

Zweite Sitzung.

Dienstag, den 2. Juni, 2¹/₂—5 Uhr.

Herr Dr. Voss (Göttingen):

Vergleichende Untersuchungen über die Flugwerkzeuge der Insekten¹⁾.

2. Abhandlung.

Experimentelle Untersuchungen über den Flügelschlag und Flug der Insekten.

In einer ersten Publikation²⁾ über die nunmehr weitergeführten Studien und Versuchsreihen hatte ich Gelegenheit, eine allgemeine Übersicht über den Stand unserer Kenntnisse von der biologischen Seite des Flugproblems zu geben, sowie eine Skizzierung der Einzelprobleme zu versuchen, welche zunächst in Angriff genommen werden dürften.

Auf der „Versammlung von Vertretern der Flugwissenschaft“ vom 3. bis 5. Nov. 1911 zu Göttingen, welche im April 1912 zur Gründung der „Wissenschaftlichen Gesellschaft für Flugtechnik“ führte, wurde das Arbeitsgebiet der Lufttechnischen Forschung, der Luftschiffahrt und Flugtechnik, gemäß folgender Aufgaben abgeteilt³⁾: 1. Meteorologische Fragen, 2. Aerodynamische Fragen, 3. Konstruktions- und Festigkeitsfragen, 4. Maschinenfragen, 5. Physikalische Fragen, 6. Geographische Ortsbestimmung. Mit der Anregung einer 7. Gruppe, der „biologischen Abteilung der Wissenschaften für Luftfahrt“ wurde schon 1911 die Notwendigkeit betont, durch planmäßiges Studium tierischer und pflanzlicher Flugeinrichtungen der biologischen Seite des Flugproblems die sehr notwendige Aufmerksamkeit zu schenken, dafür diese in Deutschland bis jetzt leider noch keine Pflegestätte mit einheitlichen Einrichtungen vorhanden ist.

Eine umfassende und nach einheitlichen vergleichenden Gesichtspunkten vorgehende Durcharbeitung des Stoffes in genannter Richtung schien mir zunächst am meisten geeignet, eine Vervollständigung und Vertiefung unserer Anschauungen auf diesem Gebiete durchzuführen. Neben den Ergebnissen spezifisch anatomisch-biologischer Natur würde man auf einem neuen Zweige — *sit venia verbo* — „angewandter Zoologie“ nicht zuletzt zu allgemeineren Ergebnissen gelangen, welche der Technik zur Beurteilung in faßlicher Form vorgelegt werden könnten, damit sie dieselben bei der Konstruktion

1) Hiermit beginne ich eine Reihe von Einzeluntersuchungen vergleichend-anatomischer bzw. flugkinematischer Art, welche im Rahmen des aufgestellten Programmes in zwangloser Aufeinanderfolge an verschiedenen Stellen erscheinen sollen.

2) Vgl. Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft a. d. 23. Jahresversammlung zu Bremen 1913, S. 118.

3) Vgl. die „Verhandl. der Versamml. von Vertretern der Flugwissenschaft zu Göttingen 1911“, herausgegeben v. PRANDTL 1912. München u. Berlin. S. 30 u. S. 52.

von Drachenflugzeugen, insbesondere bei dem Bau von Schwingenfliegern verwerte.

Ein Besuch des „Institut MAREY“ zu Boulogne sur Seine bei Paris, der mir durch die Unterstützung des preußischen Kultusministeriums und der Göttinger Akademie der Wissenschaften ermöglicht wurde, gab mir die Gelegenheit, selbst einigen der in Bremen aufgestellten Forderungen nachzugehen, zu deren Bearbeitung es in Deutschland keine Gelegenheit gibt. Von den gemachten Fortschritten sollen die nachfolgenden Ausführungen ein Bild nach jenen allgemeinen Gesichtspunkten entwerfen, welche bei der Weiterarbeit auf einem begrenzten Teilgebiet jener Vorschläge auftraten, ferner sollen einige der hauptsächlichsten Ergebnisse mitgeteilt werden, deren einzelne Ausführung und Begründung späteren Veröffentlichungen vorbehalten bleibt.

In der Voraussetzung, daß in dem der Erinnerung an den großen Förderer der kinematischen Biologie geweihten Institut MAREY die Einrichtungen geboten seien, um die von MAREY und seiner Schule gemachten Beobachtungen zu ergänzen und zu erweitern, beschloß ich, vom Standpunkt des Anatomen¹⁾ ausgehend, zunächst vier der in Bremen aufgestellten Forderungen zu erfüllen zu suchen und an eine systematische Bearbeitung derjenigen kinematischen Hauptfaktoren des Tierfluges heranzutreten, welche sich in Frequenz, Amplitude des Flügelschlages, in der Stellung des Flügels während der einzelnen Flugphasen ferner in den Kraftäußerungen des Flügelschlages darstellen. Auf die Bearbeitung des letzteren Problems mußte ich indessen bei dem Mangel an geeigneten Einrichtungen in Anbetracht der schwierigen Methodik, deren Ausbau von Bedeutung sein würde, vorläufig verzichten.

Bei der Bearbeitung der übrigen genannten Punkte benutzte ich neben einem u. a. den Zwecken der Kardiographie dienenden Registrierapparat hauptsächlich den von BULL ausgearbeiteten Apparat für die kinematographische Aufnahme rapider Bewegungen, dessen Einrichtung und Benutzung nebst Angabe einiger der erhaltenen Ergebnisse in BULL's: *La chronophotographie des mouvements rapides*²⁾ beschrieben worden ist. Die Technik für

¹⁾ Vgl. meine Arbeiten: Über den Thorax von *Gryllus domesticus* 1904/05 u. 1912, I.—V. Teil. Zeitschr. f. wissensch. Zoologie, Bd. 78—95 u. die übrigen 1913 bereits genannten Abhandlungen.

²⁾ 1905. *Travaux de l'association de l'institut MAREY*, S. 121. Vgl. auch LEHMANN: *Die Kinematographie*, Bd. 358, „Aus Natur u. Geisteswelt 1911, S. 104.

die Darstellung des Flügelschlages und fliegender Tiere hat seit den ersten Anfängen MAREY'S eine Reihe von Methoden bekannt gemacht, welche über einzelne Elemente des Flügelschlages mehr oder weniger zuverlässige Auskunft gaben. Ohne die Einzelheiten hier näher anzugeben, sei hinsichtlich der Darstellung der Frequenz des Flügelschlages an MAREY'S Methode erinnert, welche die schwingenden Flügelspitzen festgehaltener Insekten an einer mit bestimmter Schnelligkeit rotierenden berußten Trommel vorbeistreifen und durch Abstreifen des Rußes die Zahl der Flügelschläge von den Tieren selbst registrieren läßt, ferner an die Methode, welche durch Vergoldung der Flügelspitzen den von ihnen während des Schlages beschriebenen Weg im Sonnenlicht durch sie selbst bezeichnen läßt. Die Anwendung der photographischen Methode und die Entwicklung der Kinematographie durch MAREY führten über verschiedene Stadien, von denen die Versuche v. LENDENFELD'S ¹⁾ besonders hervorgehoben seien, zu der durch den genannten Apparat von BULL erreichten Vervollkommnung, welche gestattet, Aufnahmen von ca. 54 Bildern auf einem Filmband von etwa 1 m Länge mit einer Bildzeit bis zu $\frac{1}{2000}$ Sekunden herzustellen. — In Analogie zu dem Schnittverfahren der Mikrotomtechnik, welches die Zerlegung eines tierischen usw. Objektes in eine Serie fortlaufend aneinandergereihter Einzelschnitte von bestimmter, untereinander annähernd gleicher Dicke und die Herstellung eines zusammenhängenden Schnittbandes ermöglicht, erhält man im Filmband durch eine Art von „Chronotom“ eine Schnittserie durch einen Vorgang, in welcher die Einzelbilder ebenso viele aufeinanderfolgende kleinste Zeitabschnitte repräsentieren, deren „Schnittdicke“, d. h. Dauer, innerhalb einer Serie annähernd gleich und je nach den Anforderungen für verschiedene Aufnahmen, wenn auch nicht genau, so doch abschätzbar verschieden einstellbar ist. Man erhält eine zusammenhängende ununterbrochene Reihe von dicht aufeinanderfolgenden Teilphasen des Flügelschlages in vollendeter Schärfe. Die Bilder erscheinen infolge der Stellung des Objektes zwischen Lichtquelle und Filmband als Silhouette, was bei der Durchsichtigkeit der Flügel zunächst nur einen geringen Nachteil bedeutet. Der Apparat gestattet jedoch sehr instruktive stereoskopische Aufnahmen, von deren Herstellung ich vorerst absah, da meine nächstliegenden Ziele solche nicht erforderten.

¹⁾ Vgl. 1903: Beitrag zum Studium des Fluges der Insekten mit Hilfe der Momentphotographie. *Biolog. Centralblatt*, Bd. 23, S. 227.

Durch Vergleich der Einzelbilder bzw. durch die Wiedergabe mittels eines gewöhnlichen Kinematographen erhält man einen sehr eingehenden Einblick in die Einzelheiten des Flugvorganges. In letztem Falle läßt die gegenüber der rapiden Umdrehung während der Aufnahme sehr beträchtlich herabgesetzte Geschwindigkeit der Projektion des Filmbandes den Flugvorgang sehr verlangsamt, unter deutlichem Erscheinen der einzelnen Flügelstellungen, wiederkehren.

Indem gleichzeitig mit dem Flugvorgang ein ins Bildfeld eingestelltes Zeitsignal, eine schwingende Zeitnadel von bekannter Schwingungsdauer, bei Bedarf auch eine auf einer Glasplatte eingeritzte Skala des Längenmaßes mitphotographiert wird, erhält man Anhaltspunkte zur Berechnung der Frequenz, zur Beurteilung der absoluten Maße, zur Berechnung der Fluggeschwindigkeit und Messung der Flugstrecke.

An dieser Stelle übergehe ich es, das Prinzip des Apparates sowie die Einzelheiten desselben zu charakterisieren. Auch auf die Technik der Aufnahmen und Versuchsanordnung, sowie auf die Besprechung einer Reihe von Fehlern des Apparates, welche bei starker Inanspruchnahme und bei der oft notwendigen schnellen Bedienung eine gewisse Schwierigkeit der Versuche und einen nicht unbeträchtlichen Prozentsatz meist aber durchaus nicht wertloser Fehltaufnahmen bedingen, gedenke ich später in anderem Zusammenhange zurückzukommen.

Ebenso möge hier über die Methodik der Frequenzberechnung nur folgendes gesagt sein: Indem man die identischen Phasen der Flügelstellungen während des Flügelschlags in den Einzelbildern aufsucht, etwa die Bilder extremer Tiefstellung des Flügels als Endbilder einer Flügelschlagperiode bezeichnet, erhält man eine bestimmte Bildzahl a für eine Flügelschlagperiode I . Indem man ebenso die identischen Phasen der mit bekannter Zeitdauer t schwingenden Nadel feststellt, erhält man eine bestimmte Bildzahl b für eine Nadelschwingungsperiode 1 . Aus dieser letzteren Zahl ergibt sich die Bildzeit $\frac{1}{t \times b}$ Sek. des Einzelbildes und die Dauer eines Flügelschlages $\frac{a}{t \times b}$ Sek., d. h. die Anzahl der Flügelschläge in einer Sekunde. Meistens stimmen aber die erwähnten Endphasen der nacheinander folgenden Schwingungsperioden des Flügels bzw. der Zeitnadel nicht überein, und völlig identische Bilder kehren erst nach einem längeren, oft aber überhaupt nicht feststellbaren Turnus wieder (etwa Endphasen von I und VII bzw. 1 und 3 identisch). Oft

aber schaltet sich noch ein zweiter Turnus ein, und es fragt sich, wie groß bei auftretender Inkongruenz der Einzelbilder die Werte a und b angenommen werden dürfen bzw. wie groß bei Vernachlässigung kleiner Bruchteile dieser Ziffern die Ungenauigkeit des Resultates ist, welches sich zwischen oft nennenswerten Grenzwerten vorfindet.

Von der Ausrechnung der gefundenen Werte unterscheidet man also als wesentlichen Teil der ganzen Rechnung die vorhergehende Berechnung der Werte selbst, d. h. die Kalkulation, die ich in Anbetracht der zahlreichen Aufnahmen und der verschiedenartigen Umstände, unter denen die verschiedenen Aufnahmen geschahen, so peinlich genau wie möglich anstellen zu müssen glaubte, um den verschiedenen Ursachen der oft beträchtlichen individuellen Variabilität der Schlagfrequenz nachgehen zu können. Die Rechnungen an einem einzigen Film gestalteten sich infolgedessen oft äußerst zeitraubend.

Die Vorzüge dieser vervollkommeneten photographischen Methode sind gegenüber allen anderen ganz erhebliche, da sie gegenüber der genannten Methode MAREY's die Analyse der Flugerscheinungen unter wesentlich natürlicheren Bedingungen gestatten und durch die Aufnahme fortlaufender größerer Bildreihen bei einer auf das höchste gesteigerten und von Fall zu Fall willkürlich veränderlichen Schnelligkeit der Bildfolge und bei Anwendung des Zeitzählers alle die gewünschten Einzelelemente des Flügelschlages, Frequenz, Amplitude und Flügelstellung an einem gleichen Objekt gleichzeitig zur Darstellung bringen.

Indem BULL als Physiologe mit seiner erheblich verbesserten Methodik die von MAREY angestellten Versuche wiederholte, gelangte er zu genaueren Ergebnissen, welche die Angaben MAREY's im wesentlichen bestätigen. Er stellte an den zum Teil schon von MAREY in Betracht gezogenen Insekten an *Agrion*, *Apis*, *Bombus*, *Tipula*, *Musca vomitoria* und *Musca domestica* Neuberechnungen der Frequenzen an, gab eingehende Darstellungen über die von den Flügelspitzen beschriebenen Kurven. Er machte Angaben über die verschiedenen Stellungen der Flügel und über longitudinale und transversale Deformationen, Biegungen und Torsionen während des Schlages derselben, um sie nur bei der Libelle zu einem einheitlichen Gesamtbilde des Typus zu verwerten.

Von den allgemeineren Ergebnissen BULL's mag besonders die wichtige Feststellung hervorgehoben sein, daß die Abänderungen der Neigungswinkel des Flügels (*Les variations d'inclinaison du*

plan de l'aile, Bull. 1905 l. c. S. 71) dem Willen des Tieres unmittelbar unterworfen sind, daß die beiderseitigen Flügel, von Biegungen und Torsionen in der Längsrichtung abgesehen, — bei synchronem Schläge, füge ich hinzu — je für sich Spezialbewegungen (Change-ments de forme de la surface de l'aile) willkürlich auszuführen vermögen, so daß die beiderseitigen Flügel in der jeweiligen Schlagphase eine verschiedene unsymmetrische Stellung und Torsion besitzen können; alles Flugmanöver, welche dem Tiere zur Wiederherstellung des Gleichgewichts bzw. der Steuerung und der Erhöhung oder Minderung der Schnelligkeit des Fortschreitens im Raume dienen.

Über die Aufnahme der genannten, meist schon von MAREY berücksichtigten Tiere ging BULL jedoch nicht hinaus, und eine Berücksichtigung aller jener zahlreichen Fragestellungen und Gesichtspunkte, welche die Kenntnis der anatomischen Grundlagen des Flugapparates¹⁾ nahelegt, fand durch ihn nicht statt.

Übersieht man zusammenfassend das Gesamtergebnis und den Hauptcharakter der Methodik BULL'S, so sind zwei in theoretischer Hinsicht prinzipiell bedeutungsvolle Tatsachen hervorzuheben, auf deren Diskussion es mir besonders anzukommen scheint:

1. Die eindringliche Betonung der Notwendigkeit, die Insekten nicht im fixierten, sondern im freien Fluge zu photographieren, da nur so die von MAREY nicht vermiedenen ungünstigen, den natürlichen Verhältnissen nicht entsprechenden Versuchsbedingungen ausgeschaltet werden können und da man nur so zu Ergebnissen und Zahlenwerten gelangen werde, die der Wirklichkeit entsprechen.

Diese von der Überzeugung der fast ausschließlichen Bedingtheit der verschiedenen Flügelstellungen in den einzelnen Bewegungsphasen durch den Luftwiderstand eingegebene, wenigstens auf sie gegründete Forderung müßte dann in aller Unbedingtheit aufrecht erhalten werden, wenn wirklich der Luftwiderstand die alleinige Ursache jener stereotypen Torsionen und Stellungen wäre und wenn er die Frequenz wesentlich beeinflussen würde.

Immerhin bedeutet diese Forderung das letzte und vollkommenste Ziel aller Untersuchungen in dieser Richtung.

Indem BULL auf die Aufnahme fixierter Tiere durchaus verzichtete, hat er durch die Konstruktion höchst sinnreicher und der Individualität der betreffenden Insektenart jeweils angepaßter Abflugvorrichtungen der Erfüllung dieser Forderung mit Erfolg die größte Sorgfalt gewidmet. Ihre vorläufige Grenze hatten diese

¹⁾ Vgl. Voss, 1913 l. c. Verhandl. Bremen.

Bestrebungen allerdings sehr bald darin gefunden, daß die Zahl der Insekten, welche zu derartigen Versuchen tauglich sind, sehr beschränkt scheint und dadurch, daß es zwar gelang, die Insekten im freien Abflug, nicht aber auf freier Flugstrecke zu photographieren. Immerhin bedeuten BULL's wichtige Freiflug-, besser Freiabflugversuche theoretisch und praktisch einen sehr wesentlichen Fortschritt gegenüber den Versuchen MAREY's ausschließlich an fixierten Tieren.

2. Die erneuten Betrachtungen über die Flügelstellungen während der einzelnen Schlagphasen und die genauere Ausarbeitung der von den Flügelspitzen während des Fluges beschriebenen Hauptkurve führten BULL zur Bestätigung der Ergebnisse MAREY's, zu dem allgemeinen Hauptergebnis seiner Anschauungen, daß die Erscheinung der 8-Figur [la figure en huit de chiffre, das „trajectoire de l'aile“, die Lemniscate] aerodynamisch begründet werden müsse, daß sie eine Folgeerscheinung ausschließlich der durch den Luftwiderstand gegebenen Bedingungen sei. BULL's Experiment mit dem künstlichen Flügel im luftleeren Raume¹⁾ schienen die Richtigkeit der Anschauungen zu bestätigen.

Dieses Ergebnis steht jedoch in prinzipiellem Gegensatz zu den Anschauungen der Anatomen und Zoologen, welche seit AMANS 1885 in den anatomischen Verhältnissen des Flugapparates die grundlegende Vorbedingung für die Eigenart des Flügelschlages sehen. Denn mit der Vergleichsbewertung seines Modellversuches im luftleeren Raume ließ BULL alle jene anatomischen Grundelemente und Hauptbedingungen für den Flügelschlag unberücksichtigt, welche in dem eigenartigen, in BULL's Modell nicht nachgeahmten feineren Bau der Fläche des Flügels (vgl. AMANS' Diédre-System) und in der Konstruktion der Flügelgelenkteile gegeben sind.

Es ist das bereits 1913 (Verhandl. Bremen) von mir näher erläuterte Prinzip der Zwangläufigkeit, welches dem Flügel eine bestimmte, festgelegte, in der Nacheinanderfolge der Schläge stets wiederkehrende Bahn vorschreibt und welches dessen fundamentale Bedeutung für den Flügelschlag nahelegen mußte. In der eigenartigen Bahn, welche die Flügelspitze beschreibt, kommt neben den mehr sekundären Wirkungen des Luftwiderstandes als wesentliche Grundbedingung ein von AMANS begründetes „*axiome anatomique*“ in Betracht, welches von mir 1905 und 1913 im einzelnen ausgearbeitet

¹⁾ Vgl. BULL: Comptes rendus 1904, Bd. 138,1 S. 590.

und neuerdings durch STELLWAAG¹⁾ des weiteren bestätigt wird; ein „anatomischer Grundfaktor“, dessen Ausgestaltung zu seiner heutigen Bedeutung, will man die Erscheinung phylogenetisch zu deuten versuchen, allerdings durch den Luftwiderstand wesentlich bedingt und auf dem durch BULL'S Vergleichsexperiment nahegelegten Wege vollzogen worden sein mag. Das Eindringen unserer Erkenntnis der Flugerscheinungen, notwendigerweise von der anatomischen Grundlage aus, halte ich für die nunmehr zunächstliegende Aufgabe, für deren Lösung u. a. das 1913 zusammengestellte, auf der 1905 gegebenen Bearbeitung von *Gryllus* und den Arbeiten der Autoren beruhende Grundschema des Fluges²⁾ maßgebend sein kann, unter Beziehung abgeleiteter Typen auf einfachere. Durch die Methodik BULL'S ist für derartige Untersuchungen ein neuer wertvoller Weg gegeben.

Diese Andeutungen mögen hier vorläufig genügen.

Immerhin verdient das Problem noch immer die größte Aufmerksamkeit. Denn die Lösung desselben weist auf den Weg, auf welchem man vielleicht zu einer brauchbaren Konstruktion des künstlichen Schwingenflegers gelangen, oder in welcher Weise man Elemente des Schwingenfluges bei dem Drachenflug verwerten kann. Sie gibt einen Einblick in die aerodynamischen Beziehungen der Flächen- und Gelenkkonstruktion des Flügels, in die Art der Gelenkbeanspruchung und der Widerstandsausnützung.

Der Verfasser, welcher sich den technischen Schwierigkeiten — besonders hinsichtlich der Materialbeanspruchung — bei der Konstruktion eines brauchbaren Schwingenflegers nicht verschließt, möchte doch noch auf folgende Punkte hinweisen:

a) Konstruktion von Drachenflächen, welche die Details der tierischen Modelle wiedergeben; vgl. hierzu die Arbeiten AMANS'.

b) Bau der Flächen der Schraubenflügel nach dem Vorbilde des Tierflügels; vgl. hierzu AMANS.

c) Verwendung leichter frequenter Oscillationen mit geringerer Amplitude an besonderen Stabilisierungsflächen, wenn nicht an den Drachenflächen selbst. Von zahlreichen Beispielen seien die Deckflügel der Käfer genannt, deren Funktion mit der von STELLWAAG³⁾ gegebenen sehr wahrscheinlichen Deutung nicht erschöpfend erklärt sein dürfte, und an die Mauersegler (*Cypselus*), bei denen der Segelflug auf der Grundlage des frequenten Schwirrfluges entwickelt ist und bei denen lange Segelflugstrecken mit kurzen Strecken oscillatorischen Schwirrfluges abwechseln, welche anscheinend stabilisierende Bedeutung besitzen.

¹⁾ Zeitschrift f. wiss. Zool. 1910, Bd. 95, Bau und Mechanik des Flugapparates der Biene. — 1914, Bd. 108, Der Flugapparat der *Lamellicornier*.

²⁾ Vgl. 1913 Voss, l. c. S. 130, „Tabelle für die kinematischen Grundelemente.“

³⁾ l. c. 1914.

Neuerdings werden die Versuche zur Lösung des Problems des Schwingenfluges von neuem in Angriff genommen, wie der Einblick in die Arbeiten französischer Biologen und Techniker und die Versuche LILLIENTHALS zeigen.

Die Durcharbeitung der genannten Fragen leitet auf die zahlreichen Wege hin, welche die Anfänge des Schwingenfluges eingeschlagen haben mögen. Neben den Möglichkeiten, welche ich schon früher angab, möge einer dieser Wege besonders gekennzeichnet sein, in welchem mit Gleitflächen versehene Tiere bei einem Sprung oder Fall durch den Luftraum mittels leichter Oscillationen ihrer feststehenden Gleitflächen immer zahlreichere Luftteilchen unter den Bereich derselben einbezogen und mit dem Erfolge der Fallverzögerung ausgenützt haben können, wie wir dies heute in den oscillatorischen Bewegungen der herabgleitenden *Zanonia*- und *Bignonia*-Samen noch eintreten sehen. Mit der willkürlichen Aktivierung solcher Gleitflächen durch Muskulatur und mit ihrer deutlicheren Abgliederung unter Gelenkbildung dürften die Anfänge der Flugbewegungen gegeben sein, wie sie in den heutigen Typen des Tierfluges vollendet erscheinen.

Für die Beurteilung einer solchen Stufenfolge sind die Lepidopteren charakteristisch und bedeutungsvoll, deren Flugbilder im Einklang mit den verschiedenartigen Modellen, welche sie zeigen, so überaus verschieden sind. Die Ähnlichkeit des Flugbildes der Tagfalter speziell mit dem schaukelnden Gleitflug der *Bignonia*-Samen ist schon oft betont worden; es wird nachher gezeigt werden, daß von dem Flugmodell der Tagfalter aus, welches im aerodynamischen Sinne einen nur geringen Grad der Vollkommenheit bzw. Leistungsfähigkeit besitzt, sich eine Stufenfolge von Vertretern des Lepidopterenfluges aneinanderreihen läßt, welche in den Sphingiden die Verkörperung eines hohen Grades von Kraft, Dauer, Gewandtheit (Steuerung) und Schnelligkeit erreicht zeigt. Diese im aerodynamischen Sinne bedeutungsvolle Stufenreihe führt aber in ihren heutigen Vertretern keineswegs mehr eine phylogenetische Reihe vor, da die Rhopaloceren von der primitiven Wurzel des Lepidopterenstammes entfernte, spezialisierte Typen sind.

Sie zeigt nur auf einer weiteren Linie bei den Insekten die Überlegenheit des Typs der indirekten Flugmechanik: Die Anfänge der Flugfähigkeit weisen auf allen Linien zunächst auf Tragfähigkeit und Stabilisierung des Systems, wofür der automatisch stabile Gleitflug der *Zanonia* den genannten Vergleichswert besitzt.

Erst die Vervollkommnung des Typs führt zur stärkeren Betonung der Kraft und Ausdauer, der Schnelligkeit, Gewandt-

heit und der durch das Bewußtsein vermittelten, weniger automatischen Steuerung und Stabilisierung, kurz zu in jeder Richtung erhöhter Leistungsfähigkeit des Systems.

Es ist von Wert, hiermit die beiden Richtungen des Flugzeugbaus zu vergleichen, bei denen sich die grundsätzlichen Bestrebungen bevorzugter automatischer Stabilisierung und Tragkraft einerseits dem Prinzip größtmöglicher Schnelligkeit und bewußter Stabilisierung, gewandter Steuerung andererseits gegenüberstehen. Die Wertschätzung der beiden Prinzipien richtet sich jedoch in diesem Falle nicht nach den Gesichtspunkten allmählicher Vervollkommnung im phylogenetischen Sinne, welche der Vergleich mit dem Tierflug nahelegt, sondern nach den realen Anforderungen aus Gesichtspunkten der praktischen Bedürfnisse.

Von den neuen Aufgaben, welche auf dem Arbeitsfelde der biologischen Abteilung der lufttechnischen Wissenschaften liegen, möchte ich folgende als die nächstliegenden näher kennzeichnen. Zu diesen mehr flugphysiologischen Aufgaben gesellen sich jene bereits 1913 ¹⁾ näher aufgeführten, welche auf eine gründliche vergleichende Analyse der anatomischen Verhältnisse hinzielen.

Es handelt sich um genaue Bestimmungen der Frequenz, der Amplitude, Stellungen und der Torsionen der Flügel während des Schlages, der Richtung und der Kraft derselben, ferner um die Beziehungen dieser einzelnen Elemente zum Gewicht des Tieres, zur Größe, zur allgemeinen Form, zur „technischen“ Konstruktion der Flugflächen und zu deren Zahl. Aber nicht die genaue Kenntnis eines jeden dieser Einzelfaktoren an sich muß vorausgesetzt werden. Es liegt hier vielmehr ein System variabler Größen vor, deren komplizierte Wechselbeziehungen quantitativ und qualitativ durchschaut werden müssen, deren Kombination erst als ein Kriterium für die Leistungsfähigkeit eines Flugtyps bzw. eines Modells zu gelten hat. So gibt z. B. nicht die Frequenz allein, die z. B. bei sehr vollkommenen Fliegern, wie bei den Libellen, nicht sehr hoch ist, so bezeichnend und wertvoll sie auch sein mag, einen ausschlaggebenden Maßstab für die Bewertung eines Flugsystems.

So gewinnt die Beurteilung jener genannten verschiedenartigen und variablen Größen erst dann eine sehr beträchtlich erhöhte Bedeutung, wenn man ihre jeweilige Zusammenordnung (Kombination) auf die Art der flugmechanischen Systeme bezieht, welche durch

¹⁾ Verhandl. d. Deutsch. Zool. Ges. Bremen I. c.

die anatomischen Verhältnisse charakterisiert sind und durch welche sie wirksam werden.

Bekanntlich unterscheidet man das System der direkten Flugmechanik von dem System der indirekten Flugbewegungen. Im Anschluß an die 1913 l. c. gegebene Übersicht hierüber sei hier nur angedeutet, daß das System der direkten Flugmechanik, in welchem die antagonistisch bewegenden Kräfte beiderseits vom Unterstützungspunkte, direkt am inneren, kurzen, bzw. am äußeren langen Hebelarm (-Flügel, an dessen Basis) angreifen, das primitive und phylogenetisch ältere ist, obwohl es im Libellentyp in gewisser Weise in eigener Richtung spezialisiert ist und eine hochvollendete Durchbildung erfahren hat; — daß daneben ein morphologisch noch mehr primäres System der Flugmechanik besteht, in welchem die Elemente direkter und indirekter Flugmechanik nebeneinander wirksam (*Orthoptera* usw.) vertreten sind, nach Maßgabe einer gleichmäßigen Anknüpfung an die im Bauplan der Insektenorganisation primär zugrunde liegende Muskelverteilung. Es ist dies der Typ der gemischten Flugmechanik, aus dem — analog der phylogenetisch älteren Richtung der direkten Flugmechanik — durch Spezialisierung einzelner Elemente nach der anderen Seite das System der indirekten Flugmechanik hergeleitet ist, in welchem die beiden sich antagonistisch bewegenden Kräfte indirekt, mittels Übertragung durch die Rückenplatte und einwärts vom Unterstützungspunkte des Flügels, d. h. am inneren kurzen Hebelarm des Flügels ansetzen. An dieses System knüpfen die Höchstleistungen der Flugmechanik an, wie sie sich u. a. in den hohen Frequenzen wieder spiegeln, und man sieht dies System auf vielen Linien der Insektenorganisation in der Form konvergenter Entwicklungsreihen zu mehr oder minder hoher Vollendung gelangen.

Soviel zur allgemeinen Übersicht über das vorliegende Gebiet.

Indem ich durch den Besuch des Institut MAREY nach der Möglichkeit suchte, wenigstens einen kleinen Teil des in Bremen aufgestellten Programms zu erfüllen, und indem ich die Arbeiten mit dem schon längere Zeit nicht mehr benutzten Apparate BULL'S wiederaufnahm, suchte ich speziell eine Anschauung darüber zu erhalten, in welcher Weise die Acht-Figur des Flügelschlages ein kombiniertes Ergebnis der Gelenkkonstruktion und des Luftwiderstandes sein kann. Ich ging dabei von Gedankengängen aus, welche die anatomischen Verhältnisse nahelegten, und konnte denselben unter den gleichen Arbeitsbedingungen an ebendenselben Orte nachgehen, an welchem die extreme Auffassung der ausschließlichen Bedeutung des Luft-

widerstandes für den Flügelschlag entstanden war. Unter Ausarbeitung einer speziellen Methodik habe ich die Arbeit nach Maßgabe folgender Gesichtspunkte aufgenommen:

In der Erkenntnis, daß die anatomischen Verhältnisse der ausschlaggebende Faktor für die Eigenschaften der Schlagführung des Flügels sind, richtete ich meine Hauptsorgfalt zunächst auf eine möglichst vollständige Analyse des Flügelschlags fixierter Tiere, um unter Anknüpfung an MAREY'S Versuche, aber unter den erheblich günstigeren Versuchsbedingungen verbesserter Methoden erst einmal eine sichere Grundlage für die Beurteilung aller Typen und Modelle des Insektenfluges zu erhalten. Dies zu allernächst liegende Ziel glaube ich einerseits durch den Vergleich meiner Ergebnisse mit den alten Angaben MAREY'S und unter Erweiterung derselben unter prinzipiell gleichen Umständen erreicht zu haben. Die Erweiterung der Grundlage unserer Kenntnisse über den Flügelschlag fixierter Tiere suchte ich durch eine bestimmte Auswahl recht zahlreicher Objekte und durch Variation der Versuchsbedingungen zu erhalten, wodurch man ein reiches Material verschiedenartigster Befunde erhält. Außerdem sind gewisse Erscheinungen der Flügelhaltung mit Sicherheit nur an fixierten Tieren bei bestimmter Anordnung im Raum zu erkennen. Die Untersuchung fixierter Tiere führt zudem im Umfange der an diese Methode geknüpften Erwartungen zu schnelleren und sicheren Ergebnissen. Ist erst einmal in solcher Weise eine Grundlage geschaffen, so gibt die ausreichende Analyse an fixierten Tieren andererseits Anhaltspunkte zur Bewertung der bei freiem Fluge vorliegenden aerodynamischen Faktoren, und man erhält Gelegenheit zu entscheiden, ob wirklich zwischen dem Verhalten fixierter Tiere gegenüber freifliegenden ein wesentlicher und prinzipieller Unterschied besteht.

In zweiter Linie suchte ich sodann die an fixierten Tieren gewonnenen Ergebnisse durch die Aufnahme freifliegender bzw. im Abflug begriffener Tiere nach Art der Methodik BULL'S zu ergänzen. Ich wiederhole noch einmal, daß solche Freiflugversuche das letzte Ziel aller derartigen Studien sein müssen, daß aber die beschränkte Möglichkeit ihrer Durchführung, wie wir sehen werden, nur zu begrenzten Ergebnissen führt. Solche Freiflugversuche müssen später noch ausführlicher wiederholt werden; ich bezweckte vorerst nur, durch dieselben Vergleichswerte zu erhalten.

Dementsprechend unterscheiden wir prinzipiell die Darstellung des Flügelschlags an fixierten Tieren von den eigentlichen Flugbewegungen, d. h. vom Fluge freifliegender Tiere, sei es, daß in

letzterem Falle die Tiere im Abflug (Startflug) oder auf der freien Flugstrecke begriffen sind.

Es bedürfte nunmehr einer eingehenden Erörterung darüber, ob ein Unterschied im Verhalten fixierter gegenüber freifliegenden Tieren wirklich angenommen werden darf, und in welcher Weise sich die Rechtfertigung der Fixiermethode durch die anatomischen Verhältnisse tatsächlich ausreichend begründen läßt. Ich komme auf die Diskussion dieser Umstände bei der späteren Darstellung meiner Ergebnisse zurück. Theoretisch muß zugegeben werden, daß die Aufnahmen des Freifluges unter allen Umständen die natürlichen Bedingungen am meisten wiedergeben. Die anatomischen Verhältnisse zeigen aber keinen Grund, daß ein nennenswerter Unterschied bestehen sollte, da die Gelenkkonstruktion (die Zwangsläufigkeit) die Eigenschaften des Flugbildes ausreichend erklärt. Die von mir erhaltenen Ergebnisse, soweit sie sich schon jetzt übersehen lassen, scheinen anzudeuten, daß keine und zum Teil nur geringe Unterschiede auftreten, daß die vorhandenen Unterschiede weniger aerodynamischer als artlich physiologisch-psychologischer Natur sind, vgl. meine Aufnahmen an *Syrphus* und *Musca*, daß diese Unterschiede individuell, gemäß des Temperamentes, der Stimmung der Tiere auftreten, unter dem Einfluß von Licht (Sonnenschein), Wärme, Wind, Belastung, von willkürlich wechselnder Schnelligkeit bestehen, daß daher schon bei normalen Versuchsbedingungen innerhalb der beiderseitigen Versuchsarten, an fixierten wie auch freifliegenden Tieren in ähnlicher Weise eine beträchtliche Variationsbreite der Frequenzen beobachtet wird, daß schließlich den zwischen beiden Arten von Variationsbreiten gefundenen Unterschieden keine größere Bedeutung zuerteilt werden darf.

Man erhält demnach durch die genannte Fixierung zwar nicht die natürlichen Bedingungen des freien Flugbildes, so aber doch eine genügende Zahl normaler Bedingungen für einen natürlichen Flügelschlag.

Aber noch ein zweiter Gesichtspunkt erscheint mir für die Beurteilung der Versuchsanordnungen von prinzipieller Bedeutung: Bisher war von Versuchen die Rede, welche die Darstellung des Flügelschlages und Fluges unter möglichst natürlichen bzw. denselben angenäherten Bedingungen anstrebten. Auch in dieser Hinsicht verdienen Freiflugversuche ohne weiteres den Vorzug, da fixierte Tiere trotz aller Vorsichtsmaßregeln unter unnatürlichen Verhältnissen ihre Flugbewegungen ausführen. Die Darstellung des normalen Fluges und Flügelschlages an freifliegenden bzw.

an fixierten Tieren entspricht etwa dem Sinne jenes Präparationsverfahrens, wenn wir unter größtmöglicher Sorgfalt und technischer Vollendung nach Konservierung und Färbung ein mikroskopisches Schnittserienpräparat von einem normalen, dennatürlichen Bedingungen unmittelbar entnommenen Tiere anfertigen, welches niemals einer experimentellen Behandlung unterzogen wurde. Es interessiert uns hier nur der Befund bzw. der Ablauf möglichst natürlicher Bedingungen.

In beiden Fällen muß man jedoch fragen, inwiefern hat selbst schon dieses Darstellungsverfahren den normalen Zustand der Organe und Gewebe bzw. den Ablauf natürlicher Vorgänge beeinträchtigt, wie sehr ist das Objekt unter den angewandten methodischen Mitteln bereits verändert.

In beiden Fällen der Analyse normaler Bedingungen stecken daher bereits zahlreiche Elemente kausalen, wenn auch unbeabsichtigten Experimentierens, welches untersucht, wie sich das normale Verhalten der Objekte unter verschiedenartigen Bedingungen verändert.

Hiermit sei die eine Art des Darstellungsverfahrens charakterisiert, welches den Ablauf natürlicher Bedingungen erforscht, sich denselben anzunähern strebt, auch wenn sie dieselben durch gewisse Bedingtheiten der Methodik, deren unvermeidbare Mängel unbewußt verändert und nur innerhalb kleiner, in den meisten Fällen zu vernachlässigender Fehlergrenzen arbeitet. Solche Mängel haften nun einmal jeder wissenschaftlichen Methodik an, welche bemüht sein muß, vorerst die groben Fehlerquellen auszuschalten. Diese Art der wenn auch scheinbar experimentellen Darstellung schafft der Wirklichkeit entsprechende Annäherungswerte.

Anders ist es mit der zweiten Art des Experimentierens, dem eigentlichen kausal experimentellen Verfahren, welches unter Voraussetzung bestimmter Fragestellungen die Versuchsbedingungen willkürlich verändert, anormale Befunde und Zustände bzw. den anormalen Ablauf von Vorgängen absichtlich hervorruft, um aus den veränderten Befunden bzw. Ablauf der Erscheinungen auf die Gesetzmäßigkeiten zu schließen, welche sowohl unter normalen wie unnatürlichen Bedingungen die Erscheinungsformen beherrschen und bedingen.

Wir unterscheiden demgemäß die Darstellung des Flügel-schlages und Flugvorganges von den eigentlichen experimentellen Untersuchungen über diese Vorgänge und fügen im Hinblick auf unser Verfahren hinzu, daß selbst die Aufnahme

der Tiere im Moment des freien Abfluges (Start, vgl. bei BULL) noch soviel Elemente kausalen Experimentierens enthält, daß wir praktisch zwischen beiden erläuterten Arten der Analyse des Flugvorganges keine scharfe Grenze ziehen können, wie die später zu erörternden Tatsachen zeigen werden. Es fragt sich nun, ob wir auch hier einen möglichst gut angenäherten Grenzwert bekommen, auf welchen jede Art naturwissenschaftlichen Erkennens schließlich angewiesen ist.

Es schien mir im Hinblick auf das Gesamtgebiet gerade speziell der im Flugvorgang vorliegenden Erscheinungsformen und für die Beurteilung des Wertes jeglicher hier angewandter Methodik von besonderem Werte, durch Anwendung der begrifflichen Analyse des naturwissenschaftlichen Untersuchungsverfahrens den Charakter der Untersuchungen über den Insektenflug zu kennzeichnen.

Es geschieht dies im Anschluß an neuerdings angestellte Erörterungen über die Methodik der Psychologie¹⁾. Mit dem Hinweis auf den zum mindesten innewohnenden kausal experimentellen Charakter aller solcher Aufnahmen der Flügelbewegungen möchte ich insbesondere die Notwendigkeit möglichst zahlreicher Aufnahmen unter gleichen Versuchsbedingungen befürworten und rechtfertigen.

Mit der nachfolgenden Zusammenstellung sei zunächst eine Übersicht über die Ziele meiner Aufgaben, soweit sie nicht bereits angegeben wurden, gegeben, über das Untersuchungsverfahren, d. h. über die Mittel, welche ich anwandte, ferner über solche, deren zukünftige Anwendung sehr wünschenswert erscheinen muß.

Darstellende und experimentelle Methoden.

I. Darstellende Methoden:

1. Untersuchung des Flügelschlages fixierter Tiere.

a) Um den soeben skizzierten Problemen an fixierten Tieren näher zu kommen, bediente ich mich einer neuen Fixierungsart, welche dem flügelschlagenden Tiere größere Bewegungsfreiheit gestattet, den Flugmechanismus von hemmenden Einflüssen unab-

¹⁾ Vgl. W. BAADE: Über „Darstellende Psychologie“. Ber. üb. d. 6. Congr. f. exp. Psych. 1914, S. 28 sowie: Zur Einführung der darstellenden Psychologie. 1914. Ausführlicheres über das Verhältnis darstellenden und kausalen Experimentierens in der Psychologie und deren Beziehungen zur naturwissenschaftlichen Methodik findet sich in von mir eingesehenen, noch unveröffentlichten Manuskripten des genannten Autors, mit welchem ich mich über die einschlägigen Fragen des öfteren unterhalten konnte.

hängiger macht, welche besonders die Unabhängigkeit der thorakalen Flügelemente nebst angeschlossenen vordersten Abdomen auch durch freien Spielraum der Beine garantiert. Diese Notwendigkeit wird durch die Tatsache nahegelegt, daß in den meisten Fällen wirksame Flügelmuskeln zugleich Beinmuskeln sind¹⁾.

Zur Fixierung der Insekten benutzte ich eine Vorrichtung, in welcher zwei parallele Insektennadeln feinsten Stärke (schwarze Stahlnadeln Nr. 00) mit den Spitzen nach oben orientiert und dadurch in bestimmter Lage zueinander gehalten werden, daß man sie, sowohl am oberen wie am unteren Ende, durch ein kleines Stück festen Korkes hindurchtreten läßt. Dadurch erhält man zwei frei nach oben ragende feinste Nadelspitzen, deren Stellung man durch Längsverschiebung gegeneinander variieren kann, die man auch gegebenen Falles einzeln oder schräg zueinander (konvergierend oder divergierend) benutzen kann. Dieser Doppelnadelapparat wird auf einer Korkunterlage derart befestigt, daß man eine dritte Insektennadel stärkeren Kalibers im umgekehrten Sinne, d. h. mit der Spitze nach unten zwischen den beiden Nadeln durch beide Korkstückchen hindurchsticht.

Man nadelt das Insekt mittels dieses Apparates in solcher Weise auf, daß man die Doppelnadel mit möglichster Vorsicht in oder durch das Abdomen, wenn möglich nur in sein äußerstes Ende von unten einsticht, wodurch eine nur äußerst geringfügige Verletzung entsteht. Die Vorrichtung bezweckt die Sicherung der Lage des fixierten Tieres im Raume ein für allemal, so daß man es nur durch beliebige Drehungen hinsichtlich seiner Stellung zum Aufnahmeapparat verändern kann. Auf diese Weise ist es möglich, von einem Tiere nacheinander bzw. von drei verschiedenen Exemplaren gleicher Art drei Aufnahmen zu machen, welche den drei Dimensionen des Raumes entsprechen: Eine Profilaufnahme, d. h. Seitenansicht, eine Frontalaufnahme, d. h. Ansicht von vorne, eine Dorsalaufnahme, d. h. Ansicht von oben. Das Ideal wäre eine solche Versuchsanordnung, welche gestattet, die drei Aufnahmen gleichzeitig am gleichen Tiere herzustellen. Dies Verfahren gewinnt eine besondere Bedeutung für die Feststellung der Amplitude. Diese drei Aufnahmen werden dann durch die unerläßlichen Aufnahmen des Freifluges ergänzt.

Diese Art der freien Fixierung des Objektes, über welche ich mich noch ausführlicher in einer späteren Publikation äußern werde,

¹⁾ 1905, III. Teil, S. 682 ff., 687; aber 718. — 1913, S. 662 Nr. 56.

bedeutet selbst in ungünstigen Fällen zum mindesten, keinen Nachteil gegenüber der Methodik MAREY'S. Die Geringfügigkeit der Verletzung, die Unabhängigkeit der Physiologie der vegetativen Organsysteme des Abdomens vom Thorax, welche durch zahlreiche Beispiele belegt werden kann, läßt den Einstich, sogar Durchstich durch das Abdomen erlaubt erscheinen.

Durch seitliche Nadelung kann man eine Verletzung des Bauchmarks umgehen, bei höheren Insektenformen mit nach vorne in den Thorax konzentriertem Zentralnervensystem würden im Abdomen zudem nur periphere Nerven verletzt werden. Das Allgemeinbefinden der Tiere, die sich an der Nadel sehr schnell beruhigen, um sich nach Wunsch zum lebhaften Fluge anzureizen zu lassen, wird, falls nur die Dauer des Experimentierens nicht zu sehr ermüdend gewirkt hat, nicht geschädigt, wie die zahlreichen Beispiele zeigen, in welchen die zu solchen Versuchen benutzten Tiere noch lange unter normalem Verhalten im Zimmer frei umherflogen. Schließlich könnte man ja die schnell zu handhabende Methode der Nadelung durch Ankleben der Tiere am Hinterleibsende und dergleichen Vorrichtungen ersetzen, die aber durch die Schwierigkeit, eine bestimmt gerichtete, dauernd gleiche Orientierung zu erhalten, nicht empfehlenswert erscheinen.

Bei der Beurteilung der Ergebnisse sind die aerodynamischen Folgeerscheinungen der Freifixierung von der physiologisch-psychologischen zu unterscheiden.

b) Es ist darauf zu achten, daß die Beine des freifixierten Insektes weder die Unterlage, den Boden, noch sonst einen Gegenstand berühren, wenn ein lebhaftes Flugbild erreicht werden soll. Andernfalls genügt die Berührung schon eines Fußes, daß das Tier normalerweise mit den Flugbewegungen aufhört. Hierdurch ist in allen Fällen die bereits 1905¹⁾ gegebene Definition des Fluginstinktes bestätigt worden. Gegebenen ungünstigsten Falles wird es nötig, die distalen Teile der Beine abzuschneiden.

c) Um die freifixierten Insekten zum Fluge anzureizen, können verschiedenartige Maßnahmen benutzt werden. Durch Anblasen von vorne, durch Erzeugung des nötigen Flugwindes, durch Beunruhigung anderer Art kann das Tier zum Flattern gereizt werden. Vielfach mit später zu erörterndem wechselndem Erfolge benutzte ich den beweglichen, im Moment der Aufnahme aufspringenden Arm der Haltezange, welche BULL für sein Frei-

¹⁾ FR. VOSS l. c. 1905, III. Teil, S. 668.

abflugexperiment benutzte. Gemäß zahlreicher noch zu erörternder Umstände lassen sich hier eine Reihe spezieller Erwägungen anknüpfen.

d) Da die Aufnahmen an frischen normalen Individuen erfolgen sollen, ist auf die mehr oder weniger schnell eintretende Ermüdung der Tiere genau zu achten. Eine Reihe von Formen, z. B. *Coccinella*, zeigen allerdings eine erstaunliche Widerstandsfähigkeit.

e) Es ist notwendig, unter den gleichen Versuchsbedingungen recht zahlreiche Aufnahmen am gleichen Individuum oder an Individuen der gleichen Art zu machen, oder normale Bedingungen zu variieren; nur auf solche Weise erhält man sichere Anhaltspunkte, das Zufällige vom Typischen zu unterscheiden, zur Beurteilung des individuellen Verhaltens artlich gleicher Tiere, zur Beurteilung wechselnder Bedingungen und der Ermüdungserscheinungen. Man erhält auf diese Weise aus einer Reihe von Werten Gesamtdurchschnittswerte zutreffender Art (vgl. die Frequenzberechnungen) nach Maßgabe später zu erörternder Gesichtspunkte.

2. Untersuchung der Flugbewegungen freifliegender Tiere.

f) Als vierte Art des Aufnahmeverfahrens ist die Aufnahme freifliegender Insekten zur Ergänzung der drei genannten Arten der fixierten Aufnahmen unbedingt notwendig. Man erhält durch dieselbe nicht nur die Darstellung des wirklichen Flugverhaltens, sondern eben auch Vergleichswerte für die gegenseitige Abwägung beider Arten von Aufnahmeverfahren, in dem bereits angedeuteten Sinne. Wir unterscheiden hier die Aufnahme des fliegenden Tieres auf freier Flugstrecke, die bisher noch nicht möglich geworden ist, und jene Aufnahme des freien Abfluges, Startfluges, welcher BULL als erster mit so großem Geschick seine Aufmerksamkeit zugewandt hat. Die Ermöglichung von Aufnahmen des vollkommenen Freifluges, d. h. auf freier Flugstrecke, ist das notwendige Ziel aller dieser Methoden. Einer Ergänzung bedürfen jedoch wie gesagt solche Freiflugversuche durch das fixierte Aufnahmeverfahren, da sich sehr zahlreiche Insekten im freien Fluge nicht aufnehmen lassen.

Es muß angestrebt werden, durch Verwendung geeigneter starker Lichtquellen den bestimmt gerichteten Phototropismus der Insekten derartig auszunutzen, daß die Bilder der einzelnen freien Flugphasen während der Aufnahmezeit eine derart andauernd gleichgerichtete streng innegehaltene Orientierung zeigen, als wären sie auf der Doppelnadel fixiert.

II. Experimentelle Methoden.

a) Zu dieser Art von Versuchsanordnungen gehören die Untersuchungen über das Verhalten ermüdeten Tiere oder solcher Tiere, die auf andere Weise, z. B. Behandlung mit Äther in der Energie ihrer Lebensäußerungen beeinträchtigt sind. Auch hierüber soll an anderer Stelle Näheres gesagt werden.

b) Durch schiefes Aufnadeln oder schiefe Orientierung des Nadelapparates zur Unterlage erhält man als Folgeerscheinungen der gegebenen Schräglage interessante Abweichungen vom normalen Flügelschlag, welche eine Wiederherstellung der normalen Lage im Raum anstreben. Man erhält diese Versuchsanordnung oft genug durch Fehlversuche bei dem normalen Darstellungsverfahren.

c) Von besonderem Interesse sind Fehlaufnahmen, welche man sehr oft bei Aufnahmen des Freifluges erhält. Je nach der Art des subjektiven Befindens und Verhaltens (Lage im Raum), in welchem die festgehaltenen, zum Abflug gereizten und bereits lebhaft flatternden Insekten im Augenblick der Momentaufnahme angetroffen sind — wenn sie zugleich durch Öffnen der Zange befreit werden —, erhält man mehr oder weniger normale Abflugbilder, über welche im einzelnen vieles zu sagen wäre. Solche Aufnahmen, deren Eintritt man absichtlich hervorrufen kann, zeigen Schräglagen und Rotationen der Tiere im Raume verschiedenster Art, an welchen sich die Stabilisierungs- und Steuermanöver studieren lassen.

d) Weitere experimentelle Maßnahmen würden sich auf das Abschneiden, Stutzen und die Hemmung der Flügel und deren einzelner Teile beziehen, nach Maßgabe u. a. auch der Erkenntnis von dem verschiedenen Verhalten der Teilbezirke des Kostalfeldes und Analfeldes im Flügel. Man könnte auf diese Weise besonders bei freifliegenden Tieren einen Einblick in die aerodynamische Bedeutung der einzelnen Flächenteile erhalten.

e) Schwieriger gestalten sich die experimentellen Eingriffe in das Innere des Flugmechanismus. Abschneiden und Exstirpation der Beine bis zur Wurzel würden gewiß eine Reihe von Flugmuskeln außer Funktion setzen. Bedeuten aber bereits diese Maßnahmen schwere Eingriffe in die Lebensfähigkeit des Tieres, so gilt dies in noch höherem Maße für Versuche, einzelne Muskeln zu exstirpieren oder durch verschiedene Maßnahmen zu lähmen. Alle derartige Versuche sind wertvoll für die gesonderte Analyse des Ablaufs der Teilmechanismen. Für derartige Versuchsreihen

müßten die Methoden erst noch ausgearbeitet werden; ihre zweckentsprechende Realisierung dürfte vorerst noch nicht möglich erscheinen.

Noch ein Wort wäre zu sagen über die Ergänzung der genannten Versuchsbedingungen durch:

III. Technische Methoden.

a) Die schon früher¹⁾ betonte Notwendigkeit der Modellkonstruktion nach den Vorbildern tierischer Organisationsverhältnisse würde nicht nur die peinliche Rekonstruktion der in den Flächen und Gelenkmechanismen gegebenen Einzelheiten in verschiedenen Maßstäben der Wiedergabe bedeuten, sie würde auch das Studium des Verhaltens dieser Modelle unter mutatis mutandis ähnlichen Versuchsbedingungen, wie sie beim Flügelschlag der Tiere vorliegen, in sich begreifen.

b) Für die Erkenntnis der aerodynamischen Beziehungen der tierischen Flugapparate besonders der Flächensysteme am natürlichen lebenden Objekt wurde die Übertragung der Rauchschilderemethode auf das vorliegende Arbeitsgebiet neue Versuchsmöglichkeiten schaffen und durch die Veranschaulichung der durch den Flügelschlag erzeugten Strömungserscheinungen der Luft zu wertvollen Ergebnissen führen.

c) Nicht zuletzt würde sich ein großer Teil der notwendigen methodischen Maßnahmen auf die Verbesserung vorhandener und auf die Konstruktion neuer Apparate beziehen müssen. Besonders notwendig erscheint hier die Verbesserung der Funkenstrecke²⁾ nach den Gesichtspunkten höherer Frequenz bis zu 5000, größerer Regelmäßigkeit der Funkenfolge und gleichmäßigerer und größerer Lichtstärke derselben. Insbesondere würden Aufnahmen bei auffallendem Licht, wie sie durch die CRANZ'sche Anordnung bereits möglich sind, in Verbindung mit BULL's stereoskopischem Aufnahmeverfahren für biologische Zwecke von besonderer Bedeutung sein. Eine größere Veränderungsmöglichkeit des Aufnahmefeldes und die Anwendung wenigstens schwacher Vergrößerungen, die willkürliche und im voraus meßbare Regelung der Bildzeit und des Ablaufs der Funktionen im Apparate überhaupt würden ferner von großem Werte sein.

Hier liegt eine große Summe von Problemen vor, für welche das Stadium des Anfanges noch nicht überschritten scheint.

1) Voss l. c. 1905, III. Teil, S. 692 u. 1913

2) Vgl. GLATZEL: „Die Prinzipien moderner Hochfrequenzfunkenstrecken“. Aus der Natur, 9. Jahrg., 1913, S. 371.

Leider sind die Aussichten, allen genannten Forderungen gerecht zu werden, vorerst gering, da in Deutschland noch keine Einrichtung besteht, diesen biologischen Problemen der Aerodynamik erfolgreich nachzugehen. Es fehlt uns nicht an der Möglichkeit, wohl aber noch an der Gelegenheit, die Mittel zur Ausgestaltung neuer und verfeinerter Methoden an passender Stelle ins Werk zu setzen, zu denen eben das Zusammenarbeiten technischer und biologisch geschulter Faktoren notwendig ist, in Analogie zu Einrichtungen, welche im Institut MAREY zu Boulogne sur Seine bestehen.

Nur einen geringen Teil der vorgenannten und vorgeschlagenen Mittel für Versuchsanordnungen konnte ich vorerst zur Anwendung und Ausarbeitung bringen. Die Ergebnisse und die ihnen zugrunde liegenden speziellen Gesichtspunkte, soweit letztere nicht bereits erwähnt wurden, mögen durch nachfolgende Übersicht angedeutet sein.

Frequenzen.

Die erneuten Untersuchungen und Berechnungen der Frequenzen an fixierten und freifliegenden Tieren geschahen gemäß folgender Anforderungen:

1. Nachuntersuchung, Bestätigung bzw. Verbesserung der Angaben MAREY'S und anderer Autoren. Besonders wichtig erschien es, den in neuester Zeit auftretenden Übertreibungen der Frequenzziffern zu begegnen, die -- besonders auf Grund der Abschätzung von Flugtönen -- für Zweiflügler bereits die erstaunliche und verdächtige Ziffer von über 600 Flügelschlägen in der Sekunde zulassen.

2. Eine genauere Spezifizierung und Bestimmung der benutzten Tiere, deren Art-, ja Gattungszugehörigkeit bisher nicht immer genau betont worden war, trotzdem die verschiedene und abgestufte Organisationshöhe der Flugwerkzeuge selbst innerhalb der einzelnen Insektenordnungen eine gesetzmäßige Verschiedenheit der Frequenzen nahelegt.

3. Eine Auswahl der Objekte nach überlegten bestimmten Erwägungen, soweit das erhältliche Material dies zuließ. Es erschien besonders wünschenswert, eine möglichste systematische Vollständigkeit zu erreichen, insbesondere Versuche mit bisher noch nicht dargestellten Tieren, zumal mit Vertretern von Ordnungen anzustellen, die hinsichtlich ihrer Flugleistungen noch unbekannt, mit Tieren, die noch niemals zum Fliegen gebracht worden waren und angeblich schwer oder gar nicht zum Fliegen zu bringen sind. Hier verweise ich besonders auf die schwierigen Aufnahmen von

Heuschrecken (*Orthoptera*) und Rhynchoten, auch der Coleopteren, während Ephemeren, Neuropteren und Trichopteren weniger schwer zum Fliegen zu bringen sind. So gelang es mir, fühlbare Lücken auszufüllen, auch wenn ich Aufnahmen von Plecopteren infolge Materialmangels, ferner solche von *Forficula* und *Ectobia* nicht erreichte. Gerne erinnere ich an dieser Stelle an den schon 1869 (*Annales des sciences naturelles Zool.* Bd. 12) von MAREY geäußerten Wunsch: „Il sera intéressant de reprendre ces expériences sur un grand nombre d'espèces bien déterminé.“ Ferner ist die Auswahl der Tiere nach stammesgeschichtlichen Gesichtspunkten geboten.

Man erhält auf diese Weise ansteigende Reihen von Werten, welche die Vollendung der Organisationsverhältnisse zu beurteilen gestatten. Besonders lehrreich hat sich dieses Verfahren bei Lepidopteren gezeigt.

Für die Berechnung der Frequenzen ist die Herkunft des Flügeltones maßgebend. Man will ¹⁾ drei Quellen des Flugtones unterscheiden: den eigentlichen Flügelton, welcher auf der Frequenz des Flügelschlages beruht, den durch die schnelleren Schwingungen der thorakalen Skeletteile veranlaßten Ton, den Nebenflugton, und den Stigmenton. Der Flugton kann also ein zusammengesetzter sein.

Es gibt hauptsächlich folgende Methoden der Frequenzberechnung:

a) Die von LANDOIS benutzte akustische Methode der Analyse des Flugtons, dessen zusammengesetzter Charakter die Möglichkeit zahlreicher Irrtümer in sich begreift. Die Schwingungszahl eines Tones kann sehr genau berechnet werden, doch können die Werte bei unzutreffender Abschätzung der Höhe einer Oktave das Doppelte oder Mehrfache des betreffenden Grundwertes betragen.

b) Die von MAREY benutzte bereits S. 61 skizzierte Selbstregistrieremethode mittels des rotierenden berußten Zylinders.

c) Schließlich die in mehrfachen Etappen entwickelte Photographie bzw. Kinematographie.

Die von PROCHNOW 1907 angegebene mechanische Methode sei der Vollständigkeit halber erwähnt.

Die von MAREY benutzte Methode schließt die Möglichkeit von Fehlerquellen in sich ein, die durch folgende Nachteile hervorgerufen sein können:

Das Anstreifen der Flügel an den schnell rotierenden berußten Zylinder, wodurch der Flügelschlag gehemmt, verlangsamt werden muß und im Sinne der Rotation beeinflußt werden könnte.

¹⁾ Vgl. PROCHNOW: Die Lautapparate der Insekten, 1908, Berlin.

Die Ermüdung der benutzten Tiere, auch infolge vorgenannter Umstände.

Durch das Festhalten der Tiere an den Beinen kann infolge des Zusammenhangs der Bein- und Flugmechanik die Flügelbewegung ungünstig beeinflusst werden, wie gleicherweise mittelbar oder unmittelbar durch das Festhalten am Thorax und vorderen Abdomen eine Flugbehinderung vorliegen muß.

Es fehlt die notwendige Kontrolle durch die Amplitude des Flügelschlags; denn es hat sich herausgestellt, daß eine normale Frequenz eine normale Amplitude zur Vorbedingung haben muß.

Die Vorteile der photographischen Methode beruhen daher auf der Möglichkeit der ungehemmten Schlagführung infolge unbehinderter Flügelspitzen, worauf BULL hinwies, und auf der Möglichkeit, an der gleichen Aufnahme das Ergebnis einer Frequenzberechnung durch die Abmessung der Amplitude und gemäß der Kenntnis der Flügelstellung zu bewerten. Die Vorteile der genannten Art der freien Fixierung am Abdomen liegen darin, daß die Beine frei und außer diesen auch die Mechanik des Thorax ungehemmt bleiben. Ein solcherweise fixiertes Tier würde, falls es in normaler Haltung fliegt, auch den größten Teil des Eigengewichtes zu tragen haben. Bei anormaler, unbrauchbarer Flughaltung würde es herabhängend angetroffen, während es normalerweise sich aufgerichtet hält. Die Notwendigkeit der beiden letztgenannten Umstände, Kenntnis der Amplitude und freie Fixierung, glaubte ich hier ganz besonders betonen zu müssen.

Man gelangt auf diese Weise zu zahlreichen Werten, die nach der S. 62 erwähnten Rechnungsart je im Einzelfalle exakte absolute maximale und minimale oder Durchschnittswerte, Annäherungs- oder Wahlwerte sein können und aus denen man unter Ausscheidung der anormalen Fälle den Gesamtdurchschnittswert für fixierte oder freifliegende Tiere erhält. Eine Diskussion dieser verschiedenen Wertarten kann an dieser Stelle nicht stattfinden. Die Frage, welche Bedeutung den absoluten normalen Maximalwerten und Minimalwerten zukommt, darf wohl dahin entschieden werden, daß normale Maximalwerte der Frequenzen, welche an Tieren mit normalem Verhalten gewonnen sind, auch dann als Höchstleistungen aufzufassen und — den Durchschnittswerten gegenüber — als absolute Werte für das betreffende Tier maßgebend und charakteristisch sind, wenn die Frequenzen fixierter Tiere höher sein sollten als die freifliegender.

Die Höhe der Frequenz kann von zahlreichen Faktoren abhängig sein, welche das normale Verhalten bedingen oder diesem gegenüber eine Erhöhung oder Erniedrigung der Frequenzziffer veranlassen.

Die Zahl der Flügelschläge erscheint je nach dem Flugsystem (Typ oder Modell usw.) abhängig von dem Bau der Fläche und Flächenteile, von den aerodynamischen Faktoren ¹⁾ der absoluten Flächengröße, dem Verhalten derselben zur Luft.

Bei zunehmender Kleinheit der Formen würde immer mehr die Zähigkeit der Luft von Bedeutung werden, welche in steigendem Maße die Reibungsverhältnisse beeinflußt und schließlich bei der Schwebefauna der Luft an den spezifischen Schwebeeinrichtungen zur Bildung adhärenter Luftschichten führt ²⁾.

Die Frequenz ist ferner abhängig von der Flächengröße relativ zum Gewicht, von der Größe und Beschaffenheit der tragenden Körperoberfläche, von der Lage des Schwerpunktes.

Sie ist ferner im höchsten Maße bedingt durch die Art der mechanisch-technischen Faktoren des motorischen Systems, den Bau der Gelenkteile, die Qualität und Quantität der Muskelspannung; Faktoren, von denen die artlichen (spezifischen) und individuellen Unterschiede der normalen Äußerung von Kraft und Gewandtheit abhängig sind.

Als weiteres typisches Moment tritt prinzipiell die auf der artlich bzw. individuell-physiologischen bzw. psychologischen normalen Veranlagung des Tieres beruhende Kraftquelle hinzu, das vitale Element der Energieäußerung.

Hierzu kommen die Verschiedenheiten, welche durch die wechselnden Bedingungen unter den natürlichen Verhältnissen des freien Lebens nach dem Willen des Tieres (Steuerung, Schnelligkeit, Stabilisierung) entstehen oder denen das Tier unterworfen ist, Umstände, wie sie in ähnlicher Weise unter den verschiedenen Versuchsbedingungen wiederkehren. Man beachtet die demgemäß bei normaler freier Fixierung oder bei Freiabflug, oder Freiflug entstehenden Unterschiede, die Einflüsse vom Temperament je nach wechselnder Lebhaftigkeit eines Individuums unter den Wirkungen verschiedener starker Reize, Wärme und Belichtung, Wetter, Tages-, Jahreszeit, Alter, Geschlecht, Geschlechtsreife besonders der ♀ ♀, Ermüdung, Schmerz und Fluchtversuch, Belastung, ferner unter allen möglichen pathologischen bzw. experimentellen Umständen.

¹⁾ Vgl. 1913 I. c. S. 122.

²⁾ Vgl. DINGLER 1889, Erläuterungen zu Typ I u. IV.

Die Schnelligkeit der Flügelspitze in Sekundenmetern ausgedrückt (vgl. BULL 1905) würde neben der Zahl der Flügelschläge und der Amplitude einen Maßstab für alle die genannten Faktoren abgeben, und des weiteren würde die Messung der Dauer von Aufschlag (Hub) und Niederschlag (Senkung) die Angabe über die in der Zeiteinheit zurückgelegte Wegstrecke, d. h. die Schnelligkeit der Fortbewegung des Tieres, wünschenswert sein zur Erläuterung der Frequenzen.

Ich lasse nunmehr die Übersicht über eine Reihe von Werten für die Frequenzen und Andeutungen zu deren Erläuterung folgen, deren Ausführung und Begründung im einzelnen die Aufgabe einer späteren Darstellung sein soll. Die nachfolgenden Werte beziehen sich auf einzelne herausgegriffene Zahlen, die mir von maßgebendem Interesse zu sein scheinen. Die betreffenden Versuchstiere zeigten während der Aufnahme und später im Bilde ein durchaus normales Verhalten. Die Ziffern geben die Zahl der Flügelschläge in der Sekunde an.

Orthoptera: Stenobothrus biguttulus ♂; fixiert: Frequenzen 33, 34 in der Sekunde.

Ältere Angaben fehlen.

Odonata: Agrion spec.; fixiert: 25,3—29 in der Sekunde; Freiflug: 30.

Ältere Angaben für eine unbestimmte Libelle: *Libellule* nach MAREY 28, BULL für *Agrion* 35.

Ephemeroidea: Cloëon dipterum; fixiert 41—44 in der Sekunde.

Ältere Angaben fehlen.

Für die Beurteilung des Systems der Flugmechanik der Eintagsfliegen sind ihre näheren verwandtschaftlichen Beziehungen speziell zu den Agrioniden von Interesse.

In näherer Beziehung zu Insektenformen, welche im Odonatentyp das besondere System der direkten Flugmechanik entwickelt haben, zeigen sie als Endpunkt eines Parallelzweiges eine Flugform, in welcher die indirekte Flugmechanik mit erhöhten Frequenzen bei enormer Amplitude angestrebt ist.

Neuroptera: Chrysopa vulgaris; fixiert 22.

Ältere Angaben fehlen. Vgl. Libellenähnlichkeiten des Flugbildes und der anatomischen Grundlage.

Trichoptera: Phryganiden spec.; fixiert 38.

Ältere Angaben fehlen.

Lepidoptera: Die Schmetterlinge bilden eine Insektenordnung, innerhalb welcher die Flugmechanik nach Art des Systems und

nach Leistungsfähigkeit eine große Mannigfaltigkeit zeigt. Die anatomische Grundlage weist auf eine dem Orthopteren- und Odonatentyp verwandte Mischung direkter und indirekter Flugelemente hin, von denen die eine oder andere Art jeweilig vorherrscht. Man kann die einzelnen Formen in einer durch die Frequenzziffern gegebenen aufsteigenden Reihe anordnen, welche von in zahlreichen Beziehungen unvollkommenen primitiven Flugleistungen zu hohen Leistungsstufen führt. Diese nach abgestuft verschiedenartigen Leistungen geordneten Vertreter geben aber nicht notwendigerweise eine stammesgeschichtliche Reihe der Lepidopterenentwicklung, sondern zeigen, in welcher Weise die phylogenetische Entwicklung in dem S. 67 ausgeführten Sinne vollzogen worden sein mag. Die heutigen Vertreter der einzelnen Flugarten bei Schmetterlingen können nebeneinander ebensogut Endergebnisse spezifischer Entwicklungsarten verwirklicht zeigen, die aber nacheinander geordnet für die mögliche phylogenetische Grundlage der Entwicklung des Flugvermögens von besonderem Interesse sind. Einen schwerwiegenden Hinweis auf die Tatsache, daß die Schmetterlinge eine allmähliche Entwicklung des Flugvermögens hinsichtlich dessen Leistungsfähigkeit und insgesamt hierin primitive Verhältnisse veranschaulichen, scheint mir der Umstand zu sein, daß in den primitiven Organisationsverhältnissen der Mikropterygiden: *Eriocephala calthella* u. a. eine Andeutung der primitiven Wurzel der sonst gut und einheitlich charakterisierten Ordnung vorliegt. Dadurch würden archaische Züge der Flugmechanik wohl begründet werden dürfen. Mit Berücksichtigung älterer Angaben für *Pieris* und *Macroglossa* erhalten wir nachfolgende Frequenzen in der Sekunde:

Pieris nach MAREY, fixiert 9.

Lycaena argiolus, fixiert 11.

Polyommatus phlaeas, fixiert 19.

Pyralidae: Nemophila noctuella (hybridalis), fixiert 23.

Geometridae: Acidalia, fixiert 32.

Noctuidae: Agrotis C. nigrum, fixiert 32—39.

Tortricidae: Retinia bouoliana, fixiert 51.

Macroglossa nach MAREY, fixiert 72.

Hymenoptera: Apis mellifica ♀, fixiert 180—203 in der Sekunde.

Vgl. hiermit die Angaben MAREY'S VON 190 für *Apis*, 110 für *Vespa*, 240 für *Bombus*, die Angaben STELLWAAG'S ¹⁾ nach anderen

¹⁾ Die Umschau 1913, S. 30.

Autoren berichteten Zahlen von 220 für *Bombus* und 330—440 für *Apis*, die Angaben PROCHNOW'S: *Vespa* (54), *Bombus* 240—220, *Apis mellifica* 440—450.

Coleoptera: Rhagonycha melanura, fixiert 69—87.

Coccinella (Adalia) bipunctata, fixiert 75—91.

Ältere Angaben fehlen.

STELLWAAG¹⁾ gibt für *Melolontha vulgaris* auf Grund seiner Versuche der Tonbestimmung 220 (217,5) in der Sekunde an. Diese Differenz kann erklärt werden, wenn man die Möglichkeit einer irrümlichen, weil subjektiven Auffassung der Tonhöhe in Betracht zieht und falls der erste Oberton als Grundton angenommen worden ist. Man erhält alsdann c. 109 Flügelschläge. Diese Ziffer hat nichts Auffallendes an sich, wenn man die Artverschiedenheit, die Möglichkeit der Variationsbreite der Frequenzen und den durch die Fixierung möglicherweise gegebenen Unterschied in Rechnung stellt.

Rhynchota: Heteroptera: Capsus Schach, fixiert 100—109.

Homoptera: Thyphlocyba, fixiert 123.

Ältere Angaben fehlen.

Diptera: Tipulidae fixiert 44—73.

Culicidae: Culex spec., fixiert 248—295; Freiflug höhere Werte, 278—307.

Nach älteren Angaben für *Culex* über 400, PROCHNOW 596—660.

Leptidae: Leptis, fixiert 122—126.

Muscidae: Musca domestica, fixiert 115—167; Freiabflug höhere Werte, 180—197.

Vgl. Angaben MAREY'S: 330 und die von STELLWAAG l. c. 1913 nach LANDOIS mitgeteilten Angaben 400—600.

Musca vomitoria: fixiert 155; Freiabflug höhere Werte, 161 bis 185.

Syrphidae: Eristalis tenax, fixiert 177—188; Freiabflug 177 bis 193. Hohe Ermüdungswerte bis 210.

Syrphus vitripennis, fixiert 139—170; Freiabflug niedrigere Werte, 131 und 134!

Die Begründung dieser auffallenden Unterschiede soll später erfolgen.

Hiermit seien die vorläufigen Mitteilungen über die Frequenzen abgeschlossen, auf welche ich später an Hand eines z. T. schon berechneten großen Materiales zurückkommen werde. Ohne Zweifel

¹⁾ 1914, Der Flugapparat der *Lamellicornier*, Zeitschr. f. wissensch. Zoologie, Bd. 108.

stellt sich heraus, daß die Frequenzen von den Beziehungen zur Amplitude, Richtung der Schlagführung und von Abänderungen der Flügelstellungen überhaupt abhängig sind. Überall zeigt sich ein individuelles Variieren der Frequenzen bei normalem Verhalten des Objektes, oft innerhalb beträchtlich entfernter Extreme, wie man dies auch schon an den individuellen Verschiedenheiten der Flugtöne beobachten kann. Interessant werden die Ziffern, wenn man die Vermehrung der Frequenzen unter Verringerung der Amplitude, die Oszillationen ermüdeten Tiere in Rücksicht zieht. Ferner zeigt es sich, daß die Frequenzen innerhalb der einzelnen Ordnungen großen Verschiedenheiten unterliegen: Es steht die Anordnung der Objekte nach Maßgabe der normalen Frequenzziffern im Einklang mit der Aufeinanderfolge aufsteigender Artenreihen, in welchen die allgemeine Organisationshöhe zum Ausdruck kommt. Mit dieser steht also die Frequenzhöhe als Kriterium der Vollkommenheit eines Flugsystems (nach Ausnutzung des Systems und Materialbeanspruchung) in enger Beziehung und rechtfertigt wieder einmal die Einführung biologischer Merkmale (vgl. die Gallenkunde), funktioneller Eigenschaften in die Systematik bei der Abwägung natürlicher Verwandtschaftsfragen. Mit welcher Bedingtheit dies geschieht, in welchem Maße dies geschehen darf, ist eine Frage, der hier nicht nachgegangen werden kann.

Über die beiden nachfolgenden Punkte schließlich können an dieser Stelle nur allgemeine Andeutungen gegeben werden, deren Ausarbeitung später folgen soll:

Amplitude.

Die Amplitude oder der Schlagwinkel bedeutet bekanntlich den Winkelunterschied der Flügelstellung in extremer Hochstellung und extremer Tiefstellung. Ihre Elemente sind zu einem Teile von PARSEVAL 1889 erläutert worden. Das Studium dieses so wichtigen und charakteristischen Teilelementes der Flugerscheinungen ist nur an solchen Tieren mit ausreichender Genauigkeit möglich, welche eine bestimmte, in der Aufnahmerichtung unveränderliche Lage innehalten; erforderlich ist die genaue Einstellung zur Frontalaufnahme. An freifliegenden Tieren mit meist ungeeigneter, weil unsymmetrischer oder wechselnder Orientierung ist sie nicht ausreichend meßbar, wenn es nicht möglich sein wird, den Freiflug im Raume bestimmt zu orientieren.

BULL hat mit Recht wahrscheinlich gemacht, daß die Amplitude bei fixierten Tieren, welche sich zu befreien suchen, größer sein

mag als im natürlichen Flug; das gleiche würde von den Flügel schlägen gesagt werden müssen, wenn das vorher fixierte und flatternde Tier durch Öffnen der Haltezange zum plötzlichen Freiflug gelangt. In späteren Mitteilungen werde ich die Größe und Bedeutung dieser Unterschiede näher angeben können.

Wenn auch zur Bestimmung des Schlagwinkels die Frontalaufnahme einen maßgebenden Einblick gewährt, so reicht diese allein zur Beurteilung des wahren Charakters der jeweilig beobachteten Amplitude nicht aus. Die Frontalaufnahme bedarf der unbedingt notwendigen Ergänzung durch die Profilaufnahme, da sie von der Art, d. h. dem Winkel des Schrägschlages von hinten oben nach vorne unten, d. i. von der Steilheit des Flügelschlages abhängt. Zudem ist es zum mindesten vorteilhaft, die Profilaufnahme durch eine dorsale Aufnahme zu kontrollieren. Das Studium der Amplitude bedarf also der Darstellung nach drei Dimensionen, für welche ich die oben beschriebene Vorrichtung für möglichst freie Fixierung empfehle, mit dem leider noch nicht erfüllbaren Wunsche, die drei Aufnahmen am Objekte gleichzeitig machen zu können. Im übrigen steht die Amplitude in korrelativer Abhängigkeit von der Frequenz. In der unlösbaren Verknüpfung mit der Frequenzberechnung und mit der Darstellung des Schrägschlages liegt das wahre Wesen des Schlagwinkels; mit dem Hinweis auf diese Notwendigkeit möchte ich die begriffliche Fassung erweitern und den Begriff der Amplitude in vorliegendem Sinne von neuem aufgestellt haben. Bei hohen Frequenzen kann die Amplitude, deren Variabilität schon BULL betont hat, sehr gering, bei geringer Zahl der Flügelschläge hingegen sehr bedeutend werden. Oft aber gehen sehr große Amplituden mit relativ hohen Frequenzen zusammen und zeigen Beispiele (Ephemeriden und *Coccinella* im freifixierten Zustande) enormer Flugleistungen.

Ferner ist es wichtig, die Lage der Amplitude in bezug auf die durch die beiderseitigen Flügelwurzeln gelegte horizontale Ebene anzugeben, d. h. den Ausschlagwinkel zu messen, der im positiven Sinne die obere, im negativen Sinne die untere Abweichung der Flügellage von der Lage in der horizontalen Ebene bestimmt. Man mißt diesen Winkel zweckmäßig an der Vorderrandsader. Man kann in solcher Weise drei Arten von Amplituden oder Schlagwinkeln zur Unterscheidung bringen, die mittlere Amplitudenlage von $+45$ bis -45° , die obere und die untere, in denen die positiven bzw. negativen Werte größer sind als die negativen bzw. positiven Werte, und bei denen alsdann der negative bzw. positive Wert

45° nicht überschreitet. Überschreiten beide Werte 45°, so kann man von einer großen Amplitude reden.

Von Bedeutung sind schließlich die Amplituden in ihrer Beziehung zur Steuerung und Stabilisierung und Schnelligkeit der Fortbewegung des Tieres. Eine große Zahl verschiedenartiger Kombinationen harret hier der näheren Analyse.

Unter völliger Wahrung des Synchronismus können die Flügel dennoch mit verschiedener Amplitude und verschiedenartiger Höhenlage derselben sich bewegen. Es kann also auf der einen Seite des Tieres eine große, auf der anderen Seite eine kleine Amplitude herrschen, es kann diese Bewegungsordnung symmetrisch oder unsymmetrisch sein, ja es kann auf der einen Seite die Flügelbewegung völlig aufhören (bei fixierten Tieren), anderseits aber kann der Synchronismus in solcher Weise abändern, daß der Flügel Schlag der einen Seite gegenüber dem der anderen Seite zeitlich verzögert erscheint, während das absolute Tempo auf beiden Seiten das gleiche ist.

Die Flügelstellungen.

In den Bereich dieser ganz allgemeinen Bezeichnung fällt die große Zahl aller jener Erscheinungen, welchen die gesonderten willkürlichen Funktionsäußerungen einer Spezialmuskulatur zugrunde liegen. Es ist dies jene Muskulatur, welche zwar nicht die Hauptbedingung der allgemeinen Flugleistungen und Erscheinungsformen mitsamt deren Teilmechanismen bedingt, sondern eine Muskulatur, welche die Wirkungsweise derselben modifiziert, ändert. Praktisch wird diese Unterscheidung nicht in allen Fällen möglich sein.

Die hier vorliegenden Untersuchungen beziehen sich auf die Neigungswinkel der Flügelflächen zur Bahn des Flügelschlages, Lage der Widerstandsebene (PARSEVAL) und auf die Formveränderungen der Flügelfläche, auf die bereits BULL (l. c. 1905) aufmerksam gemacht hat. Letztgenannte Beeinflussung der Biegungen, speziell der Torsion der Flächen, würden dem Begriffe der „Verwindung der Tragflächen“ gleichkommen. Als Äußerungen besonderer Art seitens der genannten Spezialmuskulatur würden schließlich hier die Veränderungen in Betracht zu ziehen sein, welche die Einstellung der Bahn des Flügelschlages, direction de trajectoire, in verschiedene Neigung zur horizontalen Ebene zur Folge haben. Es ist dies die Frage nach der mehr oder minder großen Winkelabweichung des Flügelschlages von der Vertikalen, welche im wesentlichen spezifisch verschieden und für die betreffenden Formen

charakteristisch festgelegt ist, aber willkürlichen Einwirkungen seitens des Tieres unterliegt, wie BULL an *Agrion* zeigte.

Das Studium dieser Schlagführung geschieht zweckmäßig an Aufnahmen der genau gerichteten Profilstellung der Objekte, an seitlichen Profilaufnahmen.

Daß diese verschiedene Richtung des Flügelschlages, Vertikalschlag oder Schrägschlag, in engen Beziehungen zur Frequenz und Amplitude steht, möchte ich im Sinne der gegebenen Definition des Begriffes Amplitude hinzugefügt haben. Daß diese Unterschiede aber wesentlich durch das Flugsystem, durch die Typen der direkten und indirekten Flugmechanik und durch deren Mischtypen mitbedingt werden, wurde bereits vorher angedeutet. Immer mehr dürfte sich dies durch die Analyse der verschiedenen Modelle der Typen erweisen und nach denselben beurteilen lassen.

Endlich gelangt man zur Analyse der

Bahn des Flügelschlages

selbst, d. h. des Weges, welchen die Flügelspitze im Unterschiede von der Flügelbasis während eines Flügelschlages zurücklegt. Zu dieser Kurve (*trajectoire de l'aile*), welche durch die seit langem bekannte Acht-Figur charakterisiert ist, vereinigen sich die dem regelmäßig wiederkehrenden stereotypen Ablauf des Flügelschlages zugrunde liegenden Teilmechanismen, welche in den Hauptelementen der Muskulatur gegeben sind und vermittels der Gelenkkonstruktion zu typischem Ausdruck kommen.

Die Analyse dieser Teilmechanismen und ihrer gegenseitigen Bedingtheit, das Verhalten der Kurven unter den verschiedenen Bedingungen des Fortschreitens des Tieres im Raum, ist das Ziel erneuter Studien. Einzelheiten der Teilphasen harren auch in anatomisch-kinematischer Beziehung zum Teil noch der Klärung, wenn auch die Hauptphasen, wie z. B. die Drehmomente während der Phasen extremen Hochstandes und Tiefstandes des Fluges in ihrer anatomischen Beziehung im allgemeinen bereits klar erkannt werden konnten.

Die zwangsläufig gegebenen Hauptelemente der Konstruktion bestimmen demnach das allgemeine Bild dieser Bahn und finden sich — von der Einwirkung aerodynamischer Faktoren, etwa Durchbiegungen der Flügelflächen begleitet — zu einer überall wiederkehrenden Elementarkurve zusammen, welche der Bahn des Flügelschlages bei den Insekten eine so große Einförmigkeit verleiht. Sie ist der Ausdruck des Zwanges aerodynamischer Faktoren,

welche auf den verschiedenen parallelen Linien der Entwicklung des Flugvermögens im Tierreich aus verschiedensten morphologischen Grundlagen heraus zu zahlreichen konvergenten Einrichtungen und zu einem gleichartigen Ablauf der Erscheinungen geführt haben, für deren stufenweise Verwirklichung im phylogenetischen Sinne, wie bereits gesagt, allerdings der Luftwiderstand die maßgebende gestaltende Beziehung gewesen sein mag.

Dank dem Entgegenkommen des Vorstandes der Deutschen Zoologischen Gesellschaft konnte eine größere Anzahl von Films, etwa 43, in einem Freiburger Kinematographentheater (Weltkino) vorgeführt werden. Zu dieser Vorführung sei folgendes bemerkt: Infolge zwingender Umstände konnte eine Umarbeitung der Negative in Positive nicht erfolgen. Das wäre an sich kein Nachteil gewesen; aber die vom BULL'schen Apparat stammenden Aufnahmen zeichnen sich hinsichtlich der Vorführung durch zwei Hauptnachteile aus: 1. die Einzelbilder sind nicht äquidistant, d. h. das Tempo der Bildfolge ist unregelmäßig, da der photographierende Funke unregelmäßig überspringt; 2. da die Länge (in der Richtung des Filmbandes) eines Teilbildes etwas größer ist als die allgemein angenommene Normallänge, welche regelmäßig vier Löcherpaare der seitlichen Randperforation umfaßt (die Länge der vom BULL'schen Apparat stammenden Einzelbilder ist um etwa $\frac{1}{6}$ Bildlänge größer, d. h. auf 4×6 Bilder kommt ein Einzelbild hinzu), so wandert das Bild in störender Weise auf der Projektionsfläche, ohne jedoch den Eindruck der Flugerscheinungen zu hindern.

Für Zwecke der normalen Vorführung müßten umständliche Umarbeitungen vorgenommen werden¹⁾.

Andere Fehler des BULL'schen Aufnahmeapparates: Ungleichheiten der Belichtung traten weniger, Doppelbilder und Bildausfall an den ausgewählten Aufnahmen gar nicht hervor.

Die Wiedergabe der Flugerscheinungen erfolgte in äußerst verlangsamer Weise, welche einen genauen Einblick in die Teilphasen der Flügelbewegungen unter Berücksichtigung der Darstellung nach drei Dimensionen fixierter Tiere und in den Freiabflug gestattete, bei systematischer Anordnung der Insekten. Es wurden vorgeführt: *Stenobothrus*, *Agrion*, *Cloëon*, *Chrysopa*, *Lycaena*, *Agrotis*, *Bombus*, *Rhagonycha*, *Coccinella*, *Capsus*, *Typhlocyba*, *Tipula*, *Musca domestica* und *vomitaria*, *Eristalis tenax*, *Culex*. *Plecoptera*, *Trichoptera* und *Libellula* konnten nicht vorgeführt werden. Nachfolgende Abbildungen geben eine Anschauung von dem Prinzip der Vorführung.

Nachtrag zur Arbeit 1913. Verhandl. d. deutsch. Zoolog. Gesellsch., Bremen, S. 140:

Schwebefallflug bei den Nematocera, analog dem der Ephemeriden; vgl. die Analogie der verlängerten Extremitäten zu den Cerci nebst appendix dorsalis und verlängerten Vorderbeinen bei Ephemeriden.

¹⁾ Die Firma Meßter-Projection Berlin erklärte sich außerstande, diese Umarbeitung vorzunehmen.

Erklärung der Figuren.

Bildserien I—III: Die Flügelschläge auf der Doppelnadel fixierter Libellen (*Agrion spec.*) in 3 Aufnahmereihen.

I. Frontalaufnahme, II. Profilaufnahme, III. Dorsalaufnahme, zur Erläuterung der angewandten Methode der Untersuchung fixierter Objekte in den drei Dimensionen des Raumes (vgl. Text S. 74). Die Bildreihen enthalten je eine volle Amplitude eines Flügelschlages. Die Berechnung der Frequenzen wird durch die schwingende Zeitnadel (48 mal in der Sekunde) ermöglicht. Hierzu kommt als 4. Art des Aufnahmeverfahrens die Libelle im freien Fluge, wozu man BULL's Aufnahme (l. c. 1905 Tafel II) vergleiche. Die von mir aufgenommenen Freiabflugaufnahmen werden später veröffentlicht werden.

Bildserie IV: *Eristalis tenax* (Syrphide) im freien Abfluge begriffen, als Beispiel für die 4. Art des Aufnahmeverfahrens des Fluges nicht fixierter Insekten.

Bildserie V: Dorsalaufnahme eines Käfers, *Rhagonycha melanura* (Telephoride), des Vertreters einer bisher noch nicht analysierten Insektenordnung. Die Fixierung geschah hier noch nicht mittels der empfohlenen, später durchweg angewandten Doppelnadel; das Tier zeigt eine etwas schräge Haltung.

Fig. 1

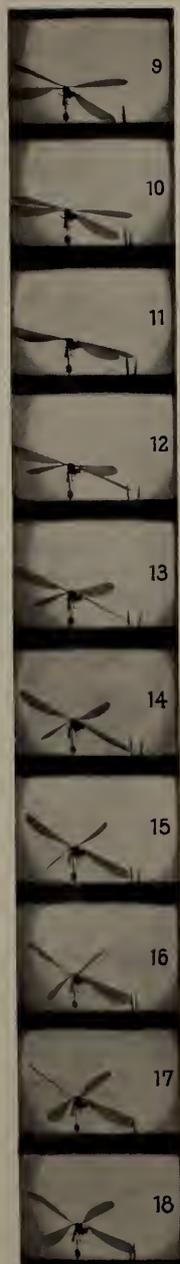


Fig. 2

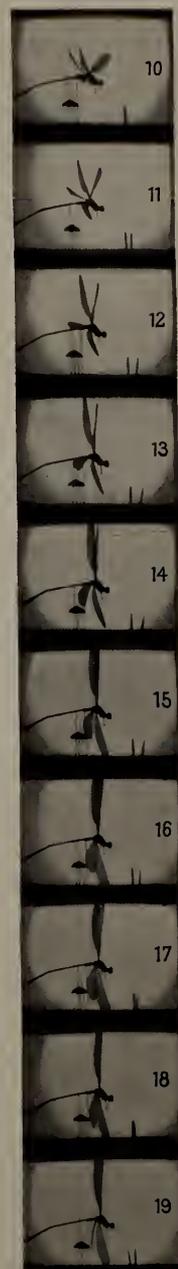


Fig. 3

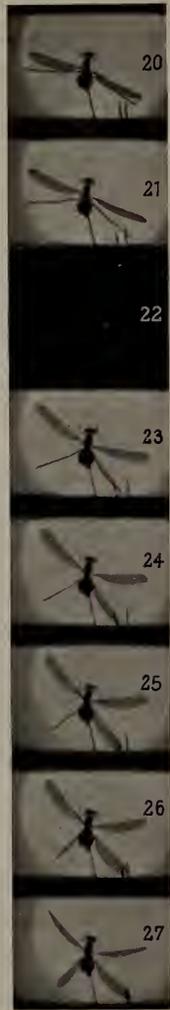
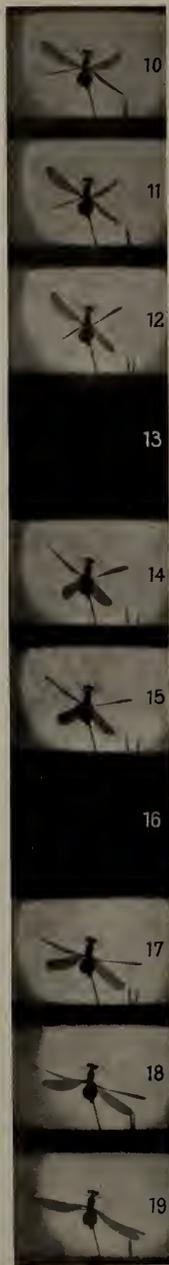
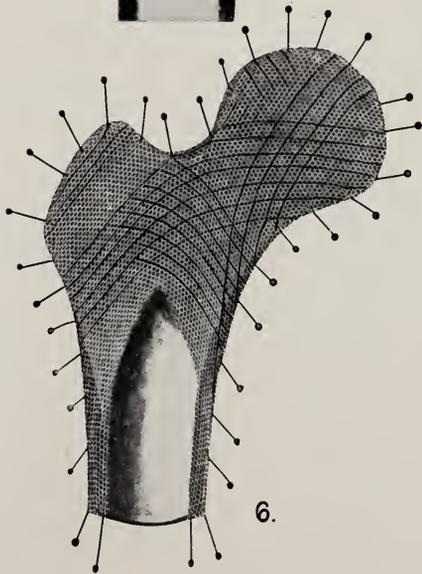
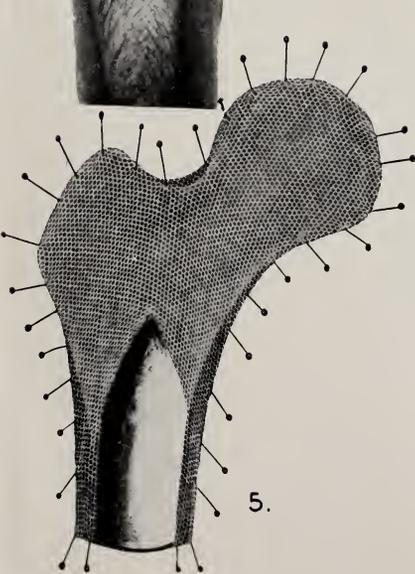
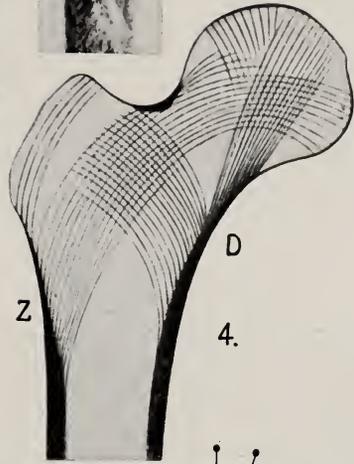


Fig. 4



Fig. 5





PROFESSOR KONRAD GUENTHER (Freiburg):

Gedanken zur Deszendenztheorie.

Meine Herren!

Die Stätte, die sich die Deutsche Zoologische Gesellschaft in diesem Jahre zu ihrer Tagung gewählt hat, ist mehr als vierzig Jahre eine Hochburg der Deszendenztheorie gewesen. Das wurde ja bereits gesagt. Und auch meine Ausführungen sollen Ihnen die Erinnerung an Freiburgs biologische Bedeutung wachrufen.

Man hört heute nicht selten die Meinung äußern, die Periode deszendenztheoretischer Forschung sei vorüber. Die einen — und das ist die Mehrzahl — meinen, das sei deswegen der Fall, weil die Deszendenztheorie zum bleibenden Bestand der Wissenschaft geworden sei, dessen weitere Begründung sich erübrige. Die anderen sind entweder Gegner der Deszendenztheorie überhaupt, oder sie halten doch ihre Ausbeutungsmöglichkeit für gering. Vor allem meinen sie, DARWIN'S Selektionstheorie ablehnen zu müssen oder überhaupt Versuche, die Entwicklung der Lebewesen aus physikochemischen Vorgängen und Stoffen abzuleiten. Und ebenso herrscht bei vielen eine starke Abneigung gegen die Aufstellung phylogenetischer Stammbäume.

Aber selbst wenn dem so wäre, wenn die Deszendenztheorie ihre Rolle in der biologischen Forschung ausgespielt hätte, dürfte man sich doch nicht dabei beruhigen, sie einfach beiseite zu legen. Wie es dem Künstler, dem Handwerker zuwiderläuft, etwas noch Unvollendetes wegzutun, so sollte auch der Forscher in einer Arbeit, die ihm Jahrzehnte lang beschäftigt hat, nicht aufhören, ohne sie zu Ende geführt zu haben. Wer aber gar der Ansicht ist, daß die Deszendenztheorie noch lebenskräftig und berufen sei, zu der Erforschung der Organismenwelt weiter mitzuhelfen, für den ist es geradezu Pflicht, zuerst einmal das Handwerkszeug selbst genau zu studieren, seine Leistungsfähigkeit und Bedeutung zu erproben, ehe er mit ihm weiterarbeitet. Und das ist durchaus noch nicht in genügendem Maße geschehen. Ich erinnere mich, wie einmal ein Darwinist sich dagegen wehrte, die Deszendenztheorie als Gesetz bezeichnet zu haben, ohne doch hinzuzufügen, was sie nun eigentlich sei. Theorie, Gesetz, Prinzip, Tatsache, das alles sind Begriffe, die in der ganzen Literatur der Entwicklungslehre vielfach durcheinandergemengt werden, und gerade aus der Unklarheit über derartige Grundbegriffe erklären sich die vielen Ungenauigkeiten und Mißverständnisse, die in wenig Gebieten so häufig sind, wie gerade

in den Entwicklungstheorien. Wendungen, wie: es ist eine Tatsache, daß der Mensch aus niederen Tieren sich entwickelt hat oder ähnliche, die eben einfach Unwahres behaupten, finden sich auch in den Werken von Fachgelehrten, die durchaus als Autoritäten in diesen Sachen angesehen werden wollen. Die Mathematiker streben heute eine „Axiomatisierung“ ihrer Wissenschaft an. Es ist Zeit, daß ihnen die Biologen folgen.

Ich möchte Ihnen, meine Herren, nun zeigen, daß das deszendenztheoretische Handwerkszeug gerade dann, wenn wir es genau prüfen, den Wert seiner Gebrauchsfähigkeit und deren Grenzen erkennen, neue und fruchtbringende Arbeit zu leisten imstande ist. Wir werden uns dann vor zweckloser Arbeit hüten können, mit der leider eben wegen der Verkennung des Machtgebietes der Entwicklungslehren schon viel zu viel Zeit verloren wurde und werden wissen, was von dem Erarbeiteten wir als wohlfundamentiertes Gemeingut der Wissenschaft einordnen können. Bei der Kürze der mir zur Verfügung stehenden Zeit kann ich dabei nur in kurzen Sätzen und Hinweisen sprechen, muß Ihnen gewissermaßen einen Extrakt vorsetzen. Wer ausführliche Begründungen wünscht und Durchsprechung der Literatur, den muß ich auf diejenigen meiner Arbeiten¹⁾, die diese Themen behandeln, verweisen. Auch hoffe ich im nächsten Jahre eine weitere Arbeit über das Gebiet, das, je mehr man es erschließt, um so weitere Ausblicke bietet, zu veröffentlichen.

1. Die Deszendenztheorie.

Wir beginnen damit, das Machtgebiet der Deszendenztheorie zu untersuchen. Als was müssen wir diese Theorie bezeichnen, als Axiom, Gesetz oder Prinzip? Von ersterem können wir gleich im vorhinein bei ihr, wie bei den anderen biologischen Theorien absehen. Ein Axiom ist ein Satz von einleuchtender Gewißheit, der keines Beweises bedarf, noch fähig ist. In der Mathematik werden in systematischer Anordnung alle Lehrsätze auf solche Axiome zurückgeführt, die die Voraussetzungen, die Grundlagen des ganzen mathematischen Gebäudes bedeuten. In den Naturwissenschaften ist die Kausalität das wichtigste Axiom; die Kausalität ist durchaus kein Gesetz, wie man in biologischen Schriften noch so oft liest,

¹⁾ Der Darwinismus und die Probleme des Lebens. Freiburg i. Br. 1904. Rückkehr zur Natur? Leipzig 1907. Vom Urtier zum Menschen. Stuttgart 1909. Die Lehre vom Leben. Stuttgart 1909.

sondern die unbewiesene, unzubeweisende, aber unbedingt notwendige Voraussetzung zu allen Gesetzen. Wer sich also richtig ausdrücken will, darf nur von einem Kausalitätsaxiom reden.

Ist die Deszendenztheorie ein Gesetz? In unserer Wissenschaft ist Gesetz gleichbedeutend mit Naturgesetz. Die beste Definition eines solchen hat der Philosoph HEINRICH RICKERT¹⁾ gegeben. Nach ihm hat ein Naturgesetz drei Merkmale. Es enthält das Gemeinsame einer Anzahl von Vorgängen, es hebt dieses Gemeinsame in bestimmter Fassung hervor und hat endlich allgemeine Geltung. Der Forscher kommt zu einem Gesetz, indem er gewisse Vorgänge miteinander vergleicht und nachsieht, was ihnen gemeinsam ist, er liest also das Gesetz aus einer beschränkten Anzahl von Vorgängen ab, verlangt aber, daß es nicht nur für diese, sondern überall gelte, wo derartige Vorgänge sich abspielen, er weist ihm also die Macht über eine unendliche Anzahl von Vorgängen zu, und zwar unabhängig von Zeit und Raum. Findet sich nur ein derartiger Vorgang, in dem das Gesetz nicht exakt zur Geltung kommt, so ist es umgestoßen, denn Naturgesetze unterscheiden sich dadurch von grammatikalischen Regeln, daß sie keine Ausnahme vertragen.

GALILEI erschloß seine Fallgesetze aus der direkten Beobachtung fallender Körper vom schiefen Turm von Pisa. Er formulierte sie in Regeln, wie die Körper fallen. Derartige Gesetze befriedigen uns aber noch nicht ganz. Wir wollen nicht nur wissen, wie sie gelten, sondern auch, warum sie gelten. Dazu müssen wir sie auf ein anderes, umfassenderes Gesetz zurückführen. In dem eben erzählten Falle tat das NEWTON. Er erklärte die Fallgesetze durch das Gravitationsgesetz, in dem er das Fallen von Körpern auf die allgemeine Anziehung von Körpern zurückführte. Dieses letztere Gesetz gilt nicht nur für fallende, sondern für Körper in jedwedem Bewegungszustand, und nicht nur auf der Erde, sondern auch im ganzen Weltenraum. Es ist also umfassender als die Fallgesetze. NEWTON verband die Fallgesetze und die durch Beobachtung und Berechnung gefundenen Planetenbahnen durch einen Schluß, das ergab das Gravitationsgesetz. Dieses ist also nicht, wie die Fallgesetze aus der unmittelbaren Beobachtung hervorgegangen, es ist ein theoretisches Gesetz; daher spricht man mit Recht von der Gravitationstheorie.

¹⁾ Die Grenzen der naturwissenschaftlichen Begriffsbildung. Tübingen, Leipzig 1902. Jetzt in 2. Auflage.

Ist nun mit ihr die Deszendenztheorie zu vergleichen? In der Tat, auch diese Theorie wird aus einem Gesetz und einer Beobachtung erschlossen. Ein Gesetz, das wir als Grundgesetz des Lebens bezeichnen können, das wir überall aus der unmittelbaren Untersuchung ablesen können und von dem noch keine tatsächliche Ausnahme bekannt geworden ist, heißt: Kein Organismus entsteht von selbst, immer nur von anderen Organismen¹⁾. *Omne vivum e vivo*. Wir können für die Zoologie dieses Gesetz kurz folgendermaßen fassen: Jedes Tier hat Eltern oder besser Ahnen. Die Beobachtung nun lehrt uns, daß in früheren Erdepochen andersgestaltige Lebewesen auf der Erde ihr Wesen trieben. Beides verbinden wir durch einen Schluß: Wenn die Tiere Ahnen haben, dann müssen in vergangenen Erdepochen auch die Ahnen der heutigen Tiere gelebt haben. Wir finden aber in den geologischen Schichten jener Zeit nur andersgestaltige Formen, und wenn unter diesen die Vorfahren der heutigen Tiere zu suchen sind, so müssen sich die Tiere seit jenen Zeiten umgewandelt haben.

Faßt man jetzt die Deszendenztheorie folgendermaßen: Die Organismen einer Epoche sind aus denen vorausgegangener Erdepochen entstanden, indem sich ihre Formen umwandelten, so ist die Ähnlichkeit mit den theoretischen Gesetzen der Physik und Chemie in der Tat groß. Aber die Deszendenztheorie enthält auch noch zwei andere Behauptungen. Diese besagen, daß erstens die komplizierteren aus einfacheren Organismen entstanden sind und daß zweitens, je weiter wir in der Erdgeschichte zurückgehen, um so mehr Ahnenreihen zusammenlaufen, bis schließlich alles in den einfachsten Lebewesen endet.

Auch diese Erweiterungen der Deszendenztheorie sind Schlüsse, die aus der Beobachtung stammen. Und zwar nicht nur aus der Erschließung der geologischen Erdschichten und der darin enthaltenen Tierreste, sowie ferner aus der vergleichenden Untersuchung des Baues der Tiere und ihrer Entwicklung, sondern auch aus der allgemeinen Betrachtung des Naturgeschehens überhaupt. Überall, auch in der leblosen Welt und in den astronomischen Erscheinungen sehen wir, daß das Kompliziertere aus dem Einfacheren entsteht, und daß Vielfaches und Verschiedenes von Einfachem ausgeht. Die

¹⁾ Man darf dabei nicht vergessen, daß dieser Satz zur Voraussetzung hat, daß die Bedingungen zum Leben gegeben sein müssen. Ein derartiges Bedingungsmoment läßt sich bei der Betrachtung der Organismenwelt nicht ausschalten, ist auch der Grund, daß man, wenn man mit ihm wechselt, andere Lebensbedingungen voraussetzt, die Theorie einer Urzeugung einschalten kann.

soeben genannten Zusätze zur Deszendenztheorie sind also gewissermaßen dem Naturforscher sehr naheliegende Übertragungen von allgemeinen naturwissenschaftlichen Vorstellungen auf biologische. Haben sie solchergestalt viel Wahrscheinliches für sich und liegen sie auf einem Wege, den die Naturforschung immer wieder als den für sie wichtigsten und allein befriedigenden erkannt hat, nämlich dem zur Einheit, so nehmen sie doch auch andererseits der Deszendenztheorie das streng Gesetzliche. Denn in dieser erweiterten Fassung verliert die Deszendenztheorie ein für ein Gesetz unentbehrliches Charakteristikum, das ist die bestimmte Fassung. Wir können nicht scharf und eindeutig sagen, die komplizierteren Organismen entwickeln sich aus einfacheren, sondern wir müssen da die Worte hinzufügen: im Durchschnitt der Fälle, im allgemeinen, wenn wir größere Erdepochen zusammenfassen. Denn in Einzelfällen entwickeln sich oft auch einfache Tiere aus komplizierten, wie uns z. B. viele Parasiten beweisen. Nur im großen Verlauf der Entwicklung gilt obiger Satz. Man versuche aber nur einmal, bei physikalischen Naturgesetzen die Worte: im Durchschnitt, im allgemeinen hinzuzusetzen und man wird sofort sehen, daß das unmöglich ist. Ein Gesetz, das nicht in jedem es betreffenden Falle zur Geltung kommt, ist kein Gesetz mehr, und somit können wir die Deszendenztheorie, bei der das der Fall ist, nicht mehr als Gesetz bezeichnen, sondern als ein Prinzip, einen naturwissenschaftlichen Begriff, von dem noch die Rede sein wird.

Die Abstammungsgeschichte.

Gegner der Deszendenztheorie haben nicht selten dieser Lehre vorgeworfen, daß es in vielen Fällen nicht gelänge, die Ahnenreihen von Tieren oder ganzen Tierklassen einwandfrei festzulegen. Schon deshalb, meinten sie, müsse an ihrer Berechtigung gezweifelt werden. Diese Anschauung beruht aber auf der Durcheinandermengung gänzlich verschiedener Begriffe. Deszendenztheorie und Abstammungsgeschichte sind zwei vollkommen getrennte Dinge, und selbst wenn die eine versagte, würde die andere dadurch in keiner Weise erschüttert werden. Die Abstammungsgeschichte beschäftigt sich, wie jede Geschichte, mit einmaligen historischen Vorgängen, denn solche sind die Entwicklungsreihen, die die Ahnengeschichte eines Tieres bilden. Wir wollen, wenn wir die Abstammungsgeschichte eines Lebewesens erforschen, die ganz bestimmten und eigenartigen Organismen kennen lernen, aus denen sich gerade dieses Tier entwickelt hat und die ebenfalls nur für

dieses geltende einmalige Weise, wie das geschehen sein konnte. Und an den Ahnenformen wird uns das interessieren, was sie von anderen unterscheidet, denn das bringt sie ja gerade in Beziehung zu dem einen Tier, dessen Vorfahren wir suchen. Das alles sind historische Probleme, mittels historischer Methoden zu erschließen, die den naturwissenschaftlichen Gesetzen, Prinzipien und Theorien genau entgegengesetzt sind. Denn zu einem Gesetz kommen wir, wenn wir gerade das Bestimmte, Eigenartige, nur für den einen Fall Geltende weglassen und das Gemeinsame suchen, das den beobachteten Fall mit anderen Fällen verbindet. Ein Gesetz, das nur für einen Fall gilt, ist ein Unsinn, und von der Deszendenztheorie zu verlangen, sie solle uns die Abstammungsgeschichte eines Tieres aufdecken, wäre ebenso töricht, wie aus GALILEI'S Fallgesetzen erschließen zu wollen, welche Körper es waren, die der Gelehrte fallen ließ, zu welcher Stunde er es tat und an welcher Säule des Turmumgangs er dabei stand. Es gibt wohl einen Weg vom Speziellen zum Allgemeinen, aber nicht vom Allgemeinen zu einem bestimmten Speziellen zurück. Kommen wir also durch Vergleichung der Entwicklungen der Tiere zur Deszendenztheorie, so wird an dieser nichts geändert, ob wir nun — in einem anderen Wissensgebiet und mit anderen Methoden — die Entwicklungsreihen im einzelnen finden oder nicht.

Geschichte wird aus Urkunden erschlossen. Auch die Abstammungsgeschichte hat solche Urkunden, von denen die wichtigste die Schichten der Erde mit den Resten der vorweltlichen Tiere ist. Diese teilt mit den historischen Urkunden die Eigenart, um so unvollständiger zu werden, je entlegenere Zeiten sie behandelt. Aber ein fundamentaler Unterschied ist vorhanden. Die historischen Urkunden dürfen wir, wenn auch mit Kritik, doch stets ohne weiteres benutzen. Sie haben eine eigene Sprache, die von Taten redet, die ein Werden vermittelt. Die paläontologischen Urkunden hingegen enthalten nur ein Sein. In den ägyptischen Aufzeichnungen heißt es zum Beispiel, dieser König wäre der Sohn von jenem gewesen. Die Paläontologie zeigt uns hingegen nur Formen, und wir sind es, nicht die Urkunde, die die Formen in Beziehung zueinander bringen, die eine aus der anderen entstehen lassen. Das mögen sich diejenigen recht vor Augen halten, die immer wieder von den „Tatsachen“ der Wirbeltierabstammung des Menschen oder ähnlichem sprechen. Die Reste der vorweltlichen Tiere sind sozusagen Punkte, die nur dann von Werden und Entwicklung reden, wenn wir sie durch Linien verbinden.

Ein solches Verfahren wäre willkürlich und unwissenschaftlich, wenn wir nicht die Berechtigung nachweisen könnten, daß wir die paläontologische Urkunde derartig umarbeiten dürfen. Und diese Berechtigung ist es, nichts anderes und nicht mehr, was uns die biologischen Theorien, Gesetze und Prinzipien geben. Sie helfen uns nicht bei der Aufstellung der Abstammungsreihen selbst, sind aber die notwendige Voraussetzung zu dieser Arbeit.

Zunächst gibt uns die Deszendenztheorie die Berechtigung, überhaupt unter den Tieren der Vorzeit und auch unter andersgestaltigen, nach den Vorfahren der heutigen zu suchen, denn sie lehrt, daß die heutigen Organismen in der Vorzeit Vorfahren gehabt und sich im Laufe der Generationen umgewandelt haben. Welche Wesen wir nun für die Ahnengeschichte einer bestimmten Art zu wählen haben, das sagt uns ein Gesetz des Lebens, daß die Organismen einander um so ähnlicher sehen, je näher sie miteinander blutsverwandt sind. Auch dieses Gesetz ist besser Prinzip zu nennen, da wir es ebenfalls durch die Worte „im Allgemeinen“ abschwächen müssen, denn es gibt Konvergenzerscheinungen im Tierleben, durch die auch weiter verwandte Tiere — in Anpassung an dieselbe Lebensweise — ähnlich werden können, wie etwa Distomum und Pentastomum. Da aber die Ähnlichkeit im Bau, die auf Verwandtschaft beruht, älter und durchgreifender ist, als die durch Konvergenz hervorgegangene, gelingt es doch meistens, den Unterschied festzustellen. Wir müssen also, wenn wir die Ahnen einer Tierart suchen, die dieser ähnlichsten Formen aus der letztvergangenen Erdepoeche herauswählen, dann die ähnlichsten aus den vorletzten und so fort. So erhalten wir eine lange Reihe von Formen, die Schritt für Schritt sich nach der heutigen Tierart umwandeln. „Natura non facit saltum“ sagt uns ein drittes Gesetz, und ist uns eine derartige allmähliche Überführung gelungen, so gibt uns dieses Gesetz die Berechtigung, die Ahnenreihe als im hohen Grade wahrscheinlich anzuerkennen.

Derartige Reihen konnten nun freilich in nur ganz vereinzelten Fällen zusammengebracht werden, und das liegt an der Unvollständigkeit der paläontologischen Urkunden. Daß eine derartige Unvollständigkeit vorhanden sein muß, ist so oft und so einleuchtend nachgewiesen worden, daß es gänzlich unangebracht ist, aus der Schwierigkeit, ja häufigen Unmöglichkeit der Arbeit auf eine falsch gestellte Aufgabe zu schließen. Theorie und Praxis sind Dinge von sehr verschiedener Art, wir dürfen nicht die eine für die andere verantwortlich machen.

Und gerade dort, wo die paläontologische Urkunde schweigt, nämlich vor allem in dem, was die Weichteile der Tiere betrifft, tritt eine zweite Urkunde ein: die vergleichende Morphologie. Wieder sind es erstens Deszendenztheorie und zweitens das Prinzip von der Ähnlichkeit blutsverwandter Tiere, die uns die Berechtigung geben, die heutigen Tiere nach größerer und geringerer Ähnlichkeit zusammenzustellen und das ganze System als Ausdruck einer Blutsverwandtschaft zu betrachten. Ein solches System gab es schon früher, aber erst DARWIN und HAECKEL haben uns die wissenschaftliche Erklärung dafür gegeben, warum es sich aufstellen läßt, und uns gesagt, nach welchen Prinzipien das zu geschehen hat. Das Prinzip von der Ähnlichkeit blutsverwandter Tiere ist das der Vererbung. Je mehr es durchforscht wird, um so mehr wird auch die Abstammungsgeschichte von ihm haben, denn es wird dieser immer wieder neue Berechtigungen geben, ihr Material nach der oder jener Richtung zu untersuchen. Hier liegen noch große Möglichkeiten für die Zukunft.

Das Vererbungsprinzip erlaubt uns aber nicht nur, die heutigen Tiere als „Brüder, Vettern usw.“ miteinander in Zusammenhang zu bringen, sondern auch das Bild des längst dahingegangenen Ahnen wieder aufleben zu lassen. Wir beobachten nämlich beim Studium der Vererbung, daß im allgemeinen Merkmale, welche Geschwistern gemeinsam sind, von ihren Vorfahren ererbt wurden. Wenn sämtliche Kinder eines Elternpaares eine besonders geformte Nase aufweisen, so ist anzunehmen, daß auch einer der Eltern eine solche Nase besessen hat. Diese Beobachtung berechtigt uns, die verwandten Tiere auf das ihnen Gemeinsame zu untersuchen, und letzteres als Charakteristikum des Ahnen hinzustellen. Wenn wir z. B. bei allen Klassen der Wirbeltiere ein Achsenskelett finden, so werden wir mit Recht dieses Organ auch dem gemeinsamen Ahnen, dem „Urwirbeltier“ zuschreiben, und zwar in der einfachsten Form, in der wir es beobachten, wozu uns wieder der Satz der Deszendenzlehre, daß das Kompliziertere aus dem Einfacheren entsteht, die Berechtigung gibt. Natürlich erhalten wir auf solche Weise nicht ein genaues Bild des Vorfahren, sondern stellen nur seine Organisationsstufe fest, die eine sehr verschiedene Ausbildungsmöglichkeit zuläßt. Das beweisen z. B. die unendlich verschiedenen Tierformen, die alle auf der Organisationsstufe der Fische stehen.

Es gibt noch eine dritte Urkunde der Abstammungsgeschichte. Diese sei, als prinzipiell noch am wenigsten geklärt, besonders behandelt.

Das biogenetische Prinzip.

Die dritte Urkunde, die imstande ist, die Abstammungsgeschichte der Organismen zu erhellen, ist die Entwicklungsgeschichte. Die Berechtigung, sie zu benutzen, geben uns jene Beziehungen zwischen Ontogenese und Phylogenese, die FRITZ MÜLLER und ERNST HAECKEL als „Biogenetisches Gesetz“ formuliert haben. Die Aufstellung dieses Gesetzes war eine der wichtigsten Taten in der Biologie, und sie hat unübersehbare Früchte getragen. Alle Bewunderung vor seinen Begründern darf uns aber nicht zurückhalten, die Formulierung, ja schon den Namen des Gesetzes auf ihre Richtigkeit hin zu prüfen. Denn in der Wissenschaft ist die unrichtige Benennung eines Begriffes nicht gleichgültig, hat sie doch einerseits oft falsche Verwendung im Gefolge und hält andererseits die Eröffnung richtiger, vielleicht aussichtsreicher Verwendungsmöglichkeiten zurück.

Daß aber die Bezeichnung „biogenetisches Gesetz“ unrichtig ist, daran kann nach dem, was wir über das Wesen von Naturgesetzen nun gehört haben, kein Zweifel sein. Fehlen diesem „Gesetz“ doch alle Charakteristika eines Naturgesetzes. Eine bestimmte Fassung, die: „die Keimesgeschichte wiederholt die Stammesgeschichte“ lauten müßte, ist unmöglich, weil ontogenetische Anpassungen die Ahnenbilder, die in der Keimesentwicklung auftauchen sollten, verwischen. Deswegen heißt es ja auch, die Ontogenese wiederhole die Phylogenese im allgemeinen, oft mehr, oft weniger unvollständig, und HAECKEL selbst, der das sehr wohl erkannte, hat die Worte „Cenogenese“ und „Palingenese“ eingeführt und von der „Fälschung“ dieser letzteren gesprochen. Ein Naturgesetz kann aber weder gefälscht, noch auch nur im geringsten verändert werden, sonst ist es eben kein Gesetz. Man versuche doch einmal die Fallgesetze zu „fälschen“! Ein Gesetz muß ferner allgemeine Geltung haben, es verträgt nicht eine Ausnahme. Das biogenetische „Gesetz“ jedoch hat deren so unzählige, daß diese fast die Fälle überragen, in denen es zutrifft. So sagt ein so gründlicher Kenner der Entwicklungsgeschichte der Wirbeltiere wie KEIBEL¹⁾, daß „je höher man in der Reihe der Wirbeltiere aufwärts steige, desto weniger es möglich sei, von einer Geltung des biogenetischen Gesetzes zu sprechen“. Und ein ganzer großer Stamm folgt dem biogenetischen „Gesetz“ in seiner Organisations-

¹⁾ In O. HERTWIG's Handbuch der Entwicklungsgeschichte der Wirbeltiere. Jena 1906.

stufe überhaupt nicht. Das sind die Protozoen, die von Anfang ihrer Entwicklung an das Stadium der Zelle zeigen, trotzdem wir uns vorstellen müssen, daß in ihrer Phylogenese zellenlose Stadien dem der Zelle vorausgingen.

Die Unzulänglichkeit des biogenetischen Gesetzes erkennend, hat OSKAR HERTWIG¹⁾ vorgeschlagen, seine Fassung derartig zu ändern, daß statt „Wiederholung von Formen ausgestorbener Vorfahren“ gesagt würde: „Wiederholung von Formen, welche für die organische Entwicklung gesetzmäßig sind und vom Einfachen zum Komplizierten fortschreiten.“ Wenn gewisse Formzustände, meint O. HERTWIG, in der Entwicklung der verschiedenen Tierarten mit so großer Konstanz und in prinzipiell übereinstimmender Weise wiederkehrten, so läge das hauptsächlich daran, daß sie unter allen Verhältnissen die notwendigen Vorbedingungen lieferten, unter denen allein sich die folgende höhere Stufe der Ontogenese hervorbilden könne. Ist das aber auch wirklich der Fall, so müssen wir fragen. Freilich gibt es Formzustände, die in der Entwicklung von fast allen Tieren wiederkehren, wenn es gilt, eine ebenso allgemeine, weiterführende Stufe der Ontogenese zu schaffen. Notwendig aber sind sie deswegen doch nicht, da wir auch Tiere kennen, bei denen sich die letztere Stufe aus einer andersgestaltigen vorhergehenden entwickelt. Ich erinnere an die gänzlich verschiedenen Darmbildungen bei den Hydrozoen, Scyphozoen und Ctenophoren, die alle ein übereinstimmendes Organ schaffen. Und wenn wir gar die Darmbildung der Schwämme hinzunehmen, so wird uns klar, daß die Gastrula keine notwendige Vorstufe zum Darm ist, sondern daß sich ihre Häufigkeit nur aus Ererbung erklären kann. Was aber ererbt ist, das können Neuanpassungen verändern oder gar zum Schwinden bringen.

Ferner schreitet die Ontogenese durchaus nicht nur vom Einfacheren zum Komplizierteren vor, sondern sie macht auch Umwege, läßt Organe entstehen und vergehen, wie die „Kiemenspalten“ der Säugetiere, läuft in Sackgassen, aus denen sie wieder zurück muß. Es ist unnatürlich, auch diese Umwege für notwendige Vorstufen zu halten, weit einfacher hingegen, sie als ererbt zu betrachten und darauf hinzuweisen, daß sie der Phylogenese entsprechen.

Ganz gewiß ist die von O. HERTWIG gestellte Aufgabe an die Entwicklungsgeschichte wichtig und lösenswert. Aber es ist nicht die einzige, die gestellt werden kann. Man kann das Material des

¹⁾ In seiner „Allgemeinen Biologie“ und entwicklungstheoretischen Arbeiten.

Lebens naturwissenschaftlich-gesetzsuchend behandeln oder historisch. Bei der ersteren Methode wird das Individuelle, Spezielle in der Untersuchung beiseite gelassen, denn allgemeine Gesetze können nicht von dem erzählen, was nur für eine Tierart Geltung hat. Das Individuelle, dessen Vorhandensein niemand leugnen kann, ist aber ebenfalls der Erforschung wert. Es wird mittels der historischen Methode erschlossen, die gerade das Einmalige, Eigenartige zu ergründen sucht, also z. B. in der Entwicklungsgeschichte des Menschen das, was diese von der anderer Tiere unterscheidet. Zu einem Gesetz kann man in einem solchen einmaligen Fall nie kommen, wohl aber ist es umgekehrt das „Gesetz“, das durch Vergleichung des Gemeinsamen mehrerer Fälle gewonnen, nun auch jeden neuen in die bestimmte Kategorie gehörigen Fall erklärt.

Oder vielmehr, wie bereits nachgewiesen, es ist ein Prinzip. Unter einem Prinzip versteht man den Anfang, das Erste oder, besser gesagt, das Übergeordnete einer Reihe von Erscheinungen, von dem diese alle abgeleitet werden können. Und das ist in der Tat das Wesen des biogenetischen Prinzips. Wenn wir wissen wollen, ob ein Tier von einem anderen abstammt (präziser ausgedrückt, ob beide von gemeinsamen Eltern abstammen, deren Typus das zweite besser bewahrt hat), dann müssen wir die Entwicklungsgeschichte jenes Wesens von der des letzteren ableiten. Denn das Kind erbt nicht nur das Aussehen der Eltern, sondern auch deren Art und Weise der Lebenstätigkeit, Fortpflanzung und Entwicklung. Das ist der Grund für das Wirken eines biogenetischen Prinzips. Der ererbte Gang der Entwicklung kann sich immer nur allmählich ändern, bildet sich ein komplizierteres Tier aus einem einfacheren, so wird die neue Abänderung an dem Ende der ererbten Ontogenese ansetzen, so daß deren vorletztes Stadium in der Tat im Prinzip dem Bilde der Ahnen entspricht, und verfolgt man diesen Gedanken nach rückwärts, so kommt man allerdings zu der Vorstellung, daß prinzipiell die Ontogenese aus den aufeinanderfolgenden Stadien der Ahnen besteht.

Doch hat schon ALEXANDER GOETTE¹⁾ mit Recht darauf hingewiesen, daß dieses vorletzte Stadium nicht genau das Bild des letzten Vorfahren wiedergeben könne, weil es ja in der Ontogenese noch zur Entwicklung gehöre, jener Ahne aber ein fertiges, geschlechtsreifes Tier gewesen wäre. Und je weiter wir in der

¹⁾ Vorrede zu: „Untersuchungen über die Entwicklungsgeschichte der Würmer.“ Hamburg und Leipzig 1884.

Ontogenese zurückgehen, um so mehr gilt das für die in ihr enthaltenen Ahnenbilder. Ganz abgesehen von cenogenetischen Abänderungen ist schon das ein Grund dafür, daß die Ontogenese nicht genau der Phylogenese entsprechen kann. Auch dürfen wir nach GOETTE nicht vergessen, daß die Stadien der Entwicklungsgeschichte keine voneinander unabhängigen Glieder sind, sondern verschiedene Phasen ein und desselben Vorgangs. Jedes folgende Glied hat seine Ursache im Vorhergehenden, muß es also verändern, wenn es selbst verändert wird, und das geht so fort bis an den Anfang. Eine cenogenetische Änderung eines Stadiums muß solchergestalt alle vorhergehenden und folgenden mit verändern, „ein anderes Produkt der Ontogenese setzt auch einen anderen Verlauf derselben voraus“.

Damit kommen wir auf den evolutionistischen Kern unseres Problems. Jede Verschiedenartigkeit des erwachsenen Tieres oder auch eines Stadiums seiner Ontogenese muß schon im ersten Stadium von dieser, also im Ei vorhanden sein. Wenn wir hier eine derartige Verschiedenheit noch nicht sehen, so liegt das an der Kleinheit des Objekts, an der Unzulänglichkeit unserer Instrumente. Wir können uns die Verschiedenartigkeit gewissermaßen als ein kleines Pünktchen denken, das erst zu einem sichtbaren Felde wird, wenn das allgemeine Wachstum des Eies beträchtlich vorgeschritten ist, etwa wie umgekehrt unser Freiburg, ja ganz Baden in nichts verschwinden würde, wenn die Erde zur Kleinheit eines Balles zusammenschrumpfte. Je durchgreifender die Veränderung, je größer sie am Erwachsenen, um so früher in der Ontogenese muß sie sichtbar werden. Mit dieser Vorstellung haben wir eine Norm für den Gebrauch des biogenetischen Prinzips gewonnen. Zwei Tiere werden dann miteinander nahe verwandt sein, wenn der Gang ihrer Ontogenesen derselbe ist und erst ganz am Ende auseinanderweicht, um hier das, dort jenes Wesen erstehen zu lassen. Und die Probe stimmt. Der Mensch hat die ersten Vorgänge seiner Entwicklung mit allen Tieren gemein, die späteren nur mit den Wirbeltieren, die darauffolgenden nur mit den Säugetieren, die letzten nur mit den Menschenaffen und das entspricht seinen verwandtschaftlichen Verhältnissen im Stamme der Wirbeltiere.

Es werden uns also über den Stammbaum der Tiere nicht einzelne Stadien ihrer Ontogenese belehren, sondern der ganze in sich zusammenhängende Verlauf der Entwicklung. Ontogenese muß mit Ontogenese verglichen werden. Wenn wir z. B. sehen, daß der Mensch eine andere Entwicklung hat, wie die Fische und wissen

wollen, ob er trotzdem von diesen abstammt, so müssen wir zwischen beiden Ontogenesen so lange Entwicklungen von anderen Tieren einschalten, bis wir die genaue Stufenfolge haben, wie sich die Ontogenese des Fisches allmählich in die des Menschen umwandeln konnte. Nur so ist auch das Gastrulationsproblem der Wirbeltiere zu lösen. Nach einem biogenetischen Gesetz müßten die Säugetiere eine Einstülpungs-Gastrula aufweisen. Sie haben sie aber nicht, alle Versuche, eine solche zu konstruieren, sind künstliche Konstruktionen, und so genügt nicht einmal in diesem „Hauptstadium“ der Ontogenese ein biogenetisches „Gesetz“ den Ansprüchen, die man an ein Gesetz unbedingt zu stellen hat. Nach einem biogenetischen Prinzip aber muß die Darmbildung der Säugetiere von der Gastrulation der anderen Wirbeltiere abgeleitet werden, es muß an Übergängen gezeigt werden, wie die erstere sich aus der letzteren durch allmähliche Umgestaltung entwickeln konnte. Und das scheint möglich zu sein¹⁾.

So erhalten wir in der Abstammungsgeschichte zu einer Ahnenreihe von erwachsenen Formen noch eine von Entwicklungen. Diese letztere aber ist die zuverlässigere.

Das Selektionsprinzip.

Die Abstammungsgeschichte hat bei der großen Unvollständigkeit ihrer Urkunden nur dadurch zu ausgedehnteren Resultaten kommen können, daß sie eben drei solcher Urkunden hatte, und daß die aus einer erschlossenen Ahnenreihe an Gewißheit gewann, wenn die zweite oder gar noch die dritte sie bestätigte. Man kann aber auch die Urkunden in mehrfacher Weise verwenden und daraus Vorteil ziehen. Die Berechtigung zu der Art und Weise der Verwendung geben, wie bereits mehrfach gesagt, die naturwissenschaftlichen Gesetze, Prinzipien und Theorien. Wir können also auch eine der Theorien in der Abstammungsgeschichte befragen, die uns nicht das Wie, sondern das Warum der Phylogenese erklären. Bisher ist das freilich wenig geschehen, so hat man z. B. das Wichtigste dieser Erklärungsprinzipien, DARWIN'S Lehre von der Naturzüchtung, noch kaum zur praktischen Erforschung der Abstammungsgeschichte verwandt. Ich glaube aber, daß gerade diese manche sonst hoffnungslos klaffende Lücke schließen kann.

¹⁾ Siehe die Darlegungen in meinem Werk: „Vom Urtier zum Menschen“ Kapitel VI.

Wir fassen die Naturzüchtung am besten in folgende Worte: „Von den Organismen gelangen im Durchschnitt immer die zu längerem Leben und damit zu erfolgreicherer Fortpflanzung, welche mit ihren Lebensbedingungen am besten harmonieren, so daß die nächste Generation hauptsächlich ihre Eigenschaften erbt.“ Aus dieser, wie auch jeder anderen Fassung der Lehre geht ohne weiteres hervor, daß es kein Selektionsgesetz geben kann. Natürlich, denn durch Zufall geht ja auch manches besser angepaßte Tier zugrunde und manches schlechter angepaßte entzieht sich lange seinen Feinden. Die Wirkung der Selektion kommt nur in großen Zeiträumen zur Geltung, da dann auch der Durchschnitt der Fälle etwas Positives ergibt. Aus diesem Grunde ist sie aber kein Naturgesetz, sondern ein Prinzip.

Aber in der soeben aufgestellten Form fördert uns das Selektionsprinzip in der Erforschung der Abstammungsgeschichte noch nicht. Durch einfache Naturzüchtungsvorgänge kann nur die ganze Masse der Organismenwelt umgewandelt werden, im gleichmäßigen Flusse. Die Urkunden der Paläontologie und Morphologie aber geben uns keinen fließenden Strom des Lebens, sondern einzelne Bilder, nämlich lauter wohlumrissene Arten. Und aus solchen Etappenstationen, wenn ich so sagen darf, obgleich es natürlich keine Stationen sind, sondern nur Ausschnitte aus dem Wechsel des Lebens, müssen wir unsere Ahnenreihen zusammensetzen. Ihre Entstehung müssen wir verstehen lernen.

Zur Erklärung der Bildung neuer Arten, der Spaltung von einer Art in zwei oder mehrere und ähnlichen Vorgängen wird man in den weitaus meisten Fällen die Selektion nicht ohne Vereinigung mit dem Isolationsprinzip verwenden können. Das ist nicht nur deswegen notwendig, weil etwaige Variationen, selbst wenn sie von der Naturzüchtung bevorzugt werden, wieder in der Masse verschwinden, wenn ihre Träger nicht irgendwie isoliert werden. Nein, noch ein zweiter Grund ist maßgebend. Nach dem Selektionsprinzip verstehen wir die körperlichen Eigenarten eines Tieres als Anpassungen an seine Lebensbedingungen. Diese rufen gewissermaßen die Umwandlungen hervor, und neue Umwandlungen, Veränderungen nach einer anderen Richtung, mit anderen Worten, die Entstehung einer neuen Art, werden veranlaßt werden, wenn neue Lebensbedingungen anderes verlangen. Wenn aus einem braunen ein weißer Hase werden soll, so muß das betreffende Tier aus den Lebensbedingungen des Waldes in die des Schnees geraten. Kommt dann der weiß gewordene Hase in

die alte Heimat zurück, so stellt er sich als neue Art neben die alte. Die Neuerungen an seinem Körper aber erklären die Lebensbedingungen, die ihn während seiner Isolation umgaben.

Und damit haben wir denn auch schon festgestellt, in welcher Weise das Selektionsprinzip Ausblicke in die Abstammungsgeschichte eröffnen kann. Wenn wir mit Hilfe unserer Urkunden dazu kommen, eine Tierart für den Vorfahren einer zweiten zu halten, dann untersuchen wir, worin sich diese von jener unterscheidet. Die neuen Merkmale sind, so schließen wir, Anpassungen an die Lebensbedingungen, in denen die neue Art entstand. Können wir nun erkennen, an welche Lebensbedingungen die Merkmale Anpassungen darstellen, dann steigt die Urheimat der neuen Art vor unseren Augen auf. Leuchtet uns die Möglichkeit einer solchen Urheimat ein, so haben wir für die Theorie eine neue Stütze gewonnen.

In meinem Werke über die Abstammungsgeschichte des Menschen hatte ich mehrfach Gelegenheit, zwischen Ahnenstadien durch Anwendung einer derartigen Gedankenreihe noch fehlende Brücken zu ziehen oder eine sonst unsichere Vorfahrenform wahrscheinlich zu machen. Ich kann hier auf alle diese Fälle nicht eingehen, nur ein besonders prägnantes Beispiel sei genannt. Die drei Hauptmerkmale der Säugetiere, die diese von ihren Vorfahren, den Reptilien, unterscheiden, sind: eigene Körperwärme, das Fell und das Austragen und Säugen der Jungen. Fragen wir uns, an welche Lebensbedingungen diese drei Eigenarten Anpassungen sein können, so ist die Antwort, welche am meisten für sich hat: an die Kälte. Wir haben uns vorzustellen, daß die Vorfahren der Säugetiere ursprünglich in einem warmen Lande lebten, dessen Klima sich nun aber, innerhalb langer Epochen natürlich, in das einer Polarlandschaft verwandelte. Als Anpassung an diese entstand bei den Ursäugetieren die Eigenwärme, denn Tieren mit wechselwarmem Blut schraubt die Kälte die Körpertemperatur derartig herunter, daß ihre Lebensfunktionen meistens zum Stillstand kommen. Die Eigenwärme wieder bedurfte eines Isolators, und so entstand als Wärmeschutz das Fell. Endlich hatten bei zunehmender Kälte diejenigen Tiere die beste Aussicht, ihre Jungen durchzubringen, die die Eier beim Brüten am meisten mit warmer Haut umgeben konnten (denn die Sonne war auf dem Schnee dazu nicht mehr imstande) oder die sie gar ganz mit sich herumzutragen imstande waren (im Beutel), wodurch jene überhaupt nicht mehr mit dem kalten Boden in Berührung kamen. Ebenso erklärt der mit der

fortschreitenden Abkühlung Hand in Hand gehende Nahrungs-(Insekten-) Mangel die Entwicklung der Mammarydrüsen und ihrer Milch. Die ganze Umwandlungsweise entspricht durchaus unseren, besonders durch die Arbeiten von BRESSLAU gewonnenen Vorstellungen über die Entstehung des Mammarapparates. Sie wird nun aber dadurch zur Wahrscheinlichkeit, daß diejenigen vorweltlichen Reptilien, welche die meiste Ähnlichkeit mit den Säugetieren haben und bereits mehrere der Merkmale dieser Klasse an sich tragen, ich meine die Theromorphen, in ihrem größten Artenreichtum in der Karrooformation Südafrikas vorkommen. Für diese Formation haben aber die Geologen nachgewiesen, daß damals eine Eisdecke Südafrika überlagerte. Das ist eine Probe auf das Exempel, die auf das Verblüffendste stimmt.

Ebenso bringt das Selektionsprinzip dadurch, daß es uns berechtigt, die Eigenarten der Organismen als Anpassungen aufzufassen, das Problem der Menschwerdung seiner Lösung näher. Die Neuerungen, welche Mensch und Affe miteinander teilen, müssen als Anpassungen an die Lebensbedingungen des gemeinsamen Vorfahren entstanden sein. Dieser muß aber dann ein Baumbewohner gewesen sein. Denn alle jene Eigenarten lassen sich am leichtesten als Anpassungen an ein Baumleben verstehen, so vor allem die Greifhand, die Verkürzung des Rumpfes, die Beschränkung der Milchdrüsen auf die Brust, welche letztere Eigenart einen Sprung von Ast zu Ast mit dem Jungen an der Brust gestattet. Das Zusammenrücken der Augen ermöglicht ein zur Bemessung der Abstände wichtiges perspektivisches Sehen, überhaupt verlangt ein Baumleben gute Sehorgane, während die Nase rückgebildet werden kann, da die Luft keine Spur hinterläßt. In diesen beiden Eigenarten harmonieren darum Mensch und Affe mit den Vögeln, wie ferner auch in der Modulationsfähigkeit der Stimme. Auch die Rückbildung der Hautmuskulatur läßt sich aus dem Baumleben erklären, weil es in den Wipfeln weniger Insekten gibt, als unten. Man sieht, das alles weist auf einen Vorfahren hin, der durch seine Anpassungen an das Baumleben affenähnlich gewesen sein mußte, womit die Hypothese von dem menschenähnlichen Ahnen von Mensch und Affe fällt.

Das nächste Stadium der Menschwerdung wird, wie oft genug auseinandergesetzt worden ist, durch die Ausbildung des Fußes, die Annahme einer aufrechten Haltung charakterisiert. Wenn der Mensch zu einem gehenden Lebewesen wurde, so mußte der Wechsel seiner Lebensbedingungen sich dergestalt vollzogen haben, daß sein

Vorfahre zum Verlassen der Bäume gezwungen wurde. Der Wald, in dem dieser gelebt hatte, mußte sich also langsam in Steppe verwandeln, indem er sich allmählich in immer kleinere Waldinseln auflöste. Nicht das Bestreben, sich aufzurichten, konnte den Fuß geschaffen haben, denn was kann ein vierfüßiges Wesen zwingen, immer wieder eine für seinen Körper unnatürliche Haltung anzunehmen? Nein, der Wechsel der Landschaft bevorzugte unter den Menschenaffen immer die, welche die allmählich weiter werdenden Steppenteile zwischen den Waldinseln am besten überwinden konnten, besonders dann, wenn die letzteren so klein geworden waren, daß sie nicht mehr genug Nahrung boten. Um die Früchte auf den Bäumen noch weiter erbeuten zu können, blieb dem Menschen die vordere Greifhand bewahrt, Insekten und andere Tiere bot die Steppe, die mit ihrem hohém Grase einen aufrechten Gang, bei dem man über die Halme wegschauen konnte, begünstigte, wie ja überhaupt viele Steppentiere aufgerichtete Springer sind. Eine derartige Landschaft hat auch vor allem deshalb als Urheimat des Menschen viel für sich, weil sie vielseitige Lebensbedingungen bietet, und so den Menschen, dem keine Nahrungsquelle allein genügen konnte, sondern der sie sich alle zunutze machen mußte, zu vielseitiger Ausbildung zwang. Vielseitigkeit ist in der Tat das hervorstechendste Merkmal des Menschen im Vergleich zu den Tieren. Der Mensch hat Füße und Hände, ist Angriffs- und Fluchtwesen, nimmt Nahrung aus dem Tier- und Pflanzenreiche zu sich. Vor allem ist sein wichtigstes Merkmal, der Verstand, eine vielseitige Anpassung. Das geht auch aus der weiteren Entwicklung des Menschen hervor. Die Tiere erhalten entweder ein dickes oder dünnes Fell angezüchtet, der Verstand verleiht auch dem in die Nordländer wandernden Menschen ein Fell als künstliche Anpassung, so daß er nunmehr in allen Teilen der Erde leben kann. Die Tiere erhalten Zähne, Krallen, Hörner gegen ihre Feinde, der Verstand erfindet dementsprechende Waffen. Alle Werkzeuge, alle Kulturmittel sind künstliche Anpassungen, die an- und abgelegt werden können, je nachdem veränderte Lebensbedingungen sie verlangen oder unnötig machen. Sie sind aber nunmehr nicht ferner das Werk der Naturzüchtung, sondern das des Verstandes ihres Trägers. Da der Verstand allen Lebensbedingungen gerecht wird, erübrigt sich eine Weiterzüchtung des Körpers des Menschen durch die Natur. Diese steigert nur noch die eine universelle Anpassung, den Verstand, der dem Körper die notwendigen Anpassungen selbst verleiht. Da aber der Verstand den Körper nicht umschmilzt,

sondern seine künstlichen Anpassungen ihm nur äußerlich aufsetzt, sinkt dieser allmählich von seiner Höhe herab.

So sehen wir, daß auch der Mensch noch unter der Naturzuchtung steht, auch er wird an die Lebensbedingungen immer besser angepaßt, aber vorwiegend nur noch in einer Eigenschaft, dem Verstande. Wird der Verstand gesteigert, so wird er als universelle Anpassung jedweden Lebensbedingungen gerecht. Die Anpassung im speziellen, die er nunmehr selbst durch seine künstlichen Anpassungen besorgt, schafft er aber in anderer Weise, wie die Naturzuchtung, nämlich mit teleologischen, Ziele erstrebenden und verwirklichenden Methoden. Deshalb geht es nicht an, für die weitere Entwicklung des Menschen, für seine Kultureinrichtungen, für Recht und Sitte auf Naturprinzipien, wie es die Selektion ist, zu exemplifizieren, und Soziologen, die solches versuchen, stellen sich in Widerspruch mit der Naturwissenschaft, die uns immer nur sagen kann, was ist, nicht, was sein soll.

Die sexuelle Zuchtwahl.

Über die Anwendungsmöglichkeiten der anderen Erklärungsprinzipien der Organismenumwandlungen kann ich an dieser Stelle nichts sagen, nur auf eine Theorie muß ich noch eingehen, die von DARWIN selbst aufgestellt und von ihm der Naturzuchtung an die Seite gestellt wurde. Ich meine die geschlechtliche Zuchtwahl. Die Sexualselektion besteht, wie bekannt, aus zwei Teilen. Der erste Teil ist nichts anderes, als ein spezieller Fall der Naturalselektion, bei dem sich die Auslese nur, statt auf die ganze Art, auf das eine Geschlecht erstreckt. In ihm wird einbegriffen die Zuchtung von besonders entwickelten Sinnesorganen (siehe z. B. Spinnerschmetterlinge usw.), Waffen, Kopulationsorganen der Männchen usw. und es erhellt ohne weiteres, daß die Männchen am ehesten zur Fortpflanzung kommen und daher ihre Eigenschaften der nächsten Generation aufprägen, die die Weibchen zuerst auffinden oder im Kampf mit dem Nebenbuhler diesen abschlagen. Ganz anders aber verhält es sich mit dem zweiten Teil der sexuellen Zuchtwahl DARWIN'S, der „Weibchenwahl“. Schon WALLACE, der Mitbegründer der Naturzuchtungslehre, konnte sich nicht dazu verstehen, die Weibchenwahl anzunehmen, er fand, daß die Beobachtungen einem solchen Vorgang widersprächen. Es läßt sich aber auch direkt zeigen, daß die Weibchenwahl kein Erklärungsprinzip ist, und daß sie der Naturalselektion direkt gegenübersteht. Während nämlich die Naturzuchtung ein mechanistisches Prinzip ist, läßt sich

aus der Weibchenwahl ein teleologisches Moment nicht ausschalten. Ein Beispiel wird das am besten klar machen.

Nach der Naturzüchtungslehre ist der Schneehase aus einem braunen Hasen entstanden, weil seine Vorfahren in eine Polarlandschaft gerieten, und hier immer die, welche ein wenig heller gefärbt waren, als ihre Geschwister, am elhesten den Nachstellungen der Feinde sich entziehen konnten; daher lebten sie am längsten und konnten der nächsten Generation hauptsächlich ihre Eigenschaften, also auch die hellere Farbe aufprägen, und das ging so fort bis zum reinen Weiß. Nach der Theorie von der Weibchenwahl ist die rote Brust des Gimpelmännchens dadurch zustande gekommen, daß von allen Farbenvariationen der ursprünglich grauen Gimpelbrust gerade rot erregend auf die Weibchen wirkte, so daß jede Steigerung dieser Farbe ihre Träger im Kampf um die Weibchen siegen ließ. Die nächsten Generationen erhielten also immer mehr von einem rötlichen Schimmer vererbt, bis das grelle Rot bei allen zustande gekommen war.

Eine jede Theorie, ein jedes Naturprinzip oder -gesetz muß auf durch die Beobachtung feststellbaren Tatsachen beruhen, von denen dann durch die Theorie ein Gemeinsames herausgehoben wird, dem sich diese und alle ähnlichen Fälle einordnen lassen. Die Grundlagen für die obigen beiden Theorien sind nun zunächst folgende drei Tatsachen. Es gibt Variationen in jedem Wurf von Tieren, also konnten unter den jungen Hasen stets auch hellere, unter den Gimpeln solche mit rötlichem Anflug geboren werden. Diese Variationen können vererbt werden. Drittens, es kann von den Hasen sowohl als von den Gimpeln nur eine bestimmte Anzahl zur Vermehrung kommen, denn es gibt einen Überschuß sowohl in der ganzen Art, als auch im männlichen Geschlecht. Also ist die Grundlage für eine Auslese gegeben. Es fragt sich nun, ob sich noch eine vierte Tatsache dafür finden läßt, daß diese Auslese nach einer bestimmten Richtung vor sich gehen muß.

Im ersten Beispiel ist das ganz gewiß der Fall. Es ist eine Tatsache, daß Helleres auf weißem Schnee weniger auffällt als Dunkleres, aus dieser Tatsache und der Beobachtung können wir schließen, daß im Durchschnitt die helleren Hasen am längsten lebten, weil sie ihren Feinden am wenigsten auffielen. Im zweiten Beispiel müßte die Tatsache heißen: Rot erregt am meisten. Ja, das genügt noch nicht einmal, sonst müßten ja die Männchen aller Tiere rot gefärbt sein. Es muß vielmehr heißen, rot erregt die Gimpelweibchen am meisten, und zwar im besonderen eine rote Brust,

während z. B. die Blaukehlchenweibchen von einer blauen Brust erregt werden. Dabei darf nicht nur schlechtweg die Farbe auf die Weibchen wirken, sondern jede Steigerung derselben, es ist also, als ob diesen das endgültige Rot als Ideal vorschwebte, bevor sie noch von ihm wissen. Das ist das Teleologische, das in der Weibchenwahl liegt, das Streben nach einem Ziel. Der tatsächliche, allgemeingültige Untergrund fehlt hier. Man muß das, was man erklären will, in das Herz des Weibchens vorher hineinlegen, und zwar in jedem speziellen Falle das, was man braucht. Ehe man nicht nachweisen kann, daß aus anderen Gründen, als denen der Weibchenwahl, die Gimpelweibchen sämtlich durch Rot und dessen Steigerung erregt werden, ist diese Theorie keine Erklärung, sondern eine Behauptung.

Ich habe mich nun bemüht, die Fälle, die früher die Weibchenwahl zu erklären glaubten, auf andere Weise verstehen zu lernen. Ich suchte dabei an den ersten, wohlbegründeten Teil der sexuellen Zuchtwahl anzuknüpfen. Die Auslese besserer Männchenaffen verstehen wir ja sehr wohl, denn daß schärfere und größere Waffen den Nebenbuhler eher abschlagen können, ist eine allgemeingültige, nicht extra für diesen besonderen Fall zurechtgemachte Tatsache. Ist es aber nun notwendig, daß die Waffen stark sind, genügt es nicht, wenn sie nur so scheinen? In der Tat, wenn wir die Tiere beobachten, sehen wir, daß es nur selten zu einem wirklichen Kampf kommt, meistens weicht das Tier vor dem, welcher sich recht gewaltig und siegessicher zeigt oder überhaupt stärker scheint, als er ist, zurück. Nun gibt es aber viele Waffen im Tierreich, die gefahrdrohender aussehen, als sie sind, ja durch übermäßige Ausbildung geradezu als Waffe verloren haben. Ich erinnere an das Geweih des Hirsches. Ein solches Geweih ist aber weithin sichtbar, und wir können uns vorstellen, daß es dadurch zustande kam, daß immer vor denen, welche es in der stärksten Ausbildung besaßen, die anderen zurückwichen und jenen den Kampfpreis, die Weibchen, überließen.

Man hat mir eingeworfen, meine Theorie setze etwas Ähnliches voraus, wie die Weibchenwahl. Dem muß ich aber widersprechen. Das „Sich-imponieren-lassen“, das Zurückweichen vor stärker Scheinenden ist keine für den zu erklärenden Fall zurechtgemachte Behauptung, sondern etwas Allgemeingültiges. Es handelt sich hierbei um eine allgemeine Eigenschaft der Tiere, die im Interesse der Art erhaltung liegt und durch Naturzüchtung zustande gekommen sein kann. Das ist bei den speziellen Wirkungen bestimmter Farben

auf die Weibchen nicht der Fall, und hierin ist ein prinzipieller Unterschied zwischen beiden Theorien zu sehen.

Ich habe die Theorie von der „geschlechtlichen Einschüchterungsauslese“ vor etwa 10 Jahren aufgestellt, und seitdem immer mehr gesehen, daß sie eine große Zahl von Fällen zu erklären imstande ist. Nicht nur vergrößerte Waffen fallen in ihren Wirkungsbereich, sowie ferner Mähnen und Federkragen, die den Angreifer größer und stärker erscheinen lassen, wie ja auch schon der angreifende Hund, die verfolgte Katze ihr Fell sträuben, wodurch sie größer wirken und manchen Feind zurückscheuchen. Auch die Tänze der Wildhühner und anderer Vögel gehören dazu, die ja wie wahre Kriegstänze aussehen und bei denen die Weibchen meistens überhaupt nicht dabei sind. Ja, ich stehe auch nicht an, eine Geltung der geschlechtlichen Einschüchterungsauslese für die Männchenfarben und den Gesang der Vögel in Anspruch zu nehmen¹⁾. Die WALLACE'sche Theorie von den Arterkennungsmerkmalen gibt für diese beiden Eigenschaftskategorien die Grundlage, sowie die Überlegung, daß, jemehr das Weibchen im Interesse des Brutgeschäfts mit einer Schutzfarbe versehen wird, um so auffallender das Männchen die Artmerkmale tragen muß, da es nunmehr diese Eigenschaft für beide Geschlechter übernimmt. Aber auch im Kampf der Nebenbuhler müssen derartige Merkmale gesteigert werden. Wie wiederholt nachgewiesen worden ist, durchziehen z. B. bei den Vögeln immer ziemlich große Zahlen von paarungslustigen Junggesellen die Brutgebiete. Da ist es wichtig, daß das Männchen jedes Brutgebietes seine Anwesenheit weithin sichtbar und hörbar macht, damit die Junggesellen von dem Weibchen seines Gebietes abstehen. Und jeder singende Vogel sucht sich zu zeigen, er setzt sich auf die Spitze des Baumes und benimmt sich so auffallend wie nur möglich. Das Weibchen ist fast nie in der Nähe und hört kaum zu, und auch der Sänger achtet seiner nicht, stürzt sich aber, sobald ein anderes Männchen sich zeigt, sofort laut singend auf dasselbe.

So kann die direkte Einschüchterung zu einem bloßen Sichzeigen, seine Anwesenheit bemerkbar machen, abgeschwächt werden; der Erfolg ist, wie die Beobachtung lehrt, der gleiche. Hier hätten

¹⁾ Neuerdings ist durch Untersuchungen von v. HESS in Frage gestellt worden, ob die Farben von Fischen und Insekten überhaupt von ihren Artgenossen als solche erkannt werden. Aber dem ist von v. FRISCH widersprochen worden, und die Nachweise dieses Forschers, daß Bienen und Fische doch Farben erkennen, sind recht einleuchtend.

wir auch eine Erklärung für den langanhaltenden Vogelgesang; die Gegenwart des Männchens soll eben möglichst ununterbrochen dargelegt werden.

Auch beim Menschen spielt die Einschüchterung eine große Rolle. In ihr haben die Tänze, hat überhaupt die Kunst ihre Wurzeln, sind doch die ursprünglichsten Tänze Kriegstänze und dienen doch die ersten Kunstbetätigungen, die Bemalung und Tatauierung des Körpers, das „Schmücken“ desselben mit Federn und Tierfellen dazu, dem Gegner Furcht einzuflößen. Das läßt sich von den Urvölkern, besonders auch den Indianern an, bis zu den homerischen Helden mit ihren „fürchterlich nickenden Helmbüschen“, den Germanen mit ihren Tierkopfhelmen und Wisenthörnern und den Kriegerern früherer Jahrhunderte mit ihren „grimmig“ gesträubten Schnurrbärten verfolgen. Und es ist höchst interessant, dem im einzelnen nachzugehen, lassen sich doch manche geradezu verblüffende Vergleiche zwischen derartigen Abschreckungsmitteln des Menschen und entsprechenden Eigenarten der Tiere ziehen¹⁾. Und wenn wir nicht nur die Urvölker, sondern auch unsere eigenen Kinder beobachten, die nach dem biogenetischen Prinzip in ihrem Wesen dem Menschen der Vorzeit näher kommen als wir, so bemerken wir immer wieder, wie oft bei ihnen die Lust, sich „groß zu machen“, zu übertreiben, aufzufallen, hervortritt. Ja, auch beim erwachsenen Menschen ist der Drang, zu imponieren, mehr zu scheinen, als man ist, so groß, daß man ihm fast dieselbe Macht in der Beeinflussung des menschlichen Handelns zuschreiben möchte, wie den anderen beiden Triebfedern, Hunger und Liebe.

Prof. L. PLATE (Jena):

Übersicht über zoologische Studien auf Ceylon.

(Manuskript nicht eingegangen.)

Diskussion: Dr. F. SARASIN, Prof. DOFLEIN, Prof. PLATE.

¹⁾ Siehe meinen Artikel: Zur geschlechtlichen Zuchtwahl. Archiv für Rassen- und Gesellschaftsbiologie. Bd. 2. 1905.

Herr Prof. L. PLATE:

Demonstration ceylonischer Vögel (Formolverfahren).

Die Vögel wurden nach dem SEEGRY'schen Verfahren behandelt, d. h. nach der Rückkehr von der Jagd durch einen Bauchschnitt geöffnet und in 2 % Formaldehyd (50 ccm des käuflichen Formalin [40 % Formaldehyd] auf 1 l) gelegt und dafür gesorgt, daß dieses ordentlich in den Kadaver eindringt. 40 und mehr Vögel können in dieselbe Blechtrommel gelegt und monatelang in dieser Weise aufbewahrt werden. Bei Vögeln von der Größe einer Gans und mehr ist es zweckmäßig, um Platz zu sparen, nur den Balg in Formaldehyd aufzuheben. Die Flüssigkeit darf auf keinen Fall stärker als 2 % sein, weil die Vögel sich sonst nicht mehr abziehen lassen. Sobald die Vögel ausgestopft werden sollen, werden sie zunächst 2 Tage lang gründlich gewässert. Das Abbalgen erfordert etwas mehr Zeit als bei einem frischen Vogel, macht aber sonst keine Schwierigkeit. Die von mir gesammelten Vögel — etwas über 200 — haben 3—5 Monate in dünnem Formalin gelegen, ehe sie ausgestopft wurden, und trotzdem tadellose in den Farben unveränderte Stopfpräparate geliefert. Es ist anzunehmen, daß selbst ein längeres Liegen in 2 % Formaldehyd nicht schaden wird. Das Verfahren hat für den reisenden Naturforscher den großen Vorteil, daß das zeitraubende Abbalgen fortfällt, und nicht nur das Federkleid, sondern auch alle übrigen Organe für spätere Studien erhalten bleiben.

Herr Prof. SCHLEIP (Freiburg) demonstrierte Präparate von der Innervation der Hypodermis von *Dixipus*, Herr Dr. NACHTSHEIM (München) solche von der Entwicklung von *Schizaster*.

Herr Prof. L. RHUMBLER (Hann.-Münden):

Trajektorien-Modell zur Demonstrierung einer automatischen Entstehung der Innentrajektorien eines fötalen Femurknochens durch dessen Oberflächenwachstum.

Das aus Tüllstoff hergestellte Modell (Fig. 1) soll zeigen, daß die im menschlichen Femur vorkommenden, bekannten (Fig. 2 u. 3)

Trajektorienstrukturen der Knochenspongiosa dadurch entstanden gedacht werden können, daß schon zur Zeit der Fötalentwicklung die spumoiden (= wabigen) kolloidalen Binde-

gewebmassen von der oberflächlichen Periostschicht des Knochens in die Trajektorienkurven automatisch eingeordnet werden. Es reicht also eine typische Determination des Oberflächenreliefs des Femur aus, um gleichzeitig auch auf automatischem Wege die erste Anlage der Spongiosa im Inneren des Knochens in ihrem gesamten Kurvenverlauf verständlich zu machen.

Der Beweis für diese Denkmöglichkeit ist dadurch erbracht, daß in dem Tüllgewebe, das die hexagonalen Maschen der kolloidalen Grundmasse (Fig. 3) vorstellt, den Trajektorienbahnen entsprechende Maschenzüge allein durch die auf dem Tüllrande aufgesteckten Nadeln (ohne jede Faltenbildung im Tüll) aufrecht erhalten werden; so daß die durch die Nadelanordnung determinierte Außenform zugleich die Innenstruktur festhält.

Figurenerklärung.

- Fig. 1. Das Modell im Glaskasten mit den begleitenden Photographieen montiert; ca. 1:4,5 der wirklichen Modellgröße.
 Fig. 2. Photographie eines Femurdurchschnittes.
 Fig. 3. Photographie eines entkalkten Femurs mit dem kolloidalen Trajektoriensystem.
 Fig. 4. Kurven der Spongiosa (nach Wolff); Z = Zugtrajektorien der lateralen Femurseite; D = Drucktrajektorien der medialen Femurseite.
 Fig. 5. Tüllmaschenverlauf nach der Aufspannung ohne Einziehung der Kurven.
 Fig. 6. Modell mit Einzeichnung der Kurven zum Größenvergleich mit den Naturvorlagen (Fig. 1—4). Man beachte, daß die aufgezeichneten Linien die unter ihnen liegenden Maschenbahnen streng einhalten.

Es genügt ein, dem noch nicht erwachsenen Femur entsprechend ausgeschnittenes, Tüllstück unter einer bestimmten Orientierung des Tüllgewebes [Wandmitte-Höhenrichtung des Maschenwerkes (Fig. 7)] in die spätere, durch Wachstum vergrößerte, Form des Femur hineinzuziehen, um eine, dem Spongiosabälkchenverlauf in allem Wesentlichen entsprechende Anordnung der Tüllmaschen zu erzielen. (Fig. 4—6.)

Demzufolge ergibt sich, daß das differentielle Wachstum der Oberflächenschichten einer Knochenanlage¹⁾ genügen würde, um gleichzeitig auch die erste Grundlage der Innenstruktur des Knochens auf automatischem Wege (noch ehe sie in Funktion tritt, also „präfunktionell“) durch den spumoiden Aufbau der Innen-

¹⁾ In der von mir (RH. 14 p. 569) vorgeschlagenen Bezeichnungsweise würde demnach die, das Wachstum des Gesamtknochens „führende und leitende“, Oberflächenschicht des Knochens als „dukatorisches“ Wachstumselement anzusehen sein; die Spongiosa dagegen, die von dem dukatorischen Oberflächenwachstum geleitet und in ihre Architektur eingeführt wird, wäre als ein „assektatorisches“ Wachstumsprodukt anzusprechen.

substanzen im Knochen zu veranlassen. Wir hätten die Entwicklungsmechanik des Knochens von der Aufgabe entlastet, in der ersten Roux'schen Periode der Organanlage¹⁾ besondere Determinanten für die Aufstellung der Spongiosatrajektorien enthalten zu müssen; es genügt vielmehr, daß die Wachstumsgeschwindigkeiten der Oberflächenteile der Knochen determiniert werden, um gleichzeitig auch auf automatischem Wege die inneren trajektoriellen Organstrukturen aufzustellen, die dann in den Roux'schen Perioden II und III in bekannter Weise während ihrer Funktionierung durch „funktionelle Selbstlöhnung“ (ROUX 1912, S. 371) weiter ausgebildet werden. Wir wären somit auf Grund des von BÜTSCHLI (1898, S. 338, 339) nachgewiesenen Spumoidbaues der hyalinen Knorpelgrundmasse zu einer „minimalen Determination“ (ROUX 1912 S. 95) des ersten Auftretens der Spongiosatrajektorien der ersten Periode gelangt, die seither noch als gegebene komplizierte Ausgangsprodukte für die II. und III. Periode mechanisch unerklärt hingenommen werden mußten.

An der gegebenen Auffassung stößt vielleicht zunächst an, daß die Spongiosatrajektorien, die man nach unserer derzeitigen Anschauung als Zug- „und“ „Drucksystem“ anzusehen hat, im Sinne des Modells ausschließlich nur als „Zugtrajektorien“ gedeutet werden könnten. Bekanntlich stellen nach H. MEYER (67) nur die, von der lateralen Femurhalsseite ausstrahlenden, Spongiosatrajektorienbälkchen Zugtrajektorien dar (Fig. 4, Z), die kurz als Z-Trajektorien bezeichnet werden sollen, während die von der medialen Seite des Femurhalses nach der oberen Tragfläche des Femurkopfes aufsteigenden Spongiosabälkchen als Drucktrajektorien (Fig. 4, D) oder, wie der Kürze wegen gesagt werden soll, als D-Trajektorien aufzufassen wären. Diese Auffassung zeigt aber zum mindesten, daß wenigstens ein Teil des Spongiosa-

¹⁾ ROUX (1911 und 1912, S. 297) unterscheidet bekanntlich 4 Perioden der Ontogenese (oder kausale Gestaltungsperioden der typischen und normalen Entwicklung) I. Periode der sog. Organanlage oder der rein vererbten Gestaltbildung, bei der durch den Vererbungsmechanismus also durch schon im Keim enthaltene „gestaltende Determinationsfaktoren“, aber ohne Beihilfe der Funktionierung, die Organe angelegt und eine Strecke weit ausgebildet werden. — II. Periode ist die gemischte Zwischenperiode, in welcher sich die Faktoren der Periode I mit denjenigen der Periode III vermengen. — III. Periode ist diejenige der „vorherrschenden funktionellen Reizgestaltung“; in ihr wird die Ausbildung eines Organs durch seine „Funktionierung vervollkommen und in Betriebsfähigkeit erhalten“. — Schließlich ist die IV. Periode diejenige des reinen Seniums, also des von krankhaften Veränderungen freien Greisenalters, dessen Charakteristikum nach ROUX in vererbtem Altersschwund beruht.

systems — und zwar derjenige, der die größten Trajektorienkurven enthält — auch hier durch Zugwirkung provoziert angesehen wird, also dem Sinne des Modells unterworfen erscheint; und es bliebe nur die Frage, ob bei Beibehaltung der Auffassung der D-Trajektorien (Fig. 4) als Drucksystem diese D-Trajektorien trotz ihrer nachmaligen eventuellen Druckfunktion nicht auch als Zugsysteme wenigstens in der drucklosen Fötalzeit, in der sie ja bekanntlich bereits zur Ausbildung gelangen, ihre erste Entstehung nehmen könnten. Sie würden unter Zugwirkung in der Fötalzeit angelegt und dann nach der Geburt als Stemmssäulchen gegen den Druck der Körperlast zur Verfügung stehen. Vorweg ist klar, daß bei der Ähnlichkeit der Z- und der D-Bälkchen eine von dem Modell postulierte ähnliche Entstehungsweise beider sehr viel wahrscheinlicher ist als eine verschiedenartige Entstehung, wie sie aus der späteren differenten Funktion irrtümlich als notwendig gefolgert werden könnte (nämlich einerseits durch unbestrittenen Zug bei den Z-Trajektorien und andererseits durch Druck bei den D-Trajektorien). Die Spongiosatrajektorien würden bei Anerkennung der Gültigkeit des Modells nach einer ursprünglich gleichen fötalen Entstehungsweise in post-nataler Zeit, wenn es die Körperlast zu tragen gilt, zum Teil als Z-Trajektorien ihre Position in einer Zugbahn beibehalten, zum Teil aber als D-Trajektorien in Druckbahnen hineingeraten, und in diesem Teil dann gegebenen Falls als Drucktrajektorien funktionieren. Die Umschaltung der Funktionierbarkeit von Zug auf Druck bei den D-Trajektorien wäre sehr wohl begreiflich, weil die unter Zugwirkung entstandenen spumoiden Trajektorien mit Kalksalzen ausgesteift werden¹⁾ und weil plastische und zähe Stoffe bei einer gewissen Dicke gegen Zug und Druck eine ähnliche Widerstandskraft entfalten²⁾, so daß Strukturen, die, wie unsere, unter Zugwirkung aufgestellt und durch kalkige Imprägnierung verzähigt worden sind, auch Druckwirkungen ebensogut wie Zugwirkungen standzuhalten vermögen³⁾.

1) Man kann sich vorstellen, daß aus den hydrosmotisch permeablen Spumoidkammerchen der Spongiosagrundsubstanz, wenn sie in die Länge gezogen werden, was aus mathematischen Gründen nur unter Volumverringerng des Kammercheninhaltes geschehen kann, Wasser entweicht, und daß dieser Wasserverlust auf irgendeine Weise zur Ausfällung der Kalksalze führt.

2) Vgl. v. KARMAN „Festigkeit“ in: Handwörterb. d. Naturwissensch. Jena 1913; v. 3 p. 1023.

3) Die Spumoidmechanik brachte dieser Auffassung zufolge von vornherein eine zweckmäßige Ausgestaltung des Femurinneren allein unter der Führung des differentiellen Wachstums des Femuroberflächenreliefs zustande.

Ich halte indessen nicht für absolut ausgeschlossen, daß die seitherige Auffassung der vom medialen Femurhalse ausstrahlenden Spongiosabälkchen als D-Trajektorien (Fig. 4, D) für den „tragenden“ Femur vielleicht ebensowenig zutrifft wie für den fötalen, sondern halte immerhin für erwägens- und prüfungswert, ob nicht auch dieses mediale Trajektoriensystem ein Z-System bleibt, nachdem es als Z-System in fötaler Periode aufgerichtet worden ist. Die Spongiosabälkchen sind reichlich dünn, um gegen die Gewichtsbelastung die nötige Biegefestigkeit aufbringen zu können, während sie Zugbeanspruchungen sehr viel leichter widerstehen müssen, wie man etwa mit einer dünnen Schnur relativ beträchtliche Lasten fortziehen, aber nicht fortstoßen kann. Man kann sich vorstellen, daß die Verfestigung des ganzen Femursystems mit „Zug“trajektorien unter Materialersparnis stattgefunden hat, etwa ebenso, wie man dem leichten Rad eines Zweirades nicht durch dicke, druckkräftige Speichen, sondern durch dünnere, aber „angezogene“ Stahldrähte zur druckbeständigen Aussteifung seines Reifens verholten hat, oder wie man bei manchen Brückensystemen die Leistungsfähigkeit der tragenden Teile durch zwischengespannte, diagonal sich kreuzende Drahtseile oder ebenso angeordnete, auf Zug gespannte, dünnere Eisenschienen bei möglichst geringer Gewichtserhöhung steigert. Bei dieser Anschauung wäre der aktiv tragende Teil des Femurs, der den Gegendruck gegen das Körpergewicht in letzter Instanz zu leisten hat, überhaupt nicht in den Knochenbälkchen der Spongiosa zu suchen, sondern wäre einerseits in der sehr festen und dicken Compacta, vor allem in derjenigen des Diaphysenteiles und andererseits in der plasmatischen Zellfüllung zwischen den Spongiosamaschen gegeben. Die tragende Außenform des Femurs wäre dann durch die gekreuzten Spannsysteme der Spongiosa festgesteift und in der festgesteiften Außenform als Hülle würde die inkompressible (weil aus flüssigen Teilen aufgebaute, im festen Femurgefäß abgesperrte) plasmatische Zellfüllung ein äußerst wirksames Widerlager gegen schädigende Überdrucke der Körperlast abgeben. Eine derartige Auffassung ließe sich aber nicht verallgemeinern, denn bei pneumatischen Vogelknochen kommen Spongiosazüge vor, die, wie hier nicht weiter ausgeführt werden kann, m. E. nur gegen Druck wirksam sein können. Das veranlaßt mich, die in diesem kleingedruckten Abschnitt angegebene Möglichkeit vorläufig nur mit größter Reserve anzuführen.

Auf alle Fälle zeigt das Modell, daß Trajektoriensysteme, die denen der Spongiosaanordnung im menschlichen Femur in allem Wesentlichen entsprechen, ohne Beihilfe von Außendrucken, allein

Die Spongiosastruktur brauchte, wie hier nebenbei bemerkt werden mag, gar nicht erst auf selektionistischem Wege in ihrer zweckmäßigsten Form gezüchtet zu werden. Sie war von Anbeginn an brauchbar; sie besitzt eine primäre Zweckdienlichkeit, und es wäre ganz unverständlich, warum der erwachsene Organismus nicht diese primär zweckdienliche, automatische Struktur auch in das Stadium der eigentlichen Funktionierung des Femur als Tragestütze übernommen haben sollte. Wäre die automatische Struktur mechanisch unbrauchbar ausgefallen, so hätte erst auf umständlichem Wege (etwa durch Osteoklasten) diese Unbrauchbarkeit irgendwie weggeräumt werden müssen. So aber benutzt auch der „tragende“ Knochen die primär zweckdienlichen Strukturbahnen der Fötalzeit bei seinem Weiterbau im späteren Leben, indem er neue Massen in diese Bahnen einschleibt und alte entfernt.

durch Zugwirkungen zustande kommen können. Das Modell gibt somit eine Erklärungsmöglichkeit für die automatisch-mechanische Entstehung solcher Trajektorien, die entweder „noch nicht“ oder sogar während ihrer ganzen Existenz nicht unter der Wirkung von Außendruckten stehen, wie der fötale Femur einerseits, der erst postnatal die Körperlast zu tragen hat, und andererseits die ähnlichen Trajektorienstrukturen an der oberen Extremität und am Unterkiefer des Menschen oder am ganzen Skelett von Knochenfischen [RAUBER (1902, p. 339)], bei welchen vom Tragen der Körperlast oder von sonstigen irgendwie namhaften Außendruckten unter normalen Verhältnissen gar nicht die Rede sein kann, während sich leicht für alle Fälle eine Zugwirkung ableiten läßt, die von der sich im Wachstum ausdehnenden Knochenoberfläche auf das Knocheninnere ausgeübt wird, oder die auch durch, der Oberfläche ansitzende, Muskeln bewirkt oder lokal gesteigert sein kann.

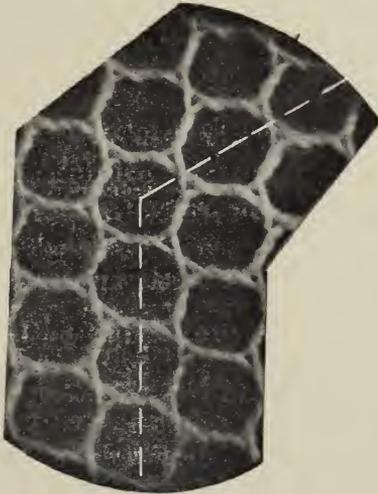
Vielleicht möchte mancher annehmen, daß die Imitation des Trajektoriensystems durch die Tüllmaschen eine banale Selbstverständlichkeit und in dem von mir angegebenen Sinne gar nicht beweisend wäre. Man könnte denken, daß sich ganz beliebige Kurvenlagerungen des Maschenwerkes durch Zug an dem Tüllrande erzeugen ließen und unter diesen beliebigen eben auch das Spongiosasystem. Eine solche Beliebigkeit der Kurvenziehung wäre aber nur dann möglich, wenn man den Tüll dabei beliebig in Falten legen würde; so aber, ohne Faltenbildung, gibt der Tüll nur bei einer ganz bestimmten Gestalt und bei einem Anziehen seiner Ränder nach denjenigen Richtungen, die dem Vordringen der sich beim Wachstum vergrößernden Knochenoberfläche entsprechen, das Spongiosatrajektoriensystem wieder.

Wie engbegrenzt die Bedingungen für die Entstehung der Modellähnlichkeit mit dem Spongiosaverlauf sind, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man das Trajektorienmodell nachzubauen versucht; man wird dann erfahren, daß es zwar leicht ist, an einem beschränkten Ort zwei Kurvensysteme zur Schneidung und zur Knochenähnlichkeit zu bringen, daß es aber sehr schwer fällt, ein drittes Kurvensystem des Knochens an einer anderen Stelle den beiden vorigen zuzugesellen, ohne die anderen zu zerstören. Der geringste Fehler in einer Kurvenlage macht auch die genaue Kopie der übrigen unmöglich; die Kurvenlagerung ist durch die Femurgestalt und die Zugrichtung eindeutig bestimmt.

Auch mir ist, wie ich an einem anderen Orte (RH. 1914, p. 564) angegeben habe, die richtige Spongiosakopie des Femurs lange Zeit

mißglückt, bis ich darauf aufmerksam wurde, daß das obere Tüllende nach dem Femurkopfe hin bezüglich seiner Maschenachsenstellung eine winklige Drehung durchmachen muß, die der Abknickung der Femurachse im Gebiete des Femurhalses nach dem Gelenkkopf hin entspricht (Fig. 7). Nachdem diese Erfahrung gemacht war, hat mein mir verständnisvoll assistierender Gehilfe, Herr Forstaufseher BRAATZ, die ausgestellten Modelle in der vorliegenden Form (Fig. 1) angefertigt.

Das Modell ist auf den Boden eines Kastens montiert, der oben mit einer Glasscheibe gedeckt ist. Auf dieser Glasscheibe



Figur 7.

Tüllstreifen vergrößert, mit Finzeichnung der Zugrichtung im Hauptteil des Femur und im Femurhals; die gebrochene weiße Linie gibt die Schwenkung der Zugrichtung im Femurhals an. Vergr.: 6,6:1.

sind von unten her und so verteilt, daß die Besichtigung des Modells dadurch nicht gehindert wird, die Photographien von Naturvorlagen aufgeklebt, so daß diese leicht mit einer Lupe vergrößert und mit dem in größeren Dimensionen gehaltenen Tüllmodell verglichen werden können. Um auch ohne Lupe den Vergleich führen zu können, sind außerdem auch Photographien der Tüllfigur selbst in gleichem, verkleinertem Maßstabe neben diejenigen der Naturvorlagen gestellt.

Das in dieser Art (Fig. 1) montierte Modell kann von Herrn Forstaufseher BRAATZ [Hann.-Münden, Zoologisches Institut der Forst-Akademie] bis auf weiteres gegen eine Vergütung von 9 M. geliefert werden.

Zitierte Literatur

(kein maßgebendes Literaturverzeichnis für das Gesamtthema).

- BUTSCHLI, O., „Untersuchungen über Strukturen, insbesondere über Strukturen nichtzelliger Erzeugnisse des Organismus und über ihre Beziehungen zu Strukturen, welche außerhalb des Organismus entstehen“. Leipzig 1898. Mit Atlas von 26 Taf.
- MEYER, H., „Die Architektur der Spongiosa“ in: Arch. f. Anat. Physiol. usw. (von REICHERT u. DUBOIS) 1867.
- RAUBER, A., „Lehrbuch der Anatomie des Menschen“. 6. Aufl., v. 1; Leipzig 1902.
- RHUMBLER, L.: „Das Protoplasma als physikalisches System“ in: Ergebn. der Physiol., Jahrg. 14; p. 474—617; 59 Textfig.
- ROUX, W., „Die vier kausalen Hauptperioden der Ontogenese, sowie das doppelte Bestimmte sein der organischen Gestaltungen“ in: Mitteil. d. naturf. Gesellsch. zu Halle, v. 1; 1911, p. 1—30.
- ROUX, W. (12), CORRENS, C., FISCHEL, A. und KÜSTER, E., „Terminologie der Entwicklungsmechanik der Tiere und Pflanzen“. Leipzig 1912; 465 p.

 Dritte Sitzung.

Mittwoch, den 3. Juni, 9—1 Uhr.

Zunächst wurden einige geschäftliche Mitteilungen gemacht. Herr Prof. ZIEGLER (Stuttgart) sandte eine Einladung zum Besuch der biologischen Abteilung auf der Hygiene-Ausstellung in Stuttgart.

Herr Prof. HEIDER berichtete über die Verhandlungen auf der letzten Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Wien über die Frage eines eventuellen Zusammentagens der wissenschaftlichen Gesellschaften mit der Versammlung der Naturforscher und Ärzte. Herr Prof. HEIDER wurde mit der weiteren Vertretung der Gesellschaft bei den künftigen Verhandlungen über diese Frage beauftragt.

Dann folgte die Wahl eines Delegierten für den Ausschuß für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht an Stelle des Herrn Prof. CHUN. Es wird auf Antrag des Vorstandes beschlossen, Herrn Prof. Dr. v. HANSTEIN oder Prof. Dr. MATZDORFF zu fragen, und falls beide ablehnen sollten, den Schriftführer provisorisch mit der Vertretung der Gesellschaft im Ausschuß zu beauftragen.

Für die Wahl des nächsten Versammlungsortes liegen Einladungen des Herrn Prof. PLATE für Jena und der Herren Prof. ZIEGLER, LAMPERT und FRAAS für Stuttgart vor. Auf Antrag des Vorstandes wird beschlossen, für 1915 Jena, oder falls infolge des großen Burschenschaftsfestes, das auch Pfingsten 1915 in