

# Was lebt im Schwimmteich?

## Teil 2: Fadenalgen

Fadenalgen in Schwimm- und Badeteichanlagen sind immer wieder Gegenstand der Diskussion und häufig auch Ursache von Ärger und Verdruss, wenn sie im Übermaß auftreten. Dabei sind Fadenalgen keine neuzeitige Erscheinung, sondern seit jeher ein natürlicher Bestandteil der Lebensgemeinschaft von Gewässern.



Geringe Entwicklung von Fadenalgen in einem neu angelegten Badeteich



Deutliche Entwicklung von Fadenalgen in einem Aufbereitungsteich

Mit dem Wort Meteorpapier bezeichnete man schon vor langer Zeit Vorkommen ausgetrockneter fädiger Grünalgenwatten, die sich am Rande von Kleingewässern ablagern. Der Name geht auf P.-J. Hartmann zurück, der hierin Papier meteorischen Ursprungs sah, das 1686 vom Himmel gefallen war. Aber auch Namen wie Wiesenleder, Papierschnee, Oderhaut und Wassermanns Leinwand sind hierfür gebräuchlich. In Sibirien wurden Massenvorkommen fädiger Grünalgen zur Herstellung von Qualitätspapier genutzt. Die wichtigsten Arten gehören den Gattungen *Oedogonium*, *Cladophora*, *Mougeotia* und *Spirogyra* an. Sie leben im Uferbereich stehender und langsam fließender Gewässer, wo sie mit speziell entwickelten Basalzellen, den Rhizoiden, auf höheren Pflanzen oder auf Steinen siedeln. In Schwimm- und Badeteichen können sie zu Beeinträchtigungen des Badebetriebs führen, da sie bei Massentwicklungen watteartige Flecken bilden, die sich vom Substrat ablösen und durch eingeschlossene Sauerstoff-Blasen an der Wasseroberfläche auftreiben. So können während der Vegetationsperiode breite Uferstreifen mit Polstern, Büscheln oder Ballen bedeckt sein.

In der wissenschaftlichen wie in der populären Literatur existieren so gut wie keine zusammenfassenden Übersichtsartikel zu Fadenalgen und ihren ökologischen Ansprüchen. Mit der folgenden Übersicht der wichtigsten Gattungen und ihrer ökologischen Ansprüche wird diese Lücke ein Stück weit geschlossen. Die Autoren beabsichtigen, in Zukunft verstärkt zu den Ursachen von Massentwicklungen von Fadenalgen zu arbeiten und sind für Hinweise über derartige Phänomene - insbesondere bei gleichzeitiger Nennung der Umweltbedingungen - sehr dankbar. In der hier vorliegenden Fassung wird bewusst auf zu viele Fachausdrücke und auf die Nennung der Erstbeschreiber der jeweiligen Algenart verzichtet, um einer breiten Leserschaft Zugang zum Thema Fadenalgen zu ermöglichen.





Aufgetriebene Algenwatten im Nutzungsbereich

## Übersicht über wattenbildende Fadenalgen

Fädige Organisationsstufen kommen in allen Algenstämmen, den Cyanobacteria (Blualgen), Rhodophyta (Rotalgen), Heterokontophyta (Phaeophyta - Braunalgen, Chrysophyta - Goldalgen, Xanthophyceae), Pyrrophyta (Dinophyceae), Cryptophyta und Chlorophyta (Grünalgen), vor. Fast alle Arten, die Massenentwicklungen in Form von Algenwatten bilden und die für Naturbäder relevant sind, gehören zu den Grünalgen. Als bestandsbildend von Massenvorkommen sind Arten der Grünalgengattungen *Cladophora*, *Oedogonium*, *Mougeotia* und *Spirogyra* anzusehen. Ihnen ist gemein, dass sie mit den Assimilationspigmenten Chlorophyll a und b, Carotinen und Xanthophyllen über die Farbstoffe verfügen, die für Grünalgen charakteristisch sind. Die ökologischen Ansprüche von *Oedogonium*, *Mougeotia* und *Spirogyra* sind nur lückenhaft bekannt. Sie kommen zwar massenhaft

vor, entwickeln jedoch selten Sexualstadien, die zur Art diagnose notwendig sind. Bei *Cladophora* erschwert die variable biotopabhängige Wuchsform oftmals die exakte Art diagnose.

### Gattung *Cladophora*

Von den 34 in Europa registrierten Arten kommen neun im Süßwasser vor. Die kleinen Pflanzen sind in der Regel einjährig, können - wie *Cladophora glomerata* - jedoch einmalige Nachfröste und mit Hilfe ihrer dickwandigen Basalteile längere Perioden extremen Frostes überleben. Die Fäden von *Cladophora* sind verzweigt, wachsen büschelig und werden bis zu 1 Meter lang. Sie können sich mit Rhizoiden am Substrat festheften, flottieren aber auch frei im Wasser oder sind - im Fall von *C. fracta* var. *fracta* - immer losgelöst. Die Wuchsform und die Zellgröße variieren speziell bei *C. glomerata* und *C. fracta* innerhalb eines Standorts extrem, aber auch die ökologischen Bedingungen des Ge-

wässers führen darüber hinaus zu besonderen morphologischen Ausprägungen.

Die einzelnen Fäden bestehen aus meist langgestreckten Zellen, die eine große zentrale Vakuole und einen plasmatischen Wandbelag enthalten, in dem mehrere Zellkerne eingelagert sind. Die eckigen, scheibenförmigen Chloroplasten können zu einem Netz verknüpft sein, in dem zahlreiche stärketragende Pyrenoide liegen. Bei *C. glomerata* ist die Dichte dieses Chloroplasten-Netzes wie auch seine Farbe abhängig von der Sonneneinstrahlung. In Pflanzen, die von einem schattigen Standort stammen, sind die Chloroplasten zu einem sehr dichten Netz verbunden und intensiv grün. Bei Pflanzen, die von einem sonnigen Standort stammen, ist das Netz dagegen sehr weitmaschig und blass-grün. Hinzu kommt, dass blassere Pflanzen üblicherweise dünner sind als dunkle.

Je nach Art bestehen Unterschiede in der Weise der Fortpflanzung und in den





*Cladophora* sp. mit zahlreichen Verzweigungen

Umweltansprüchen. Die Bestimmung der limnischen *Cladophora*-Arten basiert auf ihrer Wuchsform, dem Durchmesser der Endzellen, ihrer Fortpflanzung durch begeißelte Zellen und der Form der Akineten (s. u.). Als weiteres Differenzierungsmerkmal dient die Beschaffenheit der Anhaftungszellen bzw. ob die Pflanzen angeheftet wachsen oder frei flottieren.

Die Vermehrung erfolgt bei den genannten Süßwasserarten durch begeißelte Zellen und Akineten. Diese Akineten sind kurze Algenfäden aus dickwandigen, stärke-speichernden Zellen und überdauern widrige Wachstumsbedingungen am Gewässergrund. Die Zoosporen werden freigesetzt, wenn sich die Temperatur- und Lichtbedingungen plötzlich ändern. Akineten werden in Laborkulturen gebildet, wenn das Kultivierungsmedium an Nährsalzen erschöpft ist.

*C. glomerata* entwickelt große Bestände in eutrophen Süßwässern und im Brackwasser vom Frühjahr bis zum späten Herbst. Laborexperimente zeigten, dass Phosphor-Konzentrationen ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) unterhalb von  $0,01 \text{ mg l}^{-1}$  wachstums-limitierend wirken. Hohe Ammoniumkonzentrationen sind positiv mit der Biomasse von *C. glomerata* korreliert.

Als besonders wichtige Faktoren für das Wachstum von *Cladophora* werden die

Wassertemperatur und das Licht angesehen. Temperaturen von unter  $13 \text{ }^\circ\text{C}$  beeinträchtigen das Vorkommen von *C. glomerata*, während bei  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  und einer Belichtung bis zu  $600 \text{ } \mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  die höchsten Wachstumsraten vorliegen. Unter Laborbedingungen erreich-

ten Freilandkulturen von *C. glomerata* bei  $190 \text{ } \mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  Lichtsättigung, während zu vernachlässigendes Wachstum bei  $29 \text{ } \mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  beobachtet und für Bestände im Erie-See bestätigt wurde. Die Toleranz von *C. glomerata* gegenüber hohen Lichtintensitäten lässt sich durch zahlreiche Funde von oberflächennaher Besiedlung trüber Gewässer bestätigen (Kanäle in den Niederlanden, Nord-Ostsee-Kanal). In klaren Gewässern, wie dem Zürichsee, kommt *C. glomerata* dagegen bis zu 10 Meter Tiefe vor.

*C. glomerata* findet sich häufig in Bächen mit hohen Kalzium-Bikarbonat-Gehalten und pH-Werten von 7,7 bis 8,8. Saure Gewässer dagegen werden gemieden, was auf hohe schädigende Konzentration von Eisen-Ionen zurückgeführt wird. In Kulturen wächst *C. glomerata* am besten zwischen pH-Werten von 7,5 und 7,7. Niedrigere Werte rufen bei den Pflanzen anomales Wachstum hervor. *C. glomerata* verfügt über drei Kohlenstoff-Aufnahme-Mechanismen, was in kalkarmen Gewässern und in Seen mit biogener Entkalkung im Sommer von Vorteil sein kann.

Eine geringe Verschmutzung wird von *C. glomerata* toleriert und fördert sogar die Entwicklung, wogegen sie in stark verunreinigten Biotopen nicht vorkommt. Diese Beobachtungen wurden an Kulturen überprüft. So wuchs *C. glomerata* in unverdünntem biologisch und me-



*Cladophora* sp. mit Aufwuchsdiatomeen (Kieselalgen)

chanisch geklärtem Abwasser schlecht. Wurde dieses mit Seewasser verdünnt, trat starkes Wachstum ein.

### Gattung *Oedogonium*

Die Gattung *Oedogonium* kommt weltweit vor und ist mit 465 Arten überwiegend im Süßwasser verbreitet. Nur wenige Arten kommen im Brack- und Salzwasser vor. Sie besiedeln Teiche, Tümpel, Gruben, Gräben, Seen, Talsperren, Bäche und Flüsse.

Die unverzweigten Fäden bestehen aus zylindrischen Zellen, die zum Teil mit kappenförmigen Enden versehen sind. In ihnen liegt der große, teils streifig, gitter- oder netzartig durchbrochene Chloroplast der Zellwand an, der - je nach Art - einen oder mehrere Stärkeumlagerter Pyrenoide enthält.

Vegetatives Wachstum findet unter nährstoffreichen Bedingungen statt. Die zylindrischen Zellen im mittleren Abschnitt teilen sich, wobei sich im oberen Teil der Zelle die charakteristischen Kappen bilden.

Die ungeschlechtliche Fortpflanzung findet durch Akineten und Zoosporen statt. Die Zoosporen bilden sich einzeln aus dem gesamten Inhalt einer Zelle und besitzen mehr als 100 kranzförmig angeordnete Geißeln. Nach einer kurzen Schwärmzeit setzen sie sich auf dem zu besiedelnden Substrat fest und keimen zu einem neuen Faden aus, der mit einem Rhizoid am Substrat haftet.

Die sexuelle Fortpflanzung ist ein durch Hormone gesteuerter Prozess. Wenn es zu keiner Befruchtung der Gameten kommt, sind diese in der Lage, sich mit einer derben Hülle zu umgeben, und werden zu Parthenosporen. Für die Artdiagnose sind die Sexualstadien unerlässlich.

*Oedogonium*-Arten bevorzugen flache Bereiche in Gewässern und entwickeln unter windstillen Bedingungen Watten, die große Flächen bedecken können. Kulturversuche zeigten, dass für das vegetative Wachstum der Bedarf an Phosphor über dem von Stickstoff und Spurenelementen liegt. Als optimale Temperaturen gelten 20 bis 25 °C, bei denen unter Labor-Kulturbedingungen die höchsten Photosyntheseraten gemessen wurden. Gehen die Temperaturen darüber hinaus, neigt *Oedogonium* sp. zu massiver Zoosporenbildung und zum Auseinanderbrechen der Fäden.

Kommen sie in kalkreichen Gewässern bei pH-Werten über 7 auf Wasserpflanzen wie *Potamogeton* und *Elodea* vor, sind die Fäden gewöhnlich mit Kalk-

krusten bedeckt, die durch eine hohe Photosynthese hervorgerufen werden und sich hemmend auf die weitere Entwicklung auswirken. Spezielle Angaben zur Ökologie von *Oedogonium* beziehen sich auf Bestände, in denen die geschlechtliche Fortpflanzung beobachtet wurde. Die geschlechtliche Phase dauert in der norddeutschen Tiefebene von April bis Oktober und ist in den Gebirgen auf den Zeitraum von Juli bis Oktober verkürzt.

Zur Bildung der Geschlechtszellen gilt die Gewässertiefe zwischen 0,5 bis 1 m Tiefe als optimal. In den Uferbereichen von Seen wird diese Zone von den emersen Wasserpflanzen *Equisetum limosum*, *Glyceria maxima*, *Phragmites australis*, *Sparganium ramosum* und *Typha* spp. eingenommen, die reich mit *Oedogonium*-Arten besiedelt sind. Auf den submersen Wasserpflanzen *Potamogeton* spp., *Elodea* spp. und *Batrachium* spp. dagegen, die sich unterhalb dieser Zone erstrecken, werden weitaus weniger Sexualstadien gebildet. Dieses unterstreicht, dass Licht neben der Temperatur von großer Bedeutung für die Ausbildung der Sexualzellen ist. Hinzu kommen pH-Werte zwischen 6,0 und 7,8 und Nährstoffmangel.

Untersuchungen an Labor-Kulturen verschiedener Arten haben Stickstoffmangel als den wichtigsten Initiator für die Ausbildung von Gameten nachgewiesen. So führen stickstoffarme Kulturmedien zur maximalen Bildung von Oogonien. Die Art der Stickstoffquelle ist dabei von untergeordneter Bedeutung, da die Zugabe geringer Konzentrationen von Nitrat, wie auch Ammonium oder Harnstoff zu reduzierten Bildungsraten von Oogonien führt. Keine Oogonien werden bei einer deutlichen Erhöhung der Stickstoffquelle gebildet. Phosphor hat nur einen geringen Effekt auf den Prozess der Geschlechtsdifferenzierung, da ein Mangel die Bildung von Oogonien verzögert und dann in geringerer Anzahl einleitet. Das Vorhandensein bzw. die Abwesenheit von Kalzium hat keine Auswirkungen auf die Oogonien-Bildung.

Für die Keimung der Zygoten werden ein Überschuss von CO<sub>2</sub> im Medium und/oder eine Photoperiode von 18 Stunden Helligkeit und 6 Stunden Dunkelheit bei *Oedogonium plagiostomum* verantwortlich gemacht. Auch für die Zoosporenbildung scheint ein hohes Verhältnis von CO<sub>2</sub> : O<sub>2</sub> vorliegen zu müssen, wie eine Untersuchung von 17 *Oedogonium*-Arten zeigt. Die Zoosporenbildung

findet in der Dunkelheit statt und ist tagsüber gehemmt. Eine Temperaturerhöhung wirkt sich nicht direkt auf die Entwicklung der Zoosporen aus.

Die ungeschlechtliche und geschlechtliche Fortpflanzung macht *Oedogonium* zu einer erfolgreichen Gattung. Die Produktion von Zoosporen während optimaler Nährstoffversorgung führt zur schnellen Besiedlung neuer Substrate, während die Arten als Oospore nicht-optimale Bedingungen wie bei Eisbedeckung, periodisch austrocknenden Uferbereichen, Licht und Nährstoffmangel mehr als 20 Jahre überdauern können.

## Glossar

**Akinet:** dickwandige Ruhespore, die direkt aus einer vegetativen Zelle entsteht

**Aplanospore:** unbewegliche Spore, die durch Aufteilung des Protoplasten entsteht

**Chloroplast:** Zellorganelle, in der sich die an Membranen gebundenen Photosynthesepigmente befinden, Ort der Photosynthese

**Gamet:** männliche bzw. weibliche Sexualzelle, die begeißelt und unbegeißelt sein kann

**Gametangium:** Zelle, in der die Gameten gebildet werden

**Mesospor:** mittlere Wandschicht einer dickwandigen Spore oder Zygote

**Oogon:** Zelle, deren Inhalt sich in Eizellen aufteilt

**Oospore:** Dauerstadium einer befruchteten Eizelle

**Parthenospore:** unbefruchteter Gamet, der sich mit einer derben Hülle umgeben hat

**Plasmatischer Wandbelag:** peripheres Plasma der Zelle, in dem sich die Chloroplasten, Zellkerne und weitere Zellorganellen befinden

**Protoplast:** Zellinhalt innerhalb der Zellwand

**Pyrenoid:** lichtmikroskopisch sichtbare, meistens kugelförmige oder ellipsoide Struktur im oder am Chloroplasten, Ort der Stärkeablagerung

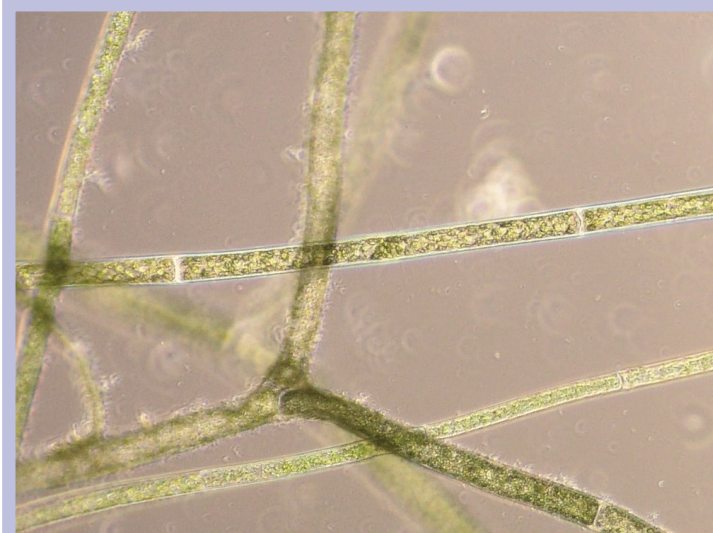
**Rhizoid:** ein- oder mehrzelliger, wurzelförmiger Zellfaden, der zur Festhaltung dient

**Vakuole:** Kompartiment im Zellinnern, in dem organische und anorganische Substanzen in wässriger Lösung vorkommen

**Zoospore:** nicht sexuelle Zelle, die sich mit Geißeln fortbewegt

**Zygote:** befruchtete Eizelle





*Spirogyra* sp.: Im Gegensatz zu *Cladophora* sind die Zellwände nicht mit Aufwuchs bewachsen.

### Gattungen *Mougeotia* und *Spirogyra*

Die Gattungen *Mougeotia* und *Spirogyra* entwickeln sich unter schwach alkalischen, neutralen oder sauren Bedingungen. Sie kommen vor allem in Binnengewässern vor und werden nur vereinzelt im Brackwasser und in Salinen registriert. Im Meer fehlen sie gänzlich.

*Mougeotia* und *Spirogyra* wachsen als einfache, unverzweigte Fäden, deren Einzelzellen gleichwertig und physiologisch selbständig sind. Die Fäden sind mit einer Gallertschicht umgeben, wodurch sie sich schleimig anfühlen. Sie können mit einer Rhizoidzelle auf dem Substrat festsitzen, entwickeln sich aber nach längerem Wachstum auch losgelöst und können frei im Wasser flottieren.

Die Zellen sind zylindrisch und besitzen eine geschichtete porenlose Zellwand. Im Zellinneren befinden sich Vakuolen, die Gerbstoffe enthalten, wodurch die Anheftung von anderen Organismen (z.B. andere Algen) an die Gallertscheide verhindert wird. Die Chloroplasten haben die Form eines axialen Bandes und enthalten Pyrenoide, die mit einer aus Stärkekörnern zusammengesetzten Scheide umgeben sind.

Jede Zelle des Fadens ist zur Querteilung befähigt. Nach wiederholten Zellteilungen zerfällt ein langer Zellfaden in Teilfäden, bzw. sehr kurze Segmente bis hin zu Einzelzellen, die alle in der Lage sind, zu neuen Fäden auszuwachsen.

Bei der sexuellen Fortpflanzung entstehen zwischen benachbarten Fäden

Kopulationskanäle, die das Verschmelzen der Geschlechtszellen ermöglichen, aus denen sich anschließend die Zygote entwickelt. Findet keine Vereinigung der Gameten statt, sind diese in der Lage, sich mit einer derben Zellwand zu umhüllen und als Parthenosporen ungünstige Bedingungen zu überdauern. Als Dauerstadien dienen ebenfalls Aplanosporen sowie Akineten.

Die Beobachtungen, dass *Mougeotia* und *Spirogyra* ihre größten Vorkommen im Freiland im Frühjahr und Sommer bilden, wenn sie durch eine hohe Lichtstrahlung gefördert werden, sind durch Experimente bei unterschiedlichen Lichtintensitäten untermauert worden. Liegen dann noch zusätzlich erhöhte Phosphor- und Stickstoffkonzentrationen vor, wird *Spirogyra* sp. zur erfolgreichsten Fadenalge. Die Phosphorkonzentrationen, bei denen es zu einem Dominanzwechsel in der Algen-gesellschaft zu Gunsten von *Spirogyra* sp. und *Mougeotia* sp. kommt, liegen über 0,01 mg P l<sup>-1</sup>).

Für die Bestimmung von *Mougeotia* und *Spirogyra* sind folgender Merkmale zu beachten:

- Bau des Fadens
- Form und Anzahl der Chloroplasten
- Lage des Pyrenoids
- Breite der vegetativen Zellen
- Art der Fortpflanzung
- Form der weiblichen Gametangien
- Form der Konjugationskanäle
- Form und Größe der Zygoten
- Bildungsort der Zygoten
- Skulpturierung und Farbe der Zygotenschichten.

Von *Mougeotia* existieren weltweit über 123 Arten, wobei *M. laetevirens*, *M. parvula*, *M. scalaris* und *M. viridis* als die am häufigsten vorkommenden genannt werden. Im Brackwasser erscheint *Mougeotia* nur gelegentlich.

Vegetative Zellen sind bis zu 20mal länger als breit und haben ebene Querwände. Der plattenförmige Chloroplast besitzt zwei oder mehrere Pyrenoide und dreht sich entsprechend der Lichteinstahlung in eine für ihn optimale Position, d. h. bei Schwachlicht ist er senkrecht und bei Starklicht parallel zur Einstrahlungsrichtung orientiert. Temperatur, Einstrahlung und gelöster Kohlenstoff sind als die wichtigsten wachstumsbeeinflussenden Faktoren von *Mougeotia* anzusehen. Als optimale Kulturbedingungen wurden Temperaturen von 25 °C bzw. 26 °C und Strahlungsintensitäten zwischen 300-2300  $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ermittelt. Eine Absenkung des pH-Wertes auf 4,7 in Freilandexperimenten führten zu einer zunehmenden Bedeutung von *Mougeotia*-Arten in der Algen-Biozönose, was auf die veränderte Verfügbarkeit von anorganischem Kohlenstoff zurückgeführt wird. Aber auch unter alkalischen Bedingungen scheint sich *Mougeotia* sp. den Gegebenheiten anzupassen.

*Spirogyra* kommt mit 381 Arten weltweit vor. Die meisten Arten leben am Boden stehender Gewässer, während nur wenige in Fließgewässern am Substrat angeheftet vorkommen. In Mitteleuropa sind *S. majuscula*, *S. mirabilis* und *S. varians* häufig anzutreffen.

Die Querwände zwischen den zylindrischen Zellen sind eben, gefaltet oder zu Ringen ausgebildet. Die Chloroplasten haben die Form eines lappigen Bandes, das sich im Innern an die Zellwand anlegt und mit vielen Pyrenoiden versehen ist. Die Anzahl der Chloroplasten ist artspezifisch und kann zwischen einem und 15 betragen. Die Zygoten besitzen eine Naht, an der sie bei der Keimung aufplatzen.

Bei *S. majuscula* wird die Konjugation durch niedrige Nitrat-Konzentrationen ausgelöst und durch einen engen pH-Bereich von 6,5 bis 8,0 gefördert. Zwei Fäden legen sich parallel und verkleben paarweise miteinander. Durch hormonale Wechselwirkungen reifen die Progameten zu Gameten. Die einander gegenüberliegenden Zellen bilden Papillen aus, die sich zu Kopulationskanälen vereinen, über die ein Gamet amoebenartig zu dem anderen wandert. Durch

niedrige Nitrat-Konzentrationen konnte bei über 30 *Spirogyra*-Arten die sexuelle Fortpflanzung eingeleitet werden, wobei Licht und Temperatur eine Auswirkung auf die Menge der produzierten Oosporen ausübten.

Die Reifeperiode der Zygote von *S. maxima* ist ebenfalls temperaturabhängig; sie beträgt bei 4°C 14 Monate und verkürzt sich bei 18 - 20°C auf 3,5 Monate. In dieser Ruhephase überstehen sie Fäulnisprozesse im Bodenschlamm und können nach einer Belichtungsphase von zwei bis drei Tagen wieder auskeimen.

*S. singularis* wächst gut bei 20 - 25°C und 62  $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Andere Arten sind mit ihren Wachstumsraten an Temperaturen von 15 - 35°C angepasst, sowie an Einstrahlungen von 60 - 1500  $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Eine Population im japanischen Biwa-Sees erreichte das Lichtsättigungsplateau bei 150 - 200  $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . War die Strahlung zu hoch, kam es zur Schädigung durch Licht.

*S. singularis* ist befähigt, große Mengen von Phosphor in der Zelle zu speichern, und somit in der Lage, einen längeren Zeitraum mit optimalen Wachstumsraten auszufüllen.

Die Entwicklung von *Spirogyra maxima* wurde in einem Graben beobachtet und in einzelne Phasen unterschieden, die nahezu synchron abliefen:

1. Woche:

Anfang Juni beginnende Zygotenkeimung.

5. Woche:

Zwei tellergroße Watten aus vegetativen Fäden haben sich entwickelt.

6. Woche:

Der gesamte Graben ist mit *Spirogyra* besiedelt. Die Kopulation beginnt.

7. Woche:

Beginn der Zygotenbildung. Die Zygotenwand ist noch dünn und farblos, die Zygoten sind noch dunkelgrün.

8. Woche:

Die Zygoten haben ein braunes Mesospor entwickelt.

10. Woche.

Die Massen der *Spirogyra*-Fäden sind mit den Zygoten auf den Gewässergrund gesunken, wo die Wände der leeren Zellen abgebaut werden.

## Zusammenfassung und Ausblick

Fadenalgen kommen mit den hier besprochenen Gattungen mit ca. 1000 Arten in mitteleuropäischen Gewässern vor. Sie sind auch ein natürlicher Bestandteil der Algenflora von Naturbädern. Aufgrund der variablen Umweltansprüche und aufgrund der Tatsache, dass sehr viele verschiedenen Arten existieren, kann davon ausgegangen werden, dass in jedem Naturbad Fadenalgen vorkommen. Zum Problem werden Fadenalgen erst dann, wenn sie im Massen auftreten und die Badenutzung einschränken.

Viele Arten haben ihr Entwicklungsmaximum, wenn die Strahlungsintensität und auch die Wassertemperaturen hoch sind. Auf diese Umweltfaktoren kann genauso wie auf das Füllwasser jedoch kaum Einfluss ausgeübt werden. Eine Verringerung von Stickstoff in Form von Nitrat und Harnstoff kann das Wachstum einschränken. Gleichzeitig löst der Stickstoffmangel aber bei bereits vorhandenen Beständen auch die Bildung von Dauerstadien aus. Da die Ammoniumkonzentrationen in Naturbädern stets sehr gering sind, spielt dieser Faktor keine Rolle.

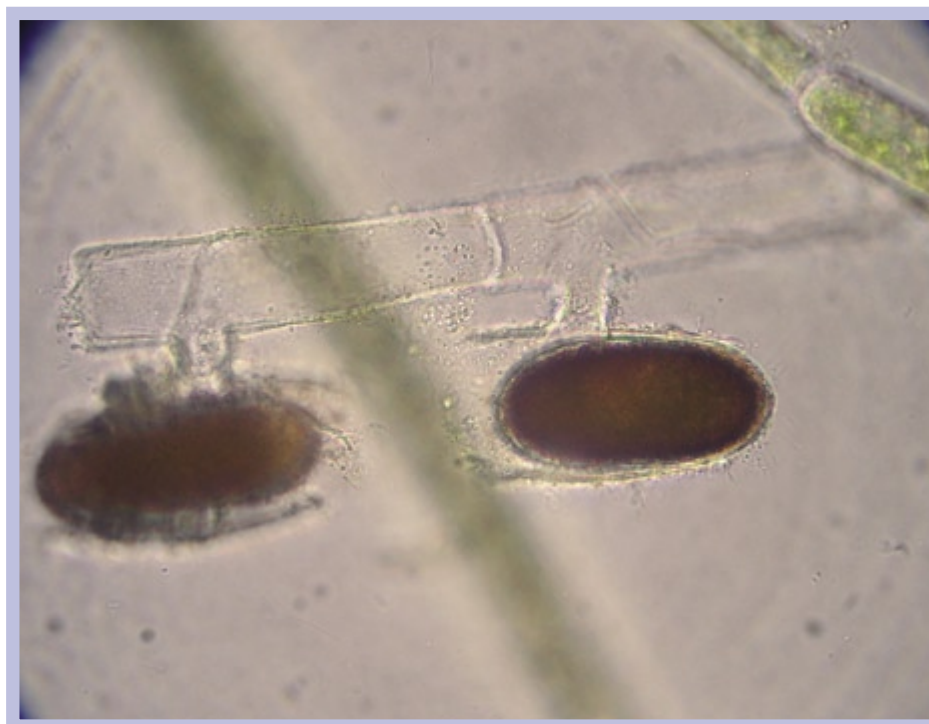
Saure pH-Werte verhindern das Wachstum von *Cladophora*. Allerdings ist bislang kein kommunaler Schwimm- und

Badeteich bekannt, in dem der pH-Wert im sauren Bereich liegt. Der einzige für das Wachstum der Fadenalgen relevante Parameter, der in einem Naturbad beeinflusst werden kann, ist der Phosphorgehalt. Bei P-Konzentrationen < 0,01 mg/l wird das Wachstum der Fadenalgen gehemmt. Damit bestätigt sich einmal mehr die Sinnhaftigkeit des in der FLL genannten Richtwertes von 0,01 mg/l an Gesamtphosphor.

Dr. Jürgen Spieker und Dr. Ute Müller

Dr. Jürgen Spieker ist Dipl.-Biologe und Limnologe. Er ist Inhaber des Planungsbüros KLS-Gewässerschutz und hat sich auf die Ökologie von Naturbädern und die Überwachung von Schwimmteichanlagen spezialisiert. Ein weiterer Schwerpunkt stellt die Sanierung von Badeseen dar.  
Kontakt: info@kls-gewaesserschutz.de.  
Internet www.kls-gewaesserschutz.de.

Dr. Ute Müller ist Limnologin. Sie ist spezialisiert auf benthische und planktische Algen und war langjährige Mitarbeiterin am Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft der Universität Hamburg.



Zygoten von *Spirogyra* sp.: Der männliche Gamet ist durch den Kopulationskanal aus der oberen - jetzt leeren Zelle - zum weiblichen Gameten gewandert. Nach der Befruchtung hat sich die Zygote entwickelt.