

Kinematik im Tierreiche¹⁾.

Nur zu oft muss es der Naturforscher schmerzlich empfinden, dass ihm gewisse Kenntnisse der angewandten Mechanik fehlen, die jeder Ingenieur spielend beherrscht. Nur zu häufig ist er außer Stande, verwickelte mechanische Verhältnisse am Tierkörper zu deuten, weil ihm die Vorbildung des Technikers mangelt.

Versucht er es dann, sich an die Lehrbücher der Physik oder an einen Physiker zu wenden, so ist er oft erstaunt, dass er hier keine Auskunft findet und die Antwort erhält, auf solche Spezialfragen sind wir nicht eingerichtet. Steht er dann ratlos da, so ist es nicht selten der Techniker, welcher ihm Rat schafft. Mit einem Schlage erkennt er dann den großen Unterschied, welcher zwischen den Naturwissenschaften und den technischen Wissenschaften besteht. Diesen Unterschied kennzeichnet Reuleaux gewiss sehr treffend, wenn er sagt: „Die Naturwissenschaften sind die Wissenschaften des Erkennens, die technischen Wissenschaften die des Schaffens.“

Infolgedessen scheint es mir, als wenn der Naturforscher sich mehr mit der Analyse, der technische Forscher mehr mit der Synthese beschäftigt und zwar muss der Techniker seine Synthesen streng nach den Regeln der Mathematik überwachen; denn sein Beruf ist ja meistens viel verantwortlicher als der eines Anatomen oder Physiologen. Hierdurch werden natürlich seine Beobachtungen und Erwägungen sehr zuverlässig. Bedenkt man nun noch, dass die Zahl der Techniker sehr groß ist und dass die Techniker meistens mit viel größeren Mitteln arbeiten als wir Naturforscher, so wird es verständlich, wie die technischen Wissenschaften in verhältnismäßig kurzer Zeit so Staunenswertes erringen konnten.

Auch für den Naturforscher bilden diese Errungenschaften eine reiche Fundgrube des menschlichen Wissens und Könnens. Er hat daher die Pflicht, sie nicht unbenutzt zu lassen. Leider aber besteht eine breite Kluft zwischen den Wissenschaften des Erkennens und des Schaffens. Daher sind gewiss Naturforscher und Techniker Reuleaux dafür zu großem Danke verpflichtet, dass er die mühevollen Arbeit unternommen hat, eine Ueberbrückung dieser Kluft anzubahnen.

Er hat selbst eine große Anzahl tierischer Mechanismen untersucht und in einer Beschreibung seiner Untersuchungen darauf hingewiesen, wie die Naturforscher sich die Errungenschaften der technischen Wissenschaften nutzbar machen können. Dieser Hinweis erscheint um so wertvoller, als ja Reuleaux selbst einen großen Teil jener Grundregeln der angewandten Mechanik aufgestellt hat, welche für den Anatomen und Physiologen von der größten Wichtigkeit sind. Selbst Reuleaux's Gegner²⁾ geben es zu, dass „die Maschinenkinematik sein eigenstes Werk ist, dass sein Name als Begründer der Zwanglaufslehre stets an erster Stelle genannt werden wird“, dass „seine Zwanglaufslehre ein unvergängliches Werk ist“. Reuleaux's hier besprochene Abhandlung bildet den Schluss eines

1) Vergl. F. Reuleaux, Prof. Dr. Geheimer Regierungsrat, Lehrbuch der Kinematik, Bd. II, Braunschweig, 1900. Vieweg u. Sohn.

2) Vergl. J. Preuss, Ingenieur, Zeitschr. Deutsch. Ing., 23. März 1904, Nr. 12. A. Riedler, Die Stellung des Herrn Reuleaux zu den technischen Wissenschaften. Berlin, 1899.

Werkes über die Grundlehren des Maschinenbaues und umfasst nur 54 Seiten. Dieser Schluss ist natürlich nur demjenigen vollkommen verständlich, der den vorhergegangenen Teil des ganzen Werkes kennt.

Zur Erleichterung des Verständnisses bearbeitet daher Reuleaux — wie ich aus sicherer Quelle weiß — den Schluss des erwähnten Werkes für Naturforscher allgemeinverständlich. Den Zwecken des *Biolog. Centralblattes* entsprechend kann ich hier aus Reuleaux's Abhandlung nur die Hauptpunkte hervorheben, welche von allgemeinerem Interesse sind und eine Einleitung hinzufügen, die ich aus Reuleaux's Werken zusammengestellt habe. — Nach R. hat man zur Beurteilung von Mechanismen an Maschinen oder Tierkörpern folgende drei Arten von Analysen vorzunehmen:

A. Die Elementaranalyse, B. die Bauanalyse, C. die Getriebeanalyse.

A. Die Elementaranalyse.

Der Maschinenbauer unterscheidet nach dem Vorgange von Reuleaux drei Elemente an seinen Maschinen.

1. Die starren Elemente widerstehen sowohl dem Drucke als dem Zuge (Knochen u. dergl.).

2. Die Zügelemente widerstehen nur dem Zuge (Seile, Ketten, Sehnen u. s. w.).

3. Die Druckelemente widerstehen nur dem Drucke (Flüssigkeiten, Gase).

Aus diesen drei Elementen kann man herstellen

6 Verbindungen:

| | | |
|---------|---------|---------|
| 1 mit 1 | 1 mit 2 | 1 mit 3 |
| 2 „ 2 | 2 „ 3 | |
| 3 „ 3 | | |

Verbindungen starrer Elemente (1 mit 1) sind die Gelenke der Knochen und anderer fester Gewebe, Verbindungen starrer Elemente mit Zügelementen (1 mit 2) Knochen und Sehnen, Verbindungen von Zügelementen mit Druckelementen (2 mit 3) Darm und Flüssigkeit u. s. w.

Die Gelenke

bilden selbstverständlich einen sehr wesentlichen Bestandteil der ganzen Abhandlung. Soweit mir bekannt, ist Reuleaux's Bearbeitung der Gelenke der erste Versuch, die Gelenke aller Tiere von einem gemeinschaftlichen mechanischen Gesichtspunkte aus zu betrachten. R. weist nach, dass man sowohl die Gelenke der Wirbeltiere als der Wirbellosen auf gewisse gemeinsame Grundformen zurückführen kann. Hierdurch wird die Beurteilung vieler scheinbar sehr zusammengesetzter Gelenke in hohem Grade vereinfacht.

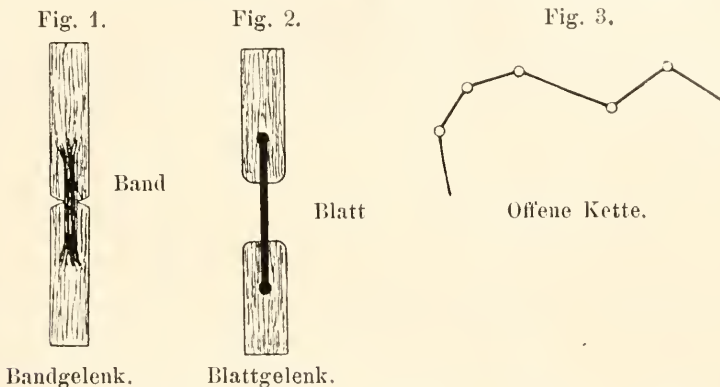
Zu diesen Grundformen gehört nach Reuleaux das „Bandgelenk“. Es erinnert an die Gelenke unserer Gliederpuppen mit Gummizügen. Ich fand solche Bandgelenke an den beweglichen Zähnen des Hechtes und der Muräne (Fig. 1). Eine andere Grundform ist nach R. das „Blattgelenk“, welches an der Wage des Amerikaners Emery¹⁾ sich sehr bewährt hat. Es besteht aus einem biegsamen Stahlblatt (Fig. 2). Auf

1) Vergl. Reuleaux, Konstrukteur, IV. Aufl., S. 695 und Reuleaux, Kinem. II. S. 156.

den ersten Blick erscheinen federnde Knochenplatten als Gelenke an Tieren als etwas sehr Ungewöhnliches, und doch giebt es unter den Wirbeltieren sehr zahlreiche Beispiele derselben, z. B. die Rippen. Hierauf habe ich schon an einem anderen Ort hingewiesen¹⁾.

Statt der Blattgelenke findet man an unseren feineren Wagen meistens eine Schneide, die in einer Rinne ruht. Reuleaux weist darauf hin, dass der Unterschenkel (Tibia) der Heuschrecken sich auf eine ähnliche Schneide stützt. Die Herleitung derartiger Schneiden von Blattgelenken oder Bandgelenken stößt auf keine Schwierigkeiten, man findet derartige Uebergangsformen in großer Zahl an den Krebsen und Käfern.

Denkt man sich wiederum die Schneiden zu Walzen, Kegeln oder Kugeln abgerundet, so erhält man Walzen, Kegel und Kugelgelenke. Auch hierfür kann man zahlreiche Uebergangsformen an den Gliedertieren nachweisen. Leider kann ich hier nicht auf alle die hochinteressanten Gelenkformen eingehen, die Reuleaux sehr übersichtlich zusammenstellt. Es würde das zu weit führen, ich will hier nur noch Reuleaux's An-



schaunungen über die Befestigungsmittel der Gelenkteile hervorheben, also über das, was von uns genannt wird:

Der Schluss der Gelenke.

Nach R. giebt es zwei Arten von Gelenkschluss.

1. Der Umschluss entsteht dadurch, dass ein Knochen einen Hohlkegel, Hohlkugel u. s. w. bildet, welcher den Vollkegel des anderen Knochen umschließt. Diese Art der Befestigung ist bei den Tieren mit äußerem Skelett sehr häufig, verhältnismäßig selten an den Wirbeltieren.

2. Der Kraftschluss kommt dadurch zu stande, dass elastische Bänder oder Muskeln die Gelenkteile zweier Knochen zusammenhalten. Diesen Kraftschluss kann man an den Gelenken des Menschen beobachten. Ich habe es oft gesehen, wie das Schultergelenk nach Lähmungen der Schultergelenkmuskeln aus der Pfanne wich und wie dann eine Verrenkung des Gelenkes eintrat²⁾.

1) Thilo, Die Umbild. a. d. Gliedmass. d. Fische. Morph. Jahrb. 1896.

2) Vergl. auch Habitnal or recurrent dislocation of the shoulder by H. Burrell M. D. and Robert W. Lovett M. D. The American Journal of the Medical Sciences, August 1897.

Dieses Entstehen von „Schlottergelenken“ kann man auch an anderen Körperteilen beobachten und nach meinen Erfahrungen ist die sogenannte angeborene Hüftgelenkverrenkung oft nichts anderes als ein angeborenes Schlottergelenk der Hüfte, welches durch eine angeborene Schwäche der Muskeln des Hüftgelenkes bedingt ist.

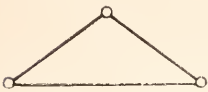
Man muss nun wohl also nach den Beobachtungen und Erwägungen von Reuleaux sagen: Wo kein Umschluss stattfindet, liegt Kraftschluss vor. Beim Kraftschluss spielen, wie es mir scheint, die Muskeln eine Hauptrolle, da nach Lähmung der das Gelenk umgebenden Muskeln ein Schlottergelenk sich ausbildet. — Wir haben also gesehen, dass zwei starre Elemente entweder durch Umschluss oder durch Kraftschluss aneinandergehalten werden. Reuleaux sagt: sie bilden dann ein „Elementenpaar“. Denkt man sich zwei durch ein Gelenk aneinander befestigte Knochen durch einen Muskel verbunden, so erhält man eine Kette von zwei starren Elementen und einem Zugelemente.

Die Bildung solcher Ketten lehrt

B. Die Bauanalyse.

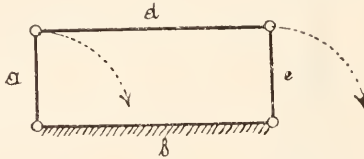
Sie zeigt, dass man durch eine besondere Anordnung der Kettenglieder ganz bestimmte Bewegungen erzwingen kann. Derartig erzwungene

Fig. 4.



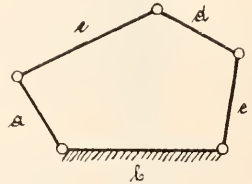
Üebermäß. geschl. Kette.

Fig. 5.



Zwangläuf. geschloss. Kette.

Fig. 6.



Zwanglos geschl. Kette.

Bewegungen nennt der Maschinenbauer nach dem Vorgange Reuleaux's „zwangläufige Bewegungen“ oder „kinematische¹⁾ Bewegungen“.

Reuleaux unterscheidet: I. Offene Ketten, II. Geschlossene Ketten.

I. Offene Ketten.

Eine offene Kette zeigt Fig. 3 (a. S. 515); geschlossene Ketten sind dargestellt in Fig. 4, 5, 6.

Als Beispiel einer offenen Kette kann man anführen den menschlichen Arm:

a) Rumpf, b) Oberarm, c) Unterarm, d) Hand, e) f) g) erstes, zweites, drittes Fingerglied.

II. Geschlossene Ketten²⁾

sind die Kiefergelenke einiger Giftschlangen³⁾ (Fig. 9), welche dazu dienen, die Giftzähne aufzurichten und niederzulegen.

1) *κίνηω* (kineo) = ich treibe, treibe an, zwinge zu gehen. Vergl. Reuleaux, Kinem. II, S. 145.

2) Vergl. Reuleaux, Kinem. II, S. 166.

3) Vergl. Thilo, Sperrvorr. i. T., S. 508.

Die Zahl der Kettenglieder und die Art ihrer Befestigung aneinander ist von der größten Bedeutung für die Beweglichkeit der ganzen Kette. Dieses mögen die in Fig. 4, 5, 6 dargestellten Vorrichtungen erläutern. Man stelle sich vor, dass sie aus Flacheisen bestehen, welche durch bewegliche Zapfen (einaxige Gelenke) aneinandergefügt sind.

Die Kette von 3 Gliedern (Fig. 4) ist unbeweglich oder „übermäßig geschlossen“.

Die Kette von 4 Gliedern (Fig. 5) ist „zwangsläufig geschlossen“. Die Schraffurierung unterhalb des Gliedes *b* deutet an, dass *b* auf einer Unterlage befestigt ist. Bewegt man *c*, so wird *a* und *d* in ganz bestimmten Bahnen mitbewegt, bewegt man *a*, so wird *c* und *d* in ganz bestimmten Bahnen mitbewegt.

Also die Bewegungen aller Glieder sind bestimmt.

Die Kette von 5 Gliedern (Fig. 6) ist „zwanglos geschlossen“. Wenn das Glied *b* festgestellt ist, so sind nur die Bewegungen von *a* und *c* bestimmt. Die Bewegungen von *d* und *e* hingegen sind nicht bestimmt. Selbstverständlich sind diese Verhältnisse für den Maschinenbauer von großer Wichtigkeit, da er ja genötigt ist, seine Maschinen so herzustellen, dass sie genau die von ihm gewünschten Bewegungen ausführen. Natürlich muss er hierbei nicht erwünschte Bewegungen verhindern. Also die Lehre vom Zwanglauf zeigt, wie der Maschinenbauer Bewegungen herstellen und wie er sie verhindern kann. Hierbei hat er es so einzurichten, dass die zu Bewegungen dienenden Maschinenteile (Räder, Schieber u. s. w.) möglichst frei beweglich seien, damit sie möglichst wenig Reibungen oder Spannungen erleiden. Die nicht beweglichen Maschinenteile (Gestelle, Lager u. dergl.) hingegen muss er so herstellen, dass sie den Gang der Maschine nicht stören (durch Schwankungen u. dergl.) und dass sie möglichst widerstandsfähig seien. Hierzu muss er zu Gestellen, Ständern u. s. w. „übermäßig geschlossene“ (dreigliederige) Ketten verwenden (Fig. 4). Genau dieselben Aufgaben hat auch der Orthopäde zu lösen. Für schmerzhaft Gelenke muss er Apparate herstellen, die jegliche Bewegung im Gelenk verhindern, für steife schmerzlose Gelenke muss er Apparate ersinnen, welche mit der größten Schonung Bewegungen im Gelenke hervorrufen. Leider entsprechen noch immer nicht sehr viele orthopädische Apparate diesen Anforderungen. So hat z. B. der Anatom Herm. Meyer schon vor 30¹⁾ Jahren nachgewiesen, dass ein Apparat, welcher noch heute zum Strecken verkrümmter Kniegelenke benutzt wird, vollständig gegen die Grundregeln der Mechanik verstößt und geradezu eine Verrenkung der Gelenkteile (Bajonettstellung) hervorrufen muss. 30 Jahre hindurch blieb sein Nachweis anerkannt und — unberücksichtigt. Der Apparat wird — wie gesagt — noch immer unverändert benutzt und nur bisweilen liest man die Äußerung, dass er im allgemeinen nicht gut vertragen wird. Die Fehler des Apparates kann man leicht verbessern, wenn man sie erkannt hat, aber es scheint eben diese Erkenntnis recht selten zu sein und hieraus ersieht man, wie notwendig für den Orthopäden Kenntnisse der Mechanik sind.

1) H. Meyer, Ueber gewaltsame Streckungen von Kontrakturen, insbes. d. Kniegelenkes. Arch. f. klin. Chir. v. Langenbeck, 1868, Bd 9, S. 169.

Der Anatom und Physiolog hat diese Notwendigkeit schon längst eingesehen, und er braucht seine Kenntnisse nur nach den Errungenschaften der technischen Wissenschaften zu ergänzen. Die Zwanglauflehre würde auch ihm viele bisher unverständliche Verhältnisse erklären. So besteht z. B. das menschliche Becken aus 3 Teilen, die eine übermäßig geschlossene Kette bilden. Auf die Bedeutung der Dreigliederung des Beckens hat schon der Anatom H. Meyer¹⁾ hingewiesen. Er sagt: „Das Becken hat bei seiner Zusammenfügung aus 3 Teilen eine gewisse Nachgiebigkeit, ohne darum an seiner Festigkeit etwas einzubüßen. Das Becken leistet darum der Lastübertragung keinen starren Widerstand, sondern nimmt sie schonender mit einer Art von Federung auf — ein Umstand, der namentlich bei plötzlichen Uebertragungen von Wichtigkeit wird, z. B. bei der Berührung der Füße mit dem Boden beim Schlussakt des Sprunges.“ Im Alter schwinden leider sehr verschiedene Arten von Federungen, d. h. aus übermäßig geschlossenen Ketten werden durch Verknöcherungen starre Ringe. Dem entsprechend kommen dann auch an alten Knochen leichter Brüche zu stande als an jungen.

Übermäßig geschlossene Ketten bilden auch die Fußwurzelknochen, welche das sogenannte Gewölbe des Fußes zusammensetzen. Auf den Nutzen dieser Verbindungen hat gleichfalls der ausgezeichnete Anatom Hermann Meyer²⁾ hingewiesen. Nur seine großen mechanischen Kenntnisse und Fähigkeiten setzten ihm in den Stand, die Entstehung des Klumpfußes und des Plattfußes richtig zu deuten und ein Schuhwerk zu ersinnen, welches nicht bloß tausende von Kranken von sehr qualvollen Leiden befreite, sondern auch die Leistungsfähigkeit der Gesunden steigerte. Es ist eine bekannte Thatsache, dass Schlachten verloren gehen können, wenn die Truppen wegen schlechter Stiefel nicht marschfähig sind. Wie sehr aber die von Meyer angegebenen Stiefel die Marschfähigkeit steigern, ist allgemein anerkannt und man kann daher wohl ohne Uebertreibung sagen, dass seine wissenschaftlichen Arbeiten einen nicht geringen Anteil an so manchem Siege haben.

Hier hat es sich wiederum gezeigt, wie rein theoretische Forschungen, auf die nur zu oft der Praktiker mitleidig herablickt, die allergrößte praktische Bedeutung haben können.

Die soeben besprochenen kinematischen Ketten waren nur aus starren Elementen zusammengesetzt. Es wurde jedoch schon oben darauf hingewiesen, dass es auch Ketten giebt, die aus starren Elementen und Zug-Elementen bestehen, z. B. Knochen, Muskeln und Sehnen, oder solche Ketten, die aus Zugelementen oder flüssigen Elementen (Druckelementen) zusammengesetzt sind, z. B. Ader und Blut. Die Verwendung aller dieser Ketten erläutert R. in dem Abschnitt über die dritte Form seiner Analyse, in der

C. Getriebeanalyse.

„Sie legt dar, in welcher Weise die kinematischen Ketten zu Bewegungszwecken benutzt werden und überhaupt benutzbar sind. Wenn

1) H. Meyer, Die Statik. u. Mechan. d. menschl. Knochengewebes. Leipzig Engelmann, 1873, S. 280.

2) Herm. Meyer, Stat. und Mechan. d. menschl. Fußes. Jena, Fischer, 1886. Ursach. u. Mechan. d. Entsteh. d. erworben. Plattfuß. Jena, Fischer, 1883 u. a. Schriften. Meyer's höchst lehrreiche Knochenpräparate zu diesen Abhandlungen befinden sich im Senckenbergmuseum zu Frankfurt a. M.

ausführlich behandelt, bildet diese dritte Analyse den Lehrstoff der angewandten Kinematik. Eines ihrer Hauptergebnisse ist, dass die Anzahl der Mechanismen oder Getriebe nicht groß ist. Damit ist eine Vereinfachung von außerordentlicher Tragweite gewonnen.“

Gewiss sind Vereinfachungen die Grundbedingungen einer jeden höheren Entwicklung und gewiss empfindet wohl der vergleichende Physiolog ganz besonders das Bedürfnis nach Vereinfachung seiner sehr umfassenden Untersuchungen. Er hat es ja immerfort mit einer ungeheuren Menge von Mechanismen zu thun, die auf den ersten Blick grundverschieden von einander zu sein scheinen. Bei genauerer Untersuchung bemerkt er jedoch oft bald, dass Reuleaux Recht hat, wenn er sagt: „Ihrer Gattungen sind nicht viele, in Arten sind sie recht zahlreich, in Ausführungen aber geradezu unzählbar und übertreffen in diesem Punkte die künstlichen Maschinen milliardenfach.“

Einen Ueberblick und ein Verständnis für diese Milliarden von Ausführungen zu schaffen, ist die schwierige Aufgabe des vergleichenden Physiologen und gerade er muss nur zu oft verzweiflungsvoll anrufen, „wo fass ich dich unendliche Natur“. Er wird daher ganz besonders

Fig. 7.

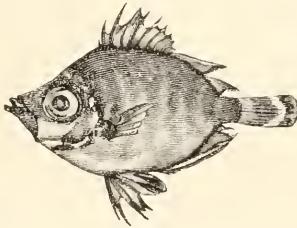
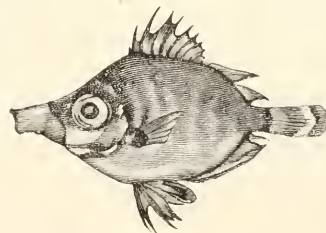


Fig. 8.



wohlthuend die Erleichterung empfinden, welche Reuleaux's kinematische Analysen gewähren.

Bei der Getriebeanalyse muss man nach R. an den Mechanismen unterscheiden die Leitung und Haltung, Treibung und Gestaltung.

I. Die Leitung

„oder Führung in bestimmten Bahnen“ lässt sich an zahlreichen Bewegungs- vorrichtungen des Tierkörpers deutlich nachweisen.

Die Gliedmassen werden von den Muskeln in kreisförmigen Bahnen geleitet. Diesen Kreisführungen entsprechen auch die Ausdrücke der Turner „Armkreisen, Beinkreisen“ u. s. w.

Es gibt aber auch Leitungen in geraden Bahnen. Eine derartige „Geradführung“ beschreibt Reuleaux nach den Lehren des Zwanglaufes am Maule des „Lippfisches“. Dieser kleine Fisch versteht es, sein Maul so sehr zu spitzen, dass er hierdurch seiner Körperlänge $\frac{1}{7}$ zusetzen kann. Er bildet hierbei mit seinem gespitzten Maule eine Art Fangschlauch. Fig. 8 zeigt den Fisch mit vorgestülptem Fangschlauch, Fig. 7 mit zurückgelegtem.

Die Leitung durch Zugelemente tritt an den Muskeln und Sehnen besonders deutlich hervor. Bedeutendere Aenderungen im Gelenke ruft auch Aenderungen in den Muskeln hervor und umgekehrt. Wenn

z. B. nach einer Endzündung das dreiaxige menschliche Hüftgelenk so sehr gelitten hat, dass es nicht mehr um drei Axen, sondern nur noch um eine Axe bewegt werden kann, so schwinden diejenigen Muskelgruppen, welche zu den Bewegungen um die beiden anderen Axen benutzt wurden. Sie schrumpfen und gehen durch Atrophie (Muskelschwund) ein.

Man sieht also, wie streng man die Regeln des Zwanglaufes an Muskeln und Gelenken verfolgen kann.

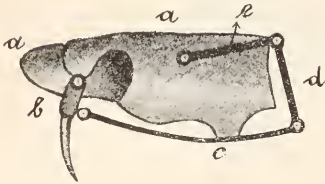
Leitungen von flüssigen Elementen

oder Druckelementen sind die Blutadern mit ihren Druckorganen (Herz u. s. w.) und die Verzweigungen der Lufröhren. Gerade diese Leitungen sind in der Technik ganz besonders gut bearbeitet und die Medizin hat ja auch schon einiges aus diesem reichen Schatze der Techniker sich angeeignet.

Einige Vorrichtungen zur Bestimmung des Pulses sind den Manometern der Dampfmaschinen entlehnt. Das Kymographion von Ludwig entspricht einem Manometer, welches schon Watt benutzte. Das Hohlfederkymographion von Fick ist dem Bourdon'schen Hohlfedermanometer an Dampfmaschinen nachgebildet¹⁾.

Andererseits interessiert man sich auch in technischen Kreisen für die Arbeiten der Physiologen auf diesem Gebiete, so hat z. B. Ingenieur Hertel²⁾ in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure die Arbeit von Roux über Flüssigkeitsbewegung in einem dem Adernetz ähnlichen Gefäßnetz besprochen. — An die Leitung schließt R.

Fig. 9.



II. Die Haltungen.

Er sagt³⁾: „Eine Haltung nenne ich bei den vorliegenden Untersuchungen eine mechanische Einrichtung, die zum zeitweiligen Aufsammeln und Abgeben von Arbeitsvermögen geeignet ist, den Namen habe ich den so bezeichneten Kanalabschnitten und Bergbauanlagen entlehnt, wende ihn aber auf alle drei Elementengattungen, die starren, die Zug- und Druckelemente, an.“

Hierher gehören also die Mühlenstauungen, die Dampfkessel, Blasebälge u. s. w. Im Tierkörper entsprechen ihnen die Ernährungsvorrichtungen und jene Behälter, die zum Aufsammeln der verschiedenartigsten Flüssigkeiten und Gase dienen, wie Galle, Speichel, Harn, Luft (Schwimmblase, Luftsäcke der Vögel).

Die „Haltungen“ gehören zu den ältesten Errungenschaften der Technik. Ich erinnere nur an die bewunderungswürdigen Wasserwerke der Aegypter und Römer, an die verschiedenartigen Behälter für Flüssigkeiten aus Holz, Thon, Metall, an die Behälter für Luft (Blasebälge, Luftballon) u. s. w. Die Mittel zur Herstellung und Ausbesserung dieser „Haltungen“ sind seit altersher ebenso gut bekannt, wie die guten und schwachen Seiten der hierzu erforderlichen Stoffe. Es sind eben hier vieltausendjährige Er-

1) Vergl. Landois Lehrb. d. Physiol. Wien, 1899, S. 168.

2) Hertel, Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ingen. 1885, S. 660. Roux, Jenaische Zeitschr. f. Nat.-Wissensch. 1878.

3) Kinem. II, S. 347.

fahrungen und Beobachtungen des Menscheingeistes aufgespeichert, die dem Physiologen eine reiche Fundgrube bieten, wenn er das Entstehen und Vergehen ähnlicher „Haltungen“ am Tierkörper erforschen will.

An die Haltungen schließt R.

III. Die Treibung.

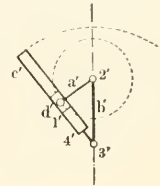
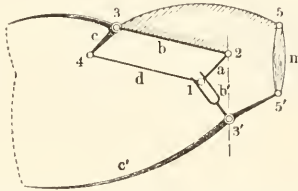
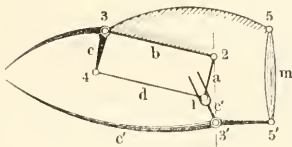
Durch „Treibung“ werden die Bewegungen eines Körperteiles auf einen anderen Körperteil übertragen, z. B. von einem Knochen auf den anderen, von einem Muskel auf einen Knochen, vom Herzen auf das Blut u. s. w.

Auch hier weist R. darauf hin, dass die Gattungen der „Treibwerke“ nicht sehr zahlreich sind, wohl aber die Ausführungen derselben. Die starren Teile des Tierkörpers (Knochen u. dergl.) werden nach R. hauptsächlich durch Kurbel und durch Rollenzüge bewegt.

Besonders deutlich ist der „Kurbeltrieb“ an den Zähnen einiger Giftschlangen. Fig. 9 *a* Schädel, *b* Kurbel (beweglicher Oberkiefer mit Giftzahn), *c* Schubstange (Gaumenbein + Querbein + Flügelbein), *d* u. *e* Schwingen (*d* = Quadratbein, *e* = Schläfenbein). Wird die Schubstange *c* nach vorn geschoben, so wird der Oberkiefer *b* mit Giftzahn aufgerichtet und *b* aus der „Ruhelage“ in die „Beißstellung“ übergeführt.

Fig. 10.

Fig. 11.



Ich habe hier dieses Beispiel gewählt, weil es ganz besonders deutlich zeigt, wie ein Knochen den anderen „treibt“. Die Schubstange *c* treibt den Kurbel *b*, ähnlich wie die Schubstange einer Dampfmaschine das Schwungrad treibt.

Auch Reuleaux¹⁾ führt dieses Beispiel an, er sagt: „Der von Thilo beschriebene Mechanismus, der den Giftschlangen zur Aufrichtung und Zurücklegung der Giftzähne dient, ist ein Kurbelgetriebe.“ R. führt noch folgende Beispiele an:

1. Beispiel. Ein sehr beachtenswertes Treibungsbeispiel liefert der nach Graber's Beschreibung²⁾ in Fig. 10 u. 11 schematisch dargestellte Vogelschnabel, der die bekannte Eigentümlichkeit besitzt, dass Ober- und Unterkiefer sich zugleich gegen den Schädel bewegen. In Fig. 10 ist der Schnabel geschlossen, in Fig. 11 geöffnet gedacht. Der deutlich erkennbare Kurbeltrieb hebt den Oberkiefer, sobald der Unterkiefer durch den Muskel *m* (der bei 5' den Fortsatz des Unterkiefer fasst) nach unten bewegt wird. Der Unterkiefer trägt an sich das Getriebe 2. 3' 1, welches

1) Reuleaux, Kinem. im Tierreiche, S. 749.

2) Graber, Vitus. Die äußer. mechan. Werkzeuge der Tiere. I. Wirbeltiere S. 72, Fig. 40, Kopf der Eule. Reuleaux hat das Schema Graber's nach den Regeln des Zwanglaufes etwas geändert.

eine „rotierende Kurbelschleife“ ist. Elastische Bänder bewirken Schließung des Schnabels, wenn der Muskelzug aufhört. Zahlreiche andere Anwendungen der Kette kommen als Mechanismen zur Flügelbewegung der Insekten vor.

2. Beispiel. „Einer besonders merkwürdigen Benutzung des Kurbeltriebes sei hier noch gedacht, es ist die in den Saug- und Haftfüßen mancher Tiere, u. a. des Geckos, jener bekannten Eidechsen der Mittelmeerküsten. Die fünfzehigen Füße des an den Zimmerwänden und Decken sicher laufenden Tierchens berühren die Lauffläche mittelst paralleler dünner Hautblättchen, schematisch dargestellt (Fig. 12), welche die Ballen der Zehen bilden. Nach ihrer Ansetzung in schräger Lage werden sie durch Muskelzug mehr aufgerichtet¹⁾, vergrößern dadurch die zwischen ihnen gebildeten Kammern und erzeugen demzufolge darin eine beträchtliche Luftverdünnung, die die Füßchen haften macht. Die Hautblätter bilden mit der Sohle, an der sie mit Bandgelenk haften, Parallelkurbeln, deren viertes Glied jedesmal die Lauffläche abgiebt“.

Bei dem merkwürdigen Schildfisch oder Schiffshalter, *Echeneis remora*, hat der auf dem Kopf und Nacken befestigte ovale Saugschild

Fig. 12 a.

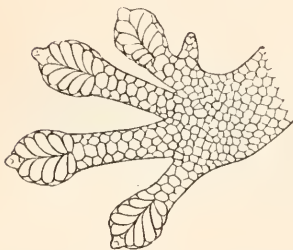


Fig. 12 b.

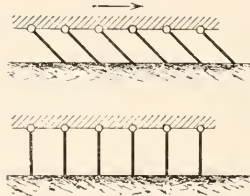
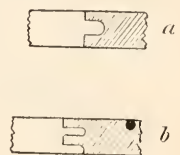


Fig. 13 a u. b.



12—27 Paare, je nach der Art der Gattung der erwähnten Kammern; er richtet die Hautblätter auf, indem er sich rückwärts bewegt und haftet dann sehr fest. Die in der Toronsstraße vorkommende Art des Schildfisches wird 90 cm lang, Schild 25 cm. Eine der besprochenen nur entfernt verwandte Bauart weisen die Vorderfußballen des Wasserkäfers (*Dytiscus*) auf. Jeder der beiden Füße ist mit zwei flachen Saugnäpfchen ausgerüstet, mittelst deren sich das Tierchen mit Hilfe der die Näpfchen umgebenden klebrigen Fasern auffallend fest anhaften kann.

An diese Beschreibung der Kurbeltriebe schließt Reuleaux die Besprechung der

Rollentriebe.

Eines der besten Beispiele eines Rollentriebes ist wohl der Rollmuskel (musc. trochlearis) des Augapfels. Seine Sehne verläuft im spitzen Winkel über eine Schlinge, welche von einer knorpelhaften Sehne gebildet wird und erinnert daher lebhaft an unsere „Rollenzüge“. Uebrigens erkennt man auch an anderen Sehnen den „Rollentrieb“ sehr deutlich, z. B. an den Sehnen des Fußes. Reuleaux weist darauf hin, dass es auch Muskeln giebt, die ähnlich der Sehmur eines Brummkreisels einen

1) Vergl. Graber, Werkzeuge der Tiere I, S. 187.

Knochen umschlingen und drehen. Diese Verwendung der Schnur, welche an den Winden vorkommt, wird nach dem Vorgange von R. „Wicklung“ genannt. Derartig verlaufende Muskeln bezeichnet R. daher als „Wickelmuskeln“. Als Beispiel hierfür führt er an die Muskeln, welche die Speiche des menschlichen Unterarmes auswärts und einwärts drehen. Allerdings sagt auch schon Hyrtl vom kurzen Auswärtsdreher der Speiche (*musc. supinator brevis*), „er umgreift $\frac{3}{4}$ der Peripherie der Speiche und ist deshalb der einflussreichste und am günstigsten wirkende Auswärtsdreher derselben“.

Spertriebe im Tierkörper.

R. sagt in seinem Konstrukteur¹⁾ „von allen Mechanismen, über welche die praktische Mechanik verfügt, zeigen sich bei näherer Untersuchung die Gesperre als die am meisten benutzten“.

Da die Mechanik der Tierkörper ja auch nichts anderes ist als eine praktische Mechanik, so müssen in ihr selbstverständlich die Gesperre dieselbe Rolle spielen wie im Maschinenbau. Nach meinen Beobachtungen (Thilo) findet man hauptsächlich in zwei Fällen Sperrvorrichtungen am Tierkörper.

1. Wenn die Tiere einen Körperteil sehr lange Zeit in einer und derselben Stellung erhalten müssen, so wird diese Arbeit den Muskeln durch Sperrvorrichtungen entweder abgenommen oder doch erleichtert.

2. Wo eine Masse nach einer bestimmten Richtung hin bewegt wird, verhindern Gesperre ihren Rückgang und erzwingen so die Fortbewegung (Blutgefäße, Darmkanal).

Reuleaux führt Beispiele an über: I. Sperrtriebe aus starren Elementen, II. Sperrtriebe aus Druck- und Zugelementen (elastische Ventile, Flüssigkeiten).

I. Sperrtriebe aus starren Elementen.

R. hat selbst hauptsächlich wirbellose Tiere untersucht und hat ebenso wie Vitus Graber eine große Vorliebe für dieselben. Gewiss ist das sehr verständlich, erstens „sind ihre Gelenke meistens wirklich zwangläufig“, zweitens bieten sie ein so unerschöpfliches Untersuchungsmaterial, dass schon Swamerdam bei seinen Forschungen sie deshalb bevorzugte. R. stellt folgende Beispielsreihen auf:

1. Beispielsreihe. „Der Käferkörper ist reich an Gesperren. Seine Flügeldecken bilden einen harten Panzer, an dem drei Gesperre vorkommen. a) Die zusammengelegten Oberflügel greifen mit einem Falz²⁾ ineinander, der entweder einfach ist, wie an den Fensterflügeln rheinischer Bauart, oder doppelt (Fig. 13 a u. b). b) Ein zweites Gesperre besteht zwischen Oberflügel und Schild (Scutellum). c) Ein drittes Gesperre hält die Flügeldecken ausgespannt, ohne dass eine Muskelanstrengung dazu erforderlich ist, wenn der Käfer fliegt.“

2. Beispielsreihe. R. bespricht die von mir im Biol. Centralblatt³⁾ an Wirbeltieren beschriebenen Gesperre, also Zahngesperre des

1) Reuleaux, Konstrukteur, S. 601.

2) R. führt an, dass schon Graber diesen Falz beschreibt.

3) Thilo, Sperrvorricht. im Tierreich. Biolog. Centralbl., 1. August 1899, ebenda 1. Juli 1900.

Fisches *Zeus faber*, Ausnutzung der Todlagen beim Barsch, Stichling u. s. w. Ich kann hier nur wiederholen, dass nur das Studium von Reuleaux's Werken mir die Möglichkeit bot, die sehr zusammengesetzten Verhältnisse der dort geschilderten Mechanismen zu verstehen und anderen verständlich zu machen.

3. Beispielsreihe. Das „Spannwerk“ des Springkäfers wird eingehend geschildert.

4. Beispielsreihe. Als Sperrer für Flüssigkeiten dienen am Fischkörper die Kiemendeckel. Auch die Klappen der Hüftglieder am Käferleibe scheinen nach R. Sperrer zu sein.

II. Sperrtriebe aus Zug- und Druckelementen.

R. führt als Beispiele die Klappen der Schlag- und Saugadern an. — Er weist darauf hin, dass aber auch die Flüssigkeiten als Ventile dienen können, indem sie luftförmige Körper absperren, so z. B. werden in unseren Aborten U-förmig gekrümmte Röhren, in denen sich Flüssigkeiten ansammeln, dazu benutzt, um übelriechende Gase fernzuhalten. Dieselbe Bedeutung hat nach Dr. Colyer¹⁾ auch der stark gekrümmte Verlauf des Zwölffingerdarmes (Duodenum) vieler Tierarten.

„Recht eigentliche Klappenverschlüsse sind, ihrer Form nach, die zweischaligen Muscheln. Jedoch kann man sie nach R. nicht zu den Gesperren zählen, welche durch innere oder latente Kräfte wirken.“ Denn sie sind kraftschlüssig, wie jene ringförmig angeordneten Muskeln (Sphincteren) am Ausgange des Darmes, Magens u. s. w.

IV. Die Gestaltung.

In diesem Abschnitte bespricht R. die Formveränderungen, welche die Maschinen am Stoffe vornehmen, den sie bearbeiten. Er behandelt eingehend die Beziehungen zwischen Werkzeug und „Werkstück“ und zeigt, dass während der Arbeit Werkzeug und Werkstück eine kinematische Verbindung bilden. R. meint, wenn man diese Begriffsbestimmung der „Gestaltung“ auf den Tierkörper anwendet, so bemerkt man, dass der Tierkörper nur in einer kleinen Anzahl von Fällen zwangsläufig die Gestaltung bewirkt. Hierher gehört die Erzeugung von Fäden bei den Spinnen, dann einige Arten der Ausstoßung von Stoffen aus dem Tierkörper u. s. w. Von diesen Gestaltungen sind jedoch nach R. gänzlich zu trennen diejenigen, welche die Tiere mit ihren Gliedmassen an Körpern ihrer Außenwelt vornehmen, z. B. die Bauten der Ameisen, Bienen u. s. w.

Zum Schluss seiner Abhandlung bespricht R.

Die Muskelkraft.

Die Muskeln entsprechen den sogenannten Kraftmaschinen oder Motoren der Maschinenbauer. Der amerikanische Ingenieur Thurston²⁾

1) Dr. Colyer, Lancet 1887, wiedergegeben in Sc. Am. Suplem. vom 1. Okt. 1887. Schon im Konstrukteur, S. 1155, weist Reuleaux auf Colyer hin.

2) R. H. Thurston, Ingenieur, Professor und Direktor a. d. Cornell-Universität im Staate New-York, *The Animal as a Prime Mover*. Wiley and Sons, New-York 1894. Uebersetzt von Reuleaux, Prometheus 1895, Nr. 300—302.

sagt von ihnen: „Der Wert, den die lebendige Kraftmaschine für den Ingenieur hat, ist außerordentlich groß, obwohl er selten vollständig gewürdigt wird oder auch zur Ausnutzung gelangt. — Die Theorie dieser lebendigen Maschine und das Studium ihrer Arbeitsweise, ihrer Energie, Verwandlung und sparsamen Ausnutzung bilden eine der wesentlichsten

praktischen Aufgaben,

die einerseits dem Ingenieur, andererseits dem Mann der Naturwissenschaft gestellt sind und dies zwar aus zwei gänzlich verschiedenen Ursachen. „In erster Linie hat die lebendige Maschine einen höheren Wirkungsgrad als irgend eine Dampfmaschine und schließt Arten der Umwandlung, Aufspeicherung und Verwendung von Energie ein, welche noch Geheimnisse sind und welche, wenn einmal aufgeklärt und in die Maschinenpraxis übertragen, sich unendlich wertvoller für die Verbesserung der gebräuchlichen Verfahrensarten erweisen würden, als die Erfindung der heutigen Dampfmaschine gegenüber den alten Maschinen von Worcester u. Savary war. Ebenso ist es wahrscheinlich, dass die Wege, auf welchen die Natur Licht, Elektrizität und mechanische Arbeit hervorbringt, sich als unverhältnismäßig sparsamer erweisen werden als diejenigen, die der Mensch einschlägt. Jedenfalls sind sie stark davon verschieden und unbegreiflich wirkungsreicher in sich, nämlich als Umwandlungen weit einfacher als irgend ein bisher von der Wissenschaft entdeckter Vorgang. In zweiter Linie ist es nicht unmöglich, wenn einmal die Wirkungsgesetze der lebendigen Maschine vollständig erklärt sein würden, dass wir Mittel finden könnten, den tierischen Mechanismus in unseren Maschinen zu übertragen und die Mittel zu verwenden, welche in ihm zur Leitung des Getriebes ihre merkwürdigen Dienste thun.“ Diese Worte eines praktischen Amerikaners kennzeichnen wohl zur Genüge die große praktische Bedeutung der physiologischen Untersuchungen für die Ingenieurwissenschaften und machen es verständlich, warum gerade ein Ingenieur wie Reuleaux so viel Zeit und Kraft auf die Lösung eines der schwierigsten Probleme der Tierkörperphysiologie verwandt hat.

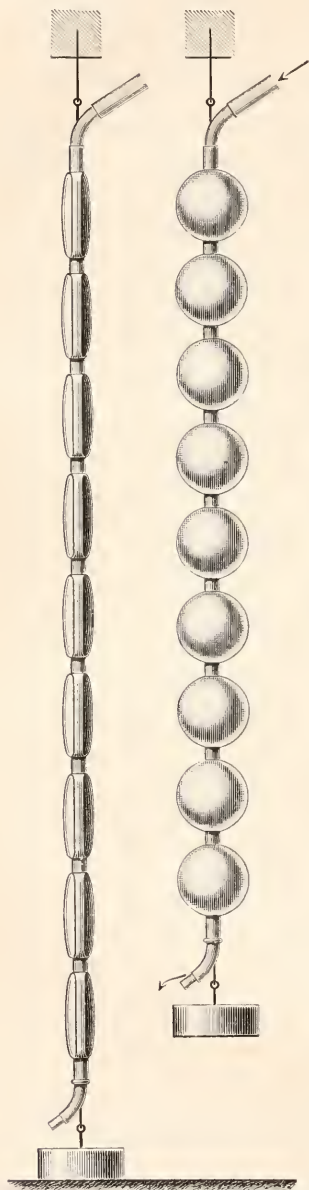
Reuleaux untersucht zunächst rein mechanisch, ob es möglich ist, ein Gebilde künstlich herzustellen, welches in ähulicher Weise sich zusammenzieht wie ein Muskel. Er macht darauf aufmerksam, dass alle dehnbaren Körper (Gummistränge, Seile, Draht u. s. w.) unter gewöhnlichen Verhältnissen sich nur dann zusammenziehen, wenn man sie vorher ausgereckt hat (Hooke'sches Gesetz). Der Muskel jedoch kann sich zusammenziehen ohne vorherige Dehnung. Etwas ähnliches findet man an trockenen Hanfseilen, die mit Wasser durchtränkt werden.

R. erinnert an die berühmte Aufrichtung des Obelisken durch Fontana¹⁾ in Rom (1586 n. Chr.). Als die Taue im letzten Augenblicke nicht mehr genügend anzogen, wurden sie mit Wasser begossen; hierdurch zogen sie sich zusammen und bewirkten die Aufrichtung. Diese Zusammenziehung der Seile ist nach R. folgendermaßen zu erklären:

1) Näheres siehe Reuleaux, Kinem. II, S. 205.

Die Seile enthalten eine unendlich große Menge kleiner schlauchförmiger Hohlräume. Füllen sich diese mit Wasser, so blähen sie sich

Fig. 14 a n. b.



ballonartig auf, da ja alle elastischen Hüllen die Kugelform anstreben, wenn sie prall mit Wasser oder Luft gefüllt werden. Natürlich werden sie hierdurch breiter und kürzer und bewirken so eine Verkürzung des ganzen Seiles. Diesen Vorgang ahmte R. nach, indem er einen Strang herstellte, der aus lauter kleinen dehnbaren Schläuchen besteht (Fig. 14 a). Er hängte diesen Strang auf und befestigte an seinem unteren Ende ein Gewicht. Blies er nun von obenher Luft ein, so füllten sich die kleinen Schläuche ballonartig, der ganze Strang verkürzte sich und hob das Gewicht (Fig. 14 b) wie ein Muskel, der sich verkürzt. Wurde die Luft stoßweise eingeblasen, so hüpfte das Gewicht auf und ab und gab so das Bild der „Muskelzuckungen“. Hiermit hatte R. das Problem gelöst, künstlich ein Gebilde herzustellen, welches ohne vorherige Dehnung sich so wie ein Muskel zusammenzieht. Dieses Problem hat er rein mechanisch durch seine Kinematik gelöst. Ganz selbstverständlich ist hiernit nicht das Problem der Muskelthätigkeit gelöst.

R. behauptet es auch nicht, sondern bezeichnet ausdrücklich sein Modell als „einen Versuch, dem Problem einen kleinen Schritt näher zu kommen“. Mir erscheint jedoch dieser Schritt bedeutungsvoll, weil er der erste Schritt auf einer neuen viel versprechenden Bahn ist. Schon deshalb halte ich Reuleaux's Versuch für sehr wertvoll, weil er auf eine rein mechanische Seite des Problems aufmerksam macht, die bisher unberücksichtigt blieb. Außerdem führt er zu einer Arbeitsteilung auf einem Gebiete, das bisher wegen seines großen ungeordneten Materiales schwer zu übersehen war.

R. weist darauf hin, dass sein Modell eine kinematische Kette aus Zug- und Druckelementen ist und meint, dass es sich wohl auch bei den Zusammenziehungen der Muskeln um ähnliche zwangsläufige Vorgänge handelt; denn auch bei diesen beobachtet man eine Kette von Erscheinungen, die voneinander abhängig sind.

Aehnlich scheinen ihm die Verhältnisse bei den Reflexbewegungen zu liegen und daher sagt er, „dass Zwanglauf bei ihnen eine große Rolle

spielt, ist aus ihrer großen Regelmäßigkeit wohl mit Sicherheit zu entnehmen“.

Wir sind daran gewöhnt, derartige Vorgänge als einen Kreislauf zu bezeichnen. Ich glaube, man kann sie in vielen Fällen einen Zwanglauf nennen. Ueberhaupt wird man wohl oft statt Kreislauf in der Natur Zwanglauf in der Natur sagen können.

Hieraus ersieht man wohl, wie groß die Bedeutung der Lehren vom Zwanglauf für die Naturwissenschaften ist! Sie erleichtern es ja dem Naturforscher in hohem Grade, schwierige mechanische Verhältnisse zu verstehen und anderen verständlich zu machen.

Gewiss giebt es eine große Menge von ausgezeichneten Arbeiten auf diesem Gebiete, welche anscheinend nicht vollständig von den Errungenschaften der technischen Wissenschaften beeinflusst wurden.

Reuleaux weist z. B. auf die Arbeiten von Vitus Graber hin und sagt: „Der leider schon verstorbene Forscher Vitus Graber hat in zwei vorzüglichen Schriften den Gliederbau der Kerbtiere größeren Leserkreisen in vortrefflichster Darstellung aus vorzüglich eigenen Entdeckungen vorgeführt“.

Diesen Schriften kann man die Arbeiten von Langer, H. Meyer und vielen anderen anreihen, aber wie mühevoll waren diese Arbeiten für die Forscher selbst, wie gering war das Verständnis und die Verbreitung, welche ihre Schriften fanden.

Langer's Arbeiten wurden vor 40 Jahren gedruckt und sind wenig bekannt.

H. Meyer's Schriften werden selbst von Medizinern kaum gelesen, obgleich sie doch für die Medizin von der allergrößten praktischen Bedeutung sind. Graber's „Insekten“ und „Werkzeuge der Tiere“ sind kaum im Buchhandel zu haben. Die erste Auflage war schwer abzusetzen und daher erfolgte keine zweite.

Alle diese Thatsachen deuten wohl sehr nachdrücklich darauf hin, dass es noch wenig Leser giebt, die ein Verständnis für derartige Arbeiten besitzen. Ein Fortschritt auf diesem Gebiete ist wohl nur dann möglich, wenn die breite Kluft überbrückt sein wird, welche zwischen den Wissenschaften des Erkennens und den Wissenschaften des Schaffens besteht. — Die Ergebnisse seiner Untersuchungen fasst Reuleaux folgendermaßen zusammen:

„In der nun beendigten Studie hat sich gezeigt, dass Kinematik im Tierreiche an zahllosen Stellen herrscht. Ungeschlossene, sonst aber recht vollkommen gebaute kinematische Ketten finden sich gewöhnlich in den Gliedmaßen, „geschlossene“ Ketten, von Kräften bewegt, also „Mechanismen“, erweisen sich indessen auch als in beträchtlicher Artenzahl vorkommend. Der Anzahl nach am großartigsten vertreten, zeigten sich endlich solche geschlossene Ketten, die von der Natur in regelmäßigem aber unwillkürlichem Betrieb erhalten werden, jene, das Leben selbst ergebenden Vorrichtungen. Sie sind also vollständige und gehende natürliche Maschinen und entsprechen, ebenso wie jede künstliche Maschine, in ihrem getrieblichen Bau den Gesetzen der Kinematik, insbesondere auch unsrer Begriffsbestimmung der Maschine. Ihrer Gattungen sind nicht viele, wesentlich sind sie Sperrvorrichtungen für Flüssigkeiten, betrieben durch rhythmische Muskelschwingung. In Arten sind sie recht zahlreich,

in Ausführung geradezu unzählbar und übertreffen in diesem Punkte die künstlichen Maschinen milliardenfach. Die im Vorausgehenden ermittelte Gemeinsamkeit der Bauunterlagen für die natürlichen und die künstlichen Maschinen setzt die menschliche Maschinenschöpfung als solche in ein eigenes Licht. Nicht getrennt von der Natur oder gar gegensätzlich zu ihr, wie man es nennen hört, sondern bezüglich der Gesetze ihrer körperlichen Bildung im Einklang mit der Natur steht die Menschenschöpfung Maschine. Andererseits darf aber auch nicht, wie versucht werden könnte, die Folgerung gezogen werden, die künstlichen Maschinen seien in Nachahmung der Natur entstanden. Denn Jahrtausende hindurch machte der Mensch Maschinen und benutzte sie, ehe er zu versuchen im stande war, in das Wesen der Bewegungsweise im Tierkörper einzudringen. Naturforschung aber und Maschinenwissenschaft können einander heute die Hand reichen zu einmütiger Betrachtung großer Teile ihrer beiderseitigen Gebiete.“

[72]

Dr. med. **Otto Thilo** in Riga.

Litteratur.

1. Graber, Vitus. Die äußer. mech. Werkzeuge d. Tiere. Leipzig, G. Freytag 1886. Enthält viel Litteraturangaben.
 2. Graber, Vitus. Die Insekten. München, Oldenbourg 1877.
 3. Kapp, Ernst. Grundlinien einer Philosophie der Technik. Braunschweig, Westermann 1877.
 4. Langer, Dr. Karl. Ueber den Gelenkbau der Arthrozoen. Denkschr. d. Wien. Akad. d. Wiss., Mathem. Naturwiss., Kl. XVIII, Bd. 1869, p. 99.
 5. Meyer, Herm. Die Stat. und Mech. d. menschl. Knochenger. Leipzig, Engelmann 1873.
- Ders. Ueber gewaltsame Streck. v. Kontrakturen insbes. d. Kniegel. Arch. f. Klin. Chir. v. Langenbeck, 1868, Bd. 9, S. 169.
- Ders. Die Entstehung d. erworb. Plattfuß. Jena, Fischer 1883.
- Ders. ebenda 1886, Stat. u. Mech. d. menschl. Fußes.
6. Reuleaux, F., Geheimrat Prof. Dr. Lehrb. d. Theoret. Kinematik. Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens. Braunschweig, Vieweg u. Sohn, Bd. I, 1875, Bd. II, 1900.
- Ders. Der Konstrukteur. 4. Aufl. Braunschweig, Vieweg u. Sohn, 1895.
7. Thilo, Otto, Dr. med. in Riga. Sperrvorricht. im Tierreiche. Biolog. Centralbl., 1. August 1899. Ergänzung ebenda, 1. Juli 1900.
- Ders. englisch. Journal of Anatomy and Physiology, Vol. XXXV, Jan. 1901.
- Ders. Die Umbild. a. d. Gliedmass. d. Fische. Morphol. Jahrb., 1896.
8. Thurston, R. H., Prof. Direktor der Sibley-College a. d. Cornell-University im Staate New-York. The Animal as a Prime Mover. Zeitschr. d. Franklin-Institut, Januar—März 1891, als besondere Schrift erschienen bei Willey and Sons, New-York 1894. Uebersetzt ins Deutsche von Reuleaux in Prometheus 1895, Nr. 300—302.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1901

Band/Volume: [21](#)

Autor(en)/Author(s): Thilo Otto

Artikel/Article: [Kinematik im Tierreiche. 513-528](#)