

Gill size and temperature as governing
factors in fish growth: a generalization of
von Bertalanffy's Growth Formula

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
des Fachbereich Mathematik-Naturwissenschaften
der Christian-Albrecht Universität
zu Kiel

Vorgelegt von

Daniel Pauly

Kiel

1979

Referent:.....

Korreferent:.....

Tag der mündlichen Prüfung:.....

Zum Druck genehmigt: Kiel, den.....

.....
Dekan

Kurzfassung

Vorliegende Arbeit ist ein Versuch, die Faktoren zu identifizieren, die das Wachstum von Fischen bestimmen. Dabei wird nach Regeln gesucht, mit deren Hilfe die Wachstumsparameter von wenig untersuchten, vornehmlich tropischen Beständen bestimmt werden können.

Die Daten, die für diese Untersuchung verwendet wurden stammen im Wesentlichen aus einer früheren Veröffentlichung dieses Autors, in der die Wachstumsparameter von über 500 Fischarten und über 1 500 Einzelbeständen zusammengestellt wurden. Dabei wurden Parameterwerte in etwa 1 000 Fällen neu berechnet.

Von Bertalanffy's Wachstumstheorie postuliert u.a., daß organisches Wachstum als das Nettoergebnis zweier entgegengesetzter Prozesse begriffen werden kann, wobei der eine aufbauender Art (Anabolismus) und der andere abbauender Art ist (Katabolismus). Es wird gezeigt, daß neuere biochemische Untersuchungen diesen Teil der Theorie voll bestätigen.

Andererseits wird gezeigt, daß die Annahme einer Allgemeingültigkeit der "2/3 Regel" des Metabolismus, zumindest was die Fische betrifft, nicht aufrechterhalten werden kann. Diese Regel, die besagt, daß der O_2 Verbrauch von Fischen proportional zur $2/3$ Potenz ihres Gewichtes steigt, wenn die Fische wachsen, scheint nur bei sehr kleinen Fischen

(e.g. bei den Guppys) zuzutreffen. Erwähnte Potenz steigt andererseits auf etwa 0.80 bei den Fischen mittlerer Größe, und auf 0.90 und mehr bei den Thunen und anderen großen Fischen.

Daher scheint es angebracht, die "von Bertalanffy Wachstumsformel", die auf der "2/3 Regel" basiert, als einen Spezialfall einer "allgemeinen von Bertalanffy Wachstumsformel" zu betrachten, deren Intergration und Eigenschaften detailliert behandelt werden.

Ein Problem vieler vergleichender Wachstumsuntersuchungen ist die Frage nach der Vergleichbarkeit der Längen- oder Gewichtswachstumskurven von Fischen verschiedener Arten und Bestände.

Es wird gezeigt, daß die Steigung am Wendepunkt (der maximale Gewichtszuwachs pro Zeit) einer Gewichtswachstumskurve mittelbar einen anschaulichen und aussagekräftigen Index für die Wachstumsleistung von Fischen liefert. Dieser Index, P genannt, hat nämlich für jede Art, Gattung und/oder Ökologische Gruppe einen charakteristischen Wertebereich, der, unter Vorgabe eines Schätzwertes für das Endgewicht, dazu benutzt werden kann, den Wachstumsparameter K zu schätzen.

Dieses Verfahren, das besonders für die Schätzung der Wachstumsparameter tropischer Bestände geeignet erscheint, wird besonders durch die Verwendung eines sogenannten "Auximetrischen Netzes" erleichtert, das als neues grafisches Verfahren für die vergleichende Untersuchung der Wachstumsleistung von Fischen vorgestellt wird.

Die Abhängigkeit des Fischwachstums von der Sauerstoffversorgung wird diskutiert. Dabei erweist es sich, daß die Kiemenoberfläche - die ja die Höhe des O_2 -Angebots bestimmt - in marinen Fischen eng mit dem Wachstumsindex P (s. oben) korreliert.

Eine mögliche limitierende Rolle der Kiemenoberflächen - d.h. der O_2 Versorgung - wird auch in Zusammenhang mit dem Individualwachstum von Fischen diskutiert. Dabei erweist es sich, daß die mit diesem Wachstum einhergehende Abnahme der Nahrungskonversion auf eine schlechter werdende O_2 -Versorgung zurückgeführt werden kann, die ihre Ursache in einer wachstumsbedingten Abnahme der relativen Kiemenoberfläche ($\frac{\text{Kiemenoberfläche}}{\text{Körpergewicht}}$) hat.

Die Beziehung zwischen der mittleren Umwelttemperatur und den Wachstumsparametern von Fischen wurden untersucht. Anhand eines Datenmaterials, das 300 Einzelbestände umfaßt wird gezeigt, daß der Parameter K der von Bertalanffy Wachstumsformel, der obenerwähntem Katabolismus proportional ist, sich im Temperaturbereich 5° bis 30° C so ändert wie von der Krogh'schen Standardkurve (des Metabolismus) beschrieben.

Eine biochemische Deutung für diesen Befund kann darin gesehen werden, daß die Degradation von körpereigenem Eiweiß (Katabolismus, s. oben) in Abhängigkeit von der Temperatur erfolgt, und daß dieses Eiweiß, unter entsprechendem O_2 -Verbrauch, laufend neusynthetisiert werden muß. Biochemische Arbeiten, die diese Deutung stützen, werden diskutiert.

Die enge Beziehung zwischen dem Parameter K und dem Sauer-

stoffverbrauch wurde auch bei den extrem niedrigen Temperaturen nachgewiesen, bei denen die sogenannte "cold adaptation" den Effekt hat, sowohl den O₂-Verbrauch als auch K zu erhöhen. Dies wird, ebenfalls gestützt auf biochemische Arbeiten, als die Wirkung einer "cold denaturation" von Körpereweiß angesehen, d.h. auf die Tatsache zurückgeführt, daß sehr niedrige Temperaturen (< 3 - 4° C) ebenso wie erhöhte Temperaturen zu einer Erhöhung der Rate führen, mit der Körpereweiß abgebaut wird.

Die Beziehung zwischen K und der asymptotischen Länge (L_∞) in etwa 1 000 Beständen und etwa 130 Arten wurde quantitativ untersucht. Dabei erweist es sich, daß L_∞ (und entsprechend auch W_∞, das asymptotische Gewicht) sich in bestimmter Weise ändert, wenn sich K ändert. Dabei gilt:

$$\log K = a - 2/3 \log L_{\infty}^3.$$

Diese Gleichung gilt allerdings in dieser Form nur bei Verwendung der speziellen VBGF (L_∞³ kann hier auch durch W_∞ ersetzt werden).

Diese Beziehung kann - zusammen mit der zwischen K und der Temperatur festgestellten Beziehung - dazu benützt werden, die Beziehung zwischen der mittleren Umwelttemperatur und der asymptotischen Länge (bzw. dem asymptotischen Gewicht) von Beständen quantitativ zu fassen. Dabei wird die allgemeine Erfahrung bestätigt, daß Warmwasserfische kleiner bleiben als ihre Artgenossen aus kälteren Gewässern, wobei wieder die Ausnahme gilt, daß unterhalb von 3 - 4° C, kältere Temperaturen eine Erniedrigung der Endgröße zur Folge haben.

Andere Aspekte des Fischwachstums werden nur kurz gestreift, so das Wachstum von Larven und von luftatmenden Fischen, sowie die Rolle der Kiemen bei der Evolution der Fische.

Einige methodische Aspekte der vorliegenden Arbeit werden in der Diskussion behandelt. Dabei wird die Problematik der Verwendung von Fremddaten, und insbesondere die möglichen Fehlerquellen und die Notwendigkeit der Standardisierung dieser Daten diskutiert. Dabei wird die Ansicht vertreten, daß die Nachteile einer Verwendung von Fremddaten bei weitem durch die Vorteile dieser Arbeitsmethode wettgemacht werden.

Der Hauptvorteil der Methode, Fremddaten zu verwenden, wird vor allem darin gesehen, daß durch sie Zusammenhänge erkannt und belegt werden können, die ein einzelner Forscher, der nur mit eigenen Daten arbeiten würde, nur sehr schwer erkennen und belegen könnte.

LEBENS LAUF

Name: Daniel Pauly

Geboren: am 2. Mai 1946 in Paris, Frankreich

Mutter: Renee Pauly, geb. Clément

Vater: Louis Pauly, Metallarbeiter

Staatsangehoerigkeit: Franzose

Schulgang 1953 - 1963: Ecole Primaire, Ecole Secondaire & Ecole Supérieure de Commerce in La Chaux-de-Fonds, Schweiz.
1964 - 1969: Staedtisches Abendgymnasium,, Wuppertal (NRW), bis Abitur (Juni 1969).

Studium: WS 1969/70 - SS 1974: Studium der Biologie an der Christian-Albrecht Universitaet, Kiel bis zum Diplom. Faecher: Fischereibiologie, Zoologie, Botanik. Diplomvater: Professor G. Hempel, Institut fuer Meereskunde.

Berufstaetigkeit nach Studienabschluss: Projektassistent und Experte bei der Deutschen Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit, und Einsatz in Indonesien von Mai 1975 bis Dezember 1976.

Seit Januar 1977: Arbeit an der vorliegenden Dissertation unter der Anleitung von Professor Hempel, IfM.

Seit Dezember 1978: Mit Sandra Pauly, geb. Wade, Lehrerin, verheiratet.