

## VII.

### Zur Theorie der Percussion.

Von Dr. F. Hoppe.

---

**D**ie akustischen Erscheinungen, welche wir behufs der Diagnostik der Krankheiten am menschlichen Körper untersuchen, sind theils durch Bewegungen einzelner Theile des Körpers selbst (Respiration, Circulation, Bewegung des Darmkanals), theils durch Schütteln oder Stofs an Theile desselben hervorgebracht. Hiernach theilt sich das ganze Feld der Untersuchung in die Abschnitte der Auscultation und Percussion. Durch die Beobachtung der Eigenschaften gehörter Schwingungen sucht man Aufschluß über die mechanischen Zustände der schwingenden Körper zu erhalten. Der Unterschied der Auscultation von der Percussion liegt lediglich in der Ursache, welche die Körpertheile zum Schwingen bringt, und die Percussion hat den Zweck, durch Stofs, Klopfen hervorgebrachte Schallschwingungen zur Erforschung der mechanischen Zustände der schwingenden Körper zu benutzen. Die Körper, welche wir dabei unmittelbar in Bewegung setzen, sind stets feste, unvollkommen elastische; da aber die Schwingungen, welche dieselben machen, nicht allein von den Eigenschaften dieser Theile selbst abhängen, sondern auch die der benachbarten Theile auf dieselben Einfluß üben, so ist damit die Möglichkeit gegeben, unter gewissen Voraussetzungen auch Eigenschaften der Theile zu erschließen, welche den unmittelbar

in Schwingung versetzten benachbart sind. Um jedoch überhaupt aus den Schwingungen der Körper Schlüsse auf ihre mechanischen Eigenschaften machen zu können, müssen wir den Einfluss einer jeden der letzteren auf die Schwingungen kennen, und es ist daher hier unsere erste Aufgabe, diejenigen Eigenschaften der hier in Betracht kommenden Körper zu untersuchen, welche in dem Produkte der Schwingbarkeit oder der Schwingung selbst Factoren sind. Das Verhältniss der die Schwingbarkeit bedingenden Eigenschaften zu einander giebt die Elasticität des Körpers, die Kenntniss dieses Verhältnisses ist eben so nöthig, als die Kenntniss des absoluten Werthes einiger Eigenschaften, welche auf die Schwingbarkeit Einfluss haben, um den Werth der anderen Eigenschaften bestimmen zu können. Diese Eigenschaften, die in ihrem quantitativen jedesmaligen Verhältnisse zu einander die Schwingbarkeit constituiren, sind: 1) der Aggregatzustand, 2) die räumlichen Verhältnisse, Länge, Breite, Dicke und Gestalt, 3) die Spannung, unter welcher die Theile stehen, 4) Temperatur und Elasticitätscoëfficient. Die Temperatur kann als constant weggelassen werden und auch der Elasticitätscoëfficient fällt weg, aus Gründen, die später zu entwickeln sind. Alle übrigen Verhältnisse finden wir möglichst verwickelt. Wir haben es mit Körpern aller Aggregatzustände zu thun; das innige Gemenge von festen und tropfbar-flüssigen Theilen, das wir in Haut und Fleisch finden, macht aus einfachen Gründen die Entstehung von Longitudinal- oder Dichtigkeitsschwingungen derselben zwar nicht ganz unmöglich, aber doch unmerkbar; es sind also alle Schwingungen, denen wir bei der Percussion und Auscultation begegnen, nur transversale, so weit nicht gasförmige Körper sich in Schwingung befinden. Diese Gemenge tropfbarflüssiger und fester Körper constituiren entweder den zu untersuchenden Körper allein, oder dieselben umgeben Lufträume oder sind überall von kleinen Lufträumen durchsetzt (Lunge). Die Luft ist natürlich immer schwingbar, die festflüssigen Theile nur unter gewissen Bedingungen, nämlich wenn ihre Dicke im Verhältnisse zur Flächenausbreitung nicht zu bedeutend ist —

ist dagegen dies Letztere der Fall, so entsteht zwar ein Schall durch den Anschlag, der aber wohl fast ganz seine Entstehung dem plötzlichen Aufhören der Bewegung der umgebenden Luft bei dem Zusammenstoss des klopfenden und des geklopften Körpers verdankt. — Die räumlichen Verhältnisse, Flächenausbreitung und Dicke sind bei den in Betracht kommenden Körperconglomeraten ungemein variabel. Die eine Oberfläche des zu untersuchenden Körpertheils ist bekannt, seine Dicke für einen Punkt dieser Oberfläche ist das, was sowohl für die unmittelbar geprüften festen Theile als auch für die dahinter befindlichen Lufträume meist bestimmt werden soll. Der Druck, unter welchem die festflüssigen Theile stehen, oder ihre Spannung ist gleichfalls ziemlich bedeutenden Variationen unterworfen. Die Spannung der Lufträume umgebenden Wandungen läßt sich durch ihre Schwingungen nur innerhalb gewisser enger Grenzen mit ziemlicher Genauigkeit bestimmen, überschreitet die Spannung diese Grenzen, so hört meist auch jede ungefähre Bestimmung auf.

Wir würden uns überhaupt über alle diese Verhältnisse wenig Aufschluß verschaffen können, wenn nicht für alle Theile, die wir untersuchen, sehr bestimmte Grenzen der Variationen ihrer Eigenschaften existirten.

Die einfachsten hier in Betracht kommenden Theile sind Lufträume, welche von mehr oder weniger starken Wandungen eingeschlossen sind, Darm, Magen. Die Grössen dieser Lufträume wechseln ebenso, als diejenigen der umgebenden Wandungen, sie sind selten für 2 Punkte gleich, und hiernach wird auch die Spannung der Wandung für verschiedene Punkte derselben ungleich sein, indem jede Luftblase, wenn ihr Inhalt unter einem bestimmten Drucke steht, Kugelgestalt anzunehmen strebt, und es werden daher alle diejenigen Theile der Wandung, welche dem Mittelpunkte des Luftraumes näher liegen, auch immer unter grösserer Spannung sich befinden, als entferntere. Ebenso wie die Spannung, ist aber auch die Dicke und mit ihr das Gewicht der begrenzenden Wandung grossem Wechsel unterworfen. Die innere Oberfläche ist meist nur auf

eine kurze Strecke der äusseren Oberfläche der Bauchwandung parallel. Einen normalen Zustand kann man nicht als maassgebend zu Grunde legen, die beständige Bewegung des Darmes ruft einen fortdauernden Wechsel der Lage, des Druckes und der Gestalt der Lufträume und ihrer Wandungen hervor, so dafs man genöthigt ist, fast alle Bestimmungen, welche die Probe auf überhaupt vorhandenen Luftgehalt dieser Theile, d. h. die Probe, ob überhaupt transversale Schwingungen mit Deutlichkeit wahrzunehmen sind, überschreiten, als unmöglich aufzugeben. Da der Magen und das Coecum wenigstens in ihrer Lage einigermassen fixirt sind, die Gestalt des Luftraumes in ihnen weniger bedeutenden Wechselln unterworfen ist, als nur durch gröfsere oder geringere Füllung mit tropfbarer Flüssigkeit und festen Stoffen, so sind hier schon leichter zu übersehende Verhältnisse gegeben.

Die complicirteren Theile, welche hier vor Allem eine genauere Betrachtung erfordern, sind die Lungen mit den sie umgebenden Thoraxwandungen. Obwohl sich aber bei ihnen für alle oben genannten Kategorien der Gröfse, Spannung etc. mit ziemlicher Genauigkeit Normen statuiren lassen, so sind doch die Verhältnisse so complicirt, dafs man eigentlich das Normale als das Complicirteste betrachten mufs. Alles was an den oben betrachteten Theilen des Darmes und Magens noch einfach in seiner mechanischen Zusammensetzung war, ist hier mehrfach complicirt. Wir finden hier wohl einen einfachen Luftraum, aber derselbe ist unendlich verzweigt in Abtheilungen, welche verschiedene Gestalt und sehr verschiedene Durchmesser haben. Die umgebende Wandung ist aus Körpern sehr verschiedener Resistenz zusammengesetzt, den Rippen und Weichtheilen der Intercostalräume. Die innere Oberfläche derselben läuft zwar im Ganzen der äusseren parallel, es finden sich aber wieder unendlich viel Abweichungen von diesem Parallelismus; die Wandung ist continuirlich gebogen nach 2 Richtungen, ohne in dieser Biegung einem bekannten geometrischen Körper ähnlich zu sein. Die Gröfse und selbst die Gestalt ist bei verschiedenen Individuen verschieden und wech-

selt bei jedem einzelnen fortwährend durch die Bewegungen der Respiration, welche zugleich die Spannung der Lunge und der Thoraxwandungen in fortwährendem Wechsel erhalten und durch die Contraction der Intercostalmuskeln eine Veränderung in der Thoraxwandung selbst hervorrufen, die sich auf keine Weise controliren läßt.

Unter solchen Verhältnissen, welche Regelmäßigkeit in allen Beziehungen ausschließen, kann natürlich auch von Bewegung nach geometrischen Linien nicht die Rede sein, die Bewegungen mögen bedingt sein, wodurch sie wollen; es werden also auch rein tönende Schwingungen durch die Percussion dieser Theile nur dann zu erhalten sein, wenn eine bedeutende und vielseitige Vereinfachung der Verhältnisse eingetreten ist. Wollen wir nun diese seltenen Erscheinungen nicht allein betrachten, so häufen sich die Hindernisse in dem Grade, daß es *a priori* nur ein unfruchtbarer Versuch sein würde, eine physikalische Messung der Verhältnisse vornehmen zu wollen. Es wird auch natürlich deshalb nicht möglich sein, durch die Eigenschaften der Schwingungen dieser Theile Maasse für die Eigenschaften der schwingenden Körper zu erlangen, selbst wenn es möglich wäre, diese Schwingungen selbst zu messen. Das Einzige also, was übrig bleibt, ist, generelle Erfahrungen über die Beziehung, in welcher die Schwingungen von Körpern zu den Eigenschaften derselben stehen, zu übertragen auf die complicirten Verhältnisse des thierischen Körpers und die Erscheinungen der Percussion derselben, und so durch Ausscheidung von Unmöglichkeiten natürliche Erklärungen zu versuchen, wo Unzulänglichkeit der leider von den Physikern noch sehr vernachlässigten experimentellen Akustik und Verwickelung der gegebenen Verhältnisse strikten Beweis unmöglich machen.

## §. 2. Ueber die Veränderungen, welche der Schall beim Uebergange vom percutirten Körpertheile bis zum Ohre des Beobachters erleidet.

Durch die Percussion der oben betrachteten Theile erhalten wir Schwingungen derselben, welche, mehr oder weniger der

umgebenden Luft mitgetheilt \*), als Wellen sich ausbreiten und so zu unserem Ohre gelangen. Direct erhalten wir durch unsere Gehörsempfindungen nur ein Urtheil über die Schwingungen, welche dem Trommelfell durch die Luft mitgetheilt werden; wir können also die Schwingungen, welche der percutirte Körper macht, nur unter gewissen Voraussetzungen beurtheilen, nämlich unter der Voraussetzung, daß durch den Uebergang der Schwingung in die Luft und unser Ohr entweder nichts an derselben geändert werde oder daß eine Aenderung nach bestimmten Gesetzen vor sich gehe. Dies Letztere läßt sich auch nachweisen. Die Eigenschaften der Schallwellen lassen sich unter folgende physikalische Kategorien bringen:

1. Schallhöhe oder Dauer einer Schwingung.
2. Intensität oder Oscillationsamplitude.
3. Schwingungsdauer oder Zahl der Schwingungen, die durch einen bestimmten Impuls hervorgerufen werden.
4. Timbre oder gewisse noch nicht hinreichend erklärte Eigenthümlichkeiten der Schwingungen, entweder Interferenzen mit anderen zugleich entstehenden Schwingungen sehr verschiedener Schallhöhe und Intensität, oder Gestalt der Schwingungen \*\*). Hierher gehört natürlich auch die Reinheit des Tones, d. h. Gleichheit der Schwingungszeiten der einzelnen Schwingungen.

\*) Es ist von höchster Wichtigkeit, dass die Begriffe von Mittheilung der Schwingungen von einem Körper an den benachbarten und von Leitung der Wellen in einem Körper scharf auseinandergehalten werden, obwohl jeder Körper als aus einander benachbarten Molekülen gebildet betrachtet werden kann. Die Leitungsfähigkeit eines Körpers für Schallschwingungen kann sehr vollkommen sein, z. B. Luft, Wasser, und doch die Mittheilung der Schwingungen von dem einen an den anderen äusserst gering sein. Beim Uebergange von Schallschwingungen aus einem Körper in den anderen wird stets nur ein Theil der Welle übergehen, der andere Theil von der Oberfläche reflectirt. Die Grösse der Mittheilung richtet sich nach der grösseren oder geringeren Differenz der Compressibilität der Körper für Longitudinalschwingungen, für transversale ist sie von der Spannung des schwingenden Körpers abhängig.

\*\*) Der Unterschied eines Trompetentones und Flöten-, Saiten- etc. Tones ist charakteristisch so wie die Variationen, welche ein Theil der Register an der

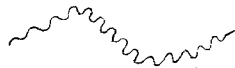
Die Schallhöhe, die einzige dieser Kategorien, für welche sich Messungen mit Sicherheit anstellen lassen und für welche das Ohr eine bewundernswerthe Feinheit besitzt, wird durch die Mittheilung der Schwingungen nicht geändert, man kann sich hiervon durch Versuche mit Luft und Wasser überzeugen. Schwingungen, welche in der Luft gehört, einem bestimmten Tone entsprechen, zeigen dieselbe Schallhöhe, wenn man sie während des Untertauchens unter Wasser vernimmt. In Beziehung auf die 2te und 3te Kategorie bietet die Untersuchung schon gröfsere Schwierigkeiten. Am bequemsten kann man sich der Saiten zu diesen Untersuchungen bedienen, da man ihre Schwingungsamplitude mit dem Auge messen kann. Beobachtet man nun die Schwingungen von Saiten unter dem Mikroskope, so findet man, dafs tiefe Töne bei einer Oscillationsamplitude nicht mehr gehört werden, welche für hohe Töne noch bedeutende Tonempfindung verursacht. Es geht also hieraus hervor, dafs für gleiche Entfernung des Ohres vom schwingenden Körper, alles übrige gleich gesetzt, die gehörten Intensitäten nicht im Verhältnisse der Intensität der ursprünglichen Schwingungen stehen, wenn die Schallhöhe der Schwingungen verschieden ist. Diese Erscheinung läfst sich auf 2fache Art erklären. Entweder besitzt nämlich das Ohr nicht gleich grofse Empfindlichkeit für hohe und tiefe Töne, oder die Gröfse

Orgel hervorbringt, ohne an den übrigen Eigenschaften des Tones etwas zu ändern. Alle transversale Schwingungen müssen auch von longitudinalen begleitet sein, beide interferiren also und die letzteren verändern je nach ihrer Wellenlänge und Höhe die Gestalt der transversalen. Es würde sich dies z. B.

so darstellen lassen, wenn die Transversalschwingung



ist, so ist dieselbe mit den begleitenden Longitudinalschwingungen



oder



. Die Unvollkommenheit der Elasticität kann

noch andere Veränderungen der Gestalt hervorrufen, die gleichfalls wichtig sind.



der Mittheilung der Schwingungen vom schwingenden Körper an die umgebende Luft ist verschieden. Ueber das Erstere läßt sich schwer urtheilen, mag es aber der Fall sein oder nicht, die zweite Erklärung ergiebt sich mit Nothwendigkeit aus den Verhältnissen. Je tiefer ein Ton ist, d. h. je langsamer die Schwingungen des Körpers erfolgen, desto mehr angrenzende Lufttheilchen werden sich der Compression durch Ausweichen entziehen, und es wächst der Widerstand der Lufttheilchen im Quadrate der Schnelligkeit der Bewegung eines Körpers in der Luft; je größer der Widerstand ist, desto mehr wird die Luft comprimirt und durch den Grad der Compression gasförmiger Körper wird die Höhe des Wellenberges oder Intensität der Schwingung ausgedrückt. Die schnelleren Schwingungen finden also mehr Widerstand, sie werden daher intensivere Wellen in der Luft erzeugen als tiefere. Durch den größeren Widerstand der Luft wird aber auch die Dauer des Schwingens des festen Körpers verkürzt, es muß daher, wenn diese Betrachtung richtig ist, die Schwingungsdauer hoher Töne geringer sein als die der tieferen Töne, und es ist dies auch wirklich der Fall; man kann daher wohl sagen, daß sehr tiefe Töne aufhören hörbar zu sein wegen zu geringen Widerstandes der angrenzenden Luft, sehr hohe, wegen zu großen Widerstandes; die zu tiefen brauchen ungewöhnliche Intensität, um der Luft mitgetheilt zu werden, und zu hohe comprimiren die Luft so bedeutend, daß sie fast augenblicklich ihre ganze Kraft einbüßen und der entstehende Ton so kurz ist, daß ihn das Ohr nicht auffassen kann.

Hiernach wird also der Verlust an Schwingungsdauer und Intensität die Mittheilung der mittleren Töne am meisten begünstigen und dies Verhältniß ergab sich auch bei Messung der Schwingungsdauer verschieden hoher und verschieden starker Töne bei Versuchen, welche Dr. Langguth mit mir zusammen anstellte. Wir untersuchten die Schwingungsdauer der Töne einer Stahlseite bei verschiedener Ablenkung und Spannung und erhielten als Mittel aus stets je 6 Beobachtungen folgende Zeiten, während deren der Ton in bestimmter Entfernung hörbar war.



| Spannung der Saite | P     | P+P'  | P+P'' | P+P''+P''' |
|--------------------|-------|-------|-------|------------|
| 2 H                | 14,12 | 16,38 | 16,92 | 18,05      |
| 4 H                | 14,17 | 16,72 | 17,85 | 18,80      |
| 7 H                | 12,60 | 14,50 | 16,85 | 17,12      |

Es sind hier P P' P'' P''' die ablenkenden Gewichte, welche durch einen über eine Rolle geleiteten schwachen Faden die Mitte des Monochords horizontal spannten und deren Wirkung durch plötzliches Durchschneiden eines schwachen Fadens gehoben wurde; von diesem Momente an wurde die Schwingungsdauer nach einer guten, regulirten Secundenuhr, die  $\frac{2}{3}$  Secunden schlug, gemessen für eine bestimmte Entfernung des Ohrs von der Saite. Der eine von uns beobachtete die Schwingungen, während der andere die inzwischen verstreichende Zeit maß. Die obigen Zahlen sind die Dauer der hörbaren Schwingungen,  $1 = \frac{2}{3}$ ''.

Aus den obigen Zahlen ergibt sich, daß die Schwingungsdauer zwar mit der Stärke der Ablenkung bei gleicher Saitenspannung zunimmt, daß aber bei gleich starker Ablenkung und verschiedener Saitenspannung die gehörte Schwingungsdauer constant bei einer mittleren Spannung größer ist als bei stärkerer oder geringerer Spannung derselben Saite.

Aus obigen Betrachtungen, sowie aus den fragmentarischen Versuchen ergibt sich, daß die tiefen Töne oder natürlich auch ein tiefer Schall bei der Mittheilung der Schwingungen an die Luft einen bedeutenderen Verlust an Intensität erleiden als höhere. Ein genaues Urtheil über die ursprüngliche Intensität der Schwingungen können wir also nicht erlangen, wenn wir allein nach der Intensität, die wir hören, urtheilen. Die Schwingungsdauer nimmt dann natürlich wegen mangelnder Intensität für tiefe Töne gleichfalls ab. Der Timbre und die Reinheit des Tones dagegen können durch die Mittheilung nicht geändert werden.

### §. 3. Ueber die Schwingungen ebener und gebogener Platten und angrenzender Luftschichten.

Die Wandungen des Thorax stellen unregelmäßig gebogene, ungleichartig zusammengesetzte, elastische Platten dar, hinter und vor der Thoraxwandung befindet sich im normalen Zustande Luft; an den Rändern sind sie an massive schwerbewegliche, feste Theile angelegt oder angeheftet. Wird nun irgend ein Theil dieser Platten durch Stofs aus seiner Lage gebracht, so wird derselbe nicht in der neuen Lage verharren, sondern wie ein Pendel um seine Fixirungspunkte so lange schwingen, bis die durch den Stofs ihm mitgetheilte Kraft verbraucht und er in seine frühere ruhige Lage zurückgekehrt ist. Diefs ist also das Resultat, welches die Percussion zunächst giebt. Die so erhaltenen Schwingungen sind Transversalschwingungen. Wegen der geschilderten Eigenschaften müssen nun die allgemeinen Gesetze der Schwingungen von Platten auf die der Thoraxwandungen anwendbar sein. Die Fixirung der Thoraxwandung liegt theils in den begrenzenden massiven Körpern: Leber, Herz, Schulter, Wirbelsäule, theils wird eine Begrenzung der in einer ziemlich parallelen Richtung schwingbaren Theile durch die starke Biegung des Thorax selbst gegeben. Wir können hiernach einen schwingenden Theil der Thoraxwandung mit einer an ihrer Peripherie fixirten Platte vergleichen. Ich bediente mich zur Beobachtung der Schwingungen von letzteren kreisförmiger, elliptischer, dreieckiger etc. Platten von dicker Pappe, welche durch einen aufrecht stehenden dicken Rand an der Peripherie fixirt und mit diesem Rande so aufgesetzt wurden, daß der unter der Platte befindliche Luftraum nicht abgeschlossen war. Auch Deckel von Pappschachteln eignen sich ganz gut zur Beobachtung dieser Schwingungen. Eine solche Platte giebt bei der Percussion keinen reinen Ton, sondern einen Schall, welcher Töne verschiedener Tonhöhe in sich enthält und dieser Schall ändert sich mehr oder weniger in seinen Eigenschaften, je nachdem man den einen oder anderen Punkt der Platte percutirt. Das Percussionsinstrument

war ein Percussionshammer gewöhnlicher Construction. In dem durch die Percussion entstehenden Geräusche lassen sich nun stets trennen: 1) ein kurzer Schall von bedeutender Tonhöhe und desto geringerer Intensität, je nachgiebiger das Percussionsinstrument ist; derselbe entsteht durch kurze Dichtigkeitsschwingungen der unmittelbar getroffenen Papptheilchen; 2) ein Schall, der bei beliebigem Percussionspunkte für eine Platte stets gleiche Tonhöhe zeigt; derselbe entsteht durch Schwingungen der ganzen Platte; 3) ein Schall oder zwei, welche höher als der vorige sind, und bei kreisförmigen Platten ihrer Tonhöhe nach Schwingungen von Plattentheilen entsprechen, deren Knotenlinie durch den Percussionspunkt geht. Die erste dieser drei Schallarten kann natürlich als nur durch das Material bedingt ganz bei Seite gelassen werden, die 2te und 3te sind transversale Schwingungen von Platten, sie sind also vergleichbar. Hinsichtlich der Intensität dieser Schwingungen zusammen ergab sich, daß bei gleicher Kraft des Percutirens die Intensität der gehörten Schwingungen am grölsten war, wenn der Mittelpunkt der Platte percutirt wurde, daß ferner die Intensität erst allmählig, dann in immer stärkerem Verhältnisse abnahm, je näher der Percussionspunkt nach dem Rande der Platte hinrückte. Es steht dies ganz im Einklang mit den Beobachtungen an Saiten und allgemeinen Principien der Mechanik, so daß eine weitere Erläuterung nicht nöthig ist. Die Schwingungsdauer ist am grölsten, wenn der Percussionspunkt etwa den Radius der Platte halbirt. Im Mittelpunkte der Platte nämlich wird die Schwingungsdauer dadurch abgekürzt, daß das Percussionsinstrument nach geschehener Percussion nicht schnell genug entfernt werden kann, von der zurückschwingenden Platte eingeholt und durch den neuen Zusammenstoß die Schwingung der ganzen Platte gestört wird. Da nun der Percussionspunkt in derselben Zeit einen um so kleineren Weg bei seiner Schwingung zurücklegt, je näher dem Rande der Platte er liegt, so wird er auch in demselben Verhältnisse das von der Percussion zurückkehrende Instrument schwerer erreichen, und selbst wenn er dasselbe jetzt einholt, so ist er

doch nicht mehr der am weitesten schwingende Theil der Platte, da die höchste Höhe der Schwingung während des Schwingens schnell der Mitte der Platte zueilt, und es wird also durch das Zusammentreffen nur ein kleiner Theil der Schwingung aufgehoben. Dieselben Verhältnisse finden wir auch an Saiten und sie sind hier leichter zu beobachten. Je näher der Percussionspunkt dem Rande der Platte rückt, desto geringer wird auch die Schwingungsdauer wegen geringer ursprünglicher Intensität der Schwingungen. Auch die Regelmäßigkeit der Schwingungen, d. h. die Reinheit des Grundtones der Platte ist am größten, wenn der Percussionspunkt vom Mittelpunkte und der Peripherie der Platte gleich weit entfernt ist. Ist der Mittelpunkt der Percussionspunkt, so wird der Schall klappend und seine Tonhöhe schwer zu bestimmen, da einerseits nun Schwingungen von Theilen der Platte entstehen, deren Knotenlinien durch den Mittelpunkt gehen, andererseits das Ohr wegen der geringen Schwingungsdauer des Grundtones nicht Zeit hat sich denselben einzuprägen. Durch die Percussion wird der Percussionspunkt selbst stets mehr oder weniger fixirt, es werden also, da die in Bewegung begriffene Platte in einem Punkte fixirt ist, nun Schwingungen der Theile der Platte entstehen, ebenso wie durch plötzliche Fixirung eines in Bewegung begriffenen Fadenpendels schnellere Schwingungen des unterhalb des Fixirungspunktes gelegenen Pendelstückes erfolgen. Diese Schwingungen der Plattentheile erhält man am besten, wenn man mit einem Metallstifte percutirt und denselben auf dem Percussionspunkte fest aufgedrückt liegen läßt. Da diese Schwingungen jedoch verschwinden, oder wenigstens sehr undeutlich werden, wenn ein abgeschlossener Luftraum sich hinter der Platte befindet, so ist es nicht nöthig, hier näher auf dieselben einzugehen, und es sei daher nur erwähnt, daß ihre Tonhöhe, d. h. die Zahl der Schwingungen in einer gegebenen Zeit sich umgekehrt wie die Entfernungen des entferntesten und nächsten Punktes der Peripherie vom Percussionspunkte verhalten, so wie dies überhaupt für kreisförmige Platten hinsichtlich ihrer Grundtöne gleichwie für Pfeifen und Saiten zu gelten scheint,

dafs sich nämlich die Schwingungszahlen der Grundtöne in einer gegebenen Zeit umgekehrt wie die Flächendurchmesser der Platten verhalten, wenn die übrigen Eigenschaften der Platten gleich gesetzt sind.

Es ist mir nicht möglich, eine unmittelbare Anwendung von diesen Beobachtungen auf die Schwingungen des Thorax zu machen, denn obwohl derselbe aus Platten besteht, so sind dies doch, selbst alle im Anfang dieser Abhandlung erwähnte Unregelmäßigkeiten abgerechnet, keine ebenen, sondern gebogene, keine kreisförmigen, sondern unregelmässig begrenzte, zum Theil wie ein Cylindermantel in sich selbst zurücklaufende Platten. Diese Biegung hat zunächst Einfluss auf die Schwingbarkeit der Platte, da dieselbe hierdurch weniger beweglich und hierdurch eine Aenderung der Tonhöhe, Intensität und Schwingungsdauer hervorgerufen wird; auch kann wegen dieser Biegung die Abnahme der Intensität und Schwingungsdauer nicht so schnell erfolgen, wenn man den Percussionspunkt vom Mittelpunkte nach dem Rande zu gehen lässt, als dies bei ebenen Platten der Fall ist.

In diesen Plattenmantel ist nun ein Luftraum eingeschlossen und ehe eine Anwendung obiger Betrachtungen auf die Schwingung der Thoraxwandung gemacht werden kann, ist 1) der Einfluss zu prüfen, welchen die Eigenschaften dieses Luftraumes auf die Schwingungen der Platten haben können, und 2) zu untersuchen, in wie weit durch die Percussion irgend eines Punktes am Mantel der ganze Mantel unmittelbar oder mittelbar in Schwingung versetzt wird.

Es wäre also die Frage zu beantworten: übt die Gröfse, Gestalt etc. des hinter einer schwingbaren Platte befindlichen Luftraumes einen Einfluss auf Höhe, Intensität etc. der Schwingungen derselben. Es ist jedoch dabei unerlässlich, eine genaue Trennung der Einwirkung des Luftraumes und der ihn einschließenden Wandungen zu machen, und es kommt also darauf an, bei Experimenten, zur Lösung dieser Aufgabe unternommen, den Luftraum durch Medien zu begrenzen, die möglichst vollkommen unelastisch sind. Ich wählte hierzu schmelzenden

Schnee. Es wurde ein aufrechter Hohlcyylinder von Schnee gebaut und derselbe oben durch eine ebene Eisenblechplatte von  $\frac{3}{4}$  Fufs Durchmesser der Fläche als Basis verschlossen. Die Ränder dieser Platte wurden durch eine Belastung mit Schnee befestigt. Als die Platte nun bei verschieden hohem Luftraume (von  $1\frac{1}{2}$  Fufs bis 2 Zoll in der Höhe wechselnd) percutirt wurde, zeigte sich keine bemerkbare Aenderung in den Eigenschaften des Schalles, mochte der Luftraum sehr grofs oder sehr klein sein; nur als der Luftraum nur wenige Linien hoch war, wurde der Percussionston der Platte höher und die Schwingungsdauer kürzer. Es ergiebt sich aus diesem Experimente, dafs ein abgeschlossener Luftraum, der sich hinter einer Platte befindet, keinen Einflufs auf die Schwingungen der Platte hat, sobald die Wandungen des Luftraumes weder resistent noch elastisch sind. Es ist nun zu bestimmen, ob die senkrechte Höhe der Luftsäule, die sich hinter einer schwingenden Platte befindet, Einflufs auf die Qualitäten der Schwingungen derselben habe, wenn die Wandungen resistent oder auch elastisch sind. Zu dem Zwecke wurde der Ton einer Glasglocke untersucht, welche auf dem Recipienten einer Luftpumpe stand, und dann massive schwer in Schwingung zu versetzende Körper verschiedener Gröfse so unter dieselbe gebracht, dafs dieselben nirgends die Wandungen der Glocke berühren konnten, der Ton der Glocke wurde hierdurch in keiner Weise verändert. Ein Fafs und ein grofser Glasballon gaben beide keine Verschiedenheit des Tons, mochten sie leer oder ein Sack mit Sand so eingebracht sein, dafs derselbe den Wandungen nicht sehr nahe kam; erst eine Annäherung auf wenige Linien gab eine merkliche Veränderung in Schwingungsdauer, Intensität und Reinheit. Wurden dagegen leicht schwingbare Körper, Holzkästen etc., ebenso unter die Glasglocke gebracht, so wurde bei der Percussion der Glaswandung zugleich der Grundton der entsprechenden Saite des innen befindlichen Körpers gehört, als wären diese selbst zugleich percutirt.

Es geht aus diesen Experimenten hervor, dafs weder 1) die Menge der hinter einer Platte befindlichen Luft einen bemerk-

baren Einfluß auf die Schwingungen der Platte äufsert, wenn nicht die Gröfsen der Lufträume so gering sind, dafs durch die Schwingung der Wandung (Platte) eine bedeutende Compression der dahinter befindlichen Luftschicht erfolgen mufs, noch 2) die Gröfse der in der Richtung der Percussion hinter der Platte befindlichen Luftschicht, oder die Gestalt des Luftraumes einen bemerkbaren Einfluß übt, wenn nicht die hinter der Platte befindliche in der Richtung der Percussion liegende Luftschicht sehr gering ist.

Es war nun zunächst zu untersuchen, welchen Einfluß die Gestalt der schwingenden Wandung selbst habe. Ein passendes Beispiel hierfür schien mir eine mit Wasser theilweise gefüllte cylindrische Glasflasche, die oben verschlossen ist. Untersucht man die Schwingungen der Wandung derselben bei horizontaler, geneigter und verticaler Lage, so stellt sich ein bedeutender Unterschied der Tonhöhe heraus. Der Ton ist am tiefsten bei der horizontalen, höher bei der geneigten, am höchsten bei verticaler Lage der Flasche. Die Gröfse des Luftraumes ist sich hier stets gleich geblieben in allen Lagen; verändert wurden die Höhe der in der Richtung der Percussion liegenden inneren Luftschicht und die Gröfse der durch die Percussion in Schwingung versetzten Platte; wo die Höhe der Luftsäule am geringsten und zugleich die Gröfse der unmittelbar schwingenden Platte am bedeutendsten war, zeigte sich der intensivste und tiefste Ton und umgekehrt.

Endlich war noch der Einfluß der Höhe der Luftschicht zu messen bei resistenten oder schwingbaren Wandungen, gleich grossem Luftraume und gleicher Menge der schwingenden Theile der Wandung. Ich bediente mich hierzu einer feuchten, schlaff mit Luft gefüllten Rindsblase, auf deren Wandung ein Plessimeter aufgeklebt war und welche durch den Rand des Plessimeters gehalten wurde. Zur Unterstützung diente ein Holzklötzchen von gleichem Flächendurchmesser als der Plessimeter. Hinsichtlich der Höhe der durch Percussion des Plessimeters erhaltenen Töne ergaben sich folgende Verhältnisse zur Höhe der in der Richtung der Percussion befindlichen innern Luftsäule.

| Höhe der Luftsäule |         | Tonhöhe. | Höhe der Luftsäule in gedeckten Pfeifen, die denselben Ton geben. | Quotient. |
|--------------------|---------|----------|---|-----------|
| beobachtet.        | Mittel. |          |   |           |
| 103'''             | 103'''  | C        | 72'''   | 0,43      |
| 96 }               | 92      | D        | 64  | 0,43      |
| 89 }               |         |          |   |           |
| 84                 | 84      | Dis      | 61,6  | 0,36      |
| 80                 | 80      | F        | 54,0  | 0,48      |
| 66 }               | 65      | G        | 48,0  | 0,354     |
| 63 }               |         |          |   |           |
| 62                 | 62      | H        | 38,5  | 0,61      |
| 34                 | 34      | Dis      | 30,8  | 0,10      |
| Mittel             |         |          |   | 0,4       |

Die Höhe der Luftsäule ist gerechnet nach der Entfernung des Plessimeters vom Holzklötzchen. Nach dieser obigen Tabelle fielen die ziemlich reinen und gleich intensiven Töne immer um etwas höher aus, als in gedeckten Pfeifen von gleicher Höhe, und zwar ist Verlängerung der Luftsäule, die hier erforderlich war, einen bestimmten Ton hervorzurufen, ein ziemlich constantes Stück der für diesen Ton erforderlichen Pfeifenlänge; es ist dies der Quotient in der letzten Columnne 0,4 im Mittel betragend. Dieses Experiment und obige gefundene Zahlen können auf keine grofse Genauigkeit Anspruch machen, sind aber vollkommen hinreichend, die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Höhe des Luftraumes hier unter diesen Verhältnissen auf das Entscheidendste darzuthun. Welche Ursache der gefundenen Erhöhung des Tones im Vergleich mit denen gleichlanger gedeckter Pfeifen zu Grunde liegt, weiß ich nicht, sowie auch vieles andere in den Verhältnissen hier noch räthselhaft bleibt, z. B. das von Savart gefundene bedeutende Tieferwerden des Tones von Pfeifen von Pappe, welche nach und nach mehr und mehr angefeuchtet wird.

#### §. 4. Allgemeine Resultate dieser Experimente.

Der Kürze wegen habe ich in Folgendem immer den Theil der Platte oder Wandung den primär schwingenden ge-



nannt, welcher direct durch die Percussion in Bewegung gesetzt wird.

Durch obige Versuche wird nun erwiesen:

1. Dafs der Percussionsschall bei gleichem Luft-  
raume und alles Uebrige gleichgesetzt in bestimmtem  
Verhältnisse zur Grösse des primär schwingenden  
Theils der Wandung steht. Es ging dies schon aus den  
Versuchen mit Pappplatten hervor, es wird dieser Satz aber  
besonders noch durch das vorletzte Experiment gestützt, wo  
der tiefste Schall erhalten wurde, als die Höhe der Luftsäule  
hinter den percutirten Theilen der Wandung am geringsten war,  
und umgekehrt, so dafs also hier von einer Einwirkung der  
Höhe der Luftsäule auf den gehörten Ton der Wandung kaum  
die Rede sein konnte.

2. Dafs nur bei sehr bedeutender Verschiedenheit  
des Verhältnisses der Gröfse des Luftraums zum  
Flächendurchmesser der primär schwingenden Wan-  
dung ein Unterschied in den Eigenschaften des Per-  
cussionsschalls eintritt. Es wird dieser Satz besonders  
durch das erste Experiment mit dem Hohlcyylinder von Schnee  
gestützt, dann durch die Experimente mit dem Glasballon etc.

3. Dafs die Gestalt der hinter den primär-schwin-  
genden Theilen liegenden Luftsäulen keinen merk-  
baren Einfluss auf die gehörten Schwingungen äus-  
sert, wenn nicht die unmittelbar hinter der primär  
schwingenden Wandung liegende Luftschicht sehr  
unbedeutende Mächtigkeit besitzt und der sie hier  
begrenzende Körper elastisch oder resistent ist. Auch  
dieser Satz wurde durch die Experimente mit der Glocke, mit  
dem Recipienten etc. erwiesen.

4. Dafs die Eigenschaften der Schwingungen nur  
dann von der Höhe des hinter den primär schwingen-  
den Theilen befindlichen Luftraumes abhängen, wenn  
die Wandungen, welche sie begrenzen, resistent sind.

Es war im ersten Experimente gefunden, dafs bei gleich-  
bleibender Menge der primär schwingenden Theile, die hinter

denselben eingeschlossene Luftschicht keinen Einfluss auf die gehörten Schwingungen habe; im letzten Experimente war auch die Menge der schwingenden Theile gleichgeblieben, nur ihre Lage und mit dieser die Gestalt und Höhe des Luftraumes geändert, und es zeigte sich hier ein so bedeutender Einfluss auf die Schnelligkeit der Schwingungen oder Tonhöhe. Eine genauere Betrachtung der in den Experimenten benutzten Verhältnisse hebt jedoch diesen scheinbaren Widerspruch. Im ersten Experimente wurden die Schwingungen einer Platte untersucht, deren Schwingbarkeit unabhängig von der Elasticität der hinter ihr eingeschlossenen Luft war. Wurde die Platte durch die Percussion nach innen gebogen, so mußten natürlich die anliegenden Lufttheilchen eine gleiche Bewegung machen; wäre der Luftraum von einer nicht schwingbaren aber resistenten Wandung umgeben gewesen, so müßte die entstehende Luftschwingung an derselben Widerstand finden, der ihrer Ausdehnung Schranken setzte, ohne ihrer Kraft Abbruch zu thun, es würde also mit der Schwingung der Platte je nach der Höhe des Luftraumes eine längere oder kürzere Luftsäule comprimirt und wieder expandirt sein, also Dichtigkeitsschwingungen entstanden sein wegen des Widerstandes, den die Luft an den einschließenden Wandungen findet. Diese Verhältnisse waren jedoch in dem ersten Experimente nicht gegeben; die Luft fand hier keinen festen Widerstand, sondern einen porösen Körper, in dessen Capillaren der Rest der Luftschwingungen zu Grunde gehen mußte, welcher noch nicht durch Zusammendrücken der weichen Masse aufgehoben war. Im letzten Experimente war die Resistenz der Grenze des Luftraumes gegeben, daher mußten hier hörbare Schwingungen entstehen, sobald die Fortleitung der Schwingungen bis zum Ohre nicht gehindert war; die Theilchen der feuchten Blase können aber trotz ihrer Resistenz als vollkommen beweglich für gleich schnelle Schwingungen betrachtet werden (siehe weiter unten), und so stand auch der Mittheilung der Schwingungen der eingeschlossenen an die umgebende Luft nichts im Wege. Dies ist jedoch der einzige Einfluss, welchen die Eigenschaften des Luftraumes bei der

Percussion äußern können; die Intensität, Schwingungs-Dauer und Reinheit sind einzig und allein von den Wandungen des Luftraums abhängig.

Welchen Einfluß die Größe der den Luftraum begrenzenden elastischen Wandungen auf die Intensität des der äussern Luft mitgetheilten Schalles haben muß, ist einleuchtend; derselbe ist längst gekannt, und im Resonanzboden der Instrumente etc. practisch verwendet. Je größer die schwingende Fläche, alles übrige gleichgesetzt, ist, desto größer ist die Mittheilung der Schwingungen an die umgebende Luft. Eine Saite kommt an ihrer geringen Oberfläche nur mit wenigen Lufttheilchen in Berührung, die Mittheilung ihrer Schwingungen kann daher nur an eine geringe Menge Luft erfolgen; wird durch Contact mit der Saite eine Membran, Platte etc. in gleich schnelle Schwingungen versetzt, so muß die Mittheilung an die Luft viel stärker sein, da die Mittheilungs- d. h. Angriffs-Punkte vermehrt sind. Eine Vermehrung der ursprünglichen Intensität kann durch diese Verbindung nicht hervorgerufen werden — es würde dies gegen das Grundprincip der Physik streiten, daß die Leistungen immer der angewendeten Kraft entsprechen müssen — denn es müßte in dem einen Falle mehr in Bewegung gesetzt werden, als in dem andern, sind also die bewegenden Kräfte und ihre Richtungen gleich, so müßte in dem einem Falle durch nichts etwas geleistet werden. Es läßt sich aber auch leicht darthun, daß nicht allein durch den Contact, sondern auch durch die Vermittelung der Luft (z. B. in den obigen geschlossenen Lufträumen), Platten, Membranen u. dergl. ohne großen Verlust an Kraft in große Schwingungen versetzt werden, und zwar um so leichter, wenn die Geschwindigkeit der mitgetheilten Schwingungen der gleich ist, mit welcher die Platte, wenn sie percutirt wird, selbst schwingt. Ist nämlich durch den ersten Stofs der Luftwelle in diesem Falle die Platte ausgebeugt, so würde sie, frei gelassen, so hin und her schwingen, daß die größte zweite Ausbeugung zu derselben Zeit stattfände, wo der Stofs durch die zweite Luftwelle herankommt, es würden sich somit die Effecte der ersten und zweiten Welle,

den Verlust durch Reibung abgerechnet, summiren, bei der dritten, vierten u. s. w. ebenso, so lange, bis die Spannung der Platte bei der Ausbeugung so groß geworden ist, daß die Intensität der neu herankommenden Wellen gerade hinreicht, um die Ausbeugung ebenso groß zu erhalten, als dieselbe durch den vorletzten Stoß gemacht war. Giebt aber die Platte bei der directen Percussion einen höhern oder tieferen Ton, als der ist, welcher ihr durch die Luftschwingungen mitgetheilt wird, so theilt sie sich in einzelne Abschnitte, welche durch Knotenlinien getrennt werden, und diese Abschnitte schwingen nun wie im vorigen Falle die ganze Platte. Diesen Vorgang hat Savart für Membranen experimentell nachgewiesen.

Versetzt man nun einen Theil der schwingbaren Wandung eines Luftraumes in Schwingungen, so werden einerseits durch Contact die angrenzenden Theile der Wandung sowie die der enthaltenen Luft in Schwingung versetzt, andererseits theilt die enthaltene Luft diese Schwingungen wieder den Wandungen mit, und es muß hiernach, wie es auch experimentell leicht nachzuweisen ist,

1. die Wandung in ihrer ganzen Ausdehnung, etwaige Knotenlinien ausgenommen, in Schwingung versetzt werden, soweit sie schwingbar ist, wenn ein Punkt derselben in Schwingung versetzt wird;

2. die Intensität der an die umgebende Luft mitgetheilten Schwingungen, alles übrige gleichgesetzt, mit der Ausdehnung der schwingbaren Wandung zu- und abnehmen.

#### §. 5. Anwendung dieser Resultate auf die Percussion des Magens und Thorax.

Da man den Magen mit Recht als eine Blase mit schlaffen Wandungen betrachten kann, so würde man, wenn dies von Werth wäre, wohl die Höhe der Luftsäule bestimmen können, welche zwischen der Bauchwandung und dem Niveau der enthaltenen Flüssigkeit liegt, bei horizontaler Rückenlage. Natürlich ist dabei vorausgesetzt, daß man die Dicke und Spannung

der Bauchdecken ausschließen kann. Die Kenntniß dieser Höhe des Luftraumes ist jedoch so werthlos, daß es hier überflüssig wäre, genauere Untersuchung und Vergleichung anzustellen. Wenn wir die Bauchwandung percutiren, wollen wir nur erfahren, ob überhaupt die Wandung so schwingen könne, daß man im Stande wäre, Luft als dahinter befindlich anzunehmen.

Ist tropfbare Flüssigkeit in der Bauchhöhle, so ist die Wandung sowie die enthaltene Flüssigkeit auch schwingbar, aber die Flüssigkeit nur auf Kosten der Bauchwandung, und bei deren Percussion entstehen Schwingungen, die zu langsam sind, um bei der Intensität, die man ihnen hier ertheilen kann, hinreichend kräftige Schwingungen der Luft mitzutheilen, um gehört zu werden, während man sie deutlich als Undulation fühlt. Es tritt in diesen Fällen das Gefühl an die Stelle des Gehörs und ergiebt uns so die Unterschiede, ob Flüssigkeit oder feste Körper der Bauchwand anliegen, da feste Körper wegen ziemlicher Unverrückbarkeit ihrer Theile nicht schwingen können, wenn sie nicht plattenartig gestaltet sind etc.

#### Thorax.

Die Wandungen des Thorax, deren Eigenschaften im Anfange dieser Abhandlung bereits besprochen sind, gerathen bei jedem Percussionsstosse in ihrer ganzen Ausdehnung in Schwingungen; es läßt sich das theoretisch (s. oben) und experimentell nachweisen. Es ist aber auch hier, sowie ich es bei Betrachtung obiger Experimente gethan habe, der primär schwingende Theil der Thoraxwandung von den übrigen zu trennen. Die Grenzen des primär schwingenden Theils werden durch angrenzende Organe, oder durch pathologische in oder an der Thoraxwandung anliegende Produkte nicht gasförmiger Natur oder durch starke Krümmung der Thoraxwandung selbst gegeben. Diese Grenzen sind feste oder verrückbare, und zwar werden pathologische Produkte, wenn überhaupt beweglich, nur durch Lagenänderung des Körpers bewegt werden, dagegen sind die Grenzen, welche der primär schwingende Theil durch die Biegung selbst erhält, mit der Wahl des Percussionspunktes beweglich. Percutirt man z. B. einen Punkt der vorderen

Thoraxfläche, so können die Seitenwandungen des Thorax nicht in derselben Richtung transversale Schwingungen machen, es giebt also hier eine Grenze der primär schwingenden vorderen Thoraxwand, die ihre Schwingungen nach der äufsern Seite hin begrenzt. Percutirt man einen Punkt, der mehr zur Seite liegt, so kann auch ein Theil der äufsern Seite des Thorax mit primär schwingen, und die Grenze wird im Seitentheile selbst liegen. Dagegen mag man 4" oder 2" oberhalb der Leber percutiren, ist die Biegung des Thorax selbst nicht im Wege, so wird die Grenze des primär schwingenden Theils immer an derselben Linie, dem obern Leberrende, bleiben. Es ist diese Unterscheidung defswegen nothwendig, weil durch die Verrückbarkeit der Grenzen nach der Seite hin die Gröfse der primär schwingenden Theile bei Verlegung des Percussionspunktes in dieser Richtung immer gleich grofs bleiben kann und der Percussionspunkt nie an die Grenze derselben kommt. Es war aber oben gefunden, dafs die Intensität und Schwingungsdauer des Schalles abnahm, je näher der Percussionspunkt dem Rande der Platte, d. h. der Grenze des primär schwingenden Theils kam; es mufs also hiernach der Percussionsschall an Dauer und Intensität abnehmen, je näher man einer unverrückbaren Grenze der schwingbaren Thoraxwandung kommt. Ist nun die Intensität und Dauer der primären Schwingungen schwach, so kann auch die Schwingung der übrigen Theile der Wandung nur sehr gering sein, da diese durch jene bedingt sind. Die Schwingbarkeit aller Theile der Thoraxwandung ist aber nicht gleich grofs. Je mehr die Wandung plattenähnlich, je dünner im Verhältnifs zur Länge und Breite, je weniger stark sie gebogen sind, desto schwingbarer sind sie, desto gröfser ist die Intensität des Schalles, der durch ihre Percussion erhalten wird, und desto stärker werden sie sich an den Schwingungen anderer Theile des Thorax betheiligen. Es wird z. B. der obere, hintere Theil des Thorax, welcher das Schulterblatt mit seinen Muskeln enthält, schwächere Schwingungen geben, als die vordere Thoraxwand, und auch viel weniger oder fast garnicht mitschwingen, wenn andere

Theile des Thorax percutirt werden. Pathologische Produkte können durch ihr Anliegen an normal schwingbaren Thoraxtheilen diesen ihre Schwingbarkeit rauben. Ist z. B. der vordere Theil eines Lungenlappens hepatisirt, so erhält man durch die Percussion der aufliegenden Thoraxwandung einen wenig intensiven Schall, weil die Dicke der festen Wandung bedeutend zugenommen hat. Dasselbe geschieht, wenn pleuritische Exsudate sich an den Thoraxwandungen hinaufziehen. Wird die Mächtigkeit dieser pathologischen Produkte sehr bedeutend, so verschwindet die Plattennatur der Thoraxwandung, diese macht keine transversalen Schwingungen mehr, und man erhält bei ihrer Percussion nur einen Schall, der der jedesmaligen plötzlichen Einbiegung der Körperoberfläche entspricht. Liegen bedeutende Tuberkelinfiltrationen der Thoraxwandung an, so werden durch dieselben Grenzen der primär schwingenden Theile gegeben, wenn die nahe liegenden Strecken des Thorax percutirt werden. Es war nun oben erwähnt, daß, alles übrige gleichgesetzt, die Tonhöhe im umgekehrten Verhältnisse der Plattendurchmesser stehe; werden also Theile der normalen Thoraxwandung durch Hepatisation, Tuberkelinfiltration, pleuritisches Exsudat fixirt, so werden somit für die Schwingungen bei der Percussion der benachbarten Theile engere Grenzen gesetzt, als es im normalen Zustande der Fall ist, und es muß sonach eine Erhöhung ihres Percussionstones erfolgen unter der Bedingung, daß die übrigen Verhältnisse ungeändert bleiben. Zugleich wird aber auch die Intensität der Schwingungen geringer, da natürlich von 2 Platten von gleicher Dicke und gleicher Elasticität, diejenige durch einen bestimmten verticalen Stoß weiter ausgebeugt wird, und die größte Menge der Berührungspunkte für die umgebende Luft darbietet, welche den größten Flächendurchmesser hat. Nach diesen beiden Kategorien der Schallhöhe und Intensität können wir also durch Vergleichung mit dem normalen Zustande Aufschluß erhalten über die der Thoraxwandung anliegenden festen Körper, nicht allein beim Percutiren der Theile der Wandung, welchen die festen Körper unmittelbar anliegen, sondern auch bei der Percussion

der jenen benachbarten Theile der Wandung. Da nun diese Fixirungen unverrückbar sind (Hydrothorax ausgenommen), so wird auch, je näher der Percussionspunkt den Fixirungspunkten kommt, desto geringer die Intensität und Schwingungsdauer werden, ebenso wie in der Nähe der normalen fixen Grenzen. Derselbe oder umgekehrte Fall tritt dann ein, wenn die natürlichen fixen Grenzen der schwingbaren Thoraxwandung verändert werden: Hinaufdrängung der Leber durch Meteorismus der Därme, Hinabdrängung derselben durch Luft im Peritoneum über der Leber, Emphysem der Lunge, Pneumothorax, Volumen-Zu- und Abnahme des Herzens, pericardiales Exsudat u. s. w.

Alle diese Veränderungen wirken aber nicht allein auf die primär schwingenden Theile, sondern haben auch größeren oder geringeren Einfluß auf die Eigenschaften des Schalls anderer Theile des Thorax; indem sie einen größeren oder geringeren Theil der Thoraxwandung seiner Schwingbarkeit berauben oder noch mehr schwingbare Theile hinzufügen (pleuritisches Exsudat — Emphysem), verändern sie die Größe der mitschwingenden Platten bei der Percussion irgend eines Punktes am Thorax, und verändern somit die Größe der Mittheilung der Schwingungen an die umgebende Luft. Diese Wirkungen obiger pathologischer Veränderungen auf die primär und secundär schwingenden Theile summiren sich also.

Die Menge der im Thorax enthaltenen Luft kann nach obigen Experimenten keinen Einfluß auf den Percussionsschall der Wandungen haben, und es ist somit der Einfluß der pathologischen Veränderungen auf dieselbe ganz bei Seite zu lassen. Es ist auch durch die Erfahrung hinreichend bestätigt, daß selbst bedeutende Infiltrationen des Lungengewebes irgend einer Art, die nicht ganz in der Nähe der Thoraxwandung liegen, keinen Einfluß auf den Percussionsschall haben.

Die Höhe der Luftsäule, welche im Thorax hinter dem percutirten Punkte liegt, können wir durch den Percussionsschall nicht ermitteln, weil einerseits regelmäßige Luftschwingungen wegen feiner Zertheilung des Luftraumes durch das Lungengewebe nicht stattfinden können, und wenn sie auch



stattfinden, die Unmöglichkeit, die Eigenschaften des percutirten Theils der Wandungen, seine Breite, Dicke, Spannung u. s. w. zu bestimmen, hinreicht, uns im Dunkel über jene Höhe zu lassen, da ja diese Eigenschaften der Wandungen auf den Schall Einfluß üben. Dies Letztere tritt der Bestimmung hindernd in den Weg in den Fällen, wo sich hinter der Thoraxwandung ein unzertheilter Luftraum von einiger Gröfse befindet, z. B. Pneumothorax, Caverne. Ist irgend ein Theil der Thoraxwandung, der einige Ausdehnung hat, vorn und hinten von Luft begrenzt, aber rund herum durch Infiltrationen fixirt, und so die weitere Ausdehnung der Schwingungen an die benachbarten Theile der Wandungen gehindert, so erhält man bei der Percussion dieses Theils einen hohen, wenig intensiven Schall, aber von ziemlicher Reinheit des Tones. Dieser Fall tritt ein, wenn sich eine Caverne dicht unter der Brustwandung befindet, welche von Infiltrationen umgeben ist; ebenso wenn eine Hepatisation besonders des obern Lappens in der Lösung begriffen ist, mag diese mit oder ohne Abscedirung des Lungengewebes vor sich gehen. Die Lösung beginnt bekanntlich, wo das Exsudat zuerst gesetzt war, z. B. in der Lungenspitze und es tritt dann eine Zeit ein, in welcher durch die Lösung diese Spitze bereits wieder vollkommen lufthaltig geworden ist, während die umgebenden Lungenpartieen noch vollkommen mit Eiter und Exsudat infiltrirt sind. In diesen Fällen kann man wohl die Flächenausbreitung bestimmen, in welcher Ausdehnung die Thoraxwandung wieder schwingbar geworden ist, da wir aber nicht ihre Spannung und Dicke zugleich kennen, so sind wir nicht im Stande, aus der Höhe des Tones über die Gröfse des Luftraums in der Caverne ein Urtheil zu fällen, obwohl hier die Höhe des Percussionsschalls ohne Zweifel auch von der Höhe des Luftraumes abhängig ist.

Liegen einige Tuberkelinfiltrationsheerde an einem Theile der Wandung an, so wird je nach ihrer Masse, also ihrem Trägheitsmomente die Schwingung der anliegenden und benachbarten Thoraxwand mehr oder weniger gestört, die Gestalt der Schwingungen wird unregelmäßig, die Schwingungsdauer wird

abgekürzt, auch wenn die Infiltrationsheerde noch nicht die Gröfse und Resistenz erlangt haben, dafs sie als wirkliche Fixirungspunkte gelten könnten.

Es war bisher nur wenig Rücksicht darauf genommen, dafs wir im Thorax keinen ungetheilten Luftraum haben, sondern eine unendlich feine Verästelung desselben. Der Einflufs, welchen diese Structur auf die Schwingungen der Thoraxwandungen haben mufs, war ebenso aufser Acht gelassen, als die Veränderungen, welche die Spannung der enthaltenen Luft und der Lunge selbst auf die Schwingungen ausübt. Die Masse der Lunge ist zu gering, ein Hindernifs für die Schwingungen der Wandung abzugeben, wird jedoch das Gewebe durch beginnende Exsudation irgend einer Art massiger, z. B. Oedem der Lunge, so wird eine eben solche Verringerung der Schwingungsdauer des Percussionsschalles eintreten können, als wenn Tuberkelinfiltrationen geringerer Gröfse der Thoraxwandung anliegen, ohne sie zu fixiren. Es wirkt dieses massigere Gewebe ebenso wie ein Dämpfer auf die Schwingungen der Saiten oder ein Stück Zeug an einen schwingenden Körper gebracht. Beim weiteren Zunehmen der Exsudation wird auch die Intensität wesentlich verringert, da jetzt mehr Kraft erforderlich ist, einen bestimmten Theil der Thoraxwandung und zugleich das massige Gewebe in Schwingung zu versetzen, als ohne das letztere.

#### §. 6. Ueber den Druck, unter welchem Luft und Lungengewebe im Thorax stehen, und seinen Einflufs auf die Schwingungen der Thoraxwandung.

Die Luft in der Lunge communicirt durch Glottis und Nasenhöhle fast fortwährend mit der Atmosphäre, mufs also auch unter dem Drucke der Atmosphäre stehen. Durch die Respirationsbewegungen wird eine stetige geringe Aenderung im Drucke hervorgerufen; indem die Luft durch die enge Glottis herausgetrieben und wieder hineingezogen wird, tritt während der Expiration eine geringe Vermehrung, während der

Inspiration eine geringe Verminderung des Luftdruckes ein. Bei Verschluss der Glottis kann durch Contraction der Expirationsmuskeln der Druck der Luft in der Lunge bedeutend gesteigert werden, so wie es beim Husten, Entleerung harter Kothmassen und vor Allem beim Niesen geschieht. Fournet hat die relative Gröfse des Drucks während der Respiration, sowie während jener physiologischen Acte durch directe Barometermessungen an einem Patienten, welcher mit Trachealfistel behaftet war, bestimmt. Die Einwirkung, welche diese Spannungsänderung auf die Schwingungen der percutirten Thoraxwandungen übt, ist jedoch nicht so bedeutend, als man glauben sollte (s. weiter unten).

Die Spannung des Lungengewebes, welche allein durch seine Elasticität bedingt ist, übt einen bedeutenden Einfluss auf die Spannung der Thoraxwandung. Die letztere steht von außen unter dem Drucke der atmosphärischen Luft, von innen unter demselben Druck weniger der Spannungskraft der Lunge, sie würde also, wenn die Rippen und die zwischen diesen liegenden Theile keine Resistenz besäßen, dem Zuge der Lunge folgen und der Thorax zusammenfallen müssen, und da sie diesem Zuge nicht folgen kann, ist also die Spannung, welche sie abgesehen von ihrer Muskelspannung erleidet, gleich der Elasticitätsspannung der Lunge und muß stets mit derselben verändert werden. Eine bedeutende Aenderung ihrer Ausdehnung erfährt die Lunge durch die In- und Expiration, während der ersteren muß eine Zunahme, während der letzteren eine Abnahme der Spannung der Thoraxwandung stattfinden; es wäre hiernach anzunehmen, daß sich mit der In- und Expiration auch der Percussionsschall der Wandung ändern müsse, dies ist aber nicht merkbar der Fall, und es ist dies auch recht wohl zu erklären. Mit jeder Inspiration wird die Gröfse der schwingbaren Thoraxwandung vermehrt und es würde also hierdurch eine gröfsere Intensität und durch etwaige Vergröfserung des primär schwingenden Theils eine geringere Schallhöhe während der Inspiration, das Entgegengesetzte während der Expiration eintreten; durch die vermehrte Spannung des Lungen-

gewebes müßte aber während der Inspiration eine Verringerung der Intensität und gröfsere Schallhöhe und das Umgekehrte durch die Erschlaffung bei der Expiration eintreten; es compensiren sich also beide Einflüsse mehr oder weniger.

Außerdem ist die Aenderung der Spannung der Wandung eines Luftraumes nur dann von einer deutlich bemerkbaren Aenderung des Percussionsschalles begleitet, so lange die Spannungen noch sehr gering sind, so dafs die Elasticität der Theile der Wandungen möglichst wenig in Anspruch genommen wird; wird dieses Maafs überschritten, so sind nur sehr bedeutende Aenderungen der Spannung von einer merkbaren dadurch bedingten Aenderung des Percussionsschalles begleitet. Wird die Spannung der Lunge sehr gering, also auch die der Thoraxwandung (abgesehen von ihrer Muskelspannung), so tritt dasselbe Phänomen ein, welches man an jeder Blase beobachten kann, welche erst gespannt voll Luft ist und aus welcher man dann die Luft so weit entfernt, bis die Blase nur noch schlaff damit gefüllt ist. Es wird nämlich durch dies Schlaffwerden der Wandung die Intensität und die Reinheit des Tones erhöht. Das gespannte Lungengewebe setzt den Schwingungen der Wandung ein bedeutendes Hindernifs in den Weg und dies Hindernifs fällt weg, sobald die Elasticität der Lunge aufer Wirkung tritt und die Reinheit des Tones wird hierdurch gröfser, weil die Schwingungen regelmäfsiger werden, indem nun nicht mehr beim Hin- und Herschwingen der Wandung die Lunge mitgezogen werden muß, deren Gewebe auf die verschiedenen Punkte der Wandung bei ihrer Bewegung einen verschieden starken Zug ausübt. Man beobachtet dies bei der sog. Compression der Lunge durch pleuritisches Exsudat, bei Exsudationen in das Gewebe der Lunge, z. B. Pneumonie, Tuberculose, Lungenödem. Bei diesen letzteren Krankheitsprocessen ist dies die erste bemerkbare Aenderung, die sich im Percussionsschalle kund giebt und welche beim weiteren Fortschreiten derselben aus den oben angegebenen Ursachen wieder verschwindet, nämlich weil dann durch die Verdrängung der Luft in der Lunge durch festflüssige Körper und deren An-

liegen an der Thoraxwandung die Schwingungen derselben gestört oder aufgehoben werden. Die beginnenden Exsudationen in das Gewebe der Lunge wirken dabei als incompressible Körper, können aber nur dann ihre Wirkung äußern, wenn zugleich durch Schwellung der Schleimhaut der kleinen Bronchien die in den Vesikeln enthaltene Luft nicht entweichen kann, so daß ein Zusammenfallen der Lunge nicht möglich ist; ist dies letztere nicht der Fall, so kann durch das Entweichen der Luft Raum für die Contraction der Lunge bei flüssiger Exsudation in das Parenchym gegeben werden. Bei etwas reichlichem pleuritischen Exsudate steht die Thoraxwandung innen und außen unter gleichem Druck, außerdem sind die Intercostalmuskeln von ihrer Action suspendirt, weil die Bewegung der afficirten Seite heftigen Schmerz verursacht, so daß die Thoraxwandung in den Partien, die nicht vom Exsudat bespült werden, eine so bedeutende Relaxation erfährt als nur möglich ist. Es löst sich also durch diese Betrachtung einfach der scheinbare Widerspruch, den Skoda\*) hier annimmt, indem er sagt p. 13.: „Daß die Lunge bei einem geringeren Luftgehalt einen tympanitischen Schall giebt, während derselbe bei vermehrter Luftmenge nicht tympanitisch ist, scheint mit den Gesetzen der Physik im Widerspruche. Die Thatsache ist aber begründet und . . . spricht dafür die constante Erscheinung, daß bei Exsudaten in der Brusthöhle, die den untern Theil der Lunge ganz comprimiren, und den oberen auf ein kleineres Volumen zusammendrängen, der Percussionsschall in der oberen Gegend des Thorax deutlich tympanitisch wird.“

Eine eigenthümliche Einwirkung auf die hörbaren Schwingungen der Thoraxwandungen zeigt das getheilte und gespannte Lungenparenchym noch in so fern, als es verhindert, daß Schwingungen entstehen, welche den Theilen des Luftraumes selbst angehören, Schwingungen, welche man an jedem Gewölbe, Fasse u. s. w. und im Thorax bei großen Cavernen (nur bei Auskultation wahrnehmbar) und Pneumothorax findet

---

\*) Abhandlung über Percussion und Auscultation. 4. Aufl. Wien 1850.

und welche darauf beruhen, daß erregte Schwingungen im Luftraume hin- und herbewegt von den begrenzenden Wandungen stets zum Theil zurückgeworfen werden. Es ist dies ein wirklicher Wiederhall. Daß ein solches regelmäßiges Hin- und Hergehen von Luftschwingungen und eine regelmäße Reflexion derselben in dem zerstückelten Luftraume der Lunge nicht stattfinden kann, braucht nicht erst bewiesen zu werden.

Die Bezeichnungen, welche Skoda den verschiedenen Schallarten beigelegt hat, sind meist gut bildlich gewählt und bereits allgemein in Deutschland gebräuchlich, so daß es nur Confusion machen und keinen Nutzen schaffen würde, wenn man sie verdrängen wollte, selbst wenn dies so leicht möglich wäre. Ich glaube, daß dieselben sich ungefähr folgendermaßen auf die physikalischen Bezeichnungen zurückführen lassen: Die Kategorie „voll“ und „leer“ giebt den Maafsstab hauptsächlich für die Dauer der Schwingungen, zugleich steht aber die Schallhöhe auch damit in einigem Connexe, wie Skoda selbst durch die Wahl der Beispiele andeutete \*). Im Allgemeinen ist ein dauernder Schall ein voller, ein kurzer Skoda's leerer Schall. Die Kategorie „hell“ und „gedämpft“ giebt den Maafsstab für die Intensität des Schalles oder seiner Theile, ein intensiver Schall ist ein heller, ein nicht intensiver ein gedämpfter Schall. Wegen der innigen Beziehung, in der Intensität und Dauer der Schwingungen zu einander stehen, ist es oft schwer, oder unmöglich eine Trennung beider Kategorien vorzunehmen, so daß z. B. nicht leicht ein voller und zugleich gedämpfter Schall vorkommt, da ein Ton bei schwacher Intensität der ersten Schwingung nicht leicht lange dauern kann. Ein „tympanitischer“ Schall zeigt größere Reinheit des Tones als ein „nicht tympanitischer“ und man kann sich, wenn man bei Vergleichung des an zwei verschiedenen Orten erhaltenen Schalles zweifelt, welcher der tympanitischere sei, am besten Rechenschaft geben, wenn man versucht, die Schallhöhe beider zu bestimmen. Bei einem nicht tympanitischen Schalle ist dies durchaus nicht

\*) Skoda a. a. O. p. 8.

möglich, bei dem tympanitischen gelingt es um so leichter, je tympanitischer er ist, und der „metallische“, das *non plus ultra* des tympanitischen, ist deswegen nicht mehr Schall, sondern Klang oder Ton genannt, weil er wirklich fast vollkommene Reinheit des Tones besitzt. Ist ein Schall tympanitisch, so ist es aber auch nicht so werthlos, eine Vergleichung seiner Schallhöhe mit der anderer anzustellen, als es Skoda angiebt, und Skoda hat auch wohl seine Kategorie „hoch“ und „tief“ nur deswegen so bei Seite behandelt, weil sie einer anderen, nämlich „voll“ und „leer“ schon theilweise subordinirt war.

Indem ich mich in dieser kurzen Abhandlung ganz allein bestrebt habe, einige positive Thatsachen und einige daraus gezogene Folgerungen zu geben, glaubte ich ohne wesentlichen Nachtheil eine Vergleichung meiner Erklärungen mit denen, welche bereits von Anderen gegeben sind, so wie eine Kritik derselben vollkommen bei Seite lassen zu dürfen, da einerseits diese sich von selbst ergeben, und andererseits sie eine Weiterschweifigkeit herbeigeführt hätten, die die Ordnung und Uebersichtlichkeit des Ganzen, welche an sich schon nicht nach Wunsche ausgefallen ist, bedeutend beeinträchtigt hätte. Ich weiß sehr wohl, daß es nur mangelhafte Fragmente sind, die ich geben kann, aber mein Zweck wäre schon erreicht, wenn dieselben nicht gröbere Irrthümer einschließen. Hierüber würde nur eine strenge Kritik entscheiden können, wenn diese Fragmente überhaupt eine solche verdienen.