(Aus dem physiologischen Institut der Universität Wien.)

Über die Flossenbewegung des Seepferdchens.

Von

Dr. **M. Ishihara** (Fukaoka, Japan).

(Mit 1 Textfigur.)

Ranvier schreibt: „La manière dont l'hippocampe progresse au moyen de sa nageoire dorsale a certainement frappé toutes les personnes qui ont observé ce petit animal dans un aquarium. Le mouvement de cette nageoire ne se fait pas en un seul temps, comme cela a lieu pour les nageoires de la plupart des autres poissons, mais par une série de vibrations. La disposition de l'appareil musculaire de cet organe rend parfaitement compte de ce singulier phénomène. La boîte osseuse qui contient les muscles de la nageoire est divisée en deux parties latérales par une cloison longitudinale formée par les arêtes de la nageoire. De chaque côté de cette cloison sont rangés de petits muscles coniques qui possèdent des tendons distincts.“¹⁾

Rollett äussert sich über die eigentümliche Bewegung der Rückenflosse folgendermaassen: „Die Flosse bewegt sich bekanntlich nicht als Ganzes, wie bei anderen Fischen, sondern es laufen eine Reihe von Ausbiegungen nach beiden Seiten des Tieres wellenförmig mit grosser Geschwindigkeit über dieselbe ab. . . . Man muss annehmen, dass diese isolierten Muskeln (der Rückenflosse) nicht simultan, sondern successive in Tätigkeit geraten, woraus sich das Spiel der Flosse erklärt.“²⁾ Er wollte näher in das Studium der Eigenschaften dieser Flossenmuskeln (am *Hippocampus antiquorum*) eingehen. „Allein weder mit graphischen noch mit stroboskopischen Methoden liess sich etwas ausrichten; für die ersteren sind die Flossen

---

1) Archives de physiologie normale et pathologique t. 6 p. 16. 1874.

2) Arch. f. mikroskop. Anat. Bd. 32 S. 233.

zu zart; die letzteren scheitern, weil das Spiel der Flossen sofort aufhört, wenn man das im Wasser befindliche Tierchen, um es zu fixieren, anfasst.“¹⁾

Bei einem Aufenthalt an der k. k. zoologischen Station in Triest im Monat April dieses Jahres habe ich mir auf Veranlassung meines hochverehrten Lehrers Herrn Professor Sigm. Exner die Aufgabe

gestellt, trotz der negativen Resultate von Rollett zu versuchen, wenigstens die Frequenz der Ruderschläge stroboskopisch festzustellen. Es wurde ein einfaches Handstroboskop (siehe obenstehende Figur) construiert, um dem frei schwimmenden Seepferdchen mit dem Blicke bequem folgen zu können.

Die stroboskopische Scheibe (s) dieses Apparates bestand aus Aluminium, hatte einen Durchmesser von 134 mm und war am

1) Arch. f. mikroskop. Anat. Bd. 32 S. 235.

Rand mit im ganzen zwölf radialen Ausschnitten von 1,5 mm Breite versehen. Drei derselben waren 25 mm lang, andere drei 16,6 mm und die übrigen sechs 8,3 mm, so dass man beim Blicken durch die rotierende Scheibe drei beinahe gleich breite, aber verschiedenen helle Zonen am Rande sieht. Blickt man durch die äusserste der Zonen, so gewahrt man das Object durch die zwölf in gleichem Abstände angebrachten Spalten; in der mittleren sieht man es durch sechs, in der innersten durch drei äquidistante Spalten. Die Scheibe wurde mittelst eines kleinen Uhrwerks (u) in Bewegung gesetzt, welches in einem Kasten untergebracht und mit einem Handgriff (h) versehen war. Zur feineren Regulierung der Geschwindigkeit diente ein Paar symmetrisch auf der Scheibe angebrachte Windflügel (w), die, um je einen Zapfen drehbar, in Stellungen von verschiedenem Wirkungsgrad gebracht werden konnten. Diese Stellungen waren an Gradteilungen, die in die Scheibe eingraviert sind, abzulesen und jederzeit wiederherzustellen. Das beobachtende Auge befindet sich auf der Seite des Uhrwerks. Das Federuhrwerk gab keine ganz gleichmässige Rotation, doch genügte die Genauigkeit für die vorliegenden Aufgaben, wenn man darauf achtete, immer mit frisch aufgezogener Feder zu arbeiten. Die Umdrehungsgeschwindigkeiten der Scheibe bei den verschiedenen Stellungen der Windflügel wurden berechnet aus der Umdrehungsgeschwindigkeit eines genügend langsam laufenden Zahnrades des Uhrwerks und der bekannten Vergrösserung durch die Zahnradübertragungen.

Bekanntlich kann man die Periode einer regelmässig wiederkehrenden Bewegung bestimmen, indem man die schnellste Rotation des Stroboskopes aufsucht, bei welcher das Object, durch dasselbe gesehen, ruhend erscheint. Es ist dann die Frequenz der untersuchten Schwingungen $N = m \cdot k$, wenn die Zahl der Ausschnitte m und die Umdrehungszahl der Scheibe k per Secunde ist.

Um die Gebrauchsfähigkeit dieses Stroboskopes zu prüfen, beobachtete ich damit eine schwingende Stimmgabel von der Schwingungszahl 32 G.-S. Die Umdrehungszahl der Scheibe, bei der ich eben ein einfaches, scheinbar stillstehendes Bild der Zinke sah, nachdem ich die Geschwindigkeit allmählich verlangsamt hatte, betrug beim Blicken durch die innerste Zone des Stroboskopes 10,67 per Secunde und bei Benutzung der äussersten Zone 2,67 per Secunde. Somit sind die gefundenen Zahlen 32,01 resp. 32,04, welche recht genau der wirklichen entsprechen.

Das zu untersuchende Seepferdchen (*Hippocampus guttulatus*) wurde in ein kleines Aquarium gebracht und durch die rotierende Scheibe, und zwar durch die mittlere oder innerste Zone derselben, beobachtet. Gewöhnlich begann ich mit einer sehr schnellen Umdrehung des Stroboskopes, wo die Flosse sich noch lebhaft zu bewegen schien, und dann verlangsamte ich dieselbe allmählich, bis ich ein einfaches und stillstehendes Bild der Flosse erhielt. Blickte ich bei dieser Geschwindigkeit durch die nächst äussere Zone der Scheibe, so sah ich jedesmal ein ruhendes Doppelbild der Flosse, weil in dieser Zone die doppelte Anzahl von Ausschnitten vorhanden ist. Gewöhnlich musste ich mich begnügen, die Flosse nur eine oder wenige Secunden wirklich im scheinbaren Stillstande zu sehen, worauf sie langsame Bewegungen nach einer oder der anderen Richtung zu machen begann. Es beruhte dieses auf einer Inconstanz in der Schwingungszeit der Flosse. Denn es bewegt das Seepferdchen seine Flossen nicht immer gleich stark und gleich schnell, was man schon bei einer unmittelbaren Beobachtung sehen kann. Die beiden Brustflossen, die Rücken- und Analflosse bewegen sich auch nicht immer zugleich; man sieht manchmal, dass das Tier eine oder zwei derselben bewegt und die anderen ruhen lässt. Auch wird nicht immer die ganze Flosse bewegt, sondern oftmals nur ein Teil derselben, bei Bauchflosse und Rückenflosse der proximale. Auch dass individuelle Verschiedenheiten, betreffend die Schnelligkeit der Flossenbewegung, vorkommen, kann man oft schon ohne Weiteres sehen. Es hängt vielleicht mit der grösseren oder geringeren Frische der im Aquarium, also doch unter abnormen Verhältnissen, gehaltenen Tiere zusammen. In der Ruhe liegen die Brustflossen nach hinten dicht an der Seite des Körpers und die Rückenflosse nach dem Schwanz zusammengefoldet auf dem Rücken. Zuerst werden die Flossen aufgerichtet, und die Bewegung folgt. Meine stroboskopischen Beobachtungen erstreckten sich auf die typischen Flossenbewegungen, die dem unbewaffneten Auge nur ein ganz verwaschenes Bild der Flosse bieten, das aber doch auf recht bedeutende Ausschläge derselben schliessen lässt. Sie sind am besten bei dem raschen Nach-aufwärts-schwimmen des Tieres zu sehen. Hierbei bewegen sich die Rückenflosse und die beiden Brustflossen zugleich. Manchmal wurde das Tier durch einen um den Kopf oder Hals gewickelten dünnen Draht oder Faden aufgehängt, um die Beobachtung zu erleichtern, wobei der Schwanz frei sein muss, weil sonst das Tier ganz regungslos wird. Da machte

es manchmal schon von selbst starke, ziemlich lange dauernde Flossenbewegungen. Wenn das nicht der Fall war, so konnte ich dieselben in der Regel verursachen, wenn ich den Schwanz mit einem Stäbchen berührte und dann das letztere schnell entfernte. Diese reflectorische Flossenbewegung war qualitativ und quantitativ nicht anders als die normale, was ich durch mehrere Controllversuche sicherstellte.

Es zeigte sich, dass sich die Rückenflosse und die beiden Brustflossen mit gleicher Vibrationsdauer bewegen und die Schwingungszahlen für einen Hin- und Hergang 14,7—24,8 per Secunde sind. Wenn die Frequenz sich in einer Flosse ändert, so tut sie es in der Regel im demselben Maasse auch an den anderen, wie ich mich überzeugte, indem ich im Wasser nach aufwärts schwimmende Exemplare stroboskopisch beobachtete und feststellen konnte, dass, wenn die Rückenflosse stillzustehen scheint, das auch bei den Brustflossen der Fall ist. Von der Analflosse kann ich nicht dasselbe behaupten.

Die im Einzelnen erhaltenen Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Successive an Brust- und Rückenflossen wurden für die genannten Versuchstiere folgende Frequenzen per Secunde gefunden:

Nr. des Versuchstieres	Frequenz	Nr. des Versuchstieres	Frequenz
2	20	9	18,0
4	14,7	10	18,8
5	15,9	11	15,6
6	23,4	12	18,8
7	15,3	14	24,8
8	16,5		

Die Brustflossen allein habe ich beobachtet bei drei Tieren und gefunden:

Nr. des Versuchstieres	Frequenz
1	20
3	16
13	19,3

wobei bemerkt wird, dass ich nach einiger Zeit dieselben Tiere nochmals beobachtete und bei Nr. 1 die Zahl 16, bei Nr. 13 sowohl an der Brustflosse als an der Rückenflosse die Zahl 24 fand. Auch

beim Versuchstiere Nr. 8 fand ich einige Zeit nach der ersten Beobachtung die Frequenz an Brust und Rückenflosse von 16,5 auf 16 gesunken — alles Beispiele dafür, dass die Flossenbewegung auch unter anscheinend gleichen Verhältnissen bedeutenden Schwankungen unterliegt. Indem man Auge und Stroboskop in eine Entfernung von 0,5—1 m vom Tiere bringt, gelingt es leicht, die Bewegung der Rückenflosse und der Brustflossen zugleich zu überblicken. Unter diesen Umständen fand ich weiter folgende Zahlen.

Nr. des Versuchstieres	Frequenz
15	24,8
16	23,6
17	19,2
18	20,6

Als ich das Tier Nr. 18 vier Stunden später neuerdings untersuchte (es war unterdessen in gut ventiliertem Wasser gehalten), fand ich die Zahl 18,5 und nach einer weiteren Stunde die Zahl 24, während ich bei der nochmaligen Beobachtung des Tieres Nr. 17 nach sechs Stunden dieselbe Zahl 19,2 bekam. Aus den sämtlichen Zahlen ergibt sich ein Mittel von 19,3.

Immer wieder stiegen mir Bedenken gegen die gefundenen Zahlen insofern auf, als bei der stroboskopischen Methode ein Irrtum um ein ganzes Vielfaches leicht möglich ist. Würde ja die Flosse auch dann unbewegt erscheinen, wenn die Spaltfrequenz nur die Hälfte der Vibrationsfrequenz betrüge, ebenso nur ein Drittel, usw. Ich habe oben schon angedeutet, wie ein solcher Fehler zu vermeiden ist, indem ich angab, die grösste Umdrehungsgeschwindigkeit des Stroboskopes, bei welcher das Object ruhend erscheint, als Maass benutzt zu haben. Trotzdem schien mir noch wünschenswert, die gefundenen Werte nach einer anderen Methode zu prüfen. Zu diesem Zweck wurde eine lange, schmale Glasplatte mit einem dünnen Niederschlag vom Chromgelb, welches in Seewasser aufgeschwemmt war, verwendet. Wenn man nämlich das als Malerfarbe in Gebrauch stehende Chromgelb in viel Wasser suspendiert, auf den Boden des verwendeten Gefässes eine Glasplatte legt und einige Stunden abwartet, so setzt sich der Farbstoff in sehr leicht anhaftender Lage an der Glasplatte fest, so dass man diese dann herausheben und wie eine berusste Platte verwenden kann. Eine solche wurde leise,

den Rand der Rückenflosse eines frei schwimmenden Seepferdchens berührend, mit der Hand in einer bestimmten Geschwindigkeit vorbeigezogen. Diese primitive Methode gelang mir nur zweimal. Die so gefundenen Zahlen waren ungefähr 16 per Secunde, erweisen also, dass ein grober Fehler bei der stroboskopischen Bestimmung nicht gemacht worden war.

Die stroboskopische Methode erlaubt nun natürlich auch, die Form und den Ablauf der Flossenbewegung recht befriedigend zu verfolgen. An der Rückenflosse erkennt man, was schon dem freiem Auge wahrscheinlich erscheint und Ranvier sowie Rollett auch angegeben haben, dass die Flossenstrahlen ihre seitlich gerichteten Schläge nicht gleichzeitig, sondern in regelmässiger Zeitfolge ausführen, so dass die Flosse eine wellenartige Bewegung macht. Man kann sagen, an der Kante der Rückenflosse laufen Wellen ab, und das Tier schwimmt durch dieselben nach dem Princip, nach welchem eine Schlange im Wasser schwimmt. Wie man mit dem Stroboskop sieht, sind circa zwei ganze Wellen in jedem Momente auf der Flosse vorhanden, die vom Kopfende gegen das Schwanzende ablaufen. Die Art dieser Bewegung kann recht gut beobachtet werden, wenn das Stroboskop in seiner Frequenz nur wenig von der der Flossenstrahlen abweicht; in diesem Falle sieht man die Bewegung in der geschilderten Weise bei etwas verlangsamtem Stroboskop, hingegen scheint die Welle nach dem Kopfende gerichtet bei Beschleunigung desselben. Auch die Brustflosse schlägt nicht als Ganzes, sondern wellenartig. Nur bildet dieselbe stets nur einen Anteil, und zwar ca. zwei Drittel, einer Welle. Diese läuft in gleichem Sinne ab wie an der Rückenflosse.

Hier sei noch bemerkt, dass das Seepferdchen bei seinem gewöhnlichen Hinauf- und Hinabschwimmen eine durchschnittliche Geschwindigkeit von ca. 4 cm per Secunde hat.

Zum Schluss erlaube ich mir, Herrn Prof. Sigmund Exner für seine Anregung und Ratschläge und den Herren Prof. Kreidl und Cori für ihre Unterstützung bei dieser Untersuchung meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.