

www.e-rara.ch

Geschichte der Künste und Wissenschaften

Geschichte der Physik - von Johann Carl Fischer

Fischer, Johann Carl

Göttingen, 1801-1808

ETH-Bibliothek Zürich

Shelf Mark: Rar 3734

Persistent Link: <https://doi.org/10.3931/e-rara-19190>

Zweytes Kapitel. Meynungen und Entdeckungen in der Lehre von den schwingenden Bewegungen schallender und klingender Körper.

www.e-rara.ch

Die Plattform e-rara.ch macht die in Schweizer Bibliotheken vorhandenen Drucke online verfügbar. Das Spektrum reicht von Büchern über Karten bis zu illustrierten Materialien - von den Anfängen des Buchdrucks bis ins 20. Jahrhundert.

e-rara.ch provides online access to rare books available in Swiss libraries. The holdings extend from books and maps to illustrated material - from the beginnings of printing to the 20th century.

e-rara.ch met en ligne des reproductions numériques d'imprimés conservés dans les bibliothèques de Suisse. L'éventail va des livres aux documents iconographiques en passant par les cartes - des débuts de l'imprimerie jusqu'au 20e siècle.

e-rara.ch mette a disposizione in rete le edizioni antiche conservate nelle biblioteche svizzere. La collezione comprende libri, carte geografiche e materiale illustrato che risalgono agli inizi della tipografia fino ad arrivare al XX secolo.

Nutzungsbedingungen Dieses Digitalisat kann kostenfrei heruntergeladen werden. Die Lizenzierungsart und die Nutzungsbedingungen sind individuell zu jedem Dokument in den Titelnformationen angegeben. Für weitere Informationen siehe auch [Link]

Terms of Use This digital copy can be downloaded free of charge. The type of licensing and the terms of use are indicated in the title information for each document individually. For further information please refer to the terms of use on [Link]

Conditions d'utilisation Ce document numérique peut être téléchargé gratuitement. Son statut juridique et ses conditions d'utilisation sont précisés dans sa notice détaillée. Pour de plus amples informations, voir [Link]

Condizioni di utilizzo Questo documento può essere scaricato gratuitamente. Il tipo di licenza e le condizioni di utilizzo sono indicate nella notizia bibliografica del singolo documento. Per ulteriori informazioni vedi anche [Link]

unsere Zuflucht nehmen, weil jede Andere verschiedene Eindrücke von verschiedenen Richtungen enthält. Zu diesem Ende hat er eine Idee zu einem Stossmesser angegeben.

Herr Parrot selbst hat auf Veranlassung des Herrn Landriani eine eigene Art von Windmesser angegeben.

Zweytes Kapitel.

Meinungen und Entdeckungen in der Lehre von den schwingenden Bewegungen schallender und klingender Körper.

Schall, Klang, Ton.

Ueber den Unterschied zwischen Klang und Geräusch hatten Rameau und alle diejenigen, welche ihm gefolgt sind, ganz unrichtige Begriffe. Sie betrachten den Klang als etwas sehr zusammengesetztes, und behaupten, daß man dabey außer der mit der Zahl 1 übereinkommenden Hauptschwingung auch andere, die mit der natürlichen Zahlenfolge 2, 3, 4, u. s. w. übereinstimmen, allemal zugleich höre. Diesen Irrthum findet man selbst in Sulzer's Theorie der schönen Künste, in Erleben's Naturlehre, und in andern Schriften. Schon Bacon hatte vom Klange und Geräusche weit richtigere Begriffe, und la Grange ^{t)} hat vorzüglich die irrigen Erklärungen mancher Schriftsteller hinreichend widerlegt.

Der

t) Recherches sur la nature et la propagation du son. sect. II. §. 64.

Der allgemeinen Meinung zu Folge, daß die Luft das vorzüglichste Mittel sey, den Schall fortzupflanzen, hatte man die Lehre vom Schalle bey der Lehre von der Luft abgehandelt; allein Hr. Ehladni^{u)} bemerkt, daß andere elastische Körper eben sowohl als die Luft, und manche noch mehr, im Stande seyen zu schallen und den Schall anderer Körper zu verbreiten. Es werde daher schicklicher seyn, diesen Theil der Naturlehre bey der Lehre von der Bewegung abzuhandeln, und zwar zunächst der Lehre von den Pendelschwingungen, mit der sie in naher Beziehung stehe. Ueberhaupt hat die Lehre vom Schalle durch Herrn Ehladni's Bemühungen sehr viele Fortschritte gemacht.

Die meisten Schriftsteller hatten bisher die Töne nach den ihnen zukommenden Verhältnissen der Saitenlängen berechnet. Herr Ehladni führt aber an, daß es ganz der Natur entgegen sey, wenn man irgend eine Eigenschaft der Saiten als Grund der ganzen Tonlehre ansehen wolle, indem viele andere Arten klingender Körper, welche doch eben sowohl, wie die Saiten, Betrachtungen verdienten, sich nach ganz andern Naturgesetzen richteten. Da nun der Vortrag der Tonlehre für alle klingende Körper, ohne Rücksicht auf ihre besondern Schwingungsgesetze, allgemein geltend seyn müsse, so meynt er, daß man die Töne nicht nach den Saitenlängen, sondern nach den Verhältnissen der Anzahl ihrer Schwingungen betrachten müsse. Ueberhaupt theilt Herr Ehladni die ganze Schallehre in vier Haupttheile ab:

In

u) Hindenburg Archiv der reinen und angewandten Mathematik. Heft I. 1794. S. 127. f. Die Akustik. Leipzig. 1802. 4.

In dem ersten Theile betrachtet er die Zeitverhältnisse der schwingenden Bewegungen überhaupt, ohne auf die Eigenschaften und Gestaltveränderungen der zitternden Körper Rücksicht zu nehmen.

Der zweite Theil enthält die Schwingungsgesetze eines jeden elastischen Körpers.

Der dritte Theil handelt von der Verbreitung des Schalls, und

der vierte Theil von der Empfindung desselben vermittelt der Gehörwerkzeuge.

Da es also bey den Tönen auf die Anzahl der Schwingungen der klingenden Körper ankommt, so schlägt Herr Ehladni ein sehr leichtes und einfaches Mittel vor, die absolute Zahl der Schwingungen bey einem jeden Tone sogleich durch den Augenschein zu bestimmen. Es besteht darin, daß man einem klingenden Körper, der überall eine gleiche Dicke und Consistenz hat, eine solche Lage giebt, daß man die Schwingungen bequem zählen und mit den Schwingungen eines Sekundenpendels vergleichen kann, und ihn nachher so weit abkürzt, daß er mit dem zu untersuchenden Tone im Einklange ist; hierauf aber die Länge, bey welcher er diesen Ton giebt, mit der Länge, bey welcher man eine gewisse Zahl der Schwingungen in einer Sekunde abgezählt hatte, vergleicht. Anfänglich vermuthete er, daß eine Saite sich dazu möchte gebrauchen lassen; allein er fand, daß wegen mancher kreisförmigen Bewegungen, die sich unter die schwingenden Bewegungen der Saiten mengen, wie auch wegen der mancherley Schwingungen der aliquoten Theile, die Hauptschwingung der ganzen Saite sich nicht mit der erforderlichen Genauigkeit beobachten ließ.

ließ. Daher wählte er einen schmalen, nicht allzublick-
 fen, aber hinlänglich langen Stab oder Streifen von
 Eisen, Messing oder einem andern hinlänglich elas-
 tischen Metalle. Dieser muß so viel als möglich über-
 all von gleicher Dicke seyn, daher es gut seyn würde,
 ihn vorher durch ein Streckwerk gehen zu lassen. Die
 Streifen oder parallelepipedischen Stäbe, deren sich
 Chiadri bediente, waren etwa 2 Ellen lang, $\frac{1}{2}$ Zoll
 breit, und beynähe 1 Linie dick. Die Ursache, wars
 um ein solcher Stab mehr Breite als Dicke haben
 muß, ist, weil dadurch manche außerdem mit ein-
 tretende Seiten- oder Kreisbewegungen, welche die
 Beobachtungen erschweren würden, vermieden wer-
 den. Einen solchen Stab oder Streifen spannt
 man in einen ganz unbeweglichen Schraubestock so
 weit ein, daß das hervorragende Ende lang genug
 bleibt, um so langsame Schwingungen zu machen,
 daß man sie nicht hören, desto besser aber mit Hülfe
 einer Sekundenuhr, deren Schläge man hört, zäh-
 len 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 viel Schwingungen ein bestimm-
 ter Ton in einer Sekunde macht, so spannt man den
 Stab so weit in den Schraubestock ein, daß das her-
 vorragende Ende kurz genug ist, um eben denselben
 Ton zu geben, worauf man die Zahl der Schwingun-
 gen, welche der gegebene Ton in einer Sekunde macht,
 durch Vergleichung der Größe des kürzern Theils, wel-
 cher diesen Ton gab, mit der Größe des längern Theils,
 dessen Schwingungen man gezählt hat, sehr leicht
 finden kann. Nur ist hiebei zu bemerken, daß bey
 einem Stabe die Töne sich nicht etwa umgekehrt wie
 die Längen, sondern wie die umgekehrten Quadrate

der Längen verhalten. Die Sache kann man sich noch mehr erleichtern, und einen solchen Stab als Maasstab der Schwingungszahlen aller Töne gebrauchen, wenn man ihn im Voraus dazu abtheilt. Hr. Ehladni rath an, 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 zählen 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 nun den Stab von neuem so ein, daß von dem Theile, welcher vorher 16 Schwingungen machte, nur die Hälfte hervorragt, so wird diese Hälfte nunmehr 64 Schwingungen in einer Sekunde machen, und man wird schon einen sehr tiefen Ton hören, welcher mit dem Contra c übereinkommt. Die Hälfte dieser Länge wird 256mal in einer Sekunde schwingen, und man wird das ungestrichene c hören. Eben so wird man bei jeder weitern Verkürzung des Stabes um die Hälfte einen Ton erhalten, der um 2 Oktaven 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 umgekehrt wie die Quadrate der Längen verhalten, und also der Stab nach den Quadratwurzeln der Tonverhältnisse abgetheilt werden muß. Einen so abgetheilten Stab könnte man süglich Tonmesser oder Tonometer nennen.

Es ist schon im Th. IV. S. 254. angeführt worden, daß die gleichschwebende Temperatur diejenige ist, bey welcher die möglichste Annäherung an die Reinigkeit für alle Consonanzen zugleich erhalten wird. Wie diese gleichschwebende Temperatur geometrisch construirt werden könne, hat Moses Mendelssohn in Marburg's historisch-kritischen Beyträgen zur Aufnahme der Musik, im 2ten Stücke des 5ten Bandes, gezeigt.

Außer den bisher bekannten Transversalschwingungen, mit welchen sich in den neuern Zeiten besonders Young *) beschäftigt hat, fand Herr Chladni auch Longitudinalschwingungen bey Saiten. Bey diesen geschehen nämlich abwechselnde Zusammenziehungen und Ausdehnungen der ganzen Saite oder ihrer aliquoten Theile nach der Richtung der Länge, so daß diese sich abwechselnd gegen den andern Schwingungsknoten oder festen Punkt stemmen. Bey der einfachsten longitudinalen Schwingungsart bewegt sich die ganze Saite so, wie diese abwechselnden Strebungen nach entgegengesetzten Richtungen die fig. 41. vorstellt. Bey der zweyten Schwingungsart theilt sich die Saite in zwey gleiche Theile, die sich abwechselnd nach dem in der Mitte befindlichen Stimmungspunkte oder Schwingungsknoten, und nach den festen Enden drängen; bey der dritten Schwingungsart theilt sie sich in drey gleiche Theile, die sich abwechselnd gegen die Schwingungsknoten drängen; bey der vierten Schwingungsart theilt sich die Saite in 4 auf diese Art sich bewegende Theile u. s. w. Die Folge von Tönen verhält

*) Enquiry into the principal phaenomena of sounds and musical strings. Dublin. 1784. 8.

hält sich bey diesen und den übrigen longitudinalen Schwingungsarten wie die natürliche Zahlenfolge 1, 2, 3, 4, 5 u. f.; sie stehen also unter einander in eben solchen Verhältnissen, wie bey den Transversversaltönen.

Zu Hervorbringung dieser Schwingungsarten muß die Saite innerhalb eines schwingenden Theils mit dem unter einem so spitzigen Winkel wie möglich gehaltenen Violinbogen der Länge nach gestrichen werden; es ist auch eben dasselbe, wenn man sie mit Geigenharz bestreicht, und sie sodann mit einem Stückchen Tuch oder einer andern weichen Materie, oder auch mit dem Finger, wenn man ihn etwas mit Harz bestrichen hat, der Länge nach reibt. Um den tiefsten Ton, wo die ganze Saite der Länge nach schwingt, hervorzubringen, muß das Streichen nicht allzuweit von der Mitte geschehen; aber bey den Schwingungsarten, wo sich die Saite in aliquote Theile theilt, ist es rathsam, irgend einen Schwingungsknoten durch Berührung mit einem Finger oder mit einem andern weichen Körper zu dämpfen; das Streichen wird sodann am besten näher bey einem Ende der Saite oder überhaupt innerhalb eines schwingenden Theils geschehen können.

Die Gesetze, nach welchen sich die Höhe und Tiefe der Töne bey diesen Schwingungsarten richtet, sind ganz anders beschaffen, als bey den Transversalschwingungen. Darin kommen beyde mit einander überein, daß die gleichartigen Töne im umgekehrten Verhältnisse der Längen stehen; sie weichen aber darin ganz von einander ab, daß bey den Longitudinalschwingungen auf die mehrere oder mindere Dicke der Saiten und auf die stärkere oder schwächere Spannung fast gar

gar nichts ankommt, desto mehr aber auf die Beschaffenheit der Materie; wie denn z. B. bey gleicher Länge der Saiten die Töne einer Messingsaite ungefähr um eine Serte höher sind, als die Töne einer Darmsaite, und die Töne einer Stahlsaite ungefähr um eine Quarte oder Quinte höher, als die Töne einer Messingsaite. Es läßt sich also kein bestimmtes Verhältniß der Töne zwischen ihnen und den Transversalschwingungen angeben; die Töne sind aber allemal beträchtlich höher, so daß der Unterschied in manchen Fällen mehrere Oktaven betragen kann, weshalb man sich auch zu den Versuchen sehr langer Saiten bedienen muß.

Wenn man Versuche über diese Schwingungsarten mit Stäben anstellen will, so muß man sich solcher bedienen, die so gerade als möglich, etwas lang, und nicht allzudick sind, weil sonst diese Arten des Klanges, welche überhaupt nicht so leicht, wie die Transversalschwingungen, ansprechen, entweder gar nicht, oder nur mit vieler Schwierigkeit sich würden hervorbringen lassen. Ob die Stäbe cylindrisch, prismatisch, oder flach sind, daran liegt nichts; es wird weiter nichts, als eine gerade und hinreichend lange Strecke von elastischer Materie erfordert. Die Oberfläche muß so glatt als möglich seyn, weil dieses viel zur leichteren Ansprache beyträgt. Um diese Bewegungsarten hervorzubringen, halte man den Stab an einer Stelle, wo ein Schwingungsknoten ist, mit zwey Fingern der einen Hand, und streiche einen schwingenden Theil desselben der Länge nach mit einem zwischen den Fingern der andern Hand gehaltenen Stückchen Tuch, oder einer andern weichen Materie, die, wenn der Stab von Glas ist, mit Wasser benetzt,

und mit einem feinen oder scharfen Sande, oder auch mit geriebenem Bimstein bestreuet wird, wenn aber der Stab von Metall oder Holz ist, trocken bleibt, und mit Geigenharz oder anderm Harzstaube bestrichen wird, da man denn auch vorher auf die Oberfläche des Stabes selbst Harz einreiben kann. Glasstäbe, wozu sich lange Barometer: oder Thermometerröhren gut gebrauchen lassen, sprechen am leichtesten an; bey andern, besonders wenn sie nicht dünn und gerade genug sind, ist öfters ein ziemlich starker Druck nöthig. Sollen die Töne nicht sehr hoch seyn, so muß man sich beträchtlich langer Stäbe bedienen.

Ein Stab kann drey verschiedene Folgen von Longitudinalschwingungen annehmen, nachdem er 1. ganz frey, 2. an einem Ende befestigt und an dem andern frey, 3. an beyden Enden befestigt ist. Wenn ein Stab ganz frey ist, so befindet sich bey der einfachsten longitudinalen Schwingungsart, welche den tiefsten Ton giebt, in der Mitte ein Schwingungsknoten; die Bewegung geschieht abwechselnd von den Enden nach der Mitte, und von der Mitte nach den Enden, so daß der Stab sich abwechselnd verlängert und verkürzt. Diese Bewegungsart läßt sich leicht hervorbringen, wenn der Stab in seiner Mitte gehalten, und nicht allzuweit von einem Ende der Länge nach auf die vorerwähnte Art gerieben wird. Bey der folgenden Bewegungsart, wo der Ton um eine Oktave höher ist, sind zwey Schwingungsknoten vorhanden, die ungefähr um den vierten Theil der Länge des Stabes von den Enden entfernt sind; der Stab wird an einem von diesen beyden Schwingungsknoten gehalten, und entweder zwischen diesen beyden, oder allenfalls näher an dem Ende, als bey der vorigen Bewegungsart,

art, gerieben. Bey der dritten Bewegungsart sind drey Schwingungsknoten, einer in der Mitte, die beyden andern in der Entfernung des sechsten Theils von den Enden, der Ton ist wieder um eine Quinte höher, als der zweyte u. s. w. Diese Reihe von Tönen kommt mit der natürlichen Zahlenfolge 1, 2, 3, 4 u. s. w. überein, oder vielmehr, wenn man sie mit der folgenden zusammenstellt, mit den geraden Zahlen 2, 4, 6, 8 u. s. w.

Wenn der Stab an einem Ende in einen Schraubstock eingespannt, oder auf eine andere Art befestigt, und an dem andern frey ist, so verlängert und verkürzt sich bey der einfachsten Bewegungsart der ganze Stab, so daß er abwechselnd nach dem festen Ende und von demselben abwärts strebt. Man streicht ihn der Länge nach in einer nicht allzugroßen Entfernung von dem freyen Ende, ohne ihn sonst irgendwo zu berühren. Der Ton ist um eine Oktave tiefer, als in dem vorigen Falle der tiefste war. Bey dem folgenden Klange ist in der Entfernung des dritten Theils von dem freyen Ende ein Schwingungsknoten, der Ton ist um eine Oktave und eine Quinte höher, als der vorige; bey der dritten Bewegungsart, wo der Ton wieder um eine große Sexte höher ist, sind zwey Schwingungsknoten vorhanden, wovon der äußerste um den fünften Theil der Länge des Stabes von dem freyen Ende entfernt ist, u. s. w.

Wenn der Stab an beyden Enden befestigt ist, welches am besten geschieht, wenn er an seinen Enden in zwey Schraubstöcke gespannt wird, so schwingt bey der einfachsten Bewegungsart der ganze Stab so, daß er sich abwechselnd nach dem einen und nach dem andern festen Ende drängt. Bey der folgenden Bes

wegungsart theilt er sich in zwey Theile, und diese streben abwechselnd nach der Mitte und nach den festen Enden. Der Ton ist um eine Oktave höher, als der vorige. Eben so kann sich auch der Stab in drey Theile, wie auch in vier oder mehrere theilen. Die Tonfolge bey allen diesen Schwingungsarten ist eben: dieselbe, wie in dem ersten Falle, wo der Stab ganz frey ist.

Bei der Vergleichung aller dieser longitudinalen Schwingungsarten findet sich, daß, wenn man einen Theil, der sich an einem freyen Ende befindet, als die Hälfte eines zwischen zwey festen Grenzen enthaltenen Theils ansieht, alle möglichen Töne dieser Art sich umgekehrt wie die Längen der schwingenden Theile verhalten, und im geraden Verhältnisse der Zahlen solcher Haltheile stehen, in welche sich der Stab einteilt.

Bei einerley longitudinalen Schwingungsart verhalten sich die Töne mehrerer aus einerley Materie bestehenden Stäbe umgekehrt wie deren Längen. Auf die Dicke der Stäbe kommt gar nichts an. Desto mehr aber kommt die Verschiedenheit der Materie in Betrachtung. Bei mehreren von Herrn Chladni angestellten Versuchen war der Ton eines 2 rheinländ. Fuß langen Stabes, wenn er an beyden Enden frey war, bey der einfachsten longitudinalen Bewegungsart folgender:

Fischbein gab ungefähr	- -	3 gestrichen	a
Englisches Zinn	- -	- -	h
Silber ungefähr 1 5 löthig	- -	4 gestrichen	d
Nußbaumholz)	- -	- -	f
Zarusholz)	- -	- -	

Mef:

Messing	}	-	-	4 gestrichen	fis
Eichenholz					
Pflaumenbaumholz	}	-	-	-	-
Hönerne Tobackspfeifenstiele					
Kupfer beynabe	-	-	-	-	g
Birnbaumholz	}	-	-	-	gis bis a
Korbhüchen					
Uhorn	}	-	-	-	b
Mahagony (gewöhnliches unächtes) beynabe					
Ebenholz	}	ungefähr	-	-	b
Weißbüchen					
Rüstern	}	-	-	-	h
Erlen					
Birkenholz	}	-	-	-	h
Lindenholz beynabe					
Kirschbaumholz	-	-	-	-	h
Weidenholz	}	-	-	5 gestrichen	c
Kiefernholz					
Glas	}	-	-	-	cis
Eisen					
Lannenholz etwas höher als	-	-	-	-	cis

Mit einer völligen Genauigkeit ließen sich die Töne nicht wohl bestimmen, weil er öfters an denselben Materien Verschiedenheiten von einem halben Töne fand. Alle diese Töne fester Körper seyn übrigens höher, als der Ton einer eben so langen Luftstrecke in einer offenen Pfeife, welcher ohngefähr das ungestrichene c seyn würde. Der Unterschied aller dieser longitudinaltöne fester Körper von den weichsten und zähsten bis zu den sprödesten beträgt nur höchstens etwa eine Oktave und eine große Terz, und wenn er Fischbein und Zinn, die wegen ihrer Weichheit und

Zähigkeit nur einen sehr unvollkommenen Klang geben, ausnahm, betrug der Unterschied kaum eine Oktave. Herr Ehladni glaubt, daß die Verschiedenheit der Töne von der mindern oder mehreren Sprödigkeit abhänge, worunter er hier den Widerstand, welchen die Materie gegen jede Zusammendrückung und Ausdehnung nach der Richtung der Länge aussetzt, versteht; wahrscheinlich verhielten sich die Töne, wie die Quadratwurzeln dieser Sprödigkeit. Da es aber nicht einerley seyn könne, ob bey einem gewissen Grade der Sprödigkeit, die hier als bewegende Kraft anzusehen sey, viel oder wenig Masse in Bewegung gesetzt werde, so vermuthete er, daß die Schwere der Materie auch zur Bestimmung der Höhe und Tiefe der Töne bestrage, und daß diese auch im umgekehrten Verhältnisse der Quadratwurzeln der Schwere stehen möchten. Wenn also Materien von so verschiedenen specifischen Gewichten, wie z. B. Messing, Eichenholz, und thönerne Tobackspfeifenstiele, wie auch Tannenholz, Eisen und Glas, einerley Ton gäben, so müsse der Grund davon wohl in der so sehr verschiedenen Sprödigkeit dieser Materien liegen, so daß in diesem Falle eine dieser Eigenschaften durch die andere compensirt werde. Seines Erachtens müsse also so, wenn n die einer jeden longitudinalen Schwingungsart zukommende Zahl, L die Länge des Stabes, C die Sprödigkeit und G das specifische Gewicht desselben bedeutet, der Ton eines longitudinal schwingenden Stabes seyn $= \frac{n}{L} \sqrt{\frac{C}{G}}$.

Was die Verschiedenheiten der Transversal- und Longitudinalschwingungen betrifft, so stelle sie Herr Ehladni in folgender Tabelle zusammen:

Eigen:

Eigenschaften der Transversal-
schwingungen.

Der Stab wird in die
Quere in Bewegung gesetzt.

Er bildet bey seinen
Schwingungen mancherley
Krumme Linien.

Die Töne verhalten sich
bey den verschiedenen
Schwingungsarten wie die
Quadrate gewisser Zahlen,
z. B. wie die Quadrate von
3, 5, 7, 9, oder 5, 9,
13, 17 u. f. oder von 1, 2,
3, 4 u. f.

Die Töne verschiedener
Stäbe verhalten sich bey ei-
nerley Schwingungsart,
umgekehrt wie die Quadra-
te der Längen.

Sie verhalten sich ferner
wie die Dicke,

wie die Quadratwurzeln
der Steifigkeit d. i. des Wi-
derstandes gegen Biegung,

Eigenschaften der Longitudinal-
schwingungen.

Der Stab wird nach
der Richtung der Länge in
Bewegung gesetzt.

Er zieht sich auf mancher-
ley Art zusammen und dehnt
sich aus nach der Richtung
der Länge.

Die Töne verhalten sich
bey den verschiedenen
Schwingungsarten wie die
geraden Zahlen 2, 4, 6,
8 u. f. oder wie die ungera-
den Zahlen 1, 3, 5, 7 u. f.

Die Töne verschiedener
Stäbe verhalten sich bey ei-
nerley Schwingungsart,
umgekehrt wie die Längen.

Auf die Dicke kommt gar
nichts an, außer daß, wenn
der Stab nach einem Ende
zu merklich dicker ist, dies
ses eine kleine Veränderung
des Tons verursachen kann.

Wahrscheinlich verhalten
sich die Töne, wie die Qua-
dratwurzeln der Sprödig-
keit, d. i. des Widerstandes
gegen Verengerungen und
Erweiterungen nach der
Richtung der Länge.

und

und umgekehrt, wie die | Wahrscheinlich auch um
 Quadratwurzeln der Schwere | gekehrt, wie die Quadrats-
 re. | wurzeln der Schwere.

Außer diesen Longitudinalschwingungen hat Herr Ehladni noch andere entdeckt, bey welchen der Stab, oder die Theile, in welche er sich eintheilt, sich abwechselnd rechts und links in einer schraubens förmigen Richtung so bewegen, als ob sie sich um ihre Aze drehen wollten. Diese Schwingungsarten, welche er im Jahr 1799 bekannt machte, lassen sich am besten an cylindrischen Stäben, die eine recht glatte Oberfläche haben, durch ein fast eben solches Reiben, wie bey den Longitudinalschwingungen, hervorbringen, nur mit dem Unterschiede, daß es nicht nach der Richtung der Länge, sondern links oder rechts in einer drehenden Richtung geschehen muß, wobey man den Stab an einer Stelle, wo ein Schwingungsknoten ist, mit zwey Fingern halten kann. Bisweilen hat auch Ehladni an parallelepipedischen oder vierseitig prismatischen Stäben solche Schwingungen durch Streichen mit dem Violinbogen in einer diagonalen Richtung hervorgebracht.

Die Arten, wie der Stab, er sey ganz frey oder an dem einen Ende befestigt, und an dem andern frey oder an beyden Enden befestigt, sich abtheilen kann, und die in allen diesen Fällen statt findenden Reihen von Tönen, wie auch die übrigen Gesetze, nach welchen sich die Höhe und Tiefe der Töne richtet, sind ganz eben dieselben, wie bey den Longitudinalschwingungen, nur sind beyde darin verschieden, daß der Ton bey einer jeden Art von drehenden Schwingungen um eine Quinte tiefer ist, als bey gleichartigen Longitudinalschwingungen.

Was

Was die merkwürdige Erscheinung der sogenannten Aeoloharfe oder Wetterharfe betrifft, so beruhen ihre Töne vorzüglich auf Transversalschwingungen, ob man gleich vermuthet hat, daß vielleicht Longitudinalschwingungen die Ursache hiervon seyn möchten. Gewöhnlich wird Kircher für den Erfinder der Windharfe angegeben. Das Ideal aber, durch ein Saitenspiel, dem Winde ausgesetzt, harmonische Töne hervorzubringen, ist seit Kircher's Zeiten wenig oder gar nicht ausgeführt worden, bis endlich um das Jahr 1780 in England wieder daran gedacht worden ist. Lichtenberg giebt aus William Jones^{y)} im Göttingischen Taschenkalender 1789. S. 129. f. folgende Nachricht davon: Pope hatte im Eustathius bemerkt, daß der Wind, wenn er auf gespannte Saiten stößt, harmonische Töne hervorbringe. Dadurch ward ein Schottischer Componist, Oswald, veranlaßt, die Sache zu versuchen, hörte endlich nach vielen vergeblichen Versuchen seine lauten Töne, als sie an die Oeffnung eines nur etwas gelüfteten Aufschiebenseiters gelegt war, und zog daraus den Schluß, daß alles auf einen dünnen, aber breiten Luftstrom ankomme. Er spannte also in einem schmalen, etwas hohen und langen Kasten von trockenem Tannenholze, welcher unten einen Resonanzboden hat, über zwey Stege, die nahe an den schmalen Enden einander gegen über liegen, 8 bis 10 Darmsaiten, alle im Einklange nicht allzustraff auf. Eine der breiten Saiten läßt sich aufschieben, so daß man einen dünnen, aber breiten Luftstrom quer auf die Saiten leiten kann. Um diesem den Durch-

gang

y) Physiological disquisitions or discourses on the natural philosophy of the elements. Lond. 1781. 4.

gang zu verschaffen, kann der obere schmale Boden wie ein Pultdeckel aufgehoben werden, der an beyden Seiten noch Flügel hat. So eingerichtet wird das Instrument mit der Oeffnung am Schieber dem Winde ausgesetzt. Sobald dieser durchzieht, tönt es; die tiefsten Töne sind die des Einklanges, aber so wie sich der Wind mehr erhebt, entspringt eine Mannichfaltigkeit entzückender Töne, die alle Beschreibung übertrifft.

Ferner hatte Herr Hauptmann Haas zu Basel aus seinem Gartenhause 15 Eisendräthe über dem Garten hin nach dem Hofe gespannt, die 320 Fuß lang sind. Sie stehen ungefähr 2 Zoll von einander ab; die dicksten haben 2 Linien im Durchmesser, die mittleren $1\frac{1}{2}$, und die dünnsten sind 1 Linie stark. Sie liegen in der Mittagsfläche, machen mit dem Horizont einen Winkel von 20 bis 30 Grad, und sind durch Walzen mit Stirnrädern und Sperrhaken stark gespannt. Bey jeder Veränderung des Wetters tönen diese Saiten; bald glaubt man den Ton eines Theekessels zu hören, ehe das Wasser darin siedet, bald eine Harmonika, bald ein fernes Geläute, bald eine Orgel. Oft wird das Getöne so stark, daß das Concert im Gartensaale dadurch gestört wird. Herr Haas hat dieser Wirkung wegen der Vorrichtung den Nahmen Wetterharfe gegeben.

Der eigentliche Erfinder dieser ganz eigenen Vorrichtung ist der P. Bentan, Probst zu Brückli unweit Basel. Dieser schoß zuweilen aus dem Fenster nach einer Scheibe, mochte aber nicht nach jedem Schusse zur Scheibe gehen, und hieng sie daher an einem langen Eisendrathe auf, um sie daran herbey und wieder zurückziehen zu können. Nun bemerkte

te er des Nachts, daß dieser Drath zuweisen könnte. Er ward aufmerkamer darauf, und fand, daß jeder Eisendrath, wenn er mit der Mittagslinie parallel gespannt wird, bey jeder Aenderung des Wetters Töne von sich gebe. Messingdrath könnte nicht, eben so wenig Eisendrath von Osten nach Westen ausgespannt.

Lichtenberg sucht die Ursache dieser Erscheinung entweder in der Bewegung der Luft, oder in der Veränderung der Dräthe durch Hitze und Kälte, oder in der verschiedenen Spannung derselben durch Feuchtigkeit, welche auf das Gebäude wirkt, woran sie fest gemacht sind. Alle diese Ursachen können seiner Meinung nach stoßweise wirken. Das regelmäßige Knallen der Ofenplatten und der eisernen Ofenthüren bey dem Einheizen und Erkalten zeige, daß die Ausdehnungen bey dem Eisen ruckweise erfolgen, wodurch ein Prallen und ein Ton entstehen könne, welcher bey dem empfindlichern Messinge, dessen Ausdehnung steter sey, nicht statt finde. Vorzüglich müsse man aber die Bewegung der Luft beabsichtigen, welche auch kleine Zweige oder Halmchen in Schwingungen bringe, mithin auch lange Saiten durch wellenförmige Bewegungen tönen machen könne. Daß von der Spannung von Osten nach Westen kein Ton entstanden sey, beweise noch nichts für einen vermutheten Magnetismus, bis erst ausgemacht sey, ob alle übrige Umstände gleich gewesen, welches kaum zu erwarten stehe.

Herr Young ²⁾ stellte neue Untersuchungen über dieß reizende Instrument an, um eine Theorie darüber zu entwerfen. Um alle Ungewißheit in Absicht der Töne

2) An enquiry into the principal phaenomena of sounds and musical strings. Lond. 1784. 8.

Töne zu heben, nahm er alle Saiten bis auf eine einzige ab, und setzte das Instrument in die erforderliche Lage. Er war nicht wenig verwundert, eine Menge verschiedener Töne zu hören, nicht selten solche, die ihm durch einen aliquoten Theil der Saite erzeugt schienen, ja oft von der einzigen Saite Akkorde von 2 oder 3 Tönen, und schon gab er die Hoffnung auf, diese außerordentliche und verwickelte Erscheinung aus den Grundsätzen aliquoter Theile erklären zu können, als sich bey einer genauern Untersuchung zeigte, daß sie sich daraus leicht und natürlich ableiten ließ.

Wenn der Luftzug auf eine gespannte elastische Saite stößt, so bringt der Theil des Zuges, der auf die Mitte der Saite trifft, die ganze Saite aus ihrer geradlinichten Lage; da aber ein gewöhnlicher Luftstrom nicht in gleicher Stärke lange anhält, so wird der Luftzug in der Regel die Saite nicht in der gekrümmten Lage erhalten können, da sie denn vermöge ihrer Elasticität zurückschnellt, und in Schwingungen geräth, wodurch die Luft in solche Pulsationen versetzt wird, um im Ohre den Ton der ganzen Saite hervorzubringen. Ist dagegen der Luftstrom zu stark, als daß die gekrümmte Saite zurückschnellen könnte, so bleibt sie zwar in ihrer bauchigen Lage, gleich dem Takelwerke eines Schiffs bey heftigem Winde, und kann nicht mit ihrer ganzen Länge schwingen; dafür können aber aliquote Theile derselben in Schwingung kommen, und zwar aliquote Theile von verschiedener Länge, je nachdem der Luftzug stärker oder schwächer ist. Denn, indem die Geschwindigkeit des Luftstroms so zunimmt, daß er die Schwingungen der ganzen Saite hemmt, wirken die Lufttheilchen,

chen, welche gegen die Mitte der Hälfte stoßen, gerade so auf die Hälfte der Saite, als im Falle der sympathetischen oder mithallenden Töne. Die Schwingungszeit der Hälfte ist nur halb so groß, als die der ganzen Saite, daher ein Luftstrom, um ihre Schwingungen zu hindern, nicht mehr Macht hat, als er gegen die ganze Saite haben würde, wenn ihre Spannung 4mal größer wäre, weshalb sie (bey etwas schwellendem und wieder nachlassendem Luftströme), ungeachtet die ganze Saite gespannt bleibt, stark genug in Schwingung kommen können, um Pulsationen zu erregen, welche das Trommelfell des Ohres afficiren. Dasselbe gilt von andern aliquoten Theilen der ganzen Saite.

Die Wirkung des Windes, wenn er über Getreideselder hinsfährt, kann dazu dienen, dieses zu erläutern. Ist der Wind so schnell, daß ein zweyter Stoß kommt, ehe der gebogene Halm sich in die senkrechte Lage zurückbringt; so scheint dieser immerfort gebogen zu seyn. Nimmt aber der Wind an Geschwindigkeit und Stärke ab, so kann der Halm eine Schwingung vollenden, bevor er aufs neue gebogen wird, und so wird er sich bey dem Stöße des Windes vorwärts und zurück beugen.

Die Lufttheilchen, welche gegen die Saite an Stellen, die nicht in der Mitte aliquoter Theile liegen, stoßen, unterbrechen und verhindern eins die Schwingung, welche das andere erzeugt, gerade wie im Falle der sympathetischen und mithallenden Töne, und haben deshalb keine empfindbare Wirkung. Folgende Beobachtungen können dazu dienen, die Richtigkeit dieser Erklärung zu bestätigen.

1. Der Grundton der Saite war das große F, die aeolischen Töne, die von lauter aliquoten schwingenden Theilen der Saite erzeugt werden, wurden deutlich gehört.

2. Während die Saite einen Ton von sich gab, hielt er gegen die Stelle derselben, welche der Theorie gemäß für jenen Ton ein Schwingungsknoten seyn mußte, irgend ein Hinderniß, und der aeolische Ton wurde dadurch nicht gehemmt, indeß er augenblicklich erlosch, wenn man das Hinderniß oder die Dämpfung an einen andern Punkt der Saite anbrachte; ein offenkundiger Beweis, daß beym Aeolstone in der That aliquote Theile der Saite für sich in Schwingung sind.

3. Als er umgekehrt an den Endpunkt eines aliquoten Theils der Saite einen sanften Druck anbrachte, erzeugte der Luftzug gerade den aeolischen Ton, den jener aliquote Theil angeben mußte; und so ließ es sich vorher bestimmen, welchen Aeolston man hören würde. Doch erfolgte der Ton nicht immer, da der Luftzug bald zu stark, bald zu schwach seyn mochte, um gerade diesen aliquoten Theil der Saite so stark in Schwingungen zu bringen, daß er tönte. Da aber der Druck an der angebrachten Stelle nothwendig einen Schwingungsknoten erzeugt, so kann wenigstens kein anderer Ton, als der des bestimmten aliquoten Theils, oder eines aliquoten Theils dieses aliquoten Theils erfolgen.

4. So wie der Windstoß zu- oder abnimmt, steigt und fällt allmählig der Aeolston, indem ein stärkerer Windstoß die Schwingungen der längern aliquoten Theile hemmt. Dann prädominiren die Schwingungen der kürzern aliquoten Theile, und zwar immer kürzerer, so wie der Windstoß allmählig anwächst.

Bers

Verändert sich die Stärke des Luftstoßes plötzlich, so gehen auch die tiefern Töne nicht so stufenweise, sondern plötzlich in die höhern Töne kürzerer aliquoter Theile über.

5. Mannichmal hat man einen Accord von 2 oder 3 Neolstönen zugleich. Dann hat der Lufthauch gerade eine solche Stärke, daß er zwey oder drey in der Länge nicht sehr verschiedene aliquote Theile mit den kürzern aliquoten Theilen zugleich in Schwingungen setzt, die sich dann nicht so stören und gegenseitig aufheben, als wenn die Länge der aliquoten Theile und ihre Schwingungszeit beträchtlich verschieden sind. Nie geben lange Saiten ihren Grundton und die Oktave desselben zugleich an, was von der Grund unstreitig darin liegt, daß, ungesachtet beyde in der Reihe der harmonischen Töne unmittelbar auf einander folgen, ihre Schwingungszeit doch so verschieden ist, daß ein Luftstrom, der eine Schwingung bewirkt, nothwendig die andern hemmen muß. Ueberhaupt hört man nur bey den höhern aliquoten Theilen der Saite Accorde, und sie kommen desto häufiger vor, je höher der Ton ist, wo diese aliquoten Theile minder von einander verschieden sind.

6. Oefters lassen sich zwar Neolstöne hören, welche von keinem genauen aliquoten Theile der Saite herrühren; allein sie sind nur schnell vorübergehend, indem sie bis zum nächsten von einem genauen aliquoten Theile erzeugten Tone steigen oder sinken. Sie entstehen beyhm Uebergange aus einer Eintheilung der Saite in eine andere, indem während desselben die schwingenden Theile der Saite sich allmählig verlängern oder verkürzen. Wenn z. B. der Neolston den Dritteln der Saite gehört, und der Luftstrom sich

so ändert, daß er die Oktave des Grundtons an giebt, so müssen die Schwingungsknoten allmählig auf der Saite fortrucken, wobei ein sehr allmähliges Sinken des Tons statt findet, bis er sich mit der Oktave des Grundtons endigt.

7. Nicht selten geben im Unifono gestimmte Saiten der Aeolsharfe Mischharmonien an. Auch dieses erklärt sich auf dieselbe Art, da durch aliquote Theile einer Saite unendlich viel Discorde entstehen können.

Nach der Meynung des Herrn Hindenburg^{a)} ist die Wetterharfe ein Instrument, welches Longitudinalschwingungen hervorbringt, und zugleich an Länge und Dicke der Saiten alle andere besaitete Instrumente übertrifft, welche ihre Töne durch Lateralschwingungen hervorbringen. Allein Herr Ehladni bemerkt, daß diese Schwingungsart hiebey offenbar nicht statt finde.

Eine andere hieher gehörige merkwürdige Erscheinung, welche auf eine zufällige Art wahrgenommen wurde, führt zuerst Herr de Lüc^{b)} an. Man beobachtet nämlich bey den Lampen mit brennbarer Luft, wenn man den Schnabel einer solchen Lampe in das Innere einer langen und engen Glasglocke bringt, einen sehr deutlichen Ton. Uebrigens erklärt er dieses Phänomen für eine Schwingung der Luft in der Glocke, welche durch eine schnelle Folge der Bildung reiner sehr ausgedehnter Dünste und ihrer plötzlichen Zers

a) Archiv der reinen und angewandten Mathematik. Heft I. 1794. 8. S. 128.

b) Neue Ideen über die Meteorologie. B. I. S. 138. S. 200.

Zerstörung hervorgebracht wird. Er vergleicht es mit dem Singen, das dem Kochen des Wassers vorhergeht, und von Reiben von Dampfbblasen erzeugt wird, die sich von dem Boden des Gefäßes erheben und sich inwendig in dem Wasser endigen. Die abwechselnde Bildung und Zerstörung dieser Blasen veranlaßt Stöße des Wassers gegen sich selbst in den kleinen durch die zerstörten Dünste leergelassenen Räume. Diese Reiben sind anfänglich kurz, sehr klein, und die Töne alsdann sehr fein; allmählig aber werden sie dicker und länger, und die Töne tiefer; wenn sie bis zur Oberfläche des Wassers ohne Abnahme an Volumen kommen, so ändert das Geräusch seine Natur, und das Wasser kocht. Auf eine ähnliche Art wird der Ton der Brennlustlampen erzeugt, der also kein Klingen der Glocke ist, sondern zu den Pfeisentönen gehört, und sich eben so, wie diese, modifizirt.

Herr Hermstäedt ^{c)} ward dadurch veranlaßt, den Versuch durch eine Entwicklung des brennbaren Gas anzustellen, welcher nachher von Mehreren wiederholt worden ist. Nach Herrn Scherer gelingt er am besten auf folgende Art: Man entwickelt brennbare Luft, etwa aus Zink und verdünnter Salzsäure, in einer Entbindungsflasche, die gegen 8 Zoll Höhe hat. Die Mündung der Flasche wird sehr genau mit einem Kork verschlossen, durch welchen vorher eine 4 bis 6 Zoll lange gewöhnliche Barometeröhre, an beyden Enden offen, gesteckt ist. Diese Röhre darf unter dem Kocke nur $\frac{1}{2}$ Zoll weit in die Flasche hineinreichen, damit sie nicht von der aufwallenden Flüssigkeit

c) Crells chemische Annalen 1793. B. I. S. 335.

sigkeit erreicht werden könne. Man zündet nun den Strom von brennbarer Luft, der bey der Entwickelung aus der Oeffnung der Barometeröhre hervordringt, mit einem Lichte an. Hiebey ist aber die größte Vorsicht anzuwenden, daß man diesen Strom nicht zu zeitig anzünde, weil er anfänglich noch mit der in der Flasche befindlichen atmosphärischen Luft vermischt herauskommt, und eine Knallluft bildet, deren Entzündung eine gefährliche Explosion verursachen würde. Erst nach einiger Zeit, wenn die brennbare Luft rein entweicht, kann man sie ohne Gefahr anzünden, da sie denn anfangs mit einer lebhaften Flamme, nach und nach aber mit einer schwächern, beim Tageslicht kaum bemerkbaren, brennt. Nun hält man über diese Flamme einen Glaszylinder, der am obern Ende verschlossen ist; er kann 2 bis 4 Zoll Durchmesser, und 12 bis 14 auch noch mehr Zoll Höhe haben. Man hört bald einen Ton, der oft sehr laut und durchdringend wird, und verschieden ausfällt, je nachdem man den Cylinder hält, oder ihn tiefer über die Flamme herabbringt. Auch ändert sich der Ton, wenn man die Fingerspitzen in die Oeffnung des Cylinders bringt. Doch müssen die Wände des Cylinders vollkommen trocken seyn. Hält man ihn zu frühzeitig über die Flamme, indem sie noch zu lebhaft brennt, so wird die innere Wand von dem entstehenden Wasserdunst belegt, und man ist nicht mehr im Stande, den Ton hervorzubringen.

Herr Prof. Trommsdorf ^{d)} las am 3. Dec. 1794 in der Versammlung der Kurmainzischen Akademie nützlich. Wissenschaften in Erfurt eine Abhandlung darüber vor, in welcher er urtheilt, das Phänomen

sey

d) Erfurter gelehrte Zeit. 1794. 58. Stück. S. 457. f.

sey noch nicht befriedigend zu erklären. Er bemerkte hiebei, daß die Flamme sich zuspitzt, sobald der Klang entsteht. Eine lange Glocke, oben mit einer Oeffnung, gab verschiedene Töne, je nachdem die Oeffnung zugehalten oder offen gelassen ward. Auch Herr Trommsdorf leitet den Ton aus dem Vacuum her, das immer durch frische Luft ersetzt werde, glaubt aber, da innere Luft und Glas erwärmt, und von der äußern Luft wieder abgekühlt werden, so möge im Glase eine Vibration entstehen. Daß andere Flammen den Ton nicht erzeugen, liege vielleicht an der Luftsäure, die alle Vibration hindere, oder daran, daß die Vibrationen zu stark werden, und die äußere Luft die Spannung nicht aufheben könne, wie bey heißen Glocken, wobey der Versuch auch nicht gelinge.

Herr Ehladni bemerkt aber: daß das Gefäß der klingende Körper nicht seyn könne, erhelle schon daher, weil durch Umwicklung und Festhaltung, wie auch durch mehrere und mindere Dicke des Gefäßes, der Klang nicht im mindesten geändert oder vermindert werde. Es geschehe hiebei vielmehr nichts anders, als daß durch die Flamme, und durch die Störung des sich entwickelnden Gas, vielleicht auch durch ein fortdauerndes Einströmen der atmosphärischen Luft von unten (um den leeren Raum zu ersetzen, welcher durch die bey dem Verbrennen geschehende Verwandlung des mit dem Wasserstoffgas sich verbindenden Sauerstoffgas in Wasserdämpfe entsteht), die in dem Gefäße enthaltene Luftsäule der Länge nach in zitternde Bewegung gesetzt wird, welche longitudinale Zitterung der Luft man stark genug fühle, wenn man unter die Oeffnung des Gefäßes einen Fingers halte. Es finden hiebei ganz eben dieselben Gesetze statt, wie bey Orgelpfeifen und Blasinstrumenten,

ten, der Ton ist auch allemal ganz derselbe, als wenn man hineinbläst. Bey einem an beyden Seiten offenen Gefäße ist der tiefste Ton um eine Oktave höher, als bey einem, welches nur unterwärts offen ist, weshalb man auch an einer Röhre, die an beyden Enden offen ist, durch Verstopfung des obern Endes oder Zubalten desselben mit der Hand den Ton um eine Oktave erniedrigen kann. Durch Verengerung der untern Oeffnung, z. B. durch Unterhalten eines oder zweyer Finger, läßt sich der Ton etwas erniedrigen. Die Töne verhalten sich übrigens bey einerley Schwingungsart wie die Längen der Röhren oder Gefäße; auf die Weite kommt nichts an. An solchen Röhren, die eine beträchtliche Länge, aber wenig Weite haben, gelang es dem Herrn Ehladni einigemal, die zweite, wie auch einmal, die dritte Schwingungsart hervorzubringen; die mögliche Folge von Tönen verhält sich dabey an Röhren, die nur an einem Ende offen sind, wie die Folge der ungeraden Zahlen, und an solchen, die an beyden Enden offen sind, wie die Folge der geraden Zahlen. An gläsernen Gefäßen ist der Klang gewisser Maassen der Harmonika ähnlich, daher man auch dieser Vorrichtung den Nahmen chemischer Harmonika gegeben hat; aber an Röhren von Messingblech fand Ehladni den Klang weit rauher und schnarrender, so wie überhaupt bey Blasinstrumenten der Klang durch das Mitzittern des Instruments verschiedentlich modificirt wird. Durch eine andere Art von Flamme läßt sich nach Herrn Ehladni deswegen kein Klang hervorbringen, weil außerdem nicht zugleich eine solche Strömung, wie hier bey dem sich entwickelnden Gas, statt findet, und weil auch eine andere Flamme schwerlich so anhaltend ruhig und gleichförmig seyn könne.

Was

Was die Schwingungen gekrümmter Stäbe betrifft, so hat diese ebenfalls Herr Chladni zuerst untersucht. Die Schwingungen einer Gabel, d. i. eines Stabes, welcher in der Mitte so gekrümmt ist, daß seine beyden Schenkel mit einander parallel gehen, sind von den transversalen Schwingungen eines geraden Stabes, dessen beyde Enden frey sind, nicht wesentlich verschieden, und können durch Vergleichung beyder am besten beurtheilt werden. Wenn man einen geraden Stab nach und nach krümmt, so läßt sich der allmähliche Uebergang der Schwingungen und Tonsverhältnisse desselben zu den Schwingungen und Tonsverhältnissen einer Gabel leicht beurtheilen. Durch die Biegung werden nämlich die zwey Schwingungsknoten, zwischen welchen sich die Biegung befindet, einander näher gerückt. Jeder Ton wird dadurch tiefer, als er bey eben der Zahl von Schwingungsknoten an einem geraden Stabe seyn würde, so daß die an geraden Stäben mit den Quadraten der Zahlen 3, 5, 7, 9 u. s. w. übereinkommende Tonfolge in eine ganz andere übergeht. Bey der einfachsten Bewegungsart einer Gabel schwingen beyde Schenkel gegen einander und von einander, so daß sie abwechselnd die Gestalten (fig. 42.) *opgqf* und *bphqm* annimmt, diese Bewegungsart ist von der ersten Bewegungsart eines geraden an beyden Enden freyen Stabes nicht wesentlich verschieden; nur ist die Ase, auf welche die krumme Schwingungslinie Beziehung hat, verändert, und die beyden Schwingungsknoten *p* und *q* sind einander so genähert, daß man sie ohne genauere Aufmerksamkeit fast für Einen Schwingungsknoten halten sollte. Der Ton ist ungefähr um eine kleine Serte tiefer, als der tiefste Ton ebendesselben Stabes, wenn er gerade und ganz frey ist. Eine Schwin-

gungsart, wo drey Schwingungsknoten sind, nämlich einer in der Mitte, und an jedem Schenkel einer, findet an einer Gabel gar nicht statt. Bey der zweyten Schwingungsart einer Gabel sind vier Schwingungsknoten vorhanden, nämlich in der Mitte zwey sehr nahe bey einander, und an jedem Schenkel einer; der Ton ist um zwey Oktaven und eine übermäßige Quinte höher, als bey der ersten Schwingungsart. Der erste Ton verhält sich nämlich zum zweyten, wie das Quadrat von 2 zum Quadrate von 5, oder wie 4 zu 25; er paßt aber nicht in die Progression der Töne bey den folgenden Schwingungsarten, welche sich, von der zweyten angerechnet, wie die Quadrate der Zahlen 3, 4, 5, 6, 7, u. s. w. verhalten. Bey der dritten Schwingungsart sind fünf Schwingungsknoten, einer in der Mitte, und an jedem Schenkel zwey; der Ton ist um eine kleine Septime 9:16 höher, als der zweyte. Bey der vierten Schwingungsart, wo die Höhe des Tons wieder beynabe um eine kleine Sexte zunimmt, sind sechs, bey der fünften, wo der Ton wieder um eine verminderte Quinte höher ist, sind sieben Schwingungsknoten u. s. w. Die Progression von Tönen hat Herr Ehladni zur leichtern Uebersicht in folgende Tabelle gebracht:

Zahl der Schwingungsknoten	2	3	4	5	6	7	8
Töne	c	fehlte	\equiv gis	\equiv fis	\equiv d	\equiv gis	\equiv cis
Zahlen, mit deren Quadraten	(2)	(3)					
die Töne übereinkommen			3	4	5	6	7

Diese Reihe von Tönen, von der zweyten Schwingungsart angerechnet, ist dieselbe, als von der dritten Schwingungsart eines solchen Stabes angerechnet, der gerade und an beyden Enden angestimmt wäre.

wäre. Auch sind die Töne bey den Schwingungsarten, wo in der Mitte zwey Schwingungsknoten sehr nahe bey einander sind, eben dieselben, wie die Töne eines an dem einen Ende befestigten Stabes, nur um zwey Oktaven höher; die Ursache liegt nach Herrn Ehladni darin, daß bey diesen Schwingungsarten beyde Schenkel der Gabel sich so gegen einander stemmen, daß jeder eben so schwingt, wie ein gerader Stab, dessen eines Ende befestigt ist.

Zu Versuchen schicken sich parallelepipedische Stäbe, nämlich schmale Streifen von Eisen oder Messing, denen man die gehörige Biegung gegeben hat, am besten; die verschiedenen Schwingungsarten lassen sich leicht durch Streichen mit dem Violinbogen am Ende eines Schenkels, wobey man die Gabel an einem ihrer äußersten Schwingungsknoten locker zwischen zwey Fingerspitzen hält, hervorbringen; die Schwingungsknoten kann man durch aufgestreuten Sand, welcher auf denselben ruhig bleibt, und von andern Stellen durch die Schwingungen herabgeworfen wird, sichtbar machen.

Euler (Th. IV. S. 257.) hatte behauptet, daß die Töne eines Ringes in den Verhältnissen 1, $\sqrt{6}$, $\sqrt{50}$, $\sqrt{105}$, $\sqrt{196}$ u. s. stehen sollen. Am Ende seiner Abhandlung: *investigatio motuum, quibus laminae et virgae elasticae contrimescunt*, in Actis Acad. Petrop. pro an. 1779. giebt er die Quadrate 1, 2, 3, 4. u. s. w. als die Tonfolge eines elastischen Ringes an, welches auch Golvolin^e) zu bestätigen gesucht hat. Allein Herr Ehladni bemerkt, daß diese Behauptungen mit der Erfahrung nicht zusammenstimmen.

e) Acta Acad. Petrop. pro ann. 1781. P. II.

men. Er hat auch hier zuerst gezeigt, daß sich ein Ring bey seinen Schwingungen in 4, 6, 8, 10 oder mehrere gleiche Theile eintheilt, und daß sich die Töne, deren er fähig ist, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 u. s. w. verhalten. Zu Versuchen kann man einen etwas starken Messingdrath, der an seinen Enden mit Schlagloth sauber zusammengelöthet ist, am besten gebrauchen. Um jede verlangte Bewegungsart hervorzubringen, legt man den Ring an drey Stellen, wo Schwingungsknoten sind, auf etwas zusammengesdrehtes Papier, oder starken Bindfaden, oder auf andere nicht allzuharte Unterlagen, drückt ihn, damit er sich nicht verrücke, an solchen Stellen mit den Fingern, aber nicht allzustark, auf die Unterlagen, und streicht mit dem Violinbogen die Mitte eines schwingenden Theils. Die Schwingungen werden weit leichter hervorgebracht werden können, wenn der Ring bey der hier angegebenen horizontalen Lage mit dem Violinbogen senkrecht gestrichen wird, so daß die Schwingungen auf- und niedergehen, als wenn man ihn in der Richtung seines Durchmessers streicht, weil wegen der gewölbten Gestalt des Ringes jeder Theil von außen nach innen sich so gegen die andern stemmt, daß die schwingenden Bewegungen nach dieser Richtung dadurch erschwert werden, weßhalb auch, wenn man durch ein stärkeres Streichen eine Bewegung nach dieser Richtung erzwingt, die Töne etwas rauher und höher ausfallen, als wenn man senkrecht streicht. Um den Ring gehörig senkrecht streichen zu können, wird es am besten seyn, wenn man ihn auf einen Tisch auf seine Unterlagen so legt, daß der schwingende Theil, den man streichen will, etwas über den Rand des Tisches hervorragt.

Ein Ring, dessen tiefster Ton das ungestrichene c ist, wird bey seinen übrigen Schwingungsarten folgende Töne geben:

Zahl der Schwingungsknoten	4	6	8	10	12	14
			=	=	=	=
	c	fis	fis	—	dis	—
					a	dis

Zahlen, mit deren Quadraten

die Töne übereinkommen	3	5	7	9	11	10
						u. s. w.

Alles dieß hier angeführte ist eigentlich nur von Ringen, deren Dicke und Breite nicht sehr beträchtlich von einander verschieden ist, zu verstehen. Ein Ring, der in der Richtung seines Durchmessers beträchtlich ausgedehnt, und nach der andern dünn ist, würde mehr als eine runde in der Mitte durchlöcherete Scheibe, und ein Ring, der nach der Richtung seines Durchmessers nur dünn, und nach der diesem rechtswinklicht entgegengesetzten Richtung beträchtlich ausgedehnt ist, würde als Röhre angesehen werden können.

Außer diesen bisher angeführten Erfindungen hat Herr Ehladni noch weit mehrere Entdeckungen in der Lehre vom Schalle gemacht, und dadurch zugleich die alte Meynung widerlegt, daß das Wesen des Klanges in den Schwingungen der kleinsten Theile des klingenden Körpers bestehe. Schon im Jahr 1787. hatte er Mittel aufgefunden, die Schwingungsbeugungen bey klingenden Flächen auch sichtbar zu machen, und die ruhenden Stellen durch Klangfiguren darzustellen^{f)}. Hiebey kommen nicht krumme Schwingungslinien, sondern krumme Flächen, die nach mehr als Einer Richtung auf verschiedene Art gekrümmt sind,

f) Entdeckungen üb. die Theorie des Klanges. Leipz. 1787. 4.

sind, vor, bey welchen die auf entgegengesetzten Seiten der Ure befindlichen Theile nicht durch feste Punkte, sondern durch feste Linien, welche man auch Knotenlinien nennen kann, von einander abgesondert sind. Zur deutlichen Darstellung einer jeden Schwingungsart, deren eine Scheibe fähig ist, wird erfordert, daß man eine oder mehrere Stellen, die in Ruhe bleiben, mit den Fingern oder auf eine andere Art hält, den Rand der Scheibe an einer Stelle, wo ungefähr die Mitte eines schwingenden Theils ist, mit dem Violinbogen rechtwinklicht streicht, und wenn man verlangt, daß die Knotenlinien sichtbar werden sollen, auf die horizontal gehaltene Oberfläche der Scheibe etwas Sand streuet, welcher von den schwingenden Theilen weggeworfen wird, auf den festen Linien aber ruhig bleibt, und sich anhäuft. Man kann sich gläserner oder metallener Scheiben bedienen. Gläserne Scheiben zieht Herr Chladni deswegen vor, weil man sie leichter von gleichförmiger Dicke haben kann, als Scheiben von Messing oder einem andern Metalle, und weil man auch wegen ihrer Durchsichtigkeit besser bestimmen kann, wo man etwa noch unterwärts irgend eine Stelle mit dem Finger berühren könne. Dünne Scheiben sind besser zu gebrauchen, als dickere, weil auf den dünnern sich mehrere Schwingungsarten mit Leichtigkeit hervorbringen lassen. Geschliffenes Glas hat er nicht besser als gewöhnliches Fensterscheibenglas gefunden, weil an geschliffenem Glase zwar jede Oberfläche eben ist, aber beyde Oberflächen selten genau mit einander parallel sind. Die Schärfen des Randes müssen mit einer Feile oder auf andere Art abgestumpft werden, damit die Haare des Bogens nicht zerschnitten oder abgerieben werden. Die Größe der Scheiben ist willkürlich; die kleinsten können etwa

etwa 3 Zoll im Durchmesser seyn, die größten, deren sich Chladni bediente, waren etwas über 1 Dresdener Elle im Durchmesser. Kleinere Scheiben sind zu den einfachern Schwingungsarten besser zu gebrauchen; an größern aber kann man bey gehöriger Uebung die Hervorbringung der verwickeltern Schwingungsarten weiter treiben. Die Stellen, wo man bey jeder Schwingungsart halten und streichen muß, lassen sich am besten durch ein richtiges Augenmaaß bestimmen; eine genaue Abmessung der Scheibe wird nicht leicht von Nutzen seyn, weil eine Scheibe doch selten an allen Stellen eine so gleichförmige Dicke und Elasticität haben möchte, daß eine solche Abmessung ganz genau zutreffen sollte. Hat man die Stelle, wo gehalten werden muß, nicht genau genug getroffen, so wird man, wenn die Klangfigur etwas unvollkommen erscheint, durch eine kleine Verrückung der Figur leicht etwas nachhelfen können. Hat man etwa zufällig eine Figur erhalten, die man für interessante hält, und gern ein andermal wieder erhalten möchte, so ist es rathsam, die Stellen, wo man gehalten oder gestrichen hat, auf irgend eine Art zu bezeichnen. Die Haltung der Scheibe geschieht am besten mit dem Daumen und dem zweyten Finger, und zwar, so viel als möglich, nur mit den äußersten Spitzen dieser Finger, weil die festen Linien sehr schmal sind, und also bey einer Haltung mit mehrerer Fläche der Finger die Schwingungen der benachbarten Theile zu sehr würden gehindert werden. Die Scheibe darf auch nicht etwa an die innere Fläche der Hand anstoßen. Wenn die gehaltene Stelle eine bey mehreren Schwingungsarten unbewegliche Stelle ist, wird es nöthig seyn, zu Verhütung einer Vermischung anderer Schwingungsarten außer der gehaltenen Stelle

noch

noch eine andere Stelle, die nur bey der verlangten Schwingungsart, nicht aber bey den andern in Ruhe bleiben kann, unterwärts mit einem Finger zu berühren. Sonst kann man auch die Scheibe auf ein Stückchen Kork, oder zusammengedrehtes Papier, oder auf eine andere nicht allzuharte Unterlage legen, mit einem Finger schwach aufdrücken, und sie etwa noch an einer schicklichen Stelle mit der Spitze des Daumens berühren, damit sie sich bey dem Streichen nicht verrücke. Zu dem Streichen wird einige Festigkeit der Hand erfordert. Der Bogen darf nämlich nicht etwa von einer Stelle zur andern wanken, sondern er muß genau an einer Stelle auf- oder abgehen. Da bisweilen mehrere Schwingungsarten einzelley Stellen, wo man halten und wo man streichen muß, mit einander gemein haben, so muß man genau bemerken, welchen Ton die verlangte Bewegungsart giebt, und bey Erscheinung eines andern Tons so gleich mit dem Streichen innehalten; sobald man aber den rechten Klang hört, diesen durch ein Anwachsen des Bogenstrichs verstärken. Gewöhnlich werden Bewegungsarten, welche tiefere Töne geben, leichter durch einen langsamern und stärkern, die aber höhere Töne geben, leichter durch einen schnellern und schwächern Bogenstrich sich hervorbringen lassen. Zu dem Aufstreuen läßt sich gewöhnlicher Sand gebrauchen; aber jede andere körnige Materie würde auch eben dieselbe Wirkung thun. Die Figuren erscheinen, sobald ein Klang hörbar ist; sie werden deutlicher, wenn vorher die feinsten Theile des Sandes entweder durch Schlemmen mit Wasser, oder dadurch, daß man den Sand mehrere mal etwas hoch herabfallen läßt, weggeschafft worden sind, weil diese sich sonst allzusehr an die Oberfläche des Glases anhängen. Jedoch wird
auch

auch die Anwesenheit einiger feinen Staubtheile nützlich seyn können, um die Mittelpunkte der Schwingungen, d. i. die Stellen, wo die Schwingungen am größten sind, sichtbar zu machen, weil an diesen der feinste Staub sich anhäuft. Wenn an einer Stelle der Scheibe zu viel und an der andern zu wenig Sand sich befindet, so kann man dadurch, daß man die Scheibe etwas nach der andern Seite neigt, eine gleichförmigere Verteilung des Sandes bewirken.

Zwey schwingende Theile, die durch eine feste Linie von einander getrennt sind, schwingen allemal abwechselnd nach entgegengesetzten Richtungen, so daß ein Theil sich über seiner ursprünglichen Lage befindet, während der benachbarte unter derselben ist. Da überhaupt an jedem klingenden Körper nur solche schwingende Bewegungen möglich sind, bey welchen die Theile, in welche er sich eintheilt, ein solches Verhältniß der Größe gegen einander haben, als erforderlich ist, um in gleicher Geschwindigkeit schwingen zu können, so folgt, daß die Gestalt und die Lage der festen Linien allemal so regelmäßig erscheinen müssen, als es die Gestalt und die übrige Beschaffenheit der Scheibe zuläßt. Schwingende Theile, die sich am Rande der Scheibe befinden, sind allemal weit kleiner, als solche, welche zwischen festen Linien eingeschlossen sind. Die festen Linien können in mancherley geraden und krummen Richtungen von einer Stelle des Randes bis zur andern durch die Scheibe hindurchgehen, aber niemals innerhalb der Scheibe sich endigen, sie können auch auf mannichfaltige Art so gekrümmt seyn, daß sie innerhalb der Scheibe in sich selbst übergehen. Die Gestalt solcher krummen Knotenlinien ist öfters einer Hyperbel, Cycloide, oder Epicycloide

cykloide sehr ähnlich. Bey zwey oder mehreren schlangenförmigen Linien pflegen die Krümmungen sich einander abwechselnd zu nähern und von einander zu entfernen, bisweilen geschieht dieses auch bey schlangenförmigen Linien, zwischen denen sich eine gerade Linie findet. Diejenigen Stellen, wo die Excursionen der schwingenden Theile am größten sind, und welche als die Mittelpunkte der Schwingungen angesehen werden können, lassen sich ebenfalls sichtbar machen, wenn unter dem Sande ganz feiner Staub befindlich ist, welcher sich zum Theil daselbst anhäuft. Diese Stellen zeigen sich in schwingenden Theilen, die nach verschiedenen Richtungen keine sehr verschiedene Ausdehnung haben, meistens ziemlich rund, in solchen schwingenden Theilen, welche nach einer Richtung weit mehr als nach der andern ausgedehnt sind, erscheinen sie mehr in die Länge gezogen, und in solchen Theilen, die sich am Rande befinden, sind diese Stellen nicht unmittelbar am Rande, sondern ziemlich nahe dabey.

Eine jede Bewegungsart ist mannichfaltiger Abänderungen fähig, welche bisweilen durch Unregelmäßigkeiten der Scheibe veranlaßt werden, öfters aber auch durch eine kleine Verrückung der Stellen, wo man die Scheibe hält und streicht, absichtlich bewirkt werden können. Wenn die Gestalten der festen Linien dadurch noch so sehr verzerrt sind, so verursacht doch dieses wenig oder gar keine Aenderung des Tons, weil dabey jeder schwingende Theil, der an einer Stelle etwas verliert, an der andern einen Zuwachs bekommt, so daß also die verhältnißmäßige Größe der Theile, und mithin auch die Geschwindigkeit ihrer Schwingungen dadurch nicht verändert wird. Bey solchen

Ab

Abänderungen oder Verzerrungen der Klangfiguren können zwey einander durchschneidende Linien oder Theile von solchen Linien (fig. 43. c) sich in ihrem Durchschnittpunkte trennen, und auf zwey verschiedene Arten mit einander verblinden, so daß sie sich als zwey krumme Linien, wie fig. 43. b und d, zeigen, die Krümmungen können auch noch flacher, und die Linien endlich gerade und ganz mit einander parallel werden, wie fig. 43. a und e zeigt; eben so können auch zwey nach der einen oder nach der andern Richtung mit einander parallel gehende Linien oder Theile von Linien fig. 43. a und e sich wie fig. 43. b und d krümmen, und wenn die Krümmung noch stärker wird, endlich wie bey fig. 43. c einander rechtwinklicht durchschneiden. Man kann daher fig. 43. a, b, c, d und e, welche die eigentlichen Grundzüge der Abänderungen sind, als gleichartig ansehen, es läßt sich auch öfters durch Verückung der Finger ein allmähliger Uebergang von einer dieser Gestalten zur andern bewirken. Eben so sind auch am Rande einer Scheibe zwey schief gegen einander laufende Enden von Linien, oder ein Stück einer krummen Linie, oder ein Stück einer geraden Linie gleichbedeutend, und können sich in einander umändern.

Zur möglichen Konstruktion der Schwingungen einer Scheibe aus allgemeinen mechanischen Principien bemerkt Herr Ehladni, daß der erste Schritt wohl darin bestehen möchte, daß man für diesen Uebergang einer einfachen Bewegung einer Rectangelscheibe, oder überhaupt eines Theils einer Scheibe, wo die Linien gerade sind, und wo man sich die Scheibe, oder den also schwingenden Theil einer Scheibe als ein Aggregat von unendlich vielen Fasern gedenken könne, die

mit einander parallel gehen, und sich so wie ein freyer Stab bey seiner ersten Schwingungsart bewegen, zu solchen nicht mehr durch krumme Linien, sondern durch Flächenkrümmungen auszudrückenden Bewegungen, wo die Knotenlinien sich mehr oder weniger krümmen, oder sich auch rechtwinklicht durchschneiden können, woben jedoch die schwingenden Theile einerley relative Größe behalten, und also die Geschwindigkeit der Schwingungen nicht verändert wird, einen allgemeinen Ausdruck zu finden suche. Hätte man diesen gefunden, so müßte man ihn auf zusammengesetztere Bewegungsarten anzuwenden, und endlich auch zu bestimmen suchen, was für Einfluß überhaupt die Gestalt der Scheibe auf die Beschaffenheit der Schwingungen habe. Es müßte auch bey solchen Untersuchungen darauf Rücksicht genommen werden, in welcher Lage, und in welcher Gestalt sich die Mittelpunkte der Schwingungen zeigen.

Jacob Bernoulli ⁵⁾ hatte sich gleich nach der Bekanntmachung der Entdeckungen des Herrn Ehladni bemüht, die Schwingungen einer Quadratscheibe durch Theorie zu bestimmen. Er stellt sich nämlich die Quadratscheibe als ein netzförmiges Gewebe von Fasern vor, die einander rechtwinklicht durchkreuzen. Allein Herr Ehladni führt an, daß diese Vorstellung nicht brauchbar zu seyn scheine, wie sie denn auch Resultate gegeben habe, welche mit der Erfahrung nicht zusammenstimmen.

An Scheiben, die einander ähnlich sind, und aus einerley Materie bestehen, verhalten sich die Töne bey einerley Schwingungsart wie die Dicken, und um

g) Nov. Act. Acad. Petrop. pro an. 1787.

umgekehrt wie die Quadrate der Durchmesser. An Scheiben, die nicht aus einerley Materie bestehen, verhalten sich die Töne, wie die Quadratwurzeln der Steifigkeit, und umgekehrt wie die Quadratwurzeln der specifischen Gewichte.

Was die Rectangelscheibe betrifft, so ist sie in folgenden drey Fällen anderer Progressionen und Schwingungsarten fähig:

1. wenn sie ganz frey ist,
2. wenn sie an einem Ende befestigt, und am andern frey ist, und
3. wenn sie an beyden Enden befestigt ist.

An einer ganz freyen Rectangelscheibe kommen die einfachern Schwingungsarten mit denen überein, deren ein frey schwingender Stab fähig ist. Bey der einfachsten Schwingungsart, wo jede Faser schwingt, zeigen sich bey dem Aufstreuen des Sandes zwey nach einerley Richtung gehende, und von den Enden fast um den vierten Theil der Länge der Scheibe entfernte Linien. Bey der zweyten Schwingungsart zeigen sich drey nach einerley Richtung gehende Knotenlinien, von denen die äußersten fast um den 6ten Theil der Länge der Scheibe von den Enden entfernt sind; eben so kann sich auch die Scheibe in mehrere Theile einteilen, so daß sich 4, 5, oder mehrere Knotenlinien zeigen, von denen die äußersten allemal nur beynahе halb so weit, als die Länge eines zwischen zwey Knotenlinien befindlichen schwingenden Theils beträgt, von den Enden der Scheibe entfernt sind. Die Tonverhältnisse sind eben dieselben, wie bey einem an beyden Enden freyen Stabe, und kommen ebenfalls mit den Quadraten von 3, 5, 7, 9 u. s. w. überein, die Breite sey so bes

trächtlich, oder so geringe, als man wolle. Zu Hervorbringung dieser Schwingungsarten wird es am besten seyn, wenn man die Scheibe an einer Stelle, auf welche eine der äußersten Knotenlinien fällt, mit den Spitzen des Daumen und zweyten Fingers hält, und, wenn die Linien mit dem kürzern Durchmesser parallel seyn sollen, in der Mitte einer schmalen Seite mit dem Violinbogen streicht. Wenn die Breite der Scheibe es zuläßt, und man an einer langen Seite mit gehöriger Genauigkeit streicht, so kann man die Scheibe auch nöthigen, so zu schwingen, daß 2, 3, oder mehrere Knotenlinien der Länge nach gehen, wobei es sich von selbst versteht, daß die Töne, welche unter sich eben dieselben Verhältnisse behalten, welche vorher angegeben sind, höher seyn müssen, als wenn die Knotenlinien mit dem kürzern Durchmesser parallel gehen. Bey allen diesen einfachern Schwingungsarten können öfters die ihrer eigentlichen Bestimmung nach geraden Knotenlinien sich krümmen, welche Krümmung der Linien auch so zunehmen kann, daß zwey abwechselnd sich einander nähernde und von einander entfernende Linien endlich in diagonaler Richtung sich rechtwinklicht durchschneiden, durch welche Verzerrung der Linien das Tonverhältniß meist gar nicht, und in einigen Fällen nur sehr wenig verändert wird. Obgleich bey dergleichen Verzerrungen der Knotenlinien die Schwingungsarten im Wesentlichen eben dieselben sind, als wenn diese Linien gerade wären, so ist doch die gewöhnliche Theorie der Schwingungen nicht mehr zu Beurtheilung dieser Gestaltveränderungen hinlänglich, indem die Gestalt der Scheibe sich alsdann nicht mehr durch eine krumme Linie ausdrücken läßt.

Außer diesen einfachern Schwingungsarten sind noch viele andere möglich, die alle so beschaffen sind, daß die Gestalt der Scheibe nicht durch krumme Linien, sondern nur durch Flächenkrümmungen würde ausgedrückt werden können, wenn man in der höhern Mechanik und Analyse schon so weit wäre, daß man sie durch irgend eine Gleichung auszudrücken wüßte. Bey diesen Schwingungsarten zeigen sich Knotenlinien in die Länge und Quere zugleich, die einander meistens rechtwinklicht schneiden; in manchen Fällen aber auch auf verschiedene Art sich abändern können.

Um solche Schwingungsarten, wo eine Knotenlinie der Länge nach geht, die von Querlinien durchschnitten ist, hervorzubringen, hält man die Scheibe an einer Stelle, wo sich zwey Linien durchschneiden, und streicht die Scheibe mit dem Violinbogen zwischen zwey Enden von Querlinien, oder nahe an der nächsten Ecke. Es kann die der Länge nach gehende Knotenlinie von Einer Querlinie durchschnitten seyn, oder von zweyen, oder auch von mehreren. Die Töne kommen an einem Rectangelstreifen, dessen Länge sich zur Breite wenigstens wie 8 : 1 verhält, oder auch noch beträchtlicher ist, ungefähr mit der Folge der natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4 u. s. w. überein, sie verhalten sich also unter einander, wie die Zahlen der Querlinien; jedoch sind, wenn die Breite nicht im Verhältnisse der Länge sehr gering ist, die Töne etwas wenigtes weiter aus einander, so daß die etwas mehrere Höhe bey der 4ten oder 5ten Schwingungsart schon anfangen wird, bemerkbar zu seyn, und bey der 6ten etwa einen halben Ton, bey der 8ten u. s. w. noch mehr betragen kann. Je geringer die Verschiedenheit der Breite von der Länge ist, desto

weiter gehen die Verhältnisse von einander, so daß an einer Quadratscheibe der zweyte Ton um eine Oktave und eine große Terz höher ist, als der erste, und bey dem dritten die Höhe wieder um eine Oktave, bey dem vierten ungefähr um eine kleine Septime zunimmt u. s. f. Sowohl dieses Umstandes wegen läßt sich kein allgemeines Verhältniß der Töne bey diesen Schwingungsarten gegen die Töne der vorerwähnten bestimmen, als auch deswegen, weil an Scheiben von verschiedenen Verhältnissen der Länge zur Breite die ersterwähnten Töne sich wie die umgekehrten Quadrate der Längen verhalten, und von der Breite nicht abhängen, aber bey gegenwärtigen Schwingungsarten die Höhe des tiefsten Tons im umgekehrten Verhältnisse der Breite sowohl als der Länge, oder überhaupt im umgekehrten Verhältnisse des Flächeninhalts der Scheiben steht. An einer Quadratscheibe ist dieser Ton um eine Quinte tiefer, und an der Scheibe, wo beyde Durchmesser noch mehr verschieden sind, ist er höher, als der tiefste Ton bey der ersterwähnten Reihe von einfachen Schwingungsarten, wo zwey Linien mit dem kürzern Durchmesser parallel gehen, oder als parallel gehend angesehen werden können.

Wenn das eine Ende des Rectangels frey und das andere fest ist, sind die einfachen Schwingungsarten und Tonverhältnisse so, wie an Stäben. Die Scheibe kann nämlich ganz schwingen, so daß sich gar keine Knotenlinie zeigt; bey der zweyten Schwingungsart zeigt sich eine Knotenlinie in einer Entfernung von dem freyen Ende, die beynähe den dritten Theil der Länge des Rectangels beträgt; bey der dritten Schwingungsart zeigen sich zwey Linien in die Quere u. s. w. Das Streichen muß in der Mitte des freyen Endes geschehen.

Außer

Außer diesen einfachen Bewegungsarten können aber auch andere statt finden, wo eine Knotenlinie in die Länge geht, entweder allein, oder von einer in die Quere gehenden, oder von zweyen, oder auch von mehreren Querlinien durchschnitten. Die Töne verhalten sich bey diesen Schwingungsarten an einem Rectangelfstreifen, der im Verhältniß der Länge nur eine geringe Breite hat, wie die Reihe der ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7, 9 u. s. w. Je geringer die Verschiedenheit der Länge und Breite ist, desto mehr erweitert sich der Abstand der Töne von einander, eben so, wie dieses bey einer freyen Rectangelscheibe statt findet. Ein allgemeines Verhältniß dieser Töne gegen die vorhererwähnten läßt sich nicht angeben.

An einem Rectangelfstreifen, dessen beyde schmale Seiten fest sind, geschehen die einfachsten Bewegungen so, daß sie mit den Schwingungsarten und Tonverhältnissen eines an beyden Enden befestigten Stabes übereinkommen, wobey sich also entweder bey den Schwingungen des ganzen Streifen gar keine Knotenlinie zeigt, oder der Streifen sich in 2, 3, 4, und mehrere schwingende Theile theilt, und sich 1, 2, und mehrere in die Quere gehende Knotenlinien zeigen. Diese Schwingungsarten aber lassen sich nur selten und mit vieler Mühe durch Streichen mit dem Violinbogen hervorbringen, weil ein solches Streichen nicht an einer schmalen Seite, sondern, weil diese befestigt sind, nur an einer langen Seite geschehen kann.

Unter allen Arten von Rectangelscheiben haben Quadratscheiben das einfachste Verhältniß, weil Länge und Breite einander gleich sind. Es sind an denselben, so wie überhaupt an Rectangelscheiben, alle Arten von Schwingungen möglich, wo eine gewisse

Zahl von Knotenlinien mit dem einen oder auch mit dem andern Durchmesser parallel geht, oder als parallel mit demselben gehend angesehen werden kann. Der Kürze wegen hat Herr Ehladni bey jeder Schwingungsart die Zahl der Knotenlinien, welche nach der einen und nach der andern Richtung gehen, durch einen senkrecht dazwischen gesetzten Strich unterschieden; so wird z. B. $3|0$ die Schwingungsart bedeuten, wo nach einer Richtung drey Linien gehen und nach der andern keine, $5|2$ die Schwingungsart, wo mit dem einen Durchmesser fünf und mit dem andern zwey Knotenlinien parallel gehen, u. s. w.

Manche Schwingungsarten der Quadratscheibe können sich bey einerley Zahl der Knotenlinien auf zwey verschiedene Arten zeigen; nämlich die Krümmungen, oder die meisten Krümmungen der äußersten Linien können entweder einwärts oder auswärts gehen. Im ersten Falle ist der Ton tiefer, als im zweyten. Dieser Unterschied, welcher nicht als Abänderung, sondern vielmehr als wesentliche Verschiedenheit anzusehen ist, findet statt bey solchen Klangfiguren, wo eine ganze Zahl von Krümmungen vorhanden ist, wie bey $2|0$, $3|1$, $4|0$, $4|2$, $5|3$, $6|2$, $7|2$, $7|3$, und wahrscheinlich noch bey manchen andern; aber nicht bey solchen, wo anderthalbe oder drittehalbe Krümmung sich zeigt, wie z. B. bey $3|0$, $4|1$, $5|0$, $5|2$.

Unter allen Schwingungsarten einer Quadratscheibe giebt $1|1$ den tiefsten Ton, man hält dabey die Scheibe in der Mitte, und streicht an einer Ecke. Die Figur kann auch allenfalls so verzerrt werden, daß sie sich als zwey krumme Diagonallinien (fig. 45.) edh und emn zeigt.

Die

Die Schwingungsart, welche nächst dieser den tiefsten Ton giebt, ist $2|0$ mit einwärts gebogenen Krümmungen, welche sich gewöhnlich, wenn man in der Mitte hält und mitten an einer Seite streicht, als zwey sich durchkreuzende Diagonallinien (fig. 46.), zeigt, bisweilen aber auch als zwey einwärts gebogene Linien end und emk erscheinen kann. Der Ton ist um eine Quinte höher, als bey fig. 45.

$2|0$ mit auswärts gebogenen Krümmungen erscheint zwar bisweilen wirklich als zwey auswärts gebogene Linien, meistens aber beynahе wie ein Kreis, oder vielmehr wie ein Viereck mit abgerundeten Ecken, wenn man die Scheibe in der Mitte einer Seite nahe am Rande hält, und an der nächsten Ecke streicht. Der Ton ist um etwas mehr als einen ganzen Ton oder beynahе um eine kleine Terz höher, als bey $2|0$ mit einwärts gehenden Krümmungen (fig. 46.), und fast um eine kleine Septime höher, als bey $1|1$ (fig. 45.) Diese Schwingungsart klingt voller und stärker als die beyden vorigen, und fast so, als ob der Ton um eine Oktave tiefer wäre, als er wirklich ist.

$2|1$ (fig. 47.), wo der Ton um eine Oktave und eine große Terz höher, als bey $1|1$ (fig. 45.), und um eine große Sexte höher, als bey 46 ist, erhält man leicht, und meistens sehr regelmäßig, wenn man die Scheibe an einer Stelle, wo zwey Linien einander durchschneiden müssen, hält, und mitten an der rechten oder linken Seite streicht. Durch einige Verrückung der Finger, woben man auch an der in der Figur zur linken Hand befindlichen Ecke streichen kann, läßt sich auch bisweilen bewirken, daß
sich

sich diese Schwingungsart als drey diagonale wellenförmige Linien, wie fig. 48., zeigt.

3|0 kann sich auf allen Scheiben, die nicht allzu unregelmäßig sind, wie fig. 49., zeigen. Diese Schwingungsart ist unter allen die brauchbarste, um jemanden von den vorher erwähnten Abänderungen und Verzerrungen der Knotenlinien, wodurch der Ton nicht geändert wird, einen deutlichen Begriff zu geben. Man kann nämlich durch eine kleine Verrückung der Finger leicht eine dieser Figuren in die andere verwandeln. Wenn man die Scheibe an der Stelle m hält, und an der nächsten Stelle bey n streicht, so erscheinen drey gerade Linien, und die Scheibe bewegt sich genau so, wie ein freyer Stab bey seiner zweyten Schwingungsart; rückt man aber mit den Fingerspitzen, welche die Scheiben halten, etwas weiter einwärts, und streicht an eben der Stelle, wie vorher, so krümmen sich die Linien; rückt man mit den Fingern noch weiter einwärts, so krümmen sich die Linien noch mehr, und vereinigen sich endlich in zwey Stellen. Der Ton ist hier um 2 Oktaven und etwas mehr als einen halben oder beynabe einen ganzen Ton höher, als bey fig. 45.

2|2 erscheint, wenn man eine Stelle, wo zwey Linien einander durchschneiden müssen, hält, und in der Mitte einer Seite streicht. Diese Schwingungsart, so wie andere, wo das innere der Scheibe von Knotenlinien umschlossen ist, giebt einen vollern und weniger unangenehmen Ton, als manche andere. Wenn die Scheibe etwas unregelmäßig ist, oder die Stelle des Haltens etwas verändert wird, wobey man auch an der nächsten Ecke streichen kann, so zeigt sich die Figur auch bisweilen als vier wellenförmig

sörmige Diagonallinien, oder auch auf andere Arten verzerrt.

3|1 erscheint nie auf einer Quadratscheibe (wohl aber auf andern Rectangelscheiben) mit lauter geraden Linien, sondern allemal so, daß von den drey nach einer Richtung gehenden Linien die äußern entweder einwärts oder auswärts gebogen sind. Diese beyden Schwingungsarten sind nicht als Abänderungen, sondern als wesentlich verschieden anzusehen; die zweyte ist auch ungesähr um einen ganzen Ton höher als die erste.

3|2 läßt sich bisweilen ganz regelmäßig hervorzubringen, wenn man an der Stelle linker Hand, wo zwey Linien sich durchschneiden, die Scheibe hält, und in der Mitte der vordern Seite streicht. Versückt man die Haltungsstelle etwas, so verändert sich die Figur meistens in 5 wellenförmige Diagonale, woben es am besten ist, an der nächsten Ecke zu streichen.

4|0 gehört auch unter diejenigen Schwingungsarten, die sich auf zwey ganz von einander verschiedene Arten zeigen können, nämlich so, daß die äußern Linien entweder einwärts oder auswärts zweymal gebogen sind.

Bei 4|1 können alle Linien gerade seyn; man hält die Scheibe an der nächsten Stelle, wo die beyden Linien sich schneiden, und streicht entweder an derselben Seite näher nach der Ecke zu, oder an der rechten Seite zwischen zwey Linien. Bei verändertem Verfahren werden die Figuren verzerrt.

3|3 erscheint meistens regelmäßig, kann sich aber bisweilen in 6 schiefe wellenförmige Diagonale verwandeln.

4|2 hat Herr Ehladni nie mit geraden Linien erhalten können.

5|0 erscheint nur selten regelmäßig mit wellenförmigen Linien, die drittehalbmal gekrümmt sind, und ihre Ein- und Ausbiegungen gegenseitig einander zukehren.

5|1 erscheint äußerst selten mit geraden Linien.

4|3 läßt sich auf regelmäßigen Scheiben mit geraden Linien leicht darstellen.

5|2 erscheint sowohl mit geraden Linien, als auch verzerrt.

4|4 zeigt sich meistens mit geraden Linien, kann aber auch auf verschiedene Arten verzerrt werden, und sich auch als 8 wellenförmige Diagonalen zeigen.

5|3 erscheint nicht mit geraden Linien.

Uebrigens folgert Herr Ehladni aus den Tonzuständen einer Rectangelscheibe von verschiedenen Verhältnissen der als unveränderlich angenommenen Länge zur Breite folgende Resultate:

1. daß die mit den Schwingungen eines freien Stabes übereinkommenden Schwingungsarten 2|0, 3|0, 4|0 u. s. w. nicht nur ihre Verhältnisse unter sich, wie die Quadrate von 3, 5, 7 u. s. w., sondern auch ihre absolute Tonhöhe beybehalten, indem die Töne bey diesen Schwingungsarten von der Länge, nicht aber von der Breite des Rectangels abhängen. Wenn man auch die Breite so verminderte, daß aus der Rectangelscheibe endlich ein vierseitiger prismatischer Stab würde, so würden doch diese Töne eben dieselben bleiben. Die einzige Abweichung, welche ungefähr einen halben Ton betragen kann, zeigt sich bey

bey dem Uebergange einer Quadratscheibe zu einer Rectangelscheibe von ungleichen Durchmessern.

2. Daß die Schwingungsarten, wo bloß der Länge nach Knotenlinien gehen, $0|2$, $0|3$, $0|4$ u. s. w. auch unter sich die Verhältnisse der Quadrate von 3 , 5 , 7 , 9 u. s. w. beibehalten, jedoch im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate des kürzern Halbmessers an Höhe zunehmen; welches auch ganz der Theorie gemäß ist, indem diese Schwingungsarten in Beziehung auf den kürzern Durchmesser eben das sind, was die vorher erwähnten Schwingungsarten $2|0$, $3|0$, $4|0$ u. s. w. in Beziehung auf die längern Durchmesser waren.

3. Daß bey den Schwingungsarten, wo eine nach der einen Richtung gehende Knotenlinie von solchen, die nach der andern Richtung gehen, durchschnitten wird, oder $1|1$, $2|1$, $3|1$, $4|1$ u. s. w. die Töne, welche an einer Quadratscheibe ungefähr in den Verhältnissen 6 , 15 , 30 u. s. w. stehen, bey größerer Verminderung des einen Durchmessers einander immer näher gerückt sind, so daß sie, bey einem Verhältnisse der beyden Durchmesser gegen einander wie 1 zu $\frac{1}{8}$, schon beynähe mit der natürlichen Zahlenfolge 1 , 2 , 3 , 4 , 5 u. s. w. übereinkommen, und, wenn die Breite des Rectangels noch weiter vermindert wird, endlich ganz in diese Verhältnisse übergehen. Die Höhe des tiefsten Tons dieser Reihe, oder $1|1$, nahm immer ungefähr in demselben Verhältnisse zu, in welchem die Breite des Rectangels vermindert ward. An einer Quadratscheibe war der Ton bey dieser Schwingungsart um eine Quinte tiefer, als bey $2|0$, an einer Scheibe, deren Breite unges

ungefähr $\frac{2}{3}$ der Länge betrug, war er eben derselbe, und an Scheiben von geringerer Breite war er höher.

4. Daß bey allen übrigen Schwingungsarten, wo mehrere nach der einen Richtung gehende Knotenlinien von solchen, die nach der andern Richtung gehen, durchschnitten werden, die Töne bey verminderter Breite auch erhöht werden, und zwar bey solchen Schwingungsarten, wo mehrere Linien in die Länge gehen, beträchtlicher, als bey solchen, wo die Zahl der Querlinien größer ist.

Daß die Schwingungsarten, wo eine der Länge nach gehende Knotenlinie von solchen, die in die Quere gehen, durchschnitten wird, in ihrer Art eben dasselbe sind, was an einem cylindrischen oder prismatischen Stabe die drehenden Schwingungen sind, und endlich bey weiterer Verminderung der Breite eines Rectangels bis zu einem vierseitig prismatischen Stabe wirklich darin übergehen, sucht Herr Ehladnt auf diese Art darzuthun. Es sey nämlich (fig. 50.) cdef ein Theil einer Rectangelscheibe, wo die der Länge nach gehende Knotenlinie mq von der in die Quere gehenden ab durchschnitten wird, so schwingen allemal zwey durch eine Knotenlinie von einander getrennte Theile nach entgegengesetzten Richtungen, so daß also die hier durch + bezeichneten Stellen über der natürlichen Lage sich befinden, während die durch — bezeichneten unter derselben sind, und so umgekehrt. Wenn also das Stück anqd sich niederwärts, und in eben der Zeit das Stück nqfb sich aufwärts bewegt, so ist es eben das, als ob das ganze Stück adfb sich rechts etwas drehte. Eben so ist es bey dem jenseits der Querlinie befindlichen Stücke abec, wo die Bewegungen der beyden Theile anmc und
mnbe

man be nach den entgegengesetzten Richtungen geschehen, eben dasselbe, als ob das ganze Stück abec sich ein wenig links drehete, wenn man den Standspunkt des Beobachters bey q annimmt. Bey der folgenden Schwingung werden die durch + bezeichneten Stellen unter, und die durch — bezeichneten über der natürlichen Lage seyn, es wird also eben das seyn, als ob adfb sich links und abec sich rechts ein wenig drehete, und so immer abwechselnd, während die Stelle, worauf die Querlinie ab fällt, immer unbeweglich ist. So wie diese Art der Bewegung hier an einem Stücke einer Rectangelscheibe gezeigt ist, so geschieht sie auch bey den drehenden Schwingungen eines Stabes; die Gesetze, nach welchen die Höhe und Tiefe der Töne sich richtet, sind in ihrer Art auch eben dieselben. Wenn nun eine Rectangelscheibe oder ein Stab noch weiter in die Länge ausgedehnt ist, und mehrere solche Querlinien oder feste Stellen wie ab vorhanden sind, so drehen sich immer zwey durch eine feste Stelle getrennte Theile nach entgegengesetzten Richtungen.

Bey den Schwingungen einer runden Scheibe zeigen sich die Knotenlinien entweder so, daß sie von einer Stelle des Randes zur andern in geraden oder krummen Richtungen gehen, oder als concentrische Kreise, die in manchen Fällen zirkelrund sind, meistens aber eine gewisse Anzahl von Biegungen annehmen. Der Kürze wegen bezeichnet Herr Ehladnt auch hier die Zahl der durchgehenden Linien mit den gewöhnlichen Ziffern vor dem Strich, und die Zahl der concentrischen Kreise mit Römischen Ziffern hinter dem Strich; so wird z. B. 2/0 die Schwingungsart bedeuten, wo nur allein zwey durchgehende

Linien vorhanden sind, $\circ|1$ die, wo nur ein Kreis sich zeigt, $4|111$ die, wo vier durchgehende Linien und drey Kreise vorhanden sind, u. s. w.

Die Klangfiguren mit durchgehenden Linien, ohne Kreise, zeigen sich sternförmig, wenn die Linien gerade sind und sich in der Mitte der Scheibe durchschneiden; die Linien können auch ihre Lage verändern, sich krümmen, und auf mannichfaltige Arten trennen und verbinden, wodurch aber weder die Zahl der Linien noch das Tonverhältniß verändert wird.

$2|0$ (fig. 51.), wo zwey durchgehende Linien sich kreuzförmig durchschneiden, giebt unter allen Schwingungsarten den tiefsten Ton. Zu Hervorbringung derselben hält man die Scheibe in der Mitte, und berührt, wenn man die Lage der einen Knotenlinie genauer bestimmen will, noch irgend eine Stelle, auf welche diese Linie fallen soll, und streicht an einer Stelle des Randes, die ungefähr 45 Grad von der Richtung dieser Linie entfernt ist.

Bei der zweiten Schwingungsart, $3|0$ (fig. 52.), wo die drey in der Mitte sich durchschneidenden Linien sich wie ein sechsstrahliger Stern zeigen, ist der Ton um eine Oktave und einen ganzen Ton höher, als bei der vorigen. Man hält und berührt die Scheibe eben so, wie bei der erstern Schwingungsart, streicht aber nicht an eben derselben Stelle, sondern an einer Stelle, die von der durch Berührung bestimmten Linie ungefähr um den vierten Theil des Umkreises entfernt ist. Man kann auch, anstatt in der Mitte zu halten und noch eine Stelle zu berühren, die Scheibe etwas außer der Mitte halten, wodurch ebenfalls die Richtung der einen Knotenlinie schon hinlänglich be-

bestimmt wird, und so kann man zu Hervorbringung der folgenden Bewegungsarten desto weiter außerhalb der Mitte halten, je größer die Zahl der Linien seyn soll, weil der sich nicht bewegende mittlere Theil der Scheibe bey solchen sternförmigen Figuren desto größer ist, je mehr Linien daselbst zusammentreffen.

4|0 kann sich sternförmig zeigen, oder auch öfters wie fig. 53. Der Ton ist um eine kleine Sexte höher, als bey 3|0, und um zwey Oktaven höher, als bey 2|0.

Unter den folgenden Schwingungsarten 5|0, 6|0, 7|0, 8|0, u. s. f., welche sich alle sowohl sternförmig, als auch abgeändert zeigen können, ist 8|0 besonders vieler regelmäßigen Abänderungen fähig. Bey allen Verzerrungen ist die Zahl der krummen Knotenlinien eben dieselbe, als wenn diese gerade sind, und die Figur sich sternförmig zeigt.

Die Folge der Töne bey allen diesen Schwingungsarten scheint sich wie die Quadrate von 2, 3, 4, 5 u. s. w., oder überhaupt, wie die Quadrate der Zahlen durchgehender Knotenlinien zu verhalten, jedoch sind die Abstände der Töne von einander ein wenig kleiner, als sie vermöge dieser Progression seyn sollten.

Bey Schwingungsarten, wo ein Kreis vorhanden ist, kann dieser entweder allein, oder von 1, 2, 3 oder mehreren fast allemal geraden Linien durchschnitten seyn.

0|1 (fig. 54.) giebt einen Ton, der ungefähr um eine kleine Sexte höher ist, als bey 2|0 (fig. 51.). Man hält die Scheibe an einer Stelle, auf welche ein Kreis fällt, und streicht an der nächsten Stelle

des Randes. Das Halten muß mit den äußersten Fingerspitzen geschehen, weil sonst die Schwingungen der nächsten Theile zu sehr würden gehindert werden; das Streichen muß, weil es einer der tiefsten Töne ist, langsamer, und mit einem etwas anhaltendern Drucke, als bey manchen andern Schwingungsarten, geschehen. Die Art der Bewegung ist unter allen, die an einer runden Scheibe möglich sind, die einfachste.

1|I (fig. 55.) ist unter allen Schwingungsarten am leichtesten hervorzubringen; man hält die Scheibe an irgend einer Stelle nahe am Rande, wo der Kreis und die im Durchmesser gehende Linie einander durchschneiden sollen, und streicht an einer Stelle, die ungefähr 90 Grad davon entfernt ist. Man kann an Scheiben, die nicht allzuunregelmäßig sind, durch Veränderung der Stellen, wo man hält und streicht, wobey doch allemal die letztere ungefähr 90 Grad von der erstern entfernt seyn muß, leicht die Lage der im Durchmesser gehenden Linie verändern, und sie nach Belieben in jedem Durchmesser gehen lassen. Der Ton ist beynähe um eine Oktave und einen ganzen Ton höher, als bey 0|I.

2|I (fig. 56.) erscheint, wenn man eben so, wie bey 1|I, hält, aber nicht an derselben Stelle streicht, sondern an einer, die ungefähr um 45 Grad von der Haltestelle entfernt ist. Zu mehrerer Bestimmtheit der Figur kann man außerdem noch die Scheibe an einer Stelle auf der in die Quere gehenden Linie berühren, oder an deren Ende an etwas schwach anstimmen. Der Ton ist beynähe um eine kleine Septime höher, als bey 1|I, und beynähe zwey Oktaven höher, als bey 0|I.

Man

Man kann auch, um 3|1, 4|1, 5|1, und mehrere dergleichen radsförmige Figuren hervorzubringen, außerdem daß man die Scheibe an einer Stelle hält, wo ein Kreis und eine durchgehende Linie sich schneiden, und immer näher bey der gehaltenen Stelle streicht, auch noch mit einem Finger eine Stelle des Kreises berühren; der Kreis erweitert sich immer mehr, je größer die Zahl der durchgehenden Linien ist, wonach man sich in Ansehung der Berührung richten muß. Es wird auch bisweilen zu leichterer Hervorbringung solcher Schwingungsarten dienlich seyn, wenn die Scheibe zugleich an einer Stelle, wo eine durchgehende Linie sich endigen muß, ganz schwach an etwas angestimmt wird.

Zwey Kreise können ebenfalls allein, oder von irgend einer Zahl gerader oder krummer durchgehender Linien durchschnitten seyn. Die Kreise erscheinen bisweilen als concentrische Zirkel; öfter aber nimmt auch der äußere Kreis eine bestimmte Zahl von Biegungen an, die, so wie auch bey den folgenden Figuren, wo mehrere Kreise sind, mit einer Epicykloide Aehnlichkeit haben. Der innere Kreis ist meistens einer Ellipse ähnlich. Wenn die durchgehenden Linien sich verzerrern, so nehmen sie meistens eine Gestalt an, die einer Hyperbel ähnlich ist.

An Klangfiguren mit drey oder mehreren Kreisen können diese sich zwar auch mannichmal concentrisch zeigen, meistens aber nehmen die Kreise Biegungen an, welche sich abwechselnd einander nähern und von einander entfernen, und an den innern Kreisen flacher sind, als an den äußern. An dem innersten Kreise, welcher gewöhnlich elliptisch ist, hat Ehladni nie Biegungen bemerkt.

Die meisten der zusammengesetzten Klangfiguren wird man zwar nicht immer nach Willkühr hervorbringen können, jedoch wird man an hinlänglich großen und dünnen Scheiben durch kleine Veränderungen des Haltens, Berührens, Anstimmens, und Streichens jede dieser Klangfiguren unvermuthet erhalten können. Nur ist hiebey zu bemerken, daß in allen Fällen, wo das Halten und Streichen gewisser Stellen auf Hervorbringung mehr als Einer Schwingungsart wirken kann, man genau beobachten muß, bey welchem Tone die verlangte Figur sich zeigen will, und sobald dieser Ton gehört wird, ihn durch die gehörige Art des Bogenstrichs zu verstärken, andere Töne aber, die sich mit hinein mengen wollen, so viel als möglich zu verhindern suchen muß.

An elliptischen Scheiben haben die Schwingungsarten, wenn beyde Durchmesser der Scheibe nur wenig verschieden sind, viel Aehnlichkeit mit den Schwingungen einer runden Scheibe; bey einer beträchtlichen Verschiedenheit beyder Durchmesser erhalten sie aber etwas mehr Aehnlichkeit mit den Schwingungen einer Rectangelscheibe. Es können Knotenlinien in die Quere gehen, welche gewöhnlich einwärts gebogen und Hyperbelen, die ihre convexe Seite der Mitte zukehren, sehr ähnlich sind; es kann auch eine Knotenlinie in die Länge gehen, von Querlinien durchschnitten; es können sich aber auch Knotenlinien zeigen, die einen oder mehrere in die Länge gezogene Kreise vorstellen, und diese können allein, oder von einer in die Länge gehenden Linie, oder auch von Querlinien durchschnitten seyn. Der Kürze wegen bezeichnet auch hier Herr Eshladni die Schwingungsarten so, daß die Zahl der Querlinien und der in die Länge gehenden Linien

Linien (wo er immer einen Kreis als zwey Linien in die Länge ansieht) vor einem Striche, und die Zahl der in die Länge gehenden Linien hinter denselben gesetzt wird.

Um die Reihe von Schwingungsarten, wo Knotenlinien bloß in die Quere gehen, oder $2|0$, $3|0$, $4|0$ u. s. w. hervorzubringen, hält man die Scheibe mitten auf einer der äußersten solcher Linien, mit den Spitzen des Daumen und noch eines Fingers, und streicht mit dem Violinbogen am nächsten Ende des langen Durchmessers. Der Klang ist bey diesen Schwingungsarten gewöhnlich etwas rauh, und ohne Nachhall, weil (so wie überhaupt bey Schwingungsarten, wo man nur auf einer Linie, nicht aber an einer Stelle, wo zwey Linien sich schneiden, halten kann), die der Haltungsstelle benachbarten schwingenden Theile durch die Berührung ein wenig in ihren Schwingungen gehindert werden.

Zu Hervorbringung der Schwingungsarten, wo eine in dem längern Durchmesser befindliche Knotenlinie von Knotenlinien, die in die Quere gehen, durchschnitten wird, oder $1|1$, $2|1$, $3|1$ u. s. w. hält man die Scheibe an einer Stelle, wo die der Länge nach gehende Linie von einer Querlinie durchschnitten wird, also bey der ersten solcher Schwingungsarten in der Mitte, bey den übrigen aber an einer der äußersten solcher Stellen, und streicht zwischen zwey Enden von Querlinien, oder, welches in manchen Fällen besser ist, zwischen den Enden der letzten Querlinien, oder, welches in manchen Fällen noch besser ist, zwischen den Enden der letzten Querslinien und der in die Länge gehenden Linie. Wenn

viele Linien in die Quere gehen sollen, kann man außerdem zu noch mehrerer Bestimmtheit auch die folgende Stelle, wo eine Querlinie die der Länge nach gehende Linie durchschneidet, mit der Spitze eines andern Fingers berühren. Diese Reihe von Schwingungsarten hat, eben so wie die vorher erwähnten, an langen Ellipsen die größte Ähnlichkeit mit denselben gleichen Klangfiguren an einer Rectangelscheibe.

Bei der folgenden Reihe von Schwingungsarten zeigt sich ein noch mehr, als die Ellipse selbst, in die Länge gezogener Kreis, entweder allein, oder von Querlinien durchschnitten. Da ein Kreis als zwey der Länge nach gehende Knotenlinien anzusehen ist, und an langen Ellipsen sich auch wirklich so zeigt, so bezeichnet Chladni dieselben durch $0/2$, $1/2$, $2/2$, $3/2$ u. s. w. Bei der einfachsten solcher Schwingungsarten, wo keine Querlinie vorhanden ist, hält man an einer Stelle des Kreises; woben es vorthailhaft seyn wird, noch eine Stelle desselben mit der Spitze eines andern Fingers zu berühren, und streicht ungefähr mitten an einer Seite. An langen Ellipsen ist gewöhnlich an jedem Ende, wo die 2 der Länge nach gehenden Linien zusammenkommen, eine beträchtliche Stelle, welche unbeweglich bleibt, indem sich die Schwingungen nur über die Mitte der Scheibe verbreiten; in diesem Falle wird es am besten seyn, wenn man die Scheibe an irgend einer nicht gar zu weit von dem einen Ende entfernten Stelle hält und noch eine Stelle der Knotenlinie weiter nach der Mitte einer Seite mit noch einer Fingerspitze unterstützt, und nicht weit davon, ungefähr in der Mitte einer Seite, mit dem Violinbogen streicht. Zu Hervorbringung der Schwingungsarten, wo Querlinien den Kreis,

oder

oder die zwey in die Länge gehenden Linien durchschneiden, hält man die Scheibe an einem solchen Durchschnittpunkte und streicht zwischen zwey Enden von Linien. Am schicklichsten wird es seyn, einen der äußersten Durchschnittpunkte zu halten, und weiter nach dem nächsten Ende der Scheibe zu streichen.

Um die Schwingungsart $o/3$ hervorzubringen, hält man die Scheibe nahe an dem einen Ende, da wo die Linien sich schneiden, und streicht ungefähr in der Mitte der Scheibe. Zu Hervorbringung der Schwingungsarten, wo die drey der Länge nach gehenden Linien von Querlinien durchschnitten werden, so wie auch der übrigen Schwingungsarten, wo zwey Kreise, zwey Kreise und eine im längern Durchmesser gehende Linie, u. s. w. entweder allein, oder von Querlinien durchschnitten, sich zeigen, verfährt man ungefähr eben so, wie bey Schwingungsarten mit einem Kreise, nur mit dem Unterschiede, daß die Stellen, wo man halten, oder wo man die Scheibe ausserdem noch zu mehrerer Bestimmtheit der Figur mit einer Fingerspitze berühren kann, desto weiter nach außen befindlich sind, je zusammengesetzter die Schwingungsart ist, welche man hervorbringen will.

Aus den Versuchen des Herrn Ehladni mit elliptischen Scheiben ergaben sich folgende Resultate:

1. daß die erste Reihe von Schwingungsarten, wo bloß Querlinien vorhanden sind, sich bey allmählicher Verminderung des einen Durchmessers nur nach und nach von der zweyten Reihe, bey welcher eine Linie in die Länge geht, und zwar in den tiefern Tönen zuerst, absondert, und daß bey dieser ersten Reihe, von der runden Gestalt einer Scheibe an gerech-

net, bis zu der größten Verminderung des einen Durchmessers die Höhe der Töne nur ungefähr um eine große Terz zunimmt. Die Tonverhältnisse dieser Reihe, welche an einer runden Scheibe mit den Quadranten von 2, 3, 4, 5 u. s. w. übereinkommen, gehen hier etwas weiter aus einander.

2. Daß die Tonverhältnisse der zweiten Reihe $1|1$, $2|1$, $3|1$ u. s., welche anfangs eben dieselben waren wie bey der ersten Reihe, bey zunehmender Verminderung des einen Durchmessers nach und nach etwas enger werden, und endlich anfangs in den tiefen, nachher auch immer weiter in den höhern Tönen in die Verhältnisse der natürlichen Zahlenfolge übergehen. Bey dem Verhältnisse der Durchmesser $11 : 3$ waren die beyden ersten Töne, bey dem Verhältnisse $14 : 3$ die drey ersten, bey $17 : 3$ die vier ersten, bey $20 : 3$ die fünf ersten Töne mit der Zahlenfolge übereinstimmend, die übrigen aber weiter aus einander. Eigentlich könnte man wohl annehmen, daß hier sowohl, als auch bey Rectangelscheiben, wo diese Reihe in die drehenden Schwingungen eines Stabes übergeht, der kürzere Durchmesser im Verhältnisse gegen den längern unendlich klein seyn müßte, wenn alle Töne dieser Reihe mit der natürlichen Zahlenfolge genau übereinstimmen sollten. Bey sehr langen und schmalen Ellipsen, wie z. B. wo die Durchmesser sich wie $17 : 3$, oder $20 : 3$ verhielten, oder auch noch mehr von einander verschieden waren, so wie auch bisweilen an sehr langen und schmalen Rectangelstreifen, schienen die ersten Töne dieser Reihe noch etwas näher beisammen zu seyn, als die Verhältnisse der natürlichen Zahlenfolge.

Der erste Ton dieser Reihe, bey welchem ein Kreuz sich zeigt, $1|1$, nimmt allemal beynahe in eben demselben Verhältnisse an Höhe zu, in welchem der eine Durchmesser vermindert wird.

3. Daß bey den Schwingungsarten, wo bloß in die Länge gehende Knotenlinien, einen Kreis zu zwey Linien gerechnet, vorhanden sind, oder $0|2$, $0|3$, $0|4$ u. s. w., bey Verminderung des einen Durchmessers die Höhe der Töne um weit mehr als die Verminderung selbst, jedoch weniger als die Quadrate derselben zunimmt. Unter sich haben diese Töne ungefähr eben die Verhältnisse, wie die Töne der Schwingungsarten mit bloßen Querlinien, nur sind sie allemal weit höher. Wenn die beyden Durchmesser um etwas mehr als $5 : 4$ und etwas weniger als $4 : 3$ verschieden sind, werden die Töne der Reihe $0|2$, $0|3$, $0|4$ u. s. w. um eine Oktave höher seyn, bey einer Verschiedenheit der Durchmesser wie $2 : 1$ um zwey Oktaven höher, bey einer Verschiedenheit der Durchmesser, die um etwas weniges geringer als $3 : 1$ ist, um drey Oktaven höher, und wenn die Durchmesser um etwas mehr als $4 : 1$ verschieden sind, um 4 Oktaven höher seyn, als die Töne der Reihe $2|0$, $3|0$, $4|0$ u. s. w.

4. Daß die Töne aller Schwingungsarten, bey welchen Knotenlinien in die Länge gehen, bey den Verhältnissen der Durchmesser $5 : 3$, $8 : 3$, $11 : 3$ u. s. w. mit höhern Tönen der Reihe, wo eine Knotenlinie in die Länge geht, zusammentreffen, und zwar so, daß bey jedem Gliede dieser Progression dieses Zusammentreffen um eine Stufe weiter anfängt.

5. Merkwürdig ist auch bey dem Verhältnisse der Durchmesser $3 : 2$ das Zusammentreffen der Töne

Töne bey den Schwingungsarten, wo ein länglicher Kreis vorhanden ist, oder $0|2$, $1|2$, $2|2$, $3|2$ u. s. w. mit den Tönen der Schwingungsarten mit bloßen Querlinien, von der zweyten solcher Schwingungsarten an gerechnet, oder $3|0$, $4|0$, $5|0$ u. s. w.

Die meisten Klangfiguren einer gleichseitig sechs eckigen Scheibe haben einige Aehnlichkeit mit den Figuren einer runden Scheibe; sie beziehen sich nämlich auch auf eine gewisse Zahl von durchgehenden, und von kreisförmigen Knotenlinien. Das Halten muß hier eben so, wie an andern Scheiben, so viel möglich an einer solchen Stelle geschehen, wo sich zwey oder mehrere Knotenlinien durchschneiden, und bey den Schwingungsarten, wo keine solche Stelle vorhanden ist, wird die Haltung mit den äußersten Fingerspitzen auf einer bloßen Linie geschehen müssen; diese Schwingungsarten werden sich aber weit schwerer hervorbringen lassen. In einigen Fällen wird es auch vortheilhaft seyn, auf einer Knotenlinie noch eine andere Stelle, als die gehaltene, mit einer Fingerspitze zu berühren. Das Streichen geschieht auch hier allemal an einer der Haltungsstelle benachbarten schwingenden Stelle des Randes, am besten an einer Stelle, wo eine Einbiegung der Knotenlinien ist.

Bei den Schwingungsarten einer halbrunden Scheibe zeigen sich die Knotenlinien so, daß sie entweder als durchgehende Linien, (welche auf einen Halbmesser der Scheibe Beziehung haben, wenn sie sich auch etwas verzerrt zeigen), oder als Halbkreise anzusehen sind. Die meisten Figuren, besonders die, wo Halbkreise sich zeigen, sind so beschaffen, daß, wenn man zwey gleiche Figuren an gleich großen Scheiben zusammenstellt, eine Figur erscheint, die sich
auch

auch auf einer ganz runden Scheibe darstellen läßt. Auch an Scheiben, deren Gestalt ein Quadrant, oder ein Sextant, oder überhaupt ein Theil einer runden Scheibe ist, zeigen sich viele Figuren so, daß sie einen Theil derjenigen ausmachen, die sich auf einer runden Scheibe hervorbringen lassen. Die Figuren haben meistens auch Beziehung auf Theile von Kreisen, und auf Linien, die im Durchmesser oder im Halbmesser gehen.

Ueber den Klang der Glocken hatte Euler zuerst Untersuchungen angestellt (Th. IV. S. 257). Er hatte behauptet, daß die Töne einer Glocke sich verhalten sollen, wie 1, $\sqrt{6}$, $\sqrt{20}$, $\sqrt{50}$, $\sqrt{196}$ u. s. Golovin^{h)} hat Eulers Bemerkungen über die Töne eines Ringes auf Harmonika: Glocken angewandt, und darzuthun gesucht, daß wenn der Grundton einer Glocke, wo sie sich in 4 schwingende Theile eintheilt, = 1 sey, die übrigen Töne mit den Quadraten von 2, 3, 4, 5, u. s. w. übereinkommen sollen. Allein alle diese Bestimmungen sind der Erfahrung zuwider, und Herr Chladni hat gezeigt, daß die Voraussetzungen, worauf sie sich gründen, der Natur nicht gemäß seyen. Er hat zuerst darzuthun, daß die Schwingungen einer Glocke oder eines runden Gefäßes ganz so beschaffen sind, wie die Schwingungen einer runden Scheibe, bey welchen sich sternförmige Figuren zeigen. Es kann sich nämlich eine Glocke in 4, 6, 8, oder nachdem sie groß und dünn genug ist, überhaupt in eine gerade Zahl von schwingenden Theilen eintheilen, welche durch Knotenlinien von einander getrennt sind, die sich alle oben, wo der Stiel oder der Hals der Glocke ist, durch-

schneit

h) Act. Acad. Petrop. pro anno 1781. P. II,

schneiden. Bey dem Anschlagen einer Glocke hört man vorzüglich den tiefsten Ton, dessen sie fähig ist, aber außerdem auch bey gehöriger Aufmerksamkeit gewöhnlich noch ein Gemisch von höhern, meistens sehr unharmonischen Tönen; man kann aber jeden Ton, der an einer Glocke statt findet, einzeln hervorbringen, wenn man eine oder mehrere Stellen, auf welche bey der verlangten Bewegungsart eine Knotenlinie fallen muß, mit den Fingern oder auf eine andere Art hält oder dämpft, und in der Mitte eines schwingenden Theils mit dem Violinbogen in der Richtung des Durchmessers streicht. Um die Beschaffenheit der Schwingungsart sichtbar zu machen, ist das Aufstreuen des Sandes unbrauchbar, weil die Fläche nicht gerade, sondern gekrümmt ist, daher hat Chladni zu dieser Absicht Wasser gewählt, welches, nachdem man die erste oder zweyte, oder irgend eine andere Schwingungsart hervorbringt, von vier, von sechs, oder mehreren schwingenden Theilen nach innen gestossen wird. Diese Erschütterung der Oberfläche des Wassers zeigt sich auch nach außen, wenn die Glocke in einem geräumigern Gefäße unterwärts in Wasser eingetaucht ist. Wenn man auf die Oberfläche des Wassers etwas Herenmehl streut, so läßt sich dadurch die Wirkung der Schwingungen auf eine bleibendere Art sichtbar machen, und es entsteht eine Figur, welche auf die Zahl der Theile, in welche sich die Glocke einteilt, Beziehung hat.

Die einfachste Schwingungsart, welche den tiefsten Ton giebt, läßt sich am besten ohne Vermischung anderer hervorbringen, wenn man die Glocke oder das Gefäß an zwey gegen einander über befindlichen Stellen mit den Spitzen der Finger hält, und an einer
Stell

Stelle, die von den gehaltenen Stellen um 45 oder 135 Grad entfernt ist, in der Richtung des Durchmessers mit dem Violinbogen streicht. Wenn nun die Glocke zum Theil mit Wasser angefüllt ist, so zeigt sich die Erschütterung des Wassers durch 4 schwingende Quadranten auf der Oberfläche desselben.

Eine Harmonika-Glocke, die sich um ihre Axe dreht, und durch Anhalten eines nassen Fingers in eine schwingende Bewegung versetzt wird, oder auch ein anderes rundes gläsernes Gefäß, das auf diese Art nicht weit vom Rande in der Richtung seines Umkreises getrieben wird, theilt sich ebenfalls in 4 schwingende Theile ein, welche aber jeden Augenblick ihre Stelle verändern, und sich um den ganzen Umfang der Glocke fortschieben. Die Schwingungsart und der Ton sind also eben dieselben, als wenn die Glocke geschlagen, oder mit dem Violinbogen gestrichen würde; aber in Ansehung der Stelle, wo die Bewegung hervorgebracht wird, zeigt sich ein Unterschied. Bey der vorher erwähnten Art, den Klang hervorzubringen, ist da, wo das Streichen mit dem Violinbogen oder das Anschlagen geschieht, ungefähr die Mitte eines schwingenden Theils, und die festen Linien sind ungefähr 45 Grad davon entfernt; aber bey dieser Art der Reibung in der Richtung der Peripherie ist da, wo der Finger oder überhaupt die reibende Materie angehalten wird, eine feste Linie.

Außer dieser Schwingungsart sind an Glocken oder runden Gefäßen noch mehrere möglich. Bey der zweiten Schwingungsart, wo der Ton gewöhnlich ungefähr um eine Oktave und einen ganzen Ton höher ist, als bey der ersten, theilt sich die Glocke in 6 schwingende Theile, eben so wie eine runde
Scheit

Scheibe bey ihrer zweyten Schwingungsart. Zu Hervorbringung dieses Klanges streicht man die Glocke mit einem Violinbogen in der Richtung ihres Durchmesser an einer Stelle, die ungefähr 90 Grad von einer durch Haltung oder Berührung bestimmten festen Linie entfernt ist; man kann auch zwey Stellen, die etwa 60 Grad von einander entfernt sind, zugleich berühren. So kann sich auch eine Glocke oder ein dergleichen Gefäß in 10, 12 oder in mehrere schwingende Theile einteilen. Die Folge der möglichen Töne bey diesen Schwingungsarten verhält sich gewöhnlich, wie die Quadrate der Zahlen 2, 3, 4, 5 u. s. w.

Was die Geschwindigkeit des Schalls betrifft, so hat die Theorie dieselbe allemal kleiner angegeben, als die Erfahrung. Außer Eulern haben sich mit der Theorie vorzüglich la Grange und Giordano Riccati beschäftigt. Da aber ihre Resultate um ein Beträchtliches von der Erfahrung abwichen, so machte Herr Wünsch¹⁾ den Versuch, eine neue Theorie des Schalles aufzustellen. Er nimmt hiebey die Voraussetzung an, daß die Luft eine eigene Geschwindigkeit besitze, mit welcher sie ausweicht, wenn man ihr Platz verstatet, und zeigt nach einer ganz eigenen Vorstellungsart von der Fortpflanzung des Schalls, daß eben dieses auch die Geschwindigkeit des Schalls seyn müsse. Bey einer jeden Luftsäule stellt er sich einen Schwerpunkt vor, und versteht darunter denjenigen Ort der Säule, welcher eben so viel Luft über sich als unter sich hat (wo z. B. das Barometer auf 14 Zoll steht, wenn es sich an der Erdsfläche 28 Zoll hoch hält). Nach seiner Meinung

dringt

i) *Initia novae doctrinae de natura soni.* Lips. 1776. 4.

dringt nun jede Luftsäule in leere Räume mit derjenigen Geschwindigkeit, welche der Höhe ihres Schwerpunkts zugehört. Die Höhe des Schwerpunkts der Luftsäulen über der Erdoberfläche bestimmt Herr Wünsch durch die Differenzen der Wurzeln vierter Potenz aus den Barometerhöhen, und findet sie, wenn man das Verhältniß der Gewichte der Luft und des Quecksilbers = 1 : 11900 setzt (für die Barometerhöhe 28 Paris. Zoll), = 17750 Paris. Fuß. In dieser Höhe steht alsdann nach Herrn Wünsch das Barometer auf 14 Zoll, und ihr gehört die Geschwindigkeit von 1037 Pariser Fuß in einer Sekunde zu. Diese so genaue Uebereinstimmung mit den genauesten Versuchen über die Fortpflanzung des Schalls hält Herr Wünsch für einen Beweis der Richtigkeit seiner Theorie. — Allein so sehr auch dieses Resultat mit dem der Versuche zusammentrifft, so sind doch die Gründe, worauf diese Theorie beruht, bloß willkürliche und sehr unwahrscheinliche Voraussetzungen, so daß dieß Zusammentreffen mit der Erfahrung wohl nur als bloßer Zufall angesehen werden kann. Es ist dem Wesen der flüssigen Materie gar nicht angemessen, sich bey Bewegungen derselben Schwerpunkte vorzustellen, weil sich hier jeder Theil für sich bewegt; und eben darin liegt die Schwierigkeit, daß die Theorie der Fortpflanzung des Schalls so schwer und dunkel ist.

Herr Kramp^{k)} hat eine Tabelle über die Veränderungen der Geschwindigkeit des Schalls bey verschiedenen Graden der Temperatur von 30 Grad Reaum. bis zu — 10 Grad gegeben. Er setzt voraus, daß (nach den Beobachtungen von de Lüc)

die

k) Geschichte der Aerostatik. Strasburg 1786.

die der Temperatur von $16\frac{1}{2}$ Grad Reaum. zugehörige Höhe 4342,704 Loisen beträgt, und daß, wenn 1 Reaumür. Grade bedeutet, die Veränderung der specifischen Elasticität der Luft dem Bruche

$1 + \frac{r}{210}$ proportional ist. Er findet also die Geschwindigkeit des Schalls bey 30° Reaum. = 151,60

Loisen, oder 909,60 Pariser Fuß, und bey -10 Grad 138,39 Loisen, oder 830,34 Fuß.

Die neuesten Versuche über die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalls sind die von Kästner, Mayer und Müller in Göttingen. Hiebey hat man sich mit vielem Vortheile der Tertienuhren bedient. Bey diesen ist ein Drücker angebracht, womit man in jedem Augenblicke das stillstehende Uhrwerk loslassen, und das gehende hemmen kann, um die Zahl der Tertien in einer gewissen Zwischenzeit mit Ruhe bemerken zu können. Mitteltst einer solchen Uhr von Klindworth in Göttingen bemerkten im Jahr 1778 Kästner und Mayer auf der dasigen Sternwarte die Geschwindigkeit des Schalls aus einer Entfernung, deren Größe aus einer gemessenen Standlinie bestimmt war. Dazumal gieng gerade ein starker Wind aus Norden, welcher dem Schalle entgegenwehte. Zu eben dieser Absicht gebrauchte der Major Müller zu Göttingen 1791 eine von Herrn Ahrens in Hannover versfertigte Tertienuhr. Er hatte auf dem Felde bey Göttingen verschiedene Linien theils mit 16füßigen Stäben, theils mit der Kette sorgfältig gemessen. Aus beyden Messungen, welche nicht sehr von einander abwichen, kam für eine das Mittel = 9116 Calenberger Fuß = 8223,3 Paris. Fuß. Am 9. Septemb. Abends bey

bey ganz heiterm Himmel und kaum merklichem Ostwinde, welcher die Linie ungefähr senkrecht durchschneidet, ließ er an dem einen Ende dieser Linie starke Kanonenschläge legen, und an dem andern beobachtete er Blitz und Knall. Die Zwischenzeit ward an der Uhr 7 Sekunden 54 Tertian gefunden; die übrigen Beobachtungen kamen dieser sehr nahe, keine wich über 6 Tertian ab; ein Mittel aus allen gab 7 Sekunden 54,25 Tertian¹⁾. Die Geschwindigkeit betrug also in einer Sekunde 1040,3 Par. Fuß, so wie Kästner und Mayer dieselbe 1037 Fuß gefunden hatten. Hierdurch war also erwiesen, daß die Veränderung der Atmosphäre in Ansehung der Witterung keinen großen Einfluß auf die Fortpflanzung des Schalls habe. Nur solche Umstände, durch welche die specifische Elasticität der Luft geändert wird, scheinen auch die Geschwindigkeit des Schalls zu verändern.

Die Stärke, mit welcher sich der Schall in verschiedenen Gasarten verbreitet, soll nach Priestley^{m)} bloß von der Dichtigkeit, und nicht von einem chemischen Bestandtheile derselben abhängen. Zu seinen Versuchen hat er sich einer Klingel mit einem Hammer bedient, welche unter eine mit der zu untersuchenden Gasart angefüllte Glocke gestellt war, und hat beobachtet, in welcher Entfernung der Schall noch konnte bemerkt werden. In Wasserstoffgas fand er den Schall fast so wenig hörbar, als im luftleeren

1) Gothaisches Magazin für das Neueste aus d. Phys. und Naturg. B. VIII. St. I. S. 170.

m) Observat. et experim. sur différentes branches de la physique. T. III. p. 355.

ren Raum; in kohlensaurem Gas heller, als in atmosphärischer Luft, so daß er fast um die Hälfte weiter zu hören war; in Sauerstoffgas ebenfalls lauter, als in gemeiner Luft, und zwar, wie er glaubt, mehr, als man in Ansehung der Dichtigkeit erwarten sollte. Die Versuche, welche Perolle fast auf eben dieselbe Art vermittelst einer Glocke, die in einem mit der Gasart angefüllten gläsernen Recipienten durch ein Uhrwerk angeschlagen ward, anstellte, gaben etwas andere Resultate ⁿ⁾. In kohlensaurem Gas war der Schall ein wenig tiefer und dumpfer, als in gemeiner Luft, und weniger weit zu hören. In Sauerstoffgas, wie auch in Salpetergas, war der Schall etwas deutlicher, als in atmosphärischer Luft, und weiter zu hören; in Wasserstoffgas sehr undeutlich, so daß es mehr ein schwaches dumpfes Geräusch war, als ein bestimmter Klang, fast wie ein schwacher Schlag auf einen wenig elastischen Körper, er war auch nicht weit zu hören. Perolle bestimmt die Fähigkeit der verschiedenen Gasarten, den Schall zu verbreiten, so, daß, wenn die Leitungsfähigkeit der gemeinen Luft = 1 angenommen wird, die des Sauerstoffgas = 1,135, des Salpetergas = 1,23, des kohlensauren Gas = 0,82 und des Wasserstoffgas = 0,234 ist.

Ferner hat auch Herr Chladni ^{o)} Versuche dieser Art angestellt. Es ward eine offene zinnerne Orgelpfeife, an welcher die Länge der schwingenden Luftsäule von der Rippe an, wo die eingeblasene Luft ausgeht, bis zu dem Ende etwa 6 Zoll betrug, an dem obern Ende

n) Mém. de l'Acad. de Toulouse. 1781. und Mémoire. de l'Acad. de Turin. 1786-1787.

o) Voigt's Magazin für den neuest. Zust. der Naturk. B. I. St. 3.

Ende in dem Halse einer gläsernen Glocke, die mit einem Hahne wohl verschlossen werden konnte, befestigt. Bey dem Untertauchen der gläsernen Glocke unter das Wasser ward also zur Vermeidung aller Vermischung der atmosphärischen Luft zugleich auch die Pfeife mit Wasser angefüllt. An den Hals der Glocke ward eine Blase eingeschraubt, die ebenfalls mit einem Hahn versehen war, und vorher, so viel als möglich, zusammengedrückt und ausgefogen ward. Hierauf ward sowohl die Glocke, als auch die an den Hals derselben geschraubte Blase mit dem zu untersuchenden Gas so weit angefüllt, daß das Wasser, womit die Glocke gesperrt war, innerhalb und außerhalb der Glocke gleiche Höhe hatte, so daß der Druck, welchen das Gas erhielt, dem Drucke der Atmosphäre gleich war. Das Anblasen der Pfeife geschah durch Drücken der Blase, es war aber hierbey alle Behutsamkeit nöthig, um zu verhindern, daß nicht etwa anstatt des tiefsten Tons einer der in der natürlichen Zahlenfolge enthaltenen höhern Töne zum Vorschein kam: es war also ein schwacher und gleichförmiger Druck der Blase erforderlich, welcher aber, so oft man wollte, sich wiederholen ließ, weil bey einem Nachlassen des Drückens das überflüssige Gas wieder in die Blase zurückgieng. Das Verfahren war bey der einen Gasart, wie bey der andern; auch die Temperatur war bey allen Versuchen ungefähr eben dieselbe, nämlich so, wie sie an etwas kühlen Frühlingstagen, wo man es allenfalls ohne künstliche Wärme aushalten kanu, zu sehn pflegt. Zu genauerer Beurtheilung der Töne hatte Chladni zwey Saiten mit dem Tone, welchen gemeine Luft gab, in Einklang gestimmt.

Zusörderst ward, um zu sehen, ob die Geschwindigkeit der Schwingungen bey einer solchen elastischen

Flüssigkeit durch die Einschließung derselben in die Glocke vielleicht etwas verändert würde, die Glocke sowohl als die Blase mit gemeiner Luft angefüllt, wobey aber der Ton eben derselbe war, als wenn die Pfeife in freyer Luft angeblasen ward, nur aber weit schwächer, welches man auch nicht anders erwarten konnte, weil die Schwingungen der in der Glocke eingeschlossenen Luft nur durch die Wände der Glocke und durch das Wasser weiter verbreitet, und der übrigen atmosphärischen Luft mitgetheilt werden konnten. Daus geachtet aus diesem Grunde der Klang auch bey den übrigen Versuchen etwas schwach war, so konnte man ihn doch vollkommen deutlich hören.

In Sauerstoffgas aus Braunstein war der Klang über einen halben Ton oder beynabe einen ganzen Ton tiefer, als in gemeiner Luft. Das Stickgas schwingt, ohngeachtet seiner geringern specifischen Schwere, langsamer, als die atmosphärische Luft. Eine merkwürdige Erscheinung zeigte sich auch bey einer Mischung von Stickgas und Sauerstoffgas. Diese schwingt nämlich schneller, als jede dieser beyden Gasarten für sich, und zwar so, daß sie eben den Ton giebt, wie die atmosphärische Luft, welche etwa 0,73 Stickgas und 0,27 Sauerstoffgas enthält.

Wasserstoffgas gab weit höhere Töne, als die atmosphärische Luft; bey dem aus Eisen und Schwefelsäure betrug der Unterschied etwas über eine Oktave, bey dem aus Zink und Kochsalzsäure beynabe eine Oktave und einen ganzen Ton, bey dem aus Wasserdämpfen, die durch eine glühende eiserne Röhre geleitet wurden, etwas über eine Oktave und eine kleine Terz. Der Ton des kohlensauren Gas aus Kreide und Schwefelsäure war fast um eine große Terz tiefer,
als

als der Ton der atmosphärischen Luft. Salpetergas aus Salpetersäure und Kupfer war nicht sehr zum Klingen geneigt; es war auch etwas Stärke des Drucks der Blase und viele Behutsamkeit nöthig, weil sonst anstatt des verlangten tiefften Tons leicht einer der höhern zum Vorschein kam. Wenn also der Ton, welchen in einer Pfeife von einer gewissen Länge die atmosphärische Luft giebt, das 2 gestrichene c ist, so wird nach diesen Beobachtungen geben: Sauerstoffgas zwischen 1 gestrichen b und h; Stickgas 1 gestrichen h; eine Mischung von Stickgas und Sauerstoffgas eben so, wie die atmosphärische Luft, 2 gestrichen c; Wasserstoffgas, je nachdem es leichter ist, zwischen 3 gestrichen c und e; kohlensaures Gas ungefähr 1 gestrichen gis; Salpetergas 1 gestrichen h. Was demnach die Geschwindigkeit betrifft, mit welcher der Schall eines andern schwingenden Körpers durch diese Gasarten würde verbreitet werden, so würden sie sich allem Ansehen nach wie die hier angegebenen Töne verhalten; es würde also, bey einerley Druck und bey einer von 10 bis 11 Reaumür. Grade nicht allzusehr verschiedenen Temperatur, der Schall in einer Sekunde durch folgende Weiten gehen:

In atmosphärischer Luft, wie auch in einer ähnlichen künstlichen Mischung von Sauerstoffgas und Stickgas ungefähr durch	1038 Par. Fuß
In Sauerstoffgas ungefähr durch	950 bis 960 Fuß
In Stickgas - - -	990 Fuß
In Wasserstoffgas - - -	2100 bis 2500 Fuß
In kohlensaurem Gas - - -	840 Fuß
In Salpetergas - - -	980 Fuß.

Hievon würden die nach der gewöhnlichen Theorie zu findenden Geschwindigkeiten um ein Beträchtliches

ches abweichen. Daher glaubt Herr Ehladni, daß die Geschwindigkeit der Schwingungen einer elastischen Flüssigkeit nicht von der specifischen Elasticität allein, sondern noch außerdem von einer andern chemischen Eigenschaft derselben abhänge, die wohl eine nähere Untersuchung verdiene.

Diese Versuche des Herrn Ehladni wurden im Pariser Bulletin des sciences (Pluviose, an 6.) und im Journal de physique (Messidor 1. an 6.) etc. was unvollkommen und zum Theil unrichtig angeführt. Dadurch ward Herr Perolle veranlaßt, in einem Schreiben an de la Metherie (im 5ten Theile des Journal de phys. p. 455.) seinen Behauptungen zu widersprechen, woben er sich auf die von ihm angestellten und vorhin erwähnten Versuche beruft. Allein Herr von Arnim ^{p)} hat diesen nur auf einem bloßen Mißverstände beruhenden Widerspruch berichtigt. Die Versuche des Herrn Ehladni dienen nämlich bloß dazu, um die Geschwindigkeit der Schwingungen einer Gasart zu erforschen; die Versuche von Perolle aber betreffen die Stärke, mit welcher die Schwingungen eines andern elastischen Körpers durch die Gasarten fortgeleitet werden.

Ueber die Fortpflanzung des Schalls durch feste und flüssige Körper waren bisher noch wenig Untersuchungen angestellt worden. Herr Wunsch ^{q)} glaubte, daß sich der Schall durch feste Körper augenblicklich fortpflanze; er fügte nämlich 36 Dachlatten, jede

p) Gilbert's Annalen der Physik. B. III. St. 2. S. 193. f.

q) Sammlung deutsch. Abhandl., welche in der königl. Akad. der Wissenschaft. vorgelesen worden in den Jahren 1788 und 1789. Berlin 1793. 4.

de zu 24 Fuß Länge, mit Zapfen an einander, und hieng diese Verbindung horizontal auf, so daß ihre beyden Theile Schenkel eines rechtwinklichten Dreyn ecks bildeten, dessen Hypothenuse 620 Fuß lang war. Das Ohr am Ende der Latten hörte den Schlag des Hammers auf das andere Ende durch die Latten in demselben Augenblicke, durch die Diagonale in der Luft aber $\frac{1}{2}$ Sekunde später. Der Schall geht daher durch an einander liegende elastische Körper um ein beträchtliches schneller, als durch die Luft. Ob aber daraus geschlossen werden könne, daß der Schall durch solche Körper eben so schnell, wie das Licht, sich fortpflanze, das läßt sich bey einer so geringen Entfernung nicht ausmachen.

Ueber die Stärke des Schalls in verschiedenen tropfbaren flüssigen Materien hat Perolle zuerst Versuche angestellt ¹⁾. Er hieng eine Taschenuhr, an welcher die Fugen mit Wachs verklebt waren, an einen Faden in einem Gefäße auf, das mit der zu untersuchenden Flüssigkeit angefüllt war, und bemerkte, bis zu welcher Entfernung der Schall noch hörbar war; diese Entfernung war in der Luft 8 Fuß, in Wasser 20, in Olivenöl 16, in Terpentinöl 14, in Weingeist 12 Fuß. Bey Wiederholung dieser Versuche waren die Resultate nicht immer eben dieselben. Hierdurch wurde Perolle überzeugt, daß durch den Schall alle diese Flüssigkeiten stärker, als die Luft, erschüttert werden, welche Erschütterung auch sowohl an dem Gefäße, als an dem hölzernen Tische, auf dem es stand, sehr merklich war, wobey
aber

r) Mémoir. de l'Academ. de Turin 1790-1791. und Gilbert's Annalen der Phys. V. III. St. 2. S. 172.

aber die Oberfläche des Wassers ruhig blieb. In jeder dieser Flüssigkeiten erhielt der Schall eine andere Modifikation.

Ueber die Stärke, mit welcher der Schall durch verschiedene feste Körper fortgeleitet wird, hat Perols ⁶⁾ viele Versuche angestellt. Er fand z. B., daß der Schlag einer Taschenuhr, der bey verstopften Ohren kaum 2 Linien weit gehört werden konnte, in einer ziemlichen Entfernung noch zu hören war, wenn das eine Ende eines festen Körpers an die Uhr, und das andere an solche feste Theile des Kopfs gestemmt ward, die den Schall am besten bis zum Gehörorgan leiten konnten, so daß alle von ihm untersuchten Körper den Schall stärker, als die Luft, annahmen und mittheilten. Die hölzernen Stäbe folgten in dieser Ordnung: Tannen, Campesche, Buchsbaum, Eiche, Kirschbaum, Kastanie. Metallene Stäbe leiteten etwas schwächer, und in folgender Ordnung: Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Zinn, Blei. Sodann folgten Fäden oder Schüre von Darm, Haaren, Seide, Hanf, Leinen, Wolle, Baumwolle. Auch hat er Zink, Antimonium, Glas, Salz, Gyps, getrockneten Thon und Marmor untersucht; letzterer leitete unter allen von ihm untersuchten festen Materien am schlechtesten.

Herr von Arnim ⁷⁾ unternahm es, Gesetze für die Stärke der Schallfortpflanzung durch feste und flüssige Körper zu bestimmen. Er glaubte bewiesen zu haben,

6) Ibid. 1791-1792. Voigt's Magazin für Phys. und Naturg. B. X. St. 2. S. 39. Gilbert's Annalen der Phys. B. III. St. 2. S. 168.

7) Gilbert's Annalen der Physik. B. IV. S. 112. f.

haben, daß Elasticität und elastische Schwingung nur durch Cohärenz möglich sey, und daraus folgerte er, daß auch die Stärke der Schallfortpflanzung durch verschiedenartige Körper mit ihrer Cohärenz in Verhältniß stehen müsse. Dieser Satz ließ sich am besten an den so homogenen Stoffen, wie die Metalle sind, prüfen:

	Folge nach der Cohärenz.	Folge nach der Stärke der Schallfortpflanzung nach Perolle.
Sickingen	Eisen	Eisen
— —	Kupfer	Kupfer
— —	Silber	Silber
— —	Gold	Gold
Musschenbroek	Zinn	Zinn
— —	Bley	Bley.

Hiernach stimme also die Erfahrung mit der Theorie vollkommen überein; ein Erfolg, der nicht wenig Zutrauen zur weitem Ausdehnung derselben einflößen müsse. Zwar könne jenes Gesetz eigentlich auf Holzarten nicht ausgedehnt werden, da sie keine homogene Stoffe wären; doch finde man auch eine Bestätigung an dem Fichten- und Tannenholze, welches in seiner ganzen Struktur sehr mit einander übereinstimme. Jenes wurde nach Musschenbroek's Versuchen durch 550 Pfund, dieses erst durch 600 Pfund getrennt.

Eben so schön stimme die Folge der Schnüre verschiedener Art mit diesem Gesetze überein. Zwar hätten wir keine genaue vergleichende Versuche in Rücksicht ihrer Cohärenz, aber die tägliche Erfahrung habe uns darüber hinlänglich belehrt, und er glaube nicht, daß diese, außer bey der Wolle und Baumwolle, die ihre Stellen vertauschen müßten, etwas dagegen zu erinnern hätte.

So verschieden die Schallfortpflanzung durch flüssige und feste Körper sey, da diese in eine elastische Schwingung versetzt würden, jene hingegen eine Bewegung empfangen und fortpflanzten, eben so verschieden werde auch das Gesetz für die Stärke des Schalls in den festen Körpern seyn. Da die Größe der Bewegungen im Allgemeinen, und so auch hier der Bewegung der Flüssigkeit, dem Produkte aus der Masse und der Geschwindigkeit gleich sey; so würden auch die Größen der Bewegung verschiedener Flüssigkeiten, welche durch gleiche Ursachen in Bewegung gesetzt würden, sich wie die Produkte verhalten. Sobald aber diese Flüssigkeiten nicht selbst auf eine wahrnehmbare Art mit der Geschwindigkeit des Schlags den Ton desselben veränderten, so würden die Geschwindigkeiten in beiden Produkten, wo die Uhr von gleichen Kräften bewegt werde, gleich seyn; die Größen der Bewegungen würden sich daher verhalten, wie die Massen. Da ferner die Oberflächen der Uhr, also die Volumina der Flüssigkeiten, gleich sind, so würden sich die Größen der Bewegung verschiedener Flüssigkeiten unter den angegebenen Umständen, wie die specifischen Gewichte der Flüssigkeiten verhalten.

Hier fänden wir wiederum die schönste Uebereinstimmung mit der Erfahrung, aus der schon Priestley für luftförmige Flüssigkeiten denselben Schluß gezogen hätte. Auch Verolle's Versuche bestätigten es, doch mit Ausnahme des kohlensauren Gas. Auf die Vergleichung der Stärke des Schalls in luftförmigen und tropfbarflüssigen Körpern lasse sich jenes Gesetz nicht unmittelbar anwenden, da aus Verolle's Versuchen, nach welchen sie nicht bloß die Stärke des Tons, sondern auch selbst den Ton ver-

wans

wandeln, hervorgehe, daß sie die Geschwindigkeit der Uhr veränderten, und zwar beträchtlich verzögerten. Am wenigsten würden uns aber Perolle's Versuche zu dieser Vergleichung genügen, da dort nicht die ganze Entfernung des Beobachters von der Uhr, sondern nur der Zwischenraum zwischen der Uhr und dem Glase, worin sie lag, in Betrachtung gezogen werde. Ungeachtet dieser beyden entgegenwirkenden Ursachen sey doch der Ton in der Luft bey einer Entfernung von 8 Fuß verschwunden; hingegen im Wasser erst bey einer Entfernung von 20 Fuß. Die Folge der tropfbar-flüssigen Körper stimme wiederum sehr gut mit dem Gesetze überein:

Folge nach Perolle's Versuchen.	Specif. Gewicht nach Musschenbroek.
Wasser	1,000
Del	0,913
Terpentinöl	0,792
Weingeist	0,791

Zuletzt führt von Arnim noch ein Paar Erfahrungen von Zanotti und von sich an. Jener fand, ganz jenem Gesetze gemäß, daß der Ton in einem offenen Gefäße, dessen Luft erwärmt war, wo also ohne die absolute Expansion zu ändern das spezifische Gewicht vermindert wurde, viel schwächer war. Zur Prüfung des Gesetzes für feste Körper machte er den Versuch, nachdem er beyde Ohren verstopft, und die Verbindung mit einer Taschenuhr durch einen dünnen Messingdrath gemacht hatte, diesen durch ein untergesetztes Licht bis zum Glühen zu erhitzen. Der Ton wurde dadurch sehr geschwächt, und er konnte die einzelnen Anschläge der Spindellappen kaum mehr unterscheiden, bis endlich der Drath riß. Diesen Versuch hatte er einige mal wiederholt, und er bestätigte

te ebenfalls das vorbergehende von ihm angeführte Gesetz.

Herr Ehladni ^{u)} hat zuerst eine Theorie der Geschwindigkeit des Schalls durch feste Körper entworfen. Ob die Richtung, in welcher die einem festen Körper mitgetheilten Schwingungen geschehen, longitudinal oder transversal ist, kann, nach Ehladni, sowohl von der Gestalt des mitklingenden Körpers, als auch von der Richtung, nach welcher er von dem schallenden Körper gestoßen wird, abhängen. Hat der Körper, dem die Schwingungen mitgetheilt werden, eine stabförmige Gestalt, so wird er in beyden Richtungen mit gleicher Leichtigkeit schwingen; ist er aber eine dünne Fläche, wie z. B. ein Resonanzboden, so wird er geneigter seyn, transversal zu schwingen. Uebrigens möchten wohl in den meisten Fällen durch die bey etwas starken Transversalschwingungen seitwärts geschehende Drehung der schwingenden Theile auch Longitudinalschwingungen, d. i. Zusammenziehungen und Ausdehnungen nach der Richtung der Länge, erregt werden können. Wird ein Körper, der in beyden Richtungen zu schwingen im Stande ist, von dem schallenden Körper nach der Richtung der Länge gestoßen, so werden eher Longitudinalschwingungen, durch Stöße in die Quere aber eher Transversalschwingungen hervorgebracht werden. Auf die Beschaffenheit der Schwingungen des schallenden Körpers selbst, ob diese nämlich in die Länge oder in die Quere geschehen, kann hier nichts ankommen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Schall durch feste Körper verbreitet wird, möchte sich, in so fern

u) Voigt's Magazin für den neuest. Zust. der Naturk. B. I. St. I.

fern es Longitudinalschwingungen sind, nach Etladni am besten so bestimmen lassen. Da der Schall durch eine Strecke freyer Luft in eben der Zeit fortgeht, in welcher diese Luftstrecke als selbstklingens der Körper (in einer an beyden Seiten offenen Pfeife) eine Longitudinalschwingung macht; da auch feste Körper in Ansehung ihrer Longitudinalschwingungen sich nach eben den Gesetzen richten, wie die Luft; so kann man süglich annehmen, daß in jeder festen sowohl als ausdehnbar flüssigen Materie der Schall in eben der Zeit sich verbreitet, in welcher sie, als selbstklingender Körper betrachtet, eine Longitudinalschwingung macht. Jeder feste Körper wird also nach diesen Voraussetzungen den Schall um eben so viel geschwinder fortleiten, als der Ton, welchen er bey seinen Longitudinalschwingungen giebt, bey gleicher Länge dieses Körpers höher ist. Die Geschwindigkeiten werden also, sowohl unter sich, als gegen die Luft betrachtet, ungefähr in den Verhältnissen stehen, wie die oben angeführten Töne bey den Longitudinalschwingungen. Nun ist der Ton eines Stabes von Zinn ungefähr um zwey Oktaven und eine große Septime höher, als der Ton einer eben so langen Luftstrecke in einer offenen Pfeife; der Ton eines Stabes von Silber ist um drey Oktaven und einen ganzen Ton; eines Stabes von Kupfer beynähe um drey Oktaven und eine Quinte; von Eisen und Glas, welche unter allen von Etladni untersuchten Materien nebst dem Tannenholze am schnellsten schwingen, um vier Oktaven und einen halben Ton höher u. s. w. Wenn man also eine hinlänglich lange und gleichförmig zusammenhängende Strecke von einer solchen Materie hätte, so würde die Geschwindigkeit der Verbreitung durch Zinn $7\frac{1}{2}$, durch Silber 9, durch Kupfer beynähe 12, durch Eisen und Glas unge-

ungefähr 17, durch verschiedene Hölzer ungefähr zwischen 11 und 17, durch gebrannten Thon 10 bis 12mal größer seyn, als die Geschwindigkeit der Verbreitung des Schalls durch die Luft.

Echo und Sprachrohr.

Die meisten Physiker haben das Echo nach den Gesetzen der zurückgeworfenen Strahlen des Schalls zu erklären gesucht; allein la Grange ^{x)} hat zuerst eine richtigere Vorstellungsart davon gegeben, und gezeigt, daß, wie schon d'Alibert in der Encyclopédie bemerkt hatte, eine der Katoptrik ähnliche Katakustik oder Kataphonik ein Unding sey. Nachher hat Leonh. Euler ^{y)} die richtige Theorie des Echo vorgetragen. Es war nämlich aus der Erfahrung längst bekannt, daß oft an solchen Orten kein Echo wahrgenommen wird, wo man es der Regel nach hätte erwarten sollen; im Gegentheil da ein Echo gehört wird, wo man es gar nicht vermuthete. Da also in vielen Fällen ein Echo entsteht, wo eine hinreichend lange von der übrigen Luft nach den Seiten zu abge sonderte Luftstrecke sich an keinen festen Gegenstand stemmt, sondern bloß durch die freye Luft begrenzt ist, so folgt, daß das Echo überhaupt nicht sowohl durch Reflexionen, als vielmehr durch andere Ursachen bewirkt werde.

Alle Wiederholungen eines einfachen Schalls beruhen darauf, daß die Verdichtungen der Lufttheile,
und

x) Recherches sur la nature et la propagation du son, sect. II. cap. 2. (in den Miscellan. Taurineuf. T. I. 1759.)

y) Mémoire de l'Acad. de Berlin. 1765. und in der Abhandl. De motu aëris in tubis cap. II. in Nov. Comment. Acad. Petrop. T. XVI.

und die Geschwindigkeiten, womit ein jeder sich aus seiner natürlichen Lage durch einen sehr kleinen Raum hin und wieder bewegt, durch irgend einen Umstand verhindert werden, gleichförmig, wie bey der gewöhnlichen Verbreitung des Schalls, mit einander fortzurücken. Da eingeschlossene und freye Luft sich in ihren Schwingungen nach einerley Gesetzen richten, so werden die Fälle, in welchen durch einen verschiedenen Gang der Verdichtungen und der Geschwindigkeiten eine oder mehrere Wiederhohlungen des Schalls veranlaßt werden, sich am besten übersehen lassen, wenn man mit Euler'n untersucht, wie eine Luftstrecke, welche in einer Röhre enthalten ist, oder überhaupt eine Luftstrecke, die man auf irgend eine Art isolirt oder von der übrigen Luftmasse abge sondert sich vorstellt, unter verschiedenen Umständen nach einem erhaltenen einfachen Stöße schwingen würde. Ob nun eine solche Röhre gerade oder gekrümmt, weit oder enge gedacht wird, ist einerley. Ist die Röhre nach beyden Seiten zu unendlich lang, so werden die Verdichtungen und Geschwindigkeiten immer in gleichen Verhältnissen fortrücken, es wird also in demselben Augenblicke, da bey dem Rückgange der Bewegung die Geschwindigkeit = 0 wird, auch die natürliche Dichtigkeit wieder hergestellt, und folglich kein Grund vorhanden seyn, warum mehrere Schwingungen erfolgen könnten; man wird also nur einen einfachen Schall hören, und zwar, wenn p den Abstand des Ohrs von der Stelle, wo der Schall hervorgebracht wird, und k den Raum, durch welchen der Schall in Einer Sekunde geht, bedeutet, nach Verlauf von $\frac{p}{k}$ Sekunden. Dieß ist der Fall bey der gewöhnlichen Verbreitung des Schalls, wo die

Sicher's Gesch. d. Physik. VI. B. S s Luft

Luft nicht mehrere Schwingungen macht, als der Körper, welcher sie in Bewegung setzt. Wenn aber die Röhre entweder nach einer Seite zu, oder nach beyden begrenzt ist, so gehen die Verdichtungen und Geschwindigkeiten der Lufttheile, welche in Bewegung gesetzt werden, in ungleichen Verhältnissen fort, es wird also bey dem Rückgange die Verdichtung und Geschwindigkeit nicht in demselben Augenblicke = 0, sondern die Bewegung muß weiter fort und mehrereremal vor- und rückwärts gehen, so lange, bis dieses erfolgt oder die Bewegung wegen anderer Hindernisse aufhören muß. Ein solches begrenztes Ende der Röhre kann aber entweder offen oder verschlossen seyn; wäre es offen, so behält an dieser Stelle die Luft wegen ihres Zusammenhangs mit der äußern Luft immer die natürliche Dichtigkeit, der Grad der Geschwindigkeit sey, welcher er wolle; wäre es verschlossen, so ist die Geschwindigkeit der Luft, weil sie nicht ausweichen kann, an dieser Stelle immer = 0, so sehr auch die Verdichtung zunehmen mag. Die verschiedenen Fälle, in welchen eine oder mehrere Wiederholungen eines einfachen Schalls gehört werden, sind also folgende:

1. In einer Röhre, welche an dem einen Ende (fig. 57.) ac begrenzt und offen, aber nach der andern Richtung e ins Unendliche ausgedehnt ist, wird ein innerhalb der Röhre bey l erregter Schall nur an dem offenen Ende ac einfach gehört, und zwar, wenn k die Weite bedeutet, durch welche der Schall in einer Sekunde geht, nach der Zeit $\frac{ld}{k}$ Sekunden.

Weiter nach l zu, und sowohl in l selbst als auch hinter l, wird der Schall verdoppelt, so daß eine Resonanz,

sonanz, und, wenn man immer weiter von ac abwärts geht und lc immer größer wird, ein Echo entsteht. Man hört an jeder hinter l befindlichen Stelle e erst den ursprünglichen Schall nach der Zeit von $\frac{el}{k}$ Sekunden, und sodann, so wie auch in l selbst, einen zweiten Schall, welcher von dem erstern etwas verschieden ist, um $\frac{2el}{k}$ Sekunden später. Wenn $el = 1040$ Fuß ist, so ist es ein Echo von 2 Sekunden. Hier ist also ein Beyspiel eines einfachen Echo's, welches sich durch Reflexion nicht würde erklären lassen.

2. Wenn die Röhre an dem einen Ende ac begrenzt und verschlossen, nach der Richtung e aber unendlich lang ist, und an der Stelle l ein Schall erregt wird, so hört man ebenfalls, wenn l und c einander nahe sind, eine Resonanz, und je größer lc ist, ein desto deutlicheres einfaches Echo; es folgt nämlich sowohl in l selbst, als auch an jeder dahinter befindlichen Stelle e , der zweyte Schall dem ersten nach in Zeit von $\frac{2al}{k}$ Sekunden; die Erscheinung selbst, und die Zeit, in welcher beyde Schläge auf einander folgen, sind also eben so, wie in dem vorigen Falle, obgleich die Bewegung selbst etwas verschieden ist.

3. Wenn eine Röhre an beyden Enden begrenzt und offen ist, so entsteht durch einen an irgend einer Stelle l erregten einfachen Schall ein vervielfältigtes Echo, wo allemal jede 4ten Schläge einander ähnlich sind. Wenn das Ohr sich an dem einen Ende bey b befindet, so wird es nach der Zeit $\frac{bl}{k}$ den ursprüng-

lichen Schall hören, hierauf nach der Zeit $\frac{2al}{k}$ das erste Echo, das zweyte nach der Zeit $\frac{2bl}{k}$, das dritte wieder nach der Zeit $\frac{2al}{k}$, endlich das 4te wieder nach der Zeit $\frac{2bl}{k}$ Sekunden u. s. f. Der Schall wird also wiederhohlt werden in Zeiträumen, die abwechselnd $\frac{2al}{k}$ und $\frac{2bl}{k}$ Sekunden betragen. Wäre der Schall an der Stelle b selbst hervorgebracht worden, so würde man daselbst nur halb so viel Echo's hören, die in den Zeiträumen von $\frac{2bl}{k}$ auf einander folgten, so daß, wenn die Röhre ba 500 Fuß lang wäre, man in jeder Sekunde ein Echo hören würde.

Wenn der erste Schall in l erregt wird, und das Ohr sich an eben derselben Stelle befindet, so folgt das erste Echo dem ursprünglichen Schalle nach der Zeit $\frac{2bl}{k}$, hierauf das zweyte nach der Zeit $\frac{2al}{k}$, und das dritte durch zweyerley Bewegungen zugleich erregte und also vorzüglich starke und deutliche nach $\frac{2ba}{k}$ Sekunden; hierauf würden in eben derselben Ordnung wieder neue Echo's folgen, nach den Zeiten $\frac{2bl}{k}$, $\frac{2al}{k}$ und $\frac{2ba}{k}$ u. s. f. Wenn also der Punkt l sich

in

in der Mitte der Röhre befände, so würde man das selbst alle Echo's in gleichen Zeiträumen von $\frac{ba}{k}$ Sek. nach einander hören.

Befände sich das Ohr an irgend einer andern Stelle, so würde man die Zahl der Echo's noch mehr vervielfältigt hören, und in noch ungleichern Zeiträumen; nur in dem Falle, wenn l in der Mitte der Röhre und jene Stelle zwischen l und a wäre, würden alle 4 Echo's in gleichen Zeiträumen nach einander folgen.

Hier ist also wieder ein Beispiel von einem Echo, und zwar von einem vielfachen, welches sich nicht durch Reflexionen erklären läßt.

4. In einer Röhre, die an beyden Enden begrenzt und verschlossen ist, erfolgen die Echo's in eben denselben Zeiträumen, wie in dem vorigen Falle, wo beyde Enden offen sind.

5. Wenn die Röhre an beyden Enden begrenzt, und an dem einen Ende offen, an dem andern aber verschlossen ist, so entsteht ein vielfaches Echo, wo jedesmal jeder 8te Schlag, oder wenn der Schall an dem verschlossenen Ende hervorgebracht und an dem offenen Ende gehört wird, jeder 4te Schlag mit einander übereinstimmt.

Von diesen angeführten Fällen wird der erste, wo eine Röhre an einem Ende begrenzt und offen, nach der andern Richtung aber unendlich lang ist, in der Erfahrung nicht statt finden, außer wenn man sich statt einer unendlich langen Ausdehnung eine so große Ausdehnung, daß der Schall nicht merklich bis an das andere Ende wirken kann, vorstellt. So wird

z. B. in einem sehr langen Stollen, nachdem man mehr oder weniger von dem Ende, wo er zu Tage ausgeht, sich entfernt, eine einfache Wiederholung des Schalls, wenn andere Umstände es nicht verhindern, als Resonanz oder als Echo gehört werden.

Der zweite Fall, wo in einer Röhre, die an dem einen Ende begrenzt und verschlossen, an dem andern aber unendlich lang ist, sich eine einfache Wiederholung zeigt, kommt in der Erfahrung am häufigsten vor. Da nämlich freye und eingeschlossene Luft sich in ihren Schwingungen nach einerley Gesetzen richten, so gehören hieher alle die Fälle, wo in freyer Luft ein fester Gegenstand, z. B. eine hohe Mauer, ein Wald, oder eine Felsenwand der Richtung des Schalls entgegensteht, und also eine Luftstrecke nach dieser Richtung als begrenzt und nach der entgegengesetzten als unbegrenzt anzusehen ist. Auf die Ebenheit oder Glätte der Fläche, an welche sich die Luftverdichtung stemmt, scheint gar nichts anzukommen, indem man oft in rauhen Wildnissen, wo nirgends eine ebene und glatte Fläche ist, die besten Echo's antrifft, und bisweilen auch ein gegenüberstehender Wald schon ein ziemlich gutes Echo giebt. Es scheint mehr darauf anzukommen, ob die gegenüberstehende Fläche im Ganzen eine hierzu vortheilhafte Gestalt habe, damit eine beträchtliche Luftmasse sich bey ihren Verdichtungen gleichförmig dagegen stemmen könne.

Der dritte Fall, wo eine Röhre an beyden Enden begrenzt und offen ist, zeigt sich bey bedeckten, besonders bey gewölbten Gängen und Gallerien, die an beyden Enden offen sind, wie auch schon einiger Maaßen in engen und langen Schluchten zwischen zwey Felsenwänden, oder auch in andern etwas tie-

fen

fen und schmalen Hohlwegen, wo man gemeinlich einen Nachhall des Schalls bemerkt, welcher sich bey einer hinreichenden Länge als Echo zeigen müßte, und nicht etwa aus Reflexionen von den nahe bey einander befindlichen Wänden, sondern aus mehreren der Länge nach gehenden Schwingungen zu erklären ist.

Der vierte Fall befindet sich in solchen bedeckten Gängen oder sehr langen Sälen, die an beyden Enden verschlossen sind. Auch gehören hieher solche vielfache Echo's in freyer Luft, wo große Flächen, z. B. zwey Felsenwände oder hohe Gebäude, in einer hinlänglichen Entfernung einander gegenüber stehen, und also die Verdichtungen der dazwischen befindlichen Luftstrecke sich abwechselnd gegen beyde Flächen stemmen.

Der fünfte Fall kann sich in solchen bedeckten oder gewölbten Gängen zeigen, die an dem einen Ende offen sind, wie auch bisweilen in freyer Luft an großen Gebäuden, wo das Hauptgebäude quer vorsteht, und auf beyden Seiten rechtwinklicht mit hohen und langen Seitengebäuden zusammenhängt.

Die im Th. IV. S. 268. angeführte Abhandlung des Hrn. Lambert ist von Hrn. Prof. Huth in's Deutsche übersetzt unter dem Titel: Lambert's Abhandlung über einige akustische Instrumente. Berlin 1796. 8., mit einigen Zusätzen herausgegeben worden. Der erste Zusatz handelt vom sogenannten Horn Alexanders des Großen. Herr Huth hat nach Kirchner's Zeichnung ein solches Werkzeug aus Blech etwas kleiner verfertigen lassen, und gefunden, daß es als Sprachrohr beträchtliche Wirkung that, besonders wenn am Ausgange und Eingange durch schiefwinklicht eingesezte Bleche dem Schalle noch mehr die gehörige Richtung gegeben ward. Der zweyte Zusatz

enthält Erfahrungen über ein elliptisches Sprachrohr; der Schall ward dadurch nur wenig verstärkt, aber klingender, es zeigte sich mehr als ein gutes Hörrohr. Im dritten Zusätze empfiehlt er eine Anwendung der Sprachröhre statt der Telegraphen; er zeigt nämlich, daß wenn man in gehörigen Entfernungen Stationen für starke Sprachröhre anlegte, dadurch mit nicht allzugroßen Kosten Nachrichten in die Ferne eben sowohl als durch Telegraphen befördert werden könnten, und zwar auch zu solchen Zeiten, wo wegen trüber Witterung kein Telegraph gebraucht werden kann.

Auch befinden sich einige Bemerkungen über Sprachröhre in *Matthew Young's Enquiry into the principal phaenomena of sounds and musical strings.* Dublin 1784. P. I. sect. II.

Sprachgewölbe oder Sprachsäle.

Ueber diesen Gegenstand finden sich einige Belehrungen, besonders in Ansehung der Schauspielhäuser, in einer kleinen Schrift von J. G. Rhode²⁾. Ein Gebäude kann zu dieser Absicht eingerichtet werden:

1. Durch Beförderung einer gleichförmigen und ungehinderten natürlichen Verbreitung des Schalls.
2. Durch künstliche Verstärkung desselben, welches entweder durch Mitklingen anderer Körper oder durch Brechungen des Schalls geschehen kann.

Herr Rhode bemerkt, daß wenn die Sitze in einem Schauspielhause stufenweise über einander angelegt sind, keine Rückwirkung des Schalls bemerkbar

2) Theorie der Verbreitung des Schalls für Baukünstler. Berlin 1800. 8.

bar seyn könne, weil der Schall nirgends in einem Zeitmomente eine Widerstandsmasse antrifft, von der eine so starke Rückwirkung möglich wäre, daß sie dem Gehöre bemerklich würde, indem der Schall früher an die erste Sitzreihe anschlägt, als an die zweyte, und die Rückwirkung der erstern verloren ist, ehe die der zweyten entsteht u. s. f. Er empfiehlt also für Schauspielhäuser dieser Art den Halbkreis als die beste Form, jedoch bloß unter der Bedingung, daß die Sitze der Zuhörer amphitheatralisch, d. i. stufenweise über einander angelegt werden, wobey er auch die gewöhnlichen Einwürfe gegen diese Einrichtung der Sitze widerlegt. Da aber der Halbkreis zu klein seyn dürfte, als daß er viel Zuschauer fassen könnte, so hat man den Kreis in die Länge gezogen, und daraus ist die jetzt gewöhnliche ovale Form entstanden. Herr Rhode schlägt aber eine zweckmäßigere Form vor, welche von den Ruinen eines Theaters zu Athen entlehnt ist, und sich auch durch Bequemlichkeit und durch architectonische Schönheit empfiehlt. In demselben sind die Sitze der Zuschauer nach einem weit größern Zirkel angelegt, als die Oeffnung der Bühne giebt, und nach der Richtung der Seitenwände der Bühne an beyden Seiten abgeschnitten, wobey die durch diese zweckmäßige Form an beyden Seiten entstehenden geraden leeren Wände auch vieles zur Verstärkung des Schalls beitragen müssen, so daß der Raum ohne Nachtheil des Schalls sehr vergrößert werden kann.

Die erste Art, wie eine künstliche Verstärkung des Schalls in einem Gebäude hervorgebracht werden kann, ist durch das Mitklingen anderer Körper. Das zweyte und unstreitig das vorzüglichste Mittel, um

in einem zum Hören bestimmten Gebäude den Schall zu verstärken, ist die Brechung desselben. In Ansehung der Schauspielhäuser bemerkt Herr Rhode, daß die Baumeister und die Schriftsteller über diesen Gegenstand sich gewöhnlich von der Brechung einen ganz falschen Begriff gemacht, und geglaubt haben, sie müsse in einer Rückwirkung gegen die Bühne hin bestehen, da doch vielmehr eine jede solche Zurückbrechung nachtheilig ist, und ganz das Gegentheil von dem bewirkt, was man beabsichtigt. In Theatern, die nicht gar zu klein sind, würde nämlich an den meisten Stellen die Rückwirkung erst geschehen, wenn die Wirkung des ersten Schalls schon vorüber wäre, so daß also mehr ein die Rede undeutlich machender Wiederhall, als eine wahre Verstärkung entstehen würde, wie man dieses in vielen Theatern von runder oder ovaler Form bemerkt. Der Schall muß vielmehr von der Bühne weg gegen die Zuhörer gebrochen werden. Die meisten Schauspielhäuser, so wie auch die meisten von Schriftstellern gegebenen Pläne sind für diese Absicht ganz und gar nicht vortheilhaft, so daß es zu verwundern ist, daß man die Gesetze der Communications- und Sprachröhre nicht besser darauf angewendet hat. Das vorzüglichste Erforderniß zu dieser Absicht sind gerade Seitenwände, die von der Deffnung der Bühne an entweder parallel mit einander, oder nach divergirenden Richtungen gehen können, ohne Seitenlogen und ohne Hervorragungen, so daß deren Verzierungen bloß in Malerey bestehen dürfen, nebst einer nicht allzuhohen Decke, welche mit dem Boden parallel gehen könnte. Die Hinterwand kann am schicklichsten durch einen Zirkelbogen geschlossen seyn.

Ein großes Hinderniß der Verbreitung des Schalls bey der gewöhnlichen Einrichtung der Schaubühnen ist die Richtung der Coulissen, welche so beschaffen sind, daß der Schall von ihnen gar nicht gegen die Zuhörer gebrochen werden kann, sondern vielmehr ganz verschluckt wird, so daß, wenn der Schauspieler etwas von der Oeffnung der Scene zurückspricht, nichts weiter davon übrig bleibt, als was vermöge der natürlichen Verbreitung desselben den Zuhörern entgegen schallt. Herr Rhode äußert, daß man anstatt der Coulissen die bekannten Drehmaschinen der Alten mit Vortheil gebrauchen könne, welche dreyeckig und an den Seiten eben so wie die Coulissen bemahlt, oder mit bemahlter Leinwand bekleidet seyn können, wobey noch mehr Leichtigkeit und Geschwindigkeit der Veränderungen und weniger Irrung in den Decorationen, als bey der gewöhnlichen Einrichtung, statt fände. Diese würden so gebreht werden können, daß sie nach Beschaffenheit der Umstände entweder ganz oder wenigstens an der Oeffnung der Bühne eine feste Wand bildeten, wodurch die Verbreitung des Schalls von der Bühne weg gegen die Zuhörer sehr befördert werden würde.

Drittes Kapitel.

Von den Meynungen und Entdeckungen, welche das Weltgebäude überhaupt betreffen.

Newton's System des Himmels ist in diesem Zeitraume durch so viele Beobachtungen bestätigt worden, daß es im mathematischen Theile der Naturlehre den ersten Rang behauptet. Hiezu hat besonders die fast unglaubliche Vervollkommnung der Spiegelteleskope beygetragen, vermittelt welcher vorzüglich die Herren Herschel, Bode, von Zach, Schröter, Piazzini, Olbers, la Lande und sein Neffe le François la Lande, und mehrere Andere die wichtigsten Entdeckungen und Beobachtungen gemacht haben, welche Newton's Lehre eine unerschütterliche Festigkeit geben. Die Bemühungen aller dieser Herren, wodurch das Newton'sche System so viele Berichtigungen erhielt, lagen zerstreuet da, und es war nöthig, ein neues System des Himmels auszuarbeiten. Dieß Geschäft wurde endlich auch durch Herrn la Place in seiner vortrefflichen *Mécanique céleste* ausgeführt, nachdem er schon vorher diese Theorie in mehreren Abhandlungen ^{a)} und in einem vorläufigen Werke ^{b)} vortras

a) *Théorie du mouvement et de la figure elliptique des planètes.* à Paris 1784. *Théorie des attractions des sphéroïdes et de la figure des planètes.* 1785. und in den *Mémoires de l'Académie des sciences.*

b) *Darstellung des Weltsystems,* aus dem Französischen übersetzt. Frankfurt am Main 1797. 8. 2 Theile.