
ANNALEN DER PHYSIK.

JAHRGANG 1812, ERSTES STÜCK.

I.

Einige Bemerkungen über Muskular-Contraction,

von

PAUL ERMAN,

Secr. der phys. Kl. d. Ak. d. W. u. Prof. d. Phyl. an
der Univerf. zu Berlin.

Ob der Versuch je gelingen werde, die lebendige Muskular-Kraft der thierifchen Körper auf die mechanifchen und chemifchen Gefetze der leblosen Materie zurückzuführen, kann *a priori* nicht entfchieden werden. Dafs man aber bei diefen Bemühungen fich dem Ziele immer mehr nähern könne, leidet keinen Zweifel, und felbft diefes ift fchon bedeutend für das Intereffe der Theorie und der Praxis.

Schon die bloffe Ueberficht der verfchiedenen Theorien, die man bis jetzt erdacht hat, um das Aufchwellen und die Zufammenziehung der Muskeln zu erklären, ift hinreichend, zwei wefentliche Fehler bemerkbar zu machen, an denen alle diefe Theorieen, obgleich in verfchiednen Graden, leiden.

Annal. d. Physik. B. 40. St. 1. J. 1812. St. 1. A

Der erste Fehler ist, daß man stets nur die höheren Thierarten im Sinne gehabt hat. Alles, was man an der äußern und innern Constitution ihrer Muskeln wahrnahm, hielt man für gleich wesentliche und unablässige Bedingung der Muskular-Bewegung, und jedes mechanische Gesetz, welches sich auf irgend eine dieser Modificationen der Muskular-Struktur höherer Thierarten beziehen ließ, hat zu seiner Zeit für die ausschließend wesentliche Bedingung aller animalischen Bewegung gegolten. Seitdem eine gründlichere Einsicht in den ganzen Umfang der thierischen Wesen, als das Ziel der Physiologie anerkannt worden ist, hat man das Beschränkte dieser Aufstellung des Problems nicht unbemerkt gelassen. An den äußersten Grenzen des Thierreichs verschwinden beinahe alle die Charaktere, welche man bei den Muskeln höherer Thierarten für wesentliche Bedingungen jeder Turgeszenz hielt; nichts destoweniger erscheint auch hier die thierische Materie gleichfalls mit der Fähigkeit begabt, sich durch innere und äußere Reizungen zusammenzuziehen. Die faserige Textur, die Anhäufung in längliche Bündel, die spindelförmige Gestalt, welche zwischen zwei festen Anheftungspunkten eine bauchige Erweiterung darbietet, ja selbst die Insertion von bestimmten Zweigen des vaskulösen Systems, sind daher nur als Modificationen zu betrachten, welche nicht wesentlich zum Zweck der thierischen Contractilität gehören, sondern nur zu Nebenzwecken dienen, nämlich zur

größerer Bestimmtheit, Leichtigkeit und Ausdauer dieser ursprünglichen thierischen Function bei vollkommeneren Thieren; da bei den gallertartigen Mollusken und bei den aus einer einfachen Membran bestehenden Zoophyten, selbst das Vergrößerungsglas, keinen von diesen Charakteren entdeckt, und doch die Muskular-Contractionen in ihnen ohne Zweideutigkeit Statt finden. Lassen wir aber diese secundären Modificationen der thierischen Bewegungsorgane fallen, so bleibt uns, als wesentlicher Charakter derselben, nur die Grundeigenschaft übrig, daß die innere Cohäsion ihrer Bestandtheile veränderlich ist, so daß sie durch die sogenannten Reize bald gesteigert, bald vermindert werden kann. Diese Eigenschaft ist aber etwas Ursprüngliches, als solches nicht weiter zu bezweifelndes. Denn ob das absolute Volum eines Muskular-Organes während der Contraction in sich vermindert werde, ist bekanntlich bezweifelt worden; ja man hat es sogar auf den Grund factischer Untersuchungen geläugnet: daß man aber mehr Kraft verwenden müsse, um einen lebendigen so eben contrahirten Muskel, als um einen todten oder schlaffen zu zerreißen, kann man nicht bezweifeln, selbst abgesehen von den evidentesten Thatfachen; denn es ist dieses gewissermaßen das Phänomen der Contraction selbst, mit andern Worten ausgedrückt.

Der zweite Fehler, der sich an den bisherigen physischen Theorien der Muskular-Contraction rügen läßt, ist, daß man in ihnen meistens nur

das Mechanische dieser Zusammenziehung beachtet hat; man verglich *bedingte* Bewegung im Muskel mit irgend einer ähnlichen Bewegung eines unorganischen Systems, und erklärte und berechnete sie nach den Gesetzen dieses als Bild dienenden leblosen Mechanismus, das *bedingende* aber, das wahrhaft ursachliche, wurde zu oft übersehen; wie nämlich es denkbar sey, daß der Reiz, als chemische Action beginnend, in eine mechanische Kraftäußerung ende.

Die elektrischen Reizversuche, welche sich seit Galvani zu einer schätzbaren, aber etwas schwerfälligen Masse angehäuft haben, gewährten schon früh über manches einzelne Detail der Muskular-Contraction mehrere genügende Aufschlüsse. Späterhin ergab sich, daß bei dieser Klasse von elektrischen Wirkungen stets auch ein chemischer Gegensatz eingeleitet wird, so daß der nicht unbequeme Ausdruck: einer durch $+E$ und $-E$ bedingten Oxygen- und Hydrogen-Polarität, nunmehr durch viele Thatfachen gerechtfertigt ist. Und nun entstand für die Physiologie die Hoffnung, in die chemischen Bedingungen des Muskular-Reizes mit faktischer Klarheit einzudringen. Aber das Mechanische des Phänomens, das Band, wodurch für gewisse thierische Theile eine erhöhte innere Cohäsion mit dem veränderten chemischen Zustande zusammenhängt, liegt noch in einem solchen Dunkel, daß meines Wissens noch niemand gewagt hat, hierüber auch nur eine Ahnung auszusprechen: dieser

Umstand allein schon läßt mir einige Nachsicht für den folgenden rohen Versuch erwarten, einem Zusammenhange beider Klassen von Erscheinungen nachzuspüren.

1.

Aus mehreren Wahrnehmungen, die sich mir bei einer früheren Untersuchung darbieten, hielt ich mich unlängst für berechtigt das Resultat zu ziehen, daß bei Anwendung des elektrischen Processes auf unorganische Körper, erweislich, *zugleich mit der galvanisch-veränderten chemischen Verwandtschaft auch eine Modification der mechanischen Cohäsion gegeben sey* *). Hat es mit diesem Resultat seine Richtigkeit, so könnte uns vielleicht hierdurch der Weg vorgezeichnet seyn, auf dem wir für die Muskular-Contraction, welche ihrem Wesen nach nichts als erhöhte Cohäsion ist, den Uebergang von der bedingenden chemischen zur bedingten mechanischen Action zu suchen hätten,

Wenn in einer kräftig wirkenden elektrischen Säule der Zuleiter des einen Pols eine bedeutende Leitungsfähigkeit und zugleich eine große innere Beweglichkeit besitzt, (wie z. B. Quecksilber,) und wenn der Zwischenleiter ein durch Galvanismus chemisch zersetzbarer Körper ist, so entsteht im Augenblick der Schließung der Säule ein erhöhter Grad von wechselseitiger Cohäsion zwischen beiden, der sich durch sehr bedeutende Erschütterungen und Aenderung in der Gestalt der gemeinschaftlichen Begrenzung beider

*) Wahrnehm. über das gleichzeit. Entstehn im mechan. Coherenz u. chem. Verwandtschaft, *Annal. N. F. B. 2. S. 263 f.*

Körper äußert, wodurch das ganze System in Bewegung geräth.

Diese allgemeine Analogie verwandelt sich in ein auffallend treues Bild aller Details einer durch Galvanismus bedingten Muskular-Contraction, wenn man folgende Zusammenstellung wählt, auf die ich erst geführt wurde, nachdem ich die erwähnte Abhandlung bekannt gemacht hatte.

Man hänge an dem einen Arme einer genugsam empfindlichen Wage, mittelst eines feinen Metalldrahts, eine gut centrirte Adhäsions-Platte, stelle unter derselben eine Quecksilberfläche, die mit einer sehr dünnen Wasserschicht bedeckt ist, bringe die Adhäsions-Platte mit diesem Wasser in Berührung, und lege in die Wagechale an dem andern Arme so viel Gewicht, daß die Platte nicht bloß schwebend erhalten werde, sondern daß auch die ganze Wassermenge sich unter ihr in Gestalt einer cylindrischen Hohlkehle anhäuft, und dem Abreißen möglichst nahe sey. In diesem Zustande befand sich meine Wage, als ich sie mit dem einen Pole, und das Quecksilber mit dem entgegengesetzten Pole einer thätigen elektrischen Säule verband, die ich in 2 gleichen noch unverbundenen Theilen aufgebaut hatte; noch war also der Kreis nicht geschlossen. Diese Schließung geschah mittelst eines Hebels, der die in 2 gleiche Schenkel getheilte Säule in Verbindung setzte, ohne der weit davon entfernten Wage die mindeste Erschütterung mitzutheilen. Im Moment der Schließung erhielt die Platte durch die vermehrte Cohäsion des Waf-

lers und des Queckfilbers einen bedeutenden Impuls; sie wurde heruntergezogen, während das Wasser rund umher von ihrer Peripherie hervorschnellte, wodurch die mit einigen Unzen beschwerte Wage sich bedeutend neigte. Diese Bewegung war jedoch mehr ein Stoß oder eine Zuckung zu nennen, als ein dauernder Ausschlag; denn kurz nach der Schließung, und während sie noch dauerte, ging der Wagebalken beinahe wieder in seinen vorigen Stand zurück. Der ihr im Moment der Schließung mitgetheilte Impuls war hingegen so lebhaft und deutlich, daß die entgegengesetzte Schale dadurch meistens in pendelartige Bewegungen gerieth, und die Zunge der Wage mehrere Grade ihres Bogens durchlief. Diese ausgezeichnete Wirkung bleibt nie aus, und ist auch an beiden Polen meistens gleich.

Daß diese Bewegung durchaus nicht eine gewöhnliche elektrometrische Anziehung ist, habe ich für andere Erscheinungen dieser Klasse bewiesen; auch ergibt sich das von selbst schon aus der Größe der Massen, die in Bewegung gesetzt werden, und aus dem Umstande, daß das ganze System unifolirt seyn kann, ohne daß dieses irgend einen Einfluß auf den Erfolg hat. Die Adhäsions-Platte giebt uns folglich hier das treue Bild einer Schließungs-Contraction, deren Bedingung keine andere ist, als gleichzeitige Aenderung der chemischen Verwandtschaft und mechanischen Cohäsion zwischen feste und feuchte Leiter. Diese Bedingungen aber sind

auch das, was wir als das Wesentliche bei der galvanisch gereizten Muskelfaser vorfinden.

Die Aehnlichkeit der Bewegungen der Wage mit denen der gereizten Muskelfaser beschränkt sich indess nicht auf diesen ersten Zug. Oeffnet man den Kreis, nachdem der Wagebalken wieder in Ruhe gekommen ist, so stellt sich das vorige Gleichgewicht der Cohäsionskräfte nach aufgehobener chemischer Reaction wieder ein, aber immer mit einer solchen Beschleunigung, daß das System wiederum erschüttert wird, und die Platte jedesmal losreißt, wobei der Wagebalken die *Trennungs-Contraction* des Muskels nachahmt. Also auch hier geschieht der Uebergang aus einer bestimmten Thätigkeit in die vorige Indifferenz durch eine positive Bewegung, ähnlich der, welche die erste Aufhebung des Gleichgewichts bezeichnete,

Ich sage *ähnlich*, — aber nicht gleich. Und dieses begründet eine dritte Uebereinstimmung des Bildes mit der bezeichneten Sache. In der That, so wie die Schließungs-*Contraction* des Muskels allerdings sich durch einige, obgleich schwer aufzufassende, aber doch reelle Charaktere, von der *Trennungs-Contraction* unterscheidet; so finden wir es auch hier bei der auf veränderte Cohäsion sich gründenden Schließungs- und *Trennungs-Zuckung* der Wage. Bei der *Schließung* reißt die Platte durchaus nie ab, so nahe dem Abreißen sie auch durch das aufgelegte Gegengewicht, und so heftig und erschütternd der Impuls gewesen seyn

mag. Bei der *Trennung* hingegen geschieht unausbleiblich das Gegentheil; und wenn man auch das Gegengewicht bedeutend vermindert, so ist doch die positive Acceleration, mit welcher sich der vorige Grad der Cohäsion wieder darstellt, stets so groß, daß die Platte abgestoßen wird.

Endlich treten noch während der ganzen Zeit des Geschlossenseyns der Kette an der Adhäsionsplatte gewisse Bewegungen ein, die eine wunderbare Analogie mit dem haben, was wir unter gleichen Umständen am gereizten Muskel wahrnehmen. Die Wage nemlich bleibt in Ruhe, die Adhäsionsplatte, die sie trägt, liegt oder fällt *also* nicht; wenigstens nicht merkbar; aber dessen ungeachtet findet während der ganzen Zeit des Geschlossenseyns eine innere Vibration der flüssigen Theile des Leiters Statt, die sich durch Schwingungen und Undulationen anzeigt, welche zu schnell auf einander folgen, und eine zu geringe absolute Intensität haben, um den Wagebalken in wahrnehmbare Schwingungen zu versetzen. Die Ursache dieser so schnell auf einander folgenden Undulationen ist wahrscheinlich keine andere, als die partiellen Entladungen der galvanischen Elektricität, welche durch die unvollkommene Ableitung des Wassers nie absolut abgeglichen werden kann; so daß stets auf kleine sich anhäufende Grade der Spannung gleiche partielle Grade der Entladung folgen. Während des Anhäu- fens wird nun die absolut gesteigerte Cohäsion etwas über ihr Maximum gebracht, um bei der ihr

correspondirenden partiellen Entladung etwas unter das Maximum zu fallen, woraus ein Schwanken der Berührungsfläche des Wassers und des Queckfilbers über und unter die eigentliche Curve, die für sie durch das Schließen überhaupt bestimmt wird, entstehen muß. Mit einem Worte, der erhöhte Grad der Cohäsion bleibt sich nicht absolut gleich während des Geschlossenseyns; er leidet continüirlich kleine partielle Ab- und Zunahmen, obgleich im Ganzen die Cohäsion gesteigert bleibt, so lange der geschlossene Kreis die chemische Zersetzung einleitet.

Beim gereizten Muskel springt nun das Analoge hiervon ganz deutlich in das Auge. Auf die Schließungs-Contraction folgt ein Zustand, wo der Muskel seine absolute Lage nicht mehr durch eigentliche Zuckungen anderweitig ändert, wo man aber doch leicht ein inneres Schwingen und Oscilliren der Muskelbündel wahrnehmen kann, welches nur mit dem Oeffnen des Kreises aufhört. Und sollte uns diese Beobachtung in einigen Fällen schwierig werden, so können wir uns geradezu auf unser eigenes Gefühl berufen, das wir haben, während wir uns im Kreise einer kräftigen Säule befinden. Die kriebelnde Empfindung, die nur beim Oeffnen der Säule aufhört, zeigt deutlich an, daß der hervorgebrachte Zustand von Spannung stets innerhalb gewisser Grenzen schwankt; und daß die Ursache, die ihn bedingt, nicht mit einem durchaus constanten Grade gereizt ist.

Wir haben also an diesen Bewegungen eines unorganischen Systems ein auffallend treues Bild der Veränderungen, die unter ganz gleichen Umständen das organische System des Muskels erleidet; und wie einst Volta seiner Säule die Form eines elektrischen Fisches gab, um gleichsam spielend die Identität beider Wirkungen um so anschaulicher zu machen, so könnte man leicht an einer Zusammenfügung von Hebeln mittelst einer Adhäsions-Platte alle mechanischen Erfolge der galvanischen Reizung darstellen. Ob das chemische Princip in beiden Erscheinungen dasselbe sey, oder ob vielmehr das galvanische Automat eben *so wenig der wahren Bedingung* thierischer Contractionen folgt, wie etwa das von Edgeworth verfertigte hygroskopische den Park durchwandelnde Reh; ist eine Frage, die allerdings einen ernsteren würdigeren Ausdruck verdient, als den sie hier erhält.

Auf jeden Fall entstehen oft aus der Aehnlichkeit einer neuen Reihe von Erscheinungen mit den längst bekannten, neue Momente der Untersuchung, an die man sich nicht scheuen muß, die factische Prüfung anzuknüpfen; denn wo von Qualitäten die Rede ist, würden wir keine bedeutenden Fortschritte machen, wenn es gesetzlich wäre, sie nur nach bereits erwiesenen Analogien aufzusehen.

2.

Die Schließungs- und Trennungs-Zuckungen der Wage durch vermehrte und verminderte Cohäsion führen folgende Momente der Untersuchung herbei:

1. Vermindert sich im Momente der Schließungs-Contraction des Muskels das absolute Volumen desselben?

2. Vermindert es sich ebenfalls, oder *vermehrte* es sich vielleicht über sein mittleres Volumen bei der Trennungs-Contraction?

3. Wie verhält sich das Volumen und der ganze Zustand des Muskels während des Geschlossenseyns und des Aufschwellens überhaupt?

4. Wie hat man sich zufolge faktischer Analogien mit den anorganischen Erscheinungen die Störung des chemischen Gleichgewichts bei galvanisch-gereizten thierischen Theilen zu denken?

Die Wichtigkeit der *ersten* Frage hat man schon früh gefühlt, und viel theoretischen und mathematischen Scharffinn auf die Auflösung derselben verwendet, und ist auch hie und da zu empirischen Untersuchungen geschritten; doch erhielt man auf beiden Wegen widersprechende Resultate. Denn nach einigen soll der contrahirte Muskel sein absolutes Volumen vermindern, nach andern nicht. Die *zweite* Frage, die Trennungs-Contraction betreffend, ist, so viel ich weiß, nie einer faktischen Untersuchung unterworfen worden. Dasselbe gilt von der *dritten* Frage, welche die Dimension des Muskels während des Geschlossenseyns betrifft, oder allgemeiner ausgedrückt, während einer anhaltenden Contraction überhaupt, es sey durch äußere Reizmittel, oder durch das Innere des Willens bei einer gleichförmig dauernden auf Bewegung gerichteten Gehirnthätig-

keit (*Cephalergium motus*). Diese drei ersten Fragen sind so nahe verwandt und der Weg zu ihrer Beantwortung ist so übereinstimmend, daß wir sie hier füglich zusammenfassen können; und nur die vierte, über das Entstehen des gestörten chemischen Gleichgewichts, werde ich abgefordert und für sich behandeln.

3.

Um über die Volum-Veränderungen des Muskels in den drei Perioden der galvanischen Reizung auf empirischem Wege etwas festzustellen, nahm ich einen Glas-Cylinder von 7 Zoll Höhe und 2 Zoll Weite, schliß in ihn nahe am Boden ein kleines Loch ein, und paßte auf die Mündung des Cylinders einen gut zubereiteten Korkstöpsel völlig wasserdicht. Durch den Kork gieng eine oben und unten offene Glasröhre von sehr engem Caliber und außerdem noch ein Platindraht. Ein ähnlicher Draht wurde in das untere in den Cylinder eingeschliffene Loch wasserdicht eingekorkt. Darauf schnitt ich von einem lebendigen Aal ein Stück 4 bis 5 Zoll lang, und zwar an der Stelle des Schwanzes ab, wo keine Höhlung mehr zur Aufnahme der Eingeweide ist, und die als ein Continuum von Muskeln zu betrachten ist. Das Rückenmark wurde mit dem einen Draht, und irgend ein Punkt der Muskeln mit dem andern Drahte verbunden, und so der thierische Theil in den mit Wasser ganz angefüllten Cylinder gebracht. Durch das Aufdrücken des Deckels zur Verschließung des Ganzen liegt natürlich etwas Wal-

fer in die Glasröhre; die Stelle, wo es darin stehen blieb, wurde genau bezeichnet, und nun zur Reizung des thierischen Präparats mittelst einer mächtig starken Säule geschritten.

Bei den häufigen Wiederholungen dieses Processes sowohl mit demselben thierischen Individuo, als mit verschiedenen andern, erhielt ich stets dasselbe Resultat. Im Moment der Schließung fiel jedesmahl das Wasser in der Röhre um 4 bis 5 Linien, und zwar mit einem einzigen Ruck, der so instantan war, wie das Contrahiren des Muskels selbst. Bald darauf stieg das Wasser, ungeachtet die Kette geschlossen blieb, wieder auf das vorige Niveau, aber viel langsamer, als es gefallen war; und so erhielt es sich ohne wahrnehmbare Veränderung während der ganzen Dauer des Geschlossenseyns. Bei der Trennungs- Contraction endlich fiel das Wasser wieder eben so schnell und eben so tief, als bei der Schließungs- Contraction, und nachher stellte sich das vorige Niveau wieder her.

Diese Erscheinungen haben etwas Paradoxes, denn sie scheinen mit keiner Theorie übereinzustimmen; weder mit der, welche eine Verminderung des Volums bei der Muskularaction festsetzt, weil während des Geschlossenseyns, wo doch der Muskel nicht in seinem natürlichen Zustande ist, keine wahrnehmbare Verdichtung Statt findet; noch mit der entgegengesetzten Theorie, weil im Moment des Schließens und Oeffnens, wo doch die eigentliche Contraction eintritt, allerdings eine Verdichtung

des Muskels angezeigt wird. Hieraus erklärt sich auch die Möglichkeit des negativen Resultats in Gilpin's Versuchen, als er auf demselben Wege, den wir so eben einschlugen, durchaus *keine* vermehrte Dichtigkeit bei den gereizten Muskeln des Aals wahrnahm. Er wendete aber auf das thierische Präparat bloß mechanische Reizmittel an. Nun wirken diese nie so kräftig und so instantan, wie die Elektrizität, daher mag in seinen Versuchen die Schließungs- Contraction ganz weggefallen und der thierische Theil geradezu in einen Zustand versetzt worden seyn, dem des Geschlossenseyns der Kette gleich, ohne diejenige Acceleration zu zeigen, welche das Oeffnen und Schließen derselben charakterisirt.

Aus unsern Versuchen ergibt sich nun aber, daß die Schließungs- und Trennungs- Contraction allerdings mit einer nicht ganz unbedeutenden Vermehrung der Dichtigkeit im Muskel verbunden ist, und daß in dieser Hinsicht Croone und Gilpin Unrecht hatten, sie zu läugnen. Es bedarf also für diesen Fall nicht Croone's mathematisch-atomistischer Hypothese, daß die Molekullen der Muskelfaser Sphäroiden sind, die während der Turgescenz mit der kurzen Axe, während der Erschlaffung mit der langen Axe in der Richtung der Muskelfaser liegen, um begreiflich zu machen, wie der Raum, *den sie erfüllen, nie* verkleinert wird, da wir sehen, daß dieser Raum bei der Contraction wirklich vermindert wird.

Wichtiger noch ist das Resultat in Hinsicht auf die Trennungs-*Contraction*. Sie wird uns hier als ihrem Wesen nach gleichartig mit der Schließungs-*Contraction* gegeben; sie ist also nicht, wie viele *a priori* geschlossen haben, die bloße Rückkehr zum vorigen Grade des natürlichen Tons, (ein bloßes Nachlassen desjenigen, was übermäßig gespannt war;) sondern diese plötzliche Aufhebung des gestörten Gleichgewichts, welche mit einer gewissen *Acceleration* eintritt, bedingt etwas Positives, eine eben so große Verminderung des Volumens, wie bei der Schließungs-*Contraction*. Einer andern Hypothese gemäß, sollte die Trennungs-*Contraction* in einer wahren mechanischen *Expansion* bestehen, während nur die Schließungs-*Contraction* wahrhaft *contractiv* wirke. Das Resultat unseres Versuchs ist dieser Hypothese eben so ungünstig: demselben gemäß ist die Trennungs-*Contraction* der Art und dem Grade nach eben so eine wahre *Contraction*, eine wahre Vermehrung der Dichtigkeit, wie die Schließungs-Zuckung.

Höchst paradox erscheint aber in unserm Versuche der Zustand des Muskels während des Geschlossensteyns der Kette. Die Dimensionen desselben sind dieselben, wie im ungereizten Zustande, ungeachtet der Spannung und der erhöhten Thätigkeit, in welcher er begriffen ist.

Um diesem Punkte die Aufmerksamkeit zu widmen, welche er verdient, wollen wir vorläufig noch einmal auf unsere Cohäsions-Versuche zurückblick-

ken. Bewundernswerth ist ihre durchgängige Uebereinstimmung mit dem Detail der eben erwähnten Dimensions-Schätzungen. Wo sich die Adhäsions-Platte dem flüssigen Leiter mit Beschleunigung näherte, da näherten sich auch an einander die Elemente des Muskels, und das Wasser fiel mit Beschleunigung, nemlich bei der Schließung und Trennung; und wo während des Geschlossenseyns der die Platte tragende Hebel wieder in die vorige horizontale Lage zurücktritt, da steigt auch das Wasser in der Röhre wieder auf sein voriges Niveau, und zwar in beiden Fällen mit einer ähnlichen Geschwindigkeit, die viel geringer ist, als die des Fallens bei der Schließung und Trennung. Das Hin- und Herschwingen des Wassers unter der Adhäsions-Platte, und die darauf sich beziehenden Undulationen des Systems der flüssigen Leiter, beweisen aber, daß dessen ungeachtet während des Geschlossenseyns kein absolut beharrlicher Adhäsions-Zustand Statt findet, sondern daß vielmehr eine Reihe von elektrischen Spannungen und Entladungen schnell auf einander folgen, welche correspondirende gleiche Cohäsions-Zunahmen und Abnahmen so continuirlich bedingen, daß die Platte und der sie tragende Hebel in scheinbarer Ruhe schweben, obgleich sie in der That von zwei entgegengesetzten Kräften sollicitirt werden. Alle Versuche, die Beweglichkeit des Hebels so groß zu machen, daß sich die entgegengesetzten Wirkungen, welche die Un-

dulationen bedingen, auch an ihm ausprüchen, sind bis jetzt fruchtlos geblieben.

Als ich an die vergleichende Untersuchung der unter Wasser gemessenen Dimensionen gieng, hatte ich die Hoffnung, es würde sich hier an einer zitternden Bewegung der gehobenen Wasserläule der innere Wechsel der Cohäsions-Zustände des Muskels während des Geschlossenseyns eben so äußern, wie an den Undulationen der Platte. Dieses erfolgte aber nicht; die Wasserläule schien unbeweglich eben wie der Wagebalken, und begreiflich aus derselben Ursache. Wie dieser zeigt sie nur das totale Resultat, = Ruhe, an, nicht aber die partiellen, Schwingungsartigen, entgegengesetzten Bewegungen, die im Innern des Muskels während einer fortgesetzten Contraction Statt finden.

Ich mußte mich also nach anderen Wahrnehmungen umsehen, um über die Realität dieses innern Wechsels der Cohäsions-Zustände des Muskels während der Turgescenz etwas Befriedigendes zu erforschen. Das Resultat dieser Wahrnehmungen ist, daß weder der galvanische äußere Reiz, noch der innere der Willensthätigkeit, je den Muskel in eine beharrliche, absolute, gleichförmig dauernde Spannung versetzen können, sondern daß dieser Zustand der Turgescenz immer ein Resultat ist sehr vieler auf einander folgenden partiellen Actionen, deren Rhythmus verschieden, und zwar um so schneller ist, je größer die Intensität der totalen Muskular-Action ist. Ich finde, daß die Wahrnehmungen

gen, auf welche sich diese Meinung stützt, durch zwei Sinne zu erhalten sind: durch das Gemeingefühl und durch eine akustische oder wenigstens pseudo-akustische Sensation.

Giebt man auf sich Acht während irgend einer durch anhaltende Willensthätigkeit fortgesetzten Anstrengung eines Gliedes, wie bei den gewöhnlichen gymnastischen Uebungen oder Proben der Kraft des Armes, so wird man ohnfehlbar durch das Gemeingefühl unzweideutige Spuren eines Wechsels von Anstrengen und Nachlassen, von Contractionen und Relaxationen wahrnehmen. Man halte z. B. das Rapier mit verwendeten Augen dem Gegner hin, damit er in ganz willkürlichen Tempos sein Mögliches versuche, um es uns aus der Faust zu schlagen oder zu liiren: oder man ergreife eine Jagdflinte bei der Mündung, und halte sie mit ausgestrecktem Arme in horizontaler Richtung: oder man falle zwischen die Zähne einen Stab, dessen entgegengesetztes Ende durch Belastung ein großes Moment des Widerstandes leistet; so hat man in allen diesen Fällen nicht das coenästhetische Gefühl einer auf einen gewissen Grad gestimmten und continuirlich darin beharrenden Contraction, sondern man fühlt vielmehr eine Reihe von Ablätzen, gleichsam von Impulsen, deren absolute Stärke und Schnelligkeit des Wechsels immer im genauen Verhältnisse ist mit dem Grade der Kraftäuserung, mit welcher der Wille die Muskeln anstrengt. Die Spannung des Muskels erscheint uns also nicht

als eine absolute sich gleich bleibende Stimmung der ein für allemal erhöhten Cohäsion, sondern das Gefühl deutet ganz bestimmt neben bei auf ein fortwährendes Spiel von erhöhten und nachlassenden Wirkungen, ganz ähnlich denen, die sich in unserm Bilde durch die Undulationen während des Geschloßenseyns der Kette ergeben, das heißt, während überhaupt die Cohäsionskraft eines beweglichen Systems durch den elektrischen Einfluß in einen gesteigerten Zustand anhaltend versetzt wird.

Die kriechende Empfindung, die man hat, während man in der geschlossenen Kette verbleibt, und die partiellen zitternden Contractionen, die wir am thierischen Präparate unter denselben Umständen wahrnehmen, finden also durch die eben erwähnte coenästhetische Empfindung ihr Analoges auch für die Fälle, wo es der Wille ist, der die anhaltende Contraction bedingt. Man könnte jedoch zweifeln, ob auch diese Wahrnehmung des bloßen Gemeingefühls untrüglich genug sey, und ob der Wechsel, den man im Cohäsionszustande des angestregten Muskels zu fühlen wähnte, nicht vielleicht eine bloße psychische Täuschung sey. Da wir nemlich die Thätigkeit des Willens als Phänomen durch den inneren Sinn nur unter der Bedingung einer Zeitfolge erkennen, und folglich als Impulse, die sich in verschiedenen Momenten erneuern, so wäre in der That die Täuschung nicht unmöglich, daß wir *der subjectiven Vorstellung* der als successiv angeschauten Willensthätigkeiten, die den Muskel anhaltend

spannen, unvermerkt einen *objectiven* Werth unterlegen, und wähten, dieses Successive im Organe selbst durch den äußern Sinn zu empfinden. Sonderbar wäre es doch immer, daß eine solche psychische Täuschung nur für die *Willenshätigkeit* Statt findet, und nicht für die Sensibilität bei Wahrnehmung äußerer Eindrücke auf die Sinne. Bei diesen zerfällt ebenfalls für den innern Sinn die Apprehension einer lange fortgesetzten einförmigen Sensation in mehrere Momente der Zeit; deshalb aber entsteht uns nicht die Illusion eines dieser Zeitfolge entsprechenden Wechfels im Zustande des afficirten Organs. Bei der Sensibilität ist einförmige Continuität, sowohl für die Vorstellung, als für die wahrgenommene Modification des Organs. Warum sollte es anders seyn bei den Bewegung hervorruhenden Gehirnthatigkeiten (*Cephalergis motuum*). Um jedoch den erwähnten Zweifel factisch zu lösen, suchte ich durch irgend einen andern Sinn die für zweideutig gehaltene Wahrnehmung des Gemeingefühls während der Turgescenz zu bestätigen.

Drückt man bei Abwesenheit alles äußeren Geräusches das Ohr gegen einen nicht zu weichen Gegenstand fest an (am besten des Nachts gegen ein hartes Küssen), und contrahirt dann stark und anhaltend die Maxillarmuskeln; so hat man die subjective Empfindung einer Reihe von abgeforderten Geräuschen (denn eigentliche Schalle oder Töne sind es nicht). Diese folgen auf einander in gleichförmigem Rhythmus, so lange die Contraction der

Muskeln sich gleich bleibt. Bestimmt sie aber der Wille stärker, so nimmt auch sogleich die Reihe der Pulse einen beschleunigten Rhythmus an, und mit dem nachlassenden Drucke der Kinnladen gegen einander entsteht eine correspondirende Retardation in der Zeitfolge der wahrgenommenen Geräusche.

Besser noch gelingt diese Beobachtung, wenn man die Kinnladen gegen einen dazwischen gehaltenen Körper zusammendrückt; wenn man z. B. in einem Tuch einen Knoten macht, und in diesen mit zunehmender Gewalt beißt. Das angelehnte Ohr vernimmt die Zeitfolge der Geräusche immer schneller und schneller im Verhältniß mit der gesteigerten Aeußerung der Muskularkraft. Bei einem mäßigen Grade derselben läßt sich die Empfindung am besten vergleichen mit dem sogenannten Spinnen der Katze. Bei einer viel größern Energie der Contraction kann man sieben bis acht Pulse auf die Secunde abschätzen. Bewirkt aber der Wille den äußersten für das Individuum möglichen Grad der Spannung der Kaumuskeln, so wird die deutliche Wahrnehmung des Rhythmus unmöglich, theils weil bekannter Maßen das geübte Unterscheidungsvermögen nicht zu mehr als 10 bis 11 Actus des Bewusstseyns in der Secunde ausreicht, theils weil jede Muskularaction, die an das Aeußerste unserer Kraft grenzt, für die kurze Zeit ihrer Dauer alle Besinnung unmöglich macht, und gleichsam nur in einem *furor brevis* vollzogen wird.

Auch bei andern Muskeln läßt sich der jede anhaltende Turgescenz begleitende innere Wechsel der Cohäsion durch das Gehör wahrnehmen. Man stütze z. B. den Ellenbogen auf, lege die innere Fläche der Handwurzel dicht an das Ohr an, beuge die Hand in die Supination zurück, und drücke nun die geballte Faust mit verschiedenen Graden von Kraft zusammen, so wird man gerade, wie in den eben erwähnten Fällen, eine Reihe von Geräuschen wahrnehmen, deren Rhythmus und Intensität durchaus der jedesmaligen Kraftäußerung correspondiren.

Die coenästhetische Wahrnehmung trog uns also nicht; es fand bei ihr keine Illusion Statt durch Uebertragung des *Successiven* in der angeschauten Willensthätigkeit auf einen nicht wirklich vorhandenen Wechsel im Organe; denn wie käme die Illusion dazu, diesen Wechsel, wenn er bloß eingebildet wäre, mit den bestimmten Qualitäten eines hörbaren Phänomens auszustatten? Was man also gegen die allerdings an und für sich sehr verworrenen Wahrnehmungen der *Coenästhesis* einwenden könnte, fällt weg, da sich im Zustande des aufschwellenden Muskels auch für einen andern mehr objectiven Sinn derselbe Wechsel der Wirkungen äußert.

Um jedoch die Realität dieser successiven Modificationen der absolut erhöhten Cohäsion bei turgescirenden Muskeln über allen Zweifel zu erheben, suchte ich sie bei einem andern Individuum durch das Gehör wahrzunehmen, und es gelang mir gleich beim ersten Versuch über jede Erwartung. Ich ließ

jemanden den Ellenbogen aufstemmen, drückte mein Ohr dicht an die innere Fläche seiner Handwurzel, und bat ihn, nun nach zufälliger Willkür die in der Supination begriffene Faust bald mehr bald weniger kräftig zusammen zu drücken, bald ohne alle Willensanstrengung der Ruhe zu überlassen. Es erwies sich nun, daß ich, ohne je zu irren, ihm sagen konnte, wann er eine Contraction vornahm oder nicht, und wann sein Wille den Grad einer bereits vorhandenen Anstrengung vermehrte oder verminderte. Und als wir die Rollen vertauschten, gelang meinem Freunde, einem geübten Beobachter, das Behorchen meiner Willensthätigkeit eben so gut, wie mir das Belauschen der seinigen, und ihm fiel dabei zuerst die sehr passende Vergleichung dieser Gehörwahrnehmung mit der des Spinnens der Katze ein.

Ich glaube aus diesen Thatfachen folgern zu dürfen, daß auch bei der durch den Willen bestimmten anhaltenden Turgescenz der Muskeln ein Cohäsionswechsel von partiellen Contractionen und Relaxationen Statt findet, so daß auch hier die absolut vermehrte Cohäsion nebenbei noch zwischen gewissen Grenzen hin und her schwankt. Dieses Vergleichen mit den durchaus ähnlichen Cohäsions-Phänomenen eines galvanisch behandelten unorganischen Systems ließe durch Induction auf eine correspondirende Aehnlichkeit der Ursachen schließen, die in beiden Fällen wirksam sind. Die Einwirkungen des Gehirns auf das Muskular-System geschähen demnach

nach dem Typus von successiven Entladungen, die in jedem Momente sich zur Indifferenz abgleichen, und continuirlich durch neue Ladungen und Entladungen erneuert werden, so lange der totale Effect der Turgescenz bleiben soll. So wenig es also zur Zeit noch erweislich, ja vielleicht wahrscheinlich ist, daß das Band zwischen den Vorstellung und den Bewegung hervorrufenden Gehirnthätigkeiten (*Cephalergis Idaearum* und *Cephalergis motus*) wirklich *identisch* sey mit der Elektricität, so sehr erlicheint es doch in unsern Beobachtungen als *analogisch* mit dem Mechanismus galvanisch-elektrischer Entladungen. Diese in abgesetzten Zeitmomenten stets erneuerten Hirnthätigkeiten, um die Cohäsion zu bestimmen, erklärt uns, *warum* Gliedmaßen, die wir fortdauernd in erhöhter Spannung erhalten, sehr bald in ein äußerlich wahrnehmbares Schwanken und Zittern übergehen; und *warum* jede solche anhaltende Spannung so viel Kraft verzehrt, wie wir denn auch sehen, daß Kinder und Greise keiner langsamen Bewegung fähig sind, und daß auf die immer nur kurze epileptische Spannung eine so totale Erschöpfung folgt. Deshalb ist denn auch in der ganzen Oekonomie der Thiere alles offenbar darauf berechnet, die nöthigen Zwecke so viel wie möglich durch nur momentane Contractionen zu erreichen.

Der stete Wechsel der Cohäsion während der Turgescenz ist nämlich, wie wir selbst im unorganischen System sehen, bedingt durch eine correspondirende Reihe von chemischen Actionen;

das Material zu diesen Zerfetzungen muß daher immer erneuert dargeboten werden. Daher finden wir auch, daß je anhaltender die Action eines Muskels seyn soll, ihm desto mehr zerfetzbarer Stoff durch das muskulöse System zugeführt wird. Wenn irgend ein Theil des Muskular-Systems während des animalischen Lebens krankhaft so afficirt wird, daß durch ihn die Entladungen des X, welches sich continuirlich im Gehirn, wie etwa die Elektrizität in der Säule, zu neuen Spannungen reproducirt, ganz passiv fortgeleitet werden ohne die Bestimmung des Willens, so tritt dieser Theil geradezu in die Verhältnisse unsers unorganischen beweglichen Systems an der Säule. Aber wir sehen auch in der That in so afficirten Gliedmaßen, wie an der Adhäsions-Platte, ein stetes Hin- und Herschwancken, eine wahre Undulation, die der Wille nicht hemmen kann. Dieses bisher so räthselhafte Zittern der gelähmten Glieder währt fort, so lange die partiellen Entladungen des X vom Gehirn aus durch diese Glieder abgeleitet werden. Tritt aber ein Zustand ein, in welchem durch höhere Gesetze des Organismus der Einfluß der Hirnthätigkeit auf das ganze System des animalischen Lebens gehemmt wird, so hören auch die unwillkührlichen Entladungen durch den besagten Theil sogleich auf. Der Schlaf unterbricht die Schwingungen eines gelähmten Gliedes durch Isolirung vom Gehirn, so wie die Undulationen der Adhäsions-Platte durch Isolirung von der Säule verschwinden.

Fernere Anwendungen dieser faktischen Prämissen auf die Phänomene der Muskular-Bewegung würden hier am unrechten Orte stehen; ich begnüge mich daher, nur noch eine einzige Bemerkung anzuführen, die eine ganz specielle Beziehung auf unsern Gegenstand hat. Sie betrifft die Art der Senfation, die wir haben, wenn wir das Ohr in den Kreis der Säule bringen. Eine eigentliche vollkommen specifische Gehör-Affection ist sie meines Erachtens nicht zu nennen, wenigstens nicht in dem Sinne, wie unter ähnlichen Umständen auf der Zunge und im Auge Sinnes-Affectionen entliehn. Bei diesen nehmen wir ein bestimmtes Licht, einen bestimmten Geschmack wahr; bei dem galvanisch gereizten Ohr hingegen konnte ich nie einen bestimmten Ton, eine eigenthümliche Art des Klanges gewahr werden. Das Ganze beschränkte sich auf wiederholte Impulse im Innern des Kopfes, deren zweideutiges Gefühl zwischen Coenästhesis und Gehör so schwankte, daß man es am besten beschreibt als die Wahrnehmung einer Reihe von Kugeln, die durch den Gehörgang rollen; eine Beschreibung, die ich in der That von Tauben sehr oft erhielt.

Seitdem hat indels der zu früh verstorbene Ritter behauptet, es entliehe durch diese Reizung eine wirklich qualifizierte Gehör-Affection, ein wahrer Ton, dessen musikalischen Werth er angiebt, und sogar verschieden findet bei der Schließung und bei der Trennung. Ich nahm daher Gelegen-

heit, die Beobachtung zu wiederholen, sowohl an mir selbst, als an zwei Subjekten, die durch Beobachtungsgeist und Interesse für Physiologie sich besonders dazu eigneten. Wir armirten theils einen, theils beide Gehörgänge, theils auch die Tuba Eustachii; obgleich wir aber sehr verschiedene elektrische Intensitäten anwendeten, gelang es doch Keinem von uns, je einen eigentlichen Klang, einen bestimmten Ton zu hören. Die ganze Wahrnehmung beschränkte sich nach wie vor auf eine Reihe von Impulsen im Innern des Kopfes, die wegen ihres Entstehungs-Ortes allerdings in die Vorstellung von Geräuschen übergingen, wie etwa jede leise Percussion der äußeren Fläche der Gehörgegend, die aber nie einen eigenthümlichen vergleichbaren Ton constituirten.

Es ist diesem nach nicht möglich, den Gehörnerven durch Galvanismus so zu erreichen, daß wir ihn in die zu seiner eigenthümlichen Function bestimmten Bewegungen versetzen könnten. Er scheint sich durch seine tiefere Lage, und vielleicht mehr noch durch die isolirende Umgebung der Knochen dieser Einwirkung zu entziehen; und es erklärt sich vielleicht durch diesen Umstand die Nicht-Erfüllung so vieler sanguinischer Hoffnungen, die man anfänglich über die galvanischen Kuren der Taubheit hegte. Was aber diese Pseudo-akustischen Wahrnehmungen ihrem Wesen nach seyn mögen, entgeht uns nunmehr nicht. Ihre Aehnlichkeit mit demjenigen, was wir bei jeder durch

den Willen bedingten Turgescenz ebenfalls durch das Gehör empfinden, deutet meines Erachtens bestimmt genug auf Identität der Ursache in beiden Fällen. Die durch den galvanischen Reiz aufschwellenden Muskeln der Gehörgegend gerathen während ihres erhöhten Cohäsions-Zustandes in den uns bereits von der Adhäsions-Platte her bekannten Wechsel von Contraction und Relaxation; die innige Verbindung dieser Muskeln mit dem Gehörwerkzeuge verwandelt geradezu das kriebelnde coenästhetische Gefühl aller andern Turgescenzen in eine akustische Sensation, und diese Erscheinung ist füglich zu betrachten als ein neuer Beleg zu den factischen Beweisen, um die wir uns bemühten, daß bei jeder anhaltenden Muskular-Contraction ein steter Wechsel im Cohäsions-Zustande Statt findet, die Turgescenz sey bestimmt durch den Willen oder durch eine äußere widernatürliche Reizung.

Wenn bessere Beobachter es der Mühe werth halten möchten, diesen Gegenstand überhaupt näher zu beleuchten, vorzüglich in pathologischen Fällen des Krampfs und des Tetanus, wozu die Gelegenheit mir fehlte; so würde ich mich über die Mängel meines geringfügigen Beitrags trösten.

4.

Bei Gelegenheit der durch chemische Verwandtschaft veränderten Cohäsion entstand nun noch die vierte Frage: *Wie sollen wir uns, nach factischen Analogien mit den unorganischen Erscheinungen, die Störung des chemischen Gleich-*

gewichts bei galvanisch-gereizten thierischen Theilen denken? Ich glaube, der Schlüssel hierzu ley die Eigenschaft der Leiter zweiter Ordnung, sich stets ihrer Längen-Dimension nach in zwei entgegengesetzte elektrische und chemische Zustände zu versetzen. Wenden wir dieses sowohl auf den bloßen Nerven, als auf den mit dem Muskel continuirenden Nerven gehörig an, so lassen sich die so paradoxen, ja man möchte sagen, die so bizarren Gegenätze der Schließungs- und Trennungs-Contraction genügend auflösen.

Doch diese Auseinanderetzung nimmt ihren Gang durch so viele und so feine Details, daß es rathsam ist, sie für eine andere Gelegenheit aufzubewahren, wo zugleich die Zeit erlauben wird, einige Einwürfe zu beantworten, welche die Herren Prechtl und Configliacchi gegen *Bipolarität* und *Unipolarität* überhaupt zur Sprache gebracht haben.
