

J o u r n a l
für
Chemie und Physik

in Verbindung
mit
mehreren Gelehrten

herausgegeben

vom

Dr. Fr. W. Schweigger-Seidel,
außerordentlichem Professor der Medicin auf der Universität zu Halle.

LVIII. Band.

Mit drei Kupfertafeln.

H a l l e,
bei Anton und Gelbocke.

1830.

J a h r b u c h
der
Chemie und Physik

XXVIII. Band.

Mit drei Kupfertafeln.

Unter besonderer Mitwirkung

der

*HH. Brandes, Dulk, Fechner, Göbel, Kämtz, Marx,
Ohm, Pfaff, Schübler, Schwabe, Schweigger, Stromeyer,
Wach, Weifse, Wetzlar und Wurzer*

h e r a u s g e g e b e n

von

Dr. Fr. W. Schweigger - Seidel,

aufserordentlichem Professor der Medicin auf der Universität zu Halle.

H a l l e,
bei Anton und Gelbcke.

1 8 3 0.

Jahrbuch
der
Chemie und Physik

für
1 8 3 0.

Herausgegeben

vom

Dr. Fr. W. Schweigger-Seidel,
außerordentlichem Professor der Medicin auf der Universität zu Halle.

Band I.

Mit drei Kupfertafeln.

Halle,
bei Anton und Gelbcke.

Elektricität und Krystallbildung.

1. Gehorcht die hydroelektrische Kette den von der Theorie ihr vorgeschriebenen Gesetzen, oder nicht?

Frage und Antwort,

von

G. S. Ohm*).

In der Schrift, worin ich eine mathematische Begründung der galvanischen Erscheinungen versucht habe, fängt der Anhang mit folgenden Worten an: „In vorliegender Abhandlung haben wir stets voraus-

*) Diese Abhandlung ist zunächst für die Besitzer der neuesten Ausgabe von *Biot's Experimental-Physik*, bearbeitet von *Fechner*, geschrieben und namentlich als Anhang zu den letzten Blättern des 3. Bandes zu betrachten, der auch mit dem besondern Titel erschien: *Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie* (Leipzig 1829). *Fechner* war, was bisher noch in keinem physikalischen Lehrbuch auch nur versucht werden konnte, besonders bemüht, die Lehre von der galvanischen Kette mittelst der durch den Multiplicator gebotenen Hülfeleistung messend zu bearbeiten, und äußert sich darüber in der Vorrede in der Art (S. X):

„In Darstellung der Umstände, von welchen die quantitativen Verhältnisse der Wirksamkeit galvanischer Ketten abhängen, bin ich nicht sowohl der *Ohm'schen* Theorie gefolgt, als ich durch *Erfahrungen nachgewiesen* habe, *dafs ihre wesentlichsten Folgerungen sich in der Wirklichkeit bestätigen*. Ich habe mich wohl gehütet, irgend eine Folgerung dieser Theorie — von der ich mich übrigens nicht scheue, zu behaupten, *dafs durch sie erst Sinn in die Wirkungsverhältnisse der galvanischen Kette gekommen ist* — über diese Gränzen auszudehnen. Diese

gesetzt, daß die Körper, welche von dem elektrischen Strom ergriffen werden, in ihm unausgesetzt dieselben bleiben; nun aber wollen wir auf die Einwirkung des Stromes in die ihm unterworfenen Körper, und auf die daraus möglicherweise hervorgehenden Aenderungen in ihrer chemischen Beschaffenheit, so wie auf die durch Rückwirkung veranlaßten Aenderungen des Stromes selbst Rücksicht nehmen*)." Mit diesen einfachen Worten habe ich die in mir, durch eine Unzahl von Versuchen, bis zur Unerschütterlichkeit bestärkte Ueberzeugung ausgesprochen, daß alle in der vorangegangenen Abhandlung entwickelten Formeln strenge so lange, aber auch nur so lange, wahr bleiben, als die Kette wie ein unveränderliches, mit sich selbst noch nicht in Zwiespalt gerathenes Ganze anzusehen ist. Der so (auch im ganzen Laufe der Abhandlung fortwährend) bedingte Zustand erhält sich in der thermoelektrischen Kette, wenn die Art ihrer Erregung unausgesetzt dieselbe bleibt, durch alle Zeit hindurch; an ihr werden daher alle dortigen Formeln *unter allen Umständen und ohne alle Ausnahme* mit den Beobach-

Darstellungsweise glaubte ich dem Charakter dieses Werkes, jene Anerkennung glaubte ich dem Verdienste des Urhebers jener Verknüpfung schuldig zu seyn."

Uebrigens wird *Fechner* die ganze Reihe seiner messenden Versuche in einer besonderen Schrift zusammenzufassen, die den Titel *Mafsbestimmungen über die galvanische Kette* führen wird.

So wird also die *Ohm'sche* Theorie, mit welcher unsere Leser aus der Abhandlung im *Jahrb. der Chem. u. Phys.* 1829. (I. 1—74) vertraut geworden sind, schon durch jenes allgemein verbreitete Lehrbuch der Physik hinreichend bekannt werden, ob einige gleich sie ignoriren zu können glaubten.

D. H.

*) Die *galvanische Kette* u. s. w. (Berlin bei *Riemann* 1827. 8.) S. 203.

tungen um so vollkommener übereinstimmen, je schärfer der Beobachter in jedem besonderen Falle seine Beobachtungsmittel zu wählen für gut finden wird. Gerade hierin spricht sich aber der Unterschied aus, welcher Statt findet zwischen dem erschöpfenden, mathematischen Ausdruck und einer bloßen Näherungsformel — zwischen der im Geiste wiedergeborenen Erscheinung und einem arithmetischen Nothbehelf.

Diese der thermoelektrischen Kette eigenthümliche Beharrlichkeit in der Erscheinung ist hingegen bei der hydroelektrischen Kette fast gänzlich verschwunden; in dieser treten, unmittelbar nach ihrem Entstehen, beinahe die ganze Zeit ihres Bestehens hindurch, Veränderungen ein, welche sie in jedem neuen Augenblick immer wieder zu einer andern machen. Auf die hydroelektrische Kette können daher die dortigen Formeln nur unter der Voraussetzung ihre Anwendung finden, daß man aus dem bunten Gewühl ihrer Anzeigen immer nur solche zusammenstellt, die einem und demselben von ihren unendlich vielen Zuständen angehören, und nur solche mit jenen Formeln zu vergleichen unternimmt. Da nun die Veränderlichkeit der hydroelektrischen Kette zunächst zwar, wie wir wissen, bloß innerhalb der, einer Zersetzung fähigen, Flüssigkeit beginnt, später aber auch noch erhebliche Modificationen in den an die Flüssigkeit angrenzenden festen Theilen der Kette zur Folge hat, die sich, laut der Erfahrung, sogar noch in beträchtlicher Entfernung von dieser Grenze in fühlbarer Stärke zeigen können: so hält es schwer, solche Vorkehrungen zu treffen, durch die man immer nur den einen festzuhaltenden Zustand der hydroelektrischen Kette völlig in

seine Gewalt bekommt — und diese Schwierigkeit wird dadurch noch beträchtlich gröfser, dafs die in der hydroelektrischen Kette vor sich gehenden Veränderungen, wie die Erfahrung gelehrt hat, übrigens so schwache, in die Sinne fallende, Charaktere an sich tragen, dafs eben nur durch diese Aenderungen des Stromes selber Unterschiede in dem Seyn eines Körpers, und zwar in grofser Stärke, sich nachweisen lassen, die bis jetzt noch für alle übrigen Reagentien der Physik und Chemie so gut wie nicht vorhanden sind. Beobachtungen aber, deren Angaben nicht mit dem vollen Bewusstseyn, sich dieses einen Zustandes bemächtigt zu haben, erhalten worden sind, müssen mit aller nur erdenklichen Vorsicht gehandhabt werden; denn jeder, der es wagt, aus solchen Resultaten Folgerungen zu ziehen, die jenen einen unveränderten Zustand der Kette ausdrücklich oder stillschweigend voraussetzen, läuft Gefahr in Irrthum zu verfallen, und nicht selten, in die schroffesten Widersprüche sich zu verwickeln. Schon das blofe Gefühl sagt jedem, ohne dafs ich nöthig hätte, mich hierüber umständlicher auszusprechen, welche kleinliche Vorsichtsmafsregeln einzuhalten seyn werden, wenn die Beobachtung in der Bestimmung des einen, gleichsam unter der Hand verschwindenden, Zustandes der Kette sicher gehen will; und die geringe Uebereinstimmung aller auf die hydroelektrische Kette sich beziehenden Mefsbestimmungen unter sich*), wenn nicht gerade die beson-

*) Diese Nichtübereinstimmung war vor nicht sehr vielen Jahren noch so grofs, und kam so oft, dafs mehr als ein Naturforscher zu der verzweifelnden Aeuferung getrieben worden ist, die galvanische Kette sey einer jeden quan-

deren Umstände des Versuches eine Veränderlichkeit der Kette von nur sehr geringem Umfange nach sich

tativen, das heist doch wohl, einer jeden nicht in Bausch und Bogen gemachten, Bestimmung unfähig. Selbst noch heute zwingt sie einen Mann, der ihren Quellen mehr als irgend ein anderer nachgespürt hat, zu den Worten (neueste Uebersetzung von *Biol's Physik* B. 3. Note zu S. 316 und 317.): „Ich erinnere dies besonders deshalb, weil die Art, wie die Kraft des Erglühens mit der erregenden Oberfläche nach den meisten Beobachtern zunimmt, so gar sehr von den Aussagen der Theorie nach obiger Darstellung abweicht, das man kaum glauben sollte, es könne eine auf mangelnder Vergleichbarkeit beruhende Ungenauigkeit der Versuche hieran Schuld seyn.“ Diesen Worten erlaube ich mir die Erinnerung entgegen zu stellen, das die Theorie in einem Punkte mit jenen Beobachtungen vollkommen zusammenstimmt, darin nämlich, das auf dem früher betretenem Wege durchaus keine Uebereinstimmung zu erzielen war; in allen übrigen Punkten ist aber eine Uebereinstimmung der Theorie mit den Versuchen auch nicht einmal denkbar, weil in den Beobachtungen selber keine aufgefunden werden kann. Meine Gegenerinnerung hat auch nicht auf die entfernteste Weise eine Mißbilligung der Bedenklichkeiten zur Absicht, wozu ein der That nach so gründlicher Naturforscher allerdings vollkommen berechtigt war; sie soll bloß den Muth dessen, der die Mittel dazu in den Händen hat, zu Versuchen anfrischen, damit ich nicht genöthigt werde, mit gleichsam mikroskopischen und des Gegenstandes völlig unwerthen Versuchen, wie sie mir nun einmal nur gestattet sind, hervorzutreten. Zum Ueberflusse will ich daher in Beziehung auf die in derselben Anmerkung von *Fechner* angedeutete Erklärungsweise des Erglühens hinzufügen, das die Theorie in der That das Erglühen nicht sowohl von der *strömenden*, als von der *sich anhäufenden* Elektrizität abhängig macht, wovon man sich leicht durch die Betrachtung überzeugen kann, das, da die Größe des Stromes S in dem zu erglühenden Theile durch die Gleichung

$$S = kw \frac{du}{dx}$$

gegeben wird, wo k das Leitungsvermögen dieses Theils, w seinen Querschnitt und $\frac{du}{dx}$ die Stärke

zogen, findet in jenem einen Umstand allein ihren hinreichenden Erklärungsgrund. Ich hatte im Laufe meiner Versuche Gelegenheit, ein Mittel zu entdecken, wodurch es mir möglich wurde, jeden der verschiedenen Zustände der hydroelektrischen Kette für sich zu untersuchen, und die von mir in einem Aufsätze über die Wirkungsweise des Multipliers (im Jahrb. d. Ch. u. Ph. 1829. I. 1 fg.) eingehaltene Beobachtungsmethode ist nichts weiter als die Ausbildung des allgemeinen Mittels in einem besonderen Falle, wobei es eine leichtere und ausgedehntere Form annimmt. Auch habe ich es nicht versäumt, die Zuverlässigkeit meiner Formeln in den einzelnen Zuständen der hydroelektrischen Kette, und namentlich in dem vor allen andern

der Aenderungen in der elektroskopischen Kraft von der betrachteten Stelle zur nächsten bezeichnet, und man, um daraus die Intensität des Stromes zu finden, erst mit w , und dann, zur Bestimmung der eigentlichen Glühkraft, noch mit k , oder dem nah verwandten Glüh-Coëffizienten dividiren muß, diese Glühkraft offenbar lediglich von dem einen Factor $\frac{du}{dx}$, d. h. von der Größe der Aenderung in der elektroskopischen Kraft an der in diesem Bezug untersuchten Stelle, abhängig gemacht werde. Es ist überhaupt nicht uninteressant zu bemerken, daß, so wie die elektroskopische Kraft irgend eines Querschnitts der Kette durch u gegeben worden ist, seine leuchtende Kraft durch $\frac{du}{dx}$, sein Wärmeinhalt durch $w \frac{du}{dx}$, seine chemische Erregung durch $k \frac{du}{dx}$ und sein magnetisches Vermögen durch $kw \frac{du}{dx}$, nach allen bis jetzt durch die Erfahrung erhaltenen Andeutungen, vorgestellt werden müsse. Es reihen sich an diese Unterschiede Betrachtungen an, welche unsere Augen mit unwiderstehlicher Gewalt nach einem Ziele hinlenken, das sie freilich bis jetzt immer nur noch wie im Nebel zu erblicken im Stande sind.

ausgezeichneten, welcher im ersten Momente der Schließung Statt findet, wiederholt zu prüfen, wobei sich mir die Allgemeingültigkeit derselben in jedem besonderen Falle immer wieder aufs Neue bewährte.

Fechner aber, dem die Elektrizitätslehre schon so manche wichtige Bereicherung, und meine Theorie eine Menge prüfender Versuche verdankt, hat kürzlich nicht nur das Mittel angezeigt, wodurch die Stärke des Stroms im ersten Augenblicke der Wirkung ungleich leichter, als bei dem von mir gebrauchten, mit großer Genauigkeit sich messen läßt, sondern er hat mit ihm zugleich auch die Beobachtungen geliefert, welche ganz dazu geeignet sind, die Frage zu entscheiden, ob die hydroelektrische Kette im ersten Augenblicke ihrer Wirkung den von der Theorie ihr vorgeschriebenen Gesetzen gehorche, oder nicht. Da die Erledigung der Frage, um welche es sich hier handelt, für die endliche Feststellung der Grundansicht über die Natur der galvanischen Kette von der äußersten Wichtigkeit, und darum sehr zu wünschen ist, daß über dieser Stelle auch nicht das mindeste Dunkel liegen bleibe, so glaube ich keinen Vorwurf zu verdienen, wenn ich diesen Gegenstand mit einer Ausführlichkeit behandle, die sonst eben nicht meine Sache ist, die ich aber da, wo es gilt, nicht scheuen werde.

Die Versuche, welche ich jetzt für die Theorie in Anspruch nehmen werde, befinden sich im *dritten* Bande der neuesten Uebersetzung von *Biot's* Physik (S. 555—557); sie haben doppeltes Gewicht, nicht nur weil sie von einem Beobachter herrühren, der in ihnen eine Abweichung von der Theorie erkennen zu müssen glaubte, und dadurch allein schon hinlänglich

die zum wahren Experimentator unumgänglich nöthige Gleichgültigkeit gegen jede individuelle Ansicht bezeugt, da es ihm doch bei einigem Bestreben auf keinen Fall hätte schwer fallen können, dieselben Resultate mit einer Genauigkeit, an die man in diesem Felde der Physik eben nicht sehr gewohnt war, der Theorie anzupassen, sondern insbesondere auch deshalb, weil sie durch ein Verfahren erhalten worden sind, das mit dem von mir gebrauchten, an welchem die Theorie emporgewachsen ist, nichts gemein hat, als die Magnetnadel. Alle diese Umstände sind zwar einer sehr grossen Uebereinstimmung der Versuche mit der Theorie nicht sehr günstig; gleichwohl — ich will den Leser jetzt schon darauf aufmerksam machen, damit er mich streng zu bewachen nicht versäume — habe ich es mir zur Pflicht gemacht, nicht nur jede Drehung und Wendung bei der Application der Formel auf die Beobachtungen zu Gunsten der Theorie zu verschmähen, sondern nicht einmal, was sonst doch stets gewöhnlich ist, eine Ausgleichung der Fehler über alle einzelnen Versuche zu gestatten, vielmehr jeden Schritt, den ich zur Bestimmung der zur Berechnung nöthigen Elemente thue, mir lediglich und unbedingt von der Natur der Sache selber vorschreiben zu lassen. Man wird bei einiger Aufmerksamkeit leicht finden können, daß ich die *Fechner'schen* Versuche der strengsten Feuerprobe unterworfen habe, und wenn sie rein und ungetrübt aus ihr hervorgegangen sind, so schmeichle ich mich, daß dadurch der Schatz, den wir an *Fechner's* experimentellen Untersuchungen erhalten haben und noch erhalten werden, nur um so deutlicher ans Licht gestellt worden ist.

Um die *Fechner'schen* Resultate im Ganzen und im Einzelnen recht würdigen zu können, ist vor Allem eine genaue Kenntnifs der Art und Weise, wie er zu ihnen gekommen ist, unentbehrlich, weil außerdem der Rechner oft da von scheinbar unerträglichen Differenzen sich abschrecken läßt, wo wirklich keine sind, und umgekehrt oft da, wo nicht zu dulddende Unterschiede der Sache nach vorhanden sind, in der Zahl kaum eine Spur davon entdeckt; deshalb sehe ich mich bewogen eine specielle Nachweisung aller dieser Umstände voran zu schicken. — *Fechner's* Beobachtungsweise besteht wesentlich in Folgendem: Mittlen in eine oder mehrere Windungen, gebildet aus einem metallischen Leiter, der ein Glied der Kette auszumachen bestimmt ist, stellt er eine einfache oder doppelte, horizontale Magnetnadel so auf, daß ihre Richtung, welche sie unter dem bloßen Einflusse der Erdwirkung annimmt, senkrecht auf der Ebene einer jeden Windung steht, und mit derjenigen zusammenfällt, in welche auch ein die Windungen durchlaufender Strom sie zu führen streben würde. Da bei dieser Anordnungsweise die dirigirende Kraft der Windungen mit der dirigirenden Kraft der Erde der Richtung nach zusammenfällt, so läßt sich offenbar die Kraft eines die Windungen durchlaufenden Stromes, womit er auf die Magnetnadel einwirkt, für sich in folgender Weise bestimmen:

1. Man sucht die dirigirende Kraft der Erde für sich auf;

2. man sucht die dirigirende Kraft auf, welche Statt findet, wenn die Erde in Verbindung mit einem

die Windungen durchlaufenden Strome zugleich auf die Nadel einwirken;

3. zieht man hierauf von letzterer Kraft die erstere ab, so erhält man die Kraft, womit die Windungen für sich auf die Nadel einwirken.

Da nun bekanntlich die Stärke einer die Nadel in Schwingungen versetzenden Kraft dem Quadrate der zu einer und derselben Anzahl von Schwingungen erforderlichen Zeit umgekehrt proportional ist (unter der Voraussetzung, daß während der Beobachtung die Stärke der Kraft sich nicht merklich ändert, und nur Schwingungen von nicht sehr großer Ausdehnung in die Beobachtung aufgenommen werden): so läßt sich die in 1. erwähnte dirigirende Kraft der Erde dadurch finden, daß man die zu einer bestimmten Anzahl von Schwingungen der Nadel unter dem alleinigen Einflusse der Erde erforderliche Zeit beobachtet; bezeichnet man nämlich diese Zeit durch N , so wird die aus der Erde allein herstammende dirigirende Kraft vorgestellt durch

$$\frac{1}{N^2}.$$

Beobachtet man eben so die zu derselben Anzahl von Schwingungen erforderliche Zeit, wenn die Nadel von der Erde, in Verbindung mit einem die Windungen durchlaufenden Strom, in Bewegung gesetzt wird, so erhält man die in 2. erwähnte Summe von 2 Kräften; nennt man nämlich diese Zeit N' , so wird die Summe der Erdkraft und Stromeskraft zugleich vorgestellt durch

$$\frac{1}{N'^2}.$$

Folglich wird nach 3. die in den Windungen allein thätige Kraft vorgestellt durch

$$\frac{1}{N^{1/2}} - \frac{1}{N^2}.$$

Dies ist die Formel, mit deren Hülfe *Fechner* die jedesmalige in einem Gliede der Kette sich äussernde Kraft des Stromes auf die Nadel durch Rechnung bestimmt. Er erleichtert ihre Anwendung noch dadurch, dass er sie auf die Form

$$\frac{N^2 - N^{1/2}}{N^{1/2}} \cdot \frac{1}{N^2}$$

bringt und dann $\frac{1}{N^2}$, d. h. die ganze dirigirende Kraft der Erde zur Einheit wählt, wodurch sie übergeht in

$$\frac{N^2 - N^{1/2}}{N^{1/2}} \text{ oder } \left(\frac{N}{N^{1/2}}\right)^2 - 1,$$

in welcher Form auch ich bei allen folgenden Rechnungen sie stets habe eingehen lassen.

Bei dieser Bestimmungsweise der Kräfte darf man jedoch nicht übersehen, was *Fechner* auch schon angedeutet hat, dass durch sie die Kraft des Stromes unter verschiedenen Umständen mit einem sehr ungleichem Grade der Genauigkeit gefunden wird, wie schon daraus sich ersehen lässt, dass die Beobachtung mittelst der Zeit geschieht, diese aber um so kleiner ausfällt, je grösser die sollicitirenden Kräfte sind, so dass ein und derselbe Fehler in der Zeitbestimmung bei schwachen Kräften nur einen höchst geringen Unterschied in der Grösse des Stromes, bei starken Kräften hingegen eine äusserst beträchtliche Abweichung in der Bestimmung der Stromesgrösse verursachen wird, die unter Umständen ein sehr bedeutender aliquoter Theil der an sich schon grossen Kraft werden, und sonach, scheinbar wenigstens, zu einer relativ sehr grossen Un-

genauigkeit Anlaß geben kann. Um dies und einige daran sich knüpfende Betrachtungen durch ein Beispiel zu erläutern, wähle ich die von *Fechner* (a. a. O. S. 285.) über das Wogen der Kraft uns mitgetheilten Versuche aus, so weit sie die Anzeigen der Nadel unmittelbar nach der Schließung der Kette angehen. Sie geben die zu je 4 unmittelbar hinter einander beobachteten Schwingungen erforderlichen Zeiten zu erkennen; ich schreibe sie in einer zu meinem Zweck etwas bequemern Form hier nieder, und füge sogleich die aus jeder einzelnen Zeitbestimmung durch Rechnung sich ergebende Größe der Stromeskraft hinzu. Die unter *A* stehenden Resultate beziehen sich auf eine mit dem einfachen Multiplicatordrahte versehene Kette, in welcher *Brunnenwasser* als leitende Flüssigkeit diente; die unter *B* stehenden Resultate beziehen sich auf dieselbe Kette, nachdem noch 10 dem Multiplicatordrahte gleiche Drahtlängen in sie eingeschoben worden waren; die unter *C* aufgezeichneten unterscheiden sich von den vorigen in nichts weiter, als dafs, statt 10, hier 54 solche Drahtlängen in der Kette eingeschoben worden sind. Die Zeiteinheit ist durchgängig dieselbe und zwar $\frac{3}{4}$ einer Secunde. Die ebenfalls zu 4 Schwingungen der Nadel unter dem alleinigen Einflusse der Erde erforderliche Zeit war unter *A* 33, unter *B* und *C* 32,8 solcher Zeiteinheiten.

Schwin- gungs-Peri- oden.	A.		B.		C.	
	Zeiten.	Kräfte.	Zeiten.	Kräfte.	Zeiten.	Kräfte.
1te	10,5	8,88	15,0	3,78	22,0	1,22
2te	11,0	8,00	15,0	3,78	21,5	1,34
3te	11,0	8,00	16,0	3,10	22,5	1,18
4te	12,0	6,56	16,0	3,10	22,0	1,22
5te	12,0	6,56	16,0 +	3,10 -	22,5	1,18
6te	12,5	5,95	17,0	2,77	22,5	1,18
7te	12,0 +	6,56 -	17,0	2,77	—	—
8te	14,0	4,56	17,0	2,77	—	—
9te	—	—	17,0 +	2,77 -	—	—

Die Mittel aus den sechs ersten unter *A*, *B*, *C* beobachteten Zeiten sind der Ordnung nach 11,5; 15,8; 22,1; man sieht hieraus; daß es bei den unter *C* stehenden Beobachtungen völlig gleichgültig gewesen wäre, ob man für die der ersten Schwingungsperiode angehörige Zeit, die wirklich beobachtete, oder das Mittel aus allen 6 auf einander folgenden Schwingungsperioden genommen hätte; bei den unter *B* stehenden Beobachtungen hätte man durch beide Bestimmungsarten schon einen recht merklichen Unterschied erhalten, und bei den unter *A* stehenden einen noch fühlbarern. Eine aufmerksame Vergleichung der unter *A* beobachteten Zeiten z: B. zeigt deutlich, daß diese von Periode zu Periode nahe um 0,4 Einheiten anwachsen; denn unter dieser Annahme erhält man für sie der Reihe nach 10,5; 10,9; 11,3; 11,7; 12,1; 12,5; 12,9; 13,3; welche sich von der beobachteten, die 7te und 8te abgerechnet, kaum merklich unterscheiden, und für die Summe aller Zeiten 95,2 geben, was von der beobachteten, die 95 ist, ebenfalls nicht merklich abweicht. Erwägt man, daß bei den hier herausgehobenen Beobachtungen der Experimentator weder den Anfang noch das Ende einer jeden Schwingungsperiode in seiner Ge-

walt hatte, und daß jede Irrung in der Zeitbestimmung am Ende der einen Periode immer die gleiche, aber entgegengesetzte Irrung am Anfange der nächsten Periode nothwendig nach sich zog, so wird man hieraus die Abweichung von der Regel bei der 7ten und 8ten Schwingungsperiode sich leicht erklären können, und die anscheinende Regellosigkeit in den berechneten Kräften, welche ein flüchtiger Beurtheiler der Sorgfalt des Beobachters zur Last legen dürfte, wird aus diesem Grunde der aufmersamere seiner Treue zu Gute kommen lassen müssen. Ich nehme daher als unbestritten an, daß die unter *A* vorhandenen Beobachtungen eine Zunahme in den Zeiten von Periode zu Periode von nahe 0,4 Zeiteinheiten mit voller Sicherheit erkennen lassen; bei den unter *B* vorhandenen würde sich auf ähnliche Weise eine Zunahme in den aufeinander folgenden Zeiten herausstellen, die zwischen 0,2 und 0,3 Zeiteinheiten liegt; bei den unter *C* vorhandenen hingegen kaum irgend eine zu berücksichtigende, weshalb wir annehmen können, daß bei Ketten von gewisser Stärke eine zwar geringe, aber doch noch wahrnehmbare Zunahme in den zu aufeinander folgenden Schwingungsperioden gehörigen Zeiten vorhanden ist, während bei Ketten von geringerer Stärke eine solche Zunahme sich durchaus nicht mehr mit Sicherheit erkennen läßt. In Fällen aber, wo noch ein merklicher Unterschied in den Zeiten von Periode zu Periode sich auffinden läßt, kann auch die der ersten Periode angehörige Zeit, selbst wenn sie sich vollkommen bestimmen ließe, nicht völlig genau für diejenige genommen werden, welche der Kette im ersten Momente der Schließung angehört, wenn man sich

die in jenem Augenblick eintretende Kraft als unveränderlich denkt; vielmehr wird die Hälfte jener Zunahme von der beobachteten Zeit weggenommen werden müssen, wenn man die wahre Zeit *in möglichster Schärfe* zu erhalten sich vornimmt. So wäre in dem von uns gewählten Beispiele 0,2 Zeiteinheit von der beobachteten Zeit 10,5 wegzunehmen, so daß bloß 10,3 für die wahre übrig bliebe. Einem noch größern Irrthume würde man sich aussetzen, wenn man, vorausgesetzt, daß alle Zeitbestimmungen völlig sicher wären, statt der ersten beobachteten Zeit, das Mittel aus den beiden ersten, oder gar aus den drei ersten Zeiten nehmen wollte; in einem Falle würde man (bei ideellen Zeitbestimmungen) 10,7, im andern 10,9 statt der wahren 10,3 erhalten. Solche Unterschiede liegen freilich dem möglichen Fehler in der Zeitbestimmung so nahe, daß man, sie zu berücksichtigen, kaum für lohnend genug halten wird. Auch geht meine Absicht keineswegs dahin, solche versäumte Correctionen irgend einem Beobachter zur Last legen zu wollen; man muß erst sicher seyn, daß sie nöthig werden, ehe man sich ihnen unterziehen wird. Allein es gereicht zu meiner Beruhigung, im Verlaufe dieser Betrachtungen unwiderleglich darthun zu können, wie sich die Fäden galvanischer Erkenntnisse bereits mit solcher Sicherheit zusammen ziehen lassen, daß vernachlässigte Correctionen von jener Größe einer kunstgerechten Zergliederung der Versuche sich nicht mehr entziehen können, vorausgesetzt freilich, daß die Beobachtungen von einem *Fechner* gemacht worden sind.

Ein zweiter Umstand, der aus der Vergleichung der Kräfte, insbesondere der unter *A* vorhandenen,

in die Augen springt, besteht darin, daß die Kraft der Kette in ganz kurzer Frist (alle 8 Beobachtungen umspannen nicht mehr als $\frac{2}{3}$ Minuten Zeit) von dem Werthe 8,88 bis auf 4,56, und selbst wenn wir in der letzten Beobachtung einen Fehler von einer ganzen Zeiteinheit, was kaum gestattet werden dürfte, annehmen wollen, doch noch bis auf 5,44 gesunken ist. Dieses Sinken beträgt demnach, selbst im äußersten Falle, noch 3,44; also nahe zweimal so viel, als die ganze Kraft der Kette nach 5 Minuten überhaupt noch beträgt, wie die unmittelbare Ansicht des weiteren Verlaufes der Versuche a. a. O. sogleich zu erkennen giebt. Eine Aenderung von so ausnehmend großem Umfange spricht sich jedoch in der Zeitbestimmung bloß durch den Unterschied von noch nicht drei Zeiteinheiten aus, so daß, wenn wir $\frac{1}{2}$ Zeiteinheit als Grenze der Sicherheit in der Zeitbestimmung annehmen wollen, $\frac{3,44}{6}$ oder 0,57 d. h. mehr als die Hälfte der ganzen Erdeinwirkung der Nadel an jener Stelle unter dem unvermeidlichen Beobachtungsfehler sich noch verstecken kann. Dieser mögliche Fehler in der Kraftbestimmung an der von mir hervorgehobenen Stelle des Versuches beträgt nahe den 3ten Theil der ganzen nach 5 Minuten noch übrig gebliebenen Kraft, und ist daher, wie schon die bloße Ansicht des weiteren Verlaufes der dortigen Beobachtungen zeigt, viel größer als derjenige Fehler, welchem man sich an irgend einer andern Stelle des Versuches bei der Bestimmung der Kraft aussetzt*). In diesem Umstande

*) Die hier angeregte große Unsicherheit in der Kraftbestimmung der Kette gleich zu Anfang ihrer Schließung, welche bei noch höhern Kräften noch um vieles größer wird,

spricht sich die Nothwendigkeit von Vorsichtsmafsregeln aus, welche man zu nehmen hat, um aus den

eignet, nach meiner Ansicht, die von *Fechner* eingeführte Beobachtungsweise, welche fast in allen übrigen Fällen die besten Dienste leistet, bei weitem weniger zu einer genauen Untersuchung des Wogens der Kraft, welches gerade bei sehr hohen Kräften und in der ersten Zeit ihrer Wirkung eine besondere Berücksichtigung zu verdienen scheint. Aus allen meinen über das Wogen der Kette angestellten Versuchen scheint nämlich im Allgemeinen als sicheres Resultat sich zu ergeben, dafs das Sinken der Kraft gleich vom Anfange der Wirkung ab in solcher Art geschehe, dafs die in gleichen Zwischenräumen beobachteten Unterschiede der Kraft nahehin eine fallende geometrische Progression bilden, die ihrer Natur nach (gemeinhin schon im Laufe der ersten Stunden) bald verschwindet und dann einem anderen, weitlangsamern und unregelmäßigeren Sinken Platz macht, das eine weit längere Zeit hindurch sich noch merklich zeigt. Ich bin, durch einzelne Anzeigen bewogen, nicht ungeneigt zu glauben, dafs jene erstere Aenderungsweise gerade diejenige ist, welche einen inneren Umbildungact der Flüssigkeit und der an sie grenzenden festen Theile zu erkennen giebt, während letztere, nach meinem Dafürhalten, blos von einem Abnutzen der Flüssigkeit und dem Absetzen ihrer festen Bestandtheile an die Metalle herrührt, und wenigstens einen Grund ihrer geringern Regelmäßigkeit — wie ich manchmal bei Versuchen, wo die Erregerplatten in Glas hingen, wenn ich bei einer unverhofft, plötzlich und stark eintretenden Veränderung meine Augen rasch auf das Glas hinwarf, gar deutlich gewahren konnte — darin finden, dafs sich zuweilen jene anhaftenden, bald derberen, bald lockeren und cirrusartigen, festen Theile stellenweise losmachen, und auf den Boden des Gefäßes senken. Würden meine Vermuthungen durch fortgesetzte Beobachtungen zur Gewifsheit erhoben, so unterliegt es keinem Zweifel, dafs eben nur jene erste Periode des Wogens, die sich ohnehin durch ihre Stärke auszeichnet, unsere Aufmerksamkeit ganz und ungetheilt in Anspruch nehmen müßte, während wir bei letzterer einen ziemlich gleichgültigen Zuschauer abgeben dürften; denn erstere verheißt die Grundlage einer neuen Wissenschaft herzugeben, während letztere kaum ein Flickstück für alte abzuwerfen verspricht.

nach *Fechner's* Beobachtungsmethode erhaltenen Resultaten die in die Formel eingehenden Elemente zu gewinnen. Man muß nämlich zu diesem Zwecke solche Stellen der Versuche von der Hand weisen, wo der Beobachtungsfehler seinen größten Einfluß erlangt, vielmehr umgekehrt gerade diejenigen dazu auswählen, wo jener Fehler nachweislich der kleinste wird; denn in jenem Falle hätte man zu befürchten, einen relativ sehr großen Irrthum in der Beobachtung, der nur einer oder wenigen Stellen angehört, durch die Rechnung, auf alle andern Stellen überzutragen, und so die an letztern erzielte größere Genauigkeit völlig unnütz zu machen, während im andern Falle der in die Formel etwa aufgenommene, an sich schon geringere Irrthum an den meisten anderen Stellen schwächer wird, und hier seine trübende Kraft durch größere Verdünnung meistentheils verliert. Damit man jedoch einer solchen Uebertragungsweise der *Fechner'schen* Resultate auf die Formel nicht den Vorwurf machen könne, als beabsichtige sie bloß ein Monopol sich zu verschaffen, unter den Daten der Beobachtung so lange auswählen zu können, bis sie auf die zu ihren selbstsüchtigen Zwecken brauchbarsten gestossen sey, thut es Noth, das Kennzeichen *a priori* für die Stellen anzugeben, an welche man sie jetzt und in der Folge ohne weitere Umstände sogleich festbannen kann. Diese Stellen ergeben sich aus nachstehenden Betrachtungen.

Es stellt nämlich, wie bereits schon erläutert worden ist,

$$\left(\frac{N}{N'}\right)^2 - 1$$

die Kraft einer Kette vor, wenn N die Zeit bezeichnet, welche die Nadel zu der gewählten Schwingungsperiode unter dem Einflusse der Erde allein braucht, und N' diejenige Zeit, welche zu derselben Schwingungsperiode erfordert wird, wenn die Erde in Verbindung mit der Kette auf die Nadel einwirkt. Bei obiger Kraftbestimmung ist diejenige Kraft, womit die Nadel von der Erde allein sollicitirt wird, als Einheit zum Grunde gelegt. Diese Einheit kann als unveränderlich angesehen werden und eben deshalb darf man auch die ihr entsprechende Schwingungszeit, als durch die Beobachtung ohne allen Fehler gegeben, voraussetzen, indem es der Experimentator gänzlich in seiner Gewalt hat, die Gröfse eines solchen Fehlers fast beliebig zu verringern, der zudem in allen einzelnen Angaben einer ganzen Versuchsreihe überall derselbe bleibt, und schon darum in den einzelnen Zahlbestimmungen zu keiner fühlbaren Ungleichförmigkeit Anlaß geben kann. Aus diesem Grunde ist es ausschlußweise bloß der bei der Beobachtung der Zahl N' sich einstellende Fehler, dessen Einfluß zu fürchten und, so viel nur immer möglich, unschädlich zu machen ist; denn dieser kann von Zahl zu Zahl ein anderer werden, und eben so gut nach der einen, als nach der andern Seite von der wahren Bestimmung abweichen. Um den Einfluß eines Fehlers in der beobachteten Zeit N' und die Kraftbestimmung näher kennen zu lernen, wollen wir annehmen, daß bei Beobachtung der Zeit N' ein Fehler ν gemacht worden sey, um welchen die Zahl N' zu klein gefunden worden ist, (in diesem Falle steckt schon der andere, wo N' zu groß gefunden worden wäre, man darf dann nur ν

wie eine negative Gröfse behandeln) so dafs die wahre Kraft der Kette durch

$$\left(\frac{N}{N' + \nu}\right)^2 - 1$$

vorgestellt wird, während die beobachtete durch

$$\left(\frac{N}{N'}\right)^2 - 1$$

gegeben ist. Der Unterschied zwischen der beobachteten und der wahren Kraft giebt den Einfluss des Beobachtungsfehlers auf die Kraftbestimmung zu erkennen, welcher Einfluss mithin

$$\left(\frac{N}{N'}\right)^2 - \left(\frac{N}{N' + \nu}\right)^2$$

ist. Man kann vorstehendem Ausdrucke dadurch eine bequemere Gestalt verschaffen, dafs man ihn vorerst folgende Umformungen durchlaufen läfst:

$$\text{erstlich} \quad \left(\frac{N}{N'}\right)^2 - \left\{ \frac{\frac{N}{N'}}{1 + \frac{\nu}{N'}} \right\}^2,$$

$$\text{sodann} \quad \left(\frac{N}{N'}\right)^2 \cdot \left(1 - \left(1 + \frac{\nu}{N'}\right)^{-2}\right),$$

und nun das Binom $\left(1 + \frac{\nu}{N'}\right)^{-2}$ in eine nach Potenzen von $\frac{\nu}{N'}$ fortschreitende Reihe entwickelt. Da nämlich der Beobachtungsfehler ν in allen Fällen der Anwendung immer nur sehr klein ist im Vergleiche zur ganzen beobachteten Zeit N' , so stellt $\frac{\nu}{N'}$ immer nur einen an sich sehr kleinen Bruch vor, dessen Quadrat, und um so mehr, dessen noch höhere Potenzen wir vernachlässigen können; dann aber wird

$$\left(1 + \frac{\nu}{N'}\right)^{-2} = 1 - 2 \frac{\nu}{N'},$$

und es geht der vorhin für den Einfluss des Beobach-

tungsfehlers auf die Kraftbestimmung gefundene Ausdruck über in:

$$2 \frac{\nu}{N'} \cdot \left(\frac{N}{N'} \right)^2,$$

welcher sich auch so schreiben läßt:

$$2 \frac{\nu}{N} \cdot \left(\frac{N}{N'} \right)^3.$$

Da die Grenze des Fehlers ν in der Zeitbestimmung überall dieselbe bleibt und auch N im Laufe aller zu einer und derselben Versuchsreihe gehörigen Beobachtungen stets denselben Werth behält: so ist der Factor $2 \frac{\nu}{N}$ überall derselbe; die Unsicherheit in der Kraftbestimmung ist daher dem andern Factor $\left(\frac{N}{N'} \right)^3$ proportional und wächst folglich mit der GröÙe $\frac{N}{N'}$, d. h. mit der verhältnißmäßigen Verschiedenheit der beiden beobachteten Zeiten N und N' in einem enormen Verhältnisse, worin sich, noch deutlicher als vorhin, die Nothwendigkeit ausspricht, den Einfluß des Beobachtungsfehlers auf die Kraftbestimmung bei einer prüfenden Vergleichung der Versuche mit der Theorie nicht außer Acht zu lassen.

Nachdem wir auf solche Weise den Umfang der unvermeidlichen Irrungen kennen gelernt haben, dem jede einzelne Kraftbestimmung ausgesetzt ist, welche man aus den nach *Fechner's* Verfahren beobachteten Zeiten herzuleiten unternimmt, fällt die Wahl der Zahlen, aus welchen sich die Elemente der Formel mit der größten Sicherheit berechnen lassen, nicht mehr schwer; wir können uns daher jetzt sogleich an die Vergleichung der *Fechner'schen* Versuche mit der Theorie machen. Diese Versuche befinden sich, wie schon erwähnt worden, im 3ten Bande der neuesten

Uebersetzung von *Biot's* Physik (S. 555—557) und bestehen wesentlich in Folgendem. Drei Reihen von Beobachtungen, in welchen die $14\frac{2}{3}$ Quadratzoll grossen Erregerplatten nach einander I. Zink und Kupfer, II. Zink und Zinn, III. Zinn und Kupfer waren, und wobei jedesmal Wasser mit $\frac{1}{3}$ Vol. Salzsäure von 1,096 spec. Gew. als leitende Flüssigkeit diente, theilen uns die Resultate mit, welche eine Aenderung sowohl im Abstände der Erregerplatten von einander, als in der Länge des die Erregerplatten verbindenden Drahtes, wovon stets ein und derselbe Theil auf die Magnetnadel einwirkte, in den beobachteten, zu den 4 ersten unmittelbar nach der Schliessung der Kette erfolgenden Schwingungen erforderlichen Zeiten und in den daraus nach obiger Formel berechneten Kräften hervorbringt. Die Zeiteinheit ist, wie immer, $\frac{2}{3}$ Sekunden und die Schwingungszeit der Nadel unter dem alleinigen Einflusse der Erde 33 solcher Zeiteinheiten (vgl. die von *Fechner* in diesem Jahrbuche 1829. III. S. 201 mitgetheilten Verbesserungen). Der einfache Abstand der Erregerplatten von einander wird mit d bezeichnet und die einfache Länge des Verbindungsdrahtes mit l . Ich theile die Mittel dieser Beobachtungen hier mit, wo die an der Spitze einer jeden Verticalreihe stehende Anzahl von d in einfachen Abständen den eigentlichen Abstand der Erregerplatten von einander anzeigt, wie er den in dieser Reihe aufgezzeichneten Beobachtungen entspricht, während die an der Spitze einer jeden Horizontalreihe stehende Anzahl von l die Länge des bei den in ihr vorhandenen

Beobachtungen gebrauchten Verbindungsdrahtes in einfachen Längen ausspricht *).

I. Zink-Kupfer.

Abstände		2 d.		12 d.		27 d.	
Drahtlängen		Zeiten	Kräfte	Zeiten	Kräfte	Zeiten	Kräfte
1	l.	4,0	67,1	5,5	35,0	7,0	21,2
3	l.	6,0	29,1	-	-	8,0	16,0
5	l.	7,69	17,3	8,0	16,0	9,0	12,4
11	l.	10,5	8,88	11,0	8,0	11,83	6,78
23,5	l.	14,7	4,04	-	-	15,0	3,84
33,5	l.	16,0	3,25	-	-	17,0	2,77
55	l.	19,0	2,02	-	-	19,58	1,84

II. Zink-Zinn.

Abstände		2 d.		14 d.		27 d.	
Drahtlängen		Zeiten	Kräfte	Zeiten	Kräfte	Zeiten	Kräfte
1	l.	5,25	38,5	7,14	17,9	8,62	13,6
2	l.	6,83	22,3	8,41	14,8	9,64	10,7
3	l.	7,87	16,8	9,33	11,5	10,22	9,47
5	l.	9,75	10,4	10,75	8,43	-	-
11	l.	13,64	4,84	14,0	4,56	14,7	4,14
23,5	l.	17,56	2,44	17,93	2,40	18,49	2,25
33,5	l.	19,92	1,74	20,16	1,67	20,41	1,61
55	l.	23,0	1,06	23,25	1,02	23,29	0,972

III. Zinn-Kupfer.

Abstände		2 d.		6 d.		14 d.		19 d.		27 d.	
Drahtlängen		Zeiten	Kräfte	Zeiten	Kräfte	Zeiten	Kräfte	Zeiten	Kräfte	Zeiten	Kräfte
1	l.	5,75	31,9	6,5	24,8	7,37	16,4	8,37	14,8	9,5	11,06
2	l.	7,33	19,3	-	-	-	-	-	-	10,0	9,39
3	l.	8,79	13,0	-	-	10,0	9,89	-	-	11,25	7,61
5	l.	10,5	8,88	-	-	-	-	-	-	12,62	5,85
11	l.	14,62	4,10	-	-	-	-	-	-	-	-
33,5	l.	18,89	2,05	-	-	-	-	-	-	-	-
33,5	l.	20,83	1,51	-	-	-	-	-	-	-	-
55	l.	24,0	0,891	-	-	-	-	-	-	24,5	0,814

*) Da zu allen diesen Versuchen immer ein und derselbe Draht gebraucht worden ist, so sind die absoluten Längen hier

Die Formel, in welcher die Theorie alle solche Bestimmungen zusammengefasst hat, giebt für die Gröfse S , der Kraft der Kette, wenn wir die in jedem Versuche vorhandene Anzahl der einfachen Abstände allgemein durch nd , und die Anzahl der einfachen Drahtlängen allgemein durch ml bezeichnen, folgenden Ausdruck:

$$S = \frac{A}{nd + ml},$$

wo A die Gröfse der in der Kette auftretenden Spannung vorstellt. Um diese Formel auf die Versuche anwenden zu können, muss man vorerst die Werthe A , d und l aus ihnen selbst ableiten, oder auch nur die Verhältnisse $\frac{d}{A}$ und $\frac{l}{A}$, wenn man die Vergleichung der Resultate unter einander immer nur innerhalb derselben Versuchsreihe vornehmen will.

Man kann das eine Element $\frac{l}{A}$ der Formel auf folgende Weise herholen. Hebt man nämlich aus einer und derselben Verticalreihe, in welcher n immer einerlei Werth behält, zwei verschiedene, aus den unmittelbar beobachteten Zeiten erhaltene Kräfte heraus, die wir durch S' und S'' bezeichnen wollen, und nennt $m'l$ und $m''l$ die ihnen entsprechenden Vielfachen der einfachen Drahtlänge:

$$\text{so ist } S' = \frac{A}{nd + m'l} \text{ und } S'' = \frac{A}{nd + m''l}$$

$$\text{oder } \frac{1}{S'} = n \frac{d}{A} + m' \frac{l}{A} \text{ und } \frac{1}{S''} = n \frac{d}{A} + m'' \frac{l}{A}$$

woraus man findet

$$\frac{l}{A} = \frac{\frac{1}{S'} - \frac{1}{S''}}{m' - m''}$$

den in der Formel auftretenden reducirten Längen proportional und können für diese gesetzt werden.

Um nun diejenigen Beobachtungen kennen zu lernen, aus welchen sich das Element $\frac{l}{A}$ mit der größten Sicherheit herholen läßt, wollen wir die Unsicherheit in den Zahlen S' und S'' durch s' und s'' bezeichnen, wo also s' und s'' Werthe vorstellen, die sich in jedem besondern Falle, nach dem, was weiter oben über die Unsicherheit in den Kraftbestimmungen vorgebracht worden ist, leicht bestimmen lassen; dann wird die Unsicherheit in den Quotienten $\frac{1}{S'}$ und $\frac{1}{S''}$

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S' + s'} \quad \text{und} \quad \frac{1}{S''} - \frac{1}{S'' + s''}.$$

Entwickeln wir nun $\frac{1}{S' + s'}$ und $\frac{1}{S'' + s''}$ in Reihen, die nach Potenzen von $\frac{s'}{S'}$ und $\frac{s''}{S''}$ fortlaufen, und vernachlässigen wir, ihrer Kleinheit halber, die zweiten und höheren Potenzen von $\frac{s'}{S'}$ und $\frac{s''}{S''}$, so finden wir für die Unsicherheit in den Quotienten $\frac{1}{S'}$ und $\frac{1}{S''}$ die Werthe $\frac{s'}{S'^2}$ und $\frac{s''}{S''^2}$; und da die in den einzelnen Zahlbestimmungen auftretenden Fehler eben so gut nach der einen, als nach der andern Seite vom wahren Werthe hinfallen können: so muß man als Grenze der Sicherheit bei Bestimmung der Differenz $\frac{1}{S'} - \frac{1}{S''}$ die Summe der in ihren einzelnen Gliedern möglichen Irrungen nehmen. Die Unsicherheit bei der Bestimmung des Werthes $\frac{1}{S'} - \frac{1}{S''}$ ist mithin

$$\frac{s'}{S'^2} + \frac{s''}{S''^2};$$

folglich ist die Unsicherheit bei der Bestimmung des Elements $\frac{l}{A}$, wenn diese Bestimmung in der angezeigten Art geschieht,

$$\frac{1}{m' - m''} \cdot \left(\frac{s'}{S'^2} + \frac{s''}{S''^2} \right).$$

Es bleibt nun nichts weiter zu thun übrig, als unter den Beobachtungen diejenigen herauszusuchen, bei welchen vorstehender Ausdruck seine kleinsten Werthe annimmt. Um dies durch ein Beispiel zu erläutern, wollen wir den Grad der Genauigkeit bestimmen, welchen man bei der Berechnung des zur Versuchsreihe I. gehörigen Elementes $\frac{l}{A}$ erwarten darf, je nachdem man es aus den beiden ersten, oder aus den beiden letzten, oder aus der ersten und letzten Beobachtung, wie sie in der ersten Verticalreihe stehen, herleitet. Im ersten Falle hat man $m' = 3$; $m'' = 1$; $S' = 29,1$; $S'' = 67,1$ $s' = \frac{2\nu}{33} \cdot \left(\frac{33}{6}\right)^3$; $s'' = \frac{2\nu}{33} \cdot \left(\frac{33}{4}\right)^3$; woraus man als Grenze des möglichen Fehlers bei der Bestimmung des Elementes $\frac{l}{A}$ findet die Zahl 0,00973. ν . Im andern Falle hat man $m' = 55$; $m'' = 33,5$; $S' = 2,02$; $S'' = 3,25$; $s' = \frac{2\nu}{33} \cdot \left(\frac{33}{19}\right)^3$; $s'' = \frac{2\nu}{33} \cdot \left(\frac{33}{16}\right)^3$; woraus man für den möglichen Fehler bei der Bestimmung des Elementes $\frac{l}{A}$ die Zahl 0,00486. ν erhält. Im dritten Falle hat man $m' = 55$; $m'' = 1$; $S' = 2,02$; $S'' = 67,1$; $s' = \frac{2\nu}{33} \cdot \left(\frac{33}{19}\right)^3$; $s'' = \frac{2\nu}{33} \cdot \left(\frac{33}{4}\right)^3$; woraus sich als möglicher Fehler bei der Bestimmung des Elementes $\frac{l}{A}$ die Zahl 0,00114. ν ergibt. Man sieht hieraus, daß man sich im zweiten Falle nur einem halb so großen, und im dritten Falle gar nur dem achten Theile des Fehlers aussetzt, dem man im ersten Falle unterworfen ist. Solche Rücksichten (die kleinlich scheinen mögen, aber es nicht sind, weil der Werth des ganzen zu bestimmenden Elements nur etwa 0,009 beträgt, und daher in einem Falle die Formel zu Angaben verleitet werden kann, die von den wahren Werthen um mehr als ihren vierten Theil abweichen, während im gut ge-

wählten kaum Unterschiede entstehen können, die den 32ten Theil der wahren Werthe erreichen) haben mich bewogen, den Werth von $\frac{l}{A}$ in allen drei Versuchsreihen immer nur aus der ersten und letzten Zahl in jeder Verticalreihe herzuholen. Dieser Bestimmung gemäß erhält man aus den beiden in der ersten Versuchsreihe vorhandenen Zahlenpaaren für $\frac{l}{A}$ die Werthe 0,00889 und 0,00919, deren Mittel 0,00904 ist. Eben so erhält man aus den 3 in der zweiten Versuchsreihe vorhandenen hierher gehörigen Zahlenpaaren für $\frac{l}{A}$ die Werthe 0,01699; 0,01704; 0,01769, deren Mittel 0,01724 ist. Endlich erhält man aus den beiden in der dritten Versuchsreihe vorhandenen Zahlenpaaren für $\frac{l}{A}$ die Werthe 0,02020 und 0,02108, deren Mittel 0,02064 ist. Die so gefundenen Mittel des Werthes $\frac{l}{A}$ für jede der 3 Versuchsreihen liegen den bald folgenden Berechnungen zum Grunde.

Noch grössere Vorsicht hat man bei der Bestimmung des Elementes $\frac{d}{A}$ zu beobachten, da dessen absoluter Werth in allen 3 Versuchsreihen noch beträchtlich geringer ist als der von $\frac{l}{A}$. Man kann das Element $\frac{d}{A}$ dadurch finden, daß man aus einer und derselben Horizontalreihe, in welcher m fortwährend einerlei Werth behält, zwei aus den Beobachtungen unmittelbar hergeleitete Kräfte herausholt, und mittelst derselben $\frac{d}{A}$ findet. Nennt man nämlich S' und S'' diese beiden bestimmten Werthe der Kräfte und $n' d$ und $n'' d$ die ihnen entsprechenden Vielfachen der einfachen Abstände, so ist wie vorhin

$$\frac{1}{S'} = m \frac{l}{A} + n' \frac{d}{A} \quad \text{und} \quad \frac{1}{S''} = m \frac{l}{A} + n'' \frac{d}{A}$$

woraus man findet

$$\frac{d}{A} = \frac{1}{n' - n''} \left(\frac{1}{s'} - \frac{1}{s''} \right);$$

und der mögliche Fehler bei dieser Bestimmung wird, ganz wie dort, hier

$$\frac{1}{n' - n''} \left(\frac{s'}{s'^2} + \frac{s''}{s''^2} \right)$$

gefunden, wenn s' und s'' ganz dieselbe Bedeutung wie dort behalten. Sucht man mit Hülfe dieses Ausdrucks die Stellen der Versuche auf, wo sich der Werth des Elementes $\frac{d}{A}$ mit der größten Sicherheit bestimmen läßt, so wird man finden, daß in jeder Horizontalreihe immer die erste mit der letzten Beobachtung zu diesem Zwecke verbunden werden muß, und daß dabei die ersten Horizontalreihen eine weit größere Sicherheit gewähren als die letzten. Deshwegen habe ich zu dieser Bestimmung immer nur die drei ersten Horizontalreihen zugelassen, und dem gemäß aus der ersten Versuchsreihe für $\frac{d}{A}$ die 3 Werthe 0,00129; 0,00113; 0,00091 erhalten, deren Mittel 0,00111 ist. Eben so ergeben sich aus der zweiten Versuchsreihe für $\frac{d}{A}$ die Werthe 0,00190; 0,00195; 0,00184, deren Mittel 0,00190 ist. Endlich ergeben sich aus der dritten Versuchsreihe für $\frac{d}{A}$ die Werthe 0,00236; 0,00197; 0,00218, deren Mittel 0,00217 ist*).

Mit den so erhaltenen Mittelwerthen von $\frac{l}{A}$ und $\frac{d}{A}$ habe ich nun die Kräfte berechnet, wie sie der Theorie zufolge aus obiger Formel sich ergeben, und um eine Vergleichung aller berechneten mit den beob-

*) Es ist bemerkenswerth, daß die größten Differenzen, sowohl hier, als bei der Bestimmung von $\frac{l}{A}$, einen Fehler in den beobachteten Zeiten von noch nicht $\frac{1}{10}$ Secunde voraussetzen.

achteten Werthen möglichst zu erleichtern, habe ich noch die den berechneten Kräften angehörigen Zeiten, welche sich auf die den Beobachtungen zu Grunde gelegte Periode von 4 Schwingungen beziehen, beigefügt. Diese Zeiten sind nach der Formel $N' = \frac{N}{\sqrt{1+s}}$, welche man aus der oben angeführten $s = \left(\frac{N}{N'}\right)^2 - 1$ ableitet, berechnet worden. Die Resultate meiner Rechnung habe ich in folgenden Tafeln, welche den vorigen analog gebildet sind, zusammengestellt:

I. Zink-Kupfer.

Abstände		2 d.		12 d.		27 d.	
Drahtlängen		Kräfte	Zeiten	Kräfte	Zeiten	Kräfte	Zeiten
1	l.	88,81	8,48	44,72	4,88	25,63	6,40
3	l.	34,08	5,57	-	-	17,52	7,67
5	l.	21,09	7,02	17,09	7,76	13,30	8,73
11	l.	9,84	10,03	8,87	10,51	7,73	11,15
23,5	l.	4,66	13,87	-	-	4,13	14,54
33,5	l.	3,28	15,94	-	-	3,00	16,50
55	l.	2,00	19,08	-	-	1,90	19,41

II. Zink-Zinn.

Abstände		2 d.		14 d.		27 d.	
Drahtlängen		Kräfte	Zeiten	Kräfte	Zeiten	Kräfte	Zeiten
1	l.	47,53	4,73	22,81	6,76	14,59	8,35
2	l.	26,12	6,33	16,37	7,91	11,66	9,27
3	l.	18,01	7,57	12,77	8,89	9,71	10,09
5	l.	11,11	9,48	8,87	10,51	-	-
11	l.	5,17	13,31	4,62	13,92	4,15	14,54
23,5	l.	2,45	17,74	2,32	18,13	2,19	18,44
33,5	l.	1,72	20,00	1,66	20,25	1,59	20,50
55	l.	1,05	23,08	1,03	23,16	1,00	23,40

III. Zinn-Kupfer.

Abstände		2 d.		6 d.		14 d.		19 d.		27 d.	
Drahtlängen		Kräfte	Zeiten	Kräfte	Zeiten	Kräfte	Zeiten	Kräfte	Zeiten	Kräfte	Zeiten
1	1.	40,03	5,15	29,71	5,96	19,60	7,27	16,16	7,88	12,62	8,92
2	1.	21,92	6,89	-	-	-	-	-	-	10,01	9,94
3	1.	15,09	8,23	-	-	10,83	9,59	-	-	8,30	10,82
5	1.	9,30	10,28	-	-	-	-	-	-	6,18	12,31
11	1.	4,32	14,29	-	-	-	-	-	-	-	-
23,5	1.	2,04	18,97	-	-	-	-	-	-	-	-
33,5	1.	1,44	21,15	-	-	-	-	-	-	-	-
55	1.	0,88	24,09	-	-	-	-	-	-	0,84	24,26

Vergleicht man die hier aus der Formel erhaltenen Kräfte mit den aus der Beobachtung abgeleiteten, so stößt man auf Abweichungen, die bis zu einem Drittheile der ganzen Kraft ansteigen und an einer Stelle 22 mal die ganze Erdwirkung in sich fassen. Unterschiede von solcher Stärke sind ganz geeignet selbst den muthigsten Rechner sehen zu machen, und ich zweifele keinen Augenblick, das wenn ich ihnen bei meinen ersten prüfenden Versuchen begegnet wäre, sie mein Vertrauen auf die Theorie gar sehr vermindert hätten. Gleichwohl sind sie, beim Lichte betrachtet, durchaus von keiner Erheblichkeit. Sie sind eine *nothwendige* Folge der von *Fechner* eingeführten Beobachtungsweise, und haben ihren Ursprung hauptsächlich in der oben nachgewiesenen ungleichen Sicherheit, womit sich die Kräfte aus den unmittelbaren Daten der Beobachtung je nach den verschiedenen Stellen einer jeden Versuchsreihe ermitteln lassen. In der That zeigt eine genaue Untersuchung derselben, das ihre Größe mit jener in der Natur der Beobachtungsweise selbst gegründeten ungleichen Sicherheit in der Kraftbestimmung einerlei Schritt hält, und nirgends den

aus dem unvermeidlichen Beobachtungsfehler hervorgehenden Irrthum beträchlich übersteigt. Von der Wahrheit dieser Behauptung kann man sich am leichtesten dadurch überzeugen, daß man die zu den berechneten Kräften gehörigen Zeiten in den letzten 3 Tafeln mit den wirklich beobachteten Zeiten der ersten 3 Tafeln vergleicht. Man stößt bei dieser Vergleichung nirgends auf Differenzen, die eine ganze Zeiteinheit betragen, vielmehr ist, eine einzige Beobachtung ausgenommen, ohngefähr eine halbe Zeiteinheit als äußerste Grenze aller Differenzen zwischen der Rechnung und der Beobachtung festzusetzen. Da nun die Zeiteinheit $\frac{3}{4}$ Secunden, also die halbe Zeiteinheit $\frac{3}{8}$ Secunden, oder in runder Zahl $\frac{1}{2}$ Secunden beträgt: so setzen mithin alle jene Differenzen im äußersten Falle einen Fehler von $\frac{1}{2}$ Secunden in der Zeitbestimmung voraus, der noch dazu über den Anfang und das Ende einer jeden beobachteten Zeit zu vertheilen wäre. Dieser anzunehmende Irrthum in den unmittelbar beobachteten Zeiten ist jedenfalls so geringe, daß er bloß für die Richtigkeit der Formel sprechen kann, zumal wenn man erwägt, daß in zwei Versuchsreihen das Hauptelement der Formel bloß als Mittel von zwei Werthen erhalten worden ist, und daß zur Wahl dieser Werthe bloß allgemeine, aus der Natur der Sache hergeholte Rücksichten geführt haben, wodurch es zufälligen und örtlichen Anhäufungen von Fehlern gar nicht schwer gemacht worden ist, in ihrer ganzen Stärke sich zu zeigen.

So gering indessen jene Differenzen zwischen der Theorie und der Erfahrung an und für sich seyn mögen, so zeigt doch eben unsere Rechnung besser als es

auf irgend eine andere Weise geschehen könnte, daß man bei *Fechner* einen Beobachtungsfehler von jener Größe im Allgemeinen nicht zu suchen habe, und daß durch jene Differenzen, wie klein sie auch sind, eine Abweichung der Theorie von den Beobachtungen mit Bestimmtheit nachgewiesen werde. Verweilt man nämlich bei der Vergleichung der beiderlei Tafeln etwas länger und untersucht ihre Verschiedenheit genauer, so wird man bald finden, daß alle Differenzen von einiger Bedeutung vorzugsweise nur in den obern Horizontalreihen auftreten, und dort ohne eine einzige Ausnahme immer nur nach einer Seite hin fallen. Dieser Umstand ist um so auffallender, da zur Bestimmung des Elements $\frac{l}{A}$ die erste und letzte Horizontalreihe in gleichem Maasse zugezogen, und das Element $\frac{d}{A}$ immer bloß aus den 3 ersten Horizontalreihen hergeholt worden ist, so daß der Formel weit mehr Gelegenheit gegeben worden ist, sich den Beobachtungen der obern Horizontalreihen, als denen der untern anzuschmiegen. Dieser letztere Umstand und die auffallende Einstimmigkeit, womit die Differenzen immer nur nach einer Seite hin zeigen, brachten mich auf die Vermuthung, daß hier irgend eine gesetzmäßige Störung im Spiele seyn müsse, und die Bemerkung, daß die Differenzen bloß in den obern Reihen beträchtlich und allgemein werden, und um so größer, je mehr man sich der ersten Horizontalreihe nähert, führten mich auf den Gedanken, daß wohl ein durch das Wogen veranlaßtes Sinken der Kraft schon während der kurzen Zeit von 4 Schwingungen die vorzüglichste Ursache jener Differenzen seyn dürfte. Diese Vermuthung wird durch ein fortgesetztes Nachdenken bis zur Gewißheit erho-

ben. In der That haben wir oben bereits aus den von *Fechner* über das Wogen der Kraft angestellten Versuchen entnommen, wie unter Umständen die zu den 4 ersten Schwingungen erforderliche Zeit, voraussetzt das sie ohne allen Fehler beobachtet worden wäre, um 0,2 Einheiten gröfser werden kann, als diejenige seyn würde, welche sich ergäbe, wenn kein Wogen der Kraft Statt fände, d. h. wenn die Kraft während der 4 ersten Schwingungen ihre im ersten Momente der Schliessung vorhandene Stärke ungeändert beibehielte; und wie jener Unterschied zu 0,4 und 0,6 Einheiten anwachsen kann, wenn, statt der zur ersten Schwingungsperiode gehörigen Zeit, ein Mittel aus den Zeiten genommen wird, die zu zwei oder drei auf einander folgenden Schwingungsperioden gehören. Zwar hat zu den dortigen Versuchen Brunnenwasser als leitende Flüssigkeit gedient, hier salzsaures Wasser, und in diesem ist, nach *Fechner's* Angabe, das Wogen viel geringer, als in jenem; allein auf der andern Seite ist auch nicht zu übersehen, das hier ungleich stärkere Kräfte als dort ins Spiel gekommen sind, wodurch leicht jener Unterschied mehr als aufgehoben werden kann. *Fechner* selber drückt sich in Bezug auf den hier angeregten Punct (a. a. O. S. 554.) so aus: „Zum Mafse wurde blos die zu den ersten vier Oscillationen erforderliche Anzahl Zeittheile (Zeiteinheiten) genommen (einige jedoch aus der doppelten Anzahl hergeleitet), wiewohl ich mich später überzeugt habe, das ich, ohne Nachtheil für den merklichen Isochronismus 8 bis 12, oder bei den stärksten Kräften selbst mehr Oscillationen hätte zum Mafse anwenden können.“ Man ersieht aus diesen Worten, das in

Fechner's Versuchen, und zwar (wie die Note auf derselben Seite zu erkennen giebt) gerade bei den stärksten Kräften, jene doppelte Ursache zu kleinen Abweichungen von dem wahren Werthe der Zeiten, wie sie der im ersten Momente der Schließung eintretenden Kraft angehören, vorhanden waren; denn der Ausdruck „merklicher Isochronismus“ ist im Sinne *Fechner's* unstreitig so zu nehmen, daß die aus 2 oder 3 auf einander folgenden Schwingungsperioden abgeleiteten Mittelzeiten von der ersten beobachteten Zeit nicht mehr abweichen, als diese Zeit von sich selber, wenn sie zu wiederholten Malen aufgesucht wird. Dies wird aber selbst dann noch der Fall seyn, wenn gleich ein Sinken der Kraft von Periode zu Periode unverkennbar ist. So waren in den oben angeführten Versuchen die drei ersten auf einander folgenden Zeiten unter der Rubrik *A* 10,5; 11, 11; und als Mittel aus den beiden ersten hätte man 10,75, als Mittel aus allen dreien aber 10,8 gefunden, welche beiden Werthe von der ersten Zeit 10,5 so wenig verschieden sind, daß sicher eben so große und wohl noch größere Differenzen bei mehrmaliger Beobachtung der ersten Zeit gefunden werden, und doch stellt sich aus den dortigen Versuchen ein Sinken der Kraft mit großer Sicherheit heraus. Obgleich nun die beiden hier angeregten Anlässe zu kleinen Unrichtigkeiten an sich unbedeutend sind und in der Regel nur zu Abweichungen führen, die innerhalb des eigentlichen Beobachtungsfehlers liegen, so haben sie doch auf die Genauigkeit der Zahlbestimmungen, namentlich da, wo Mittel aus mehreren Beobachtungen genommen werden, einen nicht unerheblichen Einfluss. Der eigentliche, beim Auffassen

des Anfangs und des Endes einer jeden Periode gemachte, Beobachtungfehler kann nämlich zwischen den ihm angewiesenen Grenzen jeden Werth annehmen und bald auf die eine, bald auf die andere Seite der Wahrheit fallen, wesswegen man hoffen darf, durch vielfache Beobachtungen derselben Art ihn fast beliebig verringern zu können; die beiden hier angeregten Anlässe zu Unrichtigkeiten hingegen wirken jedesmal in gleicher Art und Stärke ein, und treiben das Resultat immer nur nach der einen Seite hin, so daß ein Mittel aus vielen Beobachtungen sie nicht nur vertreiben, sondern nur um so vollständiger anzeigen wird. Da diese letztern Anlässe zu geringen Abweichungen der Resultate des Versuches von den theoretischen Bestimmungen beide sich dahin vereinigen, die beobachteten Zeiten etwas zu groß, und darum auch die daraus abgeleiteten Kräfte zu klein zu geben, so sind sie ganz geeignet, alle jene einstimmigen und auffallenden Besonderheiten, die wir an den Differenzen zwischen den beiderlei Tafeln wahrgenommen haben, vollständig zu erklären, und dann folgt, daß die an sich geringen Abweichungen der berechneten von den beobachteten Zahlen, weit entfernt die Theorie zu beeinträchtigen, vielmehr nur dazu dienen, die Zuverlässigkeit der theoretischen Bestimmungen ins volle Licht zu setzen.

Es läßt sich aus den bisherigen Betrachtungen der für die Experimentirkunst nicht unwichtige Schluß ziehen, daß die Resultate der nach *Fechner's* Methode angestellten Versuche mit einer in solchen Dingen beispiellosen Schärfe der Formel sich anschmiegen werden, wenn man entweder so hohe Kräfte, bei wel-

chen die Dauer von je 4 auf einander folgenden Schwingungen sich merklich ändert, gar nicht zuläßt, oder im Falle man sie beibehalten will, die Dauer von 7 bis 8 auf einander folgenden Schwingungsperioden einzeln bestimmt, in einer Weise, wie oben bei den Versuchen über das Wogen der Kraft geschehen ist, um so die Stärke der Aenderungen in den successiven Zeiten approximativ kennen zu lernen, und dem gemäß an der ersten beobachteten Zeit die erforderliche Correction anbringen zu können.

In diesem Aufsätze habe ich mich lediglich auf die Erörterung derjenigen Versuche *Fechner's* beschränkt, welche sich auf die Wirkung der Kette im ersten Moment ihrer Schließung beziehen. Diese liegen mir zunächst am Herzen, weil sie gleichsam den Schlufsstein dessen ausmachen, was ich in meiner Schrift, nach vorangegangenem gewissenhaften Suchen und Prüfen, aber darum auch in der Sprache voller Ueberzeugung und unerschütterlicher Festigkeit, als lautere Wahrheit hingegeben habe; bis hierher habe ich gewissermaßen mein moralisches Vermögen als Bürgschaft eingesetzt. Was die spätern Wirkungsperioden einer hydroelektrischen Kette anlangt, so habe ich seither freilich keine Gelegenheit gefunden, meine Kenntniß über sie zu bereichern; jedoch darf ich sagen, daß auch in diesem Felde wir beide, *Fechner* und ich, völlig einerlei Dinge wahrgenommen haben, und daß, wenn wir in einigen Puncten von einander abzuweichen scheinen, diese Verschiedenheit nicht sowohl in den Resultaten der Versuche, als in der Art ihrer Zerlegung zu suchen sey. Da gerade diese Verschiedenheit der Ansichten

auf den rechten Weg führen könnte, so werde ich bei einer nächsten Gelegenheit meine Meinung mit ihren Gründen ausführlicher mittheilen.

2. Notiz über eine durch die Elektrizität erzeugte
physiologische Erscheinung,

vom

Prof. *Marianini* zu Venedig*).

In meiner Abhandlung über den Schlag, welchen die Frösche in demselben Moment erleiden, wo sie aufhören den Schließungsbogen zwischen den Polen eines Elektromotors zu bilden**), habe ich den Unterschied kennen gelehrt, welcher Statt findet zwischen den Zuckungen, die durch unmittelbare Einwirkung der Elektrizität auf die Muskeln entstehen, und die ich *idiopathische Zuckungen* genannt habe, und jenen, die von der Einwirkung herrühren, welche die Elektrizität selbst auf die den Bewegungen der Muskeln vorstehenden Nerven ausübt, die ich *sympathische Zuckungen* genannt habe***). Dieser Unterschied besteht darin, daß die idiopathischen Zuckungen jederzeit Statt finden, die Richtung, in welcher der Strom die Muskeln durchläuft, sey welche sie wolle, während die sympathischen Zuckungen blos dann eintreten, wenn der die Nerven durchlaufende Strom in der Richtung ihrer Verzweigungen fortgeleitet wird.

*) Aus der *Bibl. univ.* T. XLII. S. 87—91 übersetzt vom Herausgeber.

**) *Ann. de Chim. et de Phys.* XL. 225 ff. u. *Bibl. univ.* XLII. 166 ff. oder *Jahrb.* 1829. II. 227 ff. u. 321 ff.

***) *Jahrb. a. a. O.* S. 329.



Datum
8.5.2006

HINWEIS

University of Applied Sciences

Quelle: Journal für Chemie und Physik

Dieser Aufsatz wurde an der Hochschulbibliothek der Fachhochschule Nürnberg mit einer Auflösung von 300 dpi eingescannt. Das Original des Zeitschriftenbandes stammt aus der Universitätsbibliothek Erlangen-Nürnberg. Signatur: CHM-I, 125

This article was scanned at the University of Applied Sciences Library Nuremberg (resolution: 300 dpi). The journal is part of the collection of the Library of the University Erlangen-Nürnberg. Shelf number: CHM-I 125

<http://www.fh-nuernberg.de/bibliothek>

Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule
Hochschulbibliothek
Keßlerplatz 12
90489 Nürnberg