea fluviatilis* wird auch erkennbar, wenn man die Verteilung von Stichproben auf verschiedene Größenklassen analysiert (Abb. 7). Danach ist über den größten Zeitraum der Vegetationsperiode hinweg mit Pflanzen von mehr als 15 cm Thalluslänge zu rechnen. Gleichzeitig finden sich auch immer sehr kleine, aus Fortpflanzungseinheiten hervorgegangene Individuen, besonders wenn im Sommer nach gelegentlichem Trockenfallen größerer Gesteinsblöcke ein Teil der Algen abstirbt. Schon wenige Tage nach ergiebigeren Regenfällen und daraus resultierender höherer Wasserführung sind Rasen junger *Lemanea*-Individuen vorhanden. Dennoch erfolgt das eigentliche Wachstum der Bestände in einem geschlossenen Schub, der im Frühsommer im wesentlichen zum Abschluß kommt.

Ab etwa Juni erscheinen an der Fundstelle von *Lemanea fluviatilis* im Wahnbach auch *Chantransia*-Stadien, die verschiedene Unterlagen besiedeln und mitunter sogar in dichten epiphytischen Büscheln auf den *Lemanea*-Borsten sitzen. Vermutlich stehen die ausgesprochen merkmalsarmen *Chantransia*-Stadien im Entwicklungszusammenhang mit *Lemanea fluviatilis* oder einer anderen Süßwasserrotalge (im Wahnbach kommt auch eine *Batrachospermum*-Art vor). Die Zuordnung dieser chantransoiden Algenbüschel zu einer selbständigen Art, eventuell *Audouinella violacea,* erscheint sehr fraglich. Genauere Einzelheiten müßten in Kulturexperimenten geklärt werden.

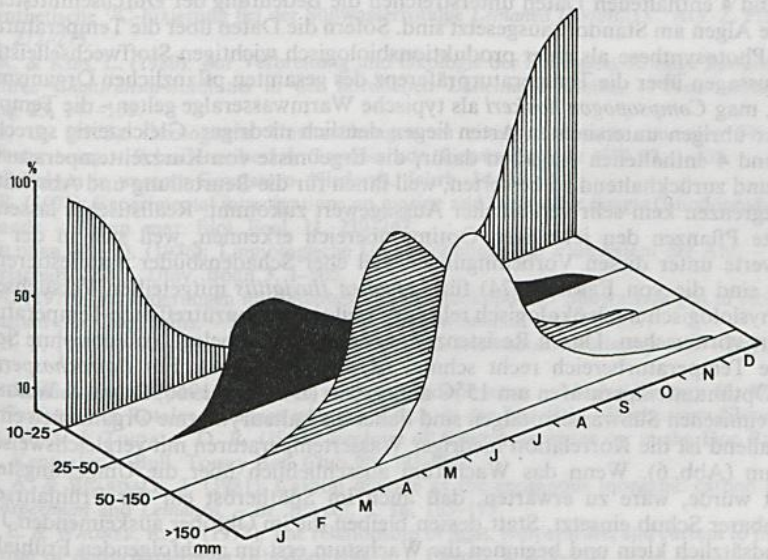

Abbildung 7. Jahreszeitliche Fluktuation der Verteilung von *Lemanea*-Thalli auf verschiedene Größenklassen.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

4. Diskussion

Süßwasserrotalgen gehören zu den ökologisch noch wenig untersuchten aquatischen Makrophyten. Nur relativ wenige Daten bieten sich daher für den Vergleich mit dem hier vorgelegten Material an, das einige Aspekte zur Frage der physiologischen Grundlagen ökologischer Anpassung beizutragen versucht. Für diesen Ansatz standen einige einheimische Rotalgenarten sowie eine Adventivart aus wärmeren Klimaten zur Verfügung. Zwar wäre prinzipiell die Ausdehnung der Fragestellungen auf die Vertreter weiterer Gattungen wie *Audouinella* oder *Thorea* wünschenswert, doch sind zumindest im nördlichen Rheinland keine Standorte bekannt, die die Entnahme von Versuchsmaterial ohne ernsthafte Bestandsgefährdung zulassen (KRAUSE 1976; FRIEDRICH 1980).

Die an *Batrachospermum* spec., *Compsopogon hookeri, Lemanea annulata* sowie *L. fluviatilis* wie auch an *Hildenbrandia rivularis* vorgenommenen Versuche zur Abhängigkeit der Photosynthese von Umweltparametern, lassen einige Unterschiede in den Standortansprüchen der Adventivart und den autochthonen Arten deutlich werden. Im Hinblick auf die Lichtsättigung der photosynthetischen O_2-Entwicklung (Abb. 2) können ausgesprochene Starklichtpflanzen (*Compsopogon,* abgestuft dazu auch *Batrachospermum*) von Schwachlichtspezialisten *(Lemanea, Hildenbrandia)* unterschieden werden. Eigentlich nimmt *Batrachospermum* spec. eine Mittelstellung ein, kann jedoch nicht widerspruchsfrei den Schwachlichtpflanzen zugewiesen werden. Die Lage der Kompensationsbeleuchtungsstärke unterstreicht diese Beobachtung. Insgesamt entspricht diese photophysiologische Kennzeichnung recht gut der Standortwahl, die von den einzelnen Arten getroffen wird. *Lemanea* und *Hildenbrandia* werden gewöhnlich nur an schattigen Stellen von Bächen und kleineren Flüssen angetroffen, die nicht über längere Zeit vom vollen Sonnenlicht erreichbar sind. Demgegenüber tritt *Batrachospermum* auch an offenen, lichtklimatisch günstiger erscheinenden Standorten auf. *Compsopogon hookeri* als ursprünglich tropische Art soll hier nicht weiter betrachtet werden, mag aber innerhalb der Süßwasserrhodophyceae als Beispiel für den Starklichttypus gelten. Wo Süßwasserrotalgen einen geeigneten Biotop finden und sich ansiedeln können, mag mithin unter anderem eine Frage des Lichtklimas sein. Obwohl entsprechende Versuchsdaten nicht vorliegen, erscheint es wenig wahrscheinlich, daß die einheimischen Schwachlichtformen unter Starklichtbedingungen längerfristig überdauern können. Sie werden daher von entsprechenden Standorten ausgeschlossen bleiben. Diese Annahme wird durch Beobachtungen an anderen als den hier untersuchten Arten gestützt (MINCKLEY & TINDALL 1963; DILLARD 1966; RIDER & WAGNER 1972).

Über die Standortwahl scheint aber nicht nur das Lichtregime zu entscheiden. Die in Abb. 3 und 4 enthaltenen Daten unterstreichen die Bedeutung der Durchschnittstemperatur, denen die Algen am Standort ausgesetzt sind. Sofern die Daten über die Temperaturabhängigkeit der Photosynthese als einer produktionsbiologisch wichtigen Stoffwechselleistung überhaupt Aussagen über die Temperaturpräferenz des gesamten pflanzlichen Organismus in situ zulassen, mag *Compsopogon hookeri* als typische Warmwasseralge gelten – die Temperaturoptima aller übrigen untersuchten Arten liegen deutlich niedriger. Gleichzeitig sprechen die in Abb. 3 und 4 enthaltenen Angaben dafür, die Ergebnisse von Kurzzeittemperaturversuchen kritisch und zurückhaltend zu bewerten, weil ihnen für die Beurteilung und Abschätzung von Toleranzgrenzen kein sehr verläßlicher Aussagewert zukommt. Realistischer lassen langzeitadaptierte Pflanzen den jeweiligen Optimumbereich erkennen, weil sich in der Nähe der Extremwerte unter diesen Vorbedingungen viel eher Schadensbilder manifestieren können. Insofern sind die von FEIGE (1974) für *Lemanea fluviatilis* mitgeteilten Versuchsergebnisse weder physiologisch noch ökologisch relevant, weil sie eine unzutreffende Temperaturtoleranz dieser Art vortäuschen. Durch Resistenzuntersuchungen ist belegt, daß der ohne Schädigung ertragene Temperaturbereich recht schmal ist (SCHÖLM 1968). Für *Batrachospermum* spp. werden Optimumtemperaturen um 15 °C angegeben (DILLARD 1966; RIDER & WAGNER 1972). Die einheimischen Süßwasserrotalgen sind daher als kalteurytherme Organismen einzustufen.

Auffallend ist die Korrelation niedriger Wassertemperaturen mit vergleichsweise raschem Wachstum (Abb. 6). Wenn das Wachstum ausschließlich über die Umgebungstemperatur gesteuert würde, wäre zu erwarten, daß auch im Spätherbst ein der Frühjahrsentfaltung vergleichbarer Schub einsetzt. Statt dessen bleiben die im Oktober auskeimenden Jungpflanzen grundsätzlich klein und beginnen ihr Wachstum erst im nachfolgenden Frühjahr. Neben dem Temperatureffekt werden mithin noch weitere Faktoren an der Wachstumsauslösung beteiligt sein, wobei unter anderem an photoperiodische Zusammenhänge zu denken wäre.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

Die Temperaturcharakteristik von Photosynthese, Atmung und Wachstumsverlauf legt insgesamt die Annahme nahe, daß *Batrachospermum* spec. bzw. *Lemanea fluviatilis* bei vergleichsweise niederen Temperaturen eine effizientere Stoffbilanz erreichen als bei mäßiger bis stärkerer Erwärmung des Standortwassers. An welcher Stelle im Stoffwechsel eine besonders bei längerem Aufenthalt über 25–30°C zu beobachtende irreversible Schädigung einsetzt, ist aufgrund der vorliegenden Daten nicht zu entscheiden. Gesichert ist lediglich, daß wichtige Primärvorgänge davon betroffen sind – bei verminderter photosynthetischer C-Assimilation sind auch keine Thallusvergrößerung oder der Übergang zur Reproduktion mehr möglich. Vermutlich liegt der Temperaturschädigung der Algen ein komplexes Schadensbild zugrunde.

Abgesehen von dem ursprünglich gebietsfremden *Compsopogon hookeri,* das sich in einigen hervorstechenden Merkmalen von den übrigen hier untersuchten Süßwasserrotalgen unterscheidet (vgl. auch FRIEDRICH 1973), besiedeln die gebietstypischen Vertreter der Gattungen *Batrachospermum, Hildenbrandia* und *Lemanea* nach Maßgabe ihrer stoffwechselphysiologischen Möglichkeiten Gewässer, deren sommerliche Höchsttemperatur 15°C nicht wesentlich überschreitet und im Jahresdurchschnitt unter 10°C liegt. Die Gewässer müssen gleichzeitig ziemlich rasch abfließen, relativ unbelastet und schadstoffrei sein sowie einen hohen O_2- und CO_2-Partialdruck aufweisen. Ein genügender Gehalt an freiem CO_2 im Wasser ist dabei besonders wichtig, weil Süßwasserrotalgen kein HCO_3^- für die photosynthetische C-Assimilation verwerten können (RUTTNER 1960; RAVEN & BEARDALL 1981). Die am Standort verfügbare Lichtquantität entscheidet zusätzlich über das räumliche Besiedlungsmuster. Ob in einem Gewässer Süßwasserrhodophyceen vorkommen oder nicht, hängt mithin davon ab, ob die vorgegebenen Standortparameter eine langfristig gesicherte Stoffbilanz ermöglichen oder nicht. Dieser produktionsbiologische Rahmen der Rotalgenvorkommen wurde erstmals von BUDDE (1932) erkannt und diskutiert.

Literatur

BACKHAUS, D. (1974): Fließwasseralgen und ihre Verwendbarkeit als Bioindikatoren. – Verh. Ges. f. Ökologie Saarbrücken 1973, 149–168.

BUDDE, H. (1927): Die Algenflora des Sauerländischen Gebirgsbaches. – Arch. Hydrobiol. **19**, 433–520.

– Die Algenflora der Lippe und ihrer Zuflüsse. – Arch. Hydrobiol. **21**, 187–252.

DILLARD, G. E. (1966): The seasonal periodicity of *Batrachospermum macrosporum* and *Audouinella violacea* in Turkey Creek, Moore County, North Carolina. – J. Elisha Mitchell Sci. Soc. **82**, 204–207.

FEIGE, G. B. (1974): Beiträge zur Physiologie einheimischer Algen. 4. Der Einfluß der Temperatur auf die photosynthetische ^{14}C-Fixierung bei der Süßwasserrotalge *Lemanea fluviatilis* C. AG.-Z. Pflanzenphysiol. **72**, 272–275.

FLÜGGE, R. & KIES, L. (1980): Zur Verbreitung und Ökologie der Süßwasser-Rotalge *Batrachospermum* sowie ihres *Chantransia*-Stadiums in der nördlichen Lüneburger Heide. – Verh. naturwiss. Ver. Hamburg **23**, 147–155.

FRIEDRICH, G. (1973): Ökologische Untersuchungen an einem thermisch anomalen Fließgewässer (Erft/Niederrhein). – Schriftenreihe LA Gewässerkde. Gewässerschutz NW **33**, 1–125.

– (1980): Rotalgen in unseren Gewässern. Niederrh. Jahrb. **14**, 19–25.

GEESINK, R. (1973): Experimental investigations on marine and freshwater *Bangia* (Rhodophyta) from the Netherlands. – J. exp. mar. Biol. Ecol. **11**, 239–247.

GIESEN-HILDEBRAND, D. (1976): Limnologische Untersuchungen am Flußsystem der Ahr. – Arb. Inst. Landwirtschaftl. Zool. Univ. Bonn **3**, 1–105.

KRAUSE, A. (1976): Veränderungen im Artenbestand makroskopischer Süßwasseralgen in Abhängigkeit vom Ausbau des Oberrheins. – Schriftenreihe f. Vegetationskde. **10**, 227–237.

KREMER, B. P. (1978a): Aspects of CO_2-fixation in some freshwater Rhodophyceae. – Phycologia **17**, 430–434.

– (1978b): Studies on $^{14}CO_2$-assimilation in marine Rhodophyceae. – Marine Biology **48**, 47–55.

– (1980): Neufund der Rotalge *Lemanea annulata* KÜTZ. in der Südeifel. – Decheniana (Bonn) **133**, 32.

MINCKLEY, W. I. & TINDALL, D. R. (1963): Ecology of *Batrachospermum* sp. in the Doc Run, Meade County, Kentucky. – Bull. Torrey Bot. Club **90**, 391–400.

RAVEN, J. A. & BEARDALL, J. (1981): Carbon dioxide as the exogenous inorganic carbon source for *Batrachospermum* and *Lemanea.* – Br. phycol. J. **16**, 165–175.

RIDER, D. E. & WAGNER, R. H. (1972): The relationship of light, temperature, and current to the seasonal distribution of *Batrachospermum* (Rhodophyta). – J. Phycol. **8**, 323–331.

RUTTNER, F. (1960): Carbon uptake in algae of the Rhodophycean genus *Batrachospermum.* – Schweiz. Z. Hydrol. **28**, 280–291.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

SCHÖLM, H. E. (1968): Untersuchungen zur Hitze- und Frostresistenz einheimischer Süßwasseralgen. – Protoplasma **65**, 97–118.

SLÁDEČEK, V. (1973): System of water quality from a biological point of view. – Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. **7**, 1–218.

STEUSLOFF, U. (1934): Die Rhodophyceen *Bangia* und *Thorea* im Rhein-Herne-Kanal. – Abh. Westf. Provinzial-Museum f. Naturkde. **5**, 3–21.

WOELKERLING, W. J. (1975): Observations on *Batrachospermum* (Rhodophyta) in south-east Wisconsin streams. – Rhodora **77**, 467–477.

Anschrift des Verfassers: Dr. Bruno P. Kremer, Andreasstraße 51, D–5300 Bonn 2.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Decheniana

Jahr/Year: 1983

Band/Volume: 136

Autor(en)/Author(s): Kremer Bruno P.

Artikel/Article: Untersuchungen zur Ökophysiologie einiger Süßwasserrotalgen 31-42