

**D'Arcy Thompson**  
**Über Wachstum**  
**und Form**

**suhrkamp taschenbuch**  
**wissenschaft**

suhrkamp taschenbuch  
wissenschaft 410

Zweifellos ist es ein verlegerisches Wagnis, D'Arcy Thompsons legendäres Buch im Zeitalter des Quasi-Ausschließlichkeitsanspruches von Biochemie und Molekularbiologie in einer Neuauflage und dazu in deutscher Sprache herauszubringen. Wer von den jungen Biologen verbindet heute noch mit Thompsons Namen einen Begriff? Wer war dieser Mann? Was macht sein Werk noch heute druckenswert?

Man könnte vielleicht aphoristisch sagen: D'Arcy Thompson war einer jener Polyhistores, von denen man meinte, sie seien mit dem Verklingen des Barock ausgestorben und in späterer Zeit nicht einmal mehr denkbar. Mithin ein verspäteter Barock-Gelehrter? Keineswegs, sondern einer der Pioniere der modernsten Biologie! Er vereinigte in sich das Denkvermögen des Mathematikers und Physikers mit dem des Linguisten und des Biologen, und er verfügte über das Handwerkliche aller drei dieser – ach doch so verschiedenen – Wissensgebiete.

Dieses Buch hat eine widersprüchliche Geschichte: 1917 erschien die erste Auflage – damals vollendete Ketzerei – mit 793 Seiten Umfang, 1942 eine Erweiterung auf 1116 Seiten. Die posthume Neuauflage von Bonner – sie liegt der Übersetzung zugrunde – knüpft an die erste Auflage an, läßt vieles aus (weil es nicht mehr aktuell ist) und bringt zahlreiche Kommentare des Herausgebers. Es handelt sich also bei der vorliegenden Ausgabe um eine »Klassikeredition in Auswahl und mit Kommentar versehen«. Dies ist bei einem Buch mit einer erst 55jährigen Geschichte bemerkenswert. Um es vorwegzunehmen: von Thompsons Konzeption ist nichts Wesentliches verlorengegangen, und die Kommentare machen die Orientierung für denjenigen, der die Literatur nicht selbst kennt, leichter. (So. J.H. Scharf, Halle, 1974 in seiner Besprechung der deutschen Erstausgabe.)

# D'Arcy Wentworth Thompson Über Wachstum und Form

In gekürzter Fassung neu herausgegeben

von John Tyler Bonner

Übersetzt von Ella M. Fountain

und Magdalena Neff

Mit einem Geleitwort von

Adolf Portmann

Suhrkamp

Titel der Originalausgabe:  
*On Growth and Form*  
© dieser Fassung 1966 Cambridge University Press

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation  
in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

2. Auflage 2016

Erste Auflage 1983  
suhrkamp taschenbuch wissenschaft 410  
© Suhrkamp Verlag Frankfurt am Main 1973  
Suhrkamp Taschenbuch Verlag

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das der Übersetzung,  
des öffentlichen Vortrags sowie der Übertragung  
durch Rundfunk und Fernsehen, auch einzelner Teile.

Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form  
(durch Fotografie, Mikrofilm oder andere Verfahren)  
ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert  
oder unter Verwendung elektronischer Systeme  
verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Satz: Georg Wagner, Nördlingen  
Printed in Germany

Umschlag nach Entwürfen von  
Willy Fleckhaus und Rolf Staudt

ISBN 978-3-518-28010-2

## Geleitwort

Wenn ich mich freue, dass endlich D'Arcy Thompsons Werk „Ueber Wachstum und Form“ in deutscher Uebersetzung erscheint, so muss ich mich doch in unseren Tagen auf die Frage gefasst machen, was denn dies Werk dem Biologen der kommenden Generation bedeuten kann, in einer Zeit, in der eine Molekularbiologie die grossen materiellen Mittel beansprucht und eine im Augenblick besonders wichtige neue Front der Lebensforschung aufbaut.

Das Werk ist 1917 erschienen, von einem grossen englischen Naturforscher und Humanisten verfasst; 1942 kommt eine erweiterte Fassung, 1961 aber wieder eine kondensiertere Form heraus. Dass ein amerikanischer Biologe wie J. T. Bonner das Wagnis dieser Neuausgabe auf sich genommen und magistral durchgeführt hat, ist für alle, die Bonners fundamentale experimentelle Arbeiten über die Schleimpilze sowie das darauf aufbauende Werk über Körpergrösse und Zyklus kennen, ein völlig genügender Ausweis für den tieferen Sinn auch der vorliegenden Uebersetzung, die ja auf Bonners intensiver Arbeit fusst. Seine Einführung macht es deutlich, dass hier ein Meisterwerk der Biologie sowie der wissenschaftlichen Literatur unseres Jahrhunderts der kommenden Generation neu erschlossen wird.

Dass ich der aufschlussreichen Einleitung von John Tyler Bonner noch einige Bemerkungen voranstelle, darf ich wohl damit rechtfertigen, dass es einen Vertreter der älteren Generation drängt, davon zu zeugen, was D'Arcy Wentworth Thompsons Werk für viele von uns bedeutet hat.

„On Growth and Form“ hat meine Arbeit seit den ersten selbständigen Schritten im weiten Feld der Biologie bis heute begleitet und ist im Suchen um Wege zum Verständnis für die Probleme der Gestalt eine immer frische Quelle von Anregung gewesen. Das Werk hat auch ständig wieder zurückgeführt aus dem Dickicht der Theorien und Spekulationen zu dem, was klar erfassbar, in Zahl und Mass aussagbar war im Bereich der Formenkunde, in dem ja in den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts die messenden Methoden sich erst noch durchsetzen mussten. Ich bin überzeugt, dass es diesen anregenden Wert auch für die vielen behalten wird, die jetzt in die Welt der lebendigen Gestalten eindringen.

Die Pole der biologischen Arbeit, auf die sich heute das Interesse der jungen Generation besonders konzentriert, liegen extrem auseinander und bezeichnen so das weite Spannungsfeld dieser Wissenschaft. Am einen Pol sammeln sich die Kräfte, die mit den erprobten Methoden der physiko-chemischen Arbeit die stofflichen Vorgänge des Gestaltwerdens erfassen — das ist der Pol, dessen Kerngebiet wohl immer deutlicher die Molekularbiologie ist. Am andern Pol finden sich die jungen Biologen, denen es um die Ergründung des Gebarens der Tiere und ihrer Beziehung zur Umgebung zu tun ist; an diesem Pol der Verhaltensforschung wird der Brückenschlag zur Psychologie versucht, ein Unterfangen, das heute neue Wege des Forschens eröffnet und Impulse gibt, die an Bedeutung denen am Pol der Molekularbiologie wohl verglichen werden dürfen.

Das gesamte Arbeitsfeld aber, das diese beiden Pole in seiner Dynamik bestimmen, ist der kaum fassbare Reichtum der lebendigen Gestalten, wie sie unseren Sinnen erscheinen. Diese Farben- und Formenfülle stellt ungezählte besondere Fragen.

Ich versuche nicht zu prophezeien, was in den kommenden Jahrzehnten und insbesondere im nahen neuen Jahrtausend der abendländischen Zeitrechnung vom molekularen Aspekt der Biologie aus verstanden werden kann oder von den Einsichten der wachsenden Ethologie her. Nur die Ueberzeugung sei ausgesprochen, dass ein weiter Zwischenbereich der Gestaltforschung noch sehr lange mit besonderen Forschungsmethoden ergründet werden und Erkenntnisse bringen wird, die von den Arbeitsweisen an den mächtigsten Polen des Spannungsfeldes nicht vermittelt werden können.

In diesem Zwischenreich wird das Werk, das hier in deutscher Sprache erscheint, sein Wirkungsfeld haben. Es wird die Gestaltforschung auf vielen Wegen zu den Möglichkeiten der exakten Erfahrung durch Mass und Zahl hinführen und durch die Erweiterung der von D'Arcy Thompson so vielseitig und anregend vorbereiteten Methoden fruchtbare morphologische Forschung fördern, die ihren Eigenwert neben den Ergebnissen der heute dominierenden biologischen Arbeitsweisen behalten wird. Dieser Eigenwert wird sich durch dieses Buch auch vielen erschliessen, die sich nach Neigung und Begabung weniger ausgesprochen am Pol der physikalisch-chemischen oder an dem der psychologischen Arbeitsart die Erfüllung ihres Suchens erhoffen. Möge ihnen das Werk eines reichen Geistes in der so glücklich erneuerten Gestalt ein Anreger und Weggefährte sein!

Adolf Portmann

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Herausgebers .....	11
Typographische Anmerkung .....	19
I. <i>Einleitung</i> .....	21
II. <i>Über die Grösse</i> .....	37
Das Prinzip der Ähnlichkeit .....	37
Schnelligkeit und Grösse .....	45
Grösse und Wärmegewinn und -verlust .....	48
Grösse und Sprungkraft .....	50
Gehen .....	52
Fliegen .....	54
Die Schwerkraft und andere die Grösse begrenzende Faktoren .....	57
Gehör und Grösse .....	58
Gesichtssinn und Grösse .....	59
Die Oberfläche hält Schritt mit dem Volumen. ....	60
Zellgrösse .....	62
Körpergrösse .....	68
Physikalisch bedingte Begrenzungen bei kleinen Organismen .....	69
Oberflächenspannung .....	69
Viskosität .....	70
Brownsche Bewegung .....	71
III. <i>Die Formen der Zellen</i> .....	75
Oberflächenspannung .....	76
Durch Oberflächenspannung bestimmte Formen .....	76
Die Plateauschen Rotationsflächen .....	79
Grenzen des Gleichgewichts .....	89
Spritzer .....	95
Fallende Tropfen .....	100
Viskose Fäden .....	106
Asymmetrie und Anisotropie .....	107
Biologische Beispiele für Plateausche Rotationsflächen: Kugeln .....	111

Zylinder .....	113
Unduloide .....	113
Andere Beispiele für Rotationsflächen .....	117
Membranspannung .....	119
IV. <i>Die Formen von Geweben oder Zellverbänden</i> .....	121
Oberflächenspannung .....	121
Scheidewände der Zellen .....	128
Die epidermitale Schicht .....	135
Dichte Ballung von Zellen .....	137
Hexagonale Symmetrie .....	137
Diffusionsmodelle .....	139
Die Bienenzelle .....	142
Die Unterteilung des Raumes .....	155
Über die Form und Verzweigung der Blutgefäße .....	162
V. <i>Über Spiculae und Spicularskelette</i> .....	169
Das Problem .....	170
Molekulare Asymmetrie .....	174
Die Nadeln der Schwämme: Dreistrahlige Formen .....	175
Mechanik der Spicula-Bildung .....	179
Die Spiculae der Seegurken (Holothuria) .....	183
Die Nadeln der hexactinelliden Schwämme .....	185
Natürliche Zuchtwahl und Spiculae .....	187
Die Skelettbildungen bei Radiolarien .....	190
Analogie mit Schneekristallen .....	191
Der Bau der Radiolarien .....	193
Hexagonale Skelette .....	196
Andere Skelettbildungen .....	199
Polarität und flüssige Kristalle .....	211
VI. <i>Die gleichwinklige Spirale</i> .....	215
Spiralen in der Natur .....	215
Die Spirale des Archimedes .....	219
Die gleichwinklige Spirale .....	220
Gnomone .....	225
Spiralen bei Pflanzen .....	232
Die Molluskenschale .....	234
Foraminiferenspiralen .....	240
Formwandlungen unter den Foraminiferen .....	243
VII. <i>Die Gestalt von Hörnern und Zähnen oder Stosszähnen</i> ....	251
Hörner .....	251
Zähne, Schnabel und Klaue .....	264
Das „Horn“ des Narwals .....	266

VIII. <i>Über Form und mechanische Leistung</i> .....	273
Zug und Druck .....	275
Form und Festigkeit .....	278
Die Struktur des Knochens .....	284
Belastung und Spannung .....	292
Das Skelett als Ganzes .....	296
Wassertiere .....	314
Die Ganzheit des Tieres .....	318
Das Problem der Phylogenie .....	321
IX. <i>Über die Theorie der Transformationen oder den Vergleich   verwandter Formen</i> .....	325
Mathematik und Form .....	326
Die Koordinaten-Methode .....	328
Verwandte Formen .....	330
Kartesische Transformationen .....	334
Radiale Koordinaten .....	337
Einige Spezialfälle .....	345
Rechtwinklige Koordinaten .....	348
Crustacea .....	352
Hydroiden .....	357
Fische .....	359
Reptilien .....	363
Das Becken der Vögel .....	368
Der Säugetierschädel .....	371
Dreidimensionale Koordinatensysteme .....	385
X. <i>Nachwort</i> .....	389
Index .....	391



## Vorwort des Herausgebers

Eine neue Ausgabe von D'Arcy Wentworth Thompsons *Über Wachstum und Form* ist aus zwei Gründen gerechtfertigt: Einmal macht eine kürzere Fassung wenigstens für den allgemein interessierten Leser die Arbeit leichter zugänglich, und zum andern enthält die Ausgabe von 1942 verschiedene Stellen, die heute überholt sind. Wenn das Buch seine Bedeutung behalten soll, die ihm seit seinem ersten Erscheinen im Jahre 1917 zukommt, scheint eine leichte Modernisierung in Form von Erläuterungen am Platz zu sein.

Über die Bedeutung des Werkes besteht kein Zweifel, doch teile ich die Ansicht Medawars<sup>[1]</sup>, dass sein Einfluss nicht greifbar und nicht unmittelbar war. Ich will kurz einige der Züge erwähnen, die das Buch so besonders und so einmalig machen; sie alle haben zu seinem Erfolg beigetragen. Für das Wesentliche halte ich jedoch, dass D'Arcy Thompson unbestritten fähig war, für die Biologie bedeutsame Themen von einem neuen Gesichtspunkt aus zu überprüfen; und die bloße Tatsache, dass es einen anderen Gesichtspunkt gab (der vielleicht zum erstenmal schon im Altertum erwogen worden ist), wirkt als Stein des Anstosses und dadurch als Anreiz für diejenigen, die leicht den wissenschaftlichen Launen und Moden unserer Zeit verfallen und sich kaum bemühen, über den Horizont der «gerade gültigen Anschauungen» hinauszublicken.

Die auffallendste Seite des Buches ist die Analyse biologischer Vorgänge von mathematischen und physikalischen Gesichtspunkten aus. Ich will mich hier nicht auf Einzelheiten der Methode einlassen, denn der Verfasser hat sie wiederholt im Text besprochen, vor allem

---

[1] Alle, die sich sowohl für den Menschen wie für sein Werk interessieren, sollten Miss Ruth D'Arcy Thompsons Biographie ihres Vaters lesen (*D'Arcy Wentworth Thompson*, Oxford University Press, 1958), die als Nachwort eine tiefeschürfende Kritik des Buches *Über Wachstum und Form* von P. B. Medawar enthält. Ich muss gestehen, dass sowohl Medawars Aufsatz wie auch der ähnlich erfolgreiche von G. E. Hutchinson (*In Memoriam, D'Arcy Wentworth Thompson*, Amer. Sci. 36 (1948), 577) diese Einleitung für mich gleichzeitig leicht und schwer gemacht hat; leicht, weil sie mir sagten, was ich schreiben müsse, und schwer, weil es naheläge, ihre gutgewählten Worte selbst zu benutzen — eine Versuchung, der ich, wie sich zeigen wird, nicht widerstehen konnte.

in der Einleitung, und andere<sup>[2]</sup> haben sie einer genauen Prüfung unterzogen. Ausser den Einzelheiten einiger spezifischer Analysen ist die allgemeine Methode in unserer Zeit der Biophysik, der mathematischen Biologie, der Kybernetik usw. kaum neu, obgleich man nicht vergessen darf, dass dies 1917, zur Zeit der ersten Auflage, ausgesprochen der Fall war.

Es gibt zwei besondere Aspekte in D'Arcy Thompsons Physik und Mathematik, die besprochen zu werden verdienen: Da es dem Verfasser deutlich um die Erklärung des biologischen Wachstums und der Form mit Hilfe physikalisch-mathematischer Ausdrücke ging, muss der Leser oft mit Enttäuschung rechnen, wenn er unmittelbare Ursachen zu finden erwartet. Die meisten experimentell arbeitenden Wissenschaftler sind geistig nur dann befriedigt, wenn sie eine besondere Form aus der Gestaltung ihrer unmittelbaren Vorgänger verstehen können und wenn diese Vorgänger ihrerseits auf gleiche Weise zu analysieren sind, so dass eine epigenetische Kette in Erscheinung tritt; dies ist z. B. die Grundlage «kausaler» Embryologie. D'Arcy Thompson gab sich andererseits völlig zufrieden mit einer mathematischen Beschreibung oder einer physikalischen Analogie. Zweifellos hängt diese Einstellung damit zusammen, dass er selbst in keiner Weise experimentell tätig war. Er weigerte sich sogar, Versuche, die sich auf die Tatsachen seiner Auflage von 1917 bezogen, in seiner Auflage von 1942 anzuerkennen. Aber diese von ihm stets bewahrte Redlichkeit hat das Verdienst und die Wirkung, fortwährend zu Versuchen oder neuen Versuchsmethoden anzuregen; so ist seine seltsame Kritiklosigkeit für uns alle von Nutzen gewesen, und er sollte daher eher gelobt als getadelt werden.

Ein weiteres Kennzeichen seiner Methode ist, dass ihr noch ein anderer Bestandteil fehlt. Ausser von jenen physikalischen Aspekten der Chemie ist von Chemie kaum die Rede. In der Biologie ist die Biochemie zur mächtigsten Quelle neuer Erkenntnisse geworden, zum am schnellsten wachsenden Wald neuer Erfahrungen. Gleichwohl ist der Gedanke, dass die Form und ihre Veränderung zur Reaktionsfähigkeit der chemischen Substanzen in Beziehung steht, fast gänzlich vernachlässigt worden. Man muss allerdings folgendes zugeben: Wenn der Verfasser dieses Thema in den Mittelpunkt seines Buches gestellt hätte, wäre infolge des überwältigenden Fortschrittes auf diesem Gebiet sein Werk längst überholt und dessen Einfluss vorbei. Wiederum ist seine Schwäche auf einem Gebiet, das die Hauptströmung biologischen Fortschrittes darstellt, ein Vorteil gewesen und hat seiner Arbeit Dauer verliehen.

---

[2] G. K. Plochman, *Phil. Sci.* 20 (1953), 139; E. Mayer, *Anat. Rec.* 85 (1943), 111.

Eine weitere bezeichnende Tatsache, die zur Bedeutung und zur Einzigartigkeit des Werkes *Über Wachstum und Form* beiträgt, liegt darin, dass das Buch sowohl literarisch wie wissenschaftlich gut ist; es ist eine naturwissenschaftliche Abhandlung, die ebensogut ein Werk klassischer Philologie sein könnte. Medawar hält es für unbestritten die beste literarische Schöpfung in der Geschichte der Naturwissenschaft, die jemals in englischer Sprache erschienen ist. Auch mir scheint dieses hohe Lob berechtigt zu sein.

Der Grund dafür mag teilweise in D'Arcy Thompsons Abstammung liegen. Sein Vater war Altphilologe und kümmerte sich sehr intensiv um die Erziehung seines Sohnes. Infolgedessen war dieser später imstande, neben der Beschäftigung mit seiner eigenen Wissenschaft die *Historia Animalium* von Aristoteles zu übersetzen sowie ein *Glossary of Greek Birds* und ein *Glossary of Greek Fishes* zu verfassen, in denen er alle in der griechischen Literatur erwähnten Vögel und Fische zusammenstellte und aus seinem zoologischen Wissen heraus die Beziehungen erhellte, auf diese Weise die Naturwissenschaft mit den Klassikern des Altertums verschmelzend. Er war (und ich zitiere wiederum Medawar)

«ein Aristokrat des Wissens, dessen intellektuelle Begabungen wahrscheinlich nie wieder in einem Menschen vereinigt sein werden. Seine Bedeutung als klassischer Philologe war gross genug, um ihn zum Präsidenten der Humanistischen Gesellschaften von England und Wales und von Schottland zu machen; als Mathematiker war er so befähigt, dass die Royal Society einen rein mathematischen Artikel von ihm zur Veröffentlichung angenommen hat; und als Naturforscher hatte er 64 Jahre lang bedeutende Lehrstühle inne, d. h. während fast einer Zeitspanne, in die wir heutzutage unser ganzes Leben von der Geburt bis zur Pensionierung hineinzwängen müssen. Er war ein berühmter Gesprächspartner und Vortragender (man meint oft, diese beiden Eigenschaften müssten zusammenreffen, was aber selten der Fall ist), und er war der Verfasser eines Werkes, das, als Literatur betrachtet, in der vollkommenen Beherrschung des *bel canto*-Stils den Werken von Pater oder Logan Pearsall Smith ebenbürtig ist. Dazu kommt noch, dass er über sechs Fuss gross war und die Gestalt und die stolze Haltung eines Wikingers zeigte, die von dem Bewusstsein guten Aussehens herrührt.

D'Arcy Thompson (er wurde immer so oder auch nur D'Arcy genannt) hatte nicht nur die Anlagen, sondern auch die tatsächlichen Fertigkeiten dreier Gelehrter. Alle drei waren hervorragend – wollte man zwar den von ihm selbst geforderten Maßstab anlegen, so könnte wohl keiner im strengen Sinne als bedeutend bezeichnet werden. Wenn sich alle drei Gelehrte in D'Arcy Thompson nur summiert hätten, jeder aber für sich gearbeitet hätte, so könnten wir uns, wie ich glaube, nur schwer des Gedankens erwehren, er sei ein Dilettant, wenn auch ein Edelmann unter Dilettanten, gewesen; wir würden dann vielleicht sagen, dass ihm

trotz der grossen Bedeutung seiner Fähigkeiten doch der tiefe Sinn der Verpflichtung abging, der den Berufsgelehrten unserer Tage auszeichnet. Aber sie waren nicht nur summiert; sie waren als Ganzes — Clifford Dobell sagte chemisch — vereinigt. Ich möchte damit sagen, dass D'Arcy Thompson nicht zu jenen gehörte, die sich zwei oder mehr getrennte und etwas unvereinbare Ansehen erworben haben, wie ein Komponist-Chemiker oder ein Politiker-Romanschiftsteller oder wie der Mann, der sowohl im Grand National geritten hat als auch ein Mitglied der Royal Society wurde; vielmehr war er ein Mann, der zahlreiche Dinge mit ungeteiltem Verstand begriff. Nach dem Umfang und der Qualität seines Wissens, nach der Art, wie er von ihm Gebrauch machte, und dem Stil, in dem er es bekundete, sehe ich in ihm keinen Dilettanten, sondern im wahrsten Sinn des Wortes einen Naturwissenschaftler.)

Der Stil, von dem Medawar spricht, ist in der Tat ein hervorstechendes Merkmal des Buches. Ich weiss aus Erfahrung, dass Studenten ihn bei der ersten Begegnung als zu üppig, zu «schwärmerisch» empfinden; es fehlt ihm die übliche gedrängte Kürze und Zustutzung der modernen wissenschaftlichen, nüchternen fundamentalen Prosa. Andererseits konnte ich auch beobachten, dass manche Studenten ihn allmählich bewundern lernen und erkennen, dass nicht immer zwangsläufig eine Spaltung zwischen ihren naturwissenschaftlichen und literarischen Studien bestehen muss und dass naturwissenschaftliche Gepflogenheiten, seien sie noch so eingebürgert, manchmal mit Vorteil vernachlässigt werden.

Der Sinn für Geschichte spielt ebenfalls eine grosse Rolle in D'Arcy Thompsons Werk. Ein Unterschied, der häufig zwischen Naturwissenschaft und Literaturwissenschaft gemacht wird, besteht darin, dass man in der Naturwissenschaft, einem kumulativen Wissensgebiet, nur die letzte Arbeit über irgendeinen Gegenstand zu studieren braucht, um sich alles Nötige für die weitere Forschung anzueignen. Verhältnismässig wenige Artikel in einer Zeitschrift für Bakteriologie erwähnen z. B. Pasteur oder van Leeuwenhoek, obgleich jede einzelne Veröffentlichung in der Zeitschrift letztlich auf das Werk dieser grossen Männer zurückzuführen wäre. In der Literaturwissenschaft andererseits sind Beiträge ohne Beziehung auf Zeit und Reihenfolge wichtig, und wir lesen noch immer mit Gewinn Shakespeare und Gibbon. Geschichte im besonderen ist eine Folge von Tatsachen, Ideen und Interpretationen, und in diesem Sinne handelt es sich bei *Über Wachstum und Form* um eine Geschichte der Naturwissenschaft in Verbindung mit dem naturwissenschaftlichen Endprodukt. Hutchinson sagt darüber:

«*Über Wachstum und Form* ist ein bedeutendes Buch, weil es die Naturwissenschaft als eine der Tradition verpflichtete Tätigkeit aufzeigt und uns sagt, dass diese Tradition mutig und erfindungsreich ist. Um die für

die Bildung des Menschen wichtigen Werte zu fördern, bedarf es vieler Talente, und wenige Menschen haben einen grossen Anteil daran. D'Arcy Wentworth Thompson besass mehr davon als die meisten von uns, und er verwendete sie auf hervorragende Weise. Was er schrieb, bringt dem wissenschaftlich Interessierten vielleicht deutlicher zum Bewusstsein als das Werk irgendeines anderen Autors, was es heisst, gebildet zu sein. Der grossartige Überblick, den er uns bietet, verleiht unseren eigenen Bemühungen Wert; dadurch hat er ein Verdienst erworben, das nur wenigen Menschen zuteil wird.)

Trotz dieses eindrucksvollen Rüstzeugs an Talenten war er in der Welt der Naturwissenschaft eine einsame Gestalt. Er selbst war sich dessen wohl bewusst und sogar stolz darauf, nicht mit der Meute zu laufen. Ich habe bereits darauf hingewiesen, in welcher Weise diese Eigenschaft auf verschiedene Art zum Entstehen von *Über Wachstum und Form* beigetragen hat; aber ich habe noch nichts von seinen Ansichten über Entwicklung gesagt, die das ganze Buch hindurch immer wieder an die Oberfläche kommen.

Es sind Anschauungen, die um 1917 als ketzerisch galten, und man muss zugeben, dass sie es heute noch sind, wenn auch aus teilweise anderen Gründen. Aber trotz der Tatsache, dass sie nicht ganz angenehm sind, vermögen sie zweifellos gedankenlose Selbstzufriedenheit aufzurütteln und anzuspornen. D'Arcy Thompson lehnt natürliche Zuchtwahl nicht ab, meint aber, dass sie nur wirksam sei, um die Untauglichen auszuschneiden, und nicht im Dienst einer fortschreitenden Entwicklungskraft stehe. Er betrachtet die Auffassung, dass jede Struktur eine ererbte und durch Zuchtwahl sich entwickelnde Anpassung ist, als besonders unberechtigt und unvernünftig; in vielen Fällen nimmt er an, dass die Struktur durch unmittelbare physikalische Kräfte entstanden ist — molekulare in sehr kleinen und mechanische in grösseren Gebilden (d. h. durch direkte Anpassung). Die Vererbung und die Funktion der Gene werden in D'Arcy Thompsons Buch ganz ausser acht gelassen, abgesehen von einigen wenigen Hinweisen, die anzudeuten scheinen, dass sie nicht in sein Schema der Dinge passen. (Wiederum begegnen wir hier, wie im Fall der Biochemie, einem Beispiel völligen Ignorierens einer der bedeutendsten Richtungen biologischen Denkens in den letzten 50 Jahren.) Die Phylogenie, die Wissenschaft von der Abstammung und der Verwandtschaft der Tiere, die die vergleichenden Anatomen um die Jahrhundertwende am meisten beschäftigte, wird zur Seite geschoben und durch den Gedanken ersetzt, dass der funktionelle Aspekt der Form viel wichtiger ist als Blutsverwandtschaft und Stammbaum.

Ich glaube nicht, dass der moderne Leser sich durch diese Abweichungen von der heute gültigen Lehre stören lassen sollte, denn D'Arcy Thompson aus diesen Gründen abzulehnen, bedeutete

einen kurzsichtigen Verzicht auf viele Reichtümer. Ausserdem rundet eine besondere Betonung der bildenden Macht physikalischer Kräfte jede allgemeine Vorstellung von Evolution besser ab, denn diese Kräfte sind wirklich vorhanden und können nicht bestritten werden. Es ist hier nicht der Ort für eine eingehende Diskussion über die moderne Evolutionstheorie; aber ich möchte kurz zeigen, wie die D'Arcy Thompsonschen Heterodoxien leicht in Orthodoxie verwandelt werden können.

Heute glauben wir, dass Variation eine genetische Grundlage hat und dass Entwicklungsfortschritt durch eine Veränderung der Gene (Mutation) und durch Selektion erklärt werden kann. Weiterhin ist der spezielle Gensatz eines Organismus während der Entwicklung, während der Wachstumsperiode und der Vollendung der definitiven Form durch räumlich organisierte chemische Reaktionen für «Wachstum und Form» verantwortlich. Die Tatsache, dass die Form häufig mechanisch leistungsfähig ist, wird auf zweierlei Weise erklärt. Wenn irgendeine Genkombination eine mechanisch gut geeignete Struktur hervorbringt, kann diese infolgedessen einen hohen Anpassungswert besitzen und durch günstige Zuchtwahl in der Population verbleiben. In anderen Fällen besteht offensichtlich eine unmittelbare Wirkung durch die Umgebung, die durch mechanische oder physikalische Kräfte die Form eines lebenden Gebildes bedingt. Im Fall dieser unmittelbaren Anpassungen können wir annehmen, dass eine solche Reaktion auf die Umgebung für die Anpassung von Vorteil ist und dass daher der Gensatz, der die Empfänglichkeit oder Reaktionsfähigkeit gegenüber diesen Bedingungen der Umgebung ermöglicht, durch Zuchtwahl begünstigt und erhalten wird. Dann gibt es jene merkwürdigen Fälle wie die Sohlenschwien des Strausses, wo gleichzeitig eine direkte Anpassung vorliegt in Form von vermehrter Verdickung bei Abwetzung und eine vollständige Vererbung der Schwien im sich entwickelnden Embryo besteht, bevor die mechanischen Kräfte wirken können. Es fehlt uns hier an Raum, um diese interessante Erscheinung besprechen zu können; aber sie wird kurz untersucht in Kapitel VIII, wo gezeigt wird, dass sie zweifellos mit unseren heutigen Begriffen von Entwicklung, Genetik und Evolution in Einklang gebracht werden kann.

Schliesslich möchte ich in dieser allgemeinen Einleitung noch die Gründe für die von mir im Text durchgeführten Streichungen erklären – vielleicht wäre es korrekter, zu sagen «rechtfertigen», denn es bedeutet eine schwere Verantwortung, sich mit einer klassischen Arbeit abzugeben. Die Tatsache, dass eine gekürzte Ausgabe möglich sein könnte, hat mich schon seit langem beschäftigt; es ist ja allgemein anerkannt, dass die Auflage von 1917, die 793 Seiten umfasst, in mancher Hinsicht besser ist als die Auflage von 1942 mit 1116

Seiten. Es handelt sich darum, dass die grundlegenden Ideen alle in der Auflage von 1917 bereits vorhanden sind und dass die starke Erweiterung des Umfangs bei der zweiten Auflage zum grossen Teil auf zusätzlich hineingestreuete Beispiele zurückzuführen ist. Anders ausgedrückt, die Auflage von 1917 ist der späteren überlegen, weil die Ideen des Verfassers auf einer Fläche von angemessenerer Grösse dargelegt wurden. Auf Grund dessen scheint es möglich, dass eine weitere Kürzung seine Anschauungen wesentlich überzeugender machte, besonders wenn die veralteten oder unrichtigen Stellen entfernt werden.

Aber bei dieser Kürzung habe ich mich sehr bemüht, den Stoff weder zusammenzuziehen noch umzuarbeiten oder in meiner persönlichen Sicht wiederzugeben; es sind alles D'Arcy Thompsons eigene Worte<sup>[3]</sup>. Wie ich soeben angedeutet habe, war ich manchmal bestrebt, den Text der heutigen Zeit anzupassen; oft geschah dies einfach aus dem Wunsch heraus, das Interesse des Lesers zu erhalten. Häufig fand ich in der Auflage von 1917 ein wichtiges Hilfsmittel für bestimmte Kürzungen (obgleich in einem Fall ein in der Auflage von 1917 gestrichener Abschnitt wieder eingefügt wurde). Bei diesem Vorgehen ist es unvermeidlich, dass einiges Wichtige verlorengeht; man kann nur hoffen, dass der Verlust nicht zu gross gewesen ist.

Während kleinerer Streichungen in allen Kapiteln vorgenommen wurden, gibt es auch einige grössere, die hier erwähnt werden müssen. Die grösste Auslassung ist die des ganzen Kapitels «Die Wachstumsgeschwindigkeit». Dieses über 200 Seiten umfassende Kapitel ist, wie zahlreiche Kritiker<sup>[4]</sup> bemerkten, aus mehreren Gründen schwach. Seine Gestaltung ist unzusammenhängend und voller Wiederholungen; dass das Hauptgewicht auf das Wachstum beim Menschen gelegt wird, ist nicht immer von Nutzen; und dass der Autor die mannigfaltigen Aspekte des Wachstums ausser acht liess, brachte ihn in eine schwierige Lage — besonders auch, weil er die Bedeutung des differentialen oder relativen Wachstums (Allometrie) nicht anerkannte, über das J. S. Huxley und G. Teissier so wichtige Erkenntnisse geliefert haben. Wer sich für die Wachstumsgeschwindigkeit interessiert, dem würde ich vielleicht am ehesten empfehlen, sich anderweitig darüber zu orientieren und z. B. S. Brody<sup>[5]</sup> oder J. S. Huxley<sup>[6]</sup> zu studieren.

[3] Mit der einzigen Ausnahme, dass ich bei einigen wenigen Gelegenheiten einen verbindenden Satz ändern musste, um die durch einen weggelassenen Teil entstandene Lücke zu schliessen.

[4] E. W. Sinnott, *Quart. Rev. Biol.* 18 (1943), 65; E. Mayer, *Anat. Rec.* 85 (1943), 111; P. B. Medawar, *op. cit.*

[5] *Bioenergetics and Growth* (Reinhold, New York 1945).

[6] *Problems of Relative Growth* (Methuen, London 1932).

Das Kapitel «Über die innere Form und Struktur der Zelle» ist ebenfalls gestrichen worden, vor allem deshalb, weil es völlig veraltet ist. Die Zytologie ist in Verbindung mit dem derzeitigen raschen Fortschritt der Elektronenmikroskopie im Begriff, eine vollkommen neue Wissenschaft zu werden. Das Problem der Mitose ist noch kaum gelöst worden, aber wir verfügen heute über eine grosse Liste aktueller Informationen, die in neueren Berichten, z. B. in den Arbeiten von F. Shrader<sup>[7]</sup>, A. Hughes<sup>[8]</sup> und M. M. Swann<sup>[9]</sup> erschienen sind. D'Arcy Thompsons Kapitel hat damit seine Zweckmässigkeit eingebüsst.

Das kurze Kapitel «Eine Bemerkung zur Absorption», das weiterhin gestrichen wurde, versucht zu zeigen, dass das Phänomen der Absorption, das Willard Gibbs so klar beleuchtete, möglicherweise eine Rolle bei der Zellform spielen könnte. Heute nehmen wir zwar nach wie vor an, dass die Absorption in Verbindung mit allen anderen physikalischen Kräften innerhalb der Zellen wirksam ist und sie beeinflusst, doch scheint uns D'Arcy Thompsons kurze Analyse dieses einen Aspektes im Augenblick nicht von grossem Nutzen zu sein.

Ein weiteres Kapitel, das eliminiert wurde, ist «Eine parenthetische Bemerkung über geodätische Linien»; auch hier erscheint der Abstecher in die Geometrie und die Tatsache, dass viele Organismen (wie auch die Chloroplasten von *Spirogyra*) als geodätische Linien beschrieben werden können, in bezug auf den Hauptgedankengang von untergeordneter Bedeutung.

Der Entschluss, das Kapitel «Über Blattanordnung oder Phyllotaxis» fallenzulassen, war schwerer. Es geschah vor allem deshalb, weil D'Arcy Thompson nichts Neues zu diesem alten Thema beigetragen hat, obgleich dieses Kapitel eine ausgezeichnete Zusammenfassung der alten Ansichten und des Spieles mit Zahlen darstellt. Er erwähnt auch nicht das erneute Aufleben des Interesses an diesem Problem, das in einigen scharfsinnigen experimentellen Arbeiten von Autoren wie Snow und Snow, Wardlaw und anderen zum Ausdruck kommt<sup>[10]</sup>.

Der letzte grössere Abschnitt, der ausgelassen wurde, ist derjenige «Über die Form von Eiern und gewissen anderen hohlen Gebilden». Der ganze erste Teil ist eine reizvolle Abhandlung über die Form der Vogeleier. Wenn sie auch viele Seiten und einige von bleibendem Interesse beleuchtet, steht doch die Behauptung im Vorder-

[7] *Mitosis*, 2. Aufl. (Columbia University Press, 1953).

[8] *The Mitotic Cycle* (Academic Press, New York 1952).

[9] *Cancer Res.* 17 (1957), 727; 18 (1958), 18.

[10] Von R. Snow erschien eine kurze, aber nützliche Übersicht über die Probleme der Phyllotaxis in *Endeavour* 14 (1955), 190.

grund, die peristaltischen, wellenartigen Bewegungen im Eileiter würden die Eier so formen, dass ihr stumpfes Ende vorwärts gerichtet ist; denn es sei eine bekannte Tatsache, dass das stumpfe Ende zuerst erscheint, wenn ein Ei gelegt wird. Die demgegenüber bedauerliche Wahrheit verhält sich nach einigen kürzlich von Bradford<sup>[11]</sup> durchgeführten radiographischen Untersuchungen jedoch so, dass das Ei mit nach vorn gerichteter Spitze zunächst durch den Eileiter gleitet und erst kurz vor dem Legen herumgedreht wird. So stellt das ganze zwingende Argument genau die Umkehrung der Tatsachen dar. Es macht die Sache noch schlimmer, dass dieser Verdacht schon lange bestand und sogar von Needham 1931 aufgegriffen wurde<sup>[12]</sup>. — Das Kapitel enthält auch einen Abschnitt über die Form von Seeigelschalen, der nur wenig überzeugend ist. Schliesslich umfasst es noch einige Seiten ausgezeichneten Textes über die Form oder den Verzweigungswinkel der Blutgefässe, von denen die meisten beibehalten und dem Kapitel IV angefügt worden sind.

Eine Besprechung des ausgeschiedenen Stoffes kann nur verwirrend und unbefriedigend sein; so wollen wir uns nun positiveren Dingen zuwenden und das Kernstück des Buches wiedergeben, das die Angriffe der Zeit und die Launen eines Herausgebers glanzvoll überlebt hat.

### Typographische Anmerkung

In diesem Buch erscheinen die Kommentare des Herausgebers in kleinerem Druck als der Text des Autors. Die Fussnoten des Herausgebers bzw. der Übersetzer sind durch hochgestellte Ziffern in eckigen Klammern gekennzeichnet.

[11] J. Exp. Biol. 28 (1951), 125.

[12] *Chemical Embryology* (Cambridge University Press, 1931), p. 233.