

Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 1 (1946)
Heft: 7

Artikel: Der Flug von fliegenden Fischen
Autor: Carter, G.S.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-653917>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 21.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Natur, der Welt in ihren kleinsten Abmessungen, befallen wird. Einstein sagt mit vollem Recht: «Das Schönste, was wir erleben können, ist das Geheimnisvolle». Wem drängt sich dabei nicht etwa ein Vergleich auf mit den herrlichen Formen und Farben der kleinsten Pflanzen und Tiere, die auch in reichster Phantasie in ihrer Pracht nicht zu überbieten sind, die indessen bei genügender Vergrößerung durch das Auge erkennbar werden. Ralph Waldo Trine sagt in seinem Neubau des Lebens: «Wissenschaft und Religion gehören zusammen, wenn die Entwicklung vorwärts schreiten soll. Getrennt sind sie einzelne Pole ohne Kraft; vereinigt bilden sie ein Ganzes, durch das der elektrische Strom der Begeisterung kreist, durch das die Religion wissenschaftlich wird und die Wissenschaft religiös.» Rabelais mahnt: «Wissen ohne Gewissen ist Untergang der Seele» und Einstein findet: «Die ernstlichen Forscher in unserer im allgemeinen materialistisch eingestellten Zeit sind die einzig tief religiösen Menschen.»

Mit diesen wenigen Hinweisen ist schon der Beweis erbracht, daß der technisch vorgebildete Mensch – und er vielleicht mehr als jeder andere – über all das verfügt, was dazu nötig ist, in eine tiefe Bewunderung der Schöpfung und des in ihr verborgenen Willens und Wollens zu verfallen, das so groß ist, daß ein gelegentliches demütiges Niederknien sich förmlich aufdrängt, um möglichst klein zu erscheinen ob solch überragender Ordnung außerhalb und unabhängig irgendwelchem Hinzutun von uns Menschen.

Niemand wird glücklicherweise je in der Lage sein, alles dies rein philosophisch, wissenschaftlich oder auf

religiösem Wege restlos zu ergründen. So bleibt außerhalb jeden Wissens stets Raum genug für das Nichtwissen, das Ahnen, das Glauben, sagen wir mutig: Den Glauben. Und es ist gut so. Spinoza schreibt in seiner Ethik im Abschnitt von der Macht der Erkenntnis: «Je mehr wir die Einzeldinge erkennen, umso mehr erkennen wir Gott.» Wie einzigartig äußert sich Goethe im vierzehnten Buch in Dichtung und Wahrheit über Wissen und Glauben, wie es auch hier verstanden sein möchte. Allumfassende wissenschaftliche Erkenntnis vermöchte auf die Dauer die Ethik und Moral nicht zu erhalten. Weitgehendes Erkennen und hohes menschliches Wissen steigern andererseits nur das Staunen vor dem stets noch höher stehenden Werk der in den letzten Teilen stets unergründlichen Schöpfung. Wo Staunen herrscht, da wird der Mensch in Schranken gehalten; er bleibt ehrfürchtig und ergeben, weil er, und zwar je weiter sein Wissen reicht, stets um so Höheres über sich wähnt. Das genügt, um Mensch werden und Mensch sein zu können; wie er sein Leben für sich von solcher Erkenntnis an im einzelnen gestaltet, bleibt ohne nennenswerten Einfluß. Er wird bewußt keinen schlechten Weg mehr gehen; er wird verträglich mit anderen Mitmenschen und im einzelnen voneinander abweichenden Anschauungen und tolerant vor allem in allen konfessionellen Fragen. Damit ist das Ziel denkender Menschen erreicht, und wir Ingenieure und Techniker wollen uns glücklich schätzen, daß uns dieses Ziel in so seltener Weise auf unserem eigenen Berufswege erreichbar erscheint.

DER FLUG VON FLIEGENDEN FISCHEN

G. S. Carter

Biologen haben den Flug von fliegenden Fischen zwar seit langem studiert, doch konnte seine Natur nicht zufriedenstellend geklärt werden, solange die Beobachtungen auf menschliche Sehkraft beschränkt waren. In dem vorliegenden Aufsatz beschreibt Dr. Carter, wie die Verwendung photographischer Methoden zur Aufzeichnung des Fluges und die Anwendung aerodynamischer Prinzipien auf sein Studium zur Lösung dieses Problems beigetragen haben.

Körperbau und Gepflogenheiten

Die fliegenden Fische, die wir von einem Schiffsdeck sehen, gehören zu nur einer von mindestens vier Gattungen, die mehr oder weniger fliegen oder gleiten. Am leichtesten zu beobachten und die besten Flieger sind die *Exocoetidae*, die gewöhnlichen flie-

genden Fische der offenen Meere. Wir werden uns nur mit dieser Familie beschäftigen und unter ihnen mit den am weitesten entwickelten Gattungen wie *Cypselurus*, die man mit größter Wahrscheinlichkeit auf einer Schiffsreise sieht. Im Gegensatz zu einigen andern Familiengattungen besitzt *Cypselurus* fürs Fliegen ausgebildete Becken- und Brustflossen.

Die *Exocoetidae* sind schnell schwimmende, sehr aktive Fische, die nahe der Meeresoberfläche leben und sich von kleineren Fischen und andern Angehörigen der Oberflächenbevölkerung ernähren. Ihre einer Makrele ähnlichen Körper sind für ein solches Dasein gut durchgebildet, und sie haben große Augen (Bild 1).

Ihr Körper hat sich in mehrfacher Hinsicht den Anforderungen des Fluges angepaßt. So ist ihre Stromlinienform für das Fliegen in der Luft ebenso

geeignet wie für schnelles Schwimmen; die Bauchfläche ist abgeflacht und gibt ihnen einen besonderen Auftrieb. Der Schwanz hat eine für Fische ungewöhnliche Form angenommen; er hat zwar die für Fische gewöhnliche V-Form, doch ist der untere Arm des V beinahe eineinhalbmal so lang wie der

Der Flug

Zu Beginn des Fluges durchschneidet der Fisch die Oberfläche mit seiner Schwimmggeschwindigkeit, die auf 25–30 km/Std. geschätzt wird (Bild 4a). Wie Photographien zeigen, befindet er sich dabei fast

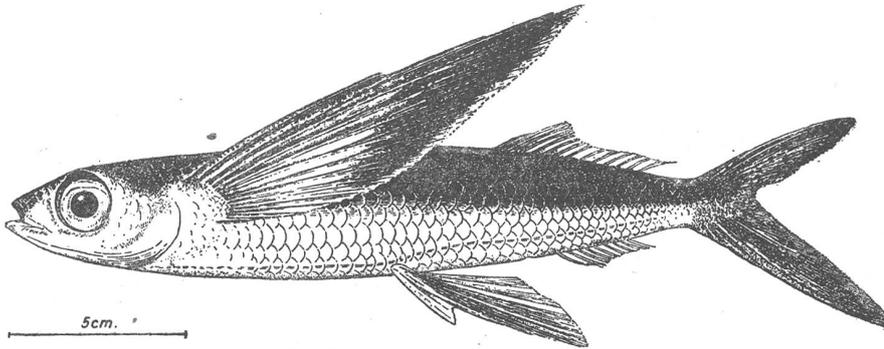


Bild 1: *Cypselurus-lutkeni*, ein typischer fliegender Fisch

obere. Diese Schwanzform spielt für das Fliegen eine ausschlaggebende Rolle. Natürlich sind es die im Fliegen benutzten Flossenpaare, die die weitgehendste Anpassung erfahren haben. Die Brustflossen (Bild 2 und 3) sind etwa $\frac{2}{3}$ so lang wie der Körper und haben ausgebreitet mehr als die doppelte Bauchfläche. Beim Schwimmen werden sie eng gegen den Körper gepreßt, beim Fliegen aber in eine nahezu senkrechte Lage zum Körper gebracht und ausgebreitet (Bild 6). Ihre Rückenfläche wird durch ein dünnes Häutchen gebildet; dies wird von 10 bis 12 Knochenstrahlen unterstützt, die von der Bauchfläche des Häutchens ausgehen und einen merkwürdigen, nach rückwärts gebogenen Querschnitt aufweisen (Bild 3). Eine die Bauchkanten der Strahlen verbindende Linie bildet mit dem Häutchen einen guten Tragflächenquerschnitt. Die Beckenflossen sind viel kleiner und mehr oder weniger rechteckig; ihr Aufbau ist den Brustflossen ähnlich.

genau in horizontaler Lage (Edgerton und Breder). Sobald er in der Luft ist, werden die Brustflossen gespreizt, während die Beckenflossen noch geschlossen bleiben. Da der Schwanz somit weniger unterstützt ist als der Kopf, nimmt der Körper einen erheblichen Winkel (etwa 15°) gegen die Waagerechte an (Bild 4b, 5), wobei das größere Bauchlappchen des Schwanzes im Wasser verbleibt. In dieser Lage durchschneidet der Fisch eine halbe bis eine Sekunde lang die Oberfläche. Gleichzeitig führt sein Schwanz im Wasser etwa 50 kräftige Schwingungen pro Sekunde aus (Bild 5), wodurch der Fisch seine Geschwindigkeit bis auf die nötige Fluggeschwindigkeit erhöht. Diese wird manchmal so niedrig wie 55 und manchmal so hoch wie 90 km/Std. geschätzt. Filmaufnahmen (Carter und Mander, 1935) ergaben eine Geschwindigkeit von 40 bis 50 km/Std., doch war dies wahrscheinlich nahe dem Ende des Gleitfluges, da der frühe Teil des Fluges mit der Kamera schwierig

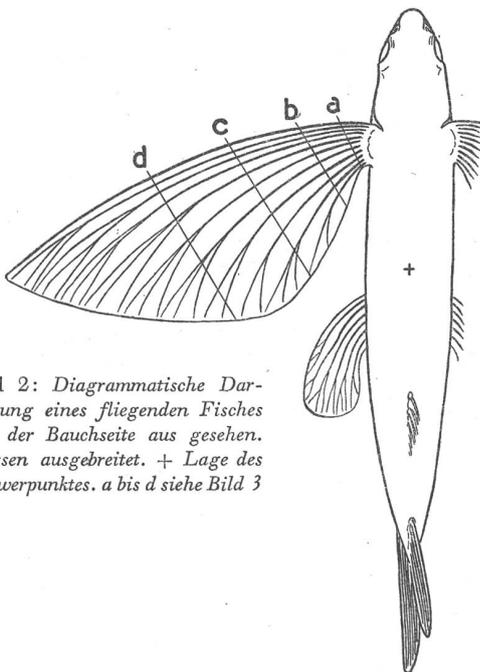


Bild 2: Diagrammatische Darstellung eines fliegenden Fisches von der Bauchseite aus gesehen. Flossen ausgebreitet. + Lage des Schwerpunktes. a bis d siehe Bild 3

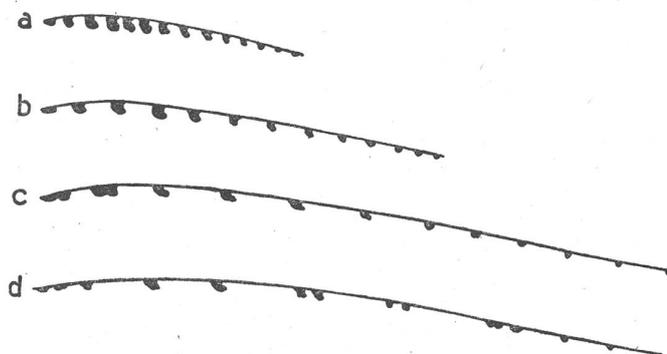


Bild 3: Querschnitte der Brustflossen in den in Bild 2 mit a bis d gekennzeichneten Stellen.

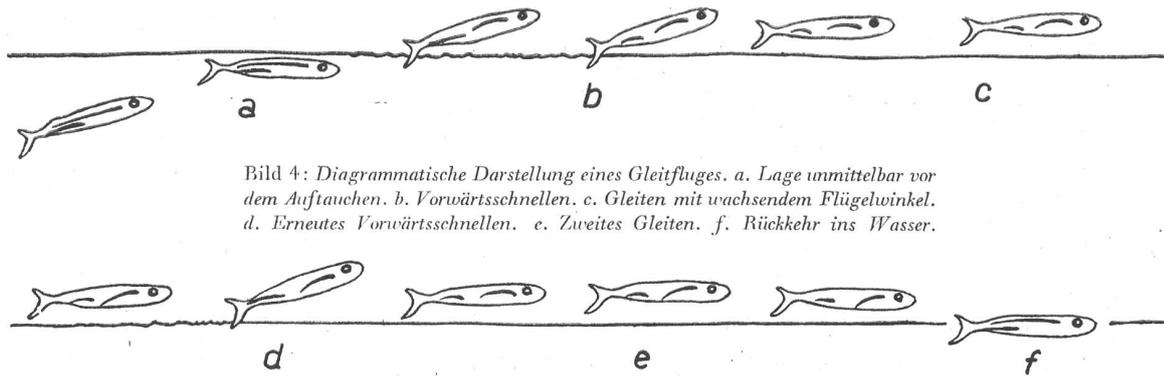


Bild 4: Diagrammatische Darstellung eines Gleitfluges. a. Lage unmittelbar vor dem Auftauchen. b. Vorwärtsschnellen. c. Gleiten mit wachsendem Flügelwinkel. d. Erneutes Vorwärtsschnellen. e. Zweites Gleiten. f. Rückkehr ins Wasser.

zu erfassen ist. 65 km/Std. ist vielleicht die beste Schätzung der anfänglichen Gleitgeschwindigkeit. Die von dem schwingenden Schwanz auf dem Wasser zurückgelassene Spur läßt sich in Bild 5 erkennen.

Bevor der Fisch vom Wasser frei kommt, mag das Schwingen des Schwanzes ein passives Zittern des Vorderteils des Körpers und besonders der Brustflossen hervorbringen. Es ist wahrscheinlich dieses Zittern, das bei Beobachtern den Eindruck erweckt hat, daß die Flossen bewegt werden. Eine aktive Flossenbewegung während dieser Periode ist aber nicht bewiesen, und während des späteren Gleitens existiert sie zweifellos auch nicht; denn selbst Aufnahmen mit längeren Belichtungszeiten zeigen durchaus scharfe Flossenbilder.

Mit Erreichen der Fluggeschwindigkeit werden die Beckenflossen gespreizt, der Körper liegt nahezu waagrecht – mit einer Neigung von etwa 6° – und der Schwanz wird aus dem Wasser gehoben (Bild 4c, 6). In dieser Lage gleitet der Fisch in nahezu gleichbleibender Höhe von etwa 30 cm mit stetig abnehmender Geschwindigkeit über das Wasser. Zur Aufrechterhaltung dieser Höhe mit fallender Geschwindigkeit muß die Neigung der Flügel gegen die Waagerechte dauernd vergrößert werden. Der Fisch besitzt die dafür geeigneten Muskeln. Wenn die Fluggeschwindigkeit unterschritten wird, so fällt der Fisch entweder ins Wasser zurück oder er kann

die Beckenflossen zusammenfalten, den Schwanz senken und durch Schlagen des Schwanzes im Wasser zusätzliche Geschwindigkeit erreichen (Bild 4d), worauf ein weiterer Gleitflug erfolgt (Bild 4e). Diese Art der Fortbewegung ist sehr häufig; zehn aufeinanderfolgende Gleitflüge sind schon beobachtet worden.

Im allgemeinen dauert das Gleiten bis zu drei oder vier Sekunden, doch ist es oft auch viel kürzer. Hubbs, der sehr viele Flugbeobachtungen angestellt hat, gibt einen Mittelwert von 2,6 Sekunden für den eigentlichen Gleitflug, doch haben gute Beobachter Gleitflüge von zehn oder selbst dreizehn Sekunden festgestellt (Hubbs); diese sind aber zweifellos außergewöhnlich. Die Länge des Gleitfluges schwankt natürlich mit Windstärke und Richtung. In ruhiger Luft beträgt ein mittlerer Gleitflug wahrscheinlich 35–40 Meter, doch wird er häufig auf 100 Meter geschätzt. Die außergewöhnlichen Flüge von zehn Sekunden Dauer sind viel länger. Die Endgeschwindigkeit des Gleitfluges beträgt etwa 40 km/Std.

Aerodynamik

Wie weit und mit welcher Geschwindigkeit ein Fisch nach anerkannten aerodynamischen Prinzipien zu gleiten vermag, sollte sich mit Hilfe von Windtunnelversuchen entweder an dem Fisch selbst oder



Bild 5: Diese Aufnahme eines sich vorwärtsschnellenden Fisches zeigt den Winkel des Körpers gegen die Waagerechte, geschlossene Beckenflossen und die von dem Schwanz im Wasser erzeugte V-Spur.

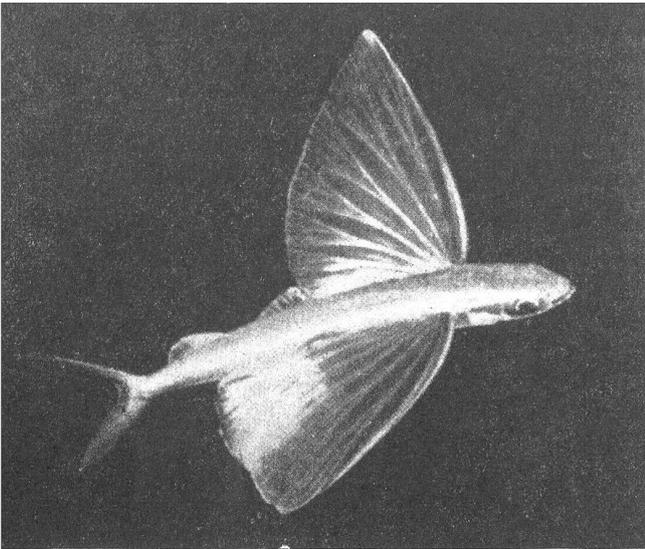


Bild 6: Ein gleitender Fisch; beachte die Form der Flügel und die ausgebreiteten Schwanzflossen.

einem Modell bestimmen lassen können. Solche Modellversuche wurden zuerst von Shoulejkin ausgeführt (1929). Er fand, daß das Modell bei einer Geschwindigkeit von über 37 km/Std. flog und daß es mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 55 km/Std. 6,2 Sekunden und 57 Meter weit gleiten würde. Dies ist etwas besser als ein mittlerer Gleitflug, aber durchaus nicht so gut wie die außergewöhnlichen Gleitflüge von zehn Sekunden und mehr.

Ein Modell kann den tierischen Körper aber niemals genau nachbilden. Es fehlen ihm die feinen Einzelheiten, und seine Oberfläche ist daher viel glatter, sodaß es weniger Widerstand erleidet und weiter fliegen wird. Im besonderen waren die Flügel des Modells von Shoulejkin einfache Häute, und es war anzunehmen, daß die besondere Struktur der in Bild 3 gezeigten Flügel die Leistungsfähigkeit beeinflussen würde. Aus diesen und anderen Gründen schien es interessant, herauszufinden, wie ein Fisch sich in einem Windtunnel¹ verhalten würde. Die Ausführung solcher Versuche bot aber gewisse Schwierigkeiten. Wir hatten nur ausgestopfte Fische; da aber die Flossenhäutchen während der Präservierung einschrumpfen, können sie nicht so weit ausgebreitet werden wie im natürlichen Flug. Um diese Schwierigkeiten zu überkommen, wurden die Häutchen sowohl von den Brust- wie Beckenflossen entfernt und durch eine entsprechende Zellophanfläche ersetzt, wobei die Flossenstrahlen in ihren natürlichen Lagen an das Zellophan angeklebt wurden. Die Flossen wurden mittels Fäden, die an ihren Vorderkanten und weiter vorne in den Körper eingetriebenen Stecknadeln befestigt waren, ausgebreitet. Der Fisch wurde an den Fäden der Flossenvorderkanten und dem Körper unmittelbar vor dem Schwanz aufgehängt.

¹ Dr. L. G. Whitehead vom Queen Mary College, University of London, verdanke ich die Möglichkeit der Ausführung dieser Experimente und große Hilfe bei ihrer Ausführung.

Auf diese Weise wurde eine ziemlich natürliche Nachbildung des Fisches im Fluge erhalten. Es verbleibt noch die eine Schwierigkeit, daß die Flossen in dem ausgestopften Fisch nicht so gedreht werden können wie im Leben. Shoulejkin hatte dies nicht berücksichtigt. Um in dieser Hinsicht natürlichere Bedingungen nachzubilden, führten wir zwei Beobachtungsreihen aus. Zuerst bestimmten wir den Auftrieb und Widerstand bei verschiedenen Winkeln, indem der Körper des Fisches mit den Flossen gedreht wurde. Danach entfernten wir die Flossen und wiederholten die Beobachtung mit dem Körper allein. Durch Kombination dieser beiden Beobachtungsreihen konnten wir dann die Leistung beim natürlichen Gleiten berechnen, d. h. mit verschiedenen Flossenwinkeln und einem um 6° gegen die Waagrechte geneigten Körper.

Man kann nicht erwarten, daß der Fisch in der von uns gewählten Aufstellung eine ebenso gute Leistung ergeben würde wie in der Natur, da der lebende Fisch natürlich die Neigung und Wölbung der Flügel viel genauer regulieren kann als wir. Ein lebender Fisch ist außerdem wahrscheinlich erheblich glatter und erzeugt weniger Widerstand als ein ausgestopfter. Ebenso konnten wir keine so guten Ergebnisse erwarten wie Shoulejkin mit seinem glatten Modell. Wenn seine Ergebnisse besser waren als in der Natur, so würden unsere schlechter sein.

Wir fanden, daß der Fisch bei Geschwindigkeiten oberhalb 40 km/Std. 1,74 Sekunden lang und 28 Meter weit mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 64 km/Std. fliegen würde. Unter Berücksichtigung der besseren Leistung des Fisches in der Natur zeigt sich somit, daß normale Gleitflüge (mit einem Mittel von 2,6 Sekunden und 35–45 Metern) nicht über Erwartung lang sind, doch erscheint es recht unwahrscheinlich, daß die außergewöhnlichen Flüge von mehr als 10 Sekunden ohne ein weiteres Mittel zur Leistungssteigerung erklärt werden könnten.

Es gibt aber noch eine andere Erklärung. Flugzeuge können bekanntlich nahe der Erdoberfläche aus der Polsterwirkung der Luft zwischen ihnen und dem Erdboden Extratragfähigkeit erhalten. Der gleitende Fisch ist der Wasseroberfläche sehr nahe und wird daher dieser Wirkung eine gewisse Unterstützung verdanken; das Ausmaß dieses Effekts läßt sich mit unserer heutigen Kenntnis nicht abschätzen, noch sagen, ob er unter wechselnden Bedingungen schwanken würde.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die normalen Gleitflüge fliegender Fische auf Grund anerkannter aerodynamischer Prinzipien erklärt werden können, und daß die längsten Flüge in Zukunft ebenso erklärt werden mögen.

Artikel und Clichés wurden der Redaktion des «Prisma» in verdankenswerter Weise von der in England erscheinenden Zeitschrift «Endeavour» zur Verfügung gestellt.