

Der Schall in Schaum.

Von

Richard Geigel.

(Eingegangen am 29. Oktober 1923.)

Wie sich Schallwellen in Schaum fortpflanzen, ob sich in schaumähnlichen Gebilden stehende Wellen bilden können und wie, das ist für die Lehre der Lungenperkussion von grundlegender Bedeutung. Man weiß aber davon kaum mehr als das, was *Alois Geigel* vor fast 80 Jahren darüber gesagt hat. Damals drehte sich ein erbitterter Streit darum, ob die herrschende Lehre *Skoda's*, wonach der Schall in der Luft der Lunge entsteht, recht habe oder die neuere von *Wintrich*, der in den Schwingungen gespannter Membranen die Ursache für den Lungenschall erblickte. Gleich dem Schüler und Assistenten *Skoda's*, *Körner*, neigte sich *A. Geigel* der erstenen Ansicht zu und hatte mit *Wintrich* darob manchen Streit auszufechten, der sich vornehmlich in den Spalten der „Deutschen Klinik“ (Jahrgang 1856) abspielte. In der Nummer 15 desselben Jahrgangs wurde aber von *A. Geigel* nachgewiesen, daß der Streit den Kern der Frage gar nicht berühre, sondern daß die Lunge als Ganzes schwinge, d. h. nicht die ganze Lunge auf einmal, aber Luft und festweiche Teile untrennbar zu einem Ganzen verbunden. Merkwürdigerweise war es *A. Geigel* zu jener Zeit, als man von kolloidchemischen Dingen noch keine Ahnung hatte, klar, daß die Lunge physikalisch als eine schaumähnliche Masse anzusehen sei, und in der Tat erstreckten sich seine akustischen Untersuchungen schon damals auf den Schall in Schaum. Er sagt in seiner Arbeit: „Die Lehre vom Perkussionsschalle“ (Jahrg. 1856, Nr. 15):

„Betrachten wir nur einmal die Art und Weise, wie die Luft im Lungengewebe verteilt ist, und vergleichen sie mit einer Luftsäule, die kontinuierlich den ganzen Raum eines Gefäßes ausfüllt. Es ist von vornherein wahrscheinlich, daß die Schwingungsknoten in einer Luftmasse, die in tausend und tausend Bläschen beieinander, lagern, an andern Stellen sich bilden werden als in der nur von einer reflektierenden Wand umgebenen Luftsäule. Die Aufgabe wäre daher gegeben, zu erforschen, wie sich die Tonbildung in Luftmassen verhält, die in unendlich vielen, kleinen Bläschen eingeschlossen sind. Wer mit der Lösung dieser Aufgabe beauftragt wäre, würde mit vollem Rechte des Lungengewebes sich bedienen können. Da jedoch dieses selbst den streitigen Punkt bildet, versteht es sich von selbst, daß wir uns nach einem Stoffe umsehen müssen, von dem es ausgemacht ist, daß er selbst zu Tonschwingungen unfähig und nur die eingeschlossene Luft den etwa entstehenden Ton bilden könne.“

Nehmen wir deshalb zu feinem sogenanntem Schnee geschlagenes Eiweiß, welches in unendlich vielen kleinen Bläschen ganz ähnlich dem Lungengewebe eine Quantität Luft enthält. An beliebigen Zylindern oder Glocken, womöglich von dünnem Glase, werde die Höhe des tympanitischen Schalles durch Perkutieren des Bodens dieser Gefäße bestimmt und dann nach und nach diese selbst mit dem Schnee gefüllt. Es ereignet sich ein Etwas, was dem Anscheine nach durchaus mit den Gesetzen der Tonbildung in Röhren im Widerspruch steht. Statt daß nämlich mit dem Kleinerwerden der freien Luftsäule des Gefäßes der tympanitische Ton eine größere Höhe erreichen sollte, wird er *tiefer*, viel *tiefer* und zeigt ganz die Eigenschaften des am Lungengewebe Hörbaren. Er wird mit der größeren Masse des Schnees tiefer, mit abnehmender höher, und von zwei gleich großen Gefäßen tönt das mit Schnee versehene viel tiefer als das leere, so daß man das zweite weit länger machen müßte, um es dem ersten gleich zu stimmen.

Legt man nun den Schnee frei auf einen Teller und perkutiert ihn, so vernimmt man wieder, ganz wie bei Lungenstücken, einen schönen tiefen tympanitischen Schall, der an kleineren Teilen höher, an größeren tiefer, durch ein kleineres Plessimeter höher, durch ein größeres tiefer wird, und auf den das Zudecken einer Seite mit einer reflektierenden Wand keinen Einfluß übt, wenn man nicht zufällig dadurch eine Formveränderung der Schneemasse bewirkt. Geradeso verhält es sich auch mit Seifenschaum, der sowohl für sich auf einer Platte perkutiert einen deutlichen tympanitischen Schall gibt, als auch in Gläsern den Ton um so tiefer macht, je mehr diese von ihm angefüllt werden. Selbst an einem Glase schäumenden Bieres wird sich jeder mit Leichtigkeit von dieser schönen, höchst sinnfälligen Erscheinung überzeugen können.

Auch aus einer weiteren Arbeit von *A. Geigel*: „Notizen zur physikalischen Diagnostik“ (Würzb. med. Zeitschr. II) seien noch ein paar Stellen angeführt.

Zamminer (Einleitung zur Auskultation und Perkussion von *Seitz*) hat gegenüber dem Streite, ob in der Luft oder dem Parenchym die Ursache des tympanitischen Schalles der Lunge gelegen sei, zum ersten Male bestimmt die Lunge, wie sie eben ist, als zusammenhängenden und zusammengehörigen Schallkörper aufgefaßt. Körper, welche wie die Lunge aus zahlreichen lufthältigen Bläschen zusammengesetzt sind, tönen, perkutiert, nach einem eigenen Gesetze, wie ich schon 1856 erklärte (Dtsch. Klin. 15). Solche Körper sind in dieser Beziehung mit einfach oder doppelt offenen kontinuierlichen Luftschallräumen hinter starren Wandungen nur mit Vorbehalt zu vergleichen und waren deshalb alle Versuche bis zu einem gewissen Grade müßig, aus ihrem Verhalten gegenüber Tatsachen, welche für die letzteren feststehen, Schlüsse zu ziehen.

Da meine früheren Angaben über diesen Gegenstand von *Seitz* nicht berücksichtigt wurden, so wiederhole ich, daß sich das Gesetz für die Tonbildung in solchen Substanzen gleichermaßen an der Lunge, wie an ähnlichen, aus zahlreichen Bläschen zusammengesetzten Körpern, Eiweißschaum, Seifenschaum, schäumenden Getränken nachweisen läßt, und die Experimente fallen geradezu schlagend aus.

Vor allem zeigt es sich, daß solche Schallkörper konstant einen weit tieferen Ton geben als ein kontinuierlicher offener Luftschallraum von derselben Größe und Form bieten würde . . . Hingegen macht sich wieder . . . der Einfluß des Kubikinhals oder Länge der Schallkörpers ganz analog dem Gesetze der Pfeifen geltend und kenntlich . . . Durch Übereinanderlegen von Lungenwürfeln schon von mehreren gezeigt, frappant bei allmählichem Füllen eines Glases mit Schaum, am schönsten durch Perkutieren des Glasbodens während des Aufschäumens frisch

eingeschenkter, schäumender Getränke nachzuweisen . . . Es scheinen Verdichtungen und Verdünnungen von einem Bläschen dem andern viel langsamer mitgeteilt zu werden als von freier Luft zu Luft . . .“

Das sind im wesentlichen die Ausführungen von *A. Geigel* über den Schall in Schaum und die Übertragung dieser Lehre auf die Perkussion der Lunge. Sie ist bis auf den heutigen Tag unbestritten und maßgebend geblieben, aber sie ist auch nicht weiter ausgebaut worden in den 80 Jahren, die seither verflossen sind. Unsere Anschauungen über Schaum und schaumähnliche Gebilde haben seither allerdings eine grundlegende Änderung erfahren. Nach den Lehren der Kolloidchemie erblicken wir darin disperse Systeme, auch in der Lunge. Das Dispersionsmittel ist Flüssigkeit oder festweich, die disperse Phase ist in beiden Fällen Luft. Nur dann gibt das System bei der Perkussion einen Schall. Stellt man sich disperse Systeme von annähernd gleichem Dispersionsgrad her, in denen die disperse Phase fest oder flüssig ist, z. B., wie ich das versucht habe, eine feine Aufschwemmung von *Creta praeparata* in Wasser von milchweißer Farbe, so gibt sie ebensowenig einen Schall wie Milch selber. Wesentlich ist also die Gasform der dispersiven Phase, wobei keinesfalls die Rede davon sein kann, daß der Schall wirklich in jedem kleinen Luftbläschen entsteht. Dazu sind sie viel zu klein, der Schall, den sie höchstens erzeugen könnten, wäre viel zu hoch, als daß ihn ein menschliches Ohr vernehmen könnte. Das ist schon lange von vielen Seiten und mit Recht hervorgehoben worden. Der Schaum schallt aber, wie schon *A. Geigel* betont hat, als Ganzes, das disperse System, wie wir jetzt sagen, schallt als Ganzes, nicht ein Teil davon, etwa die disperse Phase allein. Damit ist aber noch nicht gesagt, daß die Größe der einzelnen Bläschen ganz ohne Einfluß auf die Tonhöhe bleiben wird. Daß die Tonhöhe mit wachsendem Umfang des Schaums, mit der Zahl der Bläschen abnimmt, wissen wir seit *A. Geigel*. Daß aber die Tonhöhe auch von der Größe der Bläschen, also die Schwingungszahl des dispersen Systems auch vom Dispersionsgrad des Systems abhängt, das haben mir Versuche gezeigt, die ich vor wenigen Wochen angestellt habe und über die ich hier berichten will, da sie ein Ergebnis geliefert haben; das auch für die physikalische Diagnostik nicht ohne Bedeutung ist.

Schon aus Anhänglichkeit und in treuem Gedenken habe ich unzählige Male schäumende Getränke, wo und wie sie mir vorkamen, perkutiert, den tiefen Ton bemerkt, der mit dem Aufsteigen und Vergehen des Schaums immer höher wurde. Eine Ausnahme fiel mir vor vielen Jahren am Trinkwasser in Aschaffenburg auf. Dieses wurde, und wahrscheinlich ist es jetzt noch so, kurz nach dem Einschenken trüb und milchweiß. Ich erfuhr, es sei immer so, das Wasser sei durch eine Unzahl von allerfeinsten Bläschen getrübt, das Gas sei nach der Untersuchung

von *Conrad* nicht Kohlensäure sondern atmosphärische Luft. Die Trübung verging auch wirklich bald, das Wasser wurde klar, während der Trübung aber schallte das Wasser mit ganz auffallend *hohem* Ton, in gar keinem Vergleich zu dem tiefen tympanitischen Ton, den andere schäumende Getränke geben. Damals war die Zeit zu kurz zu genauerer Untersuchung, aber vergessen habe ich die Erscheinung, für die mir jede Erklärung fehlte, nicht. Vor zwei oder mehr Jahren am Wasser der Würzburger Leitung, während ein Schaden an der Leitung wiederhergestellt wurde, das nämliche milchweiße Wasser und wieder der nämliche auffallend hohe Ton, aber leider wieder nur flüchtige Gelegenheit zur Feststellung, also keine Zeit zum Verfolgen, denn mit Behebung des Schadens lieferte die Leitung alsbald wieder ganz helles, reines Wasser ohne jede bemerkbare Verteilung von Luft. Klar war mir wenigstens jetzt schon, daß der Dispersionsgrad ausschlaggebend für den Ausfall der Schallerscheinung sein werde. Künstlich hochdisperse Systeme herzustellen war mir nicht möglich, rein auf einen günstigen Zufall angewiesen war ich eben entschlossen: „Begegnest du mir noch einmal, dann komme ich dir auch auf die Spur und sei die Zeit wieder nur kurz, wir wollen schon miteinander fertig werden“.

Richtig, die Erscheinung kam, am 15. August 1923 in Ammerland, und wurde gefaßt. Am genannten Tag lieferte die Wasserleitung, auch wieder während ein Schaden an der Leitung ausgebessert wurde, milchweißes Wasser. Das Wasser entströmt dem Hahn klar, trübt sich nach Schluß des Hahns sofort, die feinen Luftbläschen, die die Trübung bewirken, sind mit einer 8fach vergrößernden *Steinheilschen* Lupe sofort zu erkennen, die milchige Trübung nimmt rasch zu, das Wasser wird vollkommen undurchsichtig, unten sieht man die Bläschen durcheinander wirbeln, sie werden größer, sie steigen auf, am Boden wird es klar, an der Oberfläche scheinen die Bläschen zu springen, hier steigt es wie ein leichter Rauch auf (von *Fritz Goldmayer* bemerkt). Nach 1 Minute ist das Wasser ziemlich klar, doch sind noch kleine Bläschen zu sehen, die zum Teil aufsteigen, zum Teil an der Wand hängen. Nach $1\frac{1}{2}$ Minuten ist das Wasser klar, nur ganz wenig Bläschen hängen an der Wand. Niemand würde jetzt an dem Wasser etwas Besonderes bemerken, während es als milchweißes Getränk von manchen zurückgewiesen worden war. Leider lag der Beobachtungsraum (Küche) nach Norden und bis zur Prüfung auf das Tyndallphänomen im Sonnenlicht vergingen immer mehrere Sekunden. Immerhin glaubte ich doch einmal wenigstens einen weißen Lichtkegel wahrzunehmen, sonst waren die Luftbläschen schon zu groß geworden und in der seitlichen Beleuchtung leicht als glänzende Punkte zu erkennen. Das alles dient nur dazu, damit man sich einen ungefähren Begriff vom Dispersionsgrad bilden kann, denn eine genaue Größenbestimmung der Bläschen lag natürlich ganz außer dem Bereich der Möglichkeit. Die Alveolen der menschlichen Lunge haben nach

der Ausatmung einen Durchmesser von etwa 0,1—0,3 mm und erweitern sich bei der Einatmung etwa auf das Dreifache. Nach dem, was ich gesehen habe, sind die Luftbläschen solange das Wasser milchweiß getrübt ist, ohne Vergleich kleiner als die Alveolen, selbst nach der Ausatmung. Dann aber, indem sie sich vergrößern und mit dem bloßen Auge zu unterscheiden sind, werden sie groß wie jene und übertreffen sie schließlich an Größe.

Die Temperatur des Wassers betrug 16°, der Barometerstand 713,5 mm Hg. Der Boden des Glases, in das das Wasser aus der Leitung einströmte, wurde mit raschen Stößen möglichst ununterbrochen perkutiert und dabei wurden folgende Schallerscheinungen wahrgenommen, in jedem Einzelversuch ganz die gleichen.

Solange das Wasser aus dem Hahn in das untergehaltene Glas strömte, dabei Luft mitriß und grobe Mischung von Wasser mit Luftblasen erzeugte, war der Schall tief tympanitisch, wie man das ja seit den Untersuchungen von A. Geigel längst weiß, der Schall wurde nach Schluß des Hahns sehr rasch mit dem Verschwinden der Luftblasen höher und nach etwa 2 Sekunden war er weg. Jetzt begann sich das klare Wasser zu trüben und jetzt wurde der Schall auffallend *hoch*, um aber sofort mit Verringerung des Dispersionsgrades, indem sich aus den ganz feinen Bläschen größere bildeten, in seiner Höhe stetig zu sinken. Der Höhenunterschied mochte schätzungsweise mehr als eine Oktave betragen. Dieses Sinken des Tons erfolgte anfangs rasch, dann immer langsamer, dauerte etwa 17 Sekunden lang und dann wurde der Ton wieder höher. Das entsprach der Zeit während deren die größer gewordenen Bläschen begannen aufzusteigen, die Menge des Schaums sich verminderte, ganz wie man das bei schallendem Schaum ja allgemein wahrnimmt. Dabei wurde der Schall auch immer leiser und nach weiteren 13 Sekunden war das Wasser im ganzen klar, kein Ton war mehr zu hören nur der klanglose Schall, wie ihn jedes nur mit Wasser gefüllte Glas gibt: der ganze überraschende Vorgang war vorbei.

Es war nun ein ganz besonders günstiger Umstand, daß der mir befreundete *Walter Kunkel*, der ausgezeichnete Künstler am Konservatorium der Musik in Würzburg, am gleichen Ort anwesend war und auf meine Bitte sich am nächsten Tag, als die Erscheinung des milchweißen Wassers noch anhielt, an den Versuchen beteiligte. Er kam mit seiner Geige und bestimmte die musikalischen Intervalle mit folgendem Ergebnis:

1. Versuch mit einem bauchigen Reiseglas (Höhe des Glases 165 mm, Durchmesser oben 56 mm, in der Mitte 85 mm). Glas leer: Ton *b*, mit grobem Schaum eine Oktave tiefer, mit feinstem Schaum: *cis*, fast *d*, sinkt mit Vergrößerung der Bläschen um eine Oktave + *Terz*, bis fast rein *b*, steigt dann um 1 Oktave + *Quinte* bis *f*.

Die Versuche wurden mit anderen Gläsern wiederholt, einem Trinkglas von 86 mm Höhe, lichtem Durchmesser von 65 mm, einem Halbliterglas von

117 mm Höhe und 75 mm lichtem Durchmesser und einem flachen Reisebecher von 97 mm Höhe, oben mit langem Durchmesser von 72, einem kurzen von 28 mm, unten einem langen von 30, einem kurzen von 19 mm.

Die Höhe des Tons war bei den verschiedenen Gläsern auch verschieden, der Ablauf der Erscheinungen, der Wechsel der Tonhöhe vollzog sich aber immer in der gleichen Weise.

In der oben erwähnten Vertiefung des Tons um eine Oktave, wenn das leere Glas mit grobem Schaum gefüllt wird, liegt übrigens kein Gesetz, sondern ist nur zufällig bei den gegebenen Ausmessungen des verwendeten Glases, wie sofort angestellte Versuche an den andern Gläsern ergaben. Es vertiefte sich der Ton an einem kleinen Glas um eine Oktave + kleine Terz, von *a* bis *fis*, an dem Halbliterglas um eine Quart, an dem flachen Glas um 1 Oktav + Terz.

Nur einmal noch, nach etwa 14 Tagen, zeigte sich das Wasser milchweiss, aber nur für sehr kurze Zeit, und eine weitere Ausdehnung der Versuche war nicht möglich.

Immerhin geht aus dem, was zu beobachten war, einiges hervor, was physikalisch und auch diagnostisch von Bedeutung ist.

Es folgt aus meinen Beobachtungen meiner Meinung nach mit Sicherheit, daß für die Tonhöhe von schwingendem Schaum nicht nur dessen Menge, Volumen, sondern auch der Dispersionsgrad von Einfluß ist. Dafür spricht der ungemein hohe Ton bei sehr weit getriebener Dispersion, der sich mit Zusammenfluß der Bläschen und Abnahme des Dispersionsgrades auffallend vertieft. Dagegen ließe sich ein Einwand wohl erheben. Betrachtet man den Vorgang, der zur Schaumbildung in dem Versuch führte, näher, so handelt es sich offenbar um die Entbindung von atmosphärischer Luft, die im Wasser molekular gelöst war. Über die Ursache kann man nichts Sichereres angeben, wahrscheinlich hatte die Leitung an einer Stelle, wo die Geschwindigkeit des Stroms eine große, der hydrodynamische Druck daher klein war, ein Loch bekommen, Luft drang ein und kam mit dem Wasser zu Stellen mit geringerer Geschwindigkeit und hohem Seitendruck, wo sich dem höheren Druck entsprechend mehr Luft im Wasser lösen konnte. Mit dem Ausströmen aus dem Hahn sinkt der Druck auf den einer Atmosphäre und ein Teil der gelösten Luft wird frei und bildet in allerfeinsten Bläschen das milchweiße Aussehen. Jetzt kann man zweierlei Ansicht haben. Man kann annehmen, daß der anfangs sehr hohe Ton nur deswegen tiefer wird, weil sich die Zahl der Bläschen noch weiter vermehrt, dann käme nichts anderes in Betracht als die schon bekannte Vertiefung des Tons bei zunehmender Menge des Schaums. Dieser Ansicht stehen aber zweitens wieder folgende Gründe entgegen.

Der Augenschein lehrt, daß die Zunahme der Trübung des Wassers nach den ersten Augenblicken nicht durch Neubildung von Bläschen,

sondern durch Vergrößerung der schon gebildeten entsteht. Ferner wird ein sehr tiefer Ton auch von Schaum mit nur wenigen aber größeren Bläschen geliefert, wenn sie nur in einem verhältnismäßig großen Raum verteilt sind. Davon kann man sich leicht an schäumenden Getränken, etwa einer mit Kohlensäure gesättigten Limonade, überzeugen. Wenn verhältnismäßig spärliche Gasblasen an der Wand des Glases, aber überall verteilt, hängenbleiben, vom Durchmesser von 1 mm oder selbst darüber, so gibt das Glas einen tiefen Ton, aber einen höheren, sobald die Blasen aufsteigen, unten verschwinden und so das Volumen des groben Schaums abnimmt.

Man geht daher nicht fehl, wenn man den auffallenden Wechsel in der Tonhöhe bei den angeführten Versuchen in der Tat auf die zunehmende Größe der Bläschen, also auf die Vergrößerung der Dispersion bezieht. Offenbar hängt das mit der Veränderung der physikalischen Eigenschaften zusammen, die an dispersen Systemen überhaupt beobachtet werden, wenn sich der Grad der Dispersion ändert. Am bemerkbarsten ist das gemeinlich mit der Zähigkeit der Fall und darauf wird die Änderung der Tonhöhe wohl ohne Zweifel zu beziehen sein. Offenbar ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen in Schaum kleiner als in Wasser und selbst als in Luft. Wie in leeren Röhren, so entstehen in schaumgefüllten durch Reflexion und Interferenz stehende Wellen, die den Ton des schwingenden Raums nach seiner Höhe bestimmen. Ein Beispiel wird das klarmachen. In einer mit Luft oder mit Wasser gefüllten Röhre von der Länge 1 kann durch Reflexion und Interferenz als tiefster Ton nur ein solcher entstehen, dessen Wellenlänge $\lambda = 4l$ ist. Nun ist λ auch $= c/n$ (c die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls, n die Zahl der Schwingungen in der Sekunde); c ist für Luft rund 333 m, in mit Wasser gefüllten Röhren nach Wertheim 1173 m. Vergleicht man 2 gleich große Hohlräume, von denen der eine mit Wasser, der andere mit Luft gefüllt ist, so erhält man

$$n_1 : n_2 = c_1 : c_2 \quad \text{und} \quad n_2 = \frac{n_1 c_2}{c_1},$$

woraus sich berechnet, daß in dem mit Wasser gefüllten Hohlraum $\frac{1173}{333}$ mal so viel Schwingungen auf den Grundton treffen wie in dem mit Luft gefüllten. Je größer die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls, einen desto höheren Ton liefern die aus den fortlaufenden Wellen entstandenen stehenden Schwingungen. Wenn also, wie wir gesehen haben, Schaum einen tieferen Ton liefert als das gleiche Volum Luft, so geht daraus hervor, daß sich der Schall im Schaum langsamer fortpflanzt als in Luft. Die von mir angestellten Versuche haben nun als neues Ergebnis bewiesen, daß der Grad der Dispersion von Einfluß auf die Tonhöhe, mit hin auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in Schaum ist. Darauf könnte man sogar eine Methode gründen, um die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in schaumähnlichen Gebilden überhaupt

zu bestimmen, was insofern nicht ohne Bedeutung wäre als andere Methoden hier versagen, weil man Schäumen immer nur verhältnismäßig kleine Abmessungen geben kann. Auch über den Grad der Zähigkeit kann dann die Bestimmung der Tonhöhe Aufschluß geben und bei gegebenen Konstanten über den Grad der Dispersion. Vermutlich würde es sich bei genaueren und fortgesetzten Untersuchungen herausstellen, daß Zähigkeit, Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls, alles aus der beobachteten Tonhöhe abzuleiten, bei zu- und abnehmender Dispersion nicht einfach zu- oder abnimmt, sondern daß sich ein Wendepunkt ergeben wird, jenseits dessen sich der Gang der Zähigkeit und alles das, was sich daraus ableitet, umkehrt. Wenigstens sprechen unzählige Tatsachen aus der Kolloidchemie für ein derartiges Verhalten.

Einen quantitativen Vergleich zwischen Dispersionsgrad und Änderung der Tonhöhe habe ich bei meinen einfachen Beobachtungen nicht anstellen, nicht einmal eine annähernd entsprechende Kurve für die letztere anlegen können, doch mögen noch ein paar Bemerkungen hier Platz finden, die sich auf den Verlauf der Tonänderung beziehen und bei jedem Einzelversuch immer die nämlichen waren.

Unmittelbar nach Schluß des Wasserhahns wie ein kurzer Vorschlag ziemlich hohen Tons, dann gleich der sehr hohe Ton des sich trübenden Wassers, sofort rasche Vertiefung des Tons, aber immer langsamer werdend, je weiter sie fortschritt, dann allmählicher Übergang in Ton erhöhung (nicht mehr durch Änderung des Dispersionsgrads, sondern Verkleinerung des Volumens), und wenn ich jenen Teil des Verlaufs durch eine Kurve darstellen sollte, so würde sie aus dem positiv Unendlichen kommen und nach Art einer logarithmischen nach oben konkav verlaufen. Irgendein Sprung war bei gleichmäßig raschem Perkutieren nicht zu bemerken, die Tonänderung schien ganz stetig zu verlaufen.

Den Vorgang befriedigend analytisch zu verfolgen, dazu sehe ich mich außerstand. Dazu gehört mehr als ich leisten kann. Das Spiel elastischer Kräfte an den unzähligen Bläschen lässt sich gar nicht übersehen und selbst wenn ich die partiellen Differentialgleichungen aufstellen könnte, so könnte ich sie fast sicher nicht integrieren. Nicht einmal den ganz gewöhnlichen Kunstgriff, den man bei schwierigen Aufgaben anzuwenden pflegt, dürfte ich ja benützen. Ich könnte von den 3 partiellen Differentialquotienten $\frac{dv}{dx}, \frac{dv}{dy}, \frac{dv}{dz}$ die 2 ersten gleich Null setzen und mich auf den dritten allein beschränken, wenn ich die z -Achse in die Richtung eines weit überwiegenden Durchmessers des schallenden Systems lege, z. B. in die Längsachse einer Röhre. Das darf ich aber nicht bei anders gestalteten Hohlräumen, und damit wird die Aufgabe zu verwickelt — für mich wenigstens will ich vorsichtig sagen.

Eine andere Bemerkung betrifft mehr diagnostisches Gebiet und wird hier den Leser mehr interessieren. Die Größe der einzelnen Schaumbläschen konnte zwar nicht genau bestimmt werden, allein so viel kann man behaupten, daß sie, zu einer gewissen Zeit wenigstens, dieselbe Größenordnung haben wie die Lungenbläschen. Man ist also berechtigt, die gewonnenen Ergebnisse auch auf die Schallerscheinungen an der perkutierten Lunge zu übertragen. Da ist es denn von Wichtigkeit, daß die Höhe des Schalls nicht nur von der Größe des erschütterten Lungenabschnitts abhängig ist, wie man bisher annehmen mußte, nicht nur von der Anzahl der schallenden Bläschen, sondern auch (vielleicht bis zu einer gewissen Grenze) von der Größe der einzelnen Bläschen. Das käme, soweit ich sehe, vor allem beim Lungenemphysem in Betracht. Warum der „sonore“ Schall bei der Lungenerweiterung nicht rein tympanitisch ist, aber doch zwischen reinem Lungenschall und Tympanie steht, darüber möge man in anderen Arbeiten von mir nachlesen. Für die Tatsache, daß dieser „sonore“ Schall auch tiefer geworden ist, geben die Untersuchungen Aufschluß, über die ich soeben berichtet habe. Auch auf andere bisher ziemlich dunkle Gebiete der Diagnostik wird hiermit Licht geworfen, so z. B. auf den verhältnismäßig hohen tympanitischen Schall über atelektatischen und komprimierten Bezirken der Lunge, viel höher als der über gleich großen Kavernen. Auch die Höhe des Bronchialatmens muß damit zusammenhängen, worüber ich mich aber hier nicht weiter auslassen will.

Aber eine andere Bemerkung glaube ich nicht unterlassen zu sollen: der hohe tympanitische Ton des hochdispersen Schaums hat entschieden einen Klangcharakter, ähnlich wie beim Metallklang. Ich habe ein gutes Ohr dafür und glaube mich nicht getäuscht zu haben. Metallklang über Schaum, das muß wundernehmen, aber doch nur auf den ersten Blick. In der Tat — man möge meine früheren Untersuchungen über den Metallklang nachlesen — ist die erste aber noch nicht zureichende Bedingung für sein Auftreten die Bildung regelmäßiger stehender Schwingungen; dazu muß dann noch die Diskontinuität derselben kommen. Die besonderen Verhältnisse, die beim Perkutieren eines Glases, besonders eines mit dickem Boden vorliegen, machen die Stöße kurz und begünstigen so die Diskontinuität der Schwingungen. Es wäre schon begreiflich, daß dabei wirklicher Metallklang entstehen kann. Bemerkenswert ist dabei auch das Gefühl des Widerstands. Bei den hohen, klingenden Tönen klopft es sich am Boden des Gefäßes hart, dann, wenn die Luftblasen groß sind und der Ton tief ist, viel weicher. Lauter Dinge, die mit den von mir festgelegten Anschauungen über Tympanie und Metallklang wohl übereinstimmen. Wer Näheres darüber erfahren will, den muß ich auf meinen „Leitfaden der diagnostischen Akustik“ (Enke, 1908) verweisen.