ANNALEN DER PHYSIK.

FÜNFTER BAND, ERSTES STÜCK.

I.

EINE NEUE ART,

die

*Geschwindigkeit der Schwingungen bei
einem jeden Tone durch den Augen-
schein zu bestimmen, nebst einem Vor-
schlage zu einer festen Tonhöhe,*

von

Dr. E. F. F. CHLADNI

in Wittenberg. *)

Es ist immer etwas weitläufig und mühsam, wenn man die Zahl der Schwingungen, welche ein klingender Körper in einer Sekunde oder sonst in einer gegebenen Zeit macht, aus der Formel, wodurch

*) Mitgetheilt für die *Annalen der Physik* von dem Herrn Verfasser, der, wie man sieht, seine Verdienste um die Tonlehre noch immer durch interessante Erfindungen vermehrt, welche sich durch das Gepräge der Einfachheit ganz besonders empfehlen.

d. H.

seine Schwingungsgesetze ausgedruckt werden, zu bestimmen sucht. Ueberdies sind bei so manchen klingenden Körpern die Schwingungsgesetze noch nicht mit hinlänglicher Genauigkeit bekannt, und bei den Schwingungen der Luft in Blas-Instrumenten trifft die Erfahrung nicht einmahl mit der gewöhnlichen Theorie ganz überein. Bisher ist meines Willens kein anderes Mittel bekannt geworden, um die Geschwindigkeiten der Schwingungen durch unmittelbare Erfahrung zu finden, als das, welches Herr Kapellmeister Sarti in Petersburg angegeben hat, da er von zwei 5 Fufs langen Pfeifen die eine vermittelst eines Schiebers verkürzte, und fand, dafs, wenn die Längen der Pfeifen sich wie 99 : 100 verhielten, das Zusammentreffen der Schwingungen, das sich durch einen trommelartigen Schlag merklich machte, in jeder Sekunde einmahl geschah, woraus folgte, dafs die in der kürzern Pfeife befindliche Luft in einer Sekunde 100 Schwingungen machte. Er schlofs hieraus, dafs das eingestrichene A, wonach dort die dritte Saite der Violine gestimmt wird, in einer Sekunde 436 Schwingungen mache. Es sind hierunter aber doppelte Schwingungen zu verstehen, die aus einem Hingange und Rückgange zusammengesetzt sind, so wie solche auch von Newton und Sauveur *eine* Schwingung genannt werden. Wenn man aber, wie es gewöhnlicher ist, jeden einzelnen Schlag, (eben so wie bei dem Pendel,) eine Schwingung nennt, so macht dieses $\bar{a}$ in einer Sekunde 872 Schwingungen.

Die leichteste und einfachste Art, die Zahl der Schwingungen bei einem jeden Tone sogleich durch den Augenschein zu bestimmen, wird seyn, wenn man einem klingenden Körper, der überall eine gleiche Dicke und Consistenz hat, eine solche Länge giebt, daß man die Schwingungen, (welche sodann aber noch nicht hörbar sind,) bequem zählen und mit den Schwingungen eines Sekunden - Pendels vergleichen kann, und ihn nachher so weit abkürzt, daß er mit dem zu untersuchenden Tone im Einklange ist, hierauf aber die Länge, bei welcher er diesen Ton giebt, mit der Länge, bei welcher man eine gewisse Zahl von Schwingungen in einer Sekunde abgezählt hatte, vergleicht.

Anfangs vermuthete ich, eine Saite möchte sich dazu gebrauchen lassen, wenn man ihr eine solche Länge gäbe, daß sie bei einer gewissen Spannung, (welche, zu mehrerer Genauigkeit, durch ein angehängtes Gewicht bewirkt werden müßte,) etwa 1, 2 oder 4 Schwingungen in einer Sekunde machte, und wenn man dann die Saite durch einen untergesetzten Steg so weit abkürzte, bis man den verlangten Ton erhielt. Das Verhältniß der Längen des klingenden Theils zur Länge der ganzen Saite giebt sogleich die verlangte Zahl der Schwingungen, da diese Zahl im umgekehrten Verhältnisse der Saitenlänge steht. Bei einigen deshalb angestellten Versuchen fand ich aber, daß wegen mancher Kreisbewegungen, die sich unter die schwingenden Bewegungen der Saite mengten, wie auch wegen

der mancherlei Schwingungen der aliquoten Theile, die Hauptschwingungen der ganzen Saite sich nicht mit der erforderlichen Genauigkeit beobachten liessen.

Am besten schickt sich zu Versuchen dieser Art ein schmaler und nicht allzu dicker, aber hinreichend langer *Stab* oder *Streifen* von *Eisen*, oder *Messing*, oder einem andern hinlänglich elastischen Metalle. Er muß, so viel als möglich, überall von gleicher Dicke seyn, daher es gut seyn würde, wenn man ihn vorher durch ein Streckwerk gehen liesse. Die Streifen oder parallelepipedischen Stäbe, deren ich mich bedient habe, sind etwa 2 Ellen lang, einen halben Zoll breit, und beinahe eine Linie dick; übrigens sind die Dimensionen ganz willkürlich. Die Ursache, warum ein solcher Stab mehrere Breite als Dicke haben muß, ist, weil manche außerdem mit eintretende Seitenbewegungen oder Kreisbewegungen, welche die Beobachtungen erschweren würden, dadurch verhindert werden. Einen solchen Stab oder Streifen spannt man in einen ganz unbeweglichen Schraubenstock so weit ein, daß der hervorragende Theil lang genug bleibt, um so langsame Transversal-Schwingungen zu machen, daß man sie nicht hören, wohl aber mit Hülfe einer Sekunden-Uhr, deren Schläge man hört, abzählen kann. Die Länge des Stabes, welche erfordert wird, um die beobachtete Zahl der Schwingungen zu geben, bemerkt man durch einen Strich. Wenn man nun wissen will, wie viele Schwingungen ein gegebener Ton in einer Sekunde

macht, so spannt man den Stab so weit in den Schraubenstock ein, daß der hervorragende Theil kurz genug ist, um, wenn man ihn mit dem Finger schlägt oder reißt, oder, noch besser, nicht allzu weit von dem Ende mit dem Violinbogen streicht, den bestimmten Ton zu geben. Hieraus findet sich denn sehr leicht die Zahl der Schwingungen, welche dieser Ton in einer Sekunde macht, durch Vergleichung des kürzern Theils, der diesen Ton gab, mit dem längern Theile, dessen Schwingungen man abgezählt hat. Nur ist hierbei zu bemerken, daß an einem Stabe, wenn bloß die Länge sich verändert, die Töne bei einerlei Schwingungsart sich nicht etwa, wie an einer Saite, wie die umgekehrten Längen, sondern wie die umgekehrten *Quadrate* der Längen verhalten.

Man kann sich die Sache noch mehr erleichtern, und einen solchen Stab als *Tonometer* oder als Maafstab der Schwingungszahlen aller Töne gebrauchen, wenn man ihn im voraus gehörig dazu abtheilt. Wollte man sich eines so langen und so dünnen Stabes bedienen, daß das aus dem Schraubenstocke hervorragende Stück eine Schwingung in einer Sekunde macht, (nämlich so, daß seine einzelnen Schläge mit den Schlägen eines Sekunden-Pendels gleichmäfsig sind;) so würde der Stab, wenn man nur die Hälfte des vorigen Stücks hervorragen läßt, 4 Schwingungen in einer Sekunde machen. Es würde aber ganz unnütz und unbequem seyn, sich eines so langen Stabes zu bedienen. Ich rathe also, dem Stabe nur eine solche Länge zu

geben, daß er, wenn man ihn nahe am Ende einspannt, in einer Sekunde 4 Schwingungen macht, welche sich sehr bequem und mit aller Genauigkeit abzählen lassen. Verkürzt man diesen schwingenden Theil um die Hälfte durch ein neues Einspannen, so wird dieser halb so lange Theil des Stabes in einer Sekunde 16 Schwingungen machen, die man aber weder wird zählen, noch hören können, weil sie zu schnell sind, um gezählt, und zu langsam, um gehört zu werden. Spannt man aber den Stab von neuem so ein, daß von dem Theile, welcher vorher 16 Schwingungen machte, nur die Hälfte hervorragt, so muß diese Hälfte, (oder dieser vierte Theil der erstern Länge, wo 4 Schwingungen geschahen,) nunmehr 64 Schwingungen machen, und man wird einen sehr tiefen Ton hören, welcher mit dem 16füßigen oder Contra-C übereinkommt. Die Hälfte dieser Länge, oder der achte Theil der erstern, (4mahl schwingenden,) wird 256mahl in einer Sekunde schwingen, und man wird das 4füßige oder ungestrichene C hören. Eben so wird man bei jeder weitem Verkürzung des Stabes um die Hälfte, einen Ton erhalten, der um 2 Octaven höher ist; man wird auch die Zahl der Schwingungen aller dazwischen liegenden Töne sehr leicht finden können, wenn man immer darauf Rücksicht nimmt, daß die Töne sich wie die umgekehrten Quadrate der Längen verhalten, und also ein solcher Stab, wenn er als Tonometer gebraucht werden soll, nach den Qua-

dratwurzeln der Tonverhältnisse abgetheilt werden muß.

Will man etwa eine andere Abzählung, z. B. von 3 oder 5 Schwingungen in einer Sekunde, zum Grunde legen, so ist es ganz eben dasselbe. Mehr als 6 einfache Schwingungen in einer Sekunde möchten sich wohl schwerlich mit Genauigkeit abzählen lassen.

Es lassen sich auch noch *auf eine andere Art*, mittelst eines solchen Stabes, *die Schwingungszahlen der Töne bestimmen*. Ein Stab, der an einem Ende befestigt und an dem andern frei ist, kann, außer der jetzt erwähnten Bewegungsart, wo er ganz schwingt, so wie jeder klingende Körper, auch andere Schwingungsarten annehmen, bei denen er sich in schwingende Theile eintheilt, welche durch Schwingungsknoten von einander abgefordert sind. Es verhält sich, nach der Theorie Daniel Bernoulli's und Eulers, und nach der Erfahrung, die erste Schwingungsart, wo er ganz schwingt, zu der zweiten, wo ein Schwingungsknoten vorhanden ist, wie 4 zu 25, und von dieser zweiten an gerechnet, verhalten sich die Töne der übrigen Schwingungsarten wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 u. s. w. und mithin kommen alle mögliche Töne mit den Zahlen 4, 25, $69\frac{1}{4}$, $136\frac{1}{5}$, 225 u. s. w. überein. Wenn man nun den Stab so in den Schraubenstock gespannt hat, daß man, wenn er ganz schwingt, 4 Schwingungen in einer Sekunde zählt, so wird der zte Ton noch nicht hörbar seyn, oder sich

nur durch eine dumpfe Erschütterung zu erkennen geben, der dritte wird aber etwas tiefer als Contra D, der vierte wird ungefähr Cis, der fünfte B seyn, u. s. w., welche Töne man bei gehörigem Verfahren durch Streichen mit dem Violin-Bogen leicht wird erhalten können. Eben so, wenn man die Länge des Stabes um die Hälfte verkürzt, daß er bei seiner einfachsten Bewegungsart 16 Schwingungen in einer Sekunde macht, wird er bei der zweiten Bewegungsart 100 Schwingungen machen, wobei man ungefähr Contra-Gis hören wird u. s. w.

L. Euler giebt in *tentam. nov. theor. mus.*, Cap. I, für das 8füßige C 118 Schwingungen in einer Sekunde an, und in einem neuen Aufsatze: *de motu aëris in tubis*, §. 62, in *Nov. Comm. Petrop.*, Tom. XVI, 125 Schwingungen; bei einer an Saiten angestellten Beobachtung von *Marpurg*, die er in der Vorrede zu seinem Versuche über die Temperatur erwähnt, fanden sich ungefähr 124 Schwingungen. Nach der Angabe des Kapellmeisters *Sarti*, welcher für das eingestrichene A 436 doppelte, oder 872 einfache Schwingungen fand, würde das grofse oder 8füßige C beinahe 131 Schwingungen machen. Die Ursache der Verschiedenheit der Angaben liegt darin, weil man ehemahls die Instrumente nicht so hoch zu stimmen pflegte, als jetzt, und auch jetzt sie nicht an allen Orten gleich hoch stimmt. Ich habe hier für das 8füßige C 128 Schwingungen als eine mittlere Zahl angenommen, welches die Bequem-

lichkeit hat, dafs, weil man doch gewöhnlich die Verhältniffe der Töne auf das als Grundton angenommene C zu reduciren pflegt, man jedes C als irgend eine Verdoppelung von 1 anfehen, und also bei den Verhältniffen der Töne fich auch deren absolute Schwingungszahlen mit mehrerer Leichtigkeit zugleich vorftellen kann.

Da durch die fast überall immer mehr zunehmende Höhe der Stimmung für die Ausübung nichts gewonnen wird, fo möchte es wohl am rathsamften feyn, eine folche Tonhöhe, wo die Zahl der Schwingungen in einer Sekunde bei einem jeden C eine Potenz von 2 ift, als *feſte Tonhöhe* anzunehmen; man würde fie vermittelft des hier angegebenen Tonometers an allen Orten fehr leicht, und mit mehrerer Genauigkeit erhalten können, als den von Sauveur vorgeschlagenen feften Ton, welcher durch eine 5 Parifer Fuß lange Orgelpfeife hervorgebracht werden foll, wo aber, weil die specifische Elasticität der Luft durch Wärme und Kälte fich fehr verändert, der Ton nicht immer einerlei Höhe behalten kann. Die hier vorgeschlagene feſte Tonhöhe würde mit der, welche an den meiften Orten gewöhnlich ift, ziemlich genau überein kommen, und nur um ein Weniges niedriger feyn, als die hohe Stimmung, deren man fich an manchen Orten, und, nach der Angabe des Herrn Kapellmeifters Sarti, auch in Petersburg bedient.