

Klang und Gehör

§. 1. Da wir uns vorgenommen haben, die Musik nach Art und Weise der philosophischen Disziplinen zu behandeln, in denen nur das vorzubringen erlaubt ist dessen Erkenntnis und Wahrheit aus Vorangegangenen erklärt werden kann, soll zuallererst die Lehre von den Tönen und vom Gehör dargelegt werden. Erstere bestimmen die Materie in der sich die Musik bewegt, letzteres aber erfasst ihren Gipfel und Zweck, der das Vergnügen für die Ohren ist.

Denn die Musik lehrt, verschiedene Klänge so hervorzubringen und kundig zu verbinden dass sie mit anmutiger Harmonie den Hörsinn angenehm anregen.

Was daher unser Vorhaben die Klänge zu erklären erfordert, ist deren Natur, Produktion und Vielfalt; dafür sind ausreichende Kenntnisse aus Physik und Mathematik erforderlich.

Wenn man mit diesen aber daraufhin die besonderen Organe des Gehörs betrachtet, werden wir die Art und Weise des Hörens und die Wahrnehmung der Klänge verstehen. Wie großen Nutzen das aber bringen wird um die Fundamente der Musik zu festigen und zu stärken, wird jedem daraus ersichtlich sein, dass die Annehmlichkeit der Klänge von der Art und Weise der Wahrnehmung abhängt und aus ihr erklärt werden soll.

§. 2. Alle, die in dieser Sache wenigstens Glaubhaftes geschrieben haben, meinen, dass der Klang in der Luft angesiedelt und dass diese gleichsam sein Vehikel sei durch das er von seiner Quelle überall hin transportiert werde. Und es kann sich auch gar nicht anders verhalten, da nichts außer Luft existiert, was unsere Ohren umgibt und in ihnen Veränderungen hervorrufen kann.

Denn obwohl eingewendet wird dass die Art und Weise des Hörens vielleicht ebenso beschaffen sei wie das Riechen und das Sehen, Sinne die nicht durch die Luft sondern durch echte aus Objekten ausgesendete Ströme angeregt werden, kann man aber mit Hilfe einer Luftpumpe zeigen: Wenn ein Klanginstrument an einem luftleeren Platz aufgestellt wird sodass es mit der Luft überhaupt keine Verbindung hat, kann überhaupt kein Klang wahrgenommen werden auch wenn man nahe herangeht. Sobald aber der Eintritt der Luft wieder zugelassen wird, hört man den Klang wieder.

Daraus folgt, dass die Luft und ihre Veränderung, die ein klangerzeugendes Instrument in ihr hervorruft, die wahre und naheliegendste Grundlage für den Klang ist.

§. 3. Damit aber klar wird, was diese Veränderung und Abwandlung ist die den Hörsinn erregt, wird es sinnvoll sein, einen Spezialfall zu erörtern bei dem Klang erzeugt wird, und die Auswirkungen zu untersuchen die in der Luft durch ihn entstanden sind.

Deswegen wollen wir unsere Aufmerksamkeit zu einer gespannten Saite richten, die, wenn sie angeschlagen wird, einen Ton von sich gibt.

Und durch das Anschlagen wird in der Saite nichts anderes bewirkt als eine Schwingungsbewegung, durch sie zwischen ihren Enden einmal hierher einmal dorthin aus der Ruhelage sehr schnell hin und her wandert. Bei dickeren Saiten kann diese Bewegung sogar mit den Augen leicht wahrgenommen werden, bei dünneren ist aber auch nicht zu bezweifeln dass sie vorhanden ist, auch wenn sie nicht gesehen werden kann. Wer außerdem mit der Hand eine tönende Glocke berührt, wird spüren, dass sie als ganze erzittert.

Schließlich aber zeigt sich bald aus den Gesetzen der Mechanik, dass sowohl die Saite als auch die Glocke durch den Anschlag nichts anderes als eine Schwingungsbewegung erhalten können, und deswegen wird festgestellt werden müssen, dass die Art und Weise des Klangs einzig in der Schwingungsbewegung zu suchen sei.

§. 4. Weil also die Veränderung der Luft, die der schwingende Körper in ihr erzeugt, die Empfindung des Klangs unmittelbar bewirkt und erregt, ist zu untersuchen auf welche Weise die Luft von einem schwingenden Körper beeinflusst wird.

Wir sehen aber, dass die Schwingbewegung in einer Wiederholung aufeinanderfolgender Vibrationen besteht. Durch diese einzelnen Vibrationen wird die Luft, die den schwingenden Körper umgibt, erschüttert und nimmt gleichartige Vibrationen auf, die sie in gleicher Weise an weiter entfernte Luftteilchen überträgt. Also werden auf diese Art und Weise Stöße und Vibrationen in der gesamten umgebenden Luft hervorgerufen; und diese Übertragung der Stöße an die Luft verbreitet sich durch jede beliebige Vibration eines schwingenden Körpers. Daran erkennt man, dass die einzelnen Luftteilchen mit einer gleichartigen Vibrationsbewegung erzittern wie der Körper selbst; nur mit diesem Unterschied, dass die Stöße umso kleiner und schwächer werden, je weiter sie von der Quelle entfernt sind, bis schließlich in genügend großer Distanz nichts mehr wahrgenommen werden kann.

§. 5. Daran erkennt man, dass nichts außer den durch die Luft verbreiteten Stößen von einem klingenden Körper zu den Ohren übertragen wird. Daher erzeugen notwendigerweise diese Stöße selbst, die in der Luft erregt wurden und zum Hörorgan strömen, die Empfindung des Klangs.

Auf folgende Weise wird jedoch die Empfindung ausgelöst: In der inneren Höhle des Ohres gibt es eine gespannte Membran, die wegen ihrer Ähnlichkeit „Trommelfell“ genannt wird, welche die Stöße der Luft aufnimmt und sie weiter an die Hörnerven leitet; dadurch geschieht es, dass ein Klang wahrgenommen wird solange die Nerven erregt werden.

Der Klang ist also nichts anderes als die Wahrnehmung der aufeinanderfolgenden Stöße, die in den Luftteilchen geschehen die sich um das Hörorgan befinden: Wenn also irgendeine Sache solche Stöße in der Luft erzeugen kann, ist sie auch geeignet, Klang hervorzubringen.

§. 6. Die Ausbreitung des Klangs geschieht nicht plötzlich, sondern er braucht eine bestimmte Zeit um eine gegebene Strecke zurückzulegen. Die Bewegung aber, mit der er sich ausbreitet, ist gleichmäßig und hängt weder von seiner Stärke noch von seiner Beschaffenheit ab. Jeder Klang legt aber, wie es sowohl nach den Experimenten scheint und man auch durch theoretische Berechnung der Luft und aus der Natur der Stöße ableiten kann, in einer Sekunde die Strecke von **1100** rheinischen Fuß, in zwei Sekunden **2200**, in drei **3300**, etc. zurück.

Diese Trägheit des Klangs beobachten wir täglich; von einem weiter entfernten Geschütz nehmen wir den Knall einige Zeit nach dem Mündungsfeuer wahr, obwohl wir aber beides gleichzeitig wahrnehmen wenn wir näher stehen. Aus ähnlichem Grund hören wir auch den Donner nach dem Blitz, und an manchen Orten folgen die Wiederholungen der Stimmen, die Echo genannt werden, dem Ruf selbst erst später.

§. 7. Was auch immer daher die kleinsten Luftteilchen so in Bewegung versetzen kann dass sie eine derartige Schwingbewegung erhalten, das wird auch einen Klang erzeugen. Um das aber zu erreichen sind nicht nur feste Körper geeignet, sondern man kann außerdem noch zwei andere Möglichkeiten der Klangerzeugung finden; und daraus ergeben sich, wenn man die Ursachen betrachtet, drei Arten von Klängen.

Die erste ist die von Klängen die durch einen schwingenden Körper entstehen, wie bei Saiten und bei Glocken.

Die zweite Art umfasst die Klänge, die von stark komprimierter und plötzlich sich wieder ausdehnender Luft erzeugt werden wie von Gewehren, Geschützen, vom Donner oder von einer Peitsche die in der Luft sehr schnell geschlagen wird.

Zur dritten gehören die Klänge von Instrumenten, die ertönen wenn sie geblasen werden, wie Flöten, Pfeifen etc.

Dass die Ursache ihrer Klänge nicht von der Schwingbewegung des Materials abhängt, aus dem die Flöten bestehen, wird weiter unten erklärt werden.

§. 8. Von der ersten Art kann man vor allem gespannte Saiten betrachten, gefertigt aus Metall oder Tierdärmen, die entweder durch Anschlagen oder durch Streichen bewegt werden um einen Klang von sich zu geben. Geschlagen oder gezupft werden sie auch bei Clavicembali, Lauten und anderen Instrumenten dieser Art; gestrichen aber werden sie in Leiern und Violinen mit Hilfe von gespannten Pferdehaaren, denen durch Kolophonium Rauheit verliehen ist. Durch beide Arten geraten die Saiten in Schwingung; durch die erste nämlich werden sie aus ihrer Ruheposition weggezogen, dadurch versuchen sie sich wieder in ihre ursprüngliche Position zu begeben, und tatsächlich schwingen sie in beschleunigter Bewegung in sie zurück. Aber sie können die gewaltige Geschwindigkeit, die sie erhalten haben, nicht plötzlich verlieren wenn sie dorthin gelangt sind, und können daher nicht ruhig in dieser Lage bleiben. Deswegen müssen sie darüber hinaus schwingen und auf ähnliche Art wieder dorthin zurückkehren; und diese Oszillationen dauern an, bis sie wegen der Reibung ganz verschwinden.

§. 9. Wie viele solche Oszillationen eine Saite, angeschlagen oder auf welche Art auch immer in Schwingung versetzt, in einer gegebenen Zeitspanne vollendet, kann aus den Gesetzen der Bewegung durch Berechnung bestimmt werden, wenn man die Länge der Saite und ihr Gewicht und die spannende Kraft berücksichtigt.

Aber die Länge und das Gewicht soll nicht von der gesamten Saite genommen werden, sondern nur von dem Teil, der Schwingungen ausführt und einen Klang von sich gibt und der für gewöhnlich von der unberührten Saite durch zwei Gelenke getrennt ist. Durch diese freilich wird erreicht, dass nicht die ganze Saite Schwingungen ausführt, sondern nur der gewünschte Teil.

Um aber die spannende Kraft zu erkennen, hilft es ungemein, das eine Ende der Saite zu fixieren und am anderen ein Gewicht anzubringen das den Ort der spannenden Kraft bewahrt.

Wenn dann die Länge der schwingenden Saite a Tausendstel rheinische Fuß ist und sich das angehängte Gewicht zum Gewicht der Saite wie n zu 1 verhält, wird die Anzahl der Oszillationen die die Saite in einer Sekunde ausführt

$$\frac{113}{355} \cdot \sqrt{\frac{3166 \cdot n}{a}} \text{ sein,}$$

dabei bezeichnet **113:355** das Verhältnis des Durchmessers zum Umfang des Kreises ($\approx 1/\pi$), **3166** Skrupel bestimmen die Länge eines Pendels das in einzelnen Sekunden oszilliert.

§. 10. Diese Oszillationen sind isochron solange sie dauern, d.h. alle geschehen in gleichen Zeitabständen; und auch ihre Größe stört diese Regel nicht,

wenn nicht zufällig, wenn die Saite allzu stark angeschlagen wird, deswegen die Schwingungen zu Beginn schneller sind.

Das Verhalten der Saiten ist dasselbe wie das der Pendel, deren Oszillationen, wenn nur genügend klein, alle gleichmäßig sind.

Um die Regel, die ich im vorigen Paragraphen aufgestellt habe, durch ein Beispiel zu illustrieren, habe ich eine Saite mit der Länge von **1510** Tausendstel rheinischen Fuß genommen, die **6½** Gran wog, mit einem spannenden Gewicht von **6** Pfund, also **46080** Gran.

Wenn man das mit dem vorigen Paragraphen vergleicht, wird **a = 1510** und **n = 46080 : 6½ = 7432**, weshalb die Zahl der pro Sekunde erzeugten Schwingungen

$$\frac{113}{355} \cdot \sqrt{\frac{3166 \cdot 7432}{1510}} \text{ sein wird, d.h. } \mathbf{392}.$$

Ich nahm aber wahr, dass mit diesem Ton am Instrument die mit **a** bezeichnete Taste übereinstimmt.

§. 11. Wenn man mehrere gespannte Saiten betrachtet, kann das Verhältnis das ihre Schwingungen untereinander haben leicht bestimmt werden, die Anzahl der Schwingungen in jeder beliebigen Saite in einer vorgegebenen Zeit verhält sich nämlich wie $\sqrt{\frac{n}{a}}$

d.h. **wie die Quadratwurzel aus dem spannenden Gewicht dividiert durch das Gewicht der Saite und durch deren Länge.**

Wenn die Saiten also dieselben Längen haben, werden die Anzahlen der Schwingungen, die in der gleichen Zeit geschehen, sich verhalten

wie die Quadratwurzeln aus den spannenden Gewichten dividiert durch die Gewichte des Saiten.

Wenn die Saiten sowohl der Länge als auch dem Gewicht nach gleich sind, werden sich die Anzahlen der Schwingungen verhalten

wie die Quadratwurzeln aus den spannenden Gewichten.

Und wenn die spannenden Gewichte gleich sind und sich nur die Saiten selbst in der Länge unterscheiden, werden die Anzahlen der Schwingungen sich

reziprok zu den Quadratwurzeln der Längen multipliziert mit dem Gewicht verhalten, d.h. **reziprok zu den Längen der Saiten**, da die Gewichte den Längen proportional sind.

§. 12. Von der Langsamkeit und der Schnelligkeit der Schwingungen hängt die Unterscheidung der Klänge in tiefe („schwere“) und hohe („scharfe“) ab, und wir sagen, dass ein Klang umso tiefer ist je weniger Schwingungen in derselben Zeit das Hörorgan treffen; und umso höher je mehr derartige Schwingungen in derselben Zeit wahrgenommen werden.

Die Richtigkeit dessen ergibt sich aus Versuchen; wenn nämlich an dieselbe Saite sukzessive verschiedene Gewichte angehängt werden, nehmen wir die Klänge, die dadurch erzeugt werden, als höher wahr wenn größere Gewichte angehängt sind; und tiefer werden sie sein je kleiner die Gewichte sind; sicher aber ist es nach dem Vorhergehenden, dass größere Gewichte schnellere Schwingungen erzeugen. Weil daher in der Musik besonders der Unterschied zwischen Tiefe und Höhe der Töne betrachtet wird, werden wir die **Töne** selbst nach der **Anzahl der in einer bestimmten Zeit hervorgebrachten Schwingungen** messen, beziehungsweise die Töne wie Größen betrachten, deren Maße die Anzahlen der in einer festgesetzten Zeit hervorgebrachten Schwingungen bestimmen.

§. 13. Wie wir aber mit unseren Sinnen weder zu große noch zu kleine Dinge erfassen können, so wird auch bei den Klängen ein gewisses Mittelmaß erfordert; denn alle erfassbaren Klänge werden innerhalb bestimmter Grenzen liegen und könnten, wenn diese überschritten werden, wegen der zu großen Tiefe oder Höhe den Hörsinn nicht genug stark erregen. Diese Grenzen können einigermaßen bestimmt werden, weil ermittelt wurde, dass der Ton **a** **392** Schwingungen pro Sekunde vollführt, der mit dem Buchstaben **C** bezeichnete Ton indessen **118**, und der Ton \bar{c} **1880**. Wenn wir nun annehmen, dass Töne, die noch um zwei Oktaven höher oder tiefer sind, kaum mehr wahrgenommen werden können, erhalten wir, dass die äußersten wahrnehmbaren Töne mit den Zahlen **30** und **7520** ausgedrückt werden; dieses Intervall ist genügend weit und lässt eine gewaltige Variation an Tönen zu, weil es acht als Oktav bezeichnete Intervalle umfasst.

§. 14. Nach der Unterscheidung von tiefen und hohen Tönen ist ihre Stärke und Schwäche zu bedenken. Aber die Stärke desselben Klangs ist je nach Ort des Hörers verschieden. Je weiter nämlich der Hörer von der angeschlagenen Saite entfernt ist, einen umso schwächeren Klang nimmt er wahr, weil die Fortpflanzung der Stöße durch die Luft wie die des Lichts immer matter wird. Die Erklärung dieser Verringerung ist, dass der Klang sich in größeren Entfernungen auch in einen größeren Raum verteilt; offenbar ist in der doppelten Entfernung der Raum, in dem er wahrnehmbar ist, viermal größer als in der einfachen; weil die Ansammlung aller Stöße auch dort gleich groß ist, folgt deshalb dass der Klang in der doppelten Entfernung viermal schwächer ist. Auf gleiche Weise muss er in der dreifachen Entfernung neunmal schwächer sein, und so weiter, sodass die Stärke des Klangs mit dem Quadrat der Entfernung abnehmen muss.

§. 15. Das verhält sich so, wenn der Klang sich überallhin gleichmäßig ausbreitet. Aber wenn die Umstände derart sind, dass der Klang mehr in eine

Richtung als in eine andere getrieben wird, wird er dort auch stärker wahrgenommen als es der Regel nach notwendig wäre. Wenn jemand durch eine Röhre ruft, wird jemand, der sein Ohr an das andere Ende der Röhre hält, den Klang beinahe so stark wahrnehmen wie wenn er ihn direkt aus dem Mund des Rufenden vernommen hätte.

Ähnlich ist die Erklärung bei Hörrohren, durch die der Klang eher in die Region gelenkt wird in die das Rohr zeigt als in eine andere, und deswegen stärker klingt. Denn die Klänge werden wie die Lichtstrahlen an einer glatten und harten Oberfläche reflektiert, und auf diese Art wird die Richtung der „Klangstrahlen“, die man wegen der Ähnlichkeit mit den Lichtstrahlen so nennen kann, geändert, wodurch es geschehen kann, dass mehrere zu demselben Ort zusammengeworfen werden.

§. 16. Weil eine angeschlagene Saite durch jede Schwingung Stöße an die Luft überträgt, wird ihre Bewegung notwendigerweise immer lockerer, der Klang daher schwächer.

Jedenfalls wird das auch bei schwingenden Saiten beobachtet, denn am Anfang ist der Klang am stärksten, dann aber wird er Schritt für Schritt matter, bis er endlich völlig verschwindet; dazwischen bleiben aber die Schwingungen isochron und der Klang behält trotzdem denselben Grad der Tiefe oder der Höhe. Bei derselben Saite hängt diese Klangstärke von der am Anfang anschlagenden Kraft ab: je größer diese ist, einen desto stärkeren Klang erzeugt sie.

Wenn am Anfang aber das Anschlagen zu stark ist und die Ablenkung aus der Ruhelage zu groß, wird ein höherer Ton erzeugt als später; und weil die Oszillationen einen größeren Raum einnehmen, werden an die Luft nicht so regelmäßige Schwingungen weitergegeben; so geschieht es, dass dann weniger angenehme und weniger deutliche Klänge entstehen.

§. 17. Das geschieht besonders dann, wenn die Saite zu schlaff und nicht genug gespannt ist. Dann werden in den Oszillationen größere Abweichungen bewirkt, und es entsteht weder ein gleichmäßiger noch ein angenehmer Klang. Aus diesem Grund ist es zur Erzeugung von angenehmen und gleichmäßigen Klängen erforderlich, dass die Saiten nach Möglichkeit gespannt sind und so große Gewichte angehängt werden, dass sie bloß nicht reißen.

Die Spannkraft von aus demselben Material gefertigten Saiten ist aber der Dicke proportional, daher verhalten sich auch die Gewichte, die die Saiten bis zum Zerreißen spannen, wie die Dicken.

Aber die Dicken der Saiten sind proportional ihren Gewichten geteilt durch ihre Längen, daher müssen die spannenden Gewichte den Gewichten der Saiten direkt und ihren Längen indirekt proportional sein.

Das heißt, wenn man als Gewicht der Saite q annimmt, als Länge a , und als spannende Kraft p , muss sich p wie $\frac{q}{a}$ verhalten, oder aber $\frac{ap}{q}$ muss von konstanter Größe sein.

§. 18. Damit aber gleich starke Klänge entstehen, ist es notwendig, außer der Saitenlänge und dem spannenden Gewicht auch die anschlagende Kraft zu beachten.

Zu bedenken ist auch der Ort, an dem die Saite gezupft oder angeschlagen wird; aber wenn wir annehmen, dass alle Saiten in der Mitte, oder, was auf dasselbe herauskommt, an ähnlichen Orten angestoßen werden, wird diese Bedingung in die Berechnung nicht eingehen. Daraus ergibt sich, dass ein umso stärkerer Klang entsteht, je größer die anschlagende Kraft ist. Fast alle Musikinstrumente sind nämlich so gebaut, dass alle Saiten in gleicher Weise erschüttert werden, weshalb wir als anschlagende Kraft immer dieselbe annehmen können.

Schließlich hängt die Kraft des Klangs von der Geschwindigkeit ab, mit der die Luftteilchen infolge einer beliebigen Schwingung der Saite gegen das Ohr stoßen, und diese kann man mit der Geschwindigkeit der Saite am besten abschätzen.

Diese Geschwindigkeit ist aber proportional der Quadratwurzel aus dem die Saite spannenden Gewicht dividiert durch die Saitenlänge.

Infolgedessen ist es für gleichmäßige Klänge notwendig dass die spannende Kraft sich immer wie die Saitenlänge verhält.

§. 19. Wenn wir also obige Buchstaben a , p und q beibehalten, dann muss

$\frac{p}{a}$ überall von derselben Größe sein.

Vorher freilich haben wir gefunden, dass $\frac{ap}{q}$ konstant sein muss;

wenn wir daher den zweiten Bruch durch den ersten dividieren, muss der sich ergebende Quotient $\frac{aa}{q}$ konstant sein, oder $\frac{q}{a}$ zu a bei allen Saiten dasselbe Verhältnis haben.

Aber $\frac{q}{a}$ ist der Dicke der Saite proportional und daher muss die Dicke der Saite der Länge proportional sein, und ähnlich auch derselben Länge das spannende Gewicht.

Der erzeugte Ton selbst verhält sich aber wie $\sqrt{\frac{p}{aq}}$;

wenn man darin p und q durch Vielfache von a und a^2 ersetzt, wird der Ton reziprok proportional zur Länge der Saite sein.

Deswegen müssen sowohl das spannende Gewicht als auch die Länge als auch das Gewicht der Saite reziprok proportional sein dem entstehenden Ton, das heißt der Anzahl der in einer bestimmten Zeit geschehenden Schwingungen. Diese Regel wird bei der Herstellung von Musikinstrumenten außerordentlichen Nutzen haben.

§. 20. Wir haben gesagt, dass der Klang weniger angenehm wird wenn die Saite nicht genügend gespannt ist, deswegen weil die Auslenkungen, die beim Schwingen geschehen, zu weit sind und von ihnen die Luft eher in der Art des Windes bewegt wird als dass sie dazu gebracht wird Schwingungen auszuführen. Denn wenn die Luft nicht plötzlich mit sehr großer Geschwindigkeit erschüttert wird, erhält sie nicht leicht die Schwingbewegung wie sie für einen Klang erforderlich ist; je mehr aber die Saite gespannt ist, eine desto größere Geschwindigkeit hat sie sogleich nach dem Anschlagen. Dazu kommt noch, dass dann – wie schon angemerkt wurde – die weiteren Schwingungen den engeren nicht isochron sind, sodass der Ton Schritt für Schritt tiefer wird und nicht gleich bleibt. Schließlich geschieht es leicht, dass nicht die gesamte Saite zugleich Oszillationen ausführt, sondern dass ein Teil schneller und ein anderer langsamer sowohl zur größten Geschwindigkeit als auch zur Ruhe gelangt, woraus sich ein ungleichmäßiger und rauher Klang ergibt.

§. 21. Außer diesen Verschiedenheiten der Töne wird in der Musik auch auf die Tondauer geachtet.

Bei vielen Musikinstrumenten – wie bei solchen, bei denen Saiten durch Anschlagen oder Zupfen angeregt werden – kann man die Klänge nicht beliebig verlängern. Denn bei diesen werden die Klänge Schritt für Schritt schwächer und verschwinden bald völlig, und deswegen kann an Klangdauer nicht so viel zustande gebracht werden wie bei den Instrumenten, bei denen die Klänge dieselbe Kraft behalten so lange sie dauern und so lange wie gewünscht erzeugt werden können. Derart sind solche, deren Saiten mit einem Stab gestrichen werden, und solche die mit Pfeifen und mit anderen von Luftstrom betriebenen Instrumenten ausgestattet sind – wie die pneumatische Orgel und andere mehr. Diese haben vor den übrigen den Vorzug, dass die gesamte Annehmlichkeit, die beim Andauern der Klänge besteht, vollendet ausgedrückt und hergestellt werden kann. Die Dauer des Klangs aber misst sich aus der Zeit, die zwischen seinem Anfang und Ende verstrichen ist.

§. 22. Bisher haben wir von der ersten Art der Klänge, die ihren Ursprung von einem schwingenden Körper haben, nur die der Saiten betrachtet, gleichzeitig auch die wichtigsten Unterschiede der Klänge aufgezählt und erklärt.

Bevor wir nun also zu den übrigen Arten übergehen, wollen wir auch andere Instrumente betrachten, die zu dieser Art gehörige Klänge hervorbringen. So sind Glocken, die angeschlagen als ganze erbeben und einen Ton erzeugen. Es wäre freilich äußerst schwierig, aus der Kenntnis der Form und des Gewichts der Glocke zu bestimmen, welchen Klang sie von sich geben wird; dennoch, wenn Glocken gleichartig und aus demselben Material gefertigt sind, wird es leicht klar dass die Klänge ein reziprok kubisches Verhältnis zum Gewicht besitzen, sodass eine achtmal leichtere Glocke einen Klang hervorbringt der in derselben Zeit zweimal so viele Oszillationen vollendet, und dass eine die siebenundzwanzig Mal leichter ist dreimal schnellere Schwingungen vollführt.

§. 23. Es gibt außerdem Musikinstrumente aus elastischen Stäben gefertigt, entweder aus Metall oder aus ziemlich hartem Holz, mit denen die Klänge der Glocken nachgeahmt werden.

Wenn diese zylindrische oder prismatische Form haben, ist über sie einfacher etwas Gesichertes aussagen; die Töne nämlich scheinen nur von der Länge abzuhängen, weil zu beobachten ist dass jede beliebige in der Länge ausgespannte Faser unabhängig Schwingungen vollführt.

Die Töne aber, das heißt die Anzahlen der in derselben Zeit erzeugten Schwingungen, werden reziprok zu den Quadraten der Längen der Stäbe sein, wenn nur die Stäbe aus demselben Material gefertigt sind.

Töne von Prismen aus unterschiedlichen Materialien hängen nicht nur vom Verhältnis der spezifischen Gewichte ab, sondern es ist für jemanden, der die Aufgabe unternommen hat die Tonhöhen durch die Theorie zu bestimmen, auch notwendig die Parameter der Bindung und der Elastizität des Materials zu kennen.

§. 24. Auf eine zweite Klasse von Klängen führte ich die Töne zurück, die entweder durch plötzliches Loslassen einer großen Menge an stark komprimierter Luft oder durch eine ziemlich starke Erschütterung der Luft entstehen. Freilich ist letztere Art ersterer ziemlich ähnlich; wegen des äußerst heftigen Bebens nämlich kann die Luft nicht aus ihrer Ruheposition weichen, woraus sich ergibt, dass der Teil der Luft, der die Erschütterung erhält, komprimiert wird und sich wieder ausdehnt wenn er es wieder kann. Aber notwendigerweise nimmt die Luft, die komprimiert war und sich wieder ausdehnt, einen größeren Raum als den ursprünglichen ein, und daher ist sie wiederum gezwungen sich wieder zusammenzuziehen, was sie dann auch übermäßig tun wird.

Durch diese abwechselnden Kontraktionen und Expansionen werden – wie bei einem schwingenden Körper – in der übrigen Luft Stöße und im Hörorgan ein Klang erzeugt.

§. 25. Obwohl die Luft auf diese Weise nach einer beliebigen Oszillation in ihren Ausgangszustand zurückgekommen ist, kann sie aber nicht in diesem verharren als hätte sie ihre gesamte Bewegung verloren. Denn nach den Gesetzen der Mechanik steht fest, dass ein Körper, der mit Schwung in seinen Ruhezustand gelangt, in diesem nicht bleiben kann sondern sich durch die erhaltene Bewegung über diesen hinaus bewegen muss.

Gleich schwierig ist es nämlich einen bewegten Körper plötzlich zur Ruhe zu bringen und einen ruhenden zu bewegen; und man braucht eine ebenso große Kraft die Bewegung eines Körpers zu beenden wie sie zu erzeugen. Aus diesem Grund sehen wir, dass weder schwingende Pendel ruhen können wenn sie in den vertikalen Zustand gekommen sind, noch schwingende Saiten wenn sie ihren ursprüngliche Lage erreicht haben. Die Klänge aber die durch diese beschriebene Art erzeugt worden sind können nur kurze Zeit andauern, wenn es kein Echo oder in ähnlicher Weise etwas Resonierendes gibt, das sie wiederholt und weiterträgt; die Luft nämlich muss, wenn sie eine Bewegung in so weit entfernte Orte zerstreut, die eigene Bewegung sogleich verlieren.

§. 26. Daher eignen sich zur Klangerzeugung alle Vorgänge, die bewirken, dass entweder bereits komprimierte Luft entspannt oder unberührte komprimiert wird so dass sie sich plötzlich wieder entspannen kann.

Deswegen müssen alle schnelleren Bewegungen von Körpern durch die Luft Klänge erzeugen; die Luft nämlich kann wegen ihrer Trägheit den Körpern nicht ganz leicht Platz machen, und daher wird sie von ihnen komprimiert, worauf sie, wenn sie sich schließlich wieder ausdehnt, bei den kleinsten Luftteilchen eine Schwingbewegung bewirkt. Daher kommen auch die Klänge von heftiger schwingenden Ruten und von allen schneller durch die Luft bewegten Körpern. Und auch die zischenden Klänge von Winden und vom Atmen haben keine andere Ursache: Die vordere Luft wird nämlich von der nachfolgenden gleich wie von einem festen Körper erschüttert und komprimiert.

§. 27. Von den Klängen, die aus einer plötzlichen Entspannung stark komprimierter Luft entstehen, sind die zweifellos am lautesten, die man durch Schießpulver und beim Donner wahrnimmt. Durch verschiedene Versuche steht jedenfalls fest, dass im Schießpulver sehr stark komprimierte Luft enthalten ist und dieser durch das Entzünden ein Ausgang geöffnet wird, wodurch zwangsläufig derart verblüffende Klänge entstehen.

Und es scheint am wahrscheinlichsten, dass bei der Bildung von Wolken mit den Wasserdämpfen sehr viele Natron- und Schwefelteilchen gleichzeitig aufsteigen, die sich in ihnen verbinden und bei der Explosion einen so großen Lärm verursachen können.

Aber weil bei derartigen Klängen schwierig ist zu entscheiden, mit welcher Beziehung der Tiefe und der Höhe sie sich voneinander unterscheiden, wurden alle zu dieser Art gehörigen Klänge in der Musik nicht verwendet; deswegen werden wir uns die Untersuchung der Schwingungen, in die sie die kleinsten Luftteilchen versetzen, ersparen.

§. 28. Zur dritten Art der Klänge gehören nach der zu Anfang gemachten Einteilung die durch Anblasen erzeugten Klänge der Flöten.

Weil deren Theorie weniger offensichtlich ist wurde sie immer mit geringerem Eifer untersucht.

Denn ich sehe nicht, wie diejenigen, die meinen dass die Röhre selbst Schwingbewegung erhält und die auf diese Weise die Klänge der Flöten auf diese Art zurückführen die bei uns die erste ist, bei Kenntnis der Eigenschaften der Flöten zu einem befriedigenden Ergebnis kommen können. Man hat nämlich beobachtet, dass zylindrische gleich lange Flöten auch gleiche Töne hervorbringen, obgleich sie sich sowohl in der Weite unterscheiden, als auch in der Dicke und im Material selbst. Wie könnte es also geschehen, dass so unterschiedliche Röhren gleichartig schwingen?

Die Lehrmeinung derer aber, die meinen, dass nur die innere Oberfläche zum Schwingen komme, scheint schon allein die Unterschiedlichkeit des Materials zu widerlegen. Deswegen muss der Grund dieser Tonhöhen derart sein, dass er allein von der Länge der Flöten abhängt.

§. 29. Obwohl es aber für unsere Arbeit ausreichend wäre lediglich die Eigenschaften der Flöten aufzuzählen, habe ich dennoch, weil für gewöhnlich das Erkennen der Ursache stets die umfassende Kenntnis jeder Sache bewirkt, Mühe und Sorgfalt aufgewendet um der wahren Ursache auf den Grund zu gehen. Im Folgenden habe ich dann – nach genauer Untersuchung der Gestalt der Flöten – eine Berechnung angestellt.

Jedem ist bekannt, dass Flöten Rohre oder Kanäle sind, die an einem Ende mit einem Mundstück verbunden sind, das die Luft aus dem Mund oder einer pneumatischen Kiste aufnimmt und durch einen Spalt in das Rohr ausstößt an den seine Höhlung zum Rohr hin grenzt.

Es ist aber erforderlich, dass die durch den Spalt ausgestoßene Luft nicht blind in die Höhlung des Rohrs hineinrennt sondern die gesamte innere Oberfläche streift und ihr folgt. Deshalb durchbrechen die Instrumentenbauer jene Seite des Rohrs die dem Spalt gegenüber ist, damit sie nicht eine Fortsetzung des Mundstücks wird, und schärfen sie damit die Luft in diese Schärfe hineinstürzt und von ihr gleichsam gespalten wird, wodurch ein dünnerer Luftstrahl durch das Rohr fortkriecht.

§. 30. Was der Aufbau aber von Mundstücken dieser Art erfordert zeigt uns einerseits die Erfahrung, andererseits durchblicken wir es, wenn wir mit dem Mund selbst Mundstücke nachahmen. Denn wenn wir in ein Rohr ohne Mundstück mit dem Mund so Luft hineinblasen, dass sie zur inneren Oberfläche kriecht, wird ebenso ein Klang erzeugt wie wenn das Rohr mit einem Mundstück versehen wäre. Und so ist die Theorie der verschiedenen Flöten ohne Mundstück beschaffen, dass die Luft auf die erklärte Art eingeblasen werden muss, wie wir es in sogenannten Traversflöten und anderen ähnlichen sehen.

Damit dieser Eintritt in das Rohr einen Klang bewirkt ist es aber außerdem aber erstens erforderlich, dass die innere Oberfläche des Rohrs glatt ist, damit die sich wiederholende Bewegung der Luft nicht behindert wird; zweitens aber, dass die Seiten des Rohrs hart sind und der eindringenden Luft nicht nachgeben können, woraus man drittens versteht, dass das Rohr zu den Seiten gut abgeschlossen sein muss.

§. 31. Das aber und anderes, was man beim Bau von Flöten beachten muss, wird besser zu erkennen sein, wenn wir den Vorgang an sich erklären, durch den die Klänge in Flöten hervorgebracht werden.

Es wurde aber schon gezeigt, dass weder die Bewegung des ganzen Rohres noch allein der inneren Oberfläche eine Schwingbewegung erzeugt. Denn die Luft tritt so in das Rohr ein, dass sie die bereits im Rohr befindliche der Länge nach komprimiert; dadurch geschieht es dass sie wieder ausgedehnt und dann erneut zusammengedrängt wird; und auf diese Art vollbringt sie solange das Anblasen dauert Oszillationen und erzeugt durch diese einen Klang.

Wir wollen nun aber sehen, wie die Tonhöhe nach den mechanischen Gesetzen im Verhältnis zur Länge des Rohrs sein wird, sodass man erkennen kann, wie vorzüglich diese Erklärung mit den Phänomenen zusammenpasst.

§. 32. Der Stoff, der die Oszillationen bewirkt und sie an die umgebende Luft abgibt, ist die im Rohr enthaltene Luft, deren Volumen man aus der Länge und der Weite des Rohrs erkennt.

Die Kraft aber, die zum Schwingen veranlasst, ist wie wir gesehen haben die Luft, die durch Einblasen entlang der inneren Oberfläche des Rohrs eindringt. Aber die Kraft, die der im Rohr befindlichen Luft das Bestreben vermittelt, dass sie versucht, sich in den vorigen Zustand zurück zu versetzen wenn sie aus ihrer Ruhelage getrieben wurde, und die bewirkt dass sie genau jene Anzahl an Oszillationen in einer gegebenen Zeit ausführt die sie ausführt, ist das Gewicht der Atmosphäre, das heißt die elastische Kraft jener Luft, die dem Luftdruck der umgebenden Atmosphäre gleich ist.

Und diese Kraft kann man abschätzen aus ihrer Wirkung, die sie in einer Torricelli-Röhre entfaltet in der Quecksilber bis zu einer Höhe zwischen **22** und **24** Zehntel eines Rheinischen Fußes emporgehoben gehalten wird.

§. 33. Daher ist die Berechnung dieser schwingenden Luftsäule, die sich im Rohr befindet, im Ganzen ähnlich der, nach der eine gespannte Saite Schwingungen ausführt. Die Saite selbst kann man nämlich mit der im Rohr der Flöte enthaltenen Luft vergleichen; den Platz aber des die Saite spannenden Gewichts nimmt in diesem Fall das Gewicht der Atmosphäre ein, obwohl sie gänzlich ungleich scheinen, weil die Saite vom angehängten Gewicht ausgedehnt, die Luft aber von der Atmosphäre komprimiert wird. Wenn wir aber auf die Wirkung schauen, kommen sie durchaus einander gleich.

Denn was bei beiden für das Erzeugen der Schwingungen von Bedeutung ist, das kommt von der Kraft, die sie auf den unterworfenen Körper ausüben, wenn er sich in seinen Ruhezustand zurückzieht. Das aber, sei es dass es durch Zusammendrücken der Luft im Rohr bewirkt wird oder durch Ausdehnung der Saite, wird dieselbe Wirkung erzeugen.

§. 34. Weil also die Luft im Rohr einer Flöte nach derselben Art Oszillationen ausführt wie eine gespannte Saite, werden wir auch die Anzahl der in vorgegebener Zeit erzeugten Oszillationen und damit den Ton selbst aus dem bestimmen können was wir über die schwingenden Saiten gelehrt haben.

Es sei die Länge der Flöte **a** in Skrupel eines rheinischen Fußes, die Weite **bb**, das spezifische Gewicht der Luft verhalte sich zu dem des Quecksilbers wie **m** zu **n** und die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer sei **k** (ebenfalls in Skrupel).

Wir haben daher eine Saite der Länge **a** und des Gewichts **mabb**, die von einem Gewicht gleich dem Luftdruck gespannt wird; der aber entspricht dem eines Zylinders aus Quecksilber, dessen Basis **bb** (d.h. die Weite des Rohrs) und dessen Höhe **k** ist. Daraus kann man das spannende Gewicht ungefähr mit **nkbb** abschätzen.

Daraus findet man als Anzahl der pro Sekunde erzeugten Schwingungen

$$\frac{113}{355} \cdot \sqrt{\frac{3166 \cdot nkbb}{a \cdot mabb}} = \frac{113}{355 \cdot a} \cdot \sqrt{\frac{3166 \cdot nk}{m}}$$

was dem Ton an sich entspricht, wie wir ihn zu messen festgelegt haben.

§. 35. Weil **m** zu **n** fast immer dasselbe Verhältnis aufweist und **k** sich zu verschiedenen Witterungen nur wenig verändert, werden sich die Töne von Flöten, die zylindrische oder prismatische Rohre haben, reziprok zu den Längen der Rohre verhalten, sodass umso höhere Klänge entstehen je kürzer die Rohre sind, und sodass längere Rohre tiefere Töne von sich geben.

Wie ausgezeichnet das mit der Erfahrung übereinstimmt, wird jeder leicht erkennen, wenn er die vorher erwähnten Eigenschaften von Flöten durchdenkt die hier wieder zum Tragen kommen, dass nämlich die Quantität des Tons weder von der Weite des Rohres noch vom Material aus dem das Rohr gefertigt ist sondern allein von der Länge abhängt. Deswegen meine ich, dass man nicht mehr daran zweifeln kann, dass diese dargelegte Berechnung von Tönen, die von Flöten erzeugt werden, echt und aus der wahren Natur der Sache gewonnen ist.

§. 36. Umso mehr aber wird diese Erklärung für uns bestätigt, wenn wir nicht nur die Berechnung dieser Klänge betrachten sondern auch untersuchen, wie sie sich zum Klang einer gegebenen Saite verhalten, die von einem gegebenem Gewicht gespannt ist. Denn wenn die Erfahrung bestätigt, das dieselbe Flöte mit einer gegebenen Saite im Gleichklang ist wie es die Theorie erklärt wird das die größte Bestätigung sein.

$\frac{a}{m}$ ist aber, wenn es den größten Wert hat der bei heißestem Wetter auftritt, ungefähr **12000**, aber bei kältestem Wetter wird es mit **10000** gemessen. Ähnlich ist, wenn das Quecksilber im Barometer zum höchsten Wert gestiegen ist, **k = 2460**, und wenn das Quecksilber am meisten gefallen ist, **k = 2260**.

Darum wird der Ton der Flöte wenn Barometer und Thermometer sich bei den

größten Werten befinden $= \frac{960771}{a}$

und wenn dieselben Instrumente bei den niedrigsten Werten stehen

$$= \frac{840714}{a} .$$

§. 37. Wir wollen dazwischen ein Mittel annehmen, nämlich $\frac{90000}{a}$,

und so viele Schwingungen pro Sekunde wird eine Flöte der Länge **a** in der Luft bei mittlerem Wetter erzeugen.

Also ist eine Flöte, die **100** Schwingungen pro Sekunde von sich gibt, **9000** Skrupel d.h. **9** rheinische Fuß lang; und eine, die **118** Schwingungen von sich gibt und im Gleichklang mit einer Saite ist, die auf Instrumenten den als **C** bezeichneten Ton vernehmbar macht, muss die Länge von **7627** Skrupel oder von etwas mehr als **7^{1/2}** rheinischen Fuß haben.

Das entspricht auch genügend genau der Erfahrung: denn für gewöhnlich wird eine Pfeife der Länge **8** Fuß verwendet, um den Ton **C** zu erzeugen, und die Differenz eines halben Fußes ist ist beinahe zu vernachlässigen, weil dieselbe Pfeife bei verschiedenen Witterungen Klänge hervorbringen kann, die das Verhältnis **84071** zu **960771**, das heißt **8** zu **9** haben; diesen Unterschied kann man in einer solchen Pfeife auf mehr als einen halben Fuß bewerten.

§. 38. Und gerade dieser Unterschied der Klänge derselben Pfeife bei verschiedenen Witterungen bestätigt die Wahrheit unserer Erklärung noch mehr. Denn die Musiker machen fortwährend die Erfahrung, sooft sie mit Saiten bespannte Instrumente gleichzeitig mit pneumatischen verwenden, dass letztere überaus veränderlich sind und dass die Saiten, die mit den Pfeifen im Einklang sind, bald gespannt, bald entspannt werden müssen. Und dass der Unterschied zwischen dem höchsten und dem tiefsten Ton derselben Pfeife ungefähr der eines Ganztons ist, des Intervalls zwischen zwei Tönen die das Verhältnis **8** zu **9** haben. Außerdem wurde auch beobachtet, dass Flöten höher klingen, wenn das Wetter ganz heiter und von größter Hitze ist, dass dagegen bei getrübtstem und mit größter Kälte verbundenem Wetter die Töne der Flöten tiefer sind. Daher erklärt sich auch, warum eine Flöte zu Beginn tiefer klingt als wenn sie tüchtig geblasen wurde; durch eben den Gebrauch und das Einblasen erwärmt sich nämlich die Luft, die sich in der Flöte befindet, und so kommt ein höherer Klang heraus.

§. 39. Die Stärke und Schwäche der Klänge, die von Flöten erzeugt werden, hängt einerseits von der Kraft ab mit der sie geblasen werden, andererseits vom Verhältnis das die Weite der Flöte zur Länge hat. Ähnlich ist nämlich die Berechnung von Flöten und Saiten, die Weite bei ersteren ist zu vergleichen mit der Dicke bei letzteren. Wie also nicht jede beliebige Saite geeignet ist alle Klänge zu erzeugen sondern wie für einen gegebenen Klang eine bestimmte Dicke benötigt wird so kann auch eine Flöte gegebener Länge nicht nach Belieben weiter oder enger gefertigt werden, sondern es sind Grenzen gesetzt; wenn man sie überschreitet, wird die Flöte überhaupt keinen Klang erzeugen. Damit aber Flöten mehrere ähnliche und gleich starke Klänge erzeugen, ist es notwendig dass die Weite der Flöte – das heißt die Basis des Rohrs – so wie die Dicke der Saiten proportional zur Länge ist. Daraus nämlich folgt zugleich auch etwas zweites was bei Saiten erforderlich ist, dass nämlich der Luftdruck, der der Weite proportional ist, auch dasselbe Verhältnis zur Länge der Flöte hat.

§. 40. Aber auch die Stärke des Anblasens kann nicht nach Belieben vergrößert oder verkleinert werden. Denn wenn man die Flöte zu schwach bläst wird sie überhaupt keinen Ton von sich geben, und wenn sie stärker als nötig geblasen wird, bringt sie beim Anblasen nicht den Ton hervor den sie soll sondern einen um eine Oktav höheren, und wenn man sie noch stärker bläst, wird sie einen um eine Duodezim, und dann um eine Quindezim usw. höheren von sich geben. Damit wir den Grund dieser Anstiege der Töne enthüllen, wird es helfen zu bedenken dass die Kraft des Tons proportional zur Kraft des Anblasens ist; und außerdem versteht man, dass – solange der Ton an Höhe derselbe bleibt – die Schwingungen der im Rohr enthaltenen Luft umso weiter, nicht jedoch häufiger

sein müssen, je mehr das Anblasen gesteigert wird. Aber die Weite der Schwingungen wird durch die Weite des Rohrs so bestimmt, dass sie eine bestimmte Grenze nicht überschreiten kann; wenn daher die Flöte stärker angeblasen wird, als für diese Stufe erforderlich ist, wird sie nicht denselben Klang von sich geben können.

§. 41. Bei Saiten aber, denen Pfeifen ähnlich zu werten sind, steht sowohl nach der Theorie als auch durch Versuch fest, dass beide Hälften der gespannten Saite gesondert Schwingungen ausführen können, so dass diese Saite nicht nur den gewohnten Ton, sondern auch den um eine Oktav höheren von sich gibt; was nicht geschehen kann wenn die Teile ungleich sind. In ähnlicher Weise kann eine wenigstens in der Überlegung in drei gleiche Teile geteilte Saite so schwingen, dass die einzelnen Teile gesondert Schwingungen ausführen als wären sie gleichsam durch Stege getrennt, und einen höheren Ton als den gewohnten wahrnehmbar machen, offenbar die Duodezim. Dasselbe gilt auch für vier oder mehr gleiche Teile der Saite. Wie man das aber erreichen und durch Experimente bestärken kann, zeigte *Cl. D. Sauveur* in den *Comment. Acad. Scient. Paris. An. 1701*.

§. 42. Wenn man das auf Pfeifen umlegt, versteht man dass es geschehen kann, dass beide Hälften der Pfeife gesondert Schwingungen ausführen und so einen um eine Oktav höheren Ton erzeugen. Weil in diesem Fall die Schwingungen doppelt so häufig sind, wird es auch eine größere Kraft des Anblasens brauchen. Daraus folgt, dass, wenn das Anblasen über jene bestimmte Stufe vergrößert wird, sich dann die Schwingungen an diesen Fall anpassen werden und einen um eine Oktave höheren Ton erzeugen werden. Weil es auch hier eine Stufe gibt die das Anblasen nicht überschreiten soll, werden, wenn auch diese überschritten wird, auf ähnliche Art die einzelnen Drittel der im Rohr enthaltenen Luft gesondert zu schwingen anfangen, woraus sich ein dreifach höherer Klang ergibt, also die Duodezim des ersten. Und wenn das Anblasen weiter vergrößert wird, dann wird, da die Viertel schwingen, ein um zwei Oktaven höherer gehört werden, und so weiter.

§. 43. Darauf stützt sich auch die Natur der Trompeten und Hörner (obwohl sie in anderen Dingen nicht die gleiche Theorie wie die Flöten haben) und die Eigenschaft, dass ihre Töne allein durch die Intensität des Anblasens kontrolliert werden. Denn auf diesen Instrumenten können nicht alle Töne wiedergegeben werden, sondern nur diese die durch die natürlichen Zahlen **1, 2, 3, 4, 5, 6**, usw. ausgedrückt werden.

So geben sie in der untersten Oktav zwischen **1** und **2** keinen Zwischenton wieder, in der folgenden zwischen **2** und **4** einen Zwischenton (**3**) der die Quint zu **2** ist, in der dritten Oktav zwischen **4** und **8** haben sie drei (**5, 6, 7**) und in der vierten sieben Zwischentöne.

Die Bauart dieser Instrumente scheint so zu sein, dass jeder Ton sehr enge Grenzen des Anblasens hat und dass daher bei nur wenig stärkerem oder schwächerem Anblasen ein entweder höherer oder tieferer entsteht.

§. 44. Was bisher über Pfeifen gesagt wurde gilt insbesondere auch für solche, deren Rohre entweder prismatische oder zylindrische Form haben. Welche Töne sie aber hervorbringen wenn die Rohre auseinanderlaufend oder zusammenlaufend oder irgendeiner anderen Form sind ist schwieriger zu bestimmen. Dennoch können Fragen dieser Art immer auf Saiten zurückgeführt werden: Wenn eine Form einer beliebigen Pfeife vorliegt, soll man sich eine gleichartige Saite überlegen und untersuchen welchen Ton sie hervorbringen wird; Wenn man das getan hat und wenn man die Saite selbst als aus Luft annimmt und das spannende Gewicht gleich dem Luftdruck, wird man den Ton erhalten den diese Pfeife wiedergibt.

Und wenn man dieses Problem allgemeingültig für jede beliebige Form einer Pfeife löst, wird sich zugleich eine sehr bekannte Eigenschaft prismatischer Pfeifen zeigen, dass sie einen um eine Oktav tieferen Ton von sich geben, wenn sie unten verschlossen werden.

§. 45. Andere Instrumente, die mit Pfeifen eine gewisse Verwandtschaft zu haben scheinen, sind Trompeten, Hörner und ähnliche. Diese geben freilich durch das Anblasen allein keinen Klang von sich, sondern erfordern vom Mund einen mit dem Atemstrom verbundenen Ton, den sie dann erstaunlich vergrößern und stärker wiedergeben, auf ähnliche Weise wie Sprachrohre Stimmen so sehr verstärken. Besser aber sind derartige Instrumente durch solche bekannt, die in pneumatischen Orgeln zu deren Imitation genommen werden. Diese werden jedoch nur durch das Anblasen angeregt, aber im Mundstück sind elastische Lamellen eingebaut die vom eindringenden Luftstrom eine Schwingbewegung erhalten; sie geben einen zwar schwachen Ton von sich, aber sobald dieser durch das angeschlossene Rohr tritt erhält er von diesem solche Kraft, dass er die Klänge der Trompeten oder Hörner hervorragend nachmacht.