

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 77 (1985)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Die Fortbewegung der Fische  
**Autor:** Vischer, Daniel  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940954>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 10.02.2026

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

feranten braucht es eine genaue Spezifikation der Messstelle durch den Ingenieur.

Verwendet werden mit guten Erfahrungen die «Ingenieur-technischen Datenblätter». Diese enthalten:

- die Adresse, diese soll möglichst einen Bezug zur Verfahrensstufe und Art der Messung haben;
- die Betriebsdaten, wie Messstoff, Temperatur, Druck;
- den Prozessanschluss;
- die Messwertverarbeitung, das heisst Messbereich, Grenzwerte, Regelung;
- Daten des Stellgliedes;
- die Montageausführung, z. B. Montage in Schutzkasten.

Unten auf dieser Liste werden die für diese Messstelle vorgesehenen Instrumente, Geräte usw. aufgelistet.

### Steuern, Regeln, Anzeigen und Registrieren

Neben der Messtechnik sind die drei Funktionen Steuern, Regeln und Anzeigen bzw. Registrieren in einer konventionellen ARA oft unabhängig voneinander realisiert. Dies trifft speziell auf kleine bis mittlere Anlagen zu (Bild 5). Hier sind die Steuerungen in Relais-technik realisiert, und Regelungen sind eher selten. Die Messwerte werden durch Anzeige- und Registriergeräte gezeigt und festgehalten und die Protokolle von Hand erstellt.

Mit zunehmender Komplexität der Verfahrenstechnik und mit dem Wunsch nach Optimierung der Prozesse werden auch höhere Ansprüche an die MSR-Technik gestellt. Mögliche Optimierungen sind dann zum Beispiel:

- Die Schneckenpumpen werden nach möglichst konstantem Durchlauf in der ARA geregelt. Der Zulauf wird ebenso berücksichtigt wie eine möglichst tiefe Schalthäufigkeit der Pumpen.
- Die optimale Regelung des Lufteintrags im Belüftungsbecken nach  $O_2$ -Werten unter Berücksichtigung der Schmutzfracht.

Unabhängig davon, ob ein neues System ausgelegt werden muss, oder eine bestehende Anlage zum Beispiel um eine Schlammhygienisierung erweitert werden muss, empfiehlt es sich, die Gesamtsituation systematisch zu überprüfen.

Die folgende Methode hat sich dazu sehr gut bewährt:

**Ziele:** Welches sind die Zielsetzungen für die ARA und damit für die MSR-Technik? Muss die Anlage, z. B. während der Nacht, unbemannt durchlaufen können?

**Funktionen:** Welche Funktionen sind nötig, um die Ziele zu erreichen (z. B. Back-up-Regelfunktionen für die wichtigsten Regelkreise)?

**Mittel:** Die Mittel, die die verlangten Funktionen erbringen (Hardware, Software und Engineering), sind vom Lieferanten zu spezifizieren.

Nach dem Festlegen der Ziele und Funktionen zeigen sich bestimmte Schwerpunkte:

Es zeigt sich z. B., dass für die erweiterte Anlage Anzeiger, Registriergeräte und Handprotokollierung den neuen Anforderungen nicht mehr genügen.

Das Anpassen der Mittel kann hier darin bestehen, dass ein Datenerfassungs-, Überwachungs- und Protokollsystem vorgesehen wird.

Kleine Systeme arbeiten mit einem Datenerfassungssystem, das die Überwachung der Grenzwerte übernimmt, die mit einem entsprechend geeigneten Personalcomputer dargestellt werden können.

Sind nach der Analyse eine Vielzahl von Steuerungen, aber wenig Regelungen zu erbringen, dann eignet sich dazu als «Mittel» eine speicherprogrammierbare Steuerung, die auch stetige und Schrittregefunktionen erbringt. Die Anzahl Prozessschritte und Regelungen bestimmen die Grösse des Systems.

Solche Systeme, die modular aufgebaut sind, sind heute am Markt erhältlich.

### Trends und Empfehlungen

Prozessregler werden inskünftig auch Rechenaufgaben übernehmen und können zu «Multiprozessregelsystemen» zusammengebaut werden. Damit können Hardware und Software für die Messwertverarbeitung auf einfachste Art integriert werden.

Mittlere Systeme, d. h. speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), digitale Regelsysteme und Datenerfassungssysteme werden in bezug auf Hardware und Software so ausgebaut, dass Regelungen mit SPS und Farbbilddarstellungen mit allen genannten Systemen möglich sind.

Neue Technologien erlauben eine noch höhere Modularität in der Hard- und Software. Für grössere Systeme ist eine noch konsequentere Dezentralisation der verschiedenen Aufgaben die Folge.

Die Erarbeitung der Spezifikationen sollte nach dem genannten Prinzip: *Ziele – Funktionen – Mittel* erfolgen. Der Lieferant der Mess-, Steuer- und Regeltechnik soll die Möglichkeit haben, die Mittel zu spezifizieren und sich dabei auf die Vorstellungen des Planers abstützen können.

Adresse des Verfassers: René Gartenmann, Ing.-Tech. HTL, Philips AG, Abteilung Industrie und Forschung, Allmendstrasse 140, Postfach, CH-8027 Zürich.

Vortrag, den der Verfasser an der Philips-Tagung über Abwasser- und Schlammbehandlung am 26. September 1985 in Zürich gehalten hat.

## Die Fortbewegung der Fische

Daniel Vischer

Wie schwimmt ein Fisch?

Was hält ihn in Schwebelage?

Wie bewegt er sich vorwärts?

Kann er rückwärts schwimmen?

Diesen Fragen war das Kolloquium der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, vom 15. Mai 1984 gewidmet. PD Dr. David Senn vom Zoologischen Institut der Universität Basel fasste dort in einem faszinierenden Referat zusammen, was die Fisch-Physiologen heute wissen.

Zunächst muss gesagt werden, dass Fische mit heute über 30 000 bekannten Arten formenreicher sind als alle übrigen

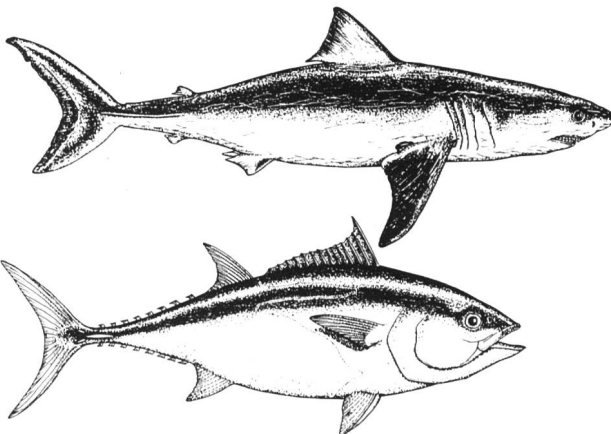


Bild 1. Der Weisse Hai (oben) und der Thun (unten) gehören zu den schnellen Schwimmlern. Wie bei andern Hochleistungsfischen weist ihr Körper eine Spindelform auf; die Dicke (vertikal gemessen) entspricht meist  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{3}$  der Länge. Damit ergibt sich ein günstiges Verhältnis zwischen der Antriebsmuskulatur und dem Strömungswiderstand (nach D. G. Senn, 1984).

Wirbeltiere zusammen. Dementsprechend sind auch ihre Schwimmfähigkeiten äusserst vielfältig.

Eine Minderheit der Arten verharrt am Grund eines Gewässers. Ihre Vertreter sind deshalb spezifisch schwerer als Wasser. Die Mehrheit hält sich jedoch in Schwebelage und tariert die Auf- und Abtriebskräfte aus, das heisst, sie hält dauernd ein stabiles Gleichgewicht zwischen Auftrieb und Gewicht ein. Als Ausgleichsorgan dient bei einigen Arten die fettige Leber (Lebertran), bei anderen eine gasgefüllte Schwimmblase. Einzig die Haie und verwandte Dauerschwimmer besitzen diese Möglichkeit nicht. Sie sind spezifisch immer schwerer als Wasser und können sich nur durch Vorwärtsbewegung in Schwebelage halten. Dabei wirken ihre weit abstehenden Brustflossen als Tragflächen (Bild 1). Die Vorwärtsbewegung der Fische erfordert eine Antriebskraft. Diese wird von der Fischmuskulatur aufgebracht und dem Wasser durch Körper- und Flossenbewegungen mitgeteilt. Als Gegenkraft wirkt die Reibung, die von der Form und der Haut der Fische abhängig ist. Wenn Antriebskraft und Reibungskraft übereinstimmen, bewegt sich der Fisch naturgemäss gleichförmig und befindet sich im dynamischen Gleichgewicht. Erstaunlicherweise ist das zugehörige Kräftespiel noch nicht voll geklärt; und selbstverständlich ist es auch nicht bei allen Arten gleich. Es gibt Fischarten, die mit langsamen und feinen Bewegungen sehr manövrierfähig sind. Andere wiederum sind auf schnelles und dauerhaftes Schwimmen ausgerichtet. Einige gehören zu den ausgesprochenen Blitzstartern mit der Fähigkeit zum Springen usw.

Als Beispiel seien hier kurz die Thunfische (Bild 1) betrachtet. Sie sind herausragende Vertreter der schnellen und ausdauernden Arten. So ist es ihnen möglich, über längere Strecken Reisegeschwindigkeiten von 60 bis 70 km/h zu halten. Was befähigt sie zu dieser bemerkenswerten Leistung? Sie weisen bei Körperlängen bis 3,5 m ein günstiges Verhältnis zwischen Antriebskraft und Reibung auf. Der Antriebskraft dient eine kräftige Muskulatur, die fast den ganzen Fischkörper einnimmt. Technisch ausgedrückt: Der Motor ist gross, aber die Nutzlast klein! Der Fischkörper ist so geformt, dass seine Reibung – das heisst sein Strömungswiderstand – verhältnismässig gering bleibt. Er gleicht einer abgeplatteten Spindel, eben dem typischen Fischprofil, und seine Dicke (vertikal gemessen) beträgt etwa  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{3}$  der Länge.

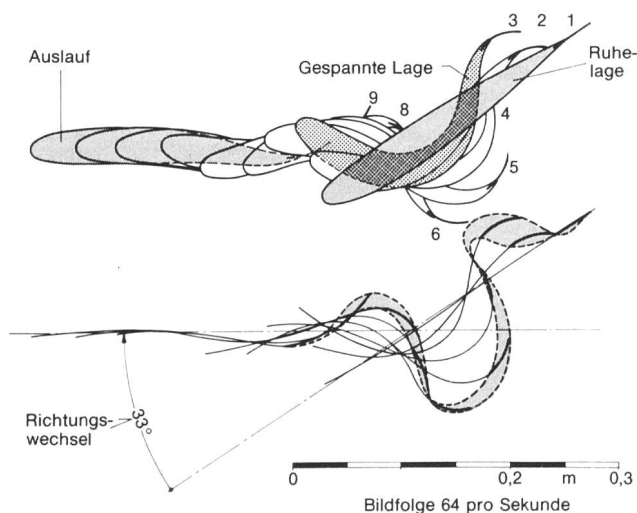


Bild 2. Blitzstart einer Forelle von 0,3 m Länge. Die 10 Bilder wurden innerhalb von 0,15 s aufgenommen. In dieser Zeit beschleunigte das Tier von 0 auf 2,6 m/s. Typisch ist die Richtungsänderung von etwa 30 Grad. Bewegungsablauf (oben) und Ausschlag der Schwanzflosse (unten) (nach H. Hertel, 1963).

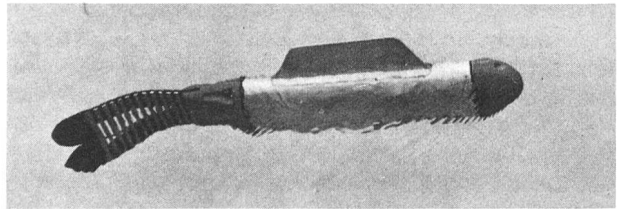


Bild 3. Fischroboter von 0,6 m Länge und 1 m/s Maximalgeschwindigkeit. Der steife Rumpf enthält den batteriegetriebenen Elektromotor zur Erzeugung der Schlängelbewegung (sogenannter Kulissenantrieb) des flexiblen Schwanzes (Foto S. Pálffi, 1977).

Die Vorwärtsbewegung erscheint dem Betrachter als Schlängelbewegung und ist es auch. Bei einigen Fischarten, wie etwa bei Aalen, wird diese Bewegung in S-Form von der Muskulatur direkt gesteuert. Für die betrachteten Thunfische und schnellen Haie sowie für viele andere Schnellschwimmer nimmt man heute aber einen anderen Zusammenhang an: Die Muskulatur induziert nicht eine S-Form, sondern eine C-Form des Fischkörpers. Das heisst, sie krümmt den Fisch wechselweise nach links und nach rechts. Dafür spricht unter anderem die Tatsache, dass beispielsweise eine an der Angelleine in der Luft hängende Forelle nur diese C-Form zeigt. Erst der Wasserwiderstand verwandelt die C-Form in die charakteristische und für die Vorwärtsbewegung wichtige Schlängelbewegung. Diese Verwandlung hängt eng mit der Biegesteifigkeit des Fischkörpers zusammen. Da diese vom Kopf bis zum Schwanz drastisch abnimmt, sind die Ausschläge der Schlängelbewegung hinten wesentlich grösser. Sie werden dort bezüglich ihrer hydrodynamischen Auswirkung noch durch eine grosse Schwanzflosse verstärkt.

Es genügt aber nicht, die Vorwärtsbewegung durch diese resultierende Schlängelbewegung allein und damit nur zweidimensional zu erklären. Denn mit den Flossen können die Fische durchaus auch dreidimensionale Effekte erzielen. Gerade die grossen Schwanzflossen der Thunfische und schnellen Haie werden bei jedem Schlag wechselseitig schräg gestellt, was Vorschub bewirkt. Man hat sie deshalb auch schon mit Propellerblättern verglichen, obschon sie sich nur rhythmisch und nicht rotierend bewegen.

Interessanterweise ist es diesen Hochleistungsfischen verwehrt, eine andere als eine in Längsachse gerichtete Vorwärtsbewegung durchzuführen. So können sie insbesondere nicht rückwärts oder seitwärts schwimmen. Solche Manöver sind einigen langsameren Arten vorbehalten. Beispielsweise arbeiten bei vielen Barscharten deren eng benachbarte Brust- und Bauchflossen auf eine Weise zusammen, dass sowohl langsame Vor- als auch Rückwärtsbewegungen sowie Auf- und Abwärtsbewegungen resultieren. Das VAW-Kolloquium vom 15. Mai fand seinen Abschluss in einer Demonstration. Professor Sándor Pálffi von der HTL Brugg-Windisch setzte in der Versuchsrinne des Hörsaals einen Fischroboter ein, den einer seiner Studenten im Rahmen einer Semesterarbeit konstruiert hatte (Bild 3). Dieser Roboter besteht aus einem starren Rumpf, der einen batteriegetriebenen Elektromotor enthält, mit dem eine Achse angetrieben wird. Diese ist räumlich gekrümmt und vermittelt einer gelenkigen Schwanzflosse eine Schlängelbewegung mit nach hinten zunehmenden Ausschlägen. Im ausgetariten Zustand erreichte der Roboter eine Geschwindigkeit von fast 1 m/s und bot dabei einen ausgezeichneten Anschauungsunterricht zur Fortbewegung der Fische.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Daniel Vischer, VAW, ETH Zentrum, CH-8092 Zürich.