

## Akustik.

§ 66. **Definition.** Akustik<sup>1</sup> ist die Lehre vom Schall. Unter Schall versteht man alle Schwingungen von Körpern, die durch Vermittlung der Luft oder eines anderen Mediums von dem Gehörorgan wahrgenommen werden. Sind die Schwingungen ungleich und unregelmäßig, so entsteht ein Geräusch (z. B. Knall, Krach etc.); sind sie gleich und regelmäßig, so entsteht ein Ton.

§ 67. **Töne** sind charakterisiert durch ihre Höhe, Intensität und Klangfarbe.

1) Die Höhe eines Tones hängt von der Anzahl der Schwingungen der Tonquelle ab. Je größer die Schwingungszahl ist, desto höher ist der Ton. Hält man z. B. ein Kartenblatt gegen ein rotierendes Zahnrad, so entsteht ein Ton, der um so höher ist, je schneller sich das Rad dreht, d. h. je mehr Stöße in der umgebenden Luft entstehen.

Die Schwingungszahl findet man z. B. mittels der Sirene von CAGNIARD DE LA TOUR. Durch Rohr *B* (Fig. 48) kommt aus einem Blasebalg Luft in die Trommel *T*, deren Deckel einen oder mehrere Kreise von schräg gebohrten Löchern enthält. Auf diese Löcher passen genau Löcher der beweglichen Scheibe *OP*, die aber in entgegengesetzter Richtung schief gebohrt sind. Diese Anordnung erhält aus Fig. 48 *a* und ist der Grund, daß sich die Scheibe *OP* beim Anblasen der Sirene nach dem Prinzip des SEGNER'SCHEN Wasserrades drehen muß. Mit der Scheibe dreht sich aber zugleich die Achse *D*, die oben eine Schraube trägt. Durch diese wird die Bewegung auf Zahnräder übertragen und schließlich durch ein Uhrwerk registriert. Durch die Drehung wird bewirkt, daß die Luft stoßweise durchtritt, nämlich immer nur, wenn die Löcher der Scheibe über denen des Deckels sind. Es entstehen also Stöße in der umgebenden Luft, und zwar während einer Umdrehung soviel, wie Löcher vorhanden sind. Die Anzahl der Löcher multipliziert mit der Zahl der Umdrehungen in 1 Sekunde, ergibt daher die Schwingungszahl. Die Schwingungszahl einer beliebigen Tonquelle findet man, indem man die Sirene so anbläst, daß sie denselben Ton gibt.

Vibrograph nennt man eine Vorrichtung, bei der der tönende Körper, z. B. eine Stimmgabel, durch eine an ihm befestigte Feder seine Schwingungen selbsttätig auf einen beruhten Zylinder aufschreibt, der sich mit gleichmäßiger Geschwindigkeit senkrecht zur Schwingungsrichtung vorbeidreht. Aus der entstehenden Wellenlinie ergibt sich natürlich sofort die Schwingungszahl.

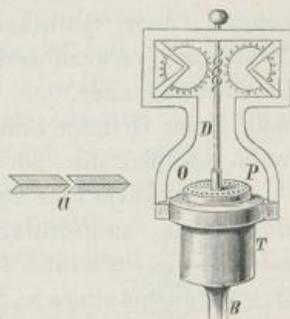


Fig. 48.

<sup>1</sup> ἀκούω hören.

2) Die Intensität (Stärke) eines Tones hängt ab von der kinetischen Energie, mit der die Enden der Hörnerven getroffen werden. Sie ist also proportional dem Quadrate der Schwingungsgeschwindigkeit, oder anders ausgedrückt, dem Quadrate der Amplitude. Ferner ist die Intensität umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung von der Schallquelle [cf. § 56]. Dies gilt natürlich nur, wenn sich der Schall allseitig ausbreiten kann. In Röhren z. B. ist die Intensität viel größer. Darauf beruht ja das Sprach- und Hörrohr. Auch die Dichte des Mediums, in dem der Schall entsteht resp. sich fortpflanzt, beeinflusst seine Stärke. Im Vakuum wird überhaupt kein Ton gehört, und Schüsse auf hohen Bergen klingen nur schwach.

3) Die Klangfarbe verleiht dem Tone die Individualität. Durch sie wird erkannt, von welchem Instrumente ein gleichhoher Ton stammt. Nach HELMHOLTZ beruht sie darauf, daß ein Ton gewöhnlich nicht isoliert erklingt, sondern zusammen mit verschiedenen seiner Obertöne [§ 68], wodurch eben nach dem Gesetz der Superposition der eigentümliche Klang entsteht, graphisch dargestellt durch die Form der Wellenlinie.

§ 68. **Tonverhältnisse.** Das menschliche Ohr kann Töne wahrnehmen, deren Schwingungszahlen zwischen 14 und 40000 liegen. Musikalisch verwendbar sind aber nur solche mit Schwingungszahlen zwischen 40 und 5000. Indes werden nicht sämtliche Töne innerhalb dieser Grenzen benutzt, sondern es wird unter ihnen eine Auswahl getroffen, die von den Intervallen abhängt.

Unter Intervall zweier Töne versteht man den Unterschied in ihrer Höhe, ausgedrückt durch das Verhältnis ihrer Schwingungszahlen. Die einfachsten Intervalle sind die zwischen einem (beliebigen) Grundton und seinen harmonischen Obertönen, deren Schwingungszahlen nämlich 2, 3, 4 etc. mal so groß wie die des Grundtons sind. Harmonisch heißen diese Obertöne, da ihr Zusammenklingen mit dem Grundton angenehm wirkt [cf. § 75]. Verhalten sich die Schwingungszahlen wie 2:1, so heißt das Intervall Oktave. Die Oktave eines Tones von 3000 Schwingungen ist demnach ein Ton von 6000 Schwingungen. Teilt man nun eine Oktave in 8 Intervalle von möglichst einfachen Zahlenverhältnissen, so erhält man die diatonische Tonleiter:

Prime	Sekunde	Terz	Quarte	Quinte	Sexte	Septime	Oktave
1:1	9:8	5:4	4:3	3:2	5:3	15:8	2:1

Je einfacher nun das Verhältnis der Schwingungszahlen ist, desto angenehmer klingt ein Akkord. Am angenehmsten klingt also Grund-

ton mit Oktave (1:2). Der zweite Oberton steht zum Grundton im Verhältnis 3:1, anders geschrieben  $\frac{3}{2}$ . 2:1; er ist also die Quinte der ersten Oktave; der dritte Oberton (4:1) ist die zweite Oktave; der vierte Oberton (5:1 resp.  $\frac{5}{4}$ . 4:1) ist die Terz der zweiten Oktave usw. Dem entspricht, daß nächst der Oktave die Quinte und Terz mit dem Grundton zusammen am besten klingen. Wie leicht auszurechnen, sind die einzelnen Intervalle der diatonischen Tonleiter ungleich. Hauptsächlich kommt das Intervall  $\frac{9}{8}$  und  $\frac{16}{15}$  vor; ersteres heißt ein ganzer Ton, letzteres ein halber. Um nun jeden beliebigen Ton als Grundton verwenden zu können, schaltete man zwischen die ganzen Töne noch halbe ein. So entstand die chromatische Tonleiter, die vom Grundton bis zur Quinte 7, bis zur Oktave 12 halbe Töne enthält. Wie eine einfache Rechnung lehrt, kann sie aber nie ganz rein sein. Bei der chromatischen Tonleiter, z. B. auf dem Klavier, kommt man nämlich durch 12 Quinten auf die siebente Oktave. In Wahrheit beträgt nun das Intervall von 7 Oktaven  $2^7 = 128$ , das Intervall von 12 Quinten  $\frac{3}{2}^{12} = 129,74$ . Es ist also eine Differenz vorhanden. Wenn die Oktaven ganz rein sind, müssen die Quinten unrein sein, und umgekehrt. Derartige Widersprüche gibt es bei der chromatischen Tonleiter noch mehr. Zu ihrer Beseitigung müßte sie mehr als 12 Töne enthalten. Da dies für gewöhnlich nicht angeht, korrigiert man den Fehler durch Änderung der Intervalle innerhalb einer Oktave und nennt dies Temperatur<sup>1</sup>. Die Temperatur ist gleichschwebend, wenn die Oktaven selbst alle rein sind, und der Fehler gleichmäßig auf alle zwischenliegenden Töne verteilt ist, so daß nun alle genau dasselbe Intervall haben. Dieses ist leicht aus der Gleichung  $x^{12} = 2$  zu finden, da ja das Intervall  $x$ , 12mal mit sich selbst multipliziert, die

Oktave ergeben muß. Also  $x = \sqrt[12]{2}$ . Eine nähere Betrachtung zeigt, daß die temperierten Intervalle nur wenig von den reinen differieren. Als Grundton der Stimmung wird das eingestrichene  $a$  (Fig. 49), der sog. Kammerton, benutzt, dessen Schwingungszahl nach internationaler Abmachung 435 beträgt.

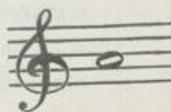


Fig. 49.

§ 69. **Entstehung der Töne.** Als Tonquellen dienen Körper, die leicht in Schwingungen versetzt werden können, also besonders feste und luftförmige. Die Schwingungen können sowohl transversale wie longitudinale sein, stets aber werden sie an den Grenzen des Körpers reflektiert. Töne entstehen also durch stehende

<sup>1</sup> *tempero* mischen, ordnen.

Schwingungen [§ 65]. Die Knotenpunkte sind immer an den Stellen, die am Schwingen verhindert sind, also z. B. immer an den Enden der Körper, wenn diese befestigt sind. Ein Körper kann nun in verschiedener Weise schwingen, so daß die Zahl der Knotenpunkte variabel ist; schwingt er so, daß die Zahl der stehenden Schwingungen möglichst gering, die Schwingungsdauer der einzelnen Teilchen also möglichst groß ist, so entsteht sein Grundton.

Auf Saiten werden Töne meist durch transversale Schwingungen erzeugt. Die meisten Streichinstrumente, Violine etc., beruhen darauf. Zum Studium der Tonverhältnisse hierbei dient das Monochord, eine über einem Kasten durch Gewichte ausgespannte Saite, bei der durch einen beweglichen Steg die Länge des schwingenden Teils beliebig verändert werden kann. So fand man, daß die Schwingungszahl einer Saite, mit anderen Worten die Tonhöhe, umgekehrt proportional ihrer Länge und Dicke, dagegen proportional der Quadratwurzel der Spannung ist. Eine Saite kann aber nicht nur als Ganzes schwingen, sondern auch in aliquoten Teilen. Stellt man z. B. in

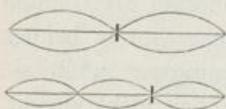
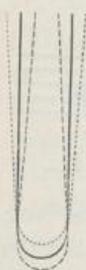


Fig. 50.

der Mitte einen Knotenpunkt durch Aufsetzen des Fingers her, so entstehen 2 Bäuche (Fig. 50), deren jeder nach obigem Gesetze doppelt soviel Schwingungen macht, wie die ganze Saite; es entsteht also die Oktave des Grundtons. Schwingt die Saite mit drei Bäuchen, so entsteht der dritte Oberton etc. Die Knotenpunkte weist man durch Papierreiterchen nach, die nämlich an allen anderen Stellen der Saite heruntergeschleudert werden.



Elastische Stäbe werden durch longitudinale und transversale Schwingungen zum Tönen gebracht. Am wichtigsten ist die Stimmgabel, ein Uförmig gebogener Stahlstab mit 2 parallelen Schenkeln (Zinken). Am einfachsten schwingt sie mit 2 Knotenpunkten, die dicht aneinander liegen, und zwar so, daß beide Zinken zusammen entweder nach innen oder nach außen schwingen (Fig. 51).

Auch Platten, Glocken und gespannte Membranen können so schwingen, daß Töne entstehen. Hier sind die verschiedenen Knotenpunkte zu Knotenlinien verbunden. Bestreut man daher die Platten mit Sand, so bleibt er nur an diesen nicht schwingenden Stellen, den Knotenlinien, liegen, und es entstehen die CHLADNI'schen Klangfiguren.

Oft werden auch longitudinal schwingende Luftsäulen als Tonquellen benutzt, die in Röhren, Pfeifen, eingeschlossen sind.

a) Bei den Lippenpfeifen, zu denen die meisten Orgelpfeifen gehören, stößt die durch  $c$  (Fig. 52) eingeblasene Luft auf eine scharfe Kante, die „Lippe“,  $l$ ; ein Teil von ihr geht nach  $A$  und ruft dort Verdichtungs- und Verdünnungswellen hervor, wodurch Töne entstehen. Dasjenige Ende einer Pfeife, an dem sie angeblasen wird, ist natürlich immer offen. Je nachdem auch das andere Ende offen oder geschlossen ist, spricht man von offenen oder gedeckten (gedackten) Pfeifen. Die Tonhöhe ist der Länge der Pfeifen umgekehrt proportional. Da nun bei der einfachsten Schwingungsart eine offene Pfeife in der Mitte einen Knoten hat, so kann man sie sich aus 2 gedeckten Pfeifen von der halben Länge zusammengesetzt denken (Fig. 53). Der tiefste Ton einer offenen Pfeife ist daher die



Fig. 52.

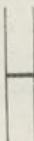


Fig. 53.

Oktave des Grundtons einer ebenso langen gedeckten Pfeife, die im einfachsten Falle nämlich so schwingt, daß am geschlossenen Ende ein Knoten, am offenen ein Bauch ist. Durch stärkeres Anblasen geben Pfeifen auch die Obertöne des Grundtons an, und zwar die offenen alle, die gedeckten nur die ungeraden Obertöne.



b) Bei den Zungenpfeifen stößt die eingeblasene Luft auf ein federndes Metallblättchen  $a$  (Fig. 54), das dadurch in periodische Schwingungen kommt und diese der Luftsäule in der Pfeife mitteilt. Die Zunge kann auch membranös sein.



Fig. 54.

Dies ist z. B. der Fall beim menschlichen Kehlkopf, dessen Stimmbänder membranöse Zungen vorstellen. Die aus den Lungen heraufgeblasene Luft versetzt die Stimmbänder in Schwingungen, die sich wieder der Luft in Mund und Nase mitteilen.

Wenn man eine Glasröhre über eine Flamme, am besten von Wasserstoff, hält, so tönt die eingeschlossene Luftsäule auch (sog. singende Flammen oder chemische Harmonika). Hierbei sei gleich bemerkt, daß Flammen ein feines Reagens auf Schallschwingungen sind. Besonders wenn sie unter hohem Druck stehen, hüpfen sie, wenn Töne in der Nähe erklingen (sensible Flammen).

§ 70. **Mittönen und Resonanz.** Bringt man in die Nähe einer tönenden Stimmgabel eine ruhende, die auf denselben Ton abgestimmt ist, so ertönt auch diese, selbst nachdem die erste aufgehört hat. Ebenso erklingt, wenn man gegen die Tasten eines Klaviers singt, der betreffende Ton spontan mit. Dieses Mittönen ist eine Eigen-

schaft aller tönenden Körper und beruht darauf, daß die Moleküle durch diejenige Art der Bewegung am leichtesten zur Mitbewegung veranlaßt werden, die bei ihnen gewissermaßen präformiert ist. Folgendes Beispiel erläutere dies: Selbst ein Knabe kann schwere Kirchenglocken in Gang bringen, wenn er an dem Stricke immer in der Richtung zieht, welche die Glocke schon von selbst einzuschlagen im Begriff ist. Auf diesem Prinzip des Mittönens beruhen auch die Pfeifen und singenden Flammen. An der Lippe und Zunge der Pfeifen nämlich, sowie durch das Flackern der Flamme entstehen eine große Zahl unregelmäßiger Schwingungen, also ein Gemisch von Tönen, von denen aber nur ganz bestimmte die Luftsäule in den Röhren zum Mittönen bringen. Daraus geht auch hervor, daß die Länge dieser Luftsäule bei Pfeifen und singenden Flammen einen großen Einfluß



Fig. 55.

auf die Tonhöhe hat. Auf dem Mittönen beruhen auch die Resonatoren<sup>1</sup>, kugelförmige Hohlapparate (Fig. 55), die mit einem kurzen Rohr ins Ohr gesteckt werden. Sie sind auf einen gewissen Ton abgestimmt und dienen dazu, ihn aus einem Tongemenge herauszufinden, da sie ja nur diesen einen verstärken. Verwandt mit dem Mittönen, wenn auch nicht ganz identisch, ist die Resonanz. Man versteht darunter die Verstärkung jedes beliebigen Tones. Da z. B. Saiten, Stäbe etc. eine zu geringe Luftmenge in Bewegung setzen, geben sie nur sehr schwache Töne von sich. Um diese zu verstärken, setzt man sie auf sogenannte Resonanzböden, entweder Holzplatten oder Holzkästen etc., die durch ihr Mitschwingen mehr Luftteilchen in Schwingungen versetzen.

§. 71. **Fortpflanzung des Schalls.** Der Schall pflanzt sich durch longitudinale Wellen fort. Von der Schallquelle aus gehen also abwechselnd Verdichtungs- und Verdünnungswellen in das umgebende Medium hinein. Die Träger dieser Wellen sind beim Schall materielle Moleküle (im Gegensatz zum Lichte). Bringt man daher ein Läutwerk unter eine Luftpumpe, so hört man es immer leiser, je mehr die Luft verdünnt wird, bis es schließlich ganz verstummt. Der Schall pflanzt sich nicht nur durch luftförmige, sondern auch durch flüssige und feste Medien fort, ja sogar noch schneller als durch Luft. Diese Tatsache scheint gegen die NEWTON'sche Formel  $v = \sqrt{\frac{e}{d}}$  [§ 61] zu verstoßen. Der Widerspruch ist aber nur scheinbar; denn die größere Fortpflanzungsgeschwindigkeit in festen und

<sup>1</sup> *resono* widertönen.

flüssigen Körpern beruht nicht auf deren größerer Dichte, sondern auf ihrer erhöhten Elastizität. Aus der NEWTON'schen Formel ergibt sich durch Rechnung die Schallgeschwindigkeit in Luft zu ca. 280 m in der Sekunde, während experimentell stets höhere Werte gefunden wurden. Es wurde z. B. die Zeit gemessen, die zwischen dem Aufleuchten und der Wahrnehmung des Schalles eines in bekannter Entfernung abgefeuerten Geschützes verstrich. Daraus fand man eine Schallgeschwindigkeit von 330—335 m in der Sekunde. Erst LAPLACE erkannte den Fehler in der obigen Formel und zeigte, daß man sie mit einem bestimmten Faktor, nämlich  $\sqrt{\frac{c_v}{c_p}}$ , multiplizieren muß [cf. § 102].

§ 72. **Schallgeschwindigkeit und Wellenlänge.** Da die Schallfortpflanzung auf Wellenbewegung beruht, gilt auch hier die Formel  $v = n\lambda$  [§ 61]. Da nun  $v$  für die meisten Medien experimentell festgestellt ist,  $n$  sich leicht durch die Sirene, den Vibrographen etc. finden läßt [§ 67], so kann man daraus die Wellenlänge  $\lambda$  berechnen. Diese kann aber auch direkt durch die KUNDT'schen Staubfiguren gefunden werden. Versetzt man nämlich eine Glasröhre durch Reiben in der Längsachse in longitudinale Schwingungen, so daß ein Ton entsteht, so schwingt auch die Luftsäule in ihrem Innern longitudinal. Dies kann man sichtbar machen, wenn man ein leichtes Pulver in die Röhre bringt, das sich dann an den Knotenpunkten ansammelt. Die Entfernung zwischen zwei Knotenpunkten, die ja leicht gemessen werden kann, entspricht einer halben Wellenlänge des Schalles in der Luft, die Länge der Röhre einer halben Schallwelle in Glas.

§ 73. **Reflexion des Schalls.** Treffen die Schallwellen auf ein Hindernis, z. B. eine feste Wand, so werden sie zurückgeworfen (Echo). Aus der Zeit, in der das Echo erfolgt, läßt sich leicht die Entfernung jenes Hindernisses annähernd berechnen, da ja der Schall in 1 Sekunde ca. 330 m zurücklegt. Für die Reflexion und Refraktion des Schalles gelten dieselben Gesetze wie beim Lichte.

§ 74. **Interferenz des Schalls.** Daß es sich bei der Schallfortpflanzung wirklich um Wellenbewegung handelt, geht daraus hervor, daß unter Umständen Schall plus Schall eine Abschwächung ergibt. Dies ist mit dem geistreichen Apparat von QUINCKE (Fig. 56) leicht nachzuweisen.

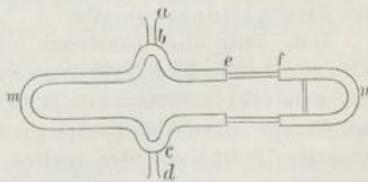


Fig. 56.

Die Röhre  $ab$  teilt sich bei  $b$  in 2 Schenkel, die über  $m$  und  $n$  nach  $c$  gehen und dort in einem gemeinsamen Rohr  $cd$  münden. Der Teil  $fn$  kann nun über  $ef$  beliebig verschoben werden, so daß, wenn an  $a$  eine Tonquelle gehalten wird, der Schall auf der rechten Seite nicht den gleichen Weg zurücklegt wie links. Entspricht diese Differenz einer geraden Zahl von halben Wellenlängen, so hört das Ohr in  $d$  die Töne laut; leise dagegen bei einer Differenz von einer ungeraden Zahl von halben Wellenlängen [cf. § 64].

§ 75. **Konsonanz und Dissonanz.** Wirkt das Zusammenklingen von 2 oder mehreren Tönen angenehm, so heißt dies Konsonanz, das Gegenteil Dissonanz. Schon früher wußte man, daß 2 Töne um so angenehmer zusammen klingen, je einfacher das Verhältnis ihrer Schwingungszahlen ist; die richtige Erklärung dafür gab aber erst HELMHOLTZ. 2 Stimmgabeln von genau derselben Schwingungszahl geben einen einzigen stets gleichlautenden Ton. Macht aber z. B. die eine in der Sekunde 300 Schwingungen, die andere 301, so ist klar, daß nach  $\frac{1}{2}$  Sekunde die von der zweiten ausgehende Wellenbewegung um  $\frac{1}{2}$  Wellenlänge mit der ersten differieren, d. h. entgegengesetzte Phase haben muß. Daher wird der Ton durch Interferenz schwächer werden, um allmählich wieder die frühere Stärke zu erlangen. Dieses Schwächer- und Stärkerwerden beim Zusammenklingen zweier Töne nennt man Schwebungen oder Stöße; ihre Zahl ist immer gleich der Differenz der Schwingungszahlen beider Töne. Mehr als zwölf Schwebungen in der Sekunde werden nicht mehr einzeln wahrgenommen, sie bedingen dann die Rauigkeit des Akkords. Am unangenehmsten werden 33 Schwebungen in der Sekunde empfunden; darüber hinaus werden sie allmählich nicht mehr wahrgenommen. Eine einfache Rechnung zeigt, daß in der Tat bei den harmonisch klingenden Intervallen die Schwebungen stets weit von dieser unangenehmen Grenze entfernt bleiben.

Auf diese Schwebungen wurden früher auch die Differenz- oder TARTINI'schen Töne zurückgeführt, deren Schwingungszahl ebenfalls gleich der Differenz der Schwingungszahlen der zwei ursprünglichen Töne ist. Nach HELMHOLTZ ist dies aber nicht richtig, schon deshalb nicht, weil es daneben auch Summationstöne gibt.

Man kann die Konsonanz und Dissonanz mittels der sogenannten LISSAJOU'schen Klangfiguren auch sichtbar machen. Stellt man nämlich zwei senkrecht zueinander schwingende Stimmgabeln, die beide an einer ihrer Zinken einen kleinen Spiegel tragen, so auf, daß ein Lichtstrahl von dem ersten Spiegel auf den zweiten, und von dort auf einen Schirm reflektiert wird, so entstehen bestimmte Lichtfiguren. Schwingt nämlich nur eine Stimmgabel, so entsteht eine leuchtende gerade Linie; schwingen beide, so entsteht bei Gleichheit des Tons je nach der Phasendifferenz entweder eine gerade Linie oder ein Kreis oder eine Ellipse [cf. § 143]. Sind dagegen die

Stimmgabeln etwas verstimmt, so gehen diese Figuren wegen der nun wechselnden Phasendifferenz ineinander über. In gleicher Weise haben auch die anderen Konsonanzen charakteristische einfache Lichtfiguren, die bei Verstimmung der Stimmgabeln einen Wechsel zeigen.

§ 76. **Dopplers Prinzip.** Wenn die Entfernung zwischen einer Tonquelle und einem Beobachter rasch kleiner wird, so wird der Ton der ersteren höher. Dies ist leicht zu konstatieren bei dem Pfeifen einer sich nähernden Lokomotive. Von einer ruhenden Tonquelle aus gelangen nämlich in einer Sekunde eine bestimmte Zahl von Schallwellen ins Ohr des Beobachters; nähert sich aber die Tonquelle in einer Sekunde um  $x$  Meter, so kommen mehr Schallwellen zur Perzeption, nämlich auch die, welche sonst vom Beobachter noch  $x$  Meter entfernt wären. Entfernt sich die Tonquelle oder der Beobachter, so muß natürlich der Ton tiefer werden.

## Wärmelehre.

### A. Mechanische Wärmetheorie.

§ 77. **Wesen der Wärme.** Unter Wärme versteht man dasjenige Agens, welches bestimmte Nervenendigungen so reizt, daß wir eine Temperaturempfindung haben. Früher nahm man einen Wärmestoff zwischen den Körpermolekülen an, der unter Umständen austreten, „frei werden“ könne. Dagegen sprechen aber viele Tatsachen. Graf RUMFORD zeigte zuerst, daß durch Rotation eines Kolbens in einem dicht anschließenden metallischen Hohlzylinder, also durch mechanische Arbeit, eine unbegrenzte Wärmemenge erzeugt werden kann; auch hat das Metall vor und nach der Reibung dieselbe Wärmekapazität, d. h. Fähigkeit, Wärme aufzunehmen. Nach der stofflichen Theorie könnte aber in den durch Druck verkleinerten Intermolekularräumen nicht mehr so viel Wärme aufgenommen werden wie vorher. Noch entscheidender war der Versuch von DAVY: Er brachte in einem Raume von  $0^{\circ}$  zwei Eisstücke allein dadurch zum Schmelzen, daß er sie aneinanderrieb. Hier ist sogar die Wärmekapazität des entstandenen Wassers größer als die des Eises. Durch diese und andere Versuche wurde festgestellt, daß Wärme kein Stoff ist, sondern ebenso wie Schall und Licht auf Molekularbewegung beruht.