

Ueber die Bewegungen der Fäden der *Spirogyra princeps* (Vauch.) Link.*

Von W. Hofmeister in Tübingen.

Mit 1 Holzschnitt.

Die Algenflora des württembergischen Kenpergebiets darf im Allgemeinen als eine arme bezeichnet werden. Permanente Ansammlungen stehenden Wassers sind überhaupt nicht häufig; sie bieten nur eine geringe Mannichfaltigkeit von Formen in nicht reichlicher Individuenzahl. Eine auffallende Ausnahme hiervon bildet das massenhafte Auftreten von Zygnemaceen im zeitigen Frühjahr. Gleich beim Schmelzen des Eises erscheinen die stehenden Gewässer um Tübingen geradezu erfüllt mit *Spirogyra*-Arten (*Sp. quinina*, *princeps* und *longata* walten vor), mit *Craterospermum lactevirens* und *Zygnema leiospermum* d By. Dieses reichliche Vorkommen wird es rechtfertigen, wenn ich in diesen Jahreshften eine Erscheinung vom höchsten physiologischen Interesse zur Sprache bringe, welche zwar sehr lange schon, aber auch nur höchst unvollständig bekannt ist, und deren Hauptzüge an grossen Formen, wie an der *Spirogyra princeps*, auch mit unbewaffnetem Auge festgestellt werden können.

* Ich fasse unter diesem Namen die dicken *Spirogyra*-formen zusammen, deren Zellen mehrere parallel, dichtgedrängte Schraubebänder von Chlorophyll haben. Die Form der Zygosporen finde ich ebenso veränderlich, wie den Längs- und Querdurchmesser der Zellen. Mir liegen copulirte Fadenpaare vor, deren aufnehmender Faden sowohl genau kugelige, als länglich ellipsoidische Jochsporen birgt.

Schon 1807 gibt Link an,* dass gerade oder wenig krumm gebogene Fäden seiner *Spirogyra princeps* gleich einem Pfropfenzieher sich drehen könnten. Eingehender bespricht Meyen** den Gegenstand; er erwähnt, dass Spirogyrafäden, wenn sie in grosser Masse in einen Teller unter Wasser gebracht werden, „nach einigen Tagen“ bis 1 1/2 Zoll über die Wasseroberfläche an den Seitenwänden des Gefässes in die Höhe steigen. Er fasst seine Meinung in folgenden Worten zusammen: „Die Bewegungen der „Spirogyren sind offenbar als automatische anzuerkennen; sie sind „aber einfacher als die der Oscillatorien; bei diesen herrscht eine „grössere Mannichfaltigkeit (ich möchte fast Willkühr sagen); „bei den Spirogyren dagegen zeigt sich nur ein Winden zu der „bei den Pflanzen so allgemeinen Spiralrichtung.“ — Seither ist der Gegenstand nicht wieder ins Auge gefasst worden, soviel ich weiss.

Bringt man ein dickes Bündel von Fäden der *Spirogyra princeps* in ein cylindrisches Gefäss von nicht zu geringem Durchmesser (mindestens 2 Decimeter), welches nur bis 5 Centimeter vom oberen Rande mit Wasser gefüllt ist, so bleibt das Fadenbündel nur kurze Zeit, höchstens 1 Minute, als glatt contourirter Klumpen im Wasser liegen. Sehr bald gleiten aus den Klumpen, nach allen Seiten hin zunächst strahlig sich verbreitend, zahlreiche, einzelne Fäden hervor. Die hervorgetretenen Fäden nehmen die verschiedenartigsten Krümmungen an. Aehnliches thun die Fäden, die bis dahin noch dicht zusammen lagen. Der Klumpen von Fäden lockert sich auf; die Fäden vertheilen sich ziemlich gleichmässig im Wasser. Ihre Anordnung und Richtung ist von bunter Mannichfaltigkeit; nur das Eine ist allen gemeinsam: keiner behält die gerade Richtung, welche den Fäden eines Bündels, bei Herausnehmen aus ihrem natürlichen Wohnplatze, durch mechanische Zerrung grossen Theiles ertheilt zu werden pflegt. Alle sind gekrümmt, aber in den verschiedensten Richtungen; sie liegen kraus durch einander. Krümmungen zu Schraubenlinien

* Grundlehren d. Anat. u. Physiol. p. 263.

** Neues System der Pflanzenphysiologie, Berlin 1839, p. 567.

von mehreren gleichförmigen Windungen kommen nur höchst selten vor. Bis zur völligen Herstellung dieser Anordnung vergehen 1 bis 2 Stunden.

Etwa 3 Stunden nach dem Einbringen der Spirogyren in das Gefäss beginnen Fäden an den Wänden desselben über die Wasserfläche emporzusteigen. Zunächst einzelne Fäden der Art, dass sie, mit beiden Enden unter Wasser tauchend, die Mittelgegend in flachem, zenithwärts convexen Bogen an die Gefässwand anschmiegen und über den Wasserspiegel heben. Bald wird die Krümmung stärker; zugleich schmiegen sich andere Fäden dem ersten an. Endlich hebt sich das eine Ende des Fadenbündels ganz aus dem Wasser, und es liegt eine nach oben sich verjüngende, wellig gebogene Fadengruppe der Gefässwand steil aufgerichtet an. Wo der Vorgang am schnellsten verläuft, vollzieht er sich in 10 Stunden. Nach 14 Stunden ist stets die ganze, über Wasser stehende Wand dicht vollgedrängt von solchen Bündeln.

Die Höhe über dem Wasserspiegel, welche dieselben zu erreichen vermögen, hängt davon ab, bis zu welcher Entfernung vom Wasserspiegel Flüssigkeit capillar an den Aussenflächen der Fäden in hinreichender Menge fortgeleitet werden kann, um den durch Verdunstung verursachten Wasserverlust zu ersetzen. In trockener Zimmerluft sind das etwa 25 Millimeter. Schützt man das Versuchsobjekt vor Austrocknung durch Abschluss des Gefässraums von der äussern Luft, so steigen die Fadenbündel an den Wänden bis zu 33 Millimeter.

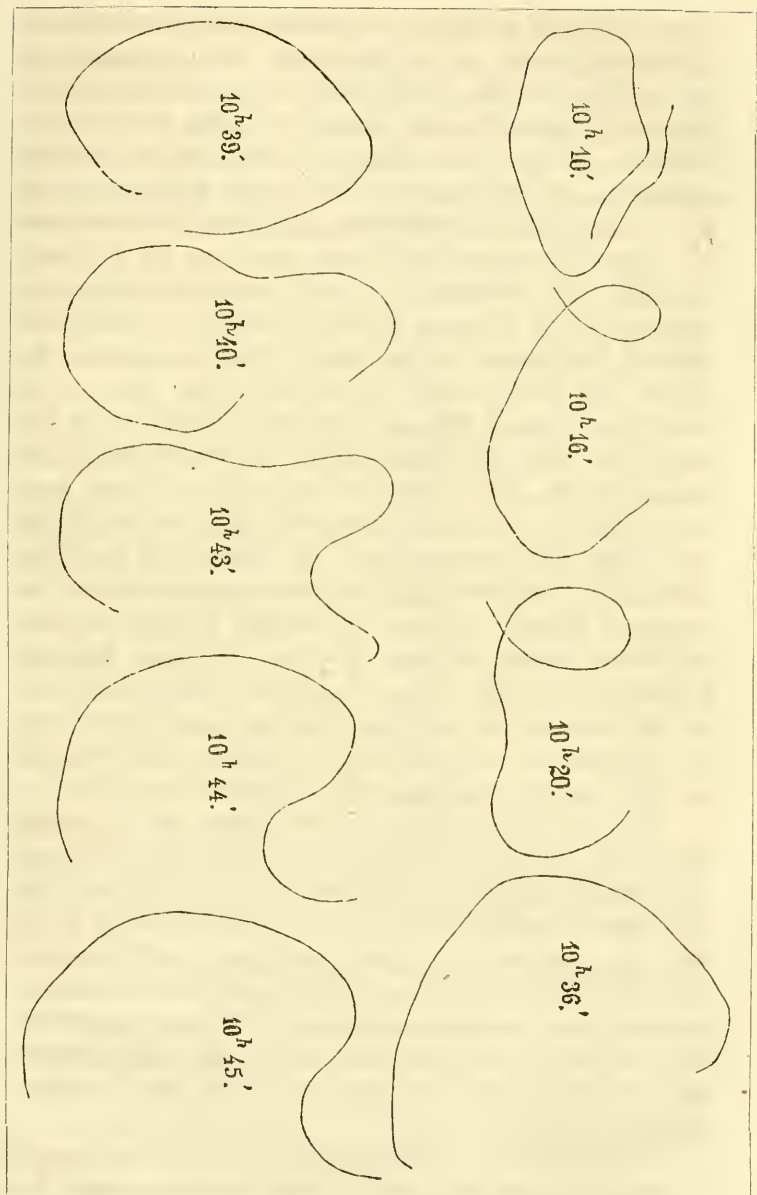
Das Emporsteigen der Fäden findet ebensogut in Gefässen mit durchsichtigen, als in solchen mit undurchsichtigen Wänden statt; bei Tage ebensogut wie bei Nacht; in völliger Dunkelheit ebensogut, wie in permanenter, intensiver, künstlicher Beleuchtung. Eine Beeinflussung der Geschwindigkeit des Vorgangs durch irgend eine dieser Verschiedenheiten der Beleuchtung konnte ich nicht wahrnehmen.

Bedeckt man ein grösseres, seichtes oder tiefes Gefäss, in welchem zahlreiche Fäden der *Spirogyra princeps* nahe der Wasserfläche schwimmen, mit einem durchsichtigen oder undurchsichtigen

Hohlkörper, einer Glasglocke z. B., so erheben sich nach einiger Zeit Fäden der Alge frei in die Luft. Ich sah den Beginn der Erscheinung 10 Stunden nach Ansetzung des Versuchs eintreten. Zunächst sind der aus dem Wasser meist senkrecht emporragenden Fäden nur wenige; doch mehrt ihre Zahl sich rasch. Nach 18 Stunden stehen sie schon ziemlich dicht. Bis etwa 24 Stunden nach Beginn des Experiments stehen die Fäden durchwegs einzeln; später legen sich den schon vorhandenen andere an, so dass in 6 Tagen aus dem Wasser frei aufragende Bündel entstehen können, welche den der Wand angeschmiegt an Fadenzahl nichts nachgeben. — Die Höhe über dem Wasserspiegel, welche einzelne Fadenenden oder Fadenendenbüschel erlangen, übersteigt nicht 3 Centimeter und bleibt häufig noch darunter; offenbar reicht die Straffheit der Fäden nicht hin, die Last einer grösseren Länge zu tragen. Nicht selten sieht man ein 1 bis 2 Millimeter langes Endstück von der Spitze eines von der Lothlinie abgelenkten Fadens herabhängen. — Die Richtung der frei aufgerichteten Fäden ist keine unveränderliche; doch kommen Abweichungen von der Verticalen nicht häufig, Krümmungen einzelner Fäden ziemlich selten vor. Krümmungen aufgerichteter Fadenbüschel sieht man dagegen sehr häufig.

Die minimale Dicke eines Fadens der *Spirogyra princeps* beträgt 0,084 oder $\frac{1}{12}$ mm.; die Fäden sind dem unbewaffneten Auge deutlich kenntlich. Bringt man einen einzelnen Faden in ein Porzellengefäss mit planem Boden, so kann man dessen Bewegungen mit Leichtigkeit in der Weise folgen, dass man in kurzen Zeitabschnitten die Lage des Fadens genau aufzeichnet. Die beigegegebene Tafel zeigt die neun erheblichen Richtungsveränderungen eines Fadens während des kurzen Zeitraums von 35 Minuten.

Der Faden schwamm in einer 3 cm. tiefen Wasserschicht während aller dieser Bewegungen ziemlich horizontal; dem ebenen Boden des Gefässes annähernd parallel. Es geht hieraus ohne Weiteres hervor, dass die Bewegungen der Fäden nicht Drehungen um die eigene Achse sind, sondern dass sie auf relativer Verlängerung oder Verkürzung der Seitenflächen der Fäden in der Achse paralleler Richtung beruhen;



Spirogyra princeps. Aenderungen der Richtung eines Fadens während 35 Minuten.

wahrscheinlich auf Zunahmen der Längen derjenigen Kanten von Fadenstücken, welche bei der Krümmung convex werden. — Zu der nämlichen Ansicht gelangt man bei der Beobachtung der Krümmungen langer Fäden in seichten, etwa 3 Mm. hohen Wasserschichten. Wenn in einer solchen Wasserschicht ein S-förmig gekrümmter, ca. 250 Mm. langer Faden seine Krümmung zu der einer Brezel ähnlichen umgestaltet, und dabei im Allgemeinen der Wasserfläche parallel bleibt (diese Aenderung sah ich binnen 11 Minuten sich vollziehen), so ist es einleuchtend, dass diese Bewegungen nicht Torsionen ungleichen Maasses sind. Die mikroskopische Beobachtung der Bewegungen führt zum gleichen Ergebniss. Ich führte dieselbe in folgender Weise aus. In das Centrum der concaven Seite einer planconcaven Linse von 50 Mm. Durchmesser wurde ein Wassertropfen von etwa 25 Mm. Durchmesser gebracht, und in diesen das eine Ende eines kräftig vegetirenden *Spirogyra*-Fadens derart eingelegt, dass es etwa 15 Mm. weit in den Tropfen hinein ragte. Der übrige Theil des Fadens wurde auf der trocknen Fläche der Linse untergebracht und hier antrocknen gelassen: so war das lebendig bleibende Endstück des Fadens einseitig befestigt. Die freie, im Wasser flottirende Extremität des Fadens wurde bei mittlerer Vergrößerung unter das Mikroskop gebracht, und ihre Ortsveränderungen mittelst eines Ocularmikrometers mit Leitertheilung bestimmt. Dabei war Sorge getragen, dass das Instrument keine Erschütterungen erlitt.

Die dann hervortretenden Ortsänderungen der Fadenspitze sind nichts weniger als stetige. Nicht selten bleibt sie Viertel- oder Halbestunden lang auf derselben Stelle, die sie dann öfters so langsamen Ganges verlässt, dass die Ortsveränderung nur an der Scala abgelesen werden kann. Anderemale ist die Bewegung so rasch, dass das Auge sie mit Leichtigkeit unmittelbar erkennt; bisweilen tritt sie plötzlich ein und verläuft rasch, sprunghaft. Sehr oft schlägt sie in kurzen Fristen in die entgegengesetzte um. Eine Drehung des Fadenendes sah ich bei zahlreichen Beobachtungen niemals.

Aus mehreren mir vorliegenden Beobachtungsreihen hebe ich als Beispiel eine aus, welche mir besonders lehrreich scheint. Das

der Beobachtung unterworfenen Fadenende war stumpfwinklig (im Winkel von annähernd 140^0) gebogen; das gerade Endstück maass 10,3 Mm. Länge. Die Extremität desselben ging, vom Beginn der Beobachtung an, in ziemlich stetiger Bewegung 1,47 Mm. nach rechts, gerade bleibend, während der (nach links geöffnete) Winkel der Biegungsstelle etwas grösser ward. Das Fadenende liegt jetzt 6 Minuten völlig still, und stellt sich dann

	nach	5 Minuten auf	0,081	Mm.	nach links
nach weiteren	1	"	"	0,0305	" " rechts
"	"	3	"	"	0,0305 " " "
"	"	2	"	"	0,027 " " links *
"	"	5	"	"	0,081 " " "
"	"	5	"	"	0,094 " " rechts
"	"	3	"	"	0,067 " " " **
"	"	51	"	"	2,94 " " links ***
"	"	58	"	"	0,0675 " " rechts †
"	"	19	"	"	0,135 " " links
"	"	4	"	"	0,067 " " "
"	"	28	"	"	0,1305 " " " ††
"	"	29	"	"	0,1215 " " "
"	"	21	"	"	0,054 " " "
"	"	35	"	"	0,243 " " "
"	"	9	"	"	0,1215 " " rechts
"	"	2	"	"	0,135 " " "

An die linke Seite der Fadenspitze hatte sich vor Beginn der Beobachtungen einer der kleinen Kalkspathkrystalle geheftet, welche auf verdunstendem, kalkhaltigem Wasser sich zu bilden

* Die Bewegung geschah unter meinen Augen in kürzester Frist; ich schätze die Dauer auf 15 Sekunden.

** Das Endstück hat jetzt eine schwache Krümmung erfahren, Concavität nach rechts. Die Umbiegungsstelle des Fadens ist jetzt 12 Mm. vom Ende entfernt.

*** Es wird eine Aufwärtskrümmung des Fadenendes bemerklich.

† Diese Aufwärtskrümmung ist beträchtlich geworden; das Fadenende ist um etwa 4 Mm. gehoben.

†† Die Aufwärtskrümmung hat sich wieder ausgeglichen.

pflügen. Dieses Anhängsel gestattete, jederzeit mit aller Schärfe festzustellen, ob eine Drehung des Fadens um seine Achse erfolgt sei. Der Krystall zeigte bis zum Schlusse der Beobachtung keine Spur einer Aenderung seiner Lage zur Fadenspitze und Mikroskop-Achse, es war somit nicht die geringste Torsion des Fadens eingetreten.

Ein Haufe von Fäden, die überhaupt die Fähigkeit haben sich zu krümmen, wird beim Eintreten solcher Krümmungen nothwendig sich auflockern, wie das z. B. die zu den Elateren zerpaltenen Membranen der Sporenmutterzellen der Equiseten zeigen. Die eingerollten Bänder strecken sich, austrocknend, gerade; dadurch lockert sich das Haufwerk, zu dem sie mit den Sporen vereinigt sind. Die Lockerung einer Gruppe von Fäden der *Spirogyra*, das Ausstrahlen der Fäden nach allen Richtungen folgen ohne Weiteres aus der Krümmungsfähigkeit derselben.

Es ist für einen Organismus vom Baue eines Spirogyrafadens selbstverständlich, dass Krümmungen des Körpers durch Aenderungen der Dimensionen der Zellmembranen hervor gebracht werden. Die von einigen in Bezug auf die Bewegungen der Oscillarien gehegte Vorstellung: dass die Zellmembranen den Bewegungen des „contractilen Protoplasma“ vermöge ihrer Dehnbarkeit und ihrer geringen, aber sehr vollkommenen Elasticität passiv folgen — diese Vorstellung, (welche übrigens mit an grossen Formen von *Oscillaria* leicht zu constatirenden Erscheinungen sich nicht vereinigen lässt) ist für *Spirogyra princeps* durchaus unzulässig. Die Häute der zu einer einfachen Reihe zusammen geordneten Zellen sind derb, wenig biegsam, hoch gespannt. Ein Spirogyrafaden ist nichts weniger als ein schlaffer Körper, wie dies schon aus der Aufrichtung der Fäden in feuchter Luft hervorgeht (S. 214). Noch sprechender ist die Wahrnehmung, dass ein Fadenstück von gemessener Länge, in dessen Zellen der protoplasmatische Inhalt durch wasserentziehende Mittel zur Schrumpfung gebracht wird, nach dieser Operation nicht merklich kürzer geworden ist. So fand ich ein dreizelliges Fadenstück von 0,51675 Mm. Länge nach Contraction des protoplasmatischen Inhalts der Zellen durch verdünntes Glycerin 0,51706 Mm.

lang. Beide Angaben sind die Mittel aus 10 Messungen mit dem Schraubenmikrometer; der wahrscheinliche Fehler = 0,0005 Mm.

Es hat Ralfs durch scharfsinnige Analogieenschlüsse es zu einer, der Gewissheit nahen Wahrscheinlichkeit erhoben, dass das Flächenwachsthum der Membranen der cylindrischen Zellen der Zygнемазellen — wie bekannt, unter normalen Verhältnissen ausschliesslich im Längenwachsthum — dass dieses Wachsthum nur innerhalb einer mittleren, gürtelförmigen Region der Zelle stattfindet* von der Zeit an, wo der Zellenkern, welcher unmittelbar bei Beginn der Fächerung einer Mutterzelle in zwei Tochterzellen der neu sich bildenden Scheidewand sehr genähert war, in den Mittelpunkt der Zelle gewandert ist**. Um diese Muthmaassung direkt zu prüfen, habe ich oft wiederholt in Theilung der Zellen und in Längenwachsthum begriffene Fäden der *Spirogyra princeps* in polarisirtem Lichte (unter Einschaltung einer doppeltbrechenden Platte) untersucht; ausgehend von der Thatsache, dass neu gebildete und in lebhaftem Wachsthum begriffene pflanzliche Membranen häufig isotrop sind, und allgemein schwächer doppeltbrechend wirken, als alte, ausgebildete Zellmembranen gleicher Art***. Es zeigte sich, dass an Fäden der *Spirogyra princeps* zwar nirgends Membranstellen vorkommen, die nicht doppeltbrechend sind; dass aber die unfertigen, noch ringförmigen Querscheidewände den Farbenton des Gesichtsfelds kaum merklich ändern, während die vollständig ausgebildeten und verdickten Wände das Roth I. Ordnung des Gesichtsfelds entweder zum Hellgrün II. Ordnung erhöhen, oder zum Gelbweiss 1. Ordnung erniedrigen. Ein ähnlicher, jedoch minder greller Unterschied (die Seitenwände sind überhaupt schwächer doppeltbrechend als die Querwände) besteht zwischen den Regionen der Seitenwände noch wachsender Zellen, welche an eine alte, dicke Scheidewand angrenzen, und der Mittelregion. Ein an die Querwand unmittelbar grenzender Gürtel von nicht über $\frac{1}{20}$ Mm.

* British Desmidianae p. 6 ff.

** A. Braun, Verjüngung, p. 260.

*** Hofmeister, Handbuch, I. p. 344.

Breite, oft schmaler, erscheint im Roth I. Ordnung zum Grün II. Ordnung erhöht; der weit grössere übrige Theil der Membran nur zum Blau II. Ordnung. Die Stücke von Seitenwänden, welche unfertigen Querwänden angränzen, sind nur wenig stärker doppelbrechend, als diese Querwände selbst.

Ich ziehe aus diesen Beobachtungen den Schluss, dass das Längenwachsthum der Zellenmembranen von *Spirogyren* zwar nicht in den ganzen Seitenflächen derselben gleichmässig erfolgt; schmale, ringförmige Regionen, welche den Endflächen angränzen, sind daran nicht betheilig. Aber die Zone, innerhalb deren die Membran wächst, ist sehr breit; auch an relativ kurzen Zellen bildet sie den weitaus grössten Theil der Seitenfläche.

Es ist von vorn herein im höchsten Grade wahrscheinlich, dass die Bewegungserscheinungen der *Spirogyra*fäden die Folge einer ungleichen Längenzunahme verschiedener Seitenkanten wachsender Fadenstücke sind; dass sie eine Form der Nutation darstellen, am nächsten vergleichbar den so auffälligen Beugungen der Blütenstandschäfte der *Allium Ophioscorodon* genannten Form der *Allium sativum* L. Die Beugungen sind immer relativ sanfte; sie erstrecken sich über ganze Reihen von Zellen; solche mit einem Krümmungsradius von weniger als 3 Mm. sind äusserst selten. Solche Krümmungen hervorzubringen bedarf es nur einer mässigen Verlängerung der convex werdenden Kante. Der mittlere Durchmesser eines Fadens der *Spirogyra princeps* ist $\frac{1}{10}$ Mm. Bei einem Krümmungsradius von 5 Mm. ist das Verhältniss der Länge der concaven Kante zu derjenigen der convexen = 5 : 5,1 oder 100 : 102; bei einem Krümmungsradius von 3 Mm. = 3 : 3,1 oder 100 : 103,33 ...; bei dem (wohl kaum vorkommenden) Krümmungsradius von 1 Mm. würde es immer erst 1 : 1,1 sein.

Die Voraussetzung, dass die Incurvationen durch Verkürzung der concav werdenden Kanten hervorgebracht sein könnten, muss als unzulässig bezeichnet werden. Wir kennen zwar bewegliche Pflanzentheile, deren bei der Bewegung concav werdenden Kanten während dieser Formänderung sich verkürzen. So z. B. die Blattstiel-Gelenkpolster der *Mimosa pudica* und des *Desmodium gyrans*. Die plausibelste Vorstellung von der Mechanik der Be-

wegung ist die, dass die Zellenmembranen des Gewebes der Polster-Unterseite ihre Fähigkeit, Wasser aufzunehmen oder zurückzuhalten, auf gewisse äussere Einflüsse (Reize), oder (bei *Desmodium*) aus dem Organ innewohnender, uns unbekannten Ursachen (spontan) zeitweilig sehr vermindern.* Man könnte ähnliche Eigenschaften gewissen Kanten der Seitenflächen der Spirogyrafäden zuschreiben. Aber wo jene raschen Minderungen und langsamen Wiederrücknahmen der Wassercapacität vorkommen, sind sie auf scharf umgränzte Gewebemassen beschränkt, und modificiren deren Dimensionen nach ganz bestimmten Richtungen hin. Bei *Spirogyra* kann jede Kante des Fadens zur concaven werden; und häufig wird die concav gewesene binnen wenigen Minuten zur Convexen (vergl. auf der Tafel die Zustände von 10 h. 40 min. und 10 h. 43 min.).

Es wird erlaubt sein, den Nachweis, „dass die Krümmungen der Spirogyrafäden auf ungleichem Wachstum verschiedener Längskanten desselben Fadens beruhen,“ für geführt zu erachten, wenn sich durch genaue Messungen lebender Fäden während mehrerer Stunden zeigt, dass die Wachstumsvorgänge ganz in der nämlichen Weise verlaufen, wie die Krümmungen — stossweise in von Pausen ungleicher Dauer unterbrochenen kurzen Zeitabschnitten — und dass das Wachstum kurzer Fadenstücke, einer Zelle z. B., überhaupt hinreichend intensiv werden kann, um eine starke Incurvation des Fadens dann hervorzubringen, wenn es in nur einer Kante der Zelle eintritt.

Die makroskopische Längenmessung von Fäden ist dabei ausser Frage. Gerade Fäden von *Spirogyra* kommen unter normalen Vegetationsverhältnissen überhaupt nicht vor. Nun kann

* Jede andere vorgeschlagene Auffassung bedarf der Annahme eines Systems intercellularer Kanäle im zusammensinkenden Gewebe. Solche existiren hier aber nicht. Eine neuerdings veröffentlichte Abbildung eines solchen Intercellularraums ist das Bild eines Artefacts; beim Schneiden hat das Messer Zellen des reizbaren Polsters auseinander gerissen. Die Betrachtung zarter Durchschnitte getrockneter Gelenkpolster, welche in Luft liegen, lässt über die Abwesenheit der Intercellularräume keinen Zweifel.

man zwar gekrümmte Fäden mit Gewalt gerade richten; etwa indem man sie auf eine Glasplatte in eine niedrige Wasserschicht legt und an beiden Enden zieht. Aber die Alge verträgt nicht leicht eine so raue Behandlung: in der Regel wächst der gezerrte Faden nicht weiter; er ändert nach 5 bis 10 Minuten die Farbe in einen dunkleren Ton; die mikroskopische Betrachtung zeigt, dass die protoplasmatischen Zelleninhalte zusammen gesunken (geronnen) sind; der Faden ist todt. Es bleibt nur übrig, die Länge bestimmter Zellen oder Zellenpaare in rasch auf einander folgenden Fristen mikrometrisch zu bestimmen. Will man genaue Resultate, so ist es nöthig, dazu den Schraubenmikrometer und eine starke, etwa 250fache Vergrößerung zu verwenden.

Solche Messungsreihen habe ich eine Anzahl an verschiedenen Tagen ausgeführt. Ich theile hiermit einige derselben mit: die erste vollständig, um den Gang der Untersuchung und die Grösse des wahrscheinlichen Fehlers zu zeigen, der $\frac{2}{10}$ eines Scalentheils beträgt. Die Zahlenangaben sind in Graden der Scala des Instruments, deren einer

0,00279 Mm.

beträgt. — Die zweite und die folgenden Messungsreihen habe ich abgekürzt durch Weglassung derjenigen Messungen, welche ergeben, dass das Object stationär geblieben war.

1. Am 25. März 1874. Endzellenpaar eines Fadens.

9 ^h . 28 ^m . a. m.	. 85,8	10 ^h . 12 ^m .	. 92	11 ^h . 15 ^m .	. 94,4
„ 31	. 87	„ 13	. 91,8	„ 25	. 96
„ 33	. 87,8	„ 20	. 91,7	„ 30	. 96,1
„ 39	. 88,1	„ 29	. 91,8	„ 40	. 95,9
„ 43	. 90	„ 30	. 92	12 ^h . —	. 96
„ 50	. 90,2	„ 34	. 92,2	„ 40	. 96
„ 53	. 90,1	„ 40	. 92,7	1 ^h . 15	. 97,6
„ 55	. 90	„ 47	. 92,5	„ 25	. 97,8
10 ^h . —	. 90,3	„ 52	. 93	„ 35	. 98
„ 5	. 90,2	11 ^h .	. 93,7		
10 ^h . 10 ^m .	. 90,7	„ 10	. 93,8		

2. 26. März. Eine Gliederzelle, der Endzelle zunächst.

9 ^{h.} 7 ^{m.} _{a.m.}	. 56,1	9 ^{h.} 35 ^{m.} _{a.m.}	. 58,4	10 ^{h.} 30 ^{m.} _{a.m.}	. 60,1
„ 21	. 56,3	„ 37	. 58,3	„ 45	. 60,6
„ 30	. 57,7	„ 45	. 59,2	11 ^{h.} 10	. 60,7
„ 33	. 58	10 ^{h.}	. 59,9		

3. 24. März. Endzelle eines Fadens.

1 ^{h.} 15 ^{min.} _{p.m.}	. . 52,3
„ 45	. . 58,5
„ 50	. . 60,7
2 ^{h.}	. . 60,7

4. 31. März. Gliederzelle, die zweite vom Ende des Fadens.

11 ^{h.} 15 ^{min.} _{a.m.}	. . 71,1	
„ 20	. . 71,3	
„ 25	. . 73,5	
„ 30	. . 74,4	
„ 36	. . 74,6	
„ 42	. . 75	
„ 45	. . 76	Das Fadenende krümmt sich aufwärts.
„ 53	. . 76,6	
„ 58	. . 76,6	

5. 31. März. Gliederzelle, die dritte vom Fadenende.

12 ^{h.} 40 _{p.m.}	. . 63,8
— 45	. . 65,7
1 ^{h.} 2	. . 65,6
„ 10	. . 66,4
„ 20	. . 67,7

2 ^{h.}	— p. m.	. .	67,8	
"	45	. .	69,4	
"	54	. .	69,7	
3 ^{h.}	—	. .	70,3	Das zweizellige Endstück des Fadens beginnt sich merklich nach links zu krümmen.
"	20	. .	71,8	Die Krümmung nimmt zu.
"	45	. .	71,7	Sie ist ausgeglichen.
4 ^{h.}	10	. .	71,8	

Die vorstehenden Angaben werden genügen, um darzuthun, dass Art und Maass des Längenwachstums der Zellmembranen von *Spirogyra* vollständig den S. 221 gestellten Anforderungen genügen. Kurze Perioden von wenigen Minuten relativ rapiden Wachstums wechseln mit längeren Fristen, bis stundenlangen, sehr langsamer Längenzunahme oder völligem Stillstand. Die Schnelligkeit des Wachstums stieg in einem Falle (in 1, am 25. März von 10^{h.} 10^{m.} bis 10^{h.} 12^{m.}) auf 0,65 Scalentheile oder 0,018 Mm. in der Minute; in vielen beobachteten Fällen erreichte sie 0,012 Mm. in der Minute; reducirt man diese Grössen auf die Länge der beobachteten Fadenstücke, so erhält man Ziffern wie 7⁰/₁₀ und 7¹/₂⁰/₁₀; höhere also, als für das Eintreten der stärksten beobachteten Incurvationen binnen Minutenfrist nöthig sind (vgl. S. 220.). Wiederholt wurden, während Perioden intensiveren Wachstums, bemerkliche Krümmungen der unterm Mikroskope befindlichen Fadenstücke wahrgenommen (Beobachtungsreihen 4 und 5).

Von den Nutationen rasch wachsender Stängelgebilde von Gefässpflanzen, wie z. B. der Inflorescenzsäfte von *Allium rotundum* und *sativum*, unterscheiden sich diejenigen der Spirogyrafäden vornehmlich durch ihre Raschheit; demnächst dadurch, dass die frei schwimmenden Fäden vermöge ihrer schnellen Krümmungen das Vermögen rascher Ortsveränderung besitzen. Im Uebrigen sind die Vorgänge hier wie dort im Wesentlichen gleich: eine Kante des cylindrischen Körpers verlängert sich eine Zeit lang vorzugsweise; dann wird sie in dieser raschesten Verlängerung von einer andern abgelöst, ohne dass in der Aufein-

anderfolge der betreffenden Kanten irgend eine Regelmässigkeit hervortrete.

Von den Bewegungen der Oscillarienfäden* unterscheiden sich diejenigen der Spirogyren zunächst in ähnlicher Weise, wie die gemeinen, regellosen Nutationen, z. B. übergeneigter Inflorescenzachsen von denjenigen der Ranken und der wachsenden Stängel von Schlingpflanzen. In constanter Richtung den Umfang des Gebildes in stetiger Aufeinanderfolge umkreisend wird bei Oscillarien wie bei Ranken eine Kante nach der andern zur jeweilig am stärksten sich ausdehnenden. Aber bei den Oscillarien nehmen die parallelen, am stärksten sich dehnenden Kanten periodisch an Ausdehnungsstreben wieder ab; und da die im Ausdehnungsstreben successiv zu- und abnehmenden parallelen Längsstreifen mehr oder weniger tangentialschief verlaufen, so werden die cylindrischen Fäden schraubenlinig (wenn auch grossentheils sehr steil schraubenlinig) gewunden; die Oscillarienfäden bei der Bewegung im Wasser um die Achse der Schraubenwindungen gedreht. Die Reihenfolge der differenten Expansionen der Längsstreifen setzt in bestimmten Fristen in die gegentheilige um, und damit die Richtung der Bewegung.

Gleich den Nutationen von Stängeln höherer Pflanzen werden auch die Krümmungen der Spirogyrafäden von der Schwerkraft und der Beleuchtung mächtig beeinflusst. Die Einwirkung der Gravitation zeigt sich nicht allein an dem massenhaften Emporklettern der Fäden an den senkrechten Seitenwänden eines Gefässes und der Aufrichtung zahlreicher Fäden über die Wasseroberfläche in einem dunstgesättigten Raume. Bei Beobachtung einer mässigen Anzahl von Fäden, die im Wasser eines grossen Glasgefässes vertheilt sind, bemerkt man auch, dass gegen den Zenith concave Krümmungen die häufigeren sind. — Der Einfluss des Lichtes gibt sich dann deutlich kund, wenn ein Glasgefäss mit verticalen Wänden, an denen Spirogyrafadenbüschel empor geklettert sind, einige Stunden lang einseitiger Beleuchtung ausgesetzt wird. Die Fadenbüschel an denjenigen Wänden oder

* Vgl. Nägeli, Beitr. z. w. Botanik, 2, p. 89.

Kanten des Gefässes, welche in der Bahn der einfallenden Lichtstrahlen liegen, krümmen sich dann gegen diese concav. Ebenso erscheinen die, aus unter Wasser befindlichen Rasen in feuchter Luft emporgerichteten Fäden nach mehrtägigem Verweilen in einseitiger Beleuchtung fast ausnahmslos gegen den Lichtquell geneigt.

Eine träge Reizbarkeit der Spirogyrafäden gibt sich in ihrer Neigung zur Bündelbildung zu erkennen. Diese Neigung tritt nur hervor, wenn sie in feuchter Luft sich befinden. Schwimmen sie in Wasser, so ist der Einfluss des Contacts eines festen Körpers offenbar nicht ausreichend, auf die Neigung des Fadens zur wechselnden stärkeren Verlängerung seiner verschiedenen Kanten in dem Maasse hemmend einzuwirken, dass Incurvationen verhindert werden, die gegen die Berührungsstelle convex sind. Kommt aber die in feuchter Luft im Vergleiche mit der in Wasser grössere Adhäsion der Fäden an andere feste Körper, die verminderte Beweglichkeit der Fäden hinzu, so tritt das Anschmiegen der einfachen Zellreihen an einander nicht minder deutlich in die Erscheinung, wie bei der Zusammendrehung der unterirdischen protonematischen Fäden der Polytrichineen zu strickförmigen Strängen. Nur dass bei den Polytrichineen die Umwickelungen die Regel, bei den Spirogyren die Ausnahme sind.

Aehnliche Bewegungserscheinungen, wie *Spirogyra princeps* zeigen alle darauf untersuchten Zygnemaceen; manche in minderem Grade (z. B. *Craterospermum lactevirens*), andere in noch höherem. Vor Allem auffällig ist *Zygnema leiospermum*. Wenn die Fäden, die aus den dickhäutigen, 6 bis 10 Zellen langen überwinternden Fadenstücken hervorgebrochen sind, eine Länge von 5 bis 10 Mm. erreicht haben, machen sie die auffälligsten, wenn auch nicht eben schnellen Richtungsänderungen. Nicht selten rollt ein bis dahin ziemlich gerade gewesener Faden sich in einer Ebene zur Spirale von 4 bis 6 Windungen ein; er nimmt die Gestalt einer Uhrfeder an.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg](#)

Jahr/Year: 1874

Band/Volume: [30](#)

Autor(en)/Author(s): Hofmeister Wilhelm

Artikel/Article: [Ueber die Bewegung der Fäden der Spirogyra princeps. \(Vauch.\) Link.* 211-226](#)