geht. Dass der Zerfall bei Actinosphärium und die Secretion bei Amblystoma auf der Anodenseite stattfindet, muss auch in die Wagschale geworfen werden.

Völlig unerwartet war für mich das in diesen Versuchen beobachtete Resultat, dass die Erregung stets an der Anodenseite des Centralnervensystems stattfindet. Eine derartige Abweichung vom Pflüger'schen Gesetz steht bis jetzt bei Wirbelthieren meines Wissens ganz vereinzelt da.

Nochmals über Kaiser's Theorie der Muskelzuckung.

Von

Dr. Fr. Schenck.

Kaiser¹⁾ hat die Hypothese aufgestellt, dass die contractilen Kräfte des Muskels seine bewegten Massentheilchen unter Umständen schleudern. Er gründet diese Hypothese auf folgende Beobachtung. Wenn man einen vom zuckenden Muskel bewegten Schreiblebel, der den Muskel möglichst wenig belastet, bei seiner Aufwärtsbewegung gegen einen festen Anschlag stossen lässt, so sinkt der Hebel sofort vom Anschlag zurück, falls der Anschlag mindestens in einer gewissen Höhe über der Ruhelage des Zeichenhebels eingestellt ist. Kaiser behauptet, das sofortige Absinken des Hebels vom Anschlag beruhe darauf, dass im Muskel keine contractile Kraft mehr wirke, sondern dass die geschleuderten Massentheilchen sich nur noch mit der ihnen von der Contractionskraft ertheilten lebendigen Kraft weiter bewegen und dass ihre Bewegungsrichtung sich beim Anprall des Hebels am Anschlag sofort umkehre, mithin der Hebel sofort absinke. Wenn der Anschlag so tief eingestellt sei, dass beim Anstossen des He-

---

1) Zeitschr. f. Biol. Bd. 33. S. 157.

bels noch contractile Kraft im Muskel wirke, so bleibe der Hebel, durch die contractile Kraft gehalten, einige Zeit am Anschlag liegen. Als „zweiten Fusspunkt“ bezeichnet Kaiser die Lage des unteren Muskelendes in dem Moment, wo die contractile Kraft des Muskels aufgehört hat auf die Bewegung der Massentheilchen zu wirken. Das sofortige Absinken des Hebels erfolgt demnach, wenn der Anschlag in oder über dem zweiten Fusspunkt eingestellt ist.

Ich habe nun gezeigt¹⁾, dass die Begründung, die Kaiser seiner Hypothese giebt, einigen einfachen physikalischen Gesetzen widerspricht. Die physikalischen Gesetze habe ich erläutert durch schematische, mit einer entspannten Spiralfeder angestellte Versuche. Ich konnte den strengen Beweis bringen, dass die Beobachtungen, auf die Kaiser seine Hypothese gründet, nicht auf Schleuderung der Muskelmasse, sondern nur auf Schleuderung des Zeichenhebels beruhen.

Kaiser²⁾ hat gegen meine Beweisführung Einwände gemacht. Es fällt mir die Aufgabe zu, seine Einwände zu entkräften.

I. Ehe ich auf die eigentlichen Einwände Kaiser's eingehe, habe ich Folgendes zu bemerken. Kaiser beklagt sich, dass ich seine Mittheilung als „Theorie“ bezeichne; er bestreitet mir die Berechtigung, die von ihm gefundenen „Thatsachen“ als Theorie zu bezeichnen.

Darauf ist zu erwidern: Selbst wenn es möglich wäre, dass die Schleuderung der Massentheilchen so zum Ausdruck kommt, wie Kaiser meint, würde aus dem, was er mittheilt, doch nur die Thatsache hervorgehen, dass Etwas geschleudert wird. Was dieses Etwas ist, darüber geben seine Versuche keinen Aufschluss. Es könnte also recht wohl der Schreibhebel allein, und nicht die Muskelmasse geschleudert sein. Denn der positive Beweis ist nicht erbracht, dass Schleuderung des Hebels ausgeschlossen war. Also ist Kaiser's Satz nur eine Vermuthung, keine Thatsache, und noch dazu eine recht unwahrscheinliche Vermuthung, weil manche Thatsachen es wahrscheinlich machen, dass die Bewegung der Massentheilchen im Muskel eine vollkommen gedämpfte ist. Ja ich habe diesem Satze noch zu viel Ehre angethan, wenn ich

---

1). Dies Archiv Bd. 63. S. 355.

2) Zeitschr. f. Biol. Bd. 33. S. 352.

ihn Theorie nannte, denn eine Theorie sollte besser begründet sein, als dieser höchst unwahrscheinliche Satz.

II. Mein Haupteinwand gegen die Begründung, die Kaiser seiner Hypothese giebt, ist folgender:

Wenn der Hebel am Anschlag anstösst, kann die Bewegungsrichtung der etwa geschleuderten Muskeltheilchen nur dann sich sofort umkehren, wenn sie in undehnbarer Verbindung mit dem Hebel sind. Ist die Verbindung dehnbar, so bewegen sich die Massentheilchen weiter und dehnen dabei das dehbare Verbindungsstück; inzwischen muss der Hebel am Anschlag liegen bleiben, falls keine Eigenbewegungen des Hebels im Spiele sind. Die Muskeltheilchen sind mit dem Hebel in dehnbarer Verbindung durch den Muskel selbst. Der Befund Kaiser's kann also nur durch Eigenbewegung des Hebels bedingt sein. Die Begründung, die Kaiser seiner Hypothese giebt, ist physikalisch falsch.

Kaiser nimmt offenbar diese meine Argumentation nicht ernst, denn er hat für sie keinen anderen Einwand übrig, als ein Ausrufungszeichen. Er sieht es also wohl als selbstverständlich an, dass meine Ueberlegungen unsinnig sind.

Ich habe mich bemüht, aus Kaiser's Entgegnung herauszulesen, warum er meine Beweisführung nicht ernst nimmt, und wie er sich den Vorgang der Umkehr der Bewegungsrichtung der Massentheilchen vorstellt. Die Aufklärung darüber enthält, wie ich sehe, eine Bemerkung, die auf S. 353 unten und 354 oben ¹⁾ steht. Es wird da auseinandergesetzt, dass der Bewegung der Massentheilchen nach aufwärts zwei Kräfte entgegenwirken, nämlich erstens die mit dem Grade der Verkürzung zunehmenden, durch das Zusammendrücken geweckten elastischen Kräfte des Muskels und zweitens der durch den Anschlag verursachte „abwärts wirkende Stoss“; „die von beiden Kräften bedingten Beschleunigungen addiren sich und der Hebel wird im Moment des Anschlages zurückgestossen“.

In dieser Vorstellung steckt ein Fehler. Der abwärts gerichtete Stoss erfolgt nicht, wenn Schleuderung des Zeichenhebels ausgeschlossen ist. Denn in diesem Falle bewirkt der Anschlag doch nur, dass die Aufwärtsbewegung des unteren Muskelendes

---

1) Zeitschr. f. Biol. Bd. 33.

plötzlich vollständig gehemmt wird, nicht aber, dass das untere Muskelende nach abwärts gezogen wird. Ebensovienig wie am unteren Muskelende wird auch an den Massentheilchen des Muskels ein Zug nach unten durch den Anschlag ausgeübt.

Ein Massentheilchen des Muskels hat im Moment des Anschlags eine nach aufwärts gerichtete lebendige Kraft, die grösser ist, als die entgegenwirkende elastische Kraft des Muskels. Deshalb strebt das Massentheilchen auch nach dem Anschlag, sich nach oben zu bewegen. Und es wird an dieser Aufwärtsbewegung nicht momentan gehindert, weil das Verbindungsstück zwischen ihm und dem unteren Muskelende der dehbare Muskel selbst ist, der sich erst allmählich selbst anspannt und dabei einen langsam zunehmenden Zug auf das Massentheilchen ausübt, der in Verein mit der Druckelasticität das Massentheilchen zur Umkehr der Bewegungsrichtung erst dann zwingt, wenn diese abwärts wirkenden Kräfte grösser als die lebendige Kraft des Massentheilhens geworden sind.

Ich betone daher, dass Kaiser keinen stichhaltigen Einwand gemacht hat gegen meinen Beweis, durch den ich die Fehler in seinen Ueberlegungen nachgewiesen habe.

Es dürfte im Interesse der Klarlegung unserer Controverse zweckmässig sein, nochmals kurz die Frage zu formuliren, die wir verschieden beantworten. Sie lautet:

Erhält ein Massentheilchen des Muskels im Moment des Anschlags einen nach abwärts gerichteten Stoss, auch wenn Hebelschleuderung ausgeschlossen ist?

Kaiser sagt ja, ich sage nein. Mit der Entscheidung dieser Frage steht oder fällt Kaiser's Theorie.

III. Das bisher Gesagte würde genügen, um die Hypothese Kaiser's von neuem als falsch begründet zurückweisen zu können. Ich brauchte daher nicht nochmals auf meine Federversuche einzugehen, durch die ich die aus physikalischen Gesetzen gewonnene Vorstellung von der Bewegung der geschleuderten Massentheilchen anschaulich gemacht habe. Ich bin aber doch gezwungen, darauf einzugehen, weil Kaiser an meinen schematischen Versuchen eine unberechtigte Kritik übt, durch die er die Beweiskraft dieser Versuche als zweifelhaft hinstellen sucht, und die deshalb eine entschiedene Zurückweisung verdient.

In Anlehnung an einen von Kaiser zur Erläuterung seiner

Hypothese beschriebenen Versuch habe ich Versuche in folgender Art angestellt: Das untere Ende einer fest aufgehängten Spiralfeder wurde verknüpft mit einem leichten isotonischen Schreibhebel, der die Feder so gut wie gar nicht dehnt. Die Feder wurde nun durch Zug am unteren Ende gespannt, dann plötzlich entlastet. Die Feder entspannt sich und das untere Federende bewegt sich danach mit dem Schreibhebel über die Lage heraus, die ihnen bei ruhender Feder zukommt, schwingt danach wieder zurück u. s. f. Bei der Aufwärtsbewegung stösst der Hebel gegen einen Anschlag, der über der Ruhelage des Hebels eingestellt ist. Nach Kaiser müsste nun der Hebel sofort vom Anschlag absinken, nach den Lehren der Physik dagegen einige Zeit am Anschlag liegen bleiben. Thatsächlich blieb der Hebel am Anschlag in den Versuchen einige Zeit liegen; meine Beweisführung erhielt also durch diesen einfachen Versuch eine experimentelle Bestätigung.

Kaiser wendet gegen meine Versuche Folgendes ein: Der 2. Fusspunkt im Sinne seiner Theorie soll bei den Federversuchen angegeben werden durch die Lage des unteren Endes der ganz unbelasteten Feder¹⁾. Wenn in meinen Versuchen die Feder durch den Hebel so gut wie gar nicht gedehnt worden wäre, so hätte der Hebel bei ruhender Feder thatsächlich den 2. Fusspunkt angegeben. Nun behauptet Kaiser, ich habe über die Belastung der Feder in meinen Versuchen falsche Angaben gemacht; die Feder müsse viel stärker belastet und gedehnt gewesen sein, so dass sogar der Anschlag unter dem „zweiten Fusspunkt“ liege, aus folgenden beiden Gründen:

1. In der von mir mitgetheilten Figur liegt der Beginn der Entspannungscurve der Feder 11,5 mm unter der die Gleich-

---

1) Ich will diese Annahme hier zulassen, um die Discussion nicht übermässig auszudehnen; gegen diese Annahme lassen sich aber Einwände machen. Der zweite Fusspunkt liegt in Wirklichkeit in den Federversuchen immer in der Horizontalen, die der Schreibhebel bei ruhender Feder zeichnet, einerlei ob die Feder stark oder schwach belastet ist. Kaiser nimmt an, dass der zweite Fusspunkt auch bei grösserer Belastung in die Lage des unteren Endes der unbelasteten Feder fällt, weil in der Feder so lange eine elastische verkürzende Kraft wirke bis dieser „Fusspunkt“ überschritten ist. Das ist irrig, weil diese elastische Kraft compensirt und wirkungslos wird durch die grössere an der Feder hängende Last.

gewichtslage angehenden Horizontalen, der höchste Punkt liegt 13,5 mm darüber. Das ist nach Kaiser einfach unmöglich, denn der Punkt, von dem die Feder bei der Entlastung ausgeht, müsste tiefer liegen, als der höchste erreichte Punkt.

Die Erklärung dieses Verhaltens liegt nun einfach darin, dass der Anfangstheil der Curve in der Figur nicht mit enthalten ist, und zwar weil die Feder vor der Entspannung so weit gedehnt war, dass die Schreibspitze sich von der Trommelfläche abgehoben hatte.

Dass die Curve nicht vollständig ist, musste Kaiser erkennen, aus folgenden Gründen:

- a) Im Text meiner Abhandlung ist angegeben, dass die Figuren nur „die charakteristischen Theile“ der Curven wiedergeben.
- b) Wäre die Federcurve vollständig, so müsste sie links in der Figur mit einer horizontalen Linie beginnen, die in den aufsteigenden Schenkel überginge.

Kaiser durfte überdies die in Rede stehende Eigenthümlichkeit der Figur nicht zur Stütze seiner Ansicht heranziehen, dass meine Feder stark belastet gewesen ist; denn auch bei starker Belastung hätte der Beginn der Entspannungcurve weiter unter der Gleichgewichtslage liegen müssen, als der höchste Punkt der ersten Schwingung über dieser Lage.

Uebrigens geht aus den weiteren Auseinandersetzungen Kaiser's auch hervor, dass er die Möglichkeit erkannt hat, dass die Figur die Curve nicht vollständig wiedergebe. Trotzdem scheut er sich nicht, meine Angaben auf Grund seiner oberflächlichen Kritik in's Lächerliche zu ziehen, indem er sagt, meine Feder wäre einem perpetuum mobile bedeutend überlegen. Ich weise diese Bemerkung als unstatthaft zurück.

2. In meinen Federcurven ist der absteigende Schenkel anscheinend steiler, als der aufsteigende. Das kann — so sagt Kaiser — nur darauf beruhen, dass die Belastung meiner Feder eine nicht unbeträchtliche war. Hier hat Kaiser eine Grundregel der myographischen Methodik ausser Acht gelassen. Er bedenkt nicht, dass er über absolute Werthe der Steilheit von Curven nur dann Aussagen machen kann, wenn er die Ordinatenrichtung kennt. Der Unterschied in der Steilheit beider Schenkel meiner Curven beruht nämlich nur auf der Entstellung der Curven,

weil die Zeichenspitze in dem charakteristischen Theile bogenförmig und in der Richtung von rechts unten nach links oben sich bewegte.

Uebrigens habe ich schon vor Beginn unserer öffentlichen Discussion brieflich Kaiser die bestimmte Versicherung gegeben, dass in meinen Federversuchen der Anschlag über dem 2. Fusspunkt liegt, als er gelegentlich unserer Correspondenz über meine Versuche mir schon den Einwand gemacht hatte, dass bei mir der Anschlag unter dem 2. Fusspunkt liege. Trotzdem macht er mir jetzt den gleichen Einwand wieder öffentlich und stellt ganz entschieden die Richtigkeit meiner Angaben in Abrede!

Die für die Beurtheilung meiner Federversuche nöthigen Zahlenangaben will ich hier noch nachholen. Die Spiralfeder war aus 0,7 mm dickem Stahldraht hergestellt, 100 mm lang, hatte 31 Windungen, der Durchmesser der einzelnen Windung betrug 12 mm. Ihr Gewicht war 3 gr. Der Zeichenhebel war 130 mm lang, das untere Federende war 65 mm von der Achse entfernt am Hebel befestigt. Ueber der Achse, deren Radius 1,25 mm betrug, hing ein Faden, der ein Gewicht von 16 gr trug. Die Belastung der Feder durch den Hebel allein betrug 0,15 gr, dazu kam noch die durch das angehängte Gewicht, das mit 0,3 gr an der Feder wirkte. Im Ganzen betrug die Last der Feder also 0,45 gr. Belastete man die Feder direct mit 10 gr, so senkte sich die Zeichenspitze 3,5 mm. Demnach wird die Feder durch eine Last von 0,45 gr gedehnt um einen Betrag, der in der Vergrößerung durch die Hebelspitze rund 0,2 mm betrug. Der Hebel dehnt die Feder also nur um einen verschwindend kleinen Betrag, so dass man den 2. Fusspunkt in der von der ruhenden Feder gezeichneten Horizontalen anzunehmen berechtigt ist.

Ein Einwand könnte noch gegen die Richtigkeit dieser Annahme gemacht werden. Die aufgehängte Feder dehnt sich durch ihr eigenes Gewicht um einen bestimmten Betrag, wodurch eine wesentliche Verlagerung des 2. Fusspunkts bedingt sein könnte. Es fragt sich, wie gross der dadurch bewirkte Fehler sein kann. Die Dehnung, die die Feder durch ihr eigenes Gewicht erleidet, ist gleich der Hälfte des Produkts aus ihrem Gewicht und der durch die Gewichtseinheit bewirkten Dehnung, also in der Zeichnung: $\frac{3.0,35}{2} = 0,5 \text{ mm}$. Der 2. Fusspunkt müsste also noch

um 0,5 mm höher angenommen werden. Er liegt demnach im Ganzen 0,7 mm über der Horizontalen, die die Schreibspitze bei ruhender Feder gezeichnet hat. Der Anschlag, der sich etwa 6,5 mm über dieser Horizontalen befindet, liegt also bedeutend über dem 2. Fusspunkt.

Meine Versuche entsprechen also ganz den Anforderungen, die Kaiser stellt, und trotzdem sind sie in meinem Sinne ausgefallen.

Dass Kaiser andere Resultate erhalten hat, als ich, liegt einfach daran, dass auch in seinen Federversuchen der Schreibhebel geschleudert worden ist. Auf die Möglichkeit einer Entstellung der Federcurven durch Eigenbewegungen des Hebels habe ich schon in meiner Kritik der Hypothese Kaiser's aufmerksam gemacht. Ich habe mich auch durch Versuche davon überzeugt, dass bei den Federversuchen leicht Hebelschleuderungen vorkommen.

IV. Ich war in der Kritik, die ich an Kaiser's Arbeit übte, zu dem Schlusse gekommen, dass die Curven Kaiser's „durch colossalen Wurf des Zeichenhebels vollständig entstellt“ worden sind. Die Zumuthung, „mit einem so ungeheuerlichen Hebel“ gearbeitet zu haben, weist Kaiser zurück. Dazu bemerke ich: Ich habe von einem „ungeheuerlichen“ Hebel nichts gesagt, sondern ich spreche nur von „colossalem Wurf“. Es kann auch der leichteste Hebel stark geschleudert werden, wenn er nicht nach isotonischem Principe belastet, sondern unbelastet verwendet wird und wenn die Contractionsgeschwindigkeit sehr gross ist. Deshalb kommen gerade bei sehr geringer Belastung leicht enorme Schleuderungen vor. Das ist allgemein bekannt, scheint aber Kaiser unbekannt zu sein.

Kaiser erklärt meine „Zumuthung“ desshalb noch für ungerichtet, weil ich gewusst habe, dass die Bestimmung des zweiten Fusspunkts auch mit Hebeln gelingt, die genau nach meinen Angaben gefertigt sind. Der Sachverhalt ist folgender: Gleich nach dem Erscheinen der ersten Abhandlung Kaiser's theilte ich ihm brieflich meine Bedenken mit und berief mich dabei auf meine Erfahrung, dass ich bei Verwendung eines möglichst nach isotonischem Principe arbeitenden sehr leichten Hebels nicht solche Erscheinungen gesehen habe, wie Kaiser. Er erwiderte, meine Befunde beruhten darauf, dass ich mit dem langsam zuckenden *Esculentagastrocnemius* gearbeitet habe; er liess sich

einen Hebel nach meiner Angabe machen und erhielt damit bei Verwendung des schneller zuckenden Temporariagastrocnemius allerdings seinen „zweiten Fusspunkt“. Als er mir dies mittheilte, habe ich ihm gleich eingewendet:

1. Dass ein Hebel, der vom langsam zuckenden Esculentamuskelnicht mehr geschleudert wird, recht wohl durch den schneller zuckenden Temporariamuskel geschleudert werden kann.

2. Dass in der mir zugesandten neuen Curve der 2. Fusspunkt höher lag, als in den früher von Kaiser veröffentlichten, was durch geringere Schleuderung des Hebels bedingt sein könnte.

Ich weise desshalb den Vorwurf zurück, dass ich die Ergebnisse der Versuche mit dem nach meinen Angaben gefertigten Hebel ignorirt habe.

Ich hatte übrigens Kaiser gerathen, einen möglichst leichten, jedoch nach isotonischem Principe belasteten Hebel zu verwenden. Nun giebt er aber bei Figur 12 an, dass der Hebel unbelastet war. Sollte er den Versuch gar nicht nach meinen Angaben angestellt haben?

V. Auf einige nebensächliche Einwände, die mir Kaiser noch macht, gehe ich nicht ein, nicht weil ich darauf nichts erwidern könnte, sondern weil ihre Erörterung wenig Interesse hat.

Kaiser versucht schliesslich auch an seinen Muskelcurven zu zeigen, dass die von ihm auf Schleuderung im Muskel zurückgeführten Erscheinungen nicht auf Hebelschleuderung beruhen können. Da nun aber die von ihm gegebene Erklärung physikalisch falsch ist, so müssen und können diese Erscheinungen anders erklärt werden, als er es thut. Aber darauf einzugehen hat keinen Zweck, weil diese Erscheinungen nunmehr ohne Interesse für die Wissenschaft sind. Auch die neueste Theorie, die Kaiser auf seine Beobachtungen aufbaut, ist bedeutungslos.

VI. Der Nachweis, dass Kaiser's Versuchsresultate durch Hebelschleuderung bedingt sind, lässt sich übrigens noch anders bringen. Wenn man den Schreibhebel vor der Zuckung des Muskels bis zur Höhe des zweiten Fusspunktes hebt und unterstützt hält, so dass er erst vom Muskel bewegt werden kann, wenn das untere Muskelende den zweiten Fusspunkt überschritten hat, so müsste nach Kaiser die Curve, die der Hebel nun bei der Zuckung beschreibt, genau zusammenfallen mit dem über dem zweiten Fusspunkt liegenden Stück der Curve, die der Hebel ohne vor-

herige Unterstützung gezeichnet hat; dagegen dürfte der im zweiten Fusspunkt unterstützt gehaltene Hebel nicht mehr vom zuckenden Muskel höher gehoben werden, wenn K a i s e r's Versuchsergebnisse durch Hebelschleuderung bedingt sind.

Ich habe nun einige Versuche angestellt, in denen der Schreibhebel in oder über dem zweiten Fusspunkt unterstützt gehalten wurde. Es wurde dazu der indirect gereizte Gastrocnemius von Temporarien und Esculenten benutzt, an den nur ein leichter, den Muskel mit 0,2 gr belastender Hebel gehängt war. Als Verbindungsstück zwischen Muskel und Hebel diente ein feines Haar. Der Hebel gab die Verkürzung in vierfacher Vergrösserung wieder. Um ein möglichst grosses Ueberschreiten des zweiten Fusspunkts zu erhalten, waren die Muskeln auf 24°—29° C. erwärmt. Es wurde nun zuerst immer der zweite Fusspunkt durch Anschlagzuckungen bestimmt, dann eine Zuckung ausgeführt mit vorheriger Unterstützung des Hebels im zweiten Fusspunkt. Da ergab sich, dass der im zweiten Fusspunkt unterstützt gehaltene Hebel durch die Zuckung nicht mehr gehoben wurde!

Damit die Versuche gelingen ist es übrigens nöthig, gewisse Vorsichtsmaassregeln zu beachten. Das Verbindungsstück zwischen Muskel und Hebel muss erstens wegen der Unterstützung biegsam sein und zweitens so leicht wie möglich, damit nicht Wurf des Verbindungsstücks allein den unterstützten Hebel über den zweiten Fusspunkt hebt. Man darf zu diesen Versuchen daher nicht einen Draht als Verbindungsstück benutzen, wie es K a i s e r in seinen Versuchen gethan hat. Mir erwies sich ein feines Haar als das zweckmässigste und leichteste Verbindungsstück. Schliesslich muss die Möglichkeit bedacht werden, dass der Hebel über den zweiten Fusspunkt erhoben werden kann, wenn der frei hängende Muskel bei seiner Zuckung zu sehr seitlich hin und her wackelt. Es muss also darauf geachtet werden, dass der Muskel gerade herabhängt und bei der Zuckung nicht zu sehr schwankt.