Akustische Studien am Klavier

von

E. Kayser.

I. Abtheilung.

Mit einer Tafel.

Zwei Töne mit gleicher Schwingungszahl interferiren; die Resultante dieser Interferenzen bleibt stetig dieselbe und die Verstärkung oder Schwächung des Tones dauert gleich fort, da zu demselben Orte (Ohr) stets die gleich geschwinden Wellen mit constantem Phasenunterschied gelangen. Anders verhält es sich mit Tönen, denen verschiedene Schwingungszahl entspricht; diese Schwingungen werden bald gleich gerichtet bald entgegengesetzt vor sich gehen, und das Ohr wird empfangen Verstärkungen und Schwächungen des Tones in gewissem Tempo, abhängig von dem Unterschiede der Tonhöhen und zwar um so schneller, je weiter die Töne auseinander liegen und um so langsamer im entgegengesetzen Falle. Diese Abwechselungen in der Intensität bei Tönen, die nahezu gleiche Stimmung haben, heissen bekanntlich Stösse oder Schwebungen und sind sowohl zur reinen Stimmung zweier Töne wie auch zur Bestimmung der absoluten Schwingungszahl angewendet worden, da gesetzmässig in derselben Zeit, in welcher durch das Zusammenkommen der Schwingungen ein Stoss entsteht, der höhere Ton eine ganze Schwingung* mehr vollführt. Scheibler vorzugsweise führte in die Praxis eine Anzahl von Stimmgabeln zur Abstimmung der ganzen chromatischen Tonleiter ein, welche durch eine Reihe von Zwischengabeln, deren Töne zwischen je zweien der Tonleiter lagen, mittelst der genau nach der Zeit erfolgenden Stösse abgestimmt waren. In neuester Zeit werden derartige aus einer Anzahl genau gestimmter Gabeln bestehenden Stimmapparate von dem Akustiker König in Paris geliefert. Der Verfasser, als Dilettant der Musik öfter mit dem Gegenstande der Abstimmung seines Klavieres beschäftigt, ist zu recht guten Resultaten gekommen mittelst Apparates, dessen Herstellung keine besonderen Schwierigkeiten und Kosten verursacht. Obgleich nun die folgende Abhandlung eigentlich practischer Natur zu sein scheint,

*) Von ganzen Schwingungen soll allein in dieser Arbeit die Rede sein, also von solchen, denen eine verdichtete und verdünnte Welle entspricht.

so ist sie dennoch zur Oeffentlichkeit gebracht worden, da an den zu behandelnden Gegenstand verschiedene der akustischen Wissenschaft gehörende Discussionen angeknüpft sind, wodurch zugleich dem Klavier eine Stelle in den wissenschaftlichen Apparat für das beschränktere Monochord eingeräumt wird.

Das Princip, welches mir zur Untersuchung zweier Saitentöne Hinsichts ihres Intervalles verhilft, ist bekannt, es besteht darin, dass die höhere Saite durch entsprechende Beschwerung zur Uebereinstimmung mit der tieferen gebracht werden kann. Ist die Congruenz nicht vollständig erreicht, so wird die Beurtheilung der Stösse das zweckmässige Mittel sein, den Unterschied in der Tonhöhe zu bemessen. Die grossen Mathematiker Joh. Bernoulli und Lagrange führten in die Theorie der Saiten die Vorstellung eines durch getrennte Gewichte belasteten an und für sich gewichtlosen Fadens ein, sie erhielten den Fall einer gewöhlichen Saite, wenn die Zahl der gleichen und gleich weit entfernten Gewichte unendlich gross angenommen wurde. Hiervon unterscheidet sich die Vorstellung, die schwere Saite durch eines oder einzelne Gewichte in ihren Schwingungen zu modificiren; es ist dieser Fall schon von Duhamel abgehandelt worden, und man hat in der Praxis namentlich bei Stimmgabeln Anwendung gemacht und sie vermöge eines belastenden Schiebers auf eine beliebige Tonhöhe gebracht. Bei Saiten scheint dieses Mittel nicht weiter verwendet worden zu sein.

Ich bediene mich gewisser meist von Messing construirter, gebogener Drähte, welche auf die Saite wie Reiter aufgesetzt werden und durch Federkraft festsitzen. Es ist Hauptbedingung, dass ein solcher Reiter seine Stellung unverändert bewahrt, während die Saite schwingt, und versehe ich zu diesem Behufe diese Reiter genau in der Mitte mit einer schwachen Einkerbung, in welcher die Saite zu liegen kommt, wodurch das Verschieben oder Abspringen verhindert wird. Die Gestalt ist in Fig. 1 dargestellt worden. Aus Erfahrung kann ich bemerken, dass die Ortsveränderung auf der Länge der Saite durch die Tonerschütterung nicht zu besorgen ist, wenn das Instrumentchen gut federt. Damit das Aufsetzen und Abziehen, wenn es gewaltsam geschieht, die Saite nicht etwa in der Tonhöhe ändert, biege ich unterhalb der Saite mittelst eines passenden Messers die Enden des federnden Reiters auf. Oft genug habe ich auf derselben Saite diese Manipulation des Aufsetzens und Abziehens besorgt, ohne wenigstens eine ins Gewicht fallende Veränderung der Tonhöhe beobachtet zu haben. Auch scheint die Temperaturveränderung durch die Nähe der Hand auf Reiter und Saite auf die Tonhöhenänderung nicht von Belang zu sein. Eingehendere Untersuchungen letzterer Art habe ich bis jetzt nicht ausgeführt.

Das Verfahren mit diesen Apparaten die Gleichheit der Töne zu beurtheilen, resp. die Abweichung zu finden, kann in zwiefacher Weise vorgenommen werden, entweder bloss durch den Versuch, oder mit Zuhülfenahme mathematischer Rechnung, die die Auflösung der Aufgabe geben soll, das Gewicht und den Ort der Belastung nach dem Gewichte der Saite für eine bestimmte Tonintervallvertiefung festzustellen. In dem Falle, wo die Saite, wie beim Klavier, nicht speziell abgewogen werden kann, ausser wenn sie entfernt wird, tritt die Abmessung der Dicke der Saite hinzu, oder besser noch kommt man, wie gezeigt werden wird, auf indirecten Wege zum Resultate. Zur Ermittelung der Anzahl Stösse, welche in bestimmter Zeit vor sich gehen, habe ich ein Taschenchronometer benutzt, das in einer Minute 150 Schläge macht und die Ablesung bis 75 gewährt. Es ist dieses der handlichste Apparat, den man nur von Zeit zu Zeit zur Ablesung anzusehen braucht, inzwischen aber bei der Zählung der Stösse, die in der Intensität abnehmen, nicht gestört wird. Die betreffenden Saiten wurden ferner durch ein Hölzchen zur Tonabgabe gezupft, nachdem die etwa gleichtönenden durch Zwischenschaltung bekannter Art stumm gemacht und durch Einschub von Holzkeilen zwischen die heruntergedrückten Tasten die bezüglichen Saiten von den Dämpfungen befreit waren.

Um zu untersuchen, ob zwei gleichlange Saiten des Klavieres, die demselben Ton entsprechen, gleichstimmen oder nicht, setze man einen Reiter auf eine der Saiten und zählt die Stösse während einer bestimmten Zeit so lange als möglich, setze dann den Reiter auf die zweite Saite in derselben Distanz vom Ende, wie erst, und verfahre ebenso. (Ueber die Wirkung der Verschiebung des Reiters längs der Saite wird weiter unten die Rede sein). Ist kein Unterschied im Tempo der Stösse in beiden Fällen wahrzunehmen, so stimmen die Saiten gleich, im entgegengesetzten Falle ist die halbe Differenz der Stösse während einer Secunde der Unterschied der Schwingungszahlen beider Saiten und zwar ist die Saite die tiefere, welche mit dem Reiter belastet die grössere Zahl der Stösse ergiebt. In diesem Verfahren ist, wie es gewöhnlich beim Klavier der Fall sein dürfte, vorausgesetzt, dass die Saiten desselben Chores gleiche Dicke (auch Dichtigkeit) haben. Sollte die eine dicker sein, so würde eine von der Dicke abhängige Correction hinzutreten müssen. Indessen macht man sich von dieser Bestimmung frei, wenn man lieber eine dritte Saite durch passende Belastung in Vergleich mit jenen beiden zieht; der Unterschied der Stösse während einer Secunde ist der Unterschied der Schwingungen. Combinirt man beide Verfahren, so erhält man auch einen Schluss auf die Dickenverschiedenheit beider zu untersuchenden Saiten, vorausgesetzt, dass wir es mit dem einfachsten Falle nämlich mit cylindrischen Saiten zu thun haben. Zur Verdeutlichung des Verfahrens und um die in Betracht kommenden absoluten Grössen zu zeigen, folgen hier einige Beispiele.

Zwei Saiten des Tones ais (kleine Octave), die wir der Unterscheidung wegen durch 1 und 2 bezeichnen, machten durch wechselseitiges Aufsetzen desselben kleinen Reiters Stösse, die am Taschenchronometer nach der Eintheilung in 75^p ($75^p = 60^s$ Secunden) beobachtet wurden. Der Kürze halber soll 1 $\overline{2}$ die Combination der Schwingungen der beiden Saiten vorstellen, von welchen die unterstrichene also 1 die beschwerte ist. Je dreimal wurden die Beobachtungen angestellt und folgende Zahlen gewonnen:

	Chron			
ais $\underline{1}$ 2	$72^p.7$	$0^p.8$	$45^p.5$	
	36 .4	39 .9	9 .4	
diff.	36 .3	35 .9	36 .1	
	Mittel $36^p.10$			53 Stösse.
	In 1^p	1.468 St.		
ais 1 $\underline{2}$	$48^p.4$	$50^p.6$	$47^p.3$	
	10 .8	12 .8	10 .0	
diff.	37 .6	37 .8	37 .3	

	Mittel 37p.57		43 Stösse.
In 1p	1.145 St.		

Ausserdem ergab die Vergleichung der unbeschwerten Saiten 1 und 2 mit einer dritten Saite eines höheren Tons d¹ (eingestrichene Octave), welche ein bedeutend stärkeres Gewicht erhielt, folgende Werthe:

		Chron.		
d' ais 1	35p.4	58p.8	53p.5	
	8 .0	31 .8	27 .0	
diff.	27 .4	27 .0	26 .5	
		Mittel 26p.97		53 Stösse.
	In 1p	1.965 St.		
d' ais 2	6p.7	11p.4	73p.8	
	57 .0	61 .0	48 .7	
diff.	24 .7	25 .4	25 .1	
		Mittel 25p.07		54 Stösse.
	In 1p	2.154 St.		

In Bezug auf die letzten Beobachtungen muss noch unterschieden werden, ob der zum Vergleich genommene Ton d' höher oder tiefer als die Saiten ais 1 und 2 stimmt. Das Gehör würde bei derartigen Fragen nicht ausreichen. Das ist aber bei dieser und den ferner anzugebenden Methoden der Vorzug, dass auch das unmusikalische Ohr über diese Schwierigkeit hinauskommt, wenn es die Aenderung der Anzahl der Stösse durch die Verschiebung des Reiters nach der Zeit richtig bemisst. In unserm Falle war der Hülfston tiefer als jene Töne 1 und 2, da ein Verschieben nach dem Ende der Saite zu weniger Stösse hören liess. Denn der Ton der beschwerten Saite wird immer mehr erhöht werden, je weiter man von der Mitte weg belastet, und umgekehrt vertieft, je mehr nach der Mitte zu das Gewicht wirkt.

Als Resultat der ersten Beobachtungsart gewinnt man:

ais <u>1</u> 2	1.468 St.
ais 1 <u>2</u>	1.145 St.
½ diff. =	0.162 St.

oder in einer Secunde (× 5/4) 0.202 Stösse; daher Saite 1 um 0.202 Schwingungen tiefer als Saite 2.

Die zweite Beobachtung ergiebt als Differenz zwischen d' 1 ais 2 und d' ais 1

$$2.154 - 1.965 = 0.189 \text{ St.}$$

oder 0.236 Stösse in einer Secunde, also Saite 1 um 0.236 Schwingungen tiefer als 2.

Die beiden unabhängig von einander gemachten Bestimmungen 0.202 und 0.236 stimmen ziemlich nahe überein, so dass die beim ersten Verfahren angenommene Voraussetzung der Gleichheit der Saitenstärken wohl bestätigt wird. Das Nachmessen mit einem feinen Dickenmesser ergab übrigens keine Abweichung.

Ich schalte hier die Bemerkung ein, dass derartige Bestimmungen an sehr nahe übereinstimmenden Saiten öfter von mir vorgenommen wurden, um zugleich das Gehör zu prüfen, wie weit es noch im Stande ist zu unterscheiden, welche von zwei Saiten die höhere oder die tiefere ist. Mit dem oben erwähnten Apparat wird man für die Physiologie wichtiges Material erhalten. Ich werde auf diesen Gegenstand nicht näher eingehen, füge indess noch zu, dass mein Gehör bei dem oben discutirten Unterschiede von 0.2 Schwingungen ganz ohne Mühe vorher richtig urtheilte, dass Saite 1 die tiefere war. Unterschiede von 0.1 Schwingungen in dieser Tonlage, welche etwa 236 Schwingungen entspricht, konnte ich mit Sicherheit nicht mehr schätzen.

An dem dis Tone wurden einige Beobachtungen durch Aufsatz eines Klötzchens gewonnen. Die Aufsatzstellen waren die Mitten der Saiten 1 und 2. Alsdann ergab sich:

dis	$\underline{1}$ 2	$35^p.2$	21 Stösse.	1^p	0.597 St.
	1 $\underline{2}$	30.25	28.75 Stösse.	1^p	0.950 St.

1^p 0.176 St. oder 1^s 0.220 St. Saite 2 tiefer.

Verschob ich den Holzaufsatz von der Mitte, welche der Hälfte der Saite $= 525^{mm}$ entspricht, um 136^{mm}, so erhielt ich durch Vergleich:

dis	$\underline{1}$ 2	$31^p.5$	15 Stösse.	1^p	0.476 St.
	1 $\underline{2}$	36 .75	29.5 Stösse.	1^p	0.803 St.

1^p 0.163 St. oder 1^s 0.205 St. Saite 2 tiefer.

Es verdient bemerkt zu werden, dass wenn man auf dem Zwischenraum zwischen der Kante eines am besten aus Ebenholz bestehenden würfelförmigen Klötzchens und der nächst liegenden Saite (siehe Fig. 2) das Auge richtet, während die Saiten schwingen, man objectiv das Phänomen der Stösse vorzüglich sehen kann. Dieser Versuch die Stösse sichtbar zu machen, möchte wohl als einfachster vor sonst bekannten, welche die objective Natur der Stösse gegenüber einer subjectiven Auffassung des Ohres darzuthun den Zweck haben, zu empfehlen sein.

Die Stimmung jener dis Saiten hat sich übrigens längere Zeit unverändert erhalten. Nach mehr als 8 Tagen erhielt ich mittelst eines Ebenholzklötzchens die Beobachtungen:

dis	$\underline{1}$ 2	$25^p.32$	37.2 St.	1^p	2.938 St.
	1 $\underline{2}$	29 .06	47.6 St.	1^p	3.276 St.

1^p 0.169 St. oder 1^s 0.211 St. Saite 2 tiefer.

Die beschwerte Stelle der Saiten war wie bei der folgenden Beobachtung die Mitte; letztere wurden aber durch einen Messingaufsatz erhalten:

dis	$\underline{1}$ 2	$32^p.6$	45.6 St.	1^p	1.399 St.
	1 $\underline{2}$	30 .883	53.333 St.	1^p	1.727 St.

1^p 0.164 St. oder 1^s 0.205 St. Saite 2 tiefer.

Ein anderer Versuch mittelst des Ebenholzreiters lässt die continuirliche Abnahme der Stösse erkennen, wenn der Reiter von der Mitte der Saite nach dem Ende zu verschoben wird. Es wurde stets die Saite 1 des dis Tones beschwert und mit Saite 2 verglichen. Die Aufsatzstellen sind nach Millimetern angegeben, vom Ende der 1051^{mm} langen Saite gerechnet. Die beigesetzten Zahlen bedeuten zugleich die Abschnitte der Saite, um welche letztere verkürzt die Töne der Skala abwärts von der Octave aus geben würde.

				I. in 1p St.	I in 1p St.	Mittel	St.
526mm =	dis¹	p	St.	2.938	2.916	2.927	3.093
461	cis¹	27.94	79.2	2.835	2.819	2.827	2.993
426	c¹	28.75	78	2.713	2.687	2.700	2 866
389	h	27.88	69.8	2.504	2.472	2.488	2.654
350	ais	28.7	64	2.230	2.185	2.208	2.374
308	a	27.143	49.857	1.837	1.822	1.830	1.996
264	gis	28.74	42.	1.461	1.440	1.450	1.616
217	g	35.217	35.667	1.013	1.000	1.007	1.173
167	fis	32.3	18.8	0.582	0.568	0.575	0.741
115	f	40.33	9	0.223	0.216	0.220	0 386
0	dis					—0.166	0.000

Die in Columne II mitgetheilten Zahlen wurden bei einer anderen Gelegenheit gefunden, daher ist in der folgenden Columne das Mittel aus I und II zugefügt worden. Die letzte Zahl — 0.166 St. stellt den Mittelwerth aus den vorhin gegeben beiden Beispielen dar und sagt vermöge des vorgesetzten Minuszeichens aus, dass die beschwerte Saite die höhere der beiden verglichenen Saiten war. Wird nun, worauf es schliesslich ankommt, ein gleicher Schwingungszustand der beiden Saiten beim Ausgange vorausgesetzt, so muss von den mitgetheilten Zahlen die Differenz — 0.166 abgezogen werden. Die so reducirten Grössen sind in der letzten Reihe angegeben. Mit ihnen als Ordinaten und den Zahlen der allerersten Columne, welche die Beschwerungsstelle auf der Saite bezeichnen als zugehörigen Abscissen ist die in Fig. 3. mitgetheilte Curve für den Tonabfall construirt worden.

Von vielen Beobachtungen, die ich durch Vergleichung dreier gleich dicken und gleich langen demselben Tone angehörigen Saiten erhalten habe, wenn sie in der Mitte beschwert werden, führe ich folgende an:

dis	1 2	36p.40	98 St.	2.692 St.	II = I — 0.107	I = III — 0.035
	2 2	39 .23	114	2.906		
	2 3	34 .83	104	2.986	II = III — 0.177	
	3	28 .86	76	2.633		
	3	32 .00	88	2.750	I = III — 0.044	
	3	31 .01	88	2.838		

Schon zwei Paar dieser Beobachtungen ergeben den Unterschied der Schwingungen oder Stösse zwischen je zwei Saiten, man ersieht ihn aus den aufgeführten drei Gleichungen, worin die Römischen Zahlen die Schwingungen der entsprechenden Saiten bezeichnen. Da aber alle Combinationen der Vergleiche beobachtet sind, so erhält man zugleich Controlle. Eine solche ist z. B. die aus den ersten beiden Gleichungen geschlossene, schliesslich beigefügte Relation:

$$I = III - 0.035$$

welche wenig differirt von der Bestimmung:

$$I = III - 0.044$$

Die Reduction der gefundenen Zahlen auf die Zeitsecunde ist in bekannter Weise durch Multiplication mit $^5/_4$ noch auszuführen.

Betrachten wir jetzt die specielle Aufgabe, zwei Saiten unter sich rein zu stimmen, wenn weiter keine Saite zu Hülfe genommen werden soll, vorausgesetzt, dass die Saiten gleich lang und gleich dick sind. Man setze einen Reiter auf eine solche Stelle der einen Saite, dass der Rythmus der Stösse nach dem

Chronometer erfolgen muss, nun sehe man zu, ob dieser Tact auch derselbe bleibt, wenn an der betreffenden gleichen Stelle der zweiten Saite aufgesetzt wird; durch Hin- und Herschieben des Reiters wird man den Tact wieder erhalten; jetzt bringe man den Reiter auf die Mitte der beiden vorher ermittelten Aufsatzstellen der einen Saite und stimme die andere so weit vor oder zurück, bis wieder die Stösse mit den Uhrschlägen übereinstimmen. Dies Verfahren ist ein approximatives, da die Verschiebung des Reiters und die Veränderung des Tempo der Stösse nicht proportional vor sich gehen, wie aus dem oben angeführten Beispiele erhellt, worin die nach Millimetern gegebenen Verschiebungen des Reiters mit den bezüglichen Beträgen der Stösse zu vergleichen sind. Sollte nun die Differenz der Töne gross sein und deshalb auch die Verschiebung, so wird man die Manipulation nach Anziehung der Saite noch einmal machen. Einfacher stellt sich das Verfahren der Einstimmung eines Chores von drei Saiten zu einem Tone. Ist die Saite 1 die normale, wonach 2 und 3 berichtigt werden sollen, so giebt man etwa der Saite 2 soviel Gewicht an passender Stelle, bis der Uhrschlag mit den Stössen gleich erfolgt, wenn 1 und 2 zusammen tönen. Dann gebraucht man den Schlüssel für die Saite 3 solange, bis derselbe Rythmus der Stösse bei Vergleich von 2 und 3 erfolgt. Nunmehr ist 3 mit 1 gleichgestimmt, Saite 2 dagegen noch abweichend Giebt man ferner der Saite 1 (oder 3) soviel Gewicht, dass das Zusammenklingen von 1 3 (oder 1 3) nach dem Rythmus, wie vorher erfolgt, so wird man durch Nachziehen der Saite 2 beim Vergleiche mit 1 (oder 3) denselben Tact zu erzielen streben müssen und erhält schliesslich damit die Tongleichheit aller drei Saiten. Um zwei oder mehr Saiten auf dem Klavier in Uebereinstimmung zu bringen, verfährt man praktisch am besten, wenn man eine beliebige höhere Saite in Vergleich zieht und durch Beschwerung dieser einen bestimmten Rythmus der Stösse mit der Normalsaite hervorruft, welcher durch Stimmung der anderen Saiten auch erreicht werden muss. Man wird hierbei gewöhnlich sich an die nächsten Nachbarsaiten halten, da mit Zunahme der Schwere des Aufsatzstückes das störende Beitönen die Unterscheidung der Stösse weniger gut wahrnehmen lässt.

Wie kleine Schwingungsunterschiede bestimmt werden, ist durch die vorhergehende Untersuchung gezeigt worden; sie lässt sich aber auch auf grössere Intervalle ausdehnen, indem man allmählig durch Vertiefen der Töne mittelst der Aufsätze von dem Ausgangstone bis zum gewünschten Intervalle weitergeht, wozu man beim Klavier die zwischenliegenden Saiten zu Hülfe nehmen kann. Ist diese Intervall eine Octave und hat man dazwischen sämmtliche Stösse oder Schwingungen zusammengezählt, so erhält man mit dieser Summe zugleich die absolute Schwingungszahl des Grundtones und auch die absoluten Schwingungszahlen der Zwischensaiten. Beim Monochord würde man auch schon mit drei Saiten, von denen zwei im Verhältniss der Octave stehen und die dritte der hohen Saite etwa gleichkommt, die absolute Schwingungszahl ermitteln können, wenn man die Stösse der hohen Ausgangssaite mit der durch Beschwerung tiefer gestimmten dritten oder Hülfssaite zählt, nun die Ausgangssaite mehr belastet, die Stösse wieder zählt, und dann durch wechselseitiges Beschweren so lange fortfährt, bis der tiefe Ton der Octave erreicht ist. Endlich könnte auch ohne alle Aufsätze durch allmähliges, abwechselndes Tieferstimmen der beiden Saiten dasselbe Ziel erlangt werden, und die Summe der in den Grenzen der Octave gezählten Stösse würde die absolute Schwingungszahl genau darstellen, wenn man für die Dauer der Beobachtungszeit beim Herunterschrauben der Saiten auf ein unwandelbares Verhalten dieser mit Sicherheit rechnen dürfte.

Bei meinem Klavier habe ich die Manipulation der allmähligen Abzählung aller Schwingungen zwischen dem Intervall der Octave dis′ — dis wirklich ausgeführt. Zu dem Zwecke hatte ich mir eine Anzahl von Reitern aus Messingdrath verfertigt, welche nach Bedürfniss auf beliebig gewählte Saitenstellen aufgesetzt wurden und nahm meist drei Einschaltungen innerhalb eines halben Tones, nur in den höchsten Tönen deren vier vor. Für jede einzelne der Einschaltungen wurde die Beobachtung der Stösse nach dem Taschenchronometer einige Male wiederholt. Von den Saiten dieser dreichörigen Octave wurde stets die äusserste Saite rechts gewählt und die mittlere zur Hülfe benutzt, also von der hohen dis′ Saite 1 angefangen, diese mit dis′ $\underline{2}$ (beschwert) verglichen, dis′ $\underline{2}$ mit dis′ $\underline{1}$, dis′ $\underline{1}$ mit dis′ $\underline{\underline{2}}$ (ein Reiter zugesetzt), endlich dis′ $\underline{\underline{2}}$ mit d′ 1. Die Zahlen der beobachteten Stösse summirt ergeben so das Schwingungsintervall des halben Tones dis′ 1 — d′ 1 u. s. w. Es versteht sich, dass man auch die dritte Saite ohne die zweite doppelt zu belasten wird zu Hülfe nehmen können. Da die Octave dis 1 dis ′ 1 nicht ganz rein stimmte, wurde auch hier der Vergleich angestellt. Bei Octavenvergleichen möchte sich das Mittel empfehlen, die tiefe Seite in der Mitte während des Zupfens einen Augenblick zu befassen, damit sie in ihrer höheren Octave tönt. Ich benutze für derartige Theilungen der Saiten Einsätze an passender Stelle, welche mit einer Papierkante versehen sind, um zeitweilig die betreffende Saite zu berühren. Ein Beispiel über den letzteren Gegenstand, den Unterschied der Octave zu ermitteln folgt hier:

dis $\underline{2}$	dis′ 1	32p.75	72 St.	2.198	= 2.747 St. i. 1s
dis′ $\underline{2}$	dis 1	29 .4	65 St.	2.221	= 2.763 St. i. 1s

Da dis 1 mit der beschwerten tieferen Vergleichssaite dis′ 2 mehr Stösse macht, als dis′ 1, so ist sie höher und zwar um 0.016. Um eine Controlle zu gewinnen, setzte ich denselben Reiter an der gleichen Saitenstelle auch auf dis′ 1 und verglich diesen Ton ebenfalls mit dis 1 und mit dis′ 2. Dieser Vergleich ergab:

dis′ $\underline{1}$	dis′ 2	32p.0	60 St.	1.875	= 2.344 St. i. 1s.
dis′ $\underline{1}$	dis 1	29p.5	60 St.	2.034	= 2.542 St. i. 1s.

woraus folgt dis 1 höher als dis′ 2 um 0.198.

Da nun dis 1 höher als dis′ 1 um 0.016 und dis 1 höher als dis′ 2 um 0.198, so ist dis′ 1 höher als dis′ 2 um 0.182. Aus den obigen Daten:

dis′ $\underline{2}$ dis′ 1	2.747 St. i. 1s.
dis′ $\underline{1}$ dis′ 2	2.344 St. i. 1s.

ergiebt sich ebenfalls ein ähnlicher Werth von 0.201 (=$^1/_2$ Diff.), um welche Schwingungszahl dis′ 1 höher als dis′ 2 ist.

Die progressive Abzählung aller Stösse oder Schwingungen in dem Octavenintervall dis′ 1 — dis 1 enthält die folgende Tabelle:

	St. i. 1p		Beob. i.	Rechn. 1s	R. B.
dis' 1	4.651				
	3.070	14.992	18.740	17.751	— 0.989
	3.390				
	3.881				
d' 1	3.451				
	3.311	14.405	18.006	16.755	— 1.251
	4.247				
	3.396				
cis' 1	3.457				
	4.017	12.174	15.218	15.816	+ 0.598
	4 700				
c' 1	4 144				
	4.012	11.677	14.596	14.924	+ 0.328
	3.521				
h 1	3.545				
	3.234	10.381	12.976	14.091	+ 1.115
	3 602				
ais 1	3.806				
	2.894	11.180	13.975	13.299	— 0.676
	4.480				
a 1	3.443				
	3.419	9.756	12.195	12.553	+ 0.358
	2.894				
gis 1	3.135				
	2.915	10.253	12.816	11.847	— 0.969
	4.203				
g 1	2.903				
	2.713	8.563	10.704	11.182	+ 0.478
	2.947				
fis 1	3.094				
	3.083	8.408	10.510	10.556	+ 0.046
	2.231				
f 1	2.759				
	2.800	8.055	10.069	9.963	— 0.106
	2.496				
e 1	2.479				
	2.555	7.741	9.676	9.403	— 0.273
dis 1	2.707				
	Summe	127.585	159.481	— 1.341	= 158.140

Wie aus den angeführten Zahlen ersichtlich, beträgt die Summe aller Schwingungen zwischen dis' und dis 1 127.585 für 1p also 159.481 für 1s, hierzu kommt die Correction von — 1.341 als Betrag für die Octavenverschiedenheit, welcher gefolgert ist aus den Beobachtungsdaten:

dis' 2 dis' 1 4.651
dis' 2 dis 1 3.578 Diff. 1.073 = 1.341 für 1.

Diese Correction ist im negativen Sinne anzubringen, weil dis' 1 höher als dis 1 stimmend folgt; daher macht der Ton dis 1 in 1s 158.140 Schwingungen. In der obigen Zahlentabelle enthält die zweite Columne die Schwingungszahlen für die Intervalle der einzelnen halben Töne; die dritte die entsprechenden nach der temperirten Skale mit dem Grundton von 148.140 Schwingungen berechneten Zahlen Bekanntlich werden die Schwingungszahlen der folgenden Töne, wenn die Grundzahl gegeben ist, gebildet durch Multiplication mit $\sqrt[12]{2}$, $\sqrt[12]{2}$, $\sqrt[12]{2}$, $\sqrt[12]{2}$, $\sqrt[12]{2}$, $\sqrt[12]{2}$, u. s. w., also mit den Zahlen: 1.05946, 1.12246, 1.18921, 1.25992, 1.33484, 1.41421, 1.49831, 1.58740, 1.68179, 1.78180, 1.88775, 2.00000. In unserem Falle, worin 148.140 Ausgangszahl ist, werden daher die Schwingungszahlen: 167.543, 177.506, 188.062, 199.244, 211.091, 223.644, 236.943, 251.034, 265.958, 281.774, 298.529, 316.280, woraus durch Subtraction die in der Tabelle mitgetheilten Zahlen abgeleitet sind. Endlich sind die Abweichungen zwischen den eigentlich richtigen und den durch die Stimmung erlangten Intervallen (R.-B.) angegeben. Man sieht daraus, dass Verstösse gegen die temperirte Stimmung von mehr als einer Schwingung vorkommen, eine Grösse, die wohl das Zehnfache des Werthes beträgt, den ein geübtes Ohr noch unterscheiden kann. Und doch würde ich geneigt sein, dieses Beispiel der Stimmung im allgemeinen befriedigend zu bezeichnen, welches gewiss häufig bei der üblichen Stimmungsmethode durch Probiren noch nicht einmal erreicht wird. Dass die Saiten eines Chores für jeden Ton viel besser unter sich übereinstimmen, ist selbstverständlich, da das Ohr den nöthigen Anhalt hat.

Wenn nun auf die angegebene Art oder einfacher durch Zuhülfenahme einer Normalstimmgabel die absolute Schwingungszahl eines Grundtones gefunden ist, so wird mit Benutzung der Reiter das Klavier genau nach den Zahlen der temperirten Stimmung gestimmt werden können, indem man für jedes einzelne Intervall, welches durch 3 oder 4maligen Aufsatz der Reiter gewonnen ist, die entsprechende Correction gewöhnlich bloss bei der letzten Beschwerung durch Benutzung des Stimmschlüssels ausführt.

Bei der vorstehenden Untersuchung sind die Resultate hauptsächlich durch Vergleichung und durch den Versuch ermittelt worden ohne besondere Rechnung. Da indess die nöthigen zahlreichen Vergleichungen und ihre Wiederholungen für das Einstimmen einer Octave zeitraubend sind, so stellte ich mir die Aufgabe, von einem Tone ausgehend die Saite desselben mit derartigen Gewichten zu belasten, dass die Töne der Octave nach einander entstehen. Zu umständlich würde es sein, die Gewichte für die einzelnen Töne der Octave so auszuprobiren, dass sie den Ersatz für die mehrfach anzustellenden Beschwerungen der frühern Methode gemäss geben; daher ist die Rechnung mit Rücksicht auf das Gewicht der Saite und der Reiter vorzuziehen. Die hier in Anwendung kommende Hauptgleichung hat bereits A. Seebeck im Repertorium der Physik Bd. 8, akust. Theil Seite 33, bei Besprechung der Duhamel'schen Versuche mitgetheilt. Bedeuten m und m' die Massen der Saite und des Aufsatzes, l und l' die Längen der Saitentheile zwischen der Aufsatzstelle genommen, α das Verhältniss der Schwingungsdauern der blossen und der beschwerten Saite, so wird durch die Betrachtung der Saite als zwei Cycloidenbogen, die sich im beschwerten Punkte schneiden, folgende Relation gewonnen:

$$\operatorname{cotg} \frac{\alpha\, l}{l+l'} + \operatorname{cotg} \frac{\alpha\, l'}{l+l'} = \frac{m'}{m}\,\alpha$$

In diesem Ausdruck gilt die Vorstellung, dass das die Saite beschwerende Gewicht um den Angriffspunkt gleichmässig vertheilt ist. Kommen nun die in länglicher Gestalt geformten Reiter zur Anwendung, so hat man darauf zu achten, dass die Einkerbung, worin die Saite sitzt, genau die Mitte des Reiters einnimmt. In der folgenden Untersuchung ist die Mitte der Saite als Aufsatzstelle festgehalten worden, daher die folgende einfachere Gleichung in Betracht kommt:

$$\operatorname{cotg} \frac{\alpha}{2} = \frac{m'}{m}\,\frac{\alpha}{2}$$

Als Normalsaite, zu welcher die zwölf Gewichte gefunden werden sollten, hatte ich die Saite d' 1 mit etwa 298 Schwingungen in der Secunde (oder 238 in 1p des Chronometers) gewählt. Diese Gewichte wünschte ich nun absichtlich der einfachern Beobachtung wegen um so viel schwerer zu haben, damit jeder der aus der Beschwerung resultirenden Töne mit dem betreffenden abzustimmenden Saitentone ebenso oft Stösse machte als das Taschenchronometer Schläge. Da nun die Octave d 1

$$\frac{298}{2} - 2.5 = 146.5 \text{ Schwingungen}$$ erhalten soll, so ist das gegebene Schwingungsverhältniss

$$\frac{146.5}{298} = 0.491611, \text{ daher } \frac{\alpha}{2} = 44^0.245$$

Die Ausrechnung der mit dem constantem Logarithmus 8.241876 behafteten Gleichung:

$$\log. \operatorname{cotg}. 44^0.245 = \log. 44.245 + 8.241876 + \log. \frac{m'}{m}$$

ergiebt:

$$\log. \frac{m'}{m} = 0.123707 \text{ oder}$$

$$\frac{m'}{m} = 1.32956$$

Nachdem die tiefere Octave d 1 zu d'1 abgestimmt worden war, construirte ich einen so viel tiefern Octavereiter, dass die nöthige Anzahl Stösse 5 in 2 Zeitsecunden durch Zusammenklingen der beiden Saiten hörbar wurden. Das Abwägen dieses d Reiters auf einer empfindlichen Goldwage ergab 134.00 Gewichtseinheiten = m', dem Gewichte der Saite d' 1 entspricht also die Zahl 100 . 79. In dieser Gewichtseinheit sind alle ferner aufgeführten Zahlen dargestellt, da es nur auf relatives Verhältniss ankommt. Wollte man eine Reduction auf Grammgewicht haben, so bemerke ich, dass 134.00 = 4.8921 Gramm mittelst einer chemischen Wage ermittelt wurde, das Gewicht unserer d' 1 Saite also 3.6795 Gramm ausmacht. Sobald das Gewicht der Saite d' 1 und des Octavreiters bekannt sind, ergiebt sich einfach die Gewichtszahl des Reiters für einen beliebigen Ton der Octave (i) aus der numerischen Gleichung:

$$\log. m^i = 3.761522 + \log\text{-}\operatorname{cotg} \alpha^i - \log. \alpha^i$$

worin α^i die durch Multiplication der betreffenden Tonverhältnisszahl mit 90^0 und durch Verminderung um $\frac{2.5}{298} . 90^0$ entstandene Zahl (Grade) vorstellt. Die Ausrechnung ergab folgende Gewichtswerthe m^i für die einzelnen Töne der Octave d'—d:

Ton	α^i	m^i	$\triangle^i$
d'	89⁰.245	0.85	
			6.12
cis'	84 .196	6.97	
			6.60
c'	79 .426	13.57	
			7.19
h	74 .926	20.76	
			7 89
ais	70 .678	28 65	
			8.70
a	66 .673	37.35	
			9.67
gis	62 .884	47.02	
			10.76
g	59 .311	57.78	
			11.99
fis	55 .945	69.77	
			13.43
f	52 .759	83.20	
			15.05
e	49 .753	98.25	
			16.85
dis	46 .918	115.10	
			18.90
d	44 .245	134.00	

Die letzte Columne dieser Tabelle enthält die Gewichtsdifferenzen (Δ_i) zwischen den auf einander folgenden Tönen. Die Schwingungszahl der Normalsaite, in unserem Falle 298, ganz genau zu kennen, ist unnütz, da ein Fehler dieser Art wenig ausmacht. Nehmen mir z. B. statt 298 Schwingungen 290, so erhielte man statt der Gewichte:

6.97 , 13.57   47.02 , 57.78   115.10 , 134.00 die Gewichte:
6.98 , 13.59   47.07 , 57.85   115.24 , 134.16.

Ich habe die 12 Reiter für die Skale der Töne zwischen d und cis' aus Messing mir hergestellt, den Gewichten entsprechend, welche die Rechnung ergeben hat und mit ihnen die betreffenden Saiten so weit abgestimmt, bis ich das Tempo des Taschenchronometers in den Stössen wahrnahm. Da ich aber nicht sogleich nach der Stimmung eine Untersuchung über die Genauigkeit dieser Methode vornahm, sondern erst einige Wochen später neue Abzählungen der Schwingungen zwischen allen halben Tönen nach der früheren Methode zur Hülfe zog, so sind manche Ungenauigkeiten in dem folgenden Beobachtungsbeispiel auf Rechnung der inzwischen eingetretenen Verstimmung des Klavieres zu setzen. Die Resultate der Vergleichung waren folgende:

	B.	R.	R.-B.
d			
dis	7.20	7.07	—0.13
e	7.39	7.49	0.10
f	7.98	7.94	—0.04
fis	8.39	8.41	0.02
g	8.72	8.91	0.19
gis	9.36	9.44	0.08
a	10.69	10.00	—0.69
ais	9.98	10.59	0.61
h	11.02	11.22	0.20
c'	12.37	11.89	—0.48
cis'	12.78	12.60	—0.18
d'	13.04	13.35	0.31
Summe	118.92.		

Die Zahlen der 1. Columne B. (Beobachtung) sind die durch allmählige Abzählung zwischen je zwei aufeinanderfolgenden halben Tönen gewonnenen Schwingungsdifferenzen, mit Bezug auf 1_p des Taschenchronometers; die zweite Columne enthält diese Differenzen, wie sie die Rechnung nach dem temperirten Schwingungsverhältniss für die innerhalb der Octave d—d' beobachtete Schwingungssumme 118.92 ergiebt, und endlich in der letzten Columne finden sich die Abweichungen der Beobachtung von der Rechnung, R.—B. Die auffallend grossen Abweichungen zwischen gis und ais haben ihren Grund darin, dass bei der Abstimmung mit einem a Gewicht operirt wurde, welches in nicht genau richtiger Mitte eingekerbt war. Späterhin ist dieser Reiter berichtigt worden, die Abänderung der Klavierstimmung jedoch unterblieb. Es versteht sich von selbst, dass die Uebereinstimmung der Beobachtung und Rechnung eine grössere sein wird, wenn auf die Herstellung einer regelmässigen Gestalt des Reiters und auf die Einhaltung der richtigen Mitte beim Einkerben mehr Sorgfalt verwendet wird, als es hier geschehen. Im allgemeinen dürfte es wohl genügen, diese Mitte durch Balanciren auf einem feinen Faden festzustellen und mittelst einiger Hammerschläge zu markiren, nachdem an der betreffenden Stelle statt des Fadens ein

Draht zwischen die Schenkel gesteckt ist. Als beste Probe der Richtigkeit empfiehlt sich, die mit dem Reiter beschwerte Saite allein anzuschlagen und zu hören, ob Stösse vernehmbar sind. Der Aufsatz wird um so unrichtiger auf der Saite sitzen, je schneller die Stösse vor sich gehen. Bei der allmählich progressiven Zunahme der Länge und Dicke der Saiten der Klaviere könnte ein Sortiment solcher Gewichte zum Abstimmen der Töne einer Octave auch für ein anderes Instrument passen, wenn nicht die grösste Genauigkeit erstrebt wird. Zu dem Zwecke müsste man durch Probiren diejenige Saite aussuchen, welche mittelst Belastung durch das stärkste Gewicht die tiefere Octave in der geforderten Weise zur Uebereinstimmung bringt. Kann man versichert sein, dass diejenige Saite, für welche die zwölf Gewichte construirt werden sollen, mit einer zweiten gleich langen zu demselben Chore gehörigen gleiche Dicke hat, so wird man die letztere Saite, nachdem sie an den Aufliegestellen markirt ist, abnehmen und das markirte Stück abwägen, um dieses Gewicht zur Ausrechnung des Octavreiters und der anderen Reiter in der vorgezeichneten Weise benutzen zu können. In unserm Beispiele würde die Gewichtszahl der Saite 100.79 gefunden werden müssen, und mit diesem m und dem aus der Schwingungszahl abgeleiteten Verhältniss $\frac{m'}{m} = 1.32956$ erhielte man dann $m = 134.00$ und somit auch die andern Gewichtszahlen.

Ein genauer Saitendickenmesser kann zu dem vorliegenden Zwecke, die Kenntniss des Gewichts der Saite zu erhalten und zwar ohne eine Saite des Klaviers zu zerstören, benutzt werden. Der von mir benutzte ist von Herrn D o m m a s c h in Danzig hergestellt worden. Die Abbildung auf der Tafel unter Fig. 4 enthält eine Darstellung dieses Instruments in halber wirklicher Grösse, das dem Principe nach eine Zange ist. Der innige Anschluss der um die Axe d drehbaren Zungentheile a, welche die Saite zu umfassen haben, wird durch die zwischen den verlängerten Armen befindliche Feder b bewirkt. An einem dieser Arme ist eine ebene Platte mit der um den Mittelpunkt f aufgetragenen Kreistheilung befestigt, während der freie andere Arm mittelst des an seinem Ende befindlichen Schlitzes den auf der Platte ebenfalls um f drehbaren Zeiger vermöge des Stiftes c herumführt. Durch die Anwendung der zweimaligen Uebertragung von dem kleinen auf den grossen Hebelarm gestattet die Handhabung dieses Apparates etwa 200malige Vergrösserung. Die Zahlen der Eintheilung des Dickenmessers sind willkührlich von 0—100 dem progressiven Zunehmen von einer gewissen Dicke an entsprechend gewählt. An Abgängen von verschieden dicken Klavierdrähten wurden gleichschwere Stücke im Gewichte von 18.9 = 0.6900 Gramm ausgesucht und die betreffende Dicke und Länge notirt. Von den entsprechenden Bestimmungen dieser Art mögen hier folgende angeführt werden:

Gewicht 18.9	Länge.	Dickenablesung.
= 0.6900 Gramm.	125.6^{mm}	8.0
	116.4	21.5
	105.0	40.0
	96.3	56.6
	90.6	67.5
	81.3	96.7

Da nun z. B an unserer d′ Saite fast constant an allen Stellen die Dickenablesung 39.5 gefunden wurde, so beträgt nach der mitgetheilten kleinen

Tabelle der zugehörige Längenwerth 105.3 und demgemäss das Gewicht der ganzen 566mm langen Saite 101.59 Einheiten. Ob die Abweichung von 0.80 zwischen dem erst gefundenen Werthe 100.79 und dem letzteren dem Gewichtsverluste, welchen die Saite durch die Spannung erleidet, gleich zu achten ist, lasse ich dahin gestellt, da dieser Betrag wegen der wenn auch in geringem Grade statthabenden Incongruenz der Durchschnitte der Saite nicht genau genug berechnet werden kann.

Die Untersuchung der Dicken der Saiten auf meinem Flügel hat ergeben, dass die Continuität ihrer Abnahme vom Bass zum Sopran nicht vollständig eingehalten ist. Auch zwischen den Saiten desselben Tones fand ich bisweilen keine Ueberstimmung und benutze ein Beispiel, um auf zwei verschiedenen Wegen die Abweichung zu zeigen. Erstens ergab die directe Untersuchung der Dicken an den Saiten h2 und h3 die Zahlen 25.0 und 9.5 des Dickenmessers, wodurch mittelst der Tabelle die bezüglichen Saitenstücklängen von gleichem Gewichte, 114.1mm und 124.7mm gefunden werden. Da nun die Saiten h 672.5 lang sind, so folgt das Gewicht in unseren Einheiten von h2 111.4, von h 3 101.9, ihr Verhältniss 1 . 0932 und das Verhältniss der Durchmesser der beiden Saiten $\sqrt{1.0932} = 1.0456$. Das andere Verfahren beruht auf Vergleichung der Töne der gleichbeschwerten Saiten mit dem Tone einer dritten Saite. Heissen die Gewichte der beiden Seiten h2 und h3 m_2 und m_3, die Schwingungsdauerverhältnisse α_2 und α_3, und das Gewicht, womit die Saiten beschwert werden, m, so finden nach der obigen Formel folgende Relationen statt:

$$\operatorname{cotg} \frac{\alpha_2}{2} = \frac{\alpha_2}{2} \frac{m}{m_2} \text{ und } \operatorname{cotg} \frac{\alpha_3}{2} = \frac{\alpha_3}{2} \frac{m}{m_3}$$

Durch Division dieser Gleichungen erhält man:

$$\frac{m_3}{m_2} = \frac{\frac{\alpha_3}{2} \operatorname{cotg} \frac{\alpha_2}{2}}{\frac{\alpha_2}{2} \operatorname{cotg} \frac{\alpha_3}{2}}$$

Zur Ermittelung dieses Verhältnisses kann zwar ein beliebiges m verwendet werden, doch ist die Genauigkeit der Bestimmung nicht unabhängig von der Wahl dieser Grösse, und wird es vortheilhaft sein, die Beschwerung nicht zu gering zu wählen. Durch Benutzung des Gewichtes von 134.00 Einheiten erhielt ich folgende Vergleichungen mit der tieferen Octave H:

h 2 höher als H um 3.224 Schwingungen in 1s
h 3 tiefer als H um 1.304 Schwingungen in 1s

Ausserdem ergab h 3 (ohne Beschwerung) mit H 1.932 Stösse in 1s. Saite h 3 war die höhere von beiden.

Da als Schwingungszahl für h3 250.6 (in 1s) anzunehmen ist, so folgt die Schwingungszahl für H 124.334.

Endlich machte Saite h2 250.7 Schwingungen, folgend aus Vergleich mit h 3.

Aus diesen Beobachtungen gehen hervor für h 2 127.558, für h 3 123.030 Schwingungen und die Schwingungsverhältnisse $\frac{127.558}{250.7} = 0.50881$ und $\frac{123.030}{250.6} = 0.49094$, $\sphericalangle \frac{\alpha_2}{2}$ $45^0.7926$, $\sphericalangle \frac{\alpha_3}{2}$ $44^0.1848$. Die Einsetzung dieser Grössen in die Formel ergiebt den Werth:

$$\frac{m_3}{m_2} = 1.0962$$

und das Durchmesserverhältniss der Saiten : 1.0470, welche Zahl mit der auf die erste Weise gewonnenen 1.0456 nahe zu übereinstimmt. Bei Ermittelung dieser Zahlen ist übrigens die kleine Ungenauigkeit begangen, dass die specifischen Gewichte der gespannten Saiten als gleich vorausgesetzt wurden.

Beiläufig mag noch erwähnt werden, dass nach den mitgetheilten Beobachtungen zu urtheilen, auch die h 3 Saite als Ausgangssaite zur Abstimmung der Töne zwischen der Octave H-h mittelst desselben Sortiments von Reitern benutzt werden könnte, da die Beschwerung mit dem Octavreiter (134.00) einen Ton hervorrief, der um $1.304 + \frac{1.932}{2}$ oder um 2.270 Schwingungen in 1ˢ oder um 1.816 Schwingungen in 1ᵖ tiefer als die Octave ist. Beim Abstimmen der Octave würde also nahe zu (Abweichung 2—1.816) der Tact der Stösse mit den Chronometerschlägen herauskommen. Wir können endlich noch schliessen, dass die längere Saite h3 ($672^{mm}.5$) mit unserer früher als Normsaite gewählt n kürzeren d 1 (566^{mm}) nahe zu gleiches Gewicht hat.

Unser Dickenmesser kann zur Untersuchung des Verhältnisses der Quercontraction zur Längendilatation der Saiten ebenfalls mit Vortheil benutzt werden Es würde indess für diesen Zweck empfehlenswerth sein, den Zeiger des Instrumentes nach dem Beispiele der Tangentenboussole durch Zusatz eines längeren leichten Glasfadens für eine erweiterte Ablesung anwendbar zu machen.

Die anzuführende Beobachtung habe ich gelegentlich in einer hiesigen Pianofortefabrik beim Aufziehen einer Saite auf einem unfertigen Pianino gewonnen. Die Angabe des Dickenmessers für die ungespannte Saite betrug 18.7, ihre zur Schwingung kommende Länge 670 ^{mm}. Im Abstande von 635^{mm} wurden auf derselben zwei Marken gemacht. Nachdem diese Saite nun soweit gespannt worden war, dass sie nahezu den Ton c′ gab, fand ich den markirten Abstand um 6^{mm} auseinander gerückt, während die Dickenablesung an derselben Stelle als vorhin 17.75 betrug. Nach unserer Tabelle wird für den vorliegenden Draht mit der Ablesung 18.7 die Länge 118.2^{mm} sich herausrechnen lassen, welche dem constanten Gewicht von 0.6900 Gramm entspricht, und unter Annahme des specifischen Gewichtes 7.8, für Stahldraht erhalten wir den Durchmesser der beiden in den Dimensionen nahekommenden Drahtsorten, der in der Tabelle verzeichneten mit der Länge $116^{mm}.4$ und der zu untersuchenden:

$0^{mm}.98368$, Länge $116^{mm}.4$ Dickenmesserablesung 21.5
und 0.97616, „ 118.2 „ 18.7.

Der Dickenunterschied von $0^{mm}.00752$ im Durchmesser entspricht also in unserem Falle dem Unterschiede der Ablesung am Instrumente von 2.8 Theilen, und die beobachtete Dickenabnahme nach der Spannung des Drahtes im Betrage von $18.7 - 17.75 = 0.95$ Theilen ergiebt den absoluten Werth von $0^{mm}.00255$. Vermindert sich nun der $0^{mm}.97616$ dicke Draht um die Grösse $0^{mm}.00255$, so wird der Dickeneinheit die Contraction von $0^{mm}.00261$ zukommen, während aus der Längenveränderung 6^{mm} von 635^{mm} für die Dilatation $0^{mm}.00945$ folgt. Das Verhältniss der Quercontraction zur Längendilatation ergiebt sich also $\frac{261}{945} = 0.276$. Bekanntlich herrscht über die Bestimmung dieses Verhältnisses eine grosse Ungewissheit, da die gewöhnlich angeführten Zahlen nach Poisson und Cagniard-Latour 0.250, nach Kirchhoff 0.294 und nach Wertheim 0.333 nicht unbeträchlich von einander abweichen. Hat nun das mitgetheilte Resultat auch keinen hohen Werth, da es aus einer einzelnen Beobachtung geschlossen ist, so verdient doch die Methode ihrer Einfachheit wegen zu ausführlicher Anwendung empfohlen zu werden.

Kehren wir zu dem practischen Zwecke der genauen Klavierstimmung zurück, so sind bereits die Mittel erörtert worden, um sowohl die Töne nach der temperirten Skale zu erhalten, als auch die Abweichungen von derselben bis auf kleine Bruchtheile einer Schwingung kennen zu lernen.

Mit Hülfe der kleinen Apparate ist man in den Stand gesetzt, über die Stimmung seines Instrumentes stets unterrichtet zu sein; indess dürfte bei Anwendung der üblichen Stimmschlüssel es schwer halten, die Saite genau auf die richtige Tonhöhe zu bringen. Bald wird der Ton zu hoch, bald zu niedrig ausfallen; und wenn die Manipulation des Hin- und Herdrehens zu oft sich wiederholt, läuft man Gefahr, die Wirbel lose zu machen, also die Constanz der Stimmung zu beeinträchtigen.

Die Idee, die ruckweise Anziehung des Schlüssels in eine feinere Bewegung zu verwandeln, führte nun auf die Construction des in der Tafel Fig. 5 abgebildeten Stimmapparates. Einen festen Punkt bei Führung des Schlüssels durch eine Schraube, welche seine Peripherie in Bewegung setzt, zu gewinnen, hat seine Schwierigkeit; diese ist durch einen zwischen den äussersten Wänden des Klavieres verschiebbaren Holzrahmen, innerhalb dessen der Schlüssel auf beliebigen Orten festgesetzt werden kann, gehoben. Herr Dommasch hat auch diesen Stimmapparat angefertigt. In der Zeichnung ist der Schlüssel zugleich mit einem Theile des Klavieres, der die letzte Verspreizung nach dem Sopran zu, das Capotasto und die Saitenwirbel dieses Bezirkes enthält, wiedergegeben. Der auf einem Wirbel sitzend gezeichnete Schlüssel k ist am obern Ende von dem gezähnten Kreise a umschlossen, in welchen die mit einer Handhabe versehene Schraube b ohne Ende greift. Da das Lager c dieser Schraube zusammen mit dem Lager der Schlüsselachse dd durch die Flügelschrauben ff an das in der Zeichnung zur Hälfte dargestellte Holzgestell angeschlossen werden kann, so wird die Umdrehung des Wirbels durch Drehung des Griffes von b. in sanftestem Gange von statten gehen. Der Apparat mit den drei Achsen, der Flügelschrauben und des

Schlüssels, lässt sich innerhalb der zwischen den Holzleisten gggg gelassenen Spatien verschieben. Diese Leisten sind an beiden Enden durch die Holzstücke h zusammen fest verbunden, welche letztere innig an die Klavierwände m sich anlehnen. Die angegebene Verschiebung und die Versetzung des ganzen Rahmens zwischen den Wänden ermöglichen den Aufsatz des Schlüssels auf jeden beliebigen Wirbel des Klavieres.

Die Fortsetzung meiner Untersuchungen und die dabei gefundenen Resultate behalte ich mir vor, in der zweiten Abtheilung dieser Arbeit zu veröffentlichen.

Fig. 4.

Fig. 1.

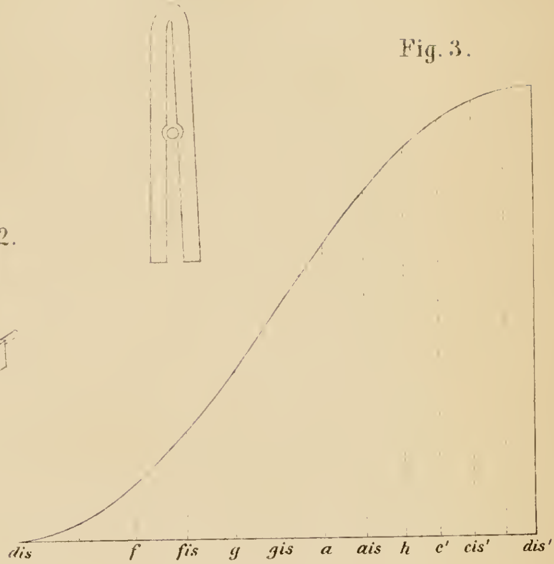


Fig. 2.

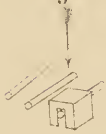
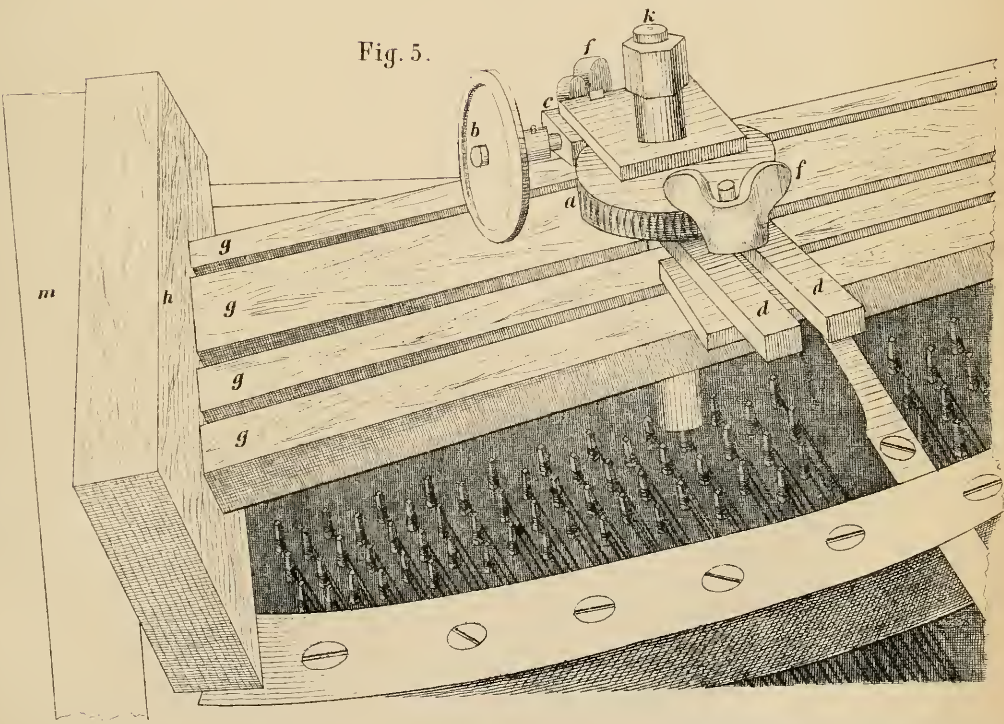


Fig. 3.

Fig. 5.



Lith v R Emmendoerffer Danzig.