

Biologisches Centralblatt.

Begründet von J. Rosenthal.

In Vertretung geleitet durch
Prof. Dr. Werner Rosenthal

Priv.-Doz. für Bakteriologie und Immunitätslehre in Göttingen.

Herausgegeben von

Dr. K. Goebel und Dr. R. Hertwig
Professor der Botanik Professor der Zoologie
in München.

Verlag von Georg Thieme in Leipzig.

Der Abonnementspreis für 12 Hefte beträgt 20 Mark jährlich.

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen und Postanstalten.

Die Herren Mitarbeiter werden ersucht, alle Beiträge aus dem Gesamtgebiete der Botanik an Herrn Prof. Dr. Goebel, München, Menzingerstr. 15, Beiträge aus dem Gebiete der Zoologie, vgl. Anatomie und Entwicklungsgeschichte an Herrn Prof. Dr. R. Hertwig, München, alte Akademie, alle übrigen an Herrn Prof. Dr. Werner Rosenthal, z. Z. Erlangen, Auf dem Berg 14, einsenden zu wollen.

Bd. XXXV. 20. November 1915.

N^o 11.

Inhalt: v. Buddenbrock, Die Tropismentheorie von Jacques Loeb. — Duncker, Die Frequenzverteilung der Geschlechtskombinationen bei Mehrlinggeburten des Menschen und des Schweins. — J. M. Sirks, Indisch Natunrönderzoek. — Reichard, Die deutschen Versuche mit gezeichneten Schollen. — Hinneberg, Die Kultur der Gegenwart, Zellen- und Gewebelehre, Morphologie und Entwicklungsgeschichte. — Baur, Einführung in die experimentelle Vererbungslehre. — Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik und Meteorologie. — Dahl, Kurze Anleitung zum wissenschaftlichen Sammeln und zum Konservieren von Tieren.

Die Tropismentheorie von Jacques Loeb.

Ein Versuch ihrer Widerlegung.

Von Dr. W. v. Buddenbrock, Heidelberg.

Einleitung.

Es gibt zwei Klassen von Naturforschern. Die einen interessieren sich für die Tatsachen; die Theorien, die sie aufstellen, dienen ihnen nur dazu, die gefundenen Tatsachen zu erklären, unter einem gemeinsamen Gesichtspunkte zusammenzufassen und hierdurch einen tieferen Einblick in das Wesen des gesamten Gebietes zu gewinnen. Auch wenn ihre Arbeit noch so sehr auf theoretischem Gebiete liegt, bleibt ihnen doch stets die Tatsache das Maßgebendere. Findet sich eine solche, die der Theorie widerspricht, so muss die letztere weichen.

Den anderen gilt die unbedeutende Einzeltatsache gleich nichts. Ihr hochfliegender Geist dürstet nach weithin sichtbaren Ergebnissen ihres Tuns. Die glänzende Theorie ist ihnen Alles, die Tatsache nur deren Dienerin. Passt sie nicht, so wird sie gewaltsam in das Prokrustesbett der Theorie hineingepresst oder aber nur

so oberflächlich studiert, dass man das Nichtkonvenierende, das meist tiefer sitzt, erst gar nicht gewahr wird.

Das Musterbeispiel einer derartigen Theorie, die sich zum Tyrannen über die Tatsachen aufwirft, ist die sogen. Tropismentheorie, deren hauptsächlichster Verfechter J. Loeb ist. Ihrer Kritik, und wenn möglich ihrer Widerlegung, sind die folgenden Zeilen gewidmet.

Eine Kritik dieser Theorie ist bereits von verschiedenen Autoren unternommen worden (Jennings, Radl u. a.)¹⁾. Sie begnügten sich indessen stets mit dem Nachweise, dass gewisse Einzelfälle mit der Theorie nicht harmonierten. Die wichtigsten allgemeinen Argumente wurden nicht erhoben. Außerdem beweist Loeb durch seine letzte Publikation im Handbuch der vergleichenden Physiologie von Winterstein, dass die gemachten Einwände ihn nicht im geringsten zu erschüttern vermochten, denn er behauptet nach wie vor das Gleiche. Hierdurch erscheint ein nochmaliges Eingehen auf dieses Thema gerechtfertigt.

Das Wort Tropismus kennzeichnet nur eine einfache Beobachtungstatsache. Zahlreiche niedere Tiere besitzen die Eigentümlichkeit, auf Energiequellen, in deren Nähe sie geraten, also etwa einen Punkt, der Licht, Wärme, chemische Energie etc. ausstrahlt, entweder geradlinig hin oder von ihm weg zu kriechen oder aber einen Weg zu wählen, der die betreffenden Energiestrahlen senkrecht schneidet. Diese Orientierungsbewegungen, die auch bei niederen Pflanzen vorkommen, hat man Tropismen genannt und spricht je nach der Art der wirksamen Energie von Photo-, Chemo-, Thermotropismus etc. Man kann solche Tiere mit der gleichen Sicherheit in einem bestimmten Sinne ablenken, wie der Physiker eine Magnetnadel, und dieses physikalisch anmutende Gebaren hat die Väter der Tropismentheorie dazu gebracht, das ganze Phänomen als etwas höchst Einfaches zu betrachten, dessen Erklärung möglich sei, ohne dass man die komplizierte Struktur des betreffenden Organismus irgendwie berücksichtigt.

In welcher Weise sie dies versuchen, möge am Beispiele des positiven Heliotropismus der geflügelten Blattlaus mit Loeb's eigenen Worten gezeigt werden. Er schreibt:

„Zwei Faktoren bestimmen die Progressivbewegung der Tiere unter diesen Bedingungen. Der eine ist die symmetrische Struktur des Tieres und der zweite ist die photochemische Wirkung des Lichtes . . .

Die symmetrische Struktur des Tieres drückt sich grob-anatomisch darin aus, dass, wie bekannt, die rechte und linke Körperhälfte

1) Die Literatur des ganzen Gebietes findet man in Loeb's Aufsatz: Die Tropismen. Winterstein's Handbuch der vergl. Physiologie. Bd. 4. 1913.

symmetrisch zueinander sind. Meines Erachtens besteht eine solche Symmetrie nicht nur in anatomischer Hinsicht, sondern auch in chemischer Hinsicht; womit ich meine, dass symmetrische Körperstellen chemisch identisch sind und den gleichen Stoffwechsel haben, während nichtsymmetrische Körperstellen chemisch verschieden sind und im allgemeinen einen quantitativ oder qualitativ ungleichen Stoffwechsel haben . . . Wenn nun mehr Licht auf eine Retina fällt als auf die andere, so werden auch die chemischen Reaktionen, beispielsweise die organischen Oxydationen in einer Retina mehr beschleunigt als in der anderen, und dementsprechend werden in dem einen optischen Nerven stärkere chemische Änderungen auftreten als in dem anderen.

Diese Ungleichheit der chemischen Prozesse pflanzt sich von den sensiblen in die motorischen Nerven und schließlich in die mit denselben verbundenen Muskeln fort. Wir schließen daraus, dass bei gleicher Beleuchtung der beiden Retinae die symmetrischen Muskelgruppen beider Körperhälften in gleicher Weise chemisch beeinflusst werden und somit in den gleichen Kontraktionszustand geraten; während, wenn die Reaktionsgeschwindigkeit ungleich ist, die symmetrischen Muskeln auf einer Seite des Körpers in stärkere Tätigkeit geraten als auf der anderen Seite. Das Resultat einer solchen ungleichen Tätigkeit der symmetrischen Muskeln beider Körperhälften ist eine Änderung der Bewegungsrichtung des Tieres.

Diese Änderung der Bewegungsrichtung kann entweder so erfolgen, dass der Kopf zur Lichtquelle hingedreht wird, und dass damit das ganze Tier in der Richtung zur Lichtquelle sich bewegt; oder dass der Kopf in entgegengesetztem Sinne gedreht wird, und das Tier sich in entgegengesetzter Richtung bewegt . . . Sobald dies geschehen ist, werden die beiden Retinae gleich stark beleuchtet und die (symmetrischen d. Verf.) Muskeln in den beiden Körperhälften arbeiten nunmehr gleich stark. Es ist infolgedessen kein Grund mehr vorhanden, dass das Tier in dem einen oder anderen Sinne aus dieser Richtung abweichen sollte. Es wird deshalb automatisch zur Lichtquelle geführt. Der Wille des Tieres, der ihm in diesem Falle die Richtung seiner Bewegung vorschreibt, ist das Licht, wie es beim Fallen des Steines oder der Bewegung der Planeten die Schwerkraft ist“ (1909, p. 9—14).

Jennings hat diese Theorie in ganz treffender Weise die „Theorie der lokalen Wirkungen“ genannt, weil sie den Tropismus nicht als eine Bewegung des Tieres als eines Ganzen ansieht, sondern als eine solche der beiden Körperhälften, die dabei gegeneinander arbeiten. Dies wollen wir als ein wichtiges Charakteristikum der Tropismentheorie festhalten. Hieraus folgt direkt, dass nach der Theorie die Drehung des Tieres stets um eine Achse

erfolgen muss, die zwischen den beiden Körperhälften, also in der Symmetrieebene liegt, welche diese beiden scheidet.

Ein zweites vielleicht noch wichtigeres ist die völlige Ignorierung der speziellen Struktur, die es für Loeb und seine Anhänger einfach nicht gibt. Wir brauchen nichts zu wissen, als dass der Organismus symmetrisch ist — die Theorie ist gleich anwendbar für Einzellige bzw. Larven einfachster Organisation als auch für die kompliziertesten Metazoen — und dass er überhaupt auf die betreffende Energie reagiert; alles übrige ergibt sich von selbst. Wer die Schriften Loeb's liest, könnte aus verschiedenen Redewendungen, die sich hin und wieder eingestreut finden, leicht den Schluss ziehen, als kämpfe er gegen diejenige Auffassung, welche in den Handlungen auch der niederen Tiere willkürliche Willensakte sieht und deren Zwangsmäßigkeit leugnet. Dies ist natürlich nicht der Fall, hätte auch keinerlei Sinn. Die Zwangsmäßigkeit ist eine nicht zu leugnende Beobachtungstatsache, die darin zum Ausdruck kommt, dass unter bestimmten Bedingungen alle Individuen einer Art das gleiche tun; sie wird von niemanden bestritten, wenn man auch nicht der Ansicht zu sein braucht, dass die Handlungen der niederen Tiere sich mit diesen Zwangsbewegungen erschöpfen.

Loeb hat sich vielmehr die Aufgabe gestellt, den Mechanismus dieses Zwanges bei den Tropismen zu erklären und zwar durch mechanisch wirkende Faktoren. Er zieht gegen diejenigen zu Felde, die den Zwang auf andere Weise erklären wollen; vor allem also gegen die Auffassung der Tropismen — und der Reflexe überhaupt — als ursprünglich individuelle Handlungen, die sich als zweckmäßig erwiesen und im Laufe der Zeiten durch Gewöhnung und Vererbung mechanisch und zwangsmäßig geworden sind.

Zum Verständnis des ganzen folgenden Aufsatzes ist es durchaus notwendig, dies festzuhalten.

Disposition der im folgenden versuchten Kritik.

Bei der Widerlegung der Tropismenlehre, die wir mit den nachstehenden Zeilen beginnen wollen, soll in der folgenden Weise vorgegangen werden:

Zuerst wird gezeigt werden, dass die Theorie unmöglich zur Erklärung sämtlicher Tropismen herangezogen werden kann, indem erstens in manchen Fällen die Voraussetzung der Theorie (die Energiestrahlung) fehlt und trotzdem richtige Tropismen zustande kommen; und indem zweitens in anderen Fällen, wo die Voraussetzungen an sich vorhanden sind, die Tropismen trotzdem in einer der Theorie offensichtlich widersprechenden Weise ablaufen.

Im zweiten Teile werden wir dann zu zeigen haben, dass die Theorie auch in den ihr scheinbar günstigsten Fällen nicht in der Lage ist, eine einwandfreie Erklärung der Tropismen zu liefern, und schließlich werden wir einen Einwand kennen lernen, der von der biologischen Seite her gegen die Theorie erhoben werden muss. Die im folgenden angeführten Beispiele beziehen sich sämtlich auf den Heliotropismus und den Geotropismus, zu welchen bedeutend die meisten und exaktesten Erscheinungen des gesamten Gebietes gehören. Ob der Chemo- und Thermotropismus überhaupt in diese Kategorie gehört, ist mir zweifelhaft; der Galvanotropismus endlich ist ein reines Laboratoriumsprodukt, das für den Biologen, insofern er das Tier studieren will und nicht lediglich die chemischen Eigenschaften des Protoplasmas, keinerlei Interesse besitzt.

Fälle echter Tropismen, bei denen die Voraussetzungen der Theorie fehlen.

Tropismen ohne Energiestrahlen. Ich wiederhole nochmals, dass man unter Tropismus eine zwangsmäßig verlaufende, in bezug auf eine Energiequelle bestimmt gerichtete Bewegung versteht. Eine solche Erscheinung reinsten Stils ist der Geotropismus gewisser wirbelloser Wassertiere. Derselbe ist entweder positiv, zwingt also die Tiere, senkrecht nach unten zu kriechen, oder er bewirkt eine horizontale, die Schwerkraftlinien schneidende Bewegung (Diatropismus), deren Erfolg für den Organismus die sogen. Erhaltung des Gleichgewichtes ist. Nun wissen wir, dass in der Mehrzahl dieser Fälle, auf die wir uns hier beschränken wollen, der Geotropismus gebunden ist an bestimmte Sinnesorgane, die sogen. Statocysten, deren Bau ich hier als einigermaßen bekannt voraussetzen muss. Ihre Funktion beruht nachgewiesenermaßen darauf, dass der schwere Statolith einen mechanischen Reiz auf das Sinnesepithel der Statocyste ausübt, und die ganze Wirkung des Apparates, das Tier in eine bestimmte Lage zur Schwerkraft zu bringen, kommt dadurch zustande, dass dieser mechanische Reiz infolge der Beweglichkeit des Statolithen, der stets den tiefsten Punkt der Blasenwand berührt, immer aus einer durch die Schwerkraft bestimmten Richtung kommt. Bewiesen wurde die Statolithendrucktheorie durch die berühmten Kreidl'schen Versuche mit den eisernen Statolithen bei Krebsen, an denen er mit Hilfe eines Magneten zeigen konnte, dass die Bewegungen des Tieres je nach der Richtung, aus welcher der Druck des Statolithen kommt, eine verschiedene ist.

Ferner haben Prentiss²⁾ und ich³⁾ gezeigt, dass der Verlust

2) Prentiss, The Otcyst of decapod Crustacea. Bull. Mus. Comp. Zool. Harvard Coll. Vol. 36. 1901.

3) v. Buddenbrock, W. Über die Orientierung der Krebse im Raum. Zool. Jahrb. Abt. f. allg. Zool. u. Phys. Bd. 34. 1914.

des Statolithen allein die gleiche Wirkung hat wie Verlust des ganzen Organs⁴⁾.

Eine Energiewirkung auf das lebendige Gewebe, wie sie die Tropismenlehre vorsieht, gibt es also hier einfach nicht, die Energie wirkt auf den leblosen Statolithen, und die ganze Erscheinung gehört in die Kategorie der mechanischen Reize, scheidet folglich für die Loeb'sche Betrachtungsweise aus.

Als ein weiteres Beispiel tropistischer Bewegungen, die ohne die Voraussetzungen von statten gehen, von denen sie nach Loeb abhängen sollen, sind von anderer Seite gewöhnlich die wohl ausgeprägten Vermeidereaktionen betrachtet worden, welche die Infusorien auf schädliche Reize hin zeigen. Wenn man eine Anzahl derartiger Tiere, z. B. Paramaecien oder Stylonychien unter ein Deckglas bringt, so kann man an ihnen, wie in vielen Lehrbüchern zu lesen steht, die Erscheinungen des Chemo- und Thermotropismus sehr schön studieren, bei grünen Arten tritt dann noch häufig der Heliotropismus hinzu.

Da nun diese Tiere völlig asymmetrisch gebaut sind, so wäre hier die Tropismenlehre, welche zwei spiegelbildliche Körperhälften oder einen radiären Bau voraussetzt, nicht anwendbar, so dass hier ein weiteres Beispiel von Tropismen gegeben wäre, die ohne die der Theorie notwendigen Voraussetzungen von statten gingen. Die Methode, nach der die Infusorien schädlichen Reizen ausweichen, ist aber nicht das geradlinige Wegschwimmen von der Energiequelle, sondern sie führen sogen. Probiebewegungen aus. Es handelt sich also hier gar nicht um richtige Tropismen, wie ich in Übereinstimmung mit Loeb gegen Jennings betonen möchte, so dass diese Fälle, wie überhaupt alle Probiebewegungen, nicht gut zur Kritisierung der Loeb'schen Theorie verwendet werden können.

Eine weitere Reihe der Theorie widersprechender Erscheinungen werden wir im folgenden kennen lernen bei Betrachtung solcher Fälle, wo zwar die Voraussetzungen der Symmetrie und der Energiestrahlung vorhanden sind, gleichwohl aber der Ablauf der Bewegung in einer der Tropismenlehre widersprechenden Weise erfolgt. Ich beschränke mich auf drei Beispiele. Das deutlichste dieser Art liefert, worauf schon H. S. Jennings aufmerksam machte,

4) Bei gewissen Fischen soll nach E. P. Lyon die Sache anders liegen, indem dort die vorsichtige, eine Verletzung des Sinnesepithels ausschließende Herausnahme des Statolithen keine Ausfallserscheinungen zur Folge haben soll. Die Richtigkeit dieser Beobachtung erscheint mir äußerst zweifelhaft, da wahrscheinlich Blutgerinselfäden, deren Eintritt in die Blase sich kaum vermeiden lassen dürfte, die Rolle des Statolithen übernehmen. Für unsere Betrachtung ist aber das Benehmen der Fische einigermaßen gleichgültig, da es uns hier nur darauf ankommt, zu zeigen, dass gewisse Geotropismen, nicht alle, in die Kategorie der mechanischen Reize gehören.

der Seitwärtsgang der Krabben.

Das Tatsächliche ist hier mit wenigen Worten erschöpft. Wenn ich eine solche Krabbe in irgendeiner Weise, z. B. durch eine starke Lichtquelle reize, und zwar von der einen Seite aus, so tritt bekanntermaßen nicht die von der Tropismtheorie verlangte Drehung des Tieres bis zur Einstellung der Symmetrieebene in die Strahlenrichtung ein, sondern die Krabbe läuft ohne weiteres nach der entgegengesetzten Seite fort. Das ist nun durch die Theorie Loeb's in keiner Weise zu erklären, zeigt vielmehr auf das deutlichste, dass das Licht hier nicht auf die beiden Körperhälften getrennt, sondern auf den Organismus als Ganzes einwirkt und eine harmonische Tätigkeit aller Bewegungsorgane zur Folge hat. Loeb macht freilich einige Einwendungen gegen diese Kritik. Er schreibt: „Ich bin aber geneigt, einen anderen Schluss zu ziehen, nämlich, dass bei den Krabben erstens eine durchaus andere Verbindung zwischen Netzhaut und Lokomotionsmuskeln vorliegt als das bei den anderen Krebsen und sonstigen Tieren der Fall ist; und dass zweitens auch in bezug auf die Funktion der beiden Netzhäute eine besondere Eigentümlichkeit besteht, indem dieselben sich nicht wie symmetrische Oberflächenelemente verhalten. Es ist hier meines Erachtens eine neue Entdeckung zu machen“ (1909, p. 48 u. 49).

Was es zu bedeuten hat, dass Loeb hier plötzlich die sonst so vernachlässigte spezielle Struktur zu Hilfe nimmt, werden wir an einer anderen Stelle sehen, dass er aber mit seiner Entgegnung irgendeine Entkräftung der gegen die Theorie erhobenen Einwände erreicht, wird schwerlich jemand behaupten wollen. Loeb ist hier ganz offenbar ein Denkfehler untergelaufen. Sein Einwand soll wohl, in eine etwas klarere Sprache übersetzt, soviel bedeuten, dass bei der Krabbe im vermeintlichen Gegensatz zu anderen Krebsen das Auge nicht nur mit den Beinen einer Seite verbunden ist, was eine Drehung des Tieres bewirkt, sondern mit den Beinen beider Seiten, woraus eben eine andere Art der Bewegung resultiert. Der Sinn der Tropismtheorie ist doch nun aber wahrhaftig nicht der, zu zeigen, dass durch das Licht irgendeine beliebige Bewegung erzwungen wird, sondern es soll sich eine bestimmte Bewegung daraus ergeben, die nämlich das Tier vom Licht wegführt, und das ist, wie doch Loeb selbst überall betont, nach Maßgabe seiner Theorie nur möglich, wenn bei der geradlinigen Bewegung auf das Licht zu bzw. von ihm weg eine Bewegung der symmetrischen Muskeln der beiden symmetrischen Körperseiten eintritt. Beim Seitwärtsgang der Krabben wird aber die geradlinige Fortbewegung erreicht durch ein asymmetrisches Kooperieren beider Seiten, indem z. B. beim Gang nach rechts die Beine der linken Seite den Körper schieben, also die Strecker in Tätigkeit sind, die der rechten ihn dagegen nach sich ziehen, wobei die Beuger die Arbeit leisten.

Das ist nach der Theorie unerklärlich und kann nur als eine zweckmäßig ausgearbeitete Gesamthandlung des Tieres verstanden werden. Der Widerspruch mit der Theorie ist also hier so grob wie nur möglich. Auch die Annahme, an die man etwa denken könnte, dass die Wirkung der Energie auf die symmetrische Form hier durch irgendeinen hypothetischen zweiten Faktor verdeckt sei, ist unhaltbar. Denn da das Licht, wenn der Vorgang nach dem Schema Loeb's ginge, eine Drehung der Krabbe verursachen müsste, so müsste dieser zweite Faktor, der diese Drehung wieder aufhebt, für sich allein eine Drehung nach der entgegengesetzten Seite zur Folge haben. Dies würde nichts anderes bedeuten, als dass der Krebs ohne die Lichtreizung dauernd im Kreise liefe, eine offenbare Ungereimtheit.

Zu den hier besprochenen Fällen, in denen trotz des Vorhandenseins sämtlicher Vorbedingungen der Tropismus in einer der Theorie widersprechenden Weise vor sich geht, gehört zweitens eine eigentümliche Erscheinung, die bei Seesternen und bei einem Krebse zu beobachten sind und die ich als

wechselbaren Heliotropismus

bezeichnen möchte.

Wenn man einen Seestern in ein gleichförmig beleuchtetes Feld bringt und nun in seiner Nähe einen Fleck abweichender Helligkeit, also einen tiefen Schatten oder ein helleres Licht hervorruft, so kriecht das Tier in beiden Fällen auf diesen Fleck los⁵⁾.

Unter den Krebsen zeigt, wie ich selbst zu beobachten Gelegenheit hatte, *Hemimysis lamornae* eine analoge Erscheinung. Dieses Tier schwimmt im Aquarium dauernd hin und her, soweit es der Raum desselben gestattet, aber stets in einer ganz bestimmten Richtung, nämlich auf das vom Fenster kommende Licht zu bzw. beim Zurückschwimmen von ihm weg. Der Krebs wechselt also nach einer jeden Wendung, die er an der Glaswand des Aquariums ausführt, den Sinn seines Heliotropismus.

Dass ein und dasselbe Tier sowohl positiven als auch negativen Heliotropismus zeigt, ist an sich nichts Wunderbares und widerspricht in keiner Weise der Theorie, kommt auch sonst gar nicht selten vor. Die Umkehrung der einen Bewegungsart in die andere ist aber alsdann stets an die Applizierung irgendeines neuen Reizes gebunden⁶⁾, durch den der physiologische Zustand des Tieres derart geändert wird, dass der gleiche optische Reiz nunmehr die umge-

5) Plessner, H. Untersuchungen über die Physiologie der Seesterne. Zool. Jahrb. Abt. f. allg. Zool. 33, 1913.

6) Es braucht dies durchaus kein äußerer Reiz zu sein. Es ist auch denkbar, dass im Laufe der individuellen Entwicklung durch die dabei verlaufenden inneren Prozesse der physiologische Zustand sich ändert. Das Benehmen vieler Larven, die nach einer gewissen Lebenszeit ohne äußere Veranlassung ihren Heliotropismus ändern, ist hierfür ein Beispiel.

kehrte Reaktion bewirkt. Ein schönes und klares Beispiel hierfür liefern gewisse andere Mysideen (siehe Anm. 9), die nach Beleuchtung positiv, nach Verdunklung negativ heliotropisch werden. Dagegen tritt der Wechsel bei *Hemimysis* ohne jede Änderung des physiologischen Reizzustandes ein, und beim Seestern sehen wir gar, dass ein und dasselbe Tier ganz nach Belieben des Experimentators zu einer positiven oder negativen Reaktion gebracht werden kann.

Hier setzt die Kritik ein: Nach der Loeb'schen Theorie haben wir in einem Tier ein bestimmtes System chemo-physikalischer Kräfte zu erblicken. Wenn auf ein solches System eine Energie von bestimmter, konstanter Größe einwirkt, so muss die Reaktion notwendigerweise eine eindeutige sein, d. h., die Bewegung muss gleiche Reizstärke, und gleichen physiologischen Zustand des Tieres vorausgesetzt, stets und immer im selben Sinne erfolgen. Der Fall *Hemimysis* ist also mit Hilfe der Tropismentheorie nicht zu erklären.

Umgekehrt: Wenn ein bestimmtes Kräftesystem durch eine Energiemenge zu genau der gleichen Bewegung gezwungen wird wie durch eine andere Energiemenge, so müssen logischerweise diese beiden Energien gleich groß sein.

Dieser Satz wird vom Seestern umgeworfen, der im gleichen physiologischen Zustand vom Licht sowohl als vom Schatten angezogen wird; woraus zu folgern ist, dass entweder der Seestern kein derartiges Kräftesystem ist, wie Loeb es annimmt, oder dass die Energie in einer ganz anderen Weise auf das Auge einwirkt. Wie die Erscheinung zu deuten ist, geht uns indessen hier nichts an, wir begnügen uns mit der Feststellung, dass die Fälle des wechselbaren Heliotropismus mit der Tropismentheorie nicht erklärbar sind.

Unerklärbarkeit der Drehungen um die horizontale Querachse.

Wir gehen jetzt einen Schritt weiter und wenden uns, indem wir die Besprechung von Einzelfällen verlassen, einer großen einheitlichen Kategorie von Bewegungen zu, die sämtliche Metazoen bei ihren heliotropischen und geotropischen Bewegungen aufweisen, nämlich die Drehungen um die horizontale Querachse. Hier werden wir ein drittes Beispiel von Tropismen kennen lernen, die, obgleich alle Voraussetzungen der Theorie vorhanden sind, dennoch in einer derselben gänzlich widersprechenden Weise ablaufen.

Ich beginne mit den diaheliotropischen Bewegungen vieler Krebse. Zahlreiche Arten dieser Tierklasse, marine sowohl als Süßwasserbewohner, schwimmen stets so, dass sie den Rücken dauernd dem Lichte zuwenden (Lichtrückenreflex). Sie bewegen sich also senkrecht zu den Lichtstrahlen, ein unzweifelhafter, echter Diatropismus. Trifft man die Einrichtung, dass solch ein Tier abwechselnd von oben

und unten beleuchtet werden kann, so ergibt sich, z. B. bei plötzlich eintretender Unterbeleuchtung, eine Umdrehbewegung des vorerst in Bauchlage schwimmenden Tieres bis zur Rückenlage, so dass also wiederum die Rückenfläche dem Lichte zugekehrt ist. Das braucht nun noch gar nicht der Tropismentheorie zu widersprechen, indem sich langgestreckte Krebse hierbei stets um die in der Symmetrieebene liegende Längsachse drehen, so dass also, der Einfachheit halber eine etwas schräge Anfangslage angenommen⁷⁾, das typische Bild des theoretischen Schemas sich ergibt: Ungleiche Belichtung zweier symmetrischer Körperhälften, hieraus resultierend Drehung des Organismus bis in die zur Energiequelle symmetrische Endlage. Kurze, gedrunken gebaute Krebse verhalten sich aber nun ganz anders. Entsprechend ihrem Körperbau ziehen sie es vor, einen Purzelbaum zu schlagen, um auf diese Weise in die Rückenlage zu kommen. Der Amphipode *Hyperia* tut dies stets, die Larve von *Squilla* sehr oft; das sind nur zwei Beispiele für eine sehr häufige Erscheinung. Bei einem solchen Purzelbaum fallen nun aber sämtliche Voraussetzungen der Tropismentheorie vollkommen fort, indem eine Drehung des Körpers um eine in der Symmetrieebene verlaufende Achse gar nicht stattfindet. Vielmehr erfolgt die Drehung um eine senkrecht zur Symmetrieebene verlaufende, horizontale Querachse, durch die man keine einzige Ebene legen kann, welche den Organismus in zwei gleiche Körperhälften zerlegt, wie es doch die Theorie erfordert. Es fehlt also die leiseste Möglichkeit, die Bewegung mit der Theorie in Einklang zu bringen, und doch ist sie ein ganz echter Tropismus.

Genau die gleiche Überlegung lässt sich bei den diageotropischen Bewegungen anstellen, die bei vielen Krebsen an Stelle des Lichtrückenreflexes die Erhaltung des Gleichgewichts, alias der Bauchlage beim Schwimmen gewährleisten. Der Krebs *Palaemon* sei als Beispiel gewählt. Sobald das Tier irgendwie aus seiner normalen, horizontalen Bauchlage herausgebracht wird, führen es zwangsmäßig verlaufende Bewegungen wieder zu ihr zurück. Auch hier ist nur diejenige Art der Orientierungsbewegung mit der Tropismentheorie vereinbar, bei der eine Drehung um die Längsachse stattfindet. Stelle ich aber den Krebs einigermaßen senkrecht, so vollführt er bei seiner Rückkehr zur horizontalen Normallage eine Drehung um die horizontale Querachse, die, wie wir oben sahen, jeder Erklärung durch die Loeb'sche Theorie spottet⁸⁾.

7) Die verkehrt symmetrische Lage, in diesem Falle also Symmetrieebene in Richtung der Lichtstrahlen, aber Rücken dem Lichte abgewendet, bietet der Erklärung durch die Theorie große Schwierigkeiten (siehe p. 491).

8) *Palaemon* reagiert auch ohne Statocysten so mit Hilfe des von mir nachgewiesenen allgemeinen Lagereflexes, der an sich, da wir nichts Näheres über ihn wissen, sehr wohl der Erklärung durch die Tropismentheorie zugänglich sein konnte.

Vorübergehen kann man an diesen diatropischen Bewegungen nicht. Sie stellen typische Orientierungsbewegungen in bezug auf eine Energiequelle dar, sind also durchaus richtige Tropismen. Loeb wird sich also zu dem Eingeständnis bequemen müssen, dass es neben dem Seitengang der Krabben noch eine zweite ganze Kategorie solcher Erscheinungen gibt, die nicht in seine Theorie passen.

Es ist nun aber nicht einmal notwendig, bei den immerhin vereinzelt diatropischen Erscheinungen stehen zu bleiben. Nehmen wir einen ganz beliebigen positiv (oder negativ) heliotropischen Organismus, der sich frei im Raume bewegt, also etwa schwimmt. So wird er sich, wenn die Lichtquelle wirklich seitlich von ihm steht, allerdings nach dem Schema der Theorie um eine Vertikalachse drehen, die in der Symmetrieebene verläuft, befindet sich also das Licht irgendwo über oder unter ihm, so dreht sich das Tier, wie jedes derartige Experiment mit Leichtigkeit zeigt, wiederum um die uns bekannte, der theoretischen Deutung widerstrebende Querachse.

Wir sehen also hier wieder, was schon die Beobachtung von *Squilla* und *Palaemon* lehrte, dass bei einem und demselben Tier sowohl solche Tropismen vorkommen, die durch die Theorie erklärbar zu sein scheinen, als auch andere, die schon auf den ersten Blick hin gänzlich unerklärbar sind. Nun wird sicherlich niemand geneigt sein, diese beiden Bewegungsarten, die Drehungen um die Vertikal- und die Horizontalachse auseinander zu reißen und zu behaupten, dass zwar die erstere durch die allgemeinen Gesetze der Tropismentheorie bedingt sei, die zweite aber einer ganz anders gearteten Erklärung, nämlich durch die spezifische Struktur des Tieres bedürfe. Nein! Beide Bewegungen, die häufig vikariierend für einander eintreten und in der verschiedensten Weise kombiniert sein können, sind zweifelsohne wesensgleich, und da nun nachweisbar die eine davon gar nichts mit der Tropismentheorie zu tun hat, so werden wir hieraus den Schluss ziehen, dass die andere, die Drehung um die Vertikalachse, auch nur scheinbar mit dieser Theorie zusammenhängt, in Wahrheit aber ebenfalls durch die zweckmäßige, vorgebildete Struktur des Organismus bedingt ist.

Unerklärbarkeit der Reaktion, die von der verkehrt
symmetrischen Stellung aus erfolgt.

Wir haben hier zum ersten Male ein auf sämtliche Tropismenarten anwendbares Argument kennen gelernt. Soweit die Drehungen um die Horizontalachse in Frage kommen, ist es absolut zwingend, und die Theorie Loeb's widerlegt. Anders steht es mit den Drehungen um die Vertikalachse. Für den Fall, dass in diesem Punkte der

gegen die Tropismenlehre erhobene Beweis, der nur auf einem Analogieschluss beruht, nicht für genügend erachtet werden sollte, wollen wir uns im folgenden speziell diesen Bewegungen zuwenden, die Loeb allem Anschein nach allein im Auge gehabt hat. Es wird der Nachweis geführt werden, dass auch hier seine Annahme, zunächst für einen bestimmten Fall, die verkehrt symmetrische Stellung, zu Konsequenzen führt, welche der Tatsache widersprechen.

Ich nehme also irgendeinen bilateral-symmetrischen negativ-heliotropischen Organismus und stelle ihn, so genau wie nur möglich, so ein, dass das Vorderende dem Licht zugewendet ist.

Erfahrungstatsache: Das Tier dreht sich sehr schnell um 180° und schwimmt, fliegt oder kriecht vom Lichte weg. Nun bitte ich zu überlegen, dass das Prinzip der Tropismenlehre auf der ungleichen Wirkung der betreffenden Energie auf die beiden symmetrischen Körperhälften beruht. Im angenommenen Falle ist eine solche Ungleichheit überhaupt nicht vorhanden, beide Seiten des Tieres werden in genau dem gleichen Maße vom Licht getroffen. Folglich müsste, wenn wirklich die Verhältnisse so lägen, wie die Tropismenlehre es annimmt, in diesem Falle eine Reaktion entweder völlig ausbleiben oder erst ganz allmählich eintreten, nachdem das Tier durch zufällige kleine Bewegungen aus der Symmetrie-lage herausgekommen ist.

Mit anderen Worten: Nach der Tropismenlehre müsste die lichtabgewandte Stellung für positiv heliotropische Tiere, und die zugewandte für negativ reagierende ein sogen. toter Punkt sein. Ein unanfechtbarer, durch keine Dialektik zu beseitigender Gedankengang, mutatis mutandis auf jede Art von Tropismus anwendbar.

Dass, wie jede Erfahrung lehrt, auch von der verkehrt symmetrischen Stellung aus stets eine schnelle und präzise Reaktion erfolgt, ist nur so erklärbar, dass der Organismus als Ganzes die falsche Lage empfindet und darauf reagiert, nie und nimmer aber durch die einander entgegengesetzte Wirkung der beiden Körperhälften, da dieselben sich total aufheben müssten.

Es ist dies der allgemein gültigste Einwand, der sich überhaupt gegen die Tropismenlehre erheben lässt, er gilt, soweit ich das Gebiet überschaue, für sämtliche Tropismen, die es gibt. Die Reaktion, die stets von der verkehrt symmetrischen Lage aus zu beobachten ist, lässt sich aber auch durch keinen Reflexmechanismus erklären, wenigstens müsste man ganz komplizierte unbeweisbare Hilfsannahmen machen, sie weist mit Sicherheit darauf hin, dass es auch bei den niederen Tieren willkürliche Handlungen gibt, die auf gewisse Unlustgefühle hin, oder wie man das sonst nennen will, eintreten.

Die Unerklärbarkeit der harmonischen Koordination der Bewegung beider Körperhälften.

Dieser Einwand, dass die Reaktion des Tieres nicht auf der voneinander unabhängigen Wirkung der beiden Körperhälften beruht, sondern eine harmonische Handlung des gesamten Organismus darstellt, trifft nun aber nicht nur bei der verkehrt symmetrischen Stellung zu, sondern überhaupt bei fast einer jeden tropistischen Drehung um die Vertikalachse.

Ginge eine solche Bewegung nach dem Schema der Tropismenlehre vor sich, so könnten wir sie mit folgendem Vorgange vergleichen: In einem Ruderboot sitzen zwei Ruderer, von denen der eine das linke, der andere das rechte Ruder bedient. Wenn nun der eine sein Handwerk besser als der andere versteht oder stärker ist als er, so ist hiervon die unfreiwillige Folge, dass das Boot nicht geradeaus fährt, sondern sich zu drehen beginnt. Beide Seiten wirken unkoordiniert, die Drehung wird bewirkt durch die Differenz der beiderseits angreifenden Kräfte.

Dieser Fall entspricht genau der Tropismenlehre und ist bis in die Einzelheiten genau realisiert beim Galvanotropismus.

Nun gibt es beim Ruderboot aber noch eine andere Möglichkeit der Drehung. Nehmen wir an, die beiden Ruderer beabsichtigen irgendeine Wendung zu machen; so gehen sie dabei so vor, dass der eine von ihnen gleich stark oder noch stärker weiterrudert als vorher, der andere aber wird entweder den Schlag zur Unterstützung seines Partners in entgegengesetzter Richtung führen als beim Vorwärtsrudern, oder er wird wenigstens eine jede Ruderbewegung unterlassen, um dem anderen nicht hinderlich zu sein.

Es resultiert also auch hier eine Drehung, deren Effekt nun aber durch das koordinierte zweckmäßige Zusammenarbeiten beider Seiten bedingt ist und zwar im ersten Falle durch die Summe beider Kräfte, die im gleichen Sinne arbeiten, im zweiten durch die Kraft der einen Seite allein. Ein Gegeneinanderarbeiten beider Seiten findet niemals statt, das ist das Kriterium.

Dieser Fall liegt nun bei allen in der freien Natur vorkommenden Tropismen vor und ist mit der Loeb'schen Theorie offenbar nicht zu vereinigen. Ich möchte hiervon einige Beispiele bringen.

Das erste bezieht sich auf die diaphototropischen Bewegungen, den schon besprochenen Lichtstrückenreflex mariner Krebse. Hier konnte ich vor zwei Jahren nachweisen, dass bei einseitiger Beleuchtung stets eine Seitwärtssteuerung der Ruderfüße beider Seiten im gleichen Sinne erfolgt, ein deutlich koordiniertes zweckmäßiges Verhalten, das nach der Tropismenlehre unmöglich voraussehen oder zu erklären ist. Ein solches sich gegenseitig unterstützen der Gliedmaßen bzw. der Muskulatur beider Seiten ist bei fast allen Wendungsbewegungen im Tierreiche zu beob-

achten, nur hat man diesen theoretisch wichtigen Dingen bisher nur ein sehr geringes Interesse entgegengebracht.

Der zweite Fall, dass nämlich nur die eine Körperseite sich bewegt und die andere vollkommen still steht, ist ganz wesentlich seltener. Das bestbekannte Beispiel ist das von Bauer⁹⁾ studierte Verhalten der Mysideen Lichtreizen gegenüber. Diese eigentümlichen Tiere sind nach vorausgegangener Belichtung positiv, nach Verdunklung negativ-heliotropisch, es wirkt also im ersten Falle Verdunklung, im zweiten Belichtung als Reiz, dem die Tiere zu entfliehen suchen. Dies geschieht nun in der Weise, dass die reizabgewandten Beine in ihrer Bewegung gehemmt werden, woraus, da die zugewandten wie vorher weiterrudern, notwendigerweise eine Drehung vom Reizorte weg erfolgt. Soweit die Tatsachen.

Suchen wir sie zu deuten, so ist zunächst klar, dass der Befund für Loeb nicht ungünstig ist, da ja de facto nur die dem gereizten Auge zugeordneten Beine reagieren, man kann also die Bewegung als eine nichtkoordinierte betrachten. Andererseits muss zugegeben werden, dass die Bewegung in Analogie des oben angeführten Beispiels vom Ruderboot genau so gut als eine zweckmäßig koordinierte beider Seiten betrachtet werden kann, indem eine jede Behinderung der einen durch die andere vermieden wird. Wir befinden uns also hier hinsichtlich der uns interessierenden Streitfrage gewissermaßen auf neutralem Boden, wir können nicht beweisen, dass der Phototropismus der Mysideen gegen die Theorie spricht, aber ebensowenig kann Loeb dartun, dass er für dieselbe günstig wäre.

Einwand der Unauffindbarkeit der Drehachse.

Die zuletzt durchgesprochenen drei Argumente gegen die Tropismentheorie sind merkwürdigerweise von den meisten Kritikern bisher übersehen worden. Das gleiche gilt von einem vierten ebenso gewichtigen, das wir uns nunmehr näher betrachten wollen.

Gesetzt also, wir hätten irgendeinen bilateral-symmetrischen, sagen wir lichtempfindlichen Organismus, um bei einem Beispiele Loeb's selbst zu bleiben, eine geflügelte Blattlaus. Dieselbe werde lediglich von der linken Seite beleuchtet (d. h. die Lichtquelle sei weder über noch unter ihr, sondern mit ihr in genau der gleichen Höhe), so führt sie sofort eine Drehung aus und fliegt geradlinig der Lichtquelle zu. Hier haben wir einen wunderschönen, stilgerechten Heliotropismus im Sinne Loeb's. Einseitige Belichtung, Folge: ungleiche Bewegung beider Seiten bis zu einer zur Lichtquelle symmetrischen Lage, schließlich geradliniger Flug zum Lichte hin.

9) Bauer, V. Über die reflektorische Regulierung der Schwimmbewegungen bei den Mysideen etc. Zeitschr. f. allg. Physiol. Bd. 8. 1908.

Wieviel ist nun davon durch die Tropismentheorie erklärbar? Offenbar, von einigen erst später zu beleuchtenden Bedenken immer noch abgesehen, höchstens das eine, dass nämlich die beiden Körperseiten sich verschieden bewegen. Daraus muss allerdings logischerweise eine Drehung des Gesamtorganismus um irgendeine in der Symmetrieebene verlaufende Achse xy resultieren, die so lange anhält, bis die Symmetrieebene mit der Ebene xyL ($L = \text{Lichtpunkt}$) zusammenfällt. Das ist aber auch alles, was sich aus der Tropismentheorie ergibt! Um welche von den unzähligen in dieser Ebene verlaufenden Achsen eine Drehung erfolgt, verrät sie uns nicht. Und doch ist, um zu der Energiequelle hin zu gelangen, die Drehung um eine ganz bestimmte Achse nötig, diejenige nämlich, die senkrecht auf der Verbindungslinie des Organismus mit der Energiequelle steht, und eine jede Theorie, die sich ernsthaft mit dem vorliegenden Problem beschäftigt, muss erklären können, wie die Drehung gerade um diese eine Achse, anders gesagt, die Bewegung ganz bestimmter unter den zahlreichen Flügelmuskeln zustande kommt. Hätten wir nichts anderes zur Verfügung als die Loeb'sche Theorie, so wäre die Annahme eines Wunders nötig, um zu verstehen, wie die Blattlaus nun eigentlich zur Lichtquelle findet. Wenn Punkt A das Tier, Punkt L die Lichtquelle bedeutet, und wenn ich die Annahme mache, dass die Drehung, welche die Theorie verlangt, beendet ist und also die Linie AL in die Symmetrieebene des Tieres zu liegen kommt, so kann dasselbe je nachdem, um welche Achse es sich gedreht hat, die verschiedensten Lagen einnehmen. Es kann sich folglich je nach der Richtung seiner Längsachse entlang einer jeden von A aus in der Papierebene verlaufenden Linie bewegen, von denen nur eine einzige, AL , zum Lichte führt, ohne die Bedingungen der Tropismentheorie zu verletzen. Deutlicher kann man die völlige Unfähigkeit derselben, dasjenige zu erklären, was zu erklären ihre einzige Aufgabe ist, nicht gut demonstrieren. Dass tatsächlich eine direkte Bewegung zum Lichte hin erfolgt, ist durch derartige physikalisch-chemische Annahmen, wie Loeb sie macht, überhaupt nicht zu erklären, es beweist vielmehr, dass im Innern des Organismus ein zweckmäßig funktionierender Mechanismus steckt, der eben auf den Lichtreiz hin die Bewegungsorgane so in Tätigkeit setzt, dass eine Gesamtbewegung nach dem Licht hin erfolgen muss.

Verantwortlich für das Zustandekommen des Tropismus ist folglich die morphologisch-physiologische Struktur des Tieres, die in jedem einzelnen Falle gesondert zu untersuchen ist.

Die Unvereinbarkeit der Tropismentheorie mit dem Vorhandensein eines Reflexbogens.

Dieser letzte Satz leitet von selbst zu dem nächsten Kapitel über, welches den schwierigsten Teil der gesamten Kritik enthält.

Es erhebt sich nämlich dringend die Frage, in welchem Verhältnis die Tropismentheorie zur speziellen Struktur der Tiere steht, oder anders gesagt: Wenn ich nachweisen kann, dass der Reiz vom Auge aus eine bestimmte vorgeschriebene Bahn, einen sogen. Reflexbogen durchläuft, was hat dann angesichts dieser Tatsache die Tropismentheorie überhaupt noch für einen Sinn?

Der unbefangene Beobachter wird doch dann sicherlich dazu neigen, eben diesen Reflexbogen, der gewissermaßen einem Uhrwerk gleicht, wo ein Rad ins andere greift, bis die Zeiger sich bewegen, für die Ursache des Tropismus zu halten, woraus sich die Überflüssigkeit einer weiter her geholten Erklärung dieses Phänomens ergibt.

Wenn wir dagegen Loeb's Schriften durchblättern, werden wir zu unserem größten Erstaunen gewahr, dass die Auffassung dieses Forschers eine gänzlich andere ist. Am klarsten kommt das zum Ausdruck im Falle der Taschenkrabben, den wir ja, soweit Tatsächliches in Betracht kommt, bereits kennen lernten. Schon Jennings hatte ihm vorgehalten, dass das Verhalten dieser Tiere, der Seitwärtsgang, unvereinbar mit der Theorie sei, hierauf antwortet er nun, wie schon p. 487 zitiert wurde, folgendermaßen: „Ich bin aber geneigt, einen anderen Schluss zu ziehen, nämlich, dass bei den Krabben erstens eine durchaus andere Verbindung zwischen Netzhaut und Lokomotionsmuskeln vorliegt, als das bei den anderen Krebsen und sonstigen Tieren der Fall ist; und dass zweitens auch in bezug auf die Funktion der beiden Netzhäute eine besondere Eigentümlichkeit besteht, indem dieselben sich nicht wie symmetrische Oberflächenelemente verhalten.“

Er leugnet also die Existenz des Reflexbogens nicht nur nicht, sondern er benutzt ihn geradezu zur Erklärung des Phänomens und trotzdem hält er die Tropismentheorie in vollstem Maße aufrecht! Die Lösung dieses Rätsels ist seinen bisherigen Kritikern meines Wissens nicht gelungen; sie ist nur möglich, wenn man den historischen Werdegang der Tropismentheorie berücksichtigt:

Diejenige Erscheinung, welche die Eigentümlichkeit der tropistischen Bewegungen am deutlichsten und aufdringlichsten zeigt, ist unstreitig der Galvanotropismus, die theoretische Beurteilung der übrigen Tropismen wurde durch einen Analogieschluss gewonnen, der an diese erstere Erscheinung anknüpfte. Nun sind aber die Verhältnisse beim Galvanotropismus ganz besonderer Natur. Er kommt im Freien nicht vor und ist ein reines Laboratoriumsprodukt. Soweit er in Betracht kommt, ist also das Tier keine Maschine, die für bestimmte Aufgaben, nämlich die Erhaltung des eigenen Lebens und die Fortpflanzung der Art zweckmäßig gebaut ist, sondern lediglich ein symmetrisches Gebilde, das eine beiderseits gleiche chemo-physikalische Struktur besitzt:

Begriffe wie Anpassung und Zweckmäßigkeit brauchen wir hier nicht, und wenn es einem Chemiker der Zukunft gelänge, aus anorganischer Materie ein Tier, dem Faust'schen Homunculus vergleichbar, zu erzeugen, so müsste auch dieses Wesen, dem Zweckmäßigkeit, Zuchtwahl, Anpassung etc. gänzlich fremd wären, mit Notwendigkeit die Erscheinungen des Galvanotropismus zeigen. Man kann in diesem Falle den Organismus etwa mit einem Kristall vergleichen, der zwar auch eine Struktur besitzt, aus welcher bei Einwirkung gewisser Energien bestimmte Folgeerscheinungen sich ergeben, demgegenüber aber den Begriff der Zweckmäßigkeit anzuwenden durchaus unmöglich wäre.

Der Fundamentalfehler, den Loeb und seine Anhänger machen, ist nun der, dass sie das beim Galvanotropismus Gefundene ohne weiteres auf die in der freien Natur vorkommenden Tropismen übertragen. Hier ist aber der Begriff der Zweckmäßigkeit kein lehrer Wahn. Wenn freilich Loeb den bereits oben erwähnten Grundsatz leugnet, dass das Tier eine für die Selbsterhaltung und die Fortpflanzung der Art zweckmäßig gebaute Maschine ist, dann könnte man nicht mit ihm diskutieren, ich nehme aber im Interesse seiner selbst und seiner Beurteilung als Naturforscher an, dass er so weit nicht geht. Gesteht er sich aber hierzu bereit, wogegen wir ihm zusichern, dass wir genau wie er die Handlungen der niederen Tiere als etwas Zwangsmäßiges auffassen und von einem freien Willen meistens nichts wissen wollen, so muss er uns auf einige Fragen Rede und Antwort stehen:

Zum Beispiel: Der heliotropischen *Balanus*-Larve dient das Auge schwerlich dazu, dass sie sich der Schönheit der sie umgebenden Natur erfreue; wir behaupten dies, weil wir, genau wie auch Loeb, ihr höhere Intelligenz und freien Willen absprechen. Wir werden folglich zu der Auffassung gedrängt, dass der Zweck des Auges — denn irgendeinen Zweck hat es doch sicherlich — in der Vermittlung der heliotropischen Reflexe besteht, wenigstens kennen wir sonst nichts, worauf die Wirksamkeit des Auges bezogen werden könnte. Hieraus folgt unmittelbar, dass auch der gesamte Reflexbogen, mit dem zusammen erst das Auge einen funktionsfähigen Apparat bildet, etwas Zweckmäßiges ist, und sind wir erst so weit, so ist schließlich die Auffassung nicht zu umgehen, dass die Grundbedingung des Tropismus eben dieser zweckmäßig gearbeitete und funktionierende Mechanismus des Reflexbogens ist, und dass die Energie dabei keine andere Rolle spielt, als dass sie diesen Apparat in Bewegung setzt.

Wenn Loeb auf diese Deduktion einwendet, dass alsdann sämtliche Tropismen einen biologischen Nutzen haben müssten, so habe ich darauf folgendes zu erwidern:

Das Gegenteil hiervon ist keineswegs erwiesen; wenn in zahlreichen Fällen der Tropismus sinnlos für das Tier oder gar schädlich zu sein scheint, so liegt das höchstwahrscheinlich daran, dass wir entweder den Nutzen, den er dem Tiere bietet, nicht verstehen, denn von den normalen Lebensbedürfnissen der niederen Tiere wissen wir erst blutwenig¹⁰⁾, oder aber, dass der betreffende Forscher das Tier bei seinen Versuchen unnatürlichen Bedingungen ausgesetzt hat, ein Fall, der nur allzu häufig ist.

Ich möchte den Gedankengang der vorhergehenden Zeilen, da er vielleicht etwas schwierig ist, nochmals in verkürzter Form wiederholen.

Bleibt man bei den Tatsachen, so kann man nur feststellen, dass das Licht mit Hilfe des Auges und des daran anschließenden Reflexbogens eine bestimmte Bewegung auslöst, wobei das Licht die eine, der Reflexbogen die andere Bedingung für das Zustandekommen derselben ist. Hieraus kann man gar keinen Schluss ziehen, weder für noch gegen die Tropismentheorie. Diese bekommt erst dann einen Sinn, wenn man den Tatsachen eine bestimmte Deutung des Begriffs „Tier“ unterlegt, indem man dasselbe einfach als ein Gebilde von bestimmter chemophysikalischer Struktur definiert, ohne irgendwelche Rücksicht auf die Zweckmäßigkeit seines Baues. Auf diese Struktur wirkt dann die blind waltende Naturkraft genau so ein wie etwa das Eisen auf die Magnetnadel, und so erhalten wir den Tropismus. Die hier zugrunde liegende Definition des Tieres ist aber falsch und folglich sind dies auch die aus ihm gewonnenen Schlussfolgerungen.

Das Tier ist vielmehr ein für die Aufgabe der Selbsterhaltung und der Fortpflanzung zweckmäßig gebauter Mechanismus, dies ist eine unbestreitbare Wahrheit. Aus ihr folgt, dass auch das einzelne Organ, z. B. das Auge, einen bestimmten Zweck besitzt, was sich übrigens auch schon aus dem zweckmäßigen Bau des Auges selbst ergibt, und wenn nun dies Auge nichts anderes bewirkt als eine heliotropische Bewegung, so muss letzten Endes auch der dieselbe vermittelnde Reflexbogen als ein zweckmäßig gebildeter Mechanismus betrachtet werden. Hieraus aber folgt, dass die Ursache des Tropismus eben dieser Mechanismus und dass die Tropismentheorie völlig überflüssig ist. Mit diesem Einwand ist die Tropismentheorie widerlegt, soweit niedere Tiere in Frage kommen, deren Augenfunktion sich mit den heliotropischen Bewegungen erschöpft.

Eine Einschränkung müssen wir aber machen bei hochentwickelten Sinnesorganen, hier liegt nämlich die Sache etwas kom-

10) Ein genaueres Eingehen auf diesen sehr interessanten Punkt würde hier viel zu weit führen. Ich möchte indessen auf die sehr lesenswerte Arbeit von V. Franz: „Die phototaktischen Erscheinungen im Tierreiche und ihre Rolle im Freileben der Tiere“ hinweisen (Zool. Jahrb. Abt. f. allgem. Zool. 33, 1914).

plizierter. Wenn z. B. ein Auge sowohl zum Bildersehen eingerichtet ist als auch heliotropische Bewegungen vermittelt, so könnte man in der Tat annehmen, dass hier nur das Bildersehen der Zweck des Auges ist, der Heliotropismus aber eine von der Natur ungewollte Nebenwirkung der Struktur.

In diesem Falle könnte man also tatsächlich beinahe der Loeb'schen Auffassung beistimmen — wenn nicht die uns bereits bekannten Einwände existierten, die von den Einzelheiten der Bewegungen ausgehend die Theorie widerlegen. Die Existenz eines Reflexbogens macht also mindestens in sehr vielen Fällen die Tropismentheorie überflüssig und beraubt sie eines jeden Inhalts. Der Tropismus hat dann eben seine Ursache in dem Reflexbogen selbst. Ihn kann man so ohne weiteres weder „erklären“ noch weglegen, er ist eine einfache Beobachtungstatsache, die für eine Theorie keinen Platz mehr lässt.

In allen Fällen ferner, wo nicht gerade ein solcher Reflexbogen scharf nachweisbar ist, aber ein Nervensystem existiert, das zwischen Muskeln und Hautsinneszellen vermittelt, ist es beinahe bis zur Gewissheit wahrscheinlich, dass es unsere operative Ungeschicklichkeit ist, die uns am Auffinden des Reflexbogens verhindert, und dass ein solcher nicht etwa fehlt. Auch hier können wir also der Tropismentheorie nur eine äußerst geringe Lebensberechtigung zusprechen. Ich möchte einen derartigen Fall näher zur Sprache bringen, weil er in sehr lehrreicher Weise dartut, zu welchen gewagten, völlig unbewiesenen Hilfsannahmen die Anhänger der Tropismentheorie sich versteigen. Davenport (1897) schreibt über den negativen Heliotropismus des Regenwurms: „*Die Sonnenstrahlen mögen horizontal und quer zu seiner Achse auffallen. Dann treffen ihn (den Regenwurm d. Verf.) die einwirkenden Strahlen seitlich, oder mit anderen Worten, er wird von einer Seite her beleuchtet und von der anderen nicht.* Da nun das Protoplasma beider Seiten auf eine gleiche Lichtstärke abgestimmt ist, so ist die weniger stark belichtete der optimalen Lichtstärke näher. Ihr Protoplasma befindet sich in einem phototonischen Zustand, während die stark belichtete ihren phototonischen Zustand verloren hat. Daher sind nur die verdunkelten Muskeln imstande, sich normal zu kontrahieren und die hell erleuchteten sind erschlafft. *Unter diesen Umständen krümmt sich das Tier nach der dunkleren Seite . . .*“ Als Überschrift über das Ganze könnte man „Dichtung und Wahrheit“ setzen. Wahrheit ist daran nur der in Kursivschrift gesetzte Vorder- und Schlussatz. Was dazwischen liegt, kann nur als Beweis einer reich begabten Phantasie bewundert werden, ein wissenschaftlicher Wert kommt ihm nicht zu. Gar nichts wissen wir davon, auf welche Lichtstärke das „Protoplasma“ des Wurmes abgestimmt ist. Sein phototonischer Zustand ist uns gänzlich ver-

borgen und demzufolge auch die Wirkung des Lichts auf verdunkelte und belichtete Muskeln.

Stelle ich dem Einiges gegenüber, was wir wirklich wissen, dass nämlich in und dicht unter der Epidermis des Regenwurms Zellen sich befinden, deren ganzer Bau mit Sicherheit auf ihre [Lichtempfindlichkeit schließen lässt, dass von ihnen Nerven zum Bauchmark ziehen und andere von da zum Hautmuskelschlauch, dass ferner der ganze Tropismus aufhört, wenn ich das Bauchmark zerstöre, so dass sich die Existenz eines Reflexbogens: Lichtempfindliche Hautsinneszellen, sensorische Nerven, Bauchmark, motorische Nerven und Muskelschlauch mindestens ahnen lässt, so kann ich es dem Leser getrost überlassen, welche von beiden Möglichkeiten, die des Reflexbogens oder die der Davenport'schen Annahmen die größere Wahrscheinlichkeit für sich hat. Immerhin bestände in diesem Falle eine gewisse Möglichkeit der Erklärung im Loeb'schen Sinne, vorausgesetzt, dass die früher gemachten Einwände ihre Gültigkeit verlören; und wenn wir uns schließlich denjenigen Fällen zuwenden, wo ein Reflexbogen überhaupt mit unseren derzeitigen Mitteln nicht nachweisbar ist, so werden wir, von diesem Standpunkte aus betrachtet, sogar in der Tropismentheorie die alleinige Beherrscherin der Lage kennen lernen.

Ich möchte hier zwei derartige Tropismen anführen. Der erste betrifft die Reaktionen auf Schwerkraftsreize bei solchen Tieren, die nachweisbar keine Statozysten besitzen bzw. den Geotropismus auch nach Entfernung dieser Organe noch aufweisen, der zweite die Wachstumserscheinungen gewisser Hydropolyphen, die eine Einstellung des Tieres in die Richtung der Lichtstrahlen zur Folge haben. In beiden Fällen sind wir, wollen wir auf dem Boden der Tatsachen bleiben, gänzlich außerstande, die Erscheinung zu analysieren. Nichts ist bezeichnender für das ganze Wesen der Tropismentheorie, als dass sie gerade in diesen dunkelsten Winkeln unseres Wissens am üppigsten gedeiht. Es ist eben sehr viel leichter eine Theorie aufzustellen über Dinge, die man so gut wie gar nicht kennt als über solche, die gut studiert sind, wo dann die Theorie dauernd Gefahr läuft, an der rauhen Oberfläche der Tatsachen hier und dort hängen zu bleiben. Es wäre ihr hier nicht beizukommen, wenn nicht, nochmals gesagt, die anderen Einwände auch in diesen Fällen zu Recht beständen.

Die Unerklärbarkeit der Zweckmäßigkeit der Tropismen.

Nachdem wir im Vorhergehenden die Einwände, die von der morphologischen Seite aus gegen die Tropismentheorie erhoben werden können, einigermaßen erschöpft haben, wollen wir unsere kritische Studie damit beschließen, dass wir das vorliegende Problem nun auch von der biologischen Seite her beleuchten.

Die Frage nach der Zweckmäßigkeit der Tropismen sei der Gegenstand unseres Interesses.

Bewegungsprobleme, wie die Tropismen eines darstellen, werden ja gemeinhin auf folgende Weise zu lösen versucht. Man betrachtet die Struktur des Tieres als das Gegebene und beschränkt sich darauf, die Bewegung als bedingt durch gewisse Elemente dieser Struktur und durch bestimmte äußere Reize nachzuweisen. Die Zweckmäßigkeit der Bewegung für den Gesamtorganismus ergibt sich bei einer solchen Betrachtungsweise ebenfalls als eine Folge der Struktur. Sie ist also, wo sie nachweisbar ist, eine reine Beobachtungstatsache, über deren Herkunft wir uns nicht weiter den Kopf zerbrechen.

Loeb dagegen geht einen anderen Weg. Für ihn ist, wie wir eingangs sahen, die Struktur des Organismus etwas durchaus Nebensächliches, über das er vollkommen hinweg sieht, um sich sofort den höheren Sphären der physikalischen Chemie zuzuwenden, dem Allerweltshilfsmittel moderner Forschung. Die Bausteine der Tropismenlehre sind lediglich die Symmetrie des Tierkörpers und die blindwaltende unorganisierte Naturkraft, z. B. das Licht. Wenn aus dem Zusammenwirken dieser Faktoren eine nachweisbar zweckmäßige Handlung resultiert, so ist das etwas im höchsten Grade Erstaunliches, das dringend einer Erklärung bedarf. Diese also ist Loeb uns schuldig. Der einzige Weg, den er hierbei überhaupt nur gehen kann, ist die Selektionstheorie, zu der er beiläufig bemerkt, eine höchst sonderbare und widerspruchsvolle Stellung einnimmt.

Einerseits spricht er ihr jeden Wert ab und schreibt: „Wer seine Zeit nicht mit müßigen Wortspielereien vergeuden will, wird daher gut tun, die Instinkte in derselben Weise zu analysieren, wie das für die Vorgänge in der unbelebten Natur üblich ist, wo Begriffe wie Anpassung und natürliche Zuchtwahl sich als nutzlos erweisen; und wo es nur darauf ankommt, den Mechanismus des Geschehens klarzulegen“ (1913 p. 452). Dagegen finde ich eine andere Stelle, in der er ganz offen zugibt, „dass Spezies, welche Tropismen besäßen, durch welche die Fortpflanzung und Erhaltung der Art unmöglich würde, eben aussterben müssten“, was doch wohl im Prinzip auf ein Zugeben der Wirksamkeit des Selektionsgedankens hinauskommt.

Wie sich aber auch Loeb zu Darwin stellen möge, sicher ist, ob er es nun zugibt oder nicht, dass er seiner Bundesgenossenschaft bedarf, wenn er darauf ausgeht, die Zweckmäßigkeit der Tropismen zu erklären.

Hierbei ist es einerlei, ob es neben den nützlichen Tropismen auch indifferente oder gar schädliche gibt, was letzteres wir übrigens

mit großem Recht bestreiten können, s. S. 497, wenn nur das Entstehen der nützlichen klargestellt werden kann.

Wir wollen zunächst einige Beispiele solcher für den Gesamtorganismus zweckmäßiger Tropismen kennen lernen:

Es gibt zahlreiche Tiere, bei denen der Tropismus eine Fluchtbewegung darstellt, die sie vor feindlichen Angriffen rettet. So werden gewisse im freien Wasser lebenden Muschelkrebse auf mechanische Erschütterungen hin positiv geotropisch und negativ heliotropisch, d. h. sie suchen die tiefste und dunkelste Stelle ihres Gewässers auf. Andererseits gibt es Bewohner dunkler Lokalitäten, die auf Belästigungen solcher Art mit positivem Heliotropismus reagieren, wodurch sie etwa einem im Schlamm wühlenden Tiere entgehen können.

In anderen Fällen ist der Tropismus dem Nahrungserwerb förderlich. Loeb selbst gibt als Beispiel hiervon das Benehmen der jungen Goldafterraupen an, die aus dem Winternest kriechend nur mit Hilfe des positiven Heliotropismus die jungen Blätter im Gipfel der Sträucher finden können.

Schließlich sei ein Fall erwähnt, wo derartige Bewegungen im Dienste des Atembedürfnisses stehen. Es wird nämlich der Wasserskorpion (*Nepa*) nach Verlust seiner Atemluft negativ geotropisch und positiv heliotropisch¹¹⁾. Vermöge dessen findet er mit Sicherheit an die Wasseroberfläche, wo er von neuem Luft schöpfen kann.

Zur gleichen Kategorie gehört wahrscheinlich auch der von Loeb beschriebene, auf Zusatz gewisser Säuren, besonders Kohlensäure hin eintretende positive Heliotropismus der Daphnien. Er dient den Tierchen vermutlich zum Aufsuchen reinerer Wasserschichten.

Schließlich gibt es zahlreiche Fälle, in denen der positive Heliotropismus eine zweckmäßige Schwärmbewegung junger Larven erzwingt, mit deren Hilfe sie sich im Wasser verbreiten.

Diese Beispiele ließen sich sehr erheblich vermehren, sie werden auch sicherlich in Zukunft im selben Maße zunehmen, als sich unsere Kenntnis der Lebensweise der niederen Tiere vertieft.

Wie kann nun Loeb, wenn er auf dem Boden der Tropismenlehre stehen bleibt, die sinnfällige Zweckmäßigkeit dieser Tropismen erklären?

Man muss sich den genauen Vorgang einer solchen Bewegung vergegenwärtigen, will man verstehen, worauf es hier ankommt. Bleiben wir bei der Goldafterraupe. Hier ist der Hunger die *conditio sine qua non* für das Eintreten des Tropismus, der seiner-

11) Baunacke, W. 1912. Statische Sinnesorgane bei den Nepiden. Morphol. Jahrb. Abt. Anat. Bd. 34.

seits die Raupe zu den ernährenden Blättern hinführt. Wir haben also hier einen physiologisch schädlichen Zustand, der mit Notwendigkeit eine solche Bewegung zur Folge hat, welche eben diese Schädlichkeit beseitigt. Der Hunger ist also gewissermaßen sein eigener Arzt!

Es sind nicht viele Worte notwendig, um darzutun, dass wir hier nicht einem einfachen, sondern einem im Gegenteil erstaunlich komplizierten Vorgange gegenüberstehen. Wollen wir seine Entstehung mit Hilfe der Selektionstheorie begreifen (und einen anderen Weg besitzt Loeb, nochmals gesagt, überhaupt nicht), so schließt das die Annahme in sich, dass eine Ausmerzung nicht passender Individuen in doppelter Richtung vor sich ging: Einmal mussten alle diejenigen Raupen zugrunde gehen, die zufällig nicht gerade auf das Licht zu, sondern in irgendwie diaheliotropischem Sinne sich bewegten, und unter diesen auserwählten waren wiederum alle dem Tode geweiht, die den Tropismus unter anderen Umständen als denen des Hungers gleich nach dem Ausschlüpfen zeigten. Würde der Trieb z. B. bestehen bleiben, nachdem die Wipfel kahl gefressen sind, so wäre der Tod die sichere Folge hiervon.

Überdies muss man bedenken, dass bei beiden Arten der Auslese, die hier zu unterscheiden sind, die Übrigbleibenden der ganzen Sachlage nach nur eine verschwindende Minorität der Vernichteten sein könnten. Bei einer derartig energischen Dezimierung wäre es, wie mir scheint, das Wunderbarste, dass es überhaupt noch Goldafterraupen gibt.

Selektionstheoretische Betrachtungen führen niemals zu einem völlig sicheren Ergebnis, sondern immer nur zu gewissen Wahrscheinlichkeiten. Ich glaube gezeigt zu haben, dass in unserem Falle die Möglichkeit einer selektionistischen Deutung nur sehr gering ist. Sie wird natürlich noch ganz bedeutend geringer, wenn wir kombinierte Tropismen, wie sie die Muschelkrebse und der Wasserskorpion besitzen, ins Auge fassen. Mit dem Problem der Zweckmäßigkeit der Tropismen hat sich Loeb selbst nicht näher befasst. Es ist aber nicht ohne pikanten Reiz festzustellen, dass er, der die Beschäftigung mit den Fragen der Zuchtwahl als „eine Vergeudung der Zeit mit müßigen Wortspielereien“ ansieht, bei einer streng logischen Durcharbeitung seiner eigenen Theorie notwendigerweise zu geradezu ultradarwinistischen Schlüssen gedrängt wird.

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

Wir sind mit unserer kritischen Betrachtung zu Ende. Lassen wir die einzelnen Punkte derselben noch einmal an unserem Auge vorüberziehen, so ergibt sich, methodisch geordnet, das Folgende. Zunächst ist leicht festzustellen, dass die Tropismenlehre nicht für sämtliche Tropismen Geltung hat, denn

I. fehlen in manchen Fällen die Voraussetzungen der Theorie und trotzdem kommen echte Tropismen, d. h. zwangsmäßige, in Bezug auf eine Energiequelle gerichtete Bewegungen zustande. Beispiele: Es fehlt die Energiewirkung beim Geotropismus, sofern er an das Vorkommen von Statocysten gebunden ist. Die Bewegung ist die Folge eines mechanischen durch den Statolithen verursachten Reizes.

II. sind in vielen Fällen zwar die notwendigen Voraussetzungen für die Theorie vorhanden, gleichwohl vollziehen sich die Tropismen in einer der Theorie widersprechenden Art. Beispiele: a) Seitwärtslaufen der Krabben, b) wechselbarer Heliotropismus gewisser Seetiere, c) Drehung um die horizontale, nicht in der Symmetrieebene liegende Querachse, bei sämtlichen tropistischen Bewegungen zu beobachten.

Es bleiben jetzt als möglicherweise durch die Theorie erklärbar nur noch diejenigen Fälle übrig, in denen symmetrische Tiere Drehungen um die Vertikalachse vollführen. Auch hier erweist sich aber die Theorie als unzulänglich, denn:

III. vermag sie nicht die Reaktion zu deuten, die von der verkehrt symmetrischen Stellung aus erfolgt;

IV. kann sie das überall zu beobachtende koordinierte Zusammenwirken beider Körperseiten nicht erklären;

V. vermag sie überhaupt nicht darzutun, warum die Drehung gerade immer um die Achse erfolgt, die auf der Verbindungslinie Tier—Energiequelle senkrecht steht; anders gesagt, sie kann überhaupt nicht erklären, wie das Tier zur Energiequelle hinfindet;

VI. ergibt sich leicht, dass in vielen Fällen bei Anwesenheit eines Reflexbogens die Theorie völlig überflüssig ist und eines Sinnes entbehrt, da die Bewegung durch den Reflexbogen allein schon hinreichend erklärt ist;

VII. kann sie die bei vielen Tropismen unleugbar vorhandene Zweckmäßigkeit in keiner zufriedenstellenden Weise deuten.

Dem gegenüber können wir als positives Ergebnis unserer Untersuchung den Satz aufstellen, dass überall, wo es Tropismen gibt, ein für die Aufgabe, das Tier zur Energiequelle hinzuführen, zweckmäßig gebauter Bewegungsmechanismus nachweisbar ist, und dass der Organismus bei der Bewegung stets als ein einheitliches Ganzes handelt.

Wir werden folglich nach wie vor bei unserer alten Auffassung bleiben können, dass die Tropismen gleich allen übrigen Reflexen ursprünglich individuelle Handlungen darstellen, die im Laufe der Zeiten mechanisch und zwangsmäßig geworden sind. Auch diese Auffassung wird freilich nicht jedermann befriedigen, denn sie schließt ebenfalls die Annahme gewisser unbewiesener

Voraussetzungen in sich ein; sie widerspricht aber wenigstens nicht den Tatsachen.

Wichtig erscheint mir vor allem der Gesichtspunkt, dass man die Tropismen nicht aus dem organischen Verbande der anderen Reflexe herausreißen soll. Betrachten wir die Reaktionen der Tiere auf das Licht, so finden wir vom einfachsten Beschattungsreflex bis zum Bildersehen eine kontinuierliche Kette stets komplizierter werdender Reflexe, deren Gemeinsames darin besteht, dass auf den Lichtreiz hin bestimmte Muskeln in Aktion treten. Physiologisch sind also diese Bewegungen einander alle gleich; es ist folglich unzulässig einige wenige von ihnen einer Erklärungsweise unterziehen zu wollen, die bei allen anderen von vornherein versagt.

Die hier zusammengestellten Einwände werden hoffentlich ausreichen, um die Tropismentheorie endgültig aus der zoologischen Literatur verschwinden zu lassen.

Insofern nur ist sie lehrreich, als sie uns zeigt, dass die Anwendbarkeit der anorganischen Naturwissenschaften auf die Probleme der Biologie nur eine sehr beschränkte ist. Ich möchte hier auf keinen Fall missverstanden werden. Gewiss gibt es zahllose Probleme und darunter viele von überragender Bedeutung, die nur mit Hilfe von Chemie und Physik lösbar sind. Es handelt sich dabei aber stets nur um das Studium einzelner Organe, etwa des Muskels, der ersichtlich eine chemische Kraftmaschine ist oder des Verdauungstractus, der eine chemische Fabrik darstellt. Hier und in tausend analogen Fällen, zu denen natürlich auch die Sinnesphysiologie gehört, findet der physikalische Chemiker ein Feld reichster Betätigung. — Sobald man aber das Zusammenwirken mehrerer Organe, sei es zu einem Organsystem oder einem ganzen Organismus, betrachtet, so stößt man überall, beim morphologischen Bau sowohl als auch bei allen physiologischen Vorgängen oder den sogenannten „psychischen“ Handlungen der Tiere auf Anpassungen, auf Zweckmäßigkeiten. Dies kann nur leugnen, wer die einzelnen Tatsachen nicht in genügender Weise kennt. Zweckmäßigkeiten aber kann man bekanntermaßen nicht mit physikalischer Chemie erklären. Das Übersehen dieses Punktes ist der hauptsächlichste Fehler Loeb's und seiner Anhänger.

Denn wir fanden überall bei den Tropismen, dass der ihnen zugrunde liegende Bewegungsmechanismus zweckmäßig konstruiert ist für seine Aufgabe, das Tier der Energiequelle zu oder von ihr wegzuführen.

Das Bestreben Loeb's, die Handlungen der niederen Tiere auf chemo-physikalische Prozesse zurückzuführen, dürfte daher für alle Zukunft vergeblich sein. Die von ihm vertretene Forschungsrichtung ist aber nicht nur an sich wenig fruchtbar, sondern sie führt geradezu zu einer gewissen Verflachung der ganzen Biologie,

keineswegs zu einer tieferen Auffassung derselben, indem sie dazu verleitet, das ganze jeweils zu erforschende Problem für erledigt zu halten, sobald nur die chemo-physikalische Seite desselben aufgeklärt ist.

Der Nachweis z. B., dass die Spermatozoen der Farne durch Äpfelsäure angelockt werden, erscheint Alsogesinnten als eine völlig erschöpfende Feststellung. Der „Mechanismus“ des Vorganges ist aufgeklärt, und man wendet sich befriedigt anderen Dingen zu. Was ist damit eigentlich gewonnen? Das Problem besteht doch wohl darin, dass das Archegonium gerade denjenigen Stoff ausscheidet, auf welchen das Spermatozoon reagiert. Das ist eine raffinierte Anpassung, und solche finden wir überall bei genauerem Zusehen; wer aber nur auf chemo-physikalische Ergebnisse Ausschau hält, läuft an diesem Hauptproblem einfach vorbei, ohne es auch nur zu sehen. Die Biologie ist in erster Linie eine historische Wissenschaft, sie handelt von gewordenen Dingen, deren Erforschung notwendigerweise nach anderen Gesichtspunkten vor sich gehen muss als die Erforschung irgendeiner anorganischen Materie. Physik und Chemie lehren uns höchstens das Handwerkzeug kennen, dessen die Natur im Bereiche des Lebendigen sich bedient, um irgendeinen Zweck zu erreichen, an die tieferen Probleme reichen sie nirgends heran.

Nur wenn der Physico-Chemiker sich dessen stets bewusst bleibt, vermag er innerhalb der Biologie eine gedeihliche Tätigkeit zu entfalten.

Weimar im Oktober 1915.

Die Frequenzverteilung der Geschlechtskombinationen bei Mehrlinggeburten des Menschen und des Schweins.

Eine biostatistische Untersuchung

von Georg Duncker.

Inhaltsübersicht.

I. Methodisches.

1. Problemstellung.
2. Die Behandlung des Problems bei Zwillingsgeburten.
3. Erweiterung derselben auf Drillinggeburten.
4. Die allgemeine Behandlung des Problems.
5. Messung der Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung.

II. Resultate.

6. Das Untersuchungsmaterial und seine wesentlichen Eigenschaften.
7. Die Frequenzverteilung der Geschlechtskombinationen menschlicher Mehrlinggeburten.
8. Die Frequenzverteilung der Geschlechtskombinationen bei Mehrlinggeburten des Schweins.
9. Diskussion der Resultate.
10. Zusammenfassung der Ergebnisse.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1915

Band/Volume: [35](#)

Autor(en)/Author(s): Buddenbrock Wolfgang Freiherr von Hetttersdorf

Artikel/Article: [Die Tropismentheorie von Jacques Loeb. Ein Versuch ihrer Widerlegung. 481-506](#)