Abh. Naturw. Verein Bremen	40/4	381 – 394	Bremen 1987

Characeen-Gesellschaften im oligohalinen Kuhgrabensee und benachbarten Gewässern

Characeen-Communities in the Oligohalin Kuhgrabensee and Adjacent Waters

U. WINTER, K. KUHBIER, G.O. KIRST

Abstract: The occurence of the halophilic *Chara canescens* together with freshwater or halotolerant Chara species: *Ch. vulgaris, Ch. globularis (= Ch. fragilis), Ch. delicatula* and *Nitellopsis obtusa* in an oligohaline lake near Bremen (FRG) is reported. Seasonal and zonal changes of the Characean associations are described with respect to ionic composition, pH, and total salinity of the lake.

1. Einleitung

Die Characeen gehören zu den makroskopischen Grünalgen (Chlorophyta). Sie zeigen eine charakteristische Gliederung des Thallus und eine typische sexuelle Vermehrung durch Oogonien mit je einer Eizelle und Antheridien, in denen die Spermatozoide gebildet werden. Der Thallus ist regelmäßig unterteilt in einzellige, große (2-10 cm lange) Internodialzellen und Knoten (Nodien), die aus mehreren kleinen Zellen bestehen. Von diesen gehen Seitenzweige mit begrenztem Wachstum („Blätter") aus, die wie die Arme eines Kronleuchters (daher deutscher Name: Armleuchteralgen) abstehen. Die Internodienzellen gehören als „Riesenzellen" zu den klassischen Versuchsobjekten der Pflanzenphysiologen für Untersuchungen zur Ionenaufnahme und zum Membrantransport (HOPE & WALKER 1975).

Die Characeen bilden in jungen Gewässern, z.B. Baggerseen, typische Pioniergesellschaften aus, in denen sie häufig zu großen, aus einer einzigen Art bestehenden „Characeen-Wiesen" auswachsen (KRAUSE & LANG 1975). Die Characeenbestände lassen in ihrer Artenzusammensetzung oft eine klare Gliederung nach der Wassertiefe erkennen. Unter den extremen Wachstumsbedingungen großer Wassertiefen (8-20 m) kommen Characeen als Dauergesellschaften vor. Die einzelnen Arten stellen hinsichtlich der Wassergüte unterschiedliche Ansprüche, so daß ihr Vorkommen als Zeiger für den Gewässerzustand herangezogen werden kann (KRAUSE 1981).

Im Zusammenhang mit öko-physiologischen Untersuchungen zur Salztoleranz von Characeen wurde die Artenzusammensetzung in dem oligohalinen „Kuhgrabensee" während zweier Vegetationsperioden (1984 und 1985) untersucht.

Der Kuhgrabensee ist mit 21,2 ha der zweitgrößte See Bremens. Zum Vergleich wurden der benachbarte Stadtwaldsee und einige Kleingewässer mit berücksichtigt (Abb. 1).

Abbildung 1: Karte des Seengebietes mit dem Lilienthaler Salzstock (nach ORTLAM 1984). Sammelorte sind durch + markiert.

2. Methoden

Die Characeen wurden im flachen Wasser mit der Hand geerntet, sonst mit Hilfe eines Wurfankers. Die Zonierungen wurden durch Tauchgänge überprüft. Die Bestimmung der Arten erfolgte nach CORILLION (1957), KRAUSE (1976) sowie WOOD und IMAHORI (1965). Temperatur und pH-Wert des Oberflächenwassers wurden mit einer tragbaren Kombielektrode gemessen. Wasserproben wurden mit Plastikgefäßen gesammelt und im Labor wie folgt bestimmt: Kationen (Na^+; K^+; Ca^{2+}; Mg^{2+}) mit dem Atomabsorptionsspektrometer (Perkin-Elmer 2380); Cl^- elektometrisch (Eppendorf Chloridmeter 6610); Sulfat turbidometrisch nach JACKSON & MC CANDLESS (1978); Nitrat nach CAWSE (1967); Phosphat nach GERLACH & DEUTICKE (1963).

Zur Bestimmung der Ionenzusammensetzung des Vakuolensaftes der Characeen wurden Internodialzellen kurz mit Filterpapier getrocknet. Auf einer Wachsplatte wurden deren Knoten abgeschnitten und aus der so geöffneten Zelle der Vakuoleninhalt mit Mikropipetten herausgesaugt (BISSON & KIRST 1980). Der osmotische Wert wurde mit einem Wescor-Dampfdruckosmometer, Modell 5100 B, ermittelt.

3. Geohydrologische Charakteristik der untersuchten Gewässer

Die untersuchten Gewässer liegen am nördlichen Stadtrand Bremens in der „Blockland" genannten Moormarsch zwischen dem Lauf der Wümme und dem Talsand der Weser (Umweltatlas o.J.) (Abb. 1).

Kuhgrabensee und Stadtwaldsee sind Baggerseen von ca. 16 m Tiefe, die zur Sandgewinnung beim Bau der Blocklandautobahn zu Beginn der siebziger Jahre dienten. Um die gleiche Zeit entstanden in diesem Bereich eine Anzahl von flachen Gräben und Teichen. In diesem verhältnismäßig jungen Gelände galt die Aufmerksamkeit vor allem dem Kuhgrabensee, während die übrigen Gewässer nur zu Vergleichszwecken überprüft wurden.

3.1. Der Kuhgrabensee

Der See ist in eine 2 - 3 m mächtige Weichschicht aus Niedermoortorfen und Auelehm eingebettet. Daran schließt sich eine 7 - 18 m mächtige Schicht aus pleistozänen Wesersanden an, die den oberen Grundwasserleiter bildet. Die Sohle des Sees besteht aus Material der sandigschluffigen Lauenburger Schichten, denen stellenweise geringmächtige Geschiebelehmreste aufliegen (ORTLAM 1984). Die Grundfläche des Sees weist ein starkes Relief auf, so daß die Wassertiefe zwischen 10 und 16 m beträgt.

Da das Absaugen des Sandes zu einer erheblichen Absenkung des Grundwassers geführt hatte, wurde dem See in den Jahren 1970-73 nährstoffreiches Oberflächenwasser aus dem östlich davon verlaufenden Kuhgraben zugeführt. Heute hat der See weder einen Zu- noch einen Abfluß und wird ausschließlich von Grundwasser gespeist (BORN et al. 1983).

Das Grundwasser ist im Bereich des Blocklandes durch den Lilienthaler Salzstock beeinflußt. Aufsteigendes Salzwasser fließt in zwei Fahnen nördlich und südlich der Blocklandautobahn nach Nordwesten ab (Abb. 1; ORTLAM 1984).

Dabei berührt die nördliche Salzfahne das Gebiet des Kuhgrabensees. Das Salzwasser liegt unter einer Süßwasserschicht, deren Untergrenze nach geoelektrischen Untersuchungen von REPSOLD (1975) bei etwa –4 m NN verläuft. Die scharf voneinander getrennten Grundwässer (Süß- und Salzwasser) treten am Ostrand in den See ein (ORTLAM 1984).

Im Seebecken scheint der Konzentrationsausgleich zwischen Süß- und Salzwasser sehr rasch zu erfolgen. Über zwei Jahre (März 1984 bis Dezember 1985) wöchentlich durch-

geführte Messungen des Oberflächenwassers im Bereich der Chara-Wiesen ergaben keine Schwankungen im Ionengehalt. Auch zum Vergleich durchgeführte Messungen von Wasserproben aus 2 bis 12 m Tiefe während der Sommerstagnation ergaben keine Salzgradienten. Dies bestätigen Befunde von BORN et al. (1983).

Mit einem Gesamtgehalt von ca. 1.5 g/l gelösten Ionen (Tabelle 1) ist das Wasser des Kuhgrabensees als oligohalin einzuordnen. Es enthält jedoch Phosphate und Nitrate nur in Spuren. Aufgrund der geringen Phytoplankton-Produktion stuften BORN et al. (1983) das Gewässer als oligotroph ein. Inzwischen ist der See als Naturschutzgebiet ausgewiesen.

Im Kuhgrabensee trägt praktisch der gesamte Uferbereich, soweit Flächen in geeigneter Wassertiefe vorhanden sind, einen reichhaltigen Characeenbestand. Bisher wurden darin 5 Arten festgestellt (Tabelle 2): *Nitellopsis obtusa, Chara canescens, Ch. vulgaris, Ch. globularis (= Ch. fragilis)* und *Ch. delicatula.*

3.2. Der Stadtwaldsee

Die südlich der Bundesautobahn verlaufende Salzfahne strömt durch den Untergrund des Universitätsgeländes nach Westen (ORTLAM 1984). Sie berührt auf diesem Weg den ebenfalls durch Ausbaggerung entstandenen Stadtwaldsee, der mit einer maximalen Tiefe von 16.5 m offenbar auch in die salzwasserführende Schicht der Wesersande hineinreicht. Sein Salzgehalt ist mit ca. 1.3 g/l nur wenig geringer als der des Kuhgrabensees (Tabelle 1).

Der Stadtwaldsee wird als Freizeit- und Badesee intensiv genutzt und weist daher eine deutlich schlechtere Wassergüte und geringere Sichttiefe (2.90 - 4.60 m, Umweltatlas o.J.) als der Kuhgrabensee auf.

Tabelle 1: Zusammenstellung charakteristischer Daten der untersuchten Seen und Gewässer. n.g.: nicht gemessen; x): Werte aus BORN et al. (1983); Spuren: an der Nachweisgrenze (Phosphat: 0 - 1 μM; Nitrat 0 - 3 μM).

	Kuhgrabensee	Stadtwaldsee	Gewässer der „Uniwildnis"
Bearbeitungszeitraum	3/84 – 12/85	3/84 – 6/85	11/84 – 5/85
Größe (ha)	21.2	34	n.g.
Größe Tiefe (m)	16.0	16.6	2 – 3
Mittlere Tiefe (m)	10.0	n.g.	n.g.
Sichttiefe (m, mit Secchischeibe)	5.2 – 9.2$^{x)}$	n.g.	n.g.
pH Mittelwert (25 cm Tiefe)	7.70	7.92	7.16
pH min – max	6.30 – 8.58	7.78 – 8.05	6.00 – 8.10
Na^+ mg/1 (mM)	357.5 (15.55)	285.1 (12.40)	45.0 (1.96)
K^+ mg/1 (mM)	5.1 (0.13)	5.9 (0.15)	3.2 (0.08)
Mg^{++} mg/1 (mM)	22.8 (0.94)	22.8 (0.94)	14.4 (0.59)
Ca^{++} mg/1 (mM)	171.7 (4.30)	151.9 (3.80)	75.4 (1.88)
Cl^- mg/1 (mM)	716.3 (20.21)	591.0 (16.70)	35.8 (1.01)
SO_4^{--} mg/1 (mM)	212.8 (2.22)	237.6 (2.47)	208.4 (2.17)
NO_3^- mg/1 (mM)	Spuren	Spuren	n.g.
PO_4^{---} mg/1 (mM)	Spuren	Spuren	n.g.

Tabelle 2: Liste der in den Seen vorkommenden Arten. Stand 1984/85.

Kuhgrabensee	Stadtwaldsee	Gräben der Uniwildnis
Nitellopsis obtusa (DESV.)GROVES 1919	Ch. vulgaris L.	Nitella flexilis AGARDH 1824
Chara canescens LOISEL. 1810	Ch. globularis Thuill. (= Ch. fragilis) DESV.	Ch. vulgaris L.
Ch. vulgaris L. 1753		
Ch. globularis THUILL. 1799 (= Ch. fragilis) DESV.		
Ch. delicatula AGARDH 1824		

Characeen kommen hier im Uferbereich nur an geschützten Stellen vor, die für Badende schlecht zugänglich sind. Bisher fanden wir nur *Ch. vulgaris* und *Ch. globularis* (Tabelle 2). Mit dem Wurfanker konnten wir feststellen, daß beide Arten in größerer Wassertiefe offenbar noch in reicheren Beständen vorhanden sind.

3. 3. Gräben und Teiche der „Uniwildnis"

Nach Abschluß der Bauarbeiten an Blocklandautobahn und Universität blieb ein Stück des Universitätsgeländes zunächst ungenutzt. Auf der durch Aufschüttungs- und Baggerarbeiten stark strukturierten Fläche stellte sich nach kurzer Zeit eine artenreiche Fauna und Flora ein.

Das Gelände liegt, wie der Stadtwaldsee, im Bereich der südlichen Salzfahne (Abb. 1), doch führen die Teiche und Gräben reines Süßwasser (Tabelle 1). Sie haben wegen ihrer geringen Tiefe offenbar keinen Kontakt zu den Salzwasser führenden Schichten des Grundwassers.

In einem wegen seiner Lage und geringen Tiefe (0.5 m) sicher ephemeren Tümpel dieses Bereichs fanden wir einen dichten Bestand von *Ch. vulgaris.* Ein unmittelbar benachbarter Graben von ca. 1.0 m Tiefe war von *Nitella flexilis* besiedelt; in den übrigen Gewässern fanden wir 1984/85 keine Characeen (Tabelle 2).

4. Räumliche Zonierung und Jahreszyklus der Characeen im Kuhgrabensee

Während sich in flachen Gewässern dichte monospezifische Characeenbestände gebildet haben, hätten Stadtwaldsee und Kuhgrabensee die notwendige Wassertiefe, um eine ausgeprägte Zonierung verschiedener Characeengesellschaften zu ermöglichen. Im Stadtwaldsee macht jedoch der Badebetrieb die Besiedlung der Ufer fast unmöglich, und die tieferen Zonen sind der Beobachtung kaum zugänglich. In dieser Arbeit berichten die Autoren darum nur über Beobachtungen am Kuhgrabensee, in dem die Vegetation sich völlig ungestört entwickelt hat.

4. 1. Räumliche Zonierung im Kuhgrabensee

Die Ufer des Kuhgrabensees fallen ringsum schon nach wenigen Metern verhältnismäßig steil ab. Nur an der nordöstlichen und südwestlichen Ecke liegt jeweils ein etwa 25 m breiter Uferstreifen mit ruhigerem Flachwasser. Dieser flache Uferbereich ist im SO von *Typha* und *Phragmites* bedeckt, so daß wir unsere Arbeit auf die besser zugängliche West- und Nordseite des Sees konzentrierten (vgl. Markierungen Abb. 1).

Bei seinem ersten Tauchgang Mitte 1978 fand KUHBIER den See von zwei Chara-Arten beherrscht. In den oberen 2-3 Metern dominierte *Ch. vulgaris* in einer fast geschlossenen, bis zu 50 cm hohen Schicht. Dazwischen eingestreut fanden sich kleine Bestände verschiedener schmalblättriger Potamogeton-Arten. Unterhalb dieser Zone bildete *Ch. fragilis* einen bis in 7 m Wassertiefe vordringenden und etwa einen Meter hohen Bestand.

Bis 1983 breiteten sich die feinblättrigen Laichkrautarten innerhalb des Areals von *Ch. vulgaris* weiter aus, so daß jetzt der Litoralbereich des gesamten Sees von verschiedenen Gesellschaften der Ordnung Potamogetonetalia besiedelt ist. In den Ch.-fragilis-Bestand nisteten sich *Myriophyllum spicatum* und *Elodea canadensis* ein. Unterhalb dieser Zone bis in etwa 9 m Tiefe breitete sich allmählich eine dichte Schicht von von *Vaucheria dichotoma* aus. Nur in der SW-Ecke des Sees wurden ca. 12 Exemplare von *Nitellopsis obtusa,* einer dritten Characeenart, gefunden.

In der Zusammensetzung der Characeengesellschaften haben sich in der Zwischenzeit einige interessante Veränderungen ergeben. So konnten von *Ch. globularis* nur noch zweimal (an der S- und SW-Seite) einige wenige Pflanzen mit dem Wurfanker eingesammelt werden; bei zwei Tauchgängen 1984 und 1985 wurde sie nicht gefunden. *Ch. vulgaris* hat ihren Siedlungsbereich in größere Wassentiefen ausgedehnt und dort *Ch. globularis* offenbar bis auf wenige Restbestände verdrängt.

Nitellopsis obtusa konnte dagegen 1985 an ihrem ursprünglich beschriebenen Standort in 8-10 m Tiefe wieder gefunden werden und hat dort einen ca. 8 bis 10 m^2 großen Bestand von kräftigen Exemplaren mit 70 - 80 cm Länge entwickelt. *N. obtusa* ist die Charakterart des nach ihr benannten Nitellopsidetum obtusae (SAUER 1937) DAMBSKA 1961, das vor allem die Tiefenzonen klarer, ß-mesosaprober Seen besiedelt (KRAUSE 1985).

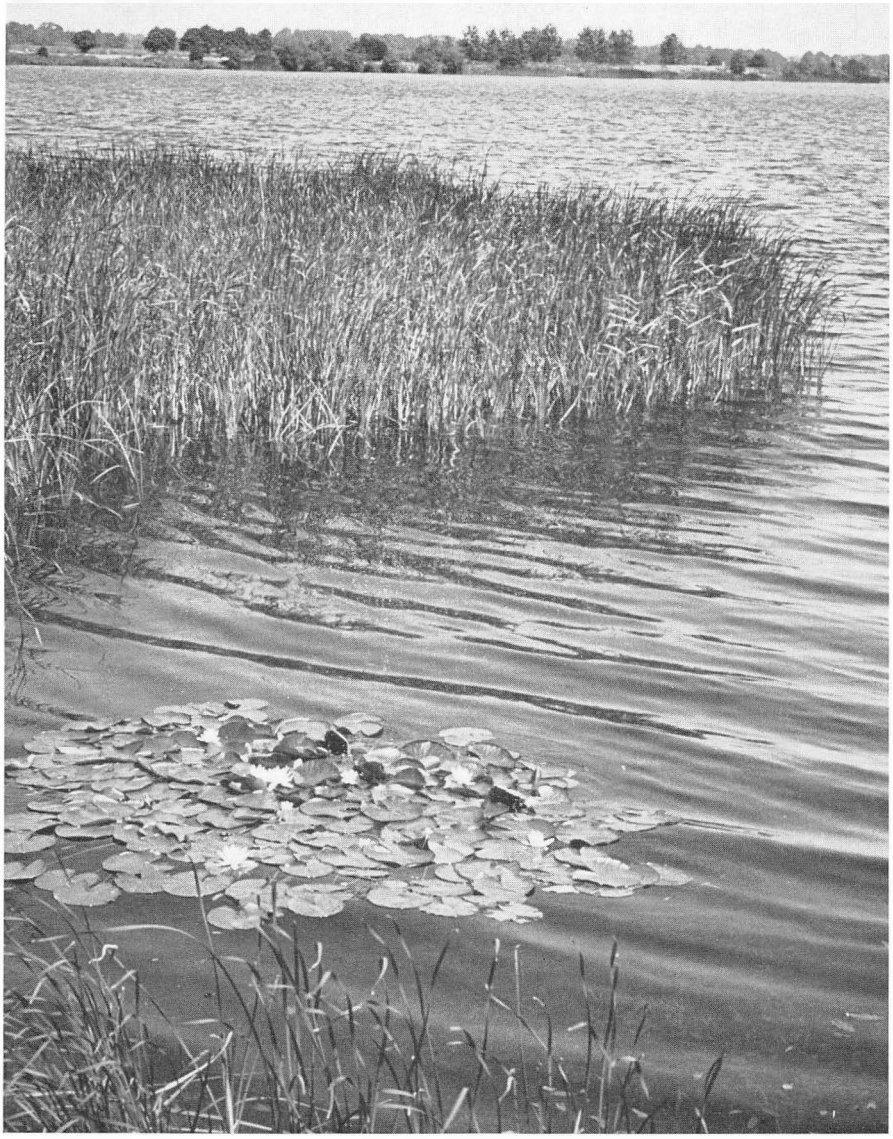
Zusätzlich zu den bisher registrierten Arten wurden im Sommer 1984 erstmals *Chara delicatula* und *Ch. canescens* beobachtet. Beide Arten traten zuerst im warmen, durchsonnten Flachwasser (ca. 35 - 50 cm Tiefe) der SW-Ecke des Sees auf, wo vor allem *Ch. canescens* dichte Bestände bildet. Später wurde *Ch. delicatula* fast an der gesamten Westseite des Sees gefunden, wo sie in unmittelbarer Ufernähe zwischen Typhabeständen vorkommt.

Ch. delicatula und *Ch. canescens* dringen nur in wenigen Exemplaren in größere Tiefen als 1,5 - 2,0 m vor, möglicherweise weil der Ch.-vulgaris-Gürtel im Verlauf des Sommers bis in das Flachwasser vorrückt. Die zierlichen Pflanzen von *Ch. delicatula* und *Ch. canescens* werden dabei leicht von den viel langwüchsigeren Ketten der *Ch. vulgaris* überwuchert.

Die gleichen Arten in der gleichen Zonierung wurden auch 1985 wieder am Südwest- und Westufer beobachtet. *Ch. delicatula* trat 1985 auch am Nordufer auf, wo sie auf einer frisch nachgerutschten Lehmfläche des Uferrandes in ca. 1,5 m Tiefe einen lockeren Bestand bildete.

An der Südseite des Sees fällt das Ufer rasch sehr steil ab, so daß dort geeignete Flächen für ausgesprochen heliophile Flachwasserarten wie *Ch. canescens* oder *Ch. delicatula* fehlen. Die vollständige Ausprägung der Zonierung ist daher nur an der West- bzw. Südwestseite des Sees zu beobachten. Hier bildet *Ch. canescens* im Verlauf des Sommers in ca. 15 - 50 cm Wassertiefe ein Charion canescentis (KRAUSCH 1964) aus. Die übrigen Arten dieser Gesellschaft fehlen jedoch im Kuhgrabensee, und ihr Bereich im tieferen Wasser wird hier von *Ch. vulgaris* eingenommen. In 8 - 10 m Tiefe folgt dann ein Nitellopsidetum obtusae.

Abbildung 3: Blick auf den Kuhgrabensee von SW – vor dem Typha-angustifolia-Röhricht befindet sich das Hauptvorkommen von Nitellopsis obtusa in ca. 8 Metern Wassertiefe und in den Flachwasserbereichen rechts und links von dem Röhricht ist der Schwerpunkt des Chara-canescens-Vorkommens.



4. 2. Jahreszyklus im Kuhgrabensee

Bei den drei im Uferbereich bis in etwa 3 m Tiefe wurzelnden Arten *Ch. vulgaris, Ch. delicatula* und *Ch. canescens* kann nicht nur eine räumliche Zonierung, sondern auch eine auffallende jahreszeitliche Gliederung ihres Auftretens beobachtet werden (Abb. 2). So sind Exemplare von *Ch. vulgaris* in ca. 2 - 3 m Tiefe praktisch das ganze Jahr über vorhanden und

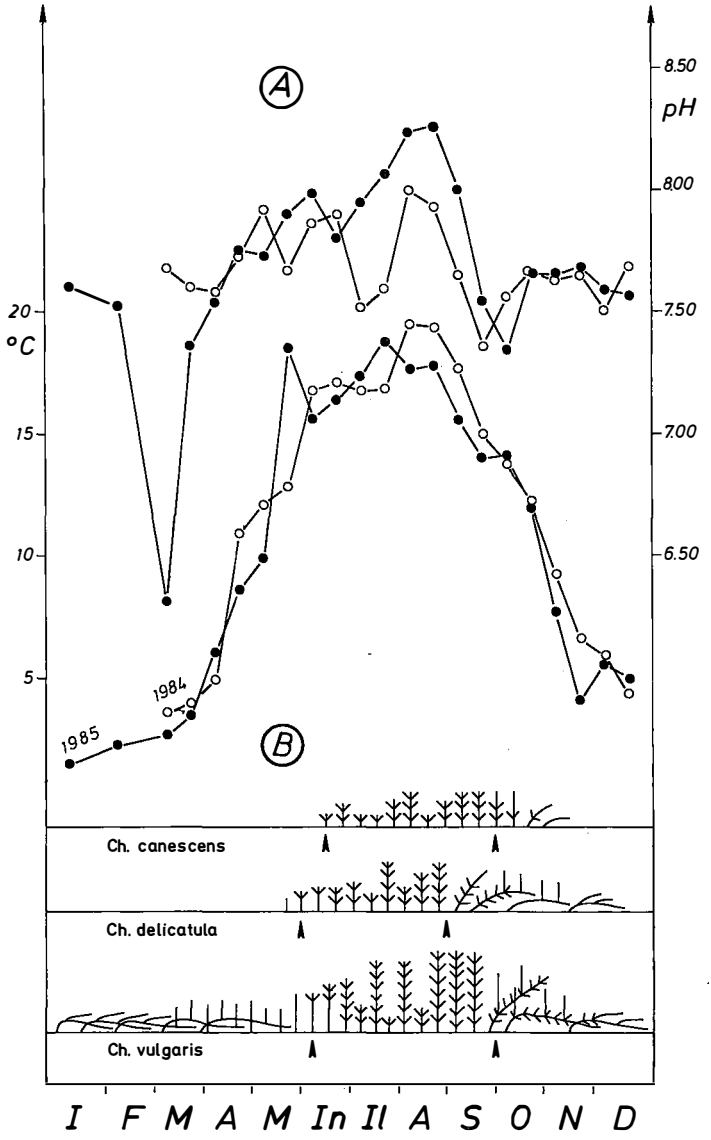


Abbildung 2: A: Temperatur und pH-Werte des Oberflächenwassers im Kuhgrabensee in den Jahren 1984 u. 1985. B: Schematische Darstellung der jahrescyclischen Entwicklung von *Ch. canescens, Ch. vulgaris* und *Ch. delicatula.* Markierungen kennzeichnen Beginn und Ende der Fruktifikation. Offene Kreise: 1984; geschlossene Kreise: 1985.

zeigen auch während der kältesten Jahreszeit noch junge Triebe, die sich in – allerdings sehr stark verlangsamtem – Wachstum befinden. Etwa von Mitte März an erfolgt eine Periode sehr kräftigen Wachstums, sowohl von Seitentrieben aus den Knoten älterer Ketten als auch aus keimenden Oogonien, bis im Juni die Fruktifikation einsetzt. Die Hauptketten entwickeln noch bis in den Oktober Antheridien und junge Oogonien. Im September gebildete Seitentriebe oder neu auskeimende Pflanzen bleiben dagegen steril. Während der Hauptwachstumsperiode rückt der Ch. vulgaris-Gürtel langsam zu den Ufern hin bis in flacheres Wasser vor.

Von *Ch. delicatula* können erst Ende Mai/Anfang Juni Jungpflanzen gefunden werden, die entweder aus überwinterten Bulbillen austreiben oder aus Oogonien auskeimen. Diese Pflänzchen gehen oft schon eine Woche später zur Fruktifikation über. Nach Abschluß der Fruktifikation – etwa Ende August – können Haupt- und Seitenketten der Pflanzen noch eine Periode vegetativen Wachstums anschließen, bevor die Büschel im Herbst durch die Wellenbewegung zerstört werden.

Als letzte der 3 Arten erscheint *Ch. canescens* im Kuhgrabensee etwa Mitte Juni und fruktifiziert schon unmittelbar nach dem Austreiben von den ersten Wirteln an. Die Anlage junger Oogonien (männliche Exemplare kommen in diesem Gebiet erwartungsgemäß nicht vor; CORILLION 1957) hält bis Ende September an. Kurz darauf werden die Pflanzen vom hohen Wellengang der ersten Herbststürme vollständig weggewaschen. Wenig später verschwinden auch *Ch. delicatula* und *Ch. vulgaris* aus dem Flachwasserbereich; von der letzteren bleiben aber die dichten Bestände in etwas größerer Wassertiefe erhalten.

Für *Ch. canescens* ist die hier beobachtete kurze Vegetationsperiode nicht ungewöhnlich. Die Art wird als ausgesprochene Sommerart beschrieben, die in verschiedenen Assoziationen erst im Juni nach einer Massenvermehrung früh austreibender Characeen wie z.B. *Tolypella glomerata* oder *Lamprothaminum papulosum* auftritt (CORILLION 1957). Für *Ch. delicatula* konnten keine Vergleichsdaten gefunden werden.

5. Chemische Eigenschaften der Gewässer und Standortansprüche der Characeen

Die untersuchten Gewässer unterscheiden sich in ihrer ionalen Zusammensetzung (Tab. 1). Neben den hier nicht weiter besprochenen anthropogenen Faktoren (Stadtwaldsee!) hat die Salinität sicher den größten Einfluß auf das Vorkommen vor allem von *Ch. canescens.*

5. 1. Salinität des Wassers

Von den 5 im Kuhgrabensee gefundenen Characeen ist nur *Ch. canescens* eine ausgesprochen halophile Art. Nach CORILLION (1957) meidet sie sowohl reines Süßwasser als auch Meerwasser und kommt daher fast ausschließlich im Brackwasser der Küstengebiete vor. Dabei wird offenbar ein sehr weiter Salinitätsbereich toleriert, denn PANKOW (1971) gibt als Verbreitungsgebiet unter anderem die gesamte Ostsee an, „nur im Bottnischen Meerbusen seltener". Die zerstreuten Vorkommen im Binnenland sind stets an Standorte mit erhöhtem Salzgehalt gebunden. So nennt CORILLION (1957) unter anderem Hohensalza (Inowrazlaw) in der Provinz Posen, den Bereich des Neusiedler Sees, Hermannstadt bei Salzburg, und eine Mineralquelle bei St. Nectaire im Departement Puy de Dôme mit einem Salzgehalt von 2.5 g/l.

Nitellopsis obtusa, Ch. vulgaris und *Ch. globularis* gelten als halotolerant und kommen außer im Süßwasser auch in schwach salzigen Teilen der Ostsee vor (CORILLION 1957, PANKOW 1971). *Ch. delicatula* wird von CORILLION (1957) als halophob eingeordnet, doch zitiert er WOOD, der 1952 diese Art zusammen mit der halophilen *Ch. canescens* fand. An anderer Stelle berichtet er über Arbeiten von WOJTUSIAK et al. die an der baltischen Ostsee-

küste und in der Danziger Bucht in einem Chareto-Tolypelletum *Ch. canescens* und *Ch. delicatula* registrierten. Von KRAUSCH (1964) wird *Ch. delicatula* als Ordnungskennart der Charetalia eingestuft, die sowohl im Charion fragilis des Süßwassers als auch in brackischen Gewässern vorkommt.

Mit einem Ionengehalt von 1.5 g/l (davon ca. 16 mM NaCl) liegt der Kuhgrabensee offenbar in einem Salinitätsbereich, der für *Ch. canescens* gerade noch hoch genug, für die übrigen Arten aber noch tolerierbar ist.

Im Gegensatz zu den oben erwähnten halophilen bis halotoleranten Arten ist *Nitella flexilis* eine Charakterart der elektrolytarmen, neutrophilen bis schwach basophilen Gesellschaften der Nitelletalia flexilis KRAUSE 1969. Ihr Vorkommen in einem der Süßwassergräben der Uniwildnis mit einem Salzgehalt von 0.4 g/l und einem pH von 6.70 repräsentiert daher einen typischen Standort dieses Species.

5. 2. Ionenzusammensetzung und pH des Wassers

Bei allen nicht ausgesprochen halophoben Characeenarten ist ungeklärt, ob es die Gesamtmenge an gelösten Ionen ist und damit der osmotische Wert, der darüber entscheidet, ob Gewässer von bestimmten Arten besiedelt werden können, oder das Mengenverhältnis bestimmter Ionen zueinander. Eine entscheidende Rolle kommt hierbei dem Calcium zu. So ist z.B. für wenige calcifuge Characeenarten ein Höchstgehalt an Ca von ca. 125 mg CaO/l (2.2 mM Ca) im Wasser begrenzend für ihr Vorkommen (CORILLION 1957). Zahlreiche andere, darunter viele als halotolerant eingestufte Arten, benötigen eine Mindestmenge von ca. 50 mg CaO/l, d.h. etwa 1 mM Ca im Wasser, um wachsen zu können (CORILLION 1957). Als Höchstgrenze gibt CORILLION für *N. obtusa* und *Ch. canescens* 3.6 mM Ca an, für *Ch. vulgaris* und *Ch. fragilis* 4.5 mM Ca.

Die Bedeutung der Ca-Ionen im Wasser liegt darin, daß ein hoher Ca-Gehalt einen hohen Gehalt an freier und als HCO_3^- gebundener Kohlensäure ermöglicht. Dies bedingt die erhebliche Pufferkapazität des Kuhgrabenseewassers (SBV-Wert 1.3-1.8 m val/l, BORN et al. 1983) und die insgesamt leicht alkalische Reaktion.

Während der Hauptwachstumsperiode der Characeen von Mitte Mai bis Mitte September ist ein leichter Anstieg des pH-Wertes im Bereich des Characeengürtels zu erkennen (Abb. 2). Gleichzeitig ist eine auffallende Kalkinkrustierung der Pflanzen zu beobachten. Beide Anzeichen weisen darauf hin, daß dem Wasser durch die Photosynthese-Aktivität der Wasserpflanzen große Mengen von CO_2 entzogen werden, so daß ein Teil des Ca als Karbonat ausfällt. Mit dem Einsetzen der Herbststürme und dem Absterben der Gefäßpflanzen des Potamogetonetalions sinkt der pH-Wert zunächst stark ab und erreicht – wohl nach Beginn der herbstlichen Vollzirkulation – dann wieder seinen langjährigen Mittelwert von ca. 7.70.

Insgesamt entspricht der pH-Bereich des Kuhgrabensees mit Werten zwischen 7.0 und 8.6 den pH-Optima, die von CORILLION (1957) für die darin vorkommenden Characeen angegeben werden.

Der auffallend niedrige Wert von pH 6.3 wurde am 6.3.85 unmittelbar nach dem Abschmelzen der Eisdecke des Sees gemessen. Wie die Gesamtionenkonzentration ergab, lag an diesem Tag eine Schicht reinen Süßwassers an der Seeoberfläche. Eine Woche später war der Salzgehalt und der pH-Wert des Wassers wieder ausgeglichen.

5. 3. Ionenzusammensetzung des Vakuolensaftes der Characeen

In Tabelle 3 sind die Ionenzusammensetzungen des Vakuolensaftes einiger untersuchter Characeen aufgeführt.

Tabelle 3: Osmotisches Potential des Vakuolensaftes (πi) und des Seewassers (πo), Ionenkonzentrationen (mM) des Vakuolensaftes und Summe (S) der Ionenkonzentrationen. A: Vergleich *Ch. vulgaris* aus Süßwassertümpel und Kuhgrabensee; B: 3 Arten aus dem Kuhgrabensee und C: 2 Arten aus dem Stadtwaldsee.

Sammeldatum Herkunft Species	πi	πo	Na^+	K^+	Mg^{++}	Ca^{++}	Cl^-	S
A								
19. 11. 84 Ch. vulgaris Süßwasser	299	~ 7	12.8	102.6	20.9	5.9	84.0	226.2
7.-27. 11. 84 Ch. vulgaris Kuhgrabensee	313	45	42.0	106.9	24.2	6.8	96.0	275.9
B								
25. 7. 84 Ch. vulgaris Kuhgrabensee	316	45	35.1	91.3	17.6	4.5	97.0	245.5
14. 8. - 4. 9. 84 Ch. canescens Kuhgrabensee		45	30.4	100.6	23.1	6.8	124.0	284.9
24. 7. 85 Nitellopsis obtusa Kuhgrabensee	293	45	38.4	125.8	7.6	4.9	105.6	282.3
C								
31. 7. 84 Ch. vulgaris Stadtwaldsee		38	28.0	104.1	16.2	7.7	124.0	280.0
31. 7. 84 Ch. fragilis Stadtwaldsee		38	47.5	95.8	24.7	7.3	116.0	291.3

Die Characeen gehören zu den Algengruppen mit K^+ als Hauptkation (KIRST und BISSON 1979). K^+ weist im Medium von den gemessenen Ionen die geringste Konzentration auf (Tabelle 1) und muß von den Pflanzen aktiv, d.h. entgegen dem Konzentrationsgefälle, aufgenommen werden (HOPE und WALKER 1975). Die interne K^+ Konzentration ist mit ca. 100 mM innerhalb der Gattung *Chara* bemerkenswert einheitlich. Die Na^+ Konzentration des Vakuolensaftes zeigt eine gewisse Korrelation zu den höheren Na^+ Konzentrationen im Kuhgrabensee und im Stadtwaldsee verglichen mit *Ch. vulgaris* aus dem Süßwasser (Tabelle 3 A). Diese Freilandbefunde konnten in Laborexperimenten abgesichert werden (WINTER und KIRST, in Vorbereitung).

Vergleicht man die Summe der Ionenkonzentrationen mit dem internen osmotischen Wert ($\pi 1$), so kann man feststellen, daß bei allen Characeen ca. 75 - 85 % (bei *Nitellopsis* 96%) des osmotischen Potentials durch die Ionen erzeugt wird. Der fehlende Anteil läßt sich auf einen erhöhten Saccharose-Gehalt der Vakuole zurückführen, wie es bereits für die euryhaline Characee *Lamprothamnium papulosum* (BISSON und KIRST 1980) nachgewiesen wurde.

5. 4. Characeen als Bioindikatoren für die Wasserqualität

Characeen gelten zwar als Anzeiger für oligotrophes bis mesotrophes Wasser, es gibt jedoch einige Arten, für die das nicht zutrifft. Sehr anspruchslos gegenüber der Wasserqualität ist vor allem *Chara globularis (= Ch. fragilis),* in gewissem Maße auch *Ch. vulgaris* (KRAUSE 1981). Beide Arten eignen sich daher nicht zur Qualifizierung der Wassergüte, und ihr Vorkommen im Stadtwaldsee trotz seiner beginnenden Eutrophierung ist verständlich.

Sehr viel empfindlicher sind *Ch. canescens* und die übrigen Arten des Charion canescentis, die als ausgesprochene Reinwasserpflanzen gelten und bei Eutrophierung sofort verschwinden (KRAUSE 1981). Das Vorkommen von *Ch. canescens* im Kuhgrabensee bestätigt daher die Einstufung der Wasserqualität als oligotroph. Dies kommt auch in der Ausbildung des Nitellopsidetums im Tiefenwasser zum Ausdruck.

N. obtusa ist nur in klaren Seen eine typische Tiefwasserpflanze, während sie in eutrophierten Gewässern – wahrscheinlich wegen Lichtmangels – in geringere Wassertiefen ausweicht (KRAUSE 1985). Im Kuhgrabensee gedeiht sie in 8 - 10 m Tiefe und gibt damit einen weiteren Hinweis auf die hohe Sichttiefe und damit die hervorragende Wasserqualität dieses Sees.

Danksagung

Wir danken Herrn Dr. W. KRAUSE herzlich für die Nachbestimmung von *Ch. canescens.* Herrn Prof. Dr. H. CORDES und Herrn Dr. M. SCHIRMER möchten wir für ihre Hilfe beim Zusammentragen von Informationen über die Bremer Seen danken, ebenso wie Herrn Dr. D. ORTLAM für die Überlassung der Abbildung 1. Frau K. KLOCKGETER sei an dieser Stelle für ihre Geduld und Sorgfalt bei der Durchführung der Analysen gedankt.

Der Bremer Senator für Umweltschutz hat uns freundlicherweise die Durchführung der Freilanduntersuchungen im Naturschutzgebiet „Kuhgrabensee" gestattet.

Zusammenfassung

Die zeitliche und zonale Zusammensetzung von Characeengesellschaften wurden im oligohalinen Bremer Kuhgrabensee über zwei Vegetationsperioden verfolgt. Dabei wurden geohydrologische Charakteristiken, ionale Zusammensetzung und pH-Wert des Sees und des benachbarten Stadtwaldsees sowie einiger Kleingewässer zum Vergleich berücksichtigt.

Als Besonderheit ist das Vorkommen der halophilen Charakterart *Chara canescens* im Kuhgrabensee zu werten. Sie tritt dort neben den halotoleranten Arten *Ch. vulgaris, Ch. globularis (= Ch. fragilis), Ch. delicatula* und *Nitellopsis obtusa* auf.

Literatur

BISSON, M.A. & KIRST, G.O. (1980): Lamprothamnium, a Euryhaline Charophyte. I. Osmotic Relations and Membrane Potential at Steady State. – J. Exp. Bot. 31: 1223-1235.

BORN, H. & KLENCKE, J. & STOPPEL, M. (1983): Ermittlung der Schutzwürdigkeit des Kuhgrabensees (Bremen) anhand limnologischer Untersuchungen, Überprüfung der Belastungssituation und Dikussion von Schutzmöglichkeiten. – Diplomarbeit Universität Bremen: 242 S.

CAWSE, P.A. (1967): The Determination of Nitrate in Soil Solutions by Ultraviolet Spectrometry. – Analyst 92: 311-315.

CORILLION, R. (1957): Les Charophycées de France et d'Europe Occidentale. – Imprimerie Bretonne, Rennes: 499 S.

GERLACH, E. & DEUTICKE, B. (1963): Eine einfache Methode zur Mikrobestimmung von Phosphat in der Papierchromatographie. – Biochem. Z. 337: 477-479.

HOPE, A.B. & WALKER, N.A. (1975): The Physiology of Giant Algal Cells. – Cambridge University Press, London.

JACKSON, S.G. & Mc.CANDLESS, E.L. (1978): Simple, Rapid, Turbidometric Determination of Inorganic Sulfate and/or Protein. – Analytical Biochemistry 90: 802-808.

KIRST, G.O. & BISSON, M.A. (1979): Regulation of Turgor Pressure in Marine Algae: Ions and Low-molecular-weight Organic Compounds. – Aust.J.Plant Physiol. 6: 539-556.

KRAUSCH, H.D. (1964): Die Planzengesellschaften des Stechlinsee-Gebietes. I. Die Gesellschaften des offenen Wassers. – Limnologica 2: 145-203.

KRAUSE, W. (1976): Characeen aus Bayern, Teil 1. Bestimmungsschlüssel und Abbildungen. – Ber. Bayer. Bot. Ges. 47: 229-257.

KRAUSE, W. (1981): Characeen als Bioindikatoren für den Gewässerzustand. – Limnologica 13: 399-418.

KRAUSE, W. (1985): Über die Standortansprüche und das Ausbreitungsverhalten der Stern-Armleuchteralge Nitellopsis obtusa (Desvaux) J. Groves. – carolinea 42: 31-42.

KRAUSE, W. & LANG, G. (1977): Charetea fragilis. – In: Süddeutsche Pflanzengesellschaften I (Hrsg. E. Oberdorfer), Jena (VEB Gustav Fischer): 78-88.

ORTLAM, D. (1984): Die geohydrologischen Verhältnisse im Hollerland (Bremen). – Abh. Naturw. Verein Bremen 40: 155-164.

PANKOW, H. (1971): Algenflora der Ostsee I. Benthos. – Fischer Verlag, Stuttgart: 419 S.

REPSOLD, H. (1975): Bericht über geoelektische Untersuchungen im Gebiet Bremen-Blockland. – Archiv-Nr. 58910 NLfB, Hannover/Bremen: 21 S., 17 Anlagen (unveröff.).

Umweltatlas (o.J.): Bremer Umweltatlas. – Herausg. vom Bremer Senator für Gesundheit und Umweltschutz. Bremer Bürger-Service: 22 S., 9 Ktn.

WOOD, R.D. (1952): An analysis of ecological factors in the occurence of Characeae of the Woods Hole region, Massachusetts. – Ecology 33: 104-109.

WOOD, R.D. & IMAHORI, K. (1965): A Revision of the Characeae. Vol. I. - J. Cramer, Weinheim: 24 + 904 S.

Bei der Schriftleitung eingegangen: Januar 1986

Anschrift der Verfasser: Dr. Ursula WINTER, Universität Bremen NW 2, Postfach 33 04 40, D-2800 Bremen 33; Prof. Dr. Gunter O. KIRST, Universität Bremen NW 2, Postfach 33 04 40, D-2800 Bremen 33; Heinrich KUHBIER, Übersee-Museum, Bahnhofsplatz 13, D-2800 Bremen 1.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen

Jahr/Year: 1987

Band/Volume: 40

Autor(en)/Author(s): Winter Ursula, Kirst Gunter O., Kuhbier Heinrich

Artikel/Article: Characeen-Gesellschaften im oligohalinen Kuhgrabensee und benachbarten Gewässern 381-394