



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Die Beziehung zwischen Fadentypen (Morphotypen) der Süßwasseralge *Spirogyra* (Zygnematophyceae, Streptophyta) und abiotischen Umweltbedingungen in mitteleuropäischen Gewässern“

Verfasser

Roland Hainz

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, im Oktober 2008

Matrikelnummer:	0106160
Studienkennzahl lt. Studienblatt:	A 444
Studienrichtung lt. Studienblatt:	Ökologie
Betreuer:	Ao. Prof. Mag. Dr. Michael Schagerl

„Why waste your time on Spirogyras - there are no species in this genus”

John Massart, belgischer Botaniker (1865-1925)
(zitiert aus Transeau, 1951)

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	1
Untersuchungsgebiet und Methoden.....	5
Manuscript (English version)	7
The relationship between <i>Spirogyra</i> (Zygnematophyceae, Streptophyta) filament type groups and environmental conditions in Central Europe.....	8
1. Introduction.....	9
2. Materials and methods	10
3. Results	14
4. Discussion	17
References	23
Ergebnisse und Diskussion	25
Literatur	28
Tabellennachweis.....	29
Abbildungsnachweis.....	29
Zusammenfassung und Abstract.....	31
ANHANG I - Bilder der Morphotypen.....	33
ANHANG II - Bilder von den Sammelreisen	37
Danksagung	41
Curriculum vitae - Lebenslauf	43

Einleitung

Spirogyra ist eine vielen Biologen bekannte Algengattung. Sie ist mikroskopisch an unverzweigten Fäden eindeutig erkennbar, in welchen sich bis zu 15 spiralig gewundene Chloroplasten befinden. Aber schon makroskopisch kann man sie im Freiland ziemlich sicher ansprechen, wenn man saftig grüne, beim Reiben zwischen den Fingern schleimig wirkende Algenmatten findet. Diese können entweder am Ufersubstrat angewachsen sein, als Watte im Wasser schweben, oder auf der Wasseroberfläche treiben (Kadlubowska, 1984). In letzterem Fall kann man, bei entsprechend günstiger Sonneneinstrahlung, deutlich die photosynthesebedingten Sauerstoffblasen sehen (Hoshaw und McCourt, 1988).

Zu Verwechseln ist *Spirogyra* dabei nur mit den zwei ebenfalls recht häufigen Schwestergattungen aus der zu den Grünalgen im weiteren Sinne (Charo-/Streptophyta) zählenden Familie der Jochalgen (Zygnemataceae), *Zygnema* und *Mougeotia*. Diese beiden besitzen zwar ebenfalls eine äußere Schleimschicht, fühlen sich aber weniger schleimig an als *Spirogyra* (Hoshaw und McCourt, 1988). Mikroskopisch kann man die beiden Gattungen problemlos von *Spirogyra* trennen, da *Zygnema* zwei sternförmige Chloroplasten, *Mougeotia* einen rechteckigen, plattenförmigen Chloroplasten in der Mitte der Zelle besitzt (Kadlubowska, 1984) (Abbildung 1).

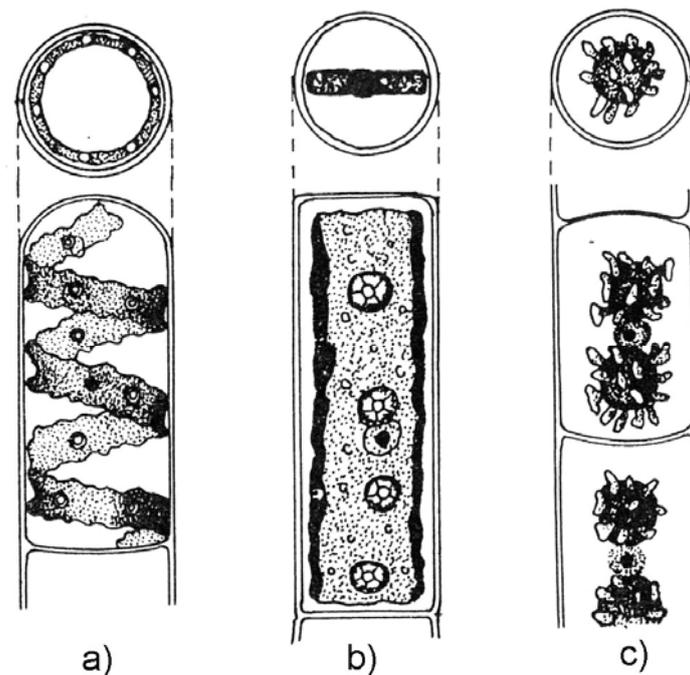


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer typischen Zelle (unten: normale Ansicht des Fadens; oben: Fadenquerschnitt) der drei häufigsten Gattungen der Jochalgen: a) *Spirogyra*, b) *Mougeotia*, c) *Zygnema*. Verändert nach Kadlubowska (Kadlubowska, 1984).

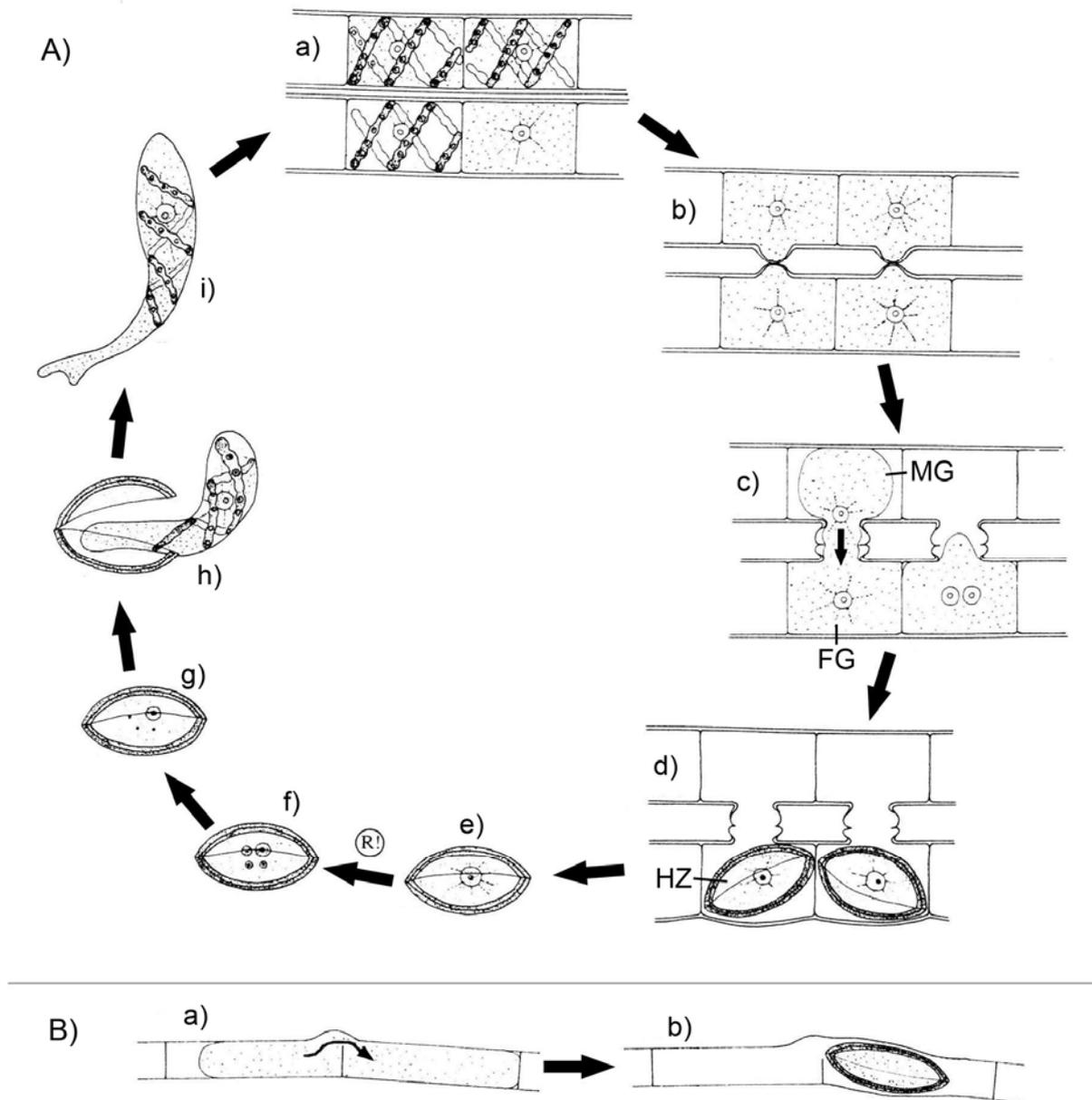


Abbildung 2: Schema des Lebenszyklus (A) und der Konjugationstypen (A: skalariform oder leiterförmig; B: lateral oder seitlich) bei *Spirogyra*. Phasen des Lebenszyklus (A): a) Aneinanderlegen zweier haploider Fäden und Beginn der Auflösung der Chloroplasten, b) Ausbildung eines Konjugationskanales, c) Wanderung des Zellinhaltes der abgebenden Zelle (Male Gametangium, MG) durch den Konjugationskanal in die aufnehmende Zelle (Female Gametangium, FG), d) Verschmelzung der zwei Zellinhalte zu einer Hypnozygote (HZ), e) und f) Reduktionsteilung (R!) der diploiden Hypnozygote, g) Zugrundegehen dreier Kerne, h) und i) Schlüpfen des haploiden Keimlings aus der Hypnozygote. Verändert nach Van den Hoek (Van Den Hoek et al., 1995).

Spirogyra ist auf allen Erdteilen, sogar in der Antarktis (Hawes, 1988), nachgewiesen worden und besiedelt typischerweise flache, stehende Gewässer und Seen, aber auch langsam fließende Bäche oder Flüsse. Im Brackwasser jedoch stößt sie an ihre Grenze, und marin wird sie nur sehr selten gefunden (Rieth, 1983; Hoshaw und McCourt, 1988).

Im derzeit aktuellsten Bestimmungswerk (Kadlubowska, 1984) sind 386 Arten beschrieben. Die Artbeschreibung hängt vor allem vom Prozess der sexuellen Fortpflanzung ab, der so genannten Konjugation (Abbildung 2). Dieser läuft innerhalb der Jochalgen in der Regel so ab, dass sich zwei Fäden aneinander legen und einen Konjugationskanal zueinander ausbilden. Durch diesen wandert bei *Spirogyra* der Zellinhalt der „abgebenden“ Zelle zum Zellinhalt der „aufnehmenden“ Zelle. Die zwei Zellinhalte verschmelzen zu einer ellipsoiden, kugel- oder eiförmigen Hypnozygote. Diese ist ein Überdauerungsstadium und besteht aus mehreren, manchmal skulpturierten, zum Teil sehr resistenten Schichten. Damit kann die Alge das komplette Austrocknen eines Tümpels überdauern, um bei günstigen Bedingungen wieder auszukeimen (Hoshaw und McCourt, 1988).

Für die Artbeschreibung wichtig sind die morphologischen Eigenheiten der Konjugation wie z. B. leiterförmig (wie oben beschrieben) oder seitlich (zwei hintereinander liegende Zellen des selben Fadens konjugieren), die Gestalt des Konjugationskanals, die Form und Größe der Hypnozygoten, die Struktur und Farbe der Hypnozygotenwand (Kadlubowska, 1984).

Allerdings wird *Spirogyra* in 90 % der Fälle vegetativ gefunden, also nicht konjugierend (Hoshaw und McCourt, 1988). Im vegetativen Zustand (Abbildung 3) gibt es nur sehr wenige Merkmale, die taxonomische Relevanz haben. Dazu gehört die Ausbildung der Querwand (Abbildung 4), die Fadenbreite (oder Zellbreite) und die Anzahl der Chloroplasten. Die Variabilität dieser Merkmale wird als relativ gering eingeschätzt, trotzdem lassen sich damit keine Arten bestimmen, da eine Kombination dieser Merkmale meist für mehrere Arten zutrifft (Kadlubowska, 1984).

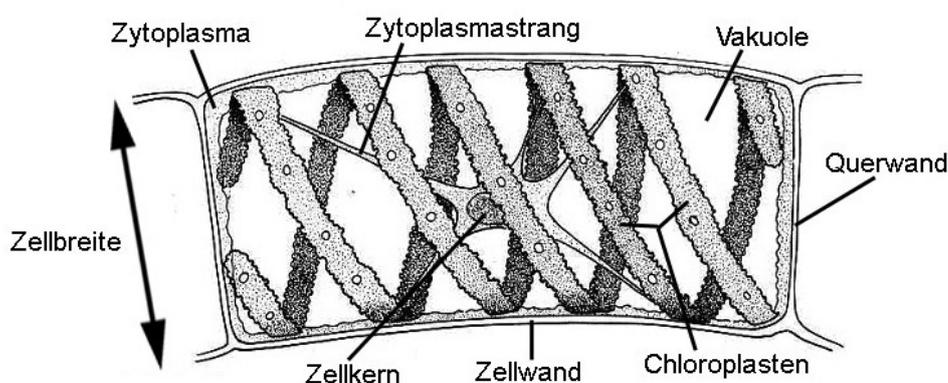


Abbildung 3: Schema der lichtmikroskopisch sichtbaren Zellbestandteile von *Spirogyra*. Als relativ konstant für eine Art gelten die Querwand, die Chloroplastenzahl (im Bild: 2) und die Zellbreite. (Verändert nach <http://www.biology-resources.com/>, 08.08.2008).

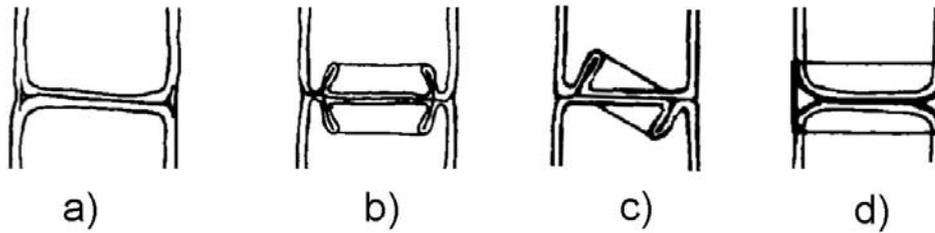


Abbildung 4: Verschiedene Formen der Ausbildung der Querwand: a) eben (plain), b) gefaltet (replicate), c) schräg gefaltet (semireplicate), d) von Ringen zusammengehalten (colligate). Verändert nach Kadlubowska (1984).

Ein weiteres Problem für die Artbeschreibung ist Polyploidie (Allen, 1958). Aus einem kultivierten *Spirogyra*-Klon entstanden durch spontane Änderung der Chromosomensatzzahl morphologisch differenzierbare Fadentypen, die mit den herkömmlichen Bestimmungsschlüsseln als verschiedene Arten bestimmt würden (McCourt und Hoshaw, 1990). Aus diesen Gründen wird *Spirogyra* aus Freilandproben fast immer als *Spirogyra* sp. bestimmt. Damit erklärt sich auch der Mangel an autökologischen Daten für diese Algen. Nur sehr wenige Studien hatten sich bisher diesem Ziel verschrieben, obwohl das Potential zur Bioindikation von Umweltbedingungen mittels einer derart weit verbreiteten und häufigen Algengattung beträchtlich wäre. Möglicherweise spiegelt die vegetativ morphologische Verschiedenheit der *Spirogyra*-Fäden im Freiland Anpassungen an verschiedenste Umweltbedingungen wider. Die Ziele dieser Studie sind daher:

- Besammeln möglichst vieler unterschiedlicher *Spirogyra*-Standorte, um einen breiten Umweltgradienten abzudecken
- Analyse der wichtigsten Umweltfaktoren für jeden Standort (Nährstoffe, Temperatur, Lichtgenuss, u. a.)
- Erhebung morphologischer Daten zu allen gefundenen *Spirogyra*-Fadentypen und deren Dokumentation durch Mikrofotografie
- Gruppierung von ähnlichen Fadentypen zu Morphotypen
- Explorative multivariate Analyse: welche Umweltvariablen sind entscheidend für das Auftreten der Morphotypen?
- Bereitstellen von autökologischen Daten als Basis für Bioindikation anhand der Morphotypen

Untersuchungsgebiet und Methoden

Die untersuchten Gewässer (Manuskript, Fig. 1) befinden sich großteils in Österreich (v. a. Wiener Umgebung) und Deutschland (Osterseen nahe München, Spreewaldseen bei Berlin, Mecklenburg-Vorpommersche Seenlandschaft, Gewässer um Rostock und Hamburg). Das Untersuchungsgebiet beschränkte sich nicht auf eine kleinere Fläche, um generelle Aussagen zu erlauben und möglichst breite Gradienten der Umweltbedingungen abzubilden. Aus diesem Grund wurden auch einige Gewässer in den Alpen angefahren und besammelt.

Wasserproben für eine chemische Untersuchung sowie Algenproben wurden von *Spirogyra*-Standorten ins Labor mitgenommen. An Ort und Stelle wurden Temperatur und elektrische Leitfähigkeit des Wassers gemessen. Die wasserchemischen Analysen (Legler, 1988; APHA, 1998) umfassten die wichtigsten Algennährstoffe (gelöster Phosphor, Gesamtphosphor, Ammonium, organisch gebundener Stickstoff, Nitrat, Nitrit), Alkalinität (Säurebindungsvermögen), pH, sowie verschiedenste Ionen (Natrium, Chlorid, Kalzium, Kalium, Magnesium, Sulfat).

Um die Lichtbedingungen zu erfassen, wurden statt normaler Lichtintensitätsmessungen (die vielmehr die aktuellen Wetterbedingungen widerspiegeln) hemisphärische Fotos aufgenommen und ausgewertet. Bei dieser aus der Waldökologie stammenden Methode wird eine Kamera mit einem Fischaugenobjektiv versehen, welches einen Bildwinkel von 180° aufnehmen kann. Damit kann, unabhängig von den Wetterbedingungen, die gesamte Beschattungssituation der Algen erfasst werden. Damit die Bilder auswertbar sind, muss die Kamera exakt vertikal ausgerichtet und die Nordrichtung markiert werden. So kann anhand von Datum, Breitengrad und Seehöhe auch der Lauf der Sonne in die Berechnungen des durchschnittlichen Lichtgenusses mit einbezogen werden (Frazer et al., 1999) (Abbildung 5).

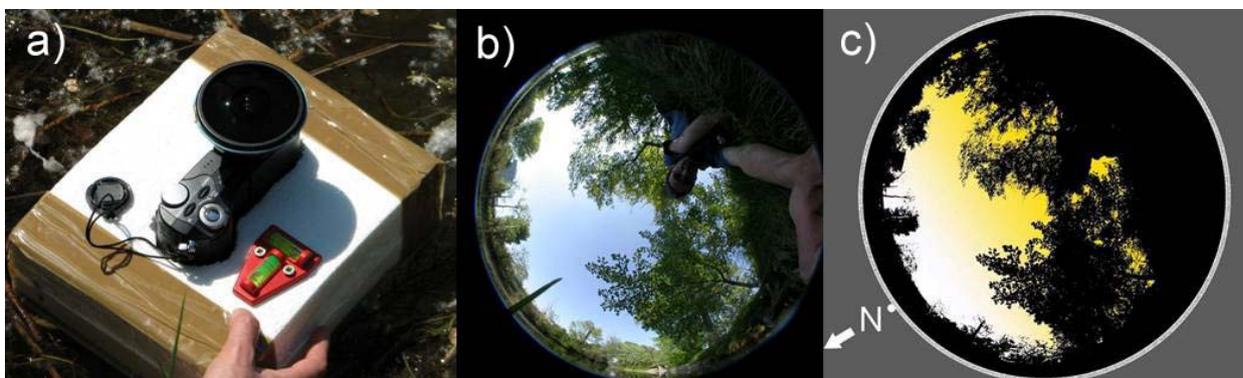


Abbildung 5: Erfassung der Lichtbedingungen durch hemisphärische Fotos: a) vertikale Ausrichtung einer Kamera mit Fischaugenobjektiv, b) Aufnahme des Fotos, aus dem die Nordrichtung ersichtlich sein muss, c) Auswertung des Fotos mit einem geeigneten Programm (z.B. Gap Light Analyzer), wobei südlichere Pixel (im Bild schematisch gelber) stärker in die Berechnung des Lichtgenusses mit einfließen.

Die Algen wurden mikroskopisch auf ihre vegetativen Unterscheidungsmerkmale hin untersucht. Dabei wurden die Art der Zellquerwand, die durchschnittliche Fadenbreite und die durchschnittliche Chloroplastenzahl eines jeden unterschiedlich erscheinenden Fadentyps in der Probe notiert. Zusätzlich wurden verschiedene Fadentypen von jedem Standort isoliert und in Klonkulturen herangezüchtet.

Statistik

Da im Rahmen dieser Studie keine Arten bestimmt wurden wie sonst üblich, stellte sich die Frage nach der Zusammengehörigkeit verschiedener Fadentypen. Dieses Problem wurde gelöst, indem eine Zusammenfassung aller gefundenen Fadentypen in künstliche Gruppen ähnlicher Fadentypen (so genannte Morphotypen) vorgenommen wurde. Als Basisdaten dieser Gruppierung (Clusteranalyse, CA) dienten oben genannte vegetative Unterscheidungsmerkmale. Die so erhaltenen Morphotypen wurden in der Folge in Beziehung zu den Umweltdaten gebracht.

Von den gemessenen Umweltvariablen wurde eine Hauptkomponentenanalyse (principal components analysis, PCA) durchgeführt. Miteinander korrelierende Variablen werden dabei zusammengefasst und durch sogenannte Hauptkomponenten dargestellt. Man kann diese Hauptkomponenten nun als Repräsentanten dieser Variablen sehen und mit ihnen weitere Analysen durchführen. Von der Hauptkomponentenanalyse wurde die Temperatur ausgeschlossen, da sie als sehr wichtig für *Spirogyra*-Fadentypen eingeschätzt wird (Transeau, 1916; Simons und Van Beem, 1990; Berry und Lembi, 2000), jedoch durch die Hauptkomponenten sehr schlecht repräsentiert wurde.

Die Morphotypen wurden mittels Kanonischer Korrespondenzanalyse (canonical correspondence analysis, CCA) mit den aus der PCA erhaltenen Hauptkomponenten und der Temperatur in Beziehung gesetzt. CCA ist eine Methode der direkten Gradientenanalyse. Bei einer indirekten Gradientenanalyse würde man zuerst die Variation der Arten (hier: Morphotypen) darstellen (welche kommen miteinander vor, welche nicht) und erst in einem zweiten Schritt Umweltvariablen damit vergleichen. Bei einer CCA jedoch wird alles in einem Schritt gemacht, und auch nur die Variation der Arten gezeigt, die tatsächlich mit den Umweltvariablen zusammenhängt. Leichter verständlich wird dies an einem Beispiel bei Betrachtung eines CCA-Biplots: Kommt eine Art an 10 (von 50) Standorten vor, die bezüglich einer Variable einen viel höheren Durchschnittswert besitzen als der Durchschnitt aller 50 Standorte, so wird diese Art im Diagramm stark in Richtung des Pfeils dieser Variable verschoben.

Manuscript (English version)

Submitted to Aquatic Botany

The relationship between *Spirogyra* (Zygnematophyceae, Streptophyta) filament type groups and environmental conditions in Central Europe

Roland Hainz, Charlotte Wöber, Michael Schagerl *

Department of Marine Biology, University of Vienna, Althanstraße 14, A-1090 Vienna, Austria – Europe

*corresponding author

E-mail address: michael.schagerl@univie.ac.at

Tel: +43 1 4277 57110

Abstract

Species identification of the common filamentous green alga *Spirogyra* is mainly based on the conjugation process and zygospores. However, this genus is mostly found in its vegetative stage making it impossible to study requirements for individual species. We therefore assessed the relationship between vegetative *Spirogyra* filament type groups (morphotypes) and environmental conditions (mainly ions, nutrients, light supply and water temperature). Sampling was done at 133 sites in Central Europe and in total 333 different filament types were classified. *Spirogyra* was found at pH values between 6.2 and 9.1, while alkalinity ranged from 0.6 to 7.9 mval l⁻¹. The genus is colonizing habitats with a specific conductivity between 75 and 1 500 µS cm⁻¹. Total phosphorus amounts varied between 1 and 2 240 µg l⁻¹ with most values around 34 µg l⁻¹, indicating mesotrophic conditions as optimal growth range. Filament type grouping by means of cluster analysis was based on cell cross walls (plane or replicate), average cell widths and average chloroplast numbers and resulted in 10 groups with plane cross walls and 3 with replicate cross walls. Canonical correspondence analysis revealed nutrients to be the key factor for morphotype occurrence: filaments with increased cell widths preferred elevated nutrient conditions. Other environmental variables (ions, buffer capacity, light supply and water temperature) had no significant effects on morphotype occurrence.

Keywords: *Spirogyra*, freshwater, alga, ecology, morphotype, occurrence, canonical correspondence analysis

1. Introduction

Within the family Zygnemaceae (Zygnematophyceae, Streptophyta), which comprises filamentous, unbranched algae that show a unique mode of sexual reproduction (conjugation), *Spirogyra* Link (1820) is one of the most easily recognized green freshwater genera due to its spirally coiled chloroplasts. It is found in a wide range of habitats, including small stagnant water bodies, ditches as well as the littorals of lakes and streams (Kolkwitz and Krieger 1941, Randhawa 1959, McCourt et al. 1986, Hoshaw and McCourt 1988).

Interestingly, *Spirogyra* records remain limited to generic level in floristic checklists and biodiversity inventories because of identification problems, and therefore no species numbers nor species composition at single sampling sites could be given. As a consequence, we know a genus with an exceptionally high potential as indicator for the ecological status of aquatic habitats, but have hardly information about the requirements of single species.

During vegetative growth of *Spirogyra*, only three consistent characters can be drawn for taxonomy: (i) type of cross walls (plane, replicate, semireplicate or colligate), (ii) cell widths and (iii) chloroplast numbers (Czurda, 1931; Transeau, 1951; Randhawa, 1959; Kadlubowska, 1984). Therefore, the process of conjugation has to be included for species identification (e.g. type of conjugation, zygospore ornamentation, shape and color of zygospores). However, only about 10 % of *Spirogyra* from field collections is found in its sexual reproductive stage (Hoshaw and McCourt, 1988) and hence only few species can be identified from these occasions.

In the latest monograph of *Spirogyra* (Kadlubowska, 1984), 386 species are listed. Two cardinal problems have to be addressed here briefly. Reproductive stages were described as new species because they did not match the existing species descriptions. However, the change of morphology which filaments may undergo over time is barely considered (McCourt and Hoshaw, 1990). The other problem concerns polyploidy of *Spirogyra*, which already was proved by Allen (1958) and has been recognized to be a serious problem for the species concept (McCourt and Hoshaw, 1990).

Despite *Spirogyra* is a very common taxon, only scarce information about ecological demands is available. Transeau (1916) observed that species with a lower surface to volume ratio (generally those with larger cell widths) go through longer vegetative cycles and therefore persist longer in summer, before filaments eventually disappear. Transeau's study as well as others (De Vries and Hillebrand, 1986; Simons, 1987) focused on the periodicity of *Spirogyra* and accompanying algae. In their survey, Berry and Lembi (2000) found water temperature and irradiance playing a role in the appearance and disappearance of several *Spirogyra* filament types differing in width and chloroplast number. McCourt et al. (1986) measured pH and water temperature at numerous sites of the United States. The authors found *Spirogyra* with larger

cell widths frequently in the northern regions and they hypothesized that this filament type might be adapted to harsher climates. Contrarily, Wang (1989) found larger filaments along the lower stretch of a stream at increased water temperatures. Simons and Van Beem (1990) studied the relationship between 22 *Spirogyra* species and water quality and recognized that some species (*S. majuscula* and *S. nitida*) preferred nutrient-poor groundwater influence, whereas others (*S. granulata* and *S. singularis*) appeared to be tolerant against pollution.

A cardinal problem for species identification is the lack of reproductive stages. The induction of conjugation takes a lot of time and effort, and may succeed in only about 20-30 % of the trials (Simons et al., 1984). These difficulties led us to a different approach dealing with the huge variety of vegetative *Spirogyra* filaments. We used vegetative characteristics to define filament type groups (in this study called morphotypes). Because morphotypes - even consisting of several similar species - may represent convergent adaptations to certain conditions, we related these morphotypes to environmental conditions. *Spirogyra* may contain indicator morphotypes from whose appearance definite environmental conditions can be deduced. Since *Spirogyra* is a widespread and easily recognized genus, resulting indicator morphotypes are of big interest for both ecological research and for routine water quality assessments.

2. Materials and methods

2.1. Data collection

Sampling took place at 133 sites between March and October in 2006 and 2007 (Fig. 1), sampling areas were chosen according to their geology and accessibility. Lakes, ponds, ditches, and slowly flowing river sections were inspected for *Spirogyra* by checking green algal mats with a Meade ReadiView field microscope. When *Spirogyra* was present, algal and water samples were collected and environmental data recorded.

Algae samples were put into test tubes and transferred to the laboratory. Within a few days, microphotography using a Reichert-Jung Leica Polyvar microscope equipped with the Colorview Soft Imaging System (Olympus Softimaging Solutions GmbH) was done. Samples were checked for morphologically different types, of which following filament characteristics were noted: (i) type of cross wall, (ii) 10 width measurements per filament type to the nearest 1 μm , and (iii) chloroplast number range.

At each sampling site, environmental data were obtained. Specific conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$) and water temperature ($^{\circ}\text{C}$) were measured in situ by means of the multiprobe WTW Multi 340i Set. Incoming irradiance was estimated by means of hemispherical photos (see below). Total

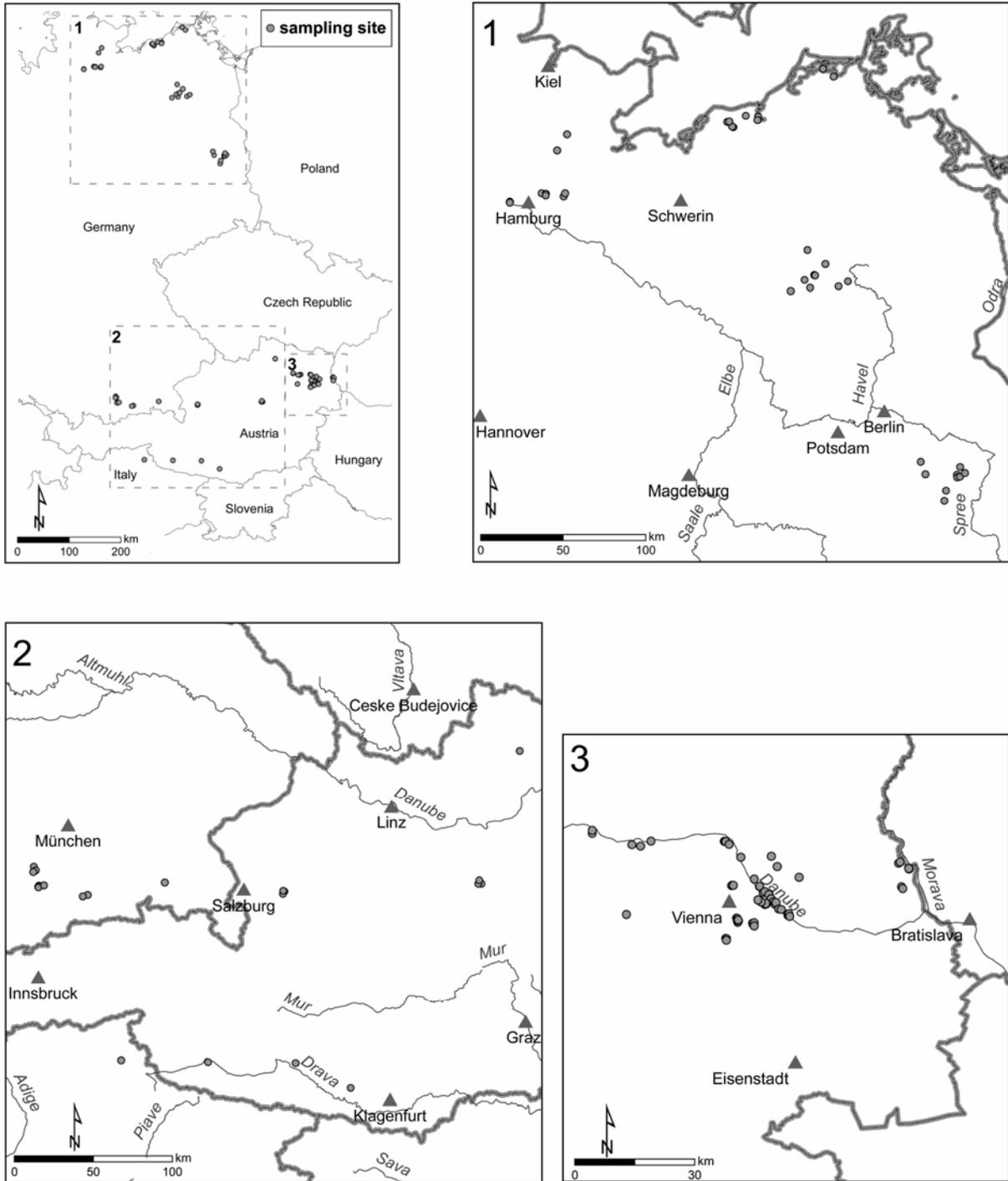


Fig. 1. Locations of the 133 sampling sites in Central Europe.

alkalinity (mval l^{-1}) and pH were determined immediately after returning to the laboratory with the cooled water samples. Following nutrient analyses were done according to standard methods (Legler, 1988; APHA, 1998): soluble reactive phosphorus (SRP), total phosphorus (P_{tot}), nitrate-N (NO_3^- -N), nitrite-N (NO_2^- -N), ammonium-N (NH_4^+ -N) and total organic nitrogen (N_{org}). Magnesium (Mg^{2+}), calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+), chloride (Cl^-), potassium (K^+) and sulphate (SO_4^{2-}) were analyzed by ion chromatography (Methrohm).

Hemispherical photos were taken using a digital camera Nikon Coolpix 4500 equipped with a Nikon fisheye converter FC-E8 0.21 x. The camera was placed directly at the sampling spot at the water surface, levelled and oriented northwards. After processing the pictures with Adobe Photoshop Version 8.0.1 in order to correct any pseudo-shading caused by the photographer, light parameters were calculated with the program Gap Light Analyzer (GLA) Version 2.0 (Frazer et al., 1999). Default settings were used, except for (i) the spectral fraction, which was changed from 0.5 to 0.45 to adjust the transmitted photosynthetic active radiation (GLA Users Manual), and (ii) the length of the growing season, for which the parameters were calculated (one month before sampling date until sampling date; this time period was assumed to approximate the growing period for the filaments found). As representative for the light climate at each site, the % site openness and total transmission were chosen.

2.2. Data analysis

Statistical analyses were carried out within R 2.6.2 (R Development Core Team, 2008); external software packages cluster and vegan 1.11-2 (Maechler et al., 2005; Oksanen et al., 2008) were used.

The morphotypes were defined with hierarchical agglomerative cluster analysis (CA, Ward's method) on taxonomic key characteristics (cell cross wall, cell width and chloroplast number) of all filament types found. Cell cross wall was binary coded (for replicate and plane; only these two cross wall types were found), whereas for cell width and chloroplast number, mean values of the variable ranges were calculated as (minimum + maximum)/2. The distance matrix for CA was calculated using the daisy algorithm described by Kaufman and Rousseeuw (1990) implemented in the R package cluster (Maechler et al., 2005), treating cell cross wall as symmetric binary character, cell width and chloroplast number as interval scaled characters. The number of morphotypes was determined by cutting the dendrogram at a level, that at least 5 filament types belonged to each group (= morphotype) rendering the following ordination less influenced by single values.

Selection of environmental constraints: In order to get independent environmental variables, principal component analysis (PCA) with varimax rotation was performed. Before PCA, all variables were checked for normality using qq-plots and, if necessary, transformed using \sqrt{x} or $\log_{10}(x+1)$. Following PCA, the number of principal components was determined graphically with a scree plot, selecting the bend near eigenvalue 1, and a representative name was assigned to each principal component (PC). Water temperature was excluded from PCA, because it had low loadings on the PCs and therefore its representation would be blurry. Hence, temperature was used directly for ordination after z-transformation.

Table 1: Summary of environmental variables measured at 133 *Spirogyra* sites. Abbreviations and units: min (minimum), Q₁ (first quartile), median, Q₃ (third quartile), max (maximum), Na⁺ (sodium, mg l⁻¹), K⁺ (potassium, mg l⁻¹), Ca²⁺ (calcium, mg l⁻¹), Mg²⁺ (magnesium, mg l⁻¹), Cl⁻ (chloride, mg l⁻¹), SO₄²⁻ (sulphate, mg l⁻¹), NO₃⁻-N (nitrate, µg l⁻¹), NO₂⁻-N (nitrite, µg l⁻¹), NH₄⁺-N (ammonium, µg l⁻¹), N_{org} (Kjeldahl-nitrogen, µg l⁻¹), SRP (soluble reactive phosphorus, µg l⁻¹), P_{tot} (total phosphorus, µg l⁻¹), conductivity (specific conductivity, µS cm⁻¹), temperature (temperature, °C), alkalinity (alkalinity, mval l⁻¹), SiteOpen (Site Openness, %), Trans (total transmission, mol m⁻² day⁻¹).

variable	min	Q₁	median	Q₃	max
Na⁺	0.2	10.0	15.6	27.3	259.1
K⁺	0.0	2.1	3.4	6.3	35.5
Ca²⁺	10.4	43.9	59.0	83.5	161.0
Mg²⁺	0.5	7.5	15.2	21.9	175.0
Cl⁻	0.3	19.1	28.9	48.4	417.8
SO₄²⁻	0.7	20.4	44.2	115.4	789.1
NO₃⁻-N	0.0	48.1	163.8	555.1	19 770.8
NO₂⁻-N	0.0	0.9	2.7	7.9	229.7
NH₄⁺-N	1.2	9.2	17.1	42.9	1 318.2
N_{org}	83.8	271.3	376.8	611.4	7 499.2
SRP	0.0	0.6	2.0	6.5	1 406.9
P_{tot}	1.6	15.2	34.0	88.8	2 237.4
conductivity	76.0	308.0	443.0	635.0	1 508.0
temperature	7.9	14.7	17.5	20.5	30.4
alkalinity	0.6	2.5	3.3	4.9	7.9
pH	6.2	7.6	7.9	8.1	9.1
SiteOpen	9.6	31.6	44.4	58.0	81.2
Trans	4.6	16.6	22.0	26.1	42.2

Canonical correspondence analysis (CCA) was carried out onto a presence/absence morphotype data set, using the principal components extracted from the environmental data and water temperature as constraints. The first axis of detrended correspondence analysis (decorana within R-package vegan) of the morphotype data set displayed a gradient length of 4.9. Values superior to 4 indicate that the unimodal model of CCA is more adequate than the linear model of redundancy analysis (RDA; Leyer and Wesche, 2007). CCA is a direct gradient analysis that displays only that variation of species composition that is related to the constraining variables (McCune and Grace, 2002). The vegan function cca (Oksanen et al., 2008) uses weighted average (WA) scores instead of linear combination (LC) scores, because WA scores are more stable when any noise within the environmental data can be expected (McCune and Grace, 2002). The significance of the analysis was assessed using permutation tests (at least 999 permutations) for the full model, for the axes and for the marginal effect of each constraining variable. In the final model, only significant variables ($p < 0.05$) were included.

3. Results

3.1. Genus distribution and filament characteristics

Spirogyra was found at 133 sites of 314 sites checked. Nutrients and ion concentrations showed a wide span ranging from oligo- to hypertrophic conditions (Table 1). Median values (representing the optimum for the genus) for SRP ($2.0 \mu\text{g l}^{-1}$), TP ($34.0 \mu\text{g l}^{-1}$) and NO_3^- ($163.8 \mu\text{g l}^{-1}$) indicated, that mesotrophic conditions (Vollenweider and Kerekes, 1982) are preferred by the genus. The pH-measurements were for the most part slightly alkaline, while specific conductivity ranged from 76 to $1\,508 \mu\text{S cm}^{-1}$. This is in accordance to ion concentrations and reflects the geology of the catchment area. Water temperature varied between 7.9 and $30.4 \text{ }^\circ\text{C}$, light supply ranged from shaded sites to fully sun exposed locations.

A total of 333 filament types - 246 with plane and 87 with replicate cross walls, but none with colligate or semireplicate cross walls - were collected from the field and used as a basis for CA. The cell widths of *Spirogyra* with plane cross walls were distributed evenly around 25-30 μm , showing a tail towards larger cell widths (Fig. 2). *Spirogyra* with replicate cross walls expressed highest frequency at 15-20 μm . CA revealed 13 morphotypes with variable "cross wall" accounting mostly for the division (Table 2; Fig. 3): 3 filament types with replicate (r1 to r3) and 10 with plane cross walls (p1 to p10) were found. The remaining distance for cluster calculation was shared by cell width and chloroplast number.

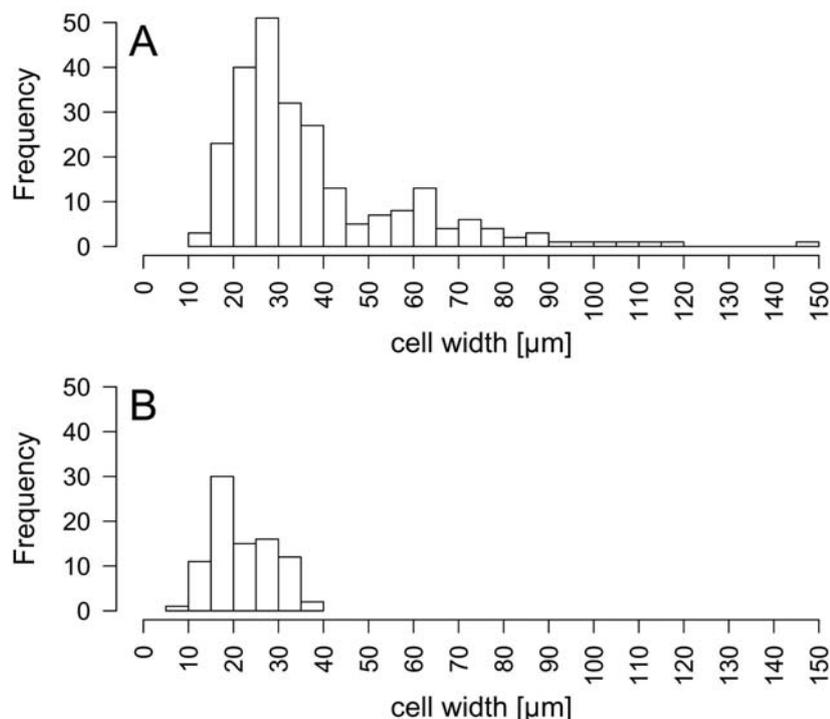


Fig. 2. Frequency distribution of filament widths for 333 *Spirogyra* filament types with A) plane cross walls (n = 246) and B) replicate cross walls (n = 87).

Table 2: Summary of filament characteristics (cross wall, average cell width and average chloroplast number) for the 13 morphotypes. Minimum (min), median and maximum (max) for cell width in μm and chloroplast number for all filament types within each morphotype and the number of values (n) are given. In some cases two or more filament types noted as different from one site clustered together within the same morphotype. Therefore, the total number of units as input for canonical correspondence analysis (n_{CCA}) decreased to 291.

morphotype	n	n_{CCA}	cross wall	cell width			chloroplast number		
				min	median	max	min	median	max
p 1	113	84	plane	13.5	24.5	34	1	1	1.5
p 2	21	19	plane	35	40	61	1	1	1
p 3	19	17	plane	26	34	54	1.5	2	2.5
p 4	24	24	plane	28	35	45	3	3	3
p 5	20	18	plane	26	37	46.5	4	4	5.5
p 6	13	13	plane	53.5	58	84	2	3	3.5
p 7	6	6	plane	78.5	84.5	93.5	3	4.25	5
p 8	14	14	plane	57	65	77	4	6	7
p 9	9	9	plane	56	64	80	8	9	11
p 10	7	6	plane	90	110	147	5	6	8
r 1	40	37	replicate	9	16.75	20	1	1	1
r 2	40	37	replicate	18	27.25	35	1	1	2
r 3	7	7	replicate	30	35	39	2.5	2.5	3
sum	333	291							

3.2. Environmental constraints and ordination

PCA extracted five principal components explaining 75.8 % of the total variance. When considering the PC loadings, following background variables were interpreted: (1) ions concentration, (2) buffer capacity, (3) trophic status, (4) NO_2/NO_3 , and (5) light supply (Table 3).

For CCA, total inertia (sum of all unconstrained eigenvalues) was 5.142 and constrained inertia (sum of all canonical eigenvalues) was 0.369. Axis 1 had a high eigenvalue compared to the subsequent axes (axis 1: 0.164; axis 2: 0.084; axis 3: 0.062; axis 4: 0.030; axis 5: 0.019; axis 6: 0.011). Permutation tests for each term proved, that trophic status ($p < 0.001$) and NO_2/NO_3 ($p < 0.05$) were significant input variables, whereas ion concentration, buffer capacity, light supply as well as water temperature contributed insignificantly for morphotype patterns. Therefore, a reduced model was calculated including trophic status and NO_2/NO_3 . Both CCA models proved to be significant ($p < 0.001$). In the CCA biplot (Fig. 4), the length of an arrow indicates the correlation between environmental variables (in our case PCs) and ordination axes. Morphotypes dispersion was explained mainly along the trophic gradient.

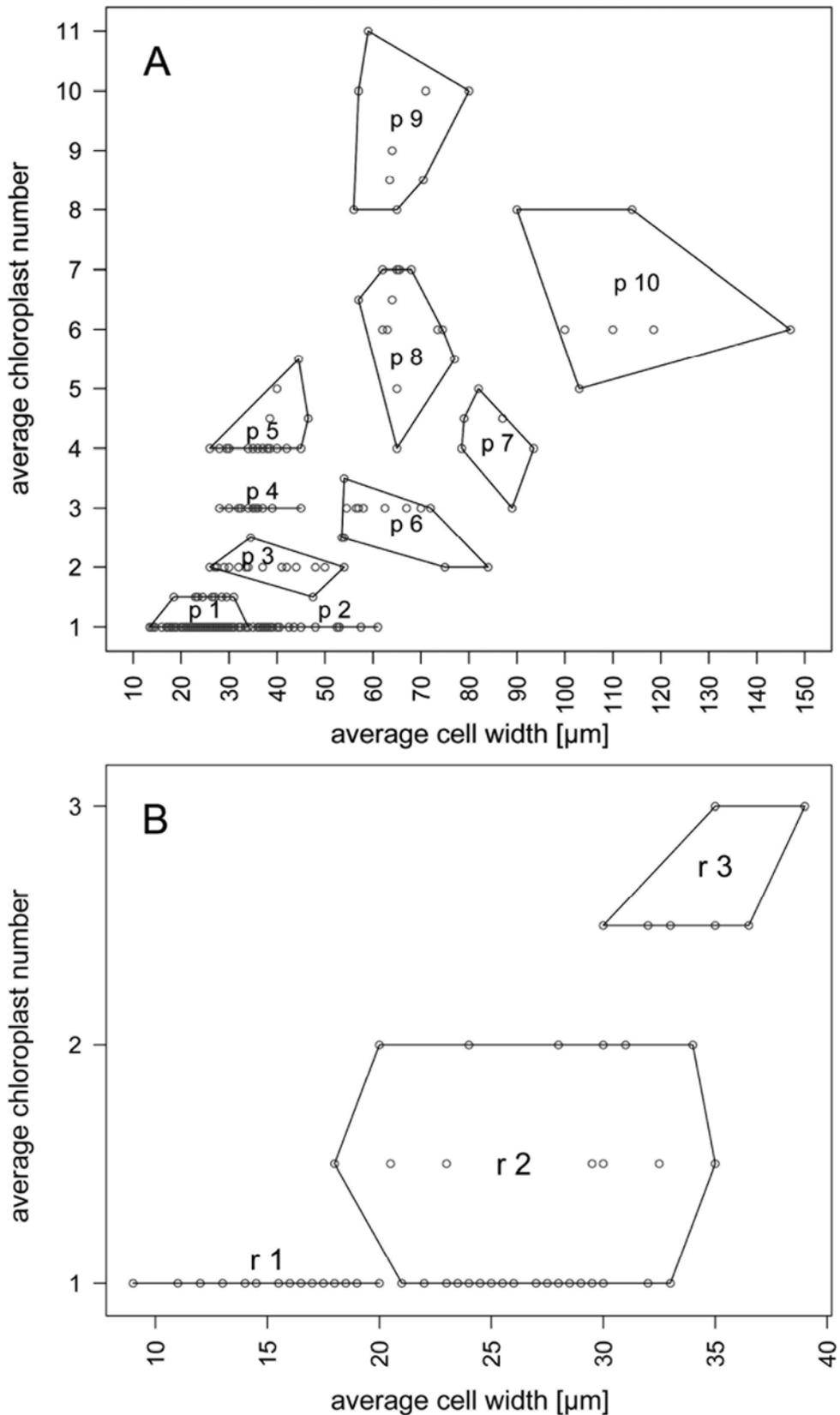


Fig. 3. Cluster analysis of filament characteristics (cross wall, average cell width, average chloroplast number) from 333 *Spirogyra* filament types resulted in 13 morphotypes: A) 10 morphotypes with plane cross walls (p1 to p10) and B) 3 morphotypes with replicate cross walls (r1, r2 and r3). In the graphs, each point represents a *Spirogyra* filament type; the outermost points belonging to a single morphotype are connected with lines.

Table 3: Transformations of the input variables for principal component analysis and their loadings on the principal components. Principal components were named according to the variables with highest loadings (loading > ± 0.5 in bold). Abbreviations: ions (ion concentration), buff (buffer capacity), troph (trophic status), NOx (NO₂/NO₃), light (light supply). Abbreviations for the variables are as in Table 1.

variable	principal components				
	ions	buff	troph	NOx	light
$\log_{10}(\text{Na}^++1)$	0.94	0.21	0.14	-0.02	-0.03
$\log_{10}(\text{K}^++1)$	0.65	0.18	0.24	0.05	-0.10
$\log_{10}(\text{Cl}^-+1)$	0.93	0.28	0.12	0.08	-0.03
$\log_{10}(\text{SO}_4^{2-}+1)$	0.73	0.32	0.09	0.08	0.04
$\log_{10}(\text{cond}+1)$	0.60	0.77	0.07	0.19	0.00
$\log_{10}(\text{Mg}^{2+}+1)$	0.37	0.80	-0.08	0.18	-0.10
$\text{sqrt}(\text{Ca}^{2+})$	0.43	0.62	0.15	0.07	-0.06
$\text{sqrt}(\text{alk})$	0.15	0.74	0.01	0.19	-0.15
$\log_{10}(\text{N}_{\text{org}}+1)$	0.24	0.06	0.76	0.12	0.06
$\log_{10}(\text{SRP}+1)$	0.04	0.11	0.72	0.09	-0.14
$\log_{10}(\text{P}_{\text{tot}}+1)$	0.17	-0.13	0.97	0.01	0.09
$\log_{10}(\text{NO}_3^- - \text{N}+1)$	-0.03	0.24	-0.06	0.83	0.12
$\log_{10}(\text{NO}_2^- - \text{N}+1)$	0.07	0.14	0.08	0.93	0.11
$\log_{10}(\text{NH}_4^+ - \text{N}+1)$	0.11	0.05	0.27	0.48	-0.01
SiteOpen	0.16	-0.21	0.03	0.01	0.96
Trans	-0.26	-0.02	-0.04	0.21	0.80

Morphotypes r3 and p7 occurred at highest trophic levels, p5 and p4 were collected from sites with lower TP concentrations. NO₂/NO₃ were responsible for the distribution of p2 (high amounts) and p8 (decreased values). Morphotype p1 occurred at 84 sites and no clear pattern was found for this ubiquitous form using CCA. The influence of insignificant PCs on morphotype patterns can be estimated using WAs (Table 4), and detailed information for all environmental variables is available from Table 5.

4. Discussion

Ecological data for *Spirogyra* at both genus and species level are hardly available. With this study we provide environmental preferences for the genus and for groups of similar species, called morphotypes. Not only pH and nutrients, but also irradiance and ions concentrations were considered, which allows the use of vegetative *Spirogyra* as indicator for water quality assessments.

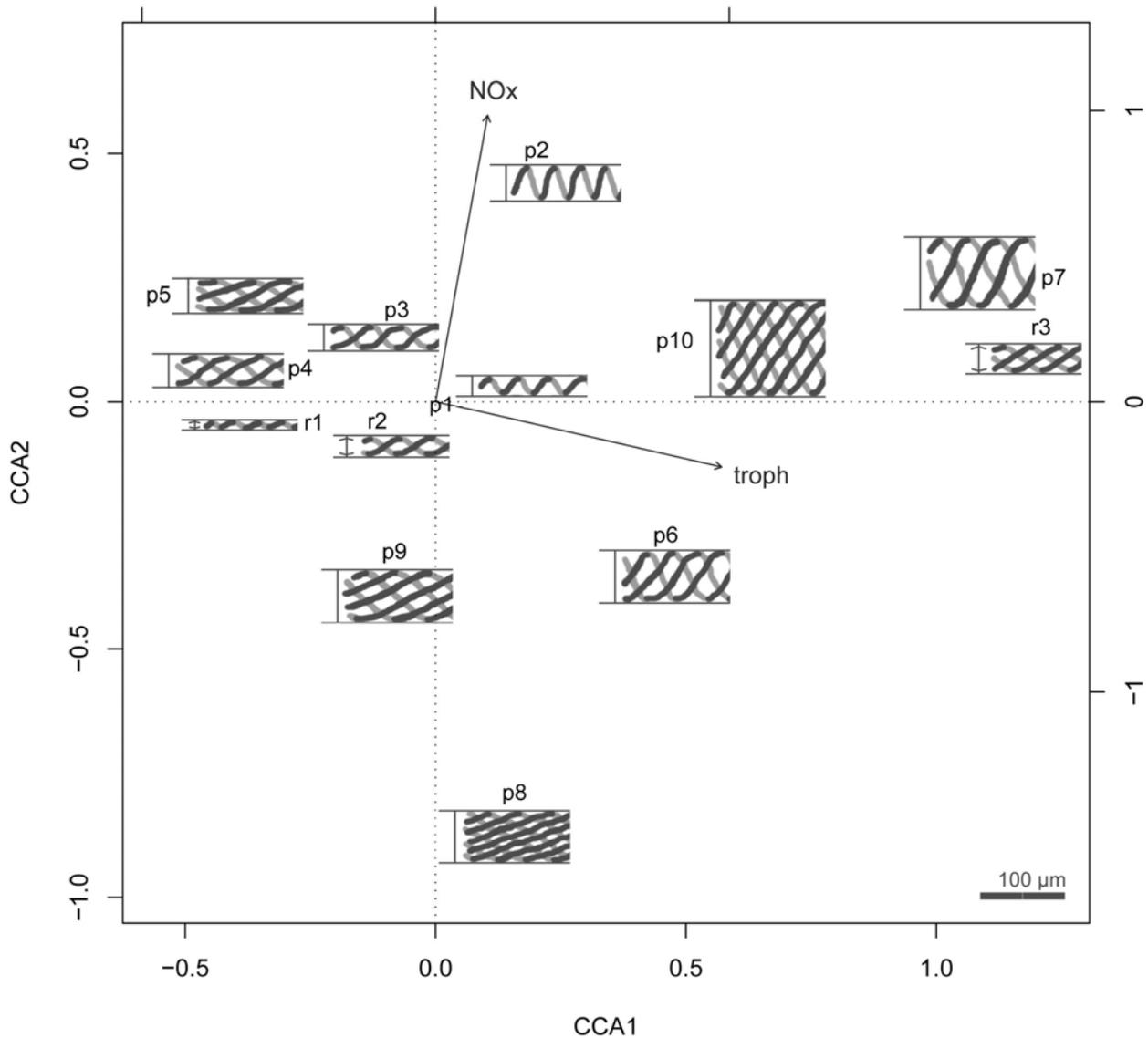


Fig. 4. Canonical correspondence analysis (CCA) biplot of *Spirogyra* morphotypes. Presented are the first and the second axis of the reduced model with only significant constraints, the principal components trophic status (troph) and NO_2/NO_3 (NOx). Each morphotype is illustrated with a drawing of a part from a typical cell showing cross wall (represented by the vertical line), chloroplast number (represented by spirally coiled lines) and cell width (represented by the distance of the two horizontal lines, which indicate the filament direction). All drawings are in scale to the scale bar in the right corner.

We chose a morphotype approach, because species identification, which is mainly based on sexual reproduction, can be done only sporadically with field material. Additionally, some problems arise with the species descriptions of *Spirogyra*. Many taxa were found only once and changes in morphology during acclimatization processes were barely considered. Therefore, species delineations are sometimes only marginal or overlapping.

Table 4: Weighted averages of principal components and water temperature for morphotypes (values > ± 0.3 in bold). For comparison, water temperature was z-transformed. Abbreviations: ions (ion concentration), buff (buffer capacity), troph (trophic status), NOx (NO₂/NO₃), light (light supply), temp (water temperature).

morphotype	ions	buff	troph	NOx	light	temp
p1	0.11	0.05	-0.08	-0.06	-0.04	0.03
p2	0.12	-0.26	-0.01	0.43	0.36	-0.49
p3	-0.32	0.21	-0.21	0.10	0.01	0.32
p4	-0.58	0.14	-0.37	-0.04	0.33	0.31
p5	0.08	-0.14	-0.68	0.05	-0.14	0.09
p6	-0.11	0.03	0.42	-0.22	0.12	-0.15
p7	-0.02	-0.27	1.06	0.37	0.65	0.24
p8	0.12	-0.31	0.24	-0.73	0.01	0.16
p9	-0.05	0.22	-0.10	-0.34	-0.45	0.17
p10	-0.08	0.20	0.35	0.13	-0.39	0.21
r1	0.14	0.31	-0.32	-0.13	0.01	0.04
r2	0.04	0.00	-0.20	-0.11	0.10	-0.03
r3	0.85	-0.72	1.05	0.28	-0.37	-0.64

Moreover, filaments of different cell width and chloroplast number could arise from a single filament due to changes in its ploidal level, which eventually results in different species descriptions (Allen, 1958). Evidence for polyploidy was also found by McCourt et al. (1986), who proved a positive correlation between nuclear DNA content and filament width.

Compared to North American *Spirogyra* collections (Mccourt et al., 1986), a similar frequency distribution of filament widths for Central European *Spirogyra* was found (Fig. 2). Filament widths of *Spirogyra* with replicate cross walls were more evenly distributed than those with plane cross walls. This indicates that polyploidy may be common for *Spirogyra* with plane cross walls in Europe as well.

The morphotypes constructed in this study cover a huge part of the genus variability described in literature. Each morphotype covers well defined cell widths and chloroplast numbers, making a use for water quality assessors possible. Decision problems arise if values are striking two or even three morphotypes. In such cases the name of the closest morphotype should be assigned. Clearly, the classification of filament types into morphotypes is arbitrary. However, we have tried several other grouping criteria for morphotypes classification (other cluster algorithms, different dendrogram cutting levels), but the main pattern in CCA still remained the same.

Table 5: Summary characteristics of environmental variables for the morphotypes. Presented are n (number of sites), median values (representing morphotype optima), min (minimum) and max (maximum). Abbreviations and units of the variables are as in Table 1.

	n	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	N _{org}	SRP	P _{tot}	temp	cond	alk	pH	SiteOpen	Trans
p1	84	16.8	3.5	59.5	15.7	30.1	44.8	168.2	2.6	15.6	393.1	1.5	29.6	18.4	461.5	3.3	7.9	44.0	21.4
min		0.2	0.0	10.4	1.6	0.7	1.8	0.0	0.0	2.2	104.3	0.0	1.6	7.9	91.0	0.9	6.2	9.6	5.3
max		259.1	29.9	161.0	175.0	417.8	667.2	15221.7	88.8	743.9	7499.2	1406.9	2237.4	28.5	1508.0	7.9	9.1	81.2	42.2
p2	19	19.6	3.8	60.9	13.0	38.7	61.2	571.2	6.9	16.5	363.4	2.6	48.1	15.8	443.0	3.5	7.9	55.1	24.6
min		0.2	0.0	35.0	5.0	0.7	2.9	9.8	0.5	2.4	114.6	0.0	1.6	9.9	157.0	1.5	6.5	16.2	6.0
max		110.5	35.5	123.0	53.6	134.7	196.7	6962.2	229.7	1318.2	1790.8	543.1	1246.5	26.9	908.0	6.5	8.3	75.4	41.5
p3	17	11.4	2.3	55.3	16.7	24.7	33.3	205.0	2.8	14.8	277.8	1.2	17.3	20.1	457.0	3.9	8.0	36.8	24.0
min		0.7	0.0	16.0	6.6	0.8	3.7	9.8	0.2	4.6	143.8	0.0	3.4	13.5	158.0	1.2	7.0	17.9	9.7
max		55.3	25.3	123.0	109.4	173.4	279.0	3713.2	44.6	63.4	1819.1	46.1	326.9	26.9	1409.0	6.2	9.1	81.2	42.2
p4	24	13.1	2.1	53.4	11.3	22.5	34.0	188.2	3.2	16.8	289.8	1.4	24.1	18.1	393.0	3.1	8.0	53.0	24.1
min		0.2	0.0	16.0	4.4	0.4	1.6	9.8	0.3	1.2	142.4	0.0	3.4	12.9	158.0	1.8	7.3	18.0	11.0
max		68.1	18.9	99.6	96.9	130.4	478.4	11822.0	78.9	211.9	3404.8	49.1	538.2	28.6	1124.0	7.1	8.8	73.9	40.0
p5	18	15.2	2.7	53.5	14.2	30.2	43.1	164.3	3.0	14.1	322.3	0.9	15.5	18.5	364.5	3.1	8.0	42.3	21.7
min		0.2	0.0	22.1	4.3	0.7	5.0	15.6	0.2	2.2	126.8	0.0	1.6	11.3	184.0	1.7	7.4	15.4	6.3
max		61.2	28.8	106.2	146.7	136.8	375.7	6555.6	65.8	82.3	767.4	24.3	97.1	28.0	1419.0	7.9	9.1	74.5	34.1
p6	13	14.7	5.1	59.0	15.2	21.3	42.0	75.4	2.2	18.0	346.4	2.9	69.2	16.4	443.0	3.7	7.8	43.7	19.0
min		3.7	0.0	28.5	3.1	4.7	7.2	2.0	0.2	2.4	136.5	0.3	8.7	9.6	222.0	1.7	7.2	23.5	12.0
max		68.1	7.5	126.9	96.9	130.4	324.0	4661.0	43.0	724.0	1220.4	520.2	669.0	26.7	1124.0	5.8	8.9	81.2	42.2
p7	6	13.4	5.9	61.5	11.0	27.9	44.0	355.0	11.1	19.8	744.8	15.0	105.2	19.6	480.5	3.1	7.9	63.8	24.3
min		6.7	2.5	37.1	2.3	11.1	7.9	42.9	1.1	13.3	511.3	0.0	58.2	13.5	240.0	2.2	6.2	23.5	18.4
max		48.9	15.0	91.7	21.5	79.1	233.7	4661.0	38.1	29.7	6108.3	73.7	1358.4	24.5	585.0	5.8	8.1	68.6	39.4
p8	14	16.0	2.6	40.3	14.8	29.0	33.2	57.1	0.7	8.4	355.9	4.8	57.1	20.1	379.0	2.7	8.0	46.7	21.6
min		0.6	0.7	17.9	0.9	0.4	1.6	9.8	0.0	2.2	172.4	0.0	8.8	12.9	175.0	1.7	7.3	23.5	8.0
max		183.0	18.9	123.0	16.8	219.7	121.2	136.0	3.4	214.5	2802.5	370.1	934.3	28.5	885.0	5.2	9.1	63.5	37.1
p9	9	21.4	4.9	74.8	16.5	30.3	35.6	90.8	1.4	10.9	327.3	3.0	16.6	16.9	535.0	4.3	7.8	31.7	20.1
min		2.7	1.9	16.9	1.7	0.3	0.7	9.8	0.0	3.5	83.8	0.3	3.9	12.7	143.0	1.8	7.3	10.5	11.5
max		54.2	8.2	102.5	28.7	72.1	72.7	973.0	12.2	214.5	2802.5	370.1	934.3	30.4	691.0	6.5	8.0	63.2	37.1
p10	6	15.6	3.2	62.2	16.5	27.8	39.9	138.4	2.8	35.5	363.2	7.5	46.2	19.5	453.5	3.6	7.9	37.8	18.7
min		10.2	2.2	35.4	13.0	19.3	26.3	46.0	0.2	5.9	267.9	1.6	20.9	14.4	344.0	2.6	7.4	25.7	14.1
max		27.3	6.3	141.0	73.3	73.8	241.8	995.6	101.5	141.6	828.1	147.8	236.8	24.6	1125.0	7.6	8.2	52.0	30.1
r1	37	17.4	3.5	67.8	20.6	34.3	51.4	197.0	1.4	17.4	384.3	1.2	26.5	18.3	516.0	3.9	7.9	42.5	20.6
min		0.2	0.0	13.8	0.5	0.7	3.7	4.9	0.2	3.7	142.4	0.0	3.4	10.0	76.0	0.6	6.7	16.2	6.0
max		97.3	29.9	150.9	175.0	173.4	665.3	19770.8	80.6	334.4	1088.9	61.4	215.7	26.9	1508.0	7.1	9.1	81.2	42.2
r2	37	15.1	3.2	60.9	14.9	31.2	44.2	152.0	1.7	14.3	335.0	1.3	29.1	17.6	460.0	3.8	7.9	44.4	21.7
min		0.2	0.0	10.4	0.5	0.7	4.4	5.0	0.0	2.4	104.3	0.0	1.6	9.6	76.0	0.6	6.7	12.6	4.6
max		183.0	29.4	144.7	146.7	219.7	375.7	6555.6	65.8	743.9	7499.2	1406.9	2237.4	26.9	1419.0	7.9	8.9	81.2	42.2
r3	7	22.9	5.4	85.0	8.6	43.3	136.5	103.4	3.1	17.1	888.8	3.8	137.8	15.0	582.0	2.6	7.3	42.5	15.7
min		9.4	2.1	20.3	2.9	19.3	4.1	29.3	0.3	2.8	384.3	0.6	72.8	9.6	141.0	0.9	6.7	26.2	6.0
max		259.1	35.5	120.5	40.7	417.8	196.7	1681.1	229.7	1318.2	2827.5	543.1	1246.5	21.1	1490.0	4.3	7.7	72.0	24.6

In this study, we found a significant relationship between *Spirogyra* morphotypes and environmental conditions. PC trophic status, highly loading with P_{tot} , SRP and N_{org} , turned out to be a key variable for morphotype occurrence. Also NO_2/NO_3 had some influence, while water ion content, buffer capacity, light conditions and temperature seemed to play only a minor role.

CCA revealed that morphotypes with increased cell width (p6, p7, p8, p10, r3) are coinciding with elevated trophic levels (Fig. 4). It could be concluded that increased nutrient supply favours larger filaments with higher nutrient demands. Contrarily, morphotypes with narrow cell widths (p3, p4, p5, r1, r2) occurred at sites with low nutrient supply. Amongst these, p4 and p5 were commonly attached near the water surface with rhizoids to pebbles or deadwood. Attachment seems to offer some advantages: constant favourable light supply, resistance against drifting off in flowing stretches, and sometimes nutrient supply from upwelling groundwater in nutrient-poor water bodies. NO_2/NO_3 coincided with p2, r3 and p7, and was negatively related to p8, p9 and p6. *Spirogyra* p2 with plane cross walls, moderate cell width (35 to 60 μm) and low chloroplast numbers of 1 to 2 occurred under elevated nitrite/nitrate amounts. On the other hand, plane cross wall morphotypes with cell widths between 50 and 80 μm and more than 2 chloroplasts were found under lowest average nitrogen concentrations. P1 was recorded most frequently (at 84 sites) and covers almost the full range of collected environments. Hence, it is located near the centre in the CCA biplots and no indicative power could be attributed.

Other constraints like ion concentration, buffer capacity, light supply and water temperature may, even if insignificant for overall morphotype variation, still indicate some ecologically relevant information. Remarkably, morphotypes with many chloroplasts (p9, p10, r3) occurred under low light supply. This finding is in line with the observations of Berry and Lembi (2000), who found a filament type with plane cross walls, 130 μm cell width and 6 to 7 chloroplasts (corresponding to morphotype p10) to be negatively affected by high irradiances.

In our study, water temperature was not a decisive variable for morphotype occurrence. Due to the periodical occurrence of *Spirogyra*, which was recognized in temperate regions (growth in spring and disappearance in summer), water temperature has been already in focus of ecological research. Transeau (1916) and Simons and Van Beem (1990) reported that species with high filament width persisted longer at elevated temperatures. Berry and Lembi (2000) found that filaments of 45 μm widths and 1 to 2 chloroplasts were negatively affected by water temperatures above 25 °C. This is supported by our data: all filament types between 40 and 50 μm and with 1 or 2 chloroplasts ($n = 13$) occurred exclusively between 10 and 21 °C.

The species concept of *Spirogyra* is based on morphological criteria, which probably do not reflect true phylogenetic relationships. We grouped different filament types and with this approach we set taxa delineations to a higher level. Resulting morphotypes were treated as units showing species-like niche behaviour. Even if the grouping of similar filament types likely

does not represent true phylogenetic units, valuable information for the relationship between *Spirogyra* and its environment can be deduced and obtained results can be used for bioindication and trophic classification.

Acknowledgements

This study is part of the FWF project P18465-B03. We gratefully acknowledge Martin Gruber and Melanie Zwirn for their help during sampling trips and laboratory work and Hubert Kraill (University of Vienna) for the ion analysis. Uta Raeder, Viktoria Tscherne (Limnologische Station Iffeldorf - TU München), Ulf Karsten, Henning Baudler, Jana Wölfel (Insitut für Biowissenschaften - University of Rostock), Dieter Hanelt, Ludwig Kies (Fachbereich Biologie - University of Hamburg) kindly supported the collections in Germany.

References

- Allen, M.A., 1958. The biology of a species complex in *Spirogyra*. Bloomington, Indiana University. Ph.D. thesis.
- Berry, H.A., Lembi, C.A., 2000. Effects of temperature and irradiance on the seasonal variation of a *Spirogyra* (Chlorophyta) population in a midwestern lake (USA). *J. Phycol.* 36: 841-851.
- Czurda, V., 1931. Zur Morphologie und Systematik der Zygnemalen. Sonderabdruck aus "Beihefte zum Bot. Centralbl." 48: 238-285.
- De Vries, P.J.R., Hillebrand, H., 1986. Growth control of *Tribonema minus* (Wille) Hazen and *Spirogyra singularis* Nordstedt by light and temperature. *Acta Bot. Neerl.* 35: 65-70.
- Frazer, G.W., Canham, C.D., Lertzmann, K.P., 1999. Gap Light Analyzer Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation Copyright © 1999: Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, CANADA, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York, USA.
- Hoshaw, R.W., McCourt, R.M., 1988. The Zygnemataceae (Chlorophyta): a twenty-year update of research. *Phycologia* 27: 511-548.
- Kadlubowska, J.Z., 1984. Conjugatophyceae I - Zygnemales. In: Ettl, H., Gerloff, H., Heynig, H., Mollenhauer, D. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Chlorophyta VIII. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Kaufman, L., Rousseeuw, P.J., 1990. Finding groups in data: an introduction to cluster analysis. Wiley, New York.
- Kolkwitz, R., Krieger, H., 1941. Zygnemales. In: Kolkwitz, R. (Ed.). Dr. L Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland und der Schweiz. XIII. Band, 2. Abteilung. Akademische Verlagsgesellschaft Becker & Erler, Leipzig.
- Legler, C., 1988. Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung. Band 1: Chemische, physikalisch-chemische und physikalische Methoden. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Leyer, I., Wesche, K., 2007. Multivariate Statistik in der Ökologie: eine Einführung. Springer, Berlin.
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., 2005. Cluster Analysis Basics and Extensions. <http://www.R-project.org>.
- McCourt, R.M., Hoshaw, R.W., 1990. Noncorrespondence of breeding groups, morphology, and monophyletic groups in *Spirogyra* (Zygnemataceae: Chlorophyta) and the application of species concepts. *Syst. Bot.* 15: 69-78.

- McCourt, R.M., Hoshaw, R.W., Wang, J.-C., 1986. Distribution, morphological diversity and evidence for polyploidy in North American Zygnemataceae (Chlorophyta). *J. Phycol.* 22: 307-313.
- McCune, B., Grace, J.B., 2002. *Analysis of Ecological Communities*. Mjmm Software Design. Glenden Beach, Oregon.
- Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P., O'Hara, B., Simpson, G.L., Stevens, M.H.H., 2008. *vegan: Community Ecology Package Version 1.11-2*. <http://www.R-project.org>.
- R Development Core Team, 2008. *R: A Language and Environment for Statistical Computing Version 2.6.2*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>.
- Randhawa, M.S., 1959. *Zygnemataceae*. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi.
- Simons, J. (1987). *Spirogyra* species and accompanying algae from dune waters in the Netherlands. *Acta Bot. Neerl.* 36: 13-31.
- Simons, J., Van Beem, A.P., 1990. *Spirogyra* species and accompanying algae from pools and ditches in the Netherlands. *Aquat. Bot.* 37: 247-269.
- Simons, J., Van Beem, A.P., De Vries, P.J.R., 1984. Induction of conjugation and spore formation in species of *Spirogyra* (Chlorophyceae, Zygnematales). *Acta Bot. Neerl.* 33: 323-334.
- Transeau, E.N., 1916. The periodicity of freshwater algae. *Am. J. Bot.* 3: 121-133.
- Transeau, E.N., 1951. *The Zygnemataceae*. The Ohio State University Press, Columbus, Ohio.
- Vollenweider, R.A., Kerekes, J., 1982. *Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control*. OECD Cooperative programme on monitoring of inland waters (Eutrophication control). OECD, Paris.
- Wang, J.C., Hoshaw, R.W., McCourt, R.M., 1989. Diversity of *Spirogyra* (Chlorophyta) filament types on an altitudinal gradient. *Br. Phycol. J.* 24: 367-373.

Ergebnisse und Diskussion

Spirogyra wurde an 133 von 314 untersuchten Gewässern gefunden, an denen insgesamt 333 Fadentypen aufgezeichnet wurden (durchschnittlich zwei bis drei Fadentypen an einem Gewässer). Darunter waren 246 Fadentypen mit glatter Querwand und 87 mit gefalteter Querwand zu finden. Keine der zwei anderen, selteneren Querwandformen (schräg gefaltete / durch Ringe zusammengehaltene Querwand) wurde beobachtet. Die Zellbreiten variierten zwischen 9 und 150 µm, jene für die Chloroplastenzahl zwischen 1 und 14. In der Literatur genannte Werte erreichen (selten) bis über 200 µm Zellbreite und bis zu 15 Chloroplasten, die meisten beschriebenen Arten bleiben jedoch weit darunter. Damit wurde die morphologische Variabilität der Gattung in dieser Hinsicht gut abgedeckt.

Die Gruppierung der Fadentypen ergab 13 Gruppen oder Morphotypen: 10 Morphotypen mit ebener und 3 Morphotypen mit gefalteter Querwand (Manuskript, Fig. 3), zu denen in ANHANG I jeweils typische Beispiele zu sehen sind. Diese Anzahl stellt einen Kompromiss dar zwischen wenigen Morphotypen, die zu viele Fadentypen enthalten, und sehr vielen Morphotypen, von denen viele nur ein oder zwei Fadentypen enthalten. In beiden Fällen ist die Aussagekraft eingeschränkt. Im ersten Fall wird man kaum Unterschiede feststellen können, während im zweiten Fall festgestellte Unterschiede leichter zufallsabhängig sind. Die im Grunde willkürliche Anzahl der Gruppen war also eine Gratwanderung, die mit der Vorgabe gelöst wurde, dass jeder Morphotyp mindestens 5 Fadentypen enthalten sollte. Diese Vorgabe führte dazu, dass nach der Gruppierung jeder Morphotyp zumindest an 6 von 133 Gewässern vorkam, von welchen sich die Durchschnittswerte der Umweltbedingungen in der Analyse auswirkten.

Als weitere Überlegung sollten die Morphotypen „natürliche“ Grenzen widerspiegeln. Fadentypen einer Art sollten sich - auch wenn an verschiedenen Gewässern gefunden - möglichst im selben Morphotyp befinden, um die ökologische Nische besser charakterisierbar zu machen und die Aussagekraft der Analyse zu erhöhen. Dies war jedoch nur bedingt möglich. Einerseits zeigte sich bei der Kultivierung von einzelnen isolierten Fadentypen, dass die Variabilität eines Fadentyps (der nur zu einer Art gehört) recht hoch sein kann, womit sich bei sehr vielen möglicherweise vorkommenden Arten auch viele mögliche Überlappungsbereiche ergeben. Andererseits wird die Erkennung solcher „natürlicher“ Grenzen bei nur drei verwertbaren Merkmalen erschwert. Trotzdem gab es Merkmalsausprägungen, die gehäuft vorkamen und zwischen denen kaum Übergangsformen gefunden wurden. So ist z. B. eine solche „natürliche“ Grenze bei Fadentypen mit ebener Querwand sichtbar: Fadentypen, mit mehr als 2 Chloroplasten waren durchschnittlich entweder zwischen 25 und 45 µm breit oder über 50 µm (Manuskript, Fig. 3), aber kaum zwischen 45 und 50 µm.

Mit der vorliegenden Gruppierung wurden Morphotypen gebildet, die diesen Grenzen Rechnung tragen und in der Größenordnung ihrer Merkmalsausprägung durchaus bereits beschriebenen Arten ähneln.

Die Aufbereitung der Umweltvariablen durch eine Hauptkomponentenanalyse resultierte in 5 Hauptkomponenten, die die grundlegende Information des Datensatzes gekürzt wiedergeben (Manuskript, Table 3): Ionengehalt, Wasserhärte, Phosphorgehalt, Stickoxidgehalt, Lichtgenuss. Diese wurden mitsamt Temperatur mittels CCA in Beziehung zu den 13 Morphotypen gesetzt.

Für das Vorkommen dieser 13 Morphotypen wurde ein signifikanter Zusammenhang mit den Nährstoffen gefunden (Manuskript, Fig. 4). Vor allem der Phosphorgehalt und nach diesem der Nitrat-/Nitritgehalt des Wassers erwiesen sich als Schlüsselvariablen, während die anderen Umweltbedingungen keinen signifikanten Einfluss hatten. Grob betrachtet ergab sich die Aussage, dass Morphotypen mit größerer Fadenbreite und höheren Chloroplastenzahlen unter erhöhten Phosphorgehalten vorkamen. Phosphor gilt im Süßwasser als der limitierende Faktor für Algenwachstum (Sommer, 1994), daher erscheint es vernünftig, dass Algen, die einen höheren Nährstoffbedarf zum Zellaufbau haben, auch auf genügend Grundnährstoff zurückgreifen können müssen. Diese allgemeine Tendenz trifft jedoch scheinbar nicht auf alle Morphotypen zu. Morphotyp p9 kam zwar nicht unter erhöhten Gesamtposphorkonzentrationen vor, dafür aber unter leicht erhöhten Konzentrationen gelösten Phosphors, welcher für Algen schneller verfügbar ist (Sommer, 1994). Jene Morphotypen, die unter den höchsten Phosphorkonzentrationen vorkamen, sind p7 und r3.

Obwohl die Morphotypen p4 und p5 nicht die geringsten Zellgrößen hatten, kamen sie durchschnittlich unter den geringsten Nährstoffbedingungen vor. Oft wurden diese Fadentypen mit Wurzelzellen (Rhizoiden) verankert auf Holz oder an Steinen im Uferbereich des Gewässers gefunden. Bei sehr geringen Phosphorgehalten hatten sie, bedingt durch langsames Wachstum (Czurda, 1931), recht lange Zellen und dicht gedrängte Chloroplasten. Diese Eigenschaften könnten als Anpassung an oligotrophe Bedingungen, oder zu deren Überdauerung (bis sich die Wachstumsbedingungen bessern) gedeutet werden. Es wäre auch denkbar, dass die Verankerung dazu dient, bei lokalen Nährstoffquellen (z.B. Wasservogel exkrementen, upwelling) zu bleiben, ohne verdriftet zu werden.

Morphotyp p1 war jener, der mit 84 Standorten am häufigsten gefunden wurde. Damit deckt er auch fast das gesamte Spektrum an Umweltbedingungen ab und ist im CCA-Diagramm in der Mitte zu finden, weshalb ihm keine Indikatorfunktion zukommt.

Erhöhter Nitrat-/Nitritgehalt beeinflusste das Vorkommen von Morphotyp p2 stark positiv, während Morphotypen höherer Zellbreite (p6, p8, p9, p10, nicht aber p7) eher unter niedrigen Stickoxidkonzentrationen vorkamen. Nitrit und Nitrat sind als Stickstoffquellen wichtige

Nährstoffe für Algen, allerdings wird Ammonium, wenn es vorhanden ist, bevorzugt aufgenommen, da es bereits in reduzierter Form vorliegt. Nitrit und Nitrat müssen erst energieaufwändig reduziert werden, bevor sie in Aminosäuren eingebaut werden können (Sommer, 1994). Offenbar tolerieren breitere Fadentypen hohe Stickstoffgehalte schlechter, während p2 Fadentypen diese bevorzugen.

Die Temperatur wurde in mehreren Studien als wichtig für das Vorkommen unterschiedlich breiter Fadentypen erachtet (Transeau, 1916; Wang et al., 1989; Berry and Lembi, 2000). Bei vorliegender Analyse wurde sie aber als nicht signifikante Variable vom CCA-Modell ausgeschlossen. Das bedeutet nicht, dass sie keinen Einfluss hat, denn hier wurden sehr viele Einzelmessungen von verschiedenen Gewässern durchgeführt, während die Temperaturänderung eines einzelnen Gewässers im zeitlichen Verlauf unberücksichtigt blieb, was sich auf die Aussagekraft dieser Variable auswirken könnte. Bevorzugungen höherer oder niedrigerer Temperatur sind trotzdem als Tendenzen erkennbar (Manuskript, Table 5). Morphotyp p2 und r3 scheinen niedrigere Temperaturoptima zu haben, p3 und p8 höhere.

Ionen sind wichtig für Algen als Nährstoffe, aber im Gegensatz zu gelöstem Phosphor beispielsweise sind sie zumeist als Überschusselemente im Wasser gelöst. Daher spiegelt der Ionengehalt vielmehr die geologischen Bedingungen des Gewässereinzugsgebietes dar als auch den Verbrauch durch Algen (Sommer, 1994). Bei den Ionengehaltsoptima (Manuskript, Table 5) fiel auf, dass bei Morphotyp r3 fast alle Ionen hoch konzentriert vorlagen, nicht jedoch Magnesium, welches das niedrigste Optimum aller Morphotypen aufwies. Das kann damit erklärt werden, dass dieser Morphotyp nur im nördlichen Teil Deutschlands gefunden wurde, wo generell geringere Magnesiumkonzentrationen gemessen wurden als in Österreich.

Bei den Variablen für die Lichtbedingungen wurden nur geringe Unterschiede gefunden, die trotzdem als leichte Tendenzen interpretiert werden können. Morphotypen mit mehr Chloroplasten kamen durchschnittlich unter etwas geringeren Strahlungsintensitäten vor. Der geringste Durchschnittswert wurde für Morphotyp r3 notiert, der möglicherweise durch stärkere Einstrahlung negativ beeinflusst wird.

Conclusio

Im Rahmen dieser Studie wurden für artifiziell konstruierte Morphotypen autökologische Daten erhoben, die auch für durch Morphotypen repräsentierte Arten gelten können. Da jedoch die Artbestimmung in der Gattung *Spirogyra* wohl weiterhin schwierig bleiben wird, können die erarbeiteten Morphotypen als erster Ansatz für Bioindikation verwendet werden.

Literatur

- Allen, M.A., 1958. The biology of a species complex in *Spirogyra*. University. Ph.D. thesis. Bloomington, Indiana, USA.
- APHA, 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition. Am. Pub. Health Assoc., Washington D.C., USA.
- Berry, H.A., Lembi, C.A., 2000. Effects of temperature and irradiance on the seasonal variation of a *Spirogyra* (Chlorophyta) population in a midwestern lake (USA). J. Phycol. 36: 841-851.
- Czurda, V., 1931. Zur Morphologie und Systematik der Zygnemalen. Sonderabdruck aus "Beihefte zum Bot. Centralbl." 48: 238-285.
- Frazer, G.W., Canham, C.D., Lertzmann, K.P., 1999. Gap Light Analyzer Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation Copyright © 1999: Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, CANADA, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York, USA.
- Hawes, I., 1988. The seasonal dynamics of *Spirogyra* in a shallow, maritime Antarctic lake. Polar. Biol. 8: 429-437.
- Hoshaw, R.W., McCourt, R.M., 1988. The Zygnemataceae (Chlorophyta): a twenty-year update of research. Phycologia 27: 511-548.
- Kadlubowska, J.Z., 1984. Conjugatophyceae I - Zygnemales. In: Ettl, H., Gerloff, H., Heynig, H., Mollenhauer, D. (Eds.): Süßwasserflora von Mitteleuropa, Chlorophyta VIII. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Legler, C., 1988. Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung. Band 1: Chemische, physikalisch-chemische und physikalische Methoden. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- McCourt, R.M., Hoshaw, R.W., 1990. Noncorrespondence of breeding groups, morphology, and monophyletic groups in *Spirogyra* (Zygnemataceae: Chlorophyta) and the application of species concepts. Syst. Bot. 15: 69-78.
- Rieth, A., 1983. Eine *Spirogyra* von der Ostsee bei Zingst. Genetic Resources and Crop Evolution 31: 317-326.
- Sommer, U., 1994. Planktologie. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Transeau, E.N., 1916. The periodicity of freshwater algae. Am. J. Bot. 3: 121-133.
- Transeau, E.N., 1951. The Zygnemataceae. The Ohio State University Press, Columbus, Ohio.
- Van Den Hoek, C., Mann, D. G., Jahns, H.M., 1995. Algae - An introduction to phycology. Cambridge University Press.
- Wang, J.C., Hoshaw, R.W., McCourt, R.M., 1989. Diversity of *Spirogyra* (Chlorophyta) filament types on an altitudinal gradient. Br. Phycol. J. 24: 367-373.

Tabellennachweis

Manuskript:

Table 1: Summary of environmental variables measured at 133 <i>Spirogyra</i> sites.....	13
Table 2: Summary of filament characteristics (cross wall, average cell width and average chloroplast number) for the 13 morphotypes	15
Table 3: Transformations of the input variables for principal component analysis and their loadings on the principal components.....	17
Table 4: Weighted averages of principal components and water temperature for morphotypes.....	19
Table 5: Summary characteristics of environmental variables for the morphotypes.....	20

Abbildungsnachweis

Abbildung 1: Schematische Darstellung einer typischen Zelle der drei häufigsten Gattungen der Jochalgen	1
Abbildung 2: Schema des Lebenszyklus und der Konjugationstypen bei <i>Spirogyra</i>	2
Abbildung 3: Schema der lichtmikroskopisch sichtbaren Zellbestandteile von <i>Spirogyra</i>	3
Abbildung 4: Verschiedene Formen der Ausbildung der Querwand	4
Abbildung 5: Erfassung der Lichtbedingungen durch hemisphärische Fotos	5

Manuskript:

Fig. 1. Locations of the 133 sampling sites in Central Europe.....	11
Fig. 2. Frequency distribution of filament widths for 333 <i>Spirogyra</i> filament types.....	14
Fig. 3. Cluster analysis of filament characteristics from 333 <i>Spirogyra</i> filament types resulted in 13 morphotypes.....	16
Fig. 4. Canonical correspondence analysis (CCA) biplot of <i>Spirogyra</i> morphotypes.....	18

Alle Bilder stammen, wenn nicht anders in der Legende vermerkt, vom Verfasser.

Mikroskopische Fotos: Roland Hainz und Charlotte Wöber

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Zusammenfassung und Abstract

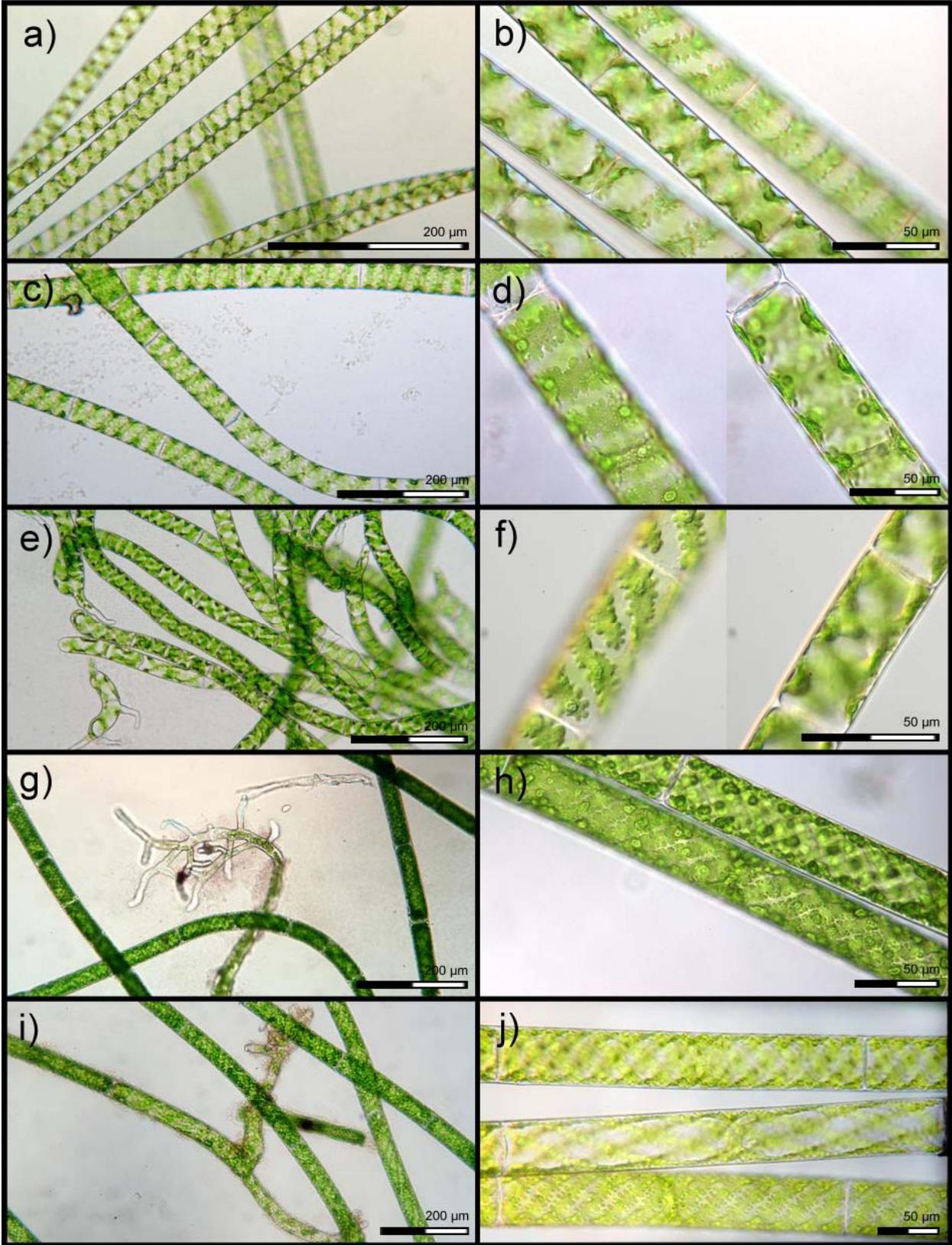
Zusammenfassung

Spirogyra ist eine im Süßwasser häufig anzutreffende Gattung aus der weiteren Verwandtschaft der Grünalgen. Da sie meist vegetativ gefunden wird und damit nicht bis zur Art bestimmt werden kann, sind autökologische Fragestellungen nur schwierig zu bearbeiten. Daher wurden aufgrund der vegetativ-morphologischen Unterschiede von an 133 Standorten in Mitteleuropa gefundenen 333 Fadentypen mittels Clusteranalyse Gruppen (Morphotypen) gebildet. Diese wurden anhand Kanonischer Korrespondenzanalyse in Beziehung zu parallel erhobenen Umweltbedingungen im aquatischen Lebensraum (Nährstoffe, Ionengehalt, Lichtbedingungen, Wassertemperatur) gesetzt. Die Gattung *Spirogyra* wurde über einen breiten Umweltgradienten bezüglich der Nährstoffe im Süßwasser gefunden und schien nur saure Bereiche ($\text{pH} < 6$) zu meiden. Die Clusteranalyse der drei morphologischen Merkmale Querwand, Chloroplastenzahl und Zellbreite ergab 13 Morphotypen mit eindeutig definierten Grenzen dieser Merkmale. Als Ergebnis der Kanonischen Korrespondenzanalyse zeigten sich Nährstoffe (Phosphorgehalt, Stickstoffgehalt) als die entscheidenden Variablen für das Vorkommen einzelner Morphotypen, während andere Umweltbedingungen eine geringere Rolle spielten. Morphotypen von größerer Zellbreite wurden unter erhöhten Nährstoffbedingungen gefunden. Die erarbeiteten Morphotypen können als Basis für bioindikatorische Analysen dienen, in denen *Spirogyra* als Gattung bisher kaum berücksichtigt wurde.

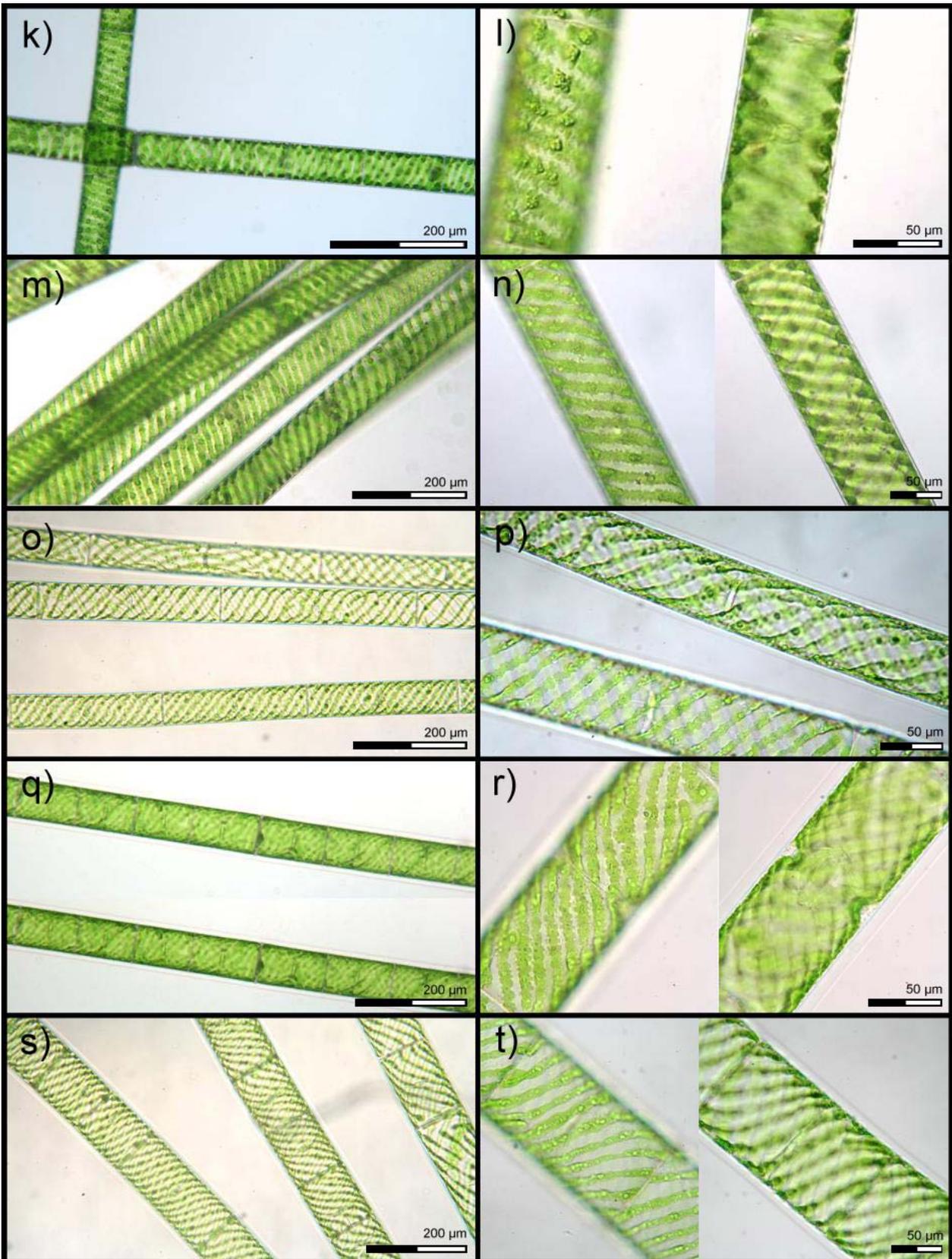
Abstract

Species identification of the common filamentous green alga *Spirogyra* is mainly based on the conjugation process and zygospores. However, this genus is mostly found in its vegetative stage making it impossible to study requirements for individual species. We therefore assessed the relationship between vegetative *Spirogyra* filament type groups (morphotypes) and environmental conditions (mainly ions, nutrients, light supply and water temperature). Sampling was done at 133 sites in Central Europe and in total 333 different filament types were classified. *Spirogyra* was found at pH values between 6.2 and 9.1, while alkalinity ranged from 0.6 to 7.9 mval l^{-1} . The genus is colonizing habitats with a specific conductivity between 75 and 1500 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Total phosphorus amounts varied between 1 and 2240 $\mu\text{g l}^{-1}$ with most values around 34 $\mu\text{g l}^{-1}$, indicating mesotrophic conditions as optimal growth range. Filament type grouping by means of cluster analysis was based on cell cross walls (plane or replicate), average cell widths and average chloroplast numbers and resulted in 10 groups with plane cross walls and 3 with replicate cross walls. Canonical correspondence analysis revealed nutrients to be the key factor for morphotype occurrence: filaments with increased cell widths preferred elevated nutrient conditions. Other environmental variables (ions, buffer capacity, light supply and water temperature) had no significant effects on morphotype occurrence.

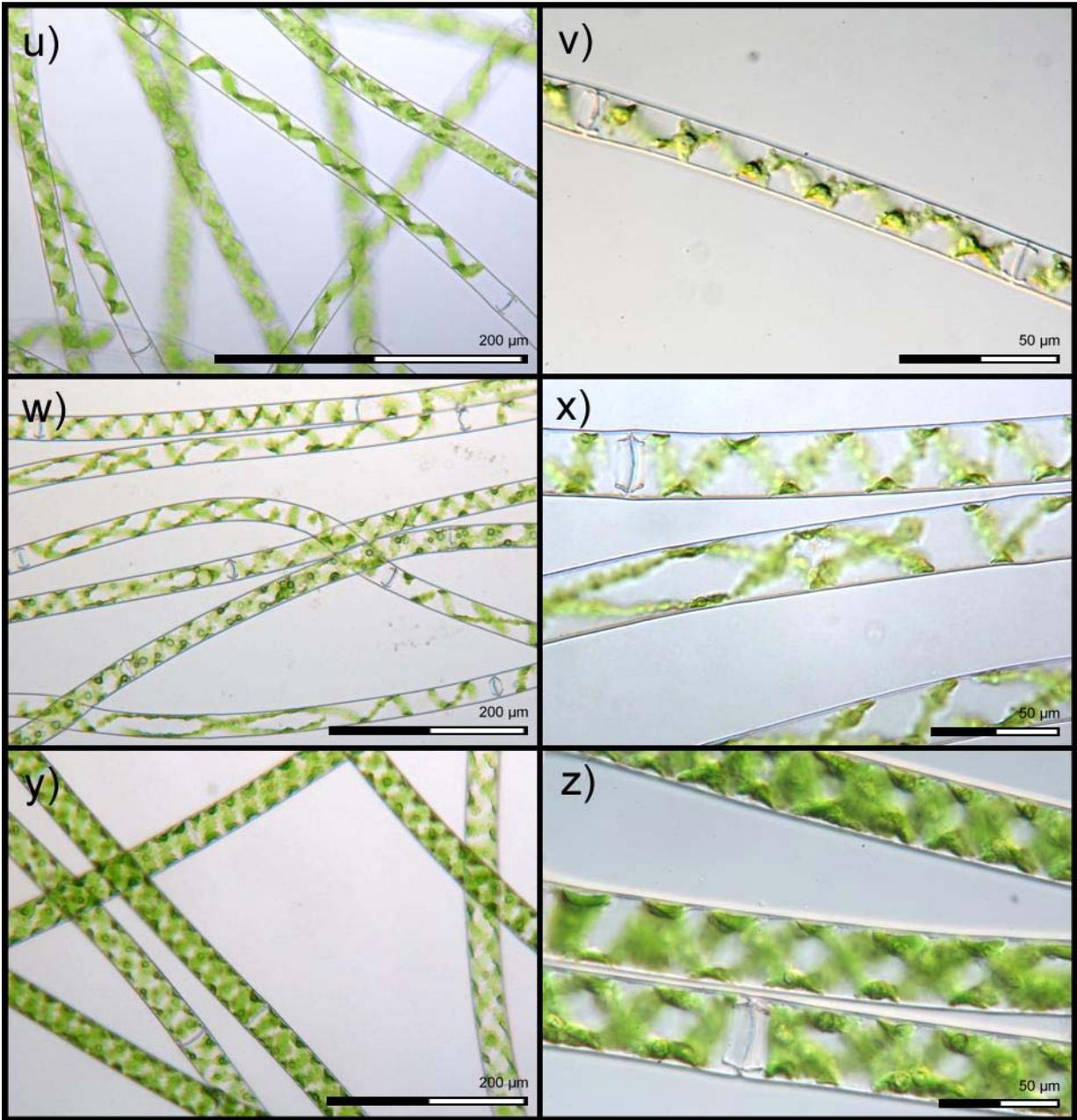
ANHANG I - Bilder der Morphotypen



Legende: a, b p1
 c, d p2
 e, f p3
 g, h p4
 i, j p5

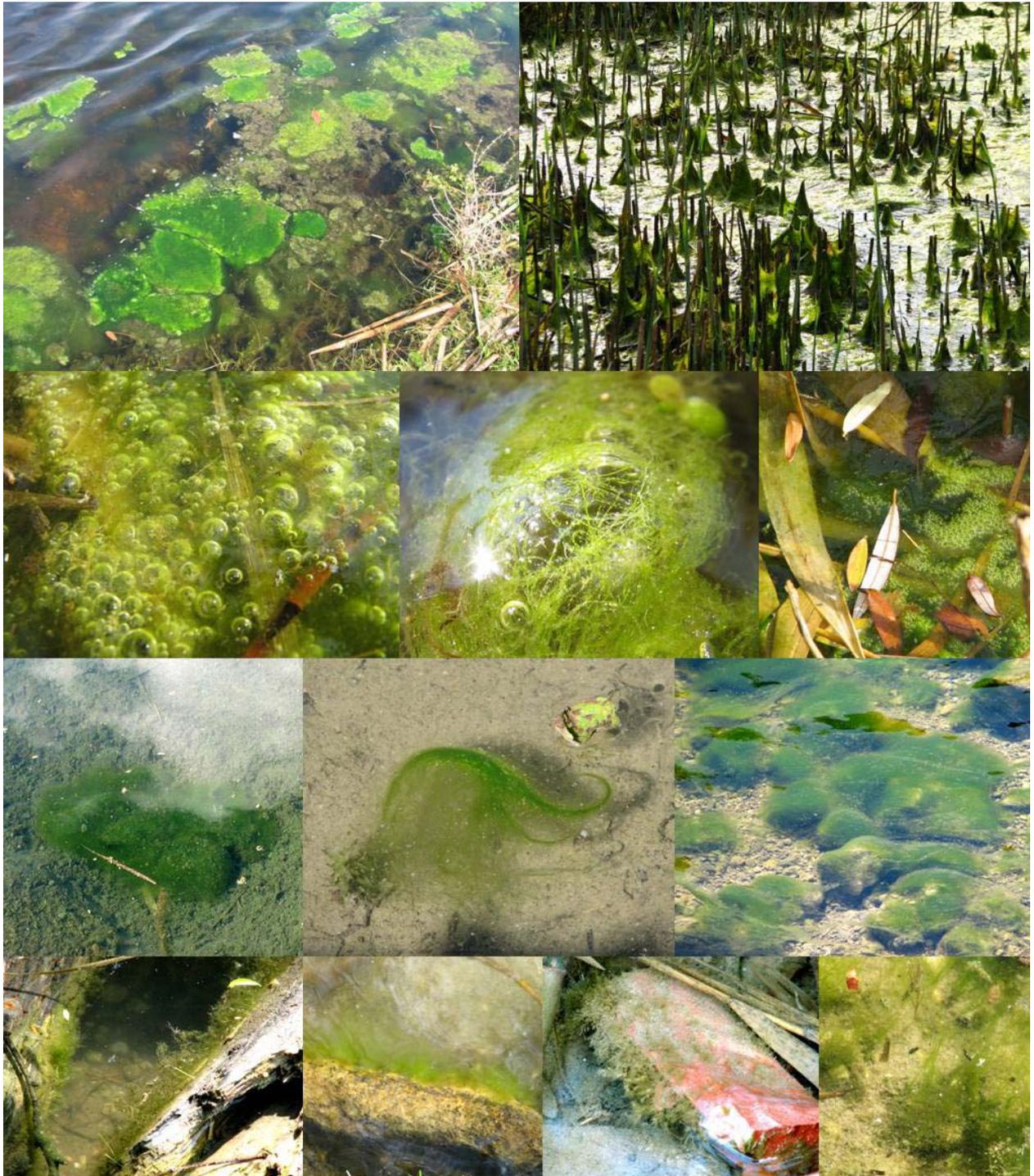


Legende: k, l p6
 m, n p7
 o, p p8
 q, r p9
 s, t p10



Legende: u, v r1
 w, x r2
 y, z r3

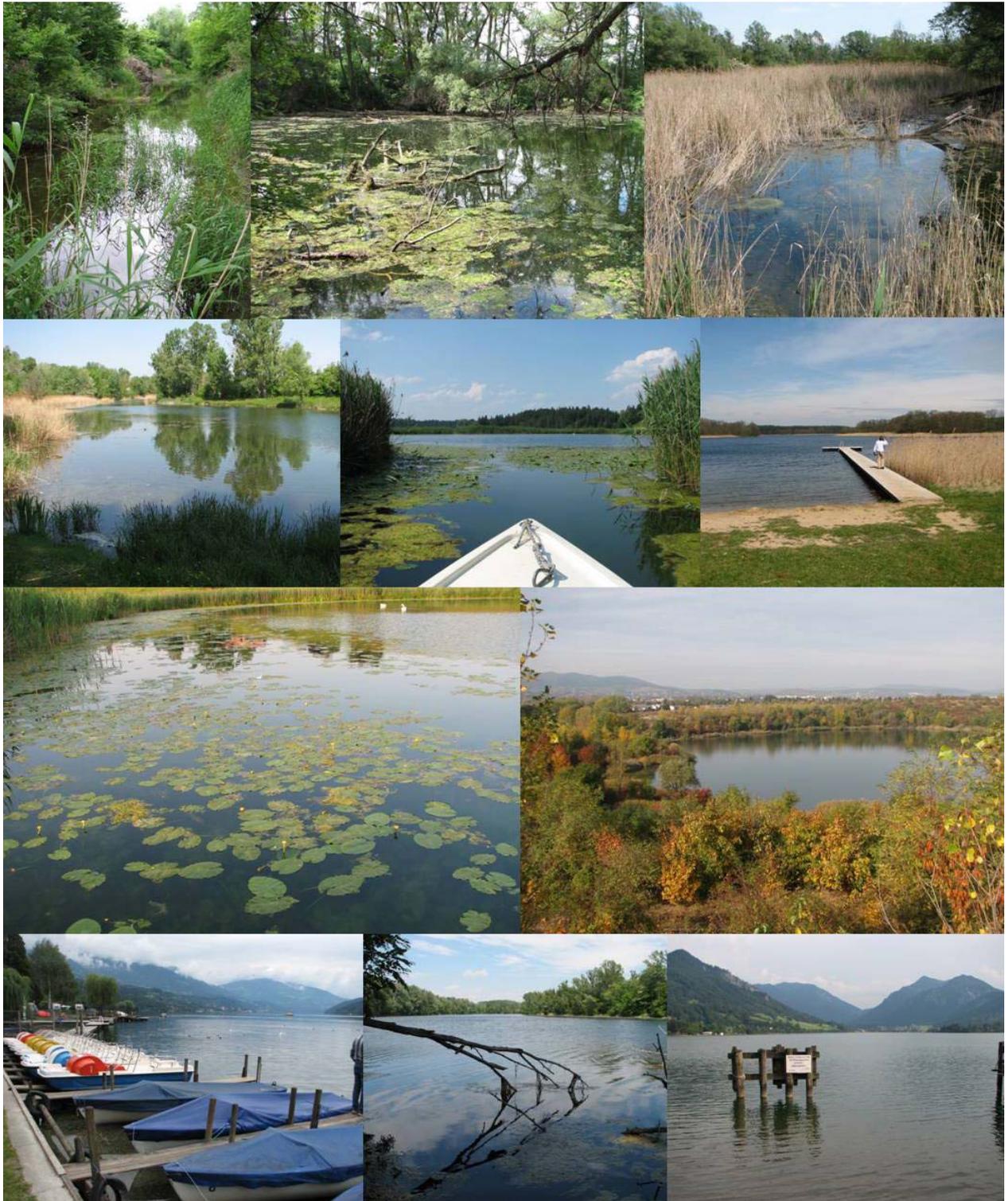
ANHANG II - Bilder von den Sammelreisen



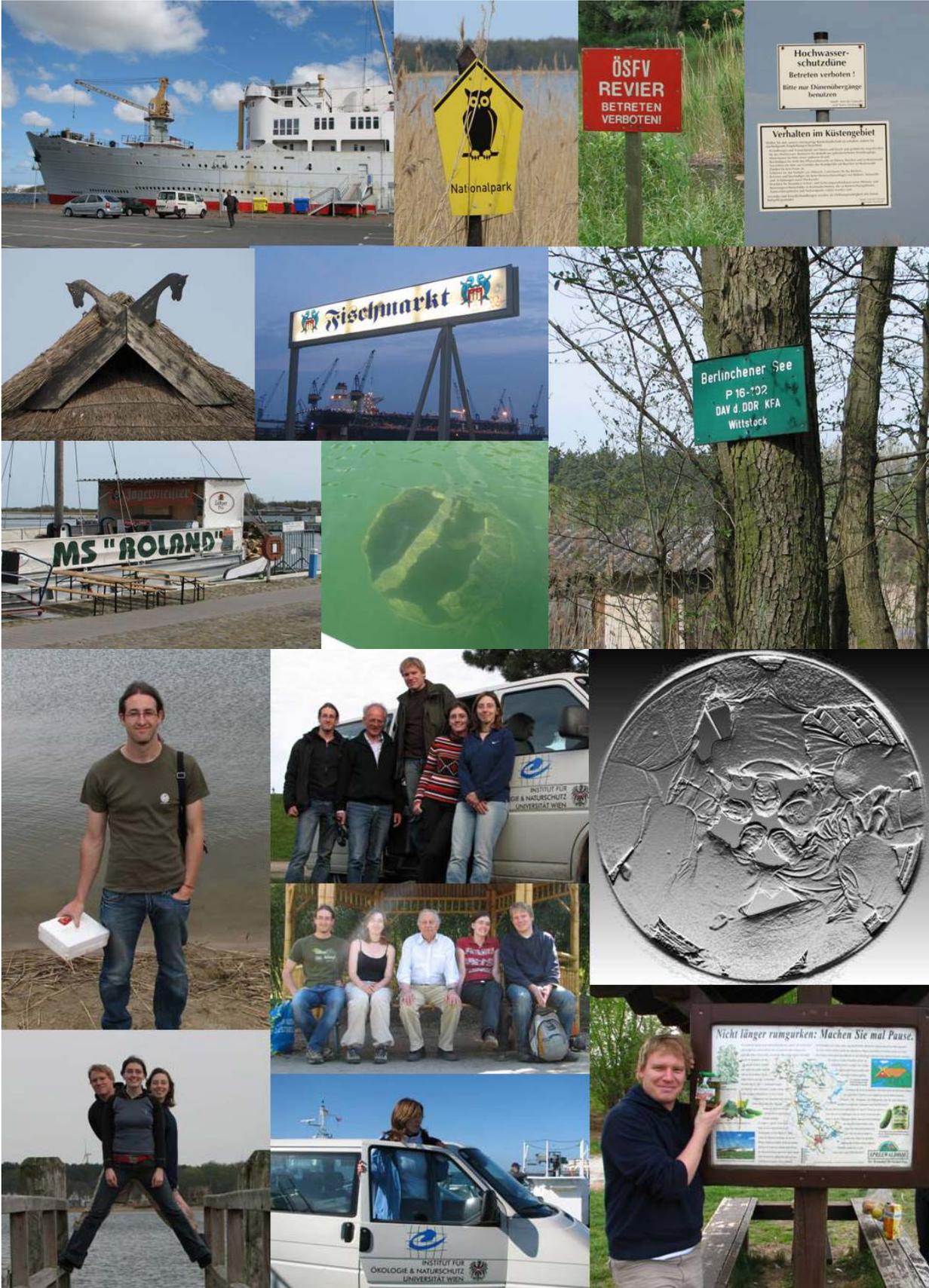
Makroskopische Erscheinung von *Spirogyra*. Oft sieht man bei an der Oberfläche schwimmenden Watten photosynthesebedingte Sauerstoffblasen. Man findet sie auch als untergetauchte Watten, oder an verschiedensten Substraten durch Rhizoide angewachsen.



Abbildungen verschiedenster Standorte, an denen *Spirogyra* gefunden wurde: Gartenteiche, Lösschteiche, Sumpfgelände, Gräben und Gerinne, Mooreseen...



...Augewässer, Toteisseen, Ziegelteiche, Voralpen- und Alpenseen.



Andere Impressionen von den Sammelreisen.

Danksagung

Ganz besonders danke ich meinem Betreuer, Michael Schagerl, für das Angebot des Diplomarbeitsthemas sowie dafür, dass er mir den Blick auf die mikroskopischen Schönheiten der Natur geöffnet und mich mit seiner Begeisterung und Leidenschaft für Algen auf seine Abteilung gebracht hat.

Weiters bedanke ich mich herzlich

bei all jenen, die unsere Sammelreisen unterstützt haben: Uta Raeder, Viktoria Tscherne, Henning Baudler, Ulf Karsten, Jana Wölfel, Dieter Hanelt, Ludwig Kies.

bei Hubert Krail für die Ionenanalyse.

bei allen meinen Abteilungskollegen der Arbeitsgruppe Phykologie – ich habe mich sehr wohl gefühlt in dem freundschaftlichen Umfeld. Insbesondere danke ich Charlotte Wöber, Teil deren Dissertationsarbeit ich mitgestalten durfte, für ihren Einsatz, ihre fachkompetente Zuhör- und Diskussionsbereitschaft wann immer ich es brauchte, und ihre guten Ratschläge bei allen Problemen.

Außerdem danke ich: Melanie Zwirn und Martin Gruber (das Spirogyra-Einsatz-Team bei den Sammelreisen in Deutschland), Bernhard Braun, Katharina Bürger, Romana Limberger, Romana Niedermayr, Nella Pokorny und alle anderen (Ex-) Abteilungsmitglieder, mit denen ich mich nicht nur gern zum Kaffee getroffen habe, sondern zu denen auch Freundschaften entstanden sind.

bei meinen Freunden Ruth Töchterle, Michaela Sonnleitner, Michael Alletto und allen anderen, bei denen ich Ablenkung von meiner Diplomarbeit erfahren habe.

bei den Institutionen, allen voran dem Land Südtirol, die mir durch finanzielle Hilfe mein Studium ermöglicht haben.

bei meiner Freundin Christa, deren Hilfe und Unterstützung in allen Lebenslagen ich nicht mehr vermissen möchte.

Allerherzlichst danke ich meiner Familie für die Unterstützung in jeglicher Hinsicht und für all das, was sie zu meinem Leben beigetragen hat.

Curriculum vitae - Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Hainz Roland
Hauptwohnsitz: Pflaurenz 30/1, 39030 St. Lorenzen, BZ – Italien
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: Italien
Geburtsdatum: 19.07.1982
Geburtsort: Bruneck, Südtirol

Ausbildung:

09/96 – 07/01 Realgymnasium Bruneck, Abschluss mit Matura
10/01 Beginn des Biologiestudiums in Wien
11/03 Erste Diplomprüfung, Wahl der Studienrichtung Ökologie mit
Schwerpunkt Limnologie
03/06 Beginn der Diplomarbeit zum Thema „Autökologie von *Spirogyra*“
bei Ao.Prof.Mag.Dr. Michael Schagerl