V.

E. F. F. Chladni, über seine neuern Bekanntmachungen akustischer Gegenstände und praktischer Anwendungen derselben.

- 1) Ueber die nunmehrige Bekanntmachung der Theorie und des Baues der von ihm erfundenen Instrumente, des Clavi-Cylinders und des Euphons,

Bei Untersuchungen der Schwingungen klingender Körper und bei Anwendungen derselben auf den Bau musikalischer Instrumente, hat man gewöhnlich nur auf *Saiten* und auf die *Luft* in Blas-Instrumenten Rücksicht genommen, und andere klingende Körper gar zu sehr vernachlässigt. Da nun, wenn man Gegenstände untersucht, die von Andern wenig oder gar nicht gehörig sind bearbeitet worden, sich weit mehr Neues und Nützliches finden läßt, als wenn man Gegenstände der Untersuchung wählt, mit denen viele Andere sich auch beschäftigen; so habe ich hauptsächlich alles, was nicht Saite oder schwingende Luft, also nicht durch Spannung oder Druck, sondern *für sich* elastisch ist, untersucht, wie man aus meiner zu Leipzig 1802 und zu Paris 1809 erschienenen *Akustik*, und aus meinen zu Leipzig 1817 herausgegebenen *Neuen Beiträgen zur Akustik* wird ersehen haben, und habe Manches davon auf den Bau neuer Instrumente angewendet. Schon längst wünschten Viele die Bekannt-

machung der Theorie und des Baues dieser Instrumente, dieses hatte sich aber bisher nicht thun lassen, weil ich erst zu besserer Uebersicht des Ganzen noch viele Versuche anstellen und mehrere Baue erproben mußte. Dazu bestimmte ich den Winter 1820, und sah mich so endlich in den Stand gesetzt, in vergangener Ostermesse 1821, bei Breitkopf und Härtel in Leipzig, ein Buch darüber herauszugeben, unter dem Titel: *E. F. F. Chladni's Beiträge zur praktischen Akustik und zur Lehre vom Instrumentbau, enthaltend die Theorie und Anleitung zum Bau des Clavicylinders und damit verwandter Instrumente*, in 8. mit 5 Stein-drucktafeln.

Unter allen für sich elastischen klingenden Körpern ist ein *Stab*, d. i. eine durch ihre innere Steifigkeit elastische einfache Strecke von Materie, der einfachste, und hat vor einer *Saite*, d. i. einer durch Spannung elastischen einfachen Strecke von Materie, bei gehöriger Anwendung noch den Vorzug der Unverstimmbbarkeit; er ist also als vorzüglich brauchbar zu praktischen Anwendungen anzusehen. Es war also die Hauptabsicht, zu zeigen:

wie Stäbe oder Streifen (die frei schwingen, d. i. an keinem ihrer Enden befestigt sind), *sie mögen gerade oder gekrümmt seyn, zum Bau eines Instrumentes mit beliebig fortdauernden und an Stärke anwachsenden oder abnehmenden Tönen, können auf mannichfache Arten angewendet werden*; und zwar

erstens, durch mittelbares oder unmittelbares Streichen einer sich umdrehenden Walze, welcher sie vermittelst einer Claviatur genähert werden;

zweitens, durch Verbindung der Klangstäbe mit

Streichstäben, die der Länge nach mit den Fingern gestrichen werden.

Diese beiden Arten der Klang-Hervorbringung habe ich zuerst ausfindig gemacht, und die erste im Anfange des Jahres 1800, die zweite zehn Jahre früher, im Anfange des Jahres 1790 praktisch ausgeführt. Da es nun dem ersten Urheber und Ausführer einer Idee allein zukommt, der Sache einen Namen zu geben, so habe ich jene Klasse von Instrumenten *Klavi-Cylinder* und diese *Euphone* genannt; und es ist jedes Instrument der ersten hier erwähnten Art ein *Clavi-Cylinder*, und jedes der zweiten Art ein *Euphon*, wie auch die Namen seyn mögen, welche von Andern den mit unwesentlichen Abänderungen (deren unzählig viele möglich sind) mir nachgekünstelten Instrumenten sind gegeben worden.

Der *erste Theil* des Buches enthält *allgemeine Bemerkungen*, beide Instrumente zugleich betreffend. In den Vorerinnerungen habe ich zuvörderst eine *kurze Uebersicht der klingenden Körper* gegeben, und sodann eine *allgemeine Uebersicht der musikalischen Instrumente*. Es sind diese am schicklichsten in zwei Haupt-Klassen zu theilen, nämlich in *Sing-Instrumente*, in denen der Klang durch irgend eine Art von Reibung hervorgebracht wird und so lange als diese Reibung fortdauert, meistens mit beliebig anwachsender oder abnehmender Stärke; und in *Kling-Instrumente*, in welchen der Klang durch irgend eine Art von Schlag hervorgebracht wird, und allemal im ersten Augenblicke am stärksten ist, hernach aber mehr oder weniger schnell verhallt. Jede dieser beiden Haupt-Klassen erhält, nach Verschiedenheit der dazu anzuwendenden klin-

genden Körper, und auch in Hinsicht auf die verschiedenen Arten, wie der Klang hervorgebracht wird, mehrere Unter-Abtheilungen. Nach noch einigen andern Bemerkungen wird von der Theorie der *transversalen Schwingungen gerader und gekrümmter Stäbe* so vieles vorgetragen, als zum Bau solcher Instrumente zu wissen nöthig ist, und in Ansehung des übrigen auf meine Akustik verwiesen. Indessen kommt hier doch auch, besonders über die Schwingungen *gekrümmter Stäbe*, manches Neue vor, wovon ich einiges hiernach unter 2 mitzutheilen nicht für überflüssig halte.

Im *zweiten Theile* ist vom *Bau des Clavi-Cylinders* die Rede. Voran gehen einige *allgemeine Bemerkungen* über das, was allen Bauarten gemein ist, z. B. die Beschaffenheit der Streich-Walze nebst Zubehör, die Auffuchung der Schwingungs-Knoten an den Klangstäben (auf eben die Art, wie bei meinen Klangfiguren der Scheiben, durch aufgestreuten Sand), die bisweilen vorkommenden kleinlichen Hindernisse und Unannehmlichkeiten, nebst den Mitteln, um ihnen abzuhelpen etc. Alsdann werden die verschiedenen *einzelnen Bauarten* eines Clavi-Cylinders durchgegangen, und zwar durchaus nicht etwa zu Folge bloß theoretischer Voraussetzungen, sondern alles so, wie es sich bei sehr vielen angestellten Versuchen und ausgeführten Bauten in der Erfahrung ergeben hat. Die beiden Hauptklassen der möglichen Bauarten eines Clavi-Cylinders unterscheiden sich dadurch, daß entweder 1) *die Klangstäbe unverrückt bleiben, und ein daran angebrachter Streichstab der Streichwalze genähert wird*, oder 2) *daß die Klangstäbe der Streichwalze unmittelbar genähert werden.*

Bei der zuerst erwähnten Klasse von Bauarten, *wo die Klangstäbe unverrückt bleiben*, ist auf dem Streichstab an der Stelle des Streichens ein Tuchstreifen aufgebunden, und dieser wird durch Niederdrücken der Taste, vermittelst Fäden gegen die Streichwalze gezogen. Die Sache ist so anzusehen, als ob die Stelle des Klangstabes, wo der Streichstab befestigt ist, in derselben Richtung verlängert wäre; die Gestalt und Lage des Klangstabes muß also so beschaffen seyn, daß diese Stelle in horizontaler Richtung schwingt. Unter den hierher gehörenden Bauarten ist die einfachste, welche auch am meisten durch Leichtigkeit und Sicherheit der Ausführung sich empfiehlt, die, wo *der Streichstab in der Mitte des Klangstabes* angebracht wird. Der Klangstab, oder wenigstens der mittlere Theil bis etwas jenseits der beiden Schwingungs-Knoten, muß gerade bleiben. Der Resonanzboden muß bei dieser Bauart senkrecht seyn. *Gabelförmig gebogene Stäbe* habe ich zum Bau eines solchen Instrumentes anzuwenden ganz und gar nicht rathsam gefunden, 1) weil dabei schwerlich die Festigkeit Statt finden kann, wie bei manchen andern klingenden Körpern, und 2) weil bei Anwendung derselben es nicht ganz zu vermeiden ist, daß nicht die Töne, besonders wenn sie schnell und stark angegeben werden sollen, bisweilen mit einem sehr lästigen stoßenden oder rasselnden Vorschlage eines weit tiefern Tones zum Vorschein kommen. Der Grund von diesem Uebel, auf dessen gänzliche Wegschaffung ich viele Zeit und Mühe vergeblich verwendet habe, liegt darin, weil, anstatt daß beide Schenkel der Gabel gegen einander und von einander schwingen sollten, gewöhnlich die Gabel nebst dem

Stiele im ersten Momente geneigter ist, ganz hin und her zu zittern. Dagegen lassen sich *convergirend gebogene Stäbe*, deren Gestalt sich einer elliptischen, kreisförmigen, abgerundet dreieckigen etc. nähern kann, und bei denen *der Streichstab an einem äußern Theile* angebracht wird, auf verschiedene Weise zum Bau eines Clavi-Cylinders mit gutem Erfolge anwenden. Man kann den Streichstab an dem vordern oder an dem hintern Schenkel anbringen, und den Resonanzboden horizontal oder senkrecht stellen.

Bei der zweiten Klasse von Bauarten der Clavi-Cylinders, derjenigen nämlich, *wo die Klangstäbe selbst der Streichwalze genähert werden*, dienen die Tasten oder Leisten, worauf man sie befestigt, als Hebel, um dieselben klingenden Körper gegen die Streichwalze zu bewegen. Das Streichen kann entweder an einem äußern Theile, dem man eine hierzu erforderliche Biegung gegeben hat, geschehen, oder an einem festen Ansatze, der zwischen der Mitte und einem Schwingungsknoten angebracht wird. — Zu Ende dieses zweiten Theiles des Werks wird noch einiges über die Behandlung des Instrumentes gesagt.

Der *dritte Theil* handelt von dem *Bau des Euphons*. Die vorzüglichste Bauart ist die, wo *der Streichstab in der Mitte des Klangstabes* angebracht wird. Sie unterscheidet sich von der zuerst erwähnten Bauart des Clavi-Cylinders nur dadurch, daß der Streichstab, welcher am besten von Glas und cylindrisch seyn kann, ganz festgemacht ist, und mit den Fingern der Länge nach gestrichen wird. Zu Vermeidung eines schon mehrmals vorgekommenen Mißverständnisses muß ich bemerken, daß dabei von keinem eigentli-

chen Longitudinal - Schwingungen die Rede seyn kann, sondern bloß von Transversal - Schwingungen des Klangstabes, welcher durch longitudinales Streichen des Streichstabes in Bewegung gesetzt wird. Der Vollständigkeit wegen wird noch einiges über andere mögliche, aber weniger zu empfehlende Bauarten des Euphons gesagt, bei welchen der Streichstab an einem äußern Theile des klingenden Körpers angebracht, oder zwischen zwei nach gleichen Richtungen schwingende Enden oder andere Stellen eines einfach oder doppelt gekrümmten Klangstabes, oder auch zwischen zwei nicht zu sehr von einander verschiedene klingende Körper, z. B. zwei Gabeln geklemmt wird. Zuletzt noch einiges über die Behandlung und Wartung des Euphons.

2. Einige neue Bemerkungen über die Schwingungen gabelförmig oder convergirend gekrümmter Stäbe.

Wenn man einen geraden Stab, dessen beide Enden frei sind, in seiner Mitte immer mehr biegt, bis er endlich eine gabelförmige Gestalt (mit parallelen Schenkeln) bekommt, so werden, wie ich schon in meiner *Akustik*, (deutsche Ausg. §. 99 und franz. Ausg. §. 88) bemerkt, und durch eine Figur erläutert habe, die beiden Schwingungs-Knoten, welche bei der einfachsten Schwingungs-Art eines geraden Stabes ungefähr um den vierten Theil der Länge von den Enden entfernt sind, einander immer mehr genähert. Hat endlich der Stab eine gabelförmige Biegung erhalten, so sind die beiden Schwingungs-Knoten einander in der Mitte so nahe gerückt, daß man sie ohne gehörige Aufmerksamkeit für einen einzigen etwas breiter sich zeigenden Schwingungs-Knoten halten sollte. Die

beiden Schenkel der Gabel schwingen alsdann abwechselnd gegen einander und von einander. Der Ton wird durch dieses Biegen immer niedriger, und der grösste Unterschied des Tones desselben Klangstabes, wenn er gerade oder wenn er gabelförmig gebogen ist, beträgt eine übermässige Quinte $16 : 25$, oder $4^{\circ} : 5^{\circ}$.

Wenn man einem geraden Klangstabe eine stetige sehr convergirende Biegung giebt, die sich einer kreisrunden, elliptischen, abgerundet dreieckigen, spiralen u. s. w. nähern kann, so geschieht im Wesentlichen dasselbe, nur daß nach Verschiedenheit der Biegung der Ton verschieden ist. In allen den Fällen, wo die Biegung des Stabes so beträchtlich ist, daß die Schwingungs-Knoten einander sehr nahe sind, verträgt der Stab an der Stelle der Schwingungs-Knoten eine vollkommene Befestigung, etwa vermittelt eines Stieles, der in eine feste Grundlage eingeschlagen oder geschraubt wird. Wenn aber die Schwingungs-Knoten etwas weiter von einander entfernt sind, verträgt jeder Schwingungs-Knoten einzeln nur eine schwächere Befestigung, etwa durch Auflegen und Aufbinden auf eine schmale nicht allzu harte Unterlage. Letzteres finde ich zur Anwendung bei Instrumenten rathsanter, als das erstere.

An einem Klangstabe, der, wie in Fig. 1 Taf. I, rund gebogen ist, so daß die Enden einander sehr nahe sind, ist die Stelle, wo die beiden Schwingungs-Knoten nahe bei einander sind, in der Mitte unten bei *a*. Wenn man den Stab spiral biegt, so daß die beiden Schenkel weit über einander hinwegragen, müßten, sollte man glauben, die Schwingungs-Knoten

auch ungefähr an derselben Stelle seyn, (wie in Fig. 2 unten bei *a* in der Mitte), weil beide Schenkel *ca* und *da* ungefähr von gleicher Länge sind. Es befinden sich aber dann die beiden einander sehr nahen Schwingungsknoten nicht an dieser Stelle, sondern ungefähr bei *b*, dem Ende *c* gegenüber. Der auswendig mehr hervorragende Theil *cb* hält dann also dem ganzen übrigen längern Theile *bad* die Wage, und der Ueberschuß dieses Theiles ist eigentlich nur als ein Anhängsel anzusehen, das, außer einiger Verzögerung der Schwingungen, wenig Wirkung thut. Wenn man auch inwendig etwas wegnimmt, so wird dadurch der Ton weit weniger erhöht, als man nach dem sonst gewöhnlichen Verhältnisse, daß die Töne der Stäbe sich wie die umgekehrten Quadrate der Längen verhalten, erwarten sollte.

Unter den bisher bekannt gewordenen Schwingungsarten einer Gabel, deren Beschaffenheit und Ton-Verhältnisse ich in meiner *Akustik*, (deutsche Ausg. S. 99 und franz. Ausg. §. 88), zuerst gezeigt habe, ist die einfachste und bekannteste, und welche den tiefsten Ton giebt, die, wo die beiden Schenkel der Gabel gegen und von einander schwingen. Neuerlich habe ich aber gefunden, daß eine Gabel auch einen Ton geben kann, der noch um eine Quinte tiefer ist, wenn man sie nämlich ganz nahe an dem Ende des einen Schenkels mit zwei Fingern oder sonst auf irgend eine Art faßt, und auf einen festen Gegenstand, wie in Fig. 3 bei *a*, aufstemmt, und den andern freien Schenkel anschlägt, oder mit dem Violinbogen streicht. Eben dasselbe zeigt sich auch bei einer Verbindung zweier Gabeln, die in Ansehung des Tones und der übrigen Beschaffenheit nicht sehr von einander ver-

schieden sind. Wenn man nämlich zwei solche gabelförmig gebogene Stäbe in einer von den Fig. 4, 5 und 6 dargestellten Lagen, (wo *mm* die eine, und *nn* die andere Gabel vorstellt), mit den Fingern oder sonst auf irgend eine Art fest gegen einander drückt, oder mit einem Faden zusammen bindet, (am besten nicht bloß am Ende, sondern in einer Strecke, die wohl den dritten Theil der Länge eines jeden Schenkels der Gabeln betragen kann), so bilden diese beiden Gabeln ein gemeinschaftliches Klangsystem. Eben so wie eine einzelne am Ende eines Schenkels aufgestemmt Gabel, giebt dann dieses Klangsystem einen Ton, der um eine Quinte tiefer ist, als der Ton einer jeden von diesen Gabeln bei ihrer gewöhnlichen einfachsten Schwingungsart, und zwar sehr deutlich und bei gehörigem Verfahren mit vielem Nachhalle. Es versteht sich übrigens von selbst, daß in der Lage Fig. 4, die Schenkel der einen Gabel etwas mehr auseinander gebogen seyn müssen, als die der andern, um das Anstoßen einer Gabel an die andere zu verhüten, und daß dieses ebenfalls in der Lage Fig. 5, durch einige Biegung der mit einander zu verbindenden Schenkel beider Gabeln, oder durch einen dazwischen gelegten Streifen von irgend einer harten Materie, müsse verhindert werden.

Nicht nur in den Lagen, welche in Fig. 4, 5 und 6 dargestellt sind, und wo beide Gabeln sich in derselben Ebene befinden, erhält man diesen um eine Quinte tiefern Ton, sondern auch, wenn man die Gabeln so wendet, daß sie einen schiefen oder rechten Winkel mit einander machen. Wenn die beiden Gabeln auch in Ansehung der Töne etwas verschieden sind,

findet doch dasselbe Statt, und es gleicht sich so aus, daß der Ton, welchen sie in ihrer Verbindung geben, um eine Quinte tiefer ist, als der, welcher zwischen den natürlichen Tönen, der beiden Gabeln ungefähr in der Mitte stehen würde.

Da es für praktische Anwendungen convergirend oder sonst auf irgend eine Art gebogener Stäbe, und zu allen Versuchen über die Hervorbringung der verschiedenen Schwingungsarten derselben, zu wissen nothwendig ist, in welcher Richtung die Schwingungen eines jeden Punktes des klingenden Körpers geschehen, so habe ich folgenden, sich in der Erfahrung allgemein bestätigenden Hauptsatz aufgestellt: *Ein klingender Stab oder Streif sey gebogen, wie man wolle, so macht jeder Punkt desselben seine Schwingungen in einer (hin und her gehenden) Richtung, welche man im Verhältniß zu dem nächsten Schwingungs-Knoten ungefähr als tangential (oder, diesen als Mittelpunkt betrachtet, als ein unbestimmbar kleines Theilchen eines Kreises) ansehen kann.* Eben deshalb werden auch die Schwingungen gar nicht verhindert, und der Ton nicht verändert, wenn man an einem gekrümmten Klangstabe, die Biegung sey welche man wolle, zwischen einem Schwingungs-Knoten und einer Stelle des nächsten äußern Theiles eine Stimmung vermittelt eines Spanes von Holz oder Fischbein anbringt, oder auch um die Stelle des Schwingungs-Knotens und eine Stelle des nächsten äußern Theiles einen Faden fest bindet; vielmehr kann dieses bisweilen sehr von Nutzen seyn, um ein durch Einmischung einer andern Schwingungs-Art verur-

flaches Mitklingen eines höhern Tones ganz wegzuschaffen. Da nun bei allen Bauarten der vorher (unter 1) erwähnten Instrumente, wo ein Klangstab durch irgend eine Art von Reibung eines Streichstabes zum Klingen gebracht wird, dieser Streichstab schicklicher Weise eine horizontale, oder nicht sehr von der horizontalen verschiedene Lage haben muß; so folgt ganz natürlich, daß der Klangstab, er sey übrigens beschaffen wie man wolle, eine solche Gestalt und Lage haben müsse, daß die Schwingungen der Stelle, wo der Streichstab angebracht wird, auch in horizontaler Richtung geschehen, und daß diese Stelle auch von den Schwingungs-Knoten (in gerader Linie betrachtet) weit genug entfernt sey, um die Schwingungen mit Leichtigkeit hervorbringen zu können. Bei Anwendungen convergirend gebogener Klangstäbe, wo der Streichstab an einem äußern Theile angebracht wird, ist es bisweilen schwer, die schicklichste Stelle wo man den Streichstab anzubringen hat, und die schicklichste Richtung desselben, (ob sie nämlich ein wenig aufwärts oder niederwärts von der horizontalen abweichen könne), mit gehöriger Genauigkeit zu bestimmen. Es ist also schon deshalb die zuerst erwähnte Bauart eines Clavi-Cylinders und eines Euphons, wo die Streichstäbe in der Mitte gerader Klangstäbe unter einem rechten Winkel angebracht werden, vorzüglich empfehlungswerth, weil man dabei in Hinsicht auf die schicklichste Befestigungsstelle und auf die Richtung des Streichstabes nicht irren kann, und sich manche vergebliche Versuche erspart.

3) *Anhang.* Einige Bemerkungen über akustische Aufsätze in diesen Annalen (Musik. Zeit. 29 Aug. 1821).

Jahrg. 1817 St. 4 oder B. 57 S. 225. Damit daß nach Versuchen von Ellicot und Breguet zwei ~~naben~~ einander stehende Pendeluhrn, deren Pendel-Schwingungen sehr nahe von einerlei Dauer sind, einen gleichförmigen Gang annehmen (S. 231), stimmt auch die Erfahrung überein, daß wenn Ton-Verhältnisse etwas unrein sind, öfters bei weiterm Fortgange des Schalles durch die Luft die Schwingungen sich gegenseitig so ausgleichen, daß in einer beträchtlichen Entfernung die Unreinigkeit unmerklich wird, oder auch wohl ganz schwindet *).

Jahrg. 1818 B. 58 St. 4 S. 401. Hrn C. W. Frölich's in Berlin Meinung, daß manche Modificationen des Schalles in die Ferne mehr ~~den~~ der Erde mitgetheilten Zitterungen, als der Luft zuzuschreiben sind, scheint mir ganz richtig zu seyn, da ich denselben Kanonendonner der Schlacht bei Jena im J. 1806, von welchem er redet, in Wittenberg sowohl in Zimmern als im Freien bei Anlegung des Kopfs an eine Wand besser, als durch die Luft gehört habe, welches auch Andere, die ich darauf aufmerksam machte, eben so fanden.

Jahrg. 1821 St. 6 S. 114. Aus des Hrn Biot's Bericht über des Musikmeister Blanc's und des Doct. der Medizin Savart's Untersuchungen über die Schwingungen hölzerner Resonanzboden-artiger Flächen, bei denen durch aufgestreuten Sand diese Scheiben von heterogenem

*) Auch die S. 60, unten, erwähnte Erfahrung an zwei mit einander schwingenden Gabeln gehört hierher. G.

Gefüge eben so Figuren gaben, wie ich sie auf Scheiben von homogenem Gefüge erhalten habe, wurde der Klang meistens durch longitudinales Streichen mit nassen Fingern eines gläsernen Röhrchens oder Stäbchens hervorbracht, das an dem in Bewegung zu setzenden Körper in die Quere angebracht war. Auf diese Weise, meinten sie, könne man auch an Glocken einer Harmonika, die wegen Unregelmäßigkeit auf die gewöhnliche Art nicht recht brauchbar wären, den Ton hervorbringen, wie das bei meinem Euphon geschehe. Jenes ist zwar ganz richtig, und es könnten die Glocken eben sowohl von Metall als von Glas seyn; mit meinem Euphon aber verhält es sich anders. Gläserne Glocken würden für dieses Instrument zu künstlich und zu zerbrechlich gewesen seyn, auch zu viel Platz eingenommen haben. Es besteht aus eisernen Klangstäben, die an ihren Schwingungs-Knoten mit einem Resonanzboden in Verbindung gesetzt sind, und in deren Mitte ein gläserner Streichstab angebracht ist, der, wie oben S. 57 erinnert worden, beim Streichen longitudinal schwingt, den Klangstab aber, an welchem er im Punkte des größten Schwingens fest sitzt, in transversale Schwingungen versetzt.