

Zur Theorie der Geräuschempfindungen.

Von

MAX MEYER.

Über Geräuschempfindungen ist schon soviel geschrieben worden, daß eine weitere Diskussion dieses Gegenstandes überflüssig scheint. Dennoch glaube ich im folgenden auf einige Tatsachen hinweisen zu können, die — wenigstens in diesem Zusammenhange — von Psychologen bisher nicht genug gewürdigt worden sind, und deren Nutzbarmachung für die psychologische Theorie der Geräuschempfindungen einen Fortschritt bedeuten dürfte.

Eine Theorie der Geräuschempfindungen hat vor allem die Frage zu erledigen: Ist ein Geräusch in irgend einer Weise eine Komposition von Tönen oder etwas von Tönen wesentlich Verschiedenes? Wir werden sehen, daß es für die Erörterung dieser Frage außerordentlich wichtig ist, zwischen objektiven Tönen, d. h. Sinusschwingungen, und subjektiven Tönen, d. h. Tonempfindungen, streng zu unterscheiden. Nicht einmal STUMPF, der das Problem der Geräuschempfindungen sorgfältiger als irgend ein anderer diskutiert hat, ist hierin immer streng genug gewesen. Die Resonatorenhypothese, wonach das Ohr jede beliebige Luftwelle in eine Reihe von Sinusschwingungen auflöst, hat neben vielen anderen Irrtümern auch diese Konfusion verschuldet. Wenn Sinusschwingungen und Tonempfindungen im strengsten Sinne parallel laufende Tatsachen wären, dann brauchte man freilich in theoretischen Diskussionen zwischen ihnen nicht zu unterscheiden; es würde sich dann nur um die Substitution eines Namens handeln. Doch kann von einer solchen Parallelität nicht die Rede sein.

Man kann Geräusche auf zwei Arten hervorbringen. Man kann sie objektiv aus musikalischen Klängen zusammensetzen; die Luftwelle ist in diesem Falle zwar nicht notwendigerweise

aperiodisch, aber mit Ausnahme weniger spezieller Tonkombinationen sehr kompliziert. Man kann Geräusche ferner objektiv hervorbringen, indem man eine aperiodische Luftwelle ohne Zuhilfenahme regelmäßig schwingender Körper erzeugt. Bei der Diskussion dieser beiden Fälle drängt sich nun eine zweite Frage auf, die wir hier zu erledigen versuchen werden: ob Geräusche mit demselben Sinnesapparat empfunden werden wie Töne, oder ob für Geräusche ein besonderes Sinnesorgan existiert. Gegen die erste Annahme glaubt mancher — z. B. STUMPF — den theoretischen Einwand erheben zu können, daß es dann überhaupt keine wirklichen Geräusche gebe, sondern nur Töne, weil unser tonempfindendes Organ den zusammengesetzten Vorgang wieder in die Sinuskomponenten zerlege und selbst eine aperiodische Welle gemäß dem FOURIER'schen Theorem in eine Summe von Sinuswellen auflöse. Dieser Einwand ist jedoch nicht statthaft. Es ist ja nicht eine Tatsache, sondern eine Hypothese, daß das Ohr jede Klangwelle in eine Reihe von Sinuswellen auflöse; und die Zahl derer, die diese Hypothese akzeptieren, ist im Abnehmen begriffen. Die scheinbare soeben erwähnte Schwierigkeit ist jedoch — wie wir sehen werden — die einzige Veranlassung für die Annahme eines besonderen geräuschempfindenden Sinnesapparates.

Die erste Definition des Geräusches, die STUMPF diskutiert, ist diese (Tonpsychologie II, S. 504): Geräusche sind nichts anderes als zahlreiche gleichzeitige Töne von wenig verschiedener Höhe. Die Bedingung „von wenig verschiedener Höhe“ glaubt STUMPF aus dem folgenden Grunde hinzufügen zu müssen. Der Dur-Akkord, in sechs Oktaven gleichzeitig angegeben, enthält 19 Töne. Trotzdem ist das kein Geräusch. Die geringe Verschiedenheit ist daher nach STUMPF ein Hauptmerkmal dieser Definition. Es ist merkwürdig, daß STUMPF nicht gesehen hat, daß dieses Beispiel nicht genügt, um die geringe Verschiedenheit zu einem Hauptmerkmal der Definition zu machen. Ein Dur-Akkord in sechs Oktaven ist ein ganz spezieller Fall mit ganz speziellen Eigenschaften. Beträchtliche Unregelmäßigkeiten (was mit „Unregelmäßigkeiten“ gemeint ist, werden wir bald genauer sehen) entstehen in diesem Falle durch das Zusammenklingen nicht. Wenn wir jedoch 19 Töne in solcher Weise über sechs Oktaven verteilen, daß kein Ton mit

irgend einem anderen ein reingestimmtes Intervall bildet, so daß die Schwingungszahl eines jeden mit der Schwingungszahl eines jeden anderen in einem komplizierten Verhältnis steht, dann werden wir wohl nicht länger an der geringen Verschiedenheit der Tonhöhen als einem Hauptmerkmal der Definition festhalten.

Wir wollen also diese Definition so fassen: Geräusche sind nichts anderes als zahlreiche gleichzeitige Töne in Intervallen, die beträchtliche Unregelmäßigkeiten des Klanges bedingen.

Wie entstehen denn nun diese Unregelmäßigkeiten des Klanges? Es ist durchaus notwendig, daß man über diese Frage im klaren ist. Physiker, und leider auch die Mehrzahl der Psychologen, denken, wenn von Schwebungen die Rede ist, gewöhnlich nur an die wohlbekannten primären (ich will für die verschiedenen Arten Schwebungen die Bezeichnungen „primär“ und „sekundär“ als Termini gebrauchen), deren Anzahl gleich der Differenz der Schwingungszahlen der Primärtöne ist. Diese primären Schwebungen sind jedoch in den meisten Beziehungen verhältnismäßig unwichtig. Sie sind gewöhnlich so zahlreich, daß sie nur als eine wenig störende Rauigkeit empfunden werden. Z. B. die Töne 600 und 702 erzeugen freilich 102 Schwebungen, aber man muß schon einige Übung im Beobachten solcher Erscheinungen haben, um die diesen Schwebungen entsprechende Rauigkeit wahrzunehmen. Dagegen hören wir in diesem Falle 12 sekundäre Schwebungen, die sehr leicht auch von einem ungeübten Beobachter wahrgenommen werden können. Vielleicht sind diese sekundären Schwebungen in der folgenden Weise zu erklären. Die Töne 600 und 702 erzeugen den Differenzton 102. Die Obertöne $3600 (m^2)$ und $3510 (n(n-2))$ erzeugen den Differenzton 90.¹ Die Differenztöne 102 und 90 müssen dann zwölfmal in der Sekunde schweben. In der Tat bestehen diese sekundären Schwebungen in einem abwechselnden Hervortreten des tiefen Differenztons und der höheren Töne; und ferner: mit obertonstarken Klängen lassen sich die sekundären Schwebungen viel leichter beobachten als mit obertonschwachen. Trotzdem will ich die Richtigkeit der obigen Erklärung als unwesentlich hier dahingestellt sein lassen.

¹ Die Töne 600 und 702 können als Vertreter des (verstimmten) Intervalls 6:7 betrachtet werden. In der obigen Berechnung ist $m = 6$ und $n = 7$. Die relativen Zahlen sind dann mit 100 multipliziert.

Soviel ist richtig, daß man auf die angegebene Weise die Frequenz der sekundären Schwebungen in speziellen Fällen bestimmen kann.

Das ganze Klangphänomen ist nun in dem eben beschriebenen Falle ziemlich regelmäfsig, da wir ein rhythmisches Hervortreten der verschiedenen Tonhöhen haben. Wenn wir jedoch anstatt der zwei Töne drei oder mehr (jedoch keine reingestimmten Dreiklänge) benutzen, so treten die einzelnen Tonkomponenten in einer sehr komplizierten Art der Aufeinanderfolge hervor und zurück, so daß von einem Rhythmus der Schwebungen kaum noch die Rede sein kann, obwohl ein solcher im mathematischen Sinne natürlich existiert. Es ist eine einfache Konsequenz dieser Tatsachen, daß wir ein Schwirren hören, wenn wir eine ganze Oktave von Klavier- (besser Orgel-) tasten niederdrücken. Jeder der gehörten Töne ist abwechselnd stark und schwach; doch tritt dieser Wechsel in einer solchen Weise ein, daß für unser Bewußtsein keine Regelmäfsigkeit besteht.

Wir sind nun im stande, unsere Definition zu diskutieren. STUMPF sagt: Ich kann nicht zugeben, daß die Gehörsempfindung in diesem Fall ihren tonalen Charakter und ihre Analysierbarkeit gänzlich verliere. Im Gegenteil, sie bleibt im wesentlichen ein Klang, aus welchem auch eine gröfsere oder geringere Anzahl von Klangteilen herauszuhören ist. — Wir stehen hier vor der Tatsache, daß von zwei Forschern der eine (HELMHOLTZ) eine gewisse Empfindung ein Geräusch nennt, während der andere (STUMPF) ihr diesen Titel abspricht, weil die Empfindung einen tonalen Charakter besitze. Es bleibt uns da nichts übrig, als zwischen reinen und tonalen Geräuschen zu unterscheiden. Wir werden sehen, daß diese Unterscheidung außerordentlich fruchtbar ist, und daß ihre verständige Anwendung auf die Tatsachen zu einer vollständigen Lösung des vorliegenden theoretischen Problems führt. STUMPF gibt selber zu, daß die Empfindung beim gleichzeitigen Niederdrücken z. B. aller Tasten einer Oktave geräuschartig ist; nur will er sie nicht als ein reines Geräusch anerkennen.

Daß die in Diskussion stehende Empfindung einen tonalen Charakter hat, ist nicht wunderbar. Wir sollten jedoch wohl im Auge behalten, warum sie einen solchen Charakter hat. Dies wird uns später helfen, den Unterschied zwischen einem tonalen

und einem reinen Geräusch zu verstehen. Wie ich eben auseinanderzusetzen suchte, treten die einzelnen Tonkomponenten in einer für das Bewußtsein sehr unregelmäßigen Weise bald hervor, bald zurück. In einem Bruchteil einer Sekunde ist bald der eine, bald der andere Ton der stärkste. Das macht es natürlich schwierig, einem einzelnen Tone genügende Aufmerksamkeit zu schenken, um ein betreffendes Tonhöhenexistenzialurteil zu stande kommen zu lassen. Aber es macht dies nicht unmöglich. Es wäre in der Tat seltsam und in Widerspruch mit unseren sonstigen Erfahrungen, wenn wir völlig unfähig wären, die Tonhöhe etlicher dieser Komponenten aufzufassen und zu vergleichen, bloß deshalb, weil wir sie nicht dauernd hören, sondern für kurze Zeiten, schnell abwechselnd mit anderen Tönen. Daß STUMPF der Empfindung einen tonalen Charakter zuspricht, ist bedingt durch die Möglichkeit der Analyse; daß HELMHOLTZ die Empfindung geräuschartig nennt, ist bedingt durch die Schwierigkeit der Analyse. Möglichkeit und Schwierigkeit schließen sich natürlich nicht gegenseitig aus.

Gegen diese Darstellung freilich erhebt STUMPF zwei Einwände, die wir nicht unwidersprochen entlassen können. 1. Die Tatsache nämlich, daß HELMHOLTZ die Empfindung für geräuschartig erklärt, will STUMPF darauf zurückführen, daß die Schwebungen infolge eines noch unerforschten Zusammenhanges Geräusche hinzubringen. 2. STUMPF fragt: Warum sollte Undeutlichkeit der Teile eines Zusammenklanges, mag sie nun beruhen worauf sie will, den Klang als ein Geräusch erscheinen lassen?

Die Annahme eines noch unerforschten Zusammenhanges, vermittelt dessen Schwebungen zur Ursache von (die Töne begleitenden) Geräuschempfindungen werden, würde ein Zugeständnis sein, daß unser Versuch einer Theorie der Geräuschempfindungen gescheitert ist. STUMPF kommt in der Tat zu dem Ergebnis, daß Geräusche eine besondere Art von Gehörsempfindungen sind, über deren Entstehung wir nichts Genaueres wissen. Doch kann uns natürlich niemand logischerweise zwingen, eine solche Annahme sofort uns anzueignen. Wir müssen vielmehr erst versuchen, ob wir nicht ohne jene Annahme eine allgemeine, die Geräusche einschließende Theorie der Gehörsempfindungen aufstellen können. Sollte unser Versuch erfolglos sein, dann werden wir freilich jene Annahme akzeptieren müssen, als das Beste, das

sich uns darbietet. Doch ich glaube voraussagen zu können, daß dies nicht nötig sein wird.

Daß man eine Gehörsempfindung geräuschartig nennen dürfe, wenn ihre Analyse Schwierigkeiten macht, lehnt STUMPF mit diesem Argument ab: „In den tausend und abertausend Fällen, wo Zusammenklänge von Nicht- oder Halbmusikern nicht oder unvollkommen analysiert werden, werden sie um deswillen doch noch lange nicht als Geräusche aufgefaßt.“ Es kommt hier sehr viel darauf an, was man unter Analyse versteht. STUMPF's Definition einer Analyse ist zur Beschreibung der Tatsachen sehr wenig geeignet, wie schon genugsam von anderen, und auch von mir selbst in dieser Zeitschrift gezeigt worden ist. Sie ist, ich möchte sagen, zu scholastisch, zu sehr eine bloße Zusammenfügung von Worten, durchaus nicht den Bedürfnissen der Tatsachen angepaßt. Wenn ein Unmusikalischer einen Akkord auf der Orgel hört, und die Gehörsempfindung nicht als ein Geräusch, sondern als ein Ton beurteilt wird, so hat er doch wohl eine, wenn auch sehr unvollkommene Analyse angestellt. Er wird nämlich in einer Reihe von Klängen eine Melodie erkennen. Dies aber wäre nicht möglich, wenn nicht wenigstens Eine der Komponenten des Klanges ein Tonhöhenexistentialurteil in ihm hervorgerufen hätte. Ich sehe nun keinen Grund, warum man nicht bereits in diesem Falle von einer (natürlich unvollständigen) Analyse des Klanges sprechen sollte. Wäre wirklich gar keine Analyse des Klanges ausgeführt worden, so hätte dieser allerdings den Eindruck eines Geräusches gemacht. Wenigstens entspricht das durchaus meinen eigenen Erfahrungen. Ich habe unzähligemale die Beobachtung gemacht, daß eine gewisse Gehörsempfindung mir zunächst als ein Geräusch erschien, während ich später, nachdem ich sie wenigstens teilweise analysiert (d. h. zum mindesten Eine Tonhöhe herausgehört) hatte, sie beim besten Willen nicht mehr als ein einfaches Geräusch zu bezeichnen vermochte. Auch spricht für unsere Auffassung des Unterschiedes zwischen Ton und Geräusch die folgende wohlbekannte Tatsache. Wenn man Holzstäbchen verschiedener Länge oder Dicke auf die Tischplatte wirft, so kann man leicht eine Melodie erkennen, obwohl man zunächst beim isolierten Hinwerfen keine definitive Tonhöhe erkennen konnte. Aber die melodische Verwandtschaft ist eben ein außerordentliches Hilfsmittel für die Aufmerksamkeit, und nach einiger Übung lernt

man den Hauptton des Holzstäbchens auch beim isolierten Hinwerfen trotz der Geräuschartigkeit des Klanges erkennen. STUMPF mag darin recht haben, daß ein unvollkommen analysierter Klang durchaus nicht immer als Geräusch beurteilt wird. Aber dies beweist doch nicht die Unmöglichkeit der Annahme, daß, wenn immer ein Klang als Geräusch oder geräuschartig beurteilt wird, die Unmöglichkeit oder Unvollkommenheit der Analyse die Ursache dieses Urteils ist. Wir können somit diesen Einwand STUMPF's mit der Gegenfrage zurückweisen: Warum sollte Undeutlichkeit aller (oder doch der überwiegenden Mehrheit der) Teile eines Zusammenklanges den Klang nicht als ein Geräusch (bzw. geräuschartig) erscheinen lassen?

Der wichtigste Einwand, den STUMPF gegen die Definition eines Geräusches als einer großen Zahl gleichzeitiger Töne erhebt, ist dieser: „Man kann sich sehr gut vorstellen, wie *c* und *cis* ohne Schwebungen klingt. Ebenso kann ich noch ziemlich gut etwa *e*, *fis*, *g* in der Vorstellung hinzufügen. Und so kann man sich wenigstens Annäherungen an den Eindruck vorstellen, welchen die sämtlichen Töne der chromatischen Leiter ohne Schwebungen zusammenklingend geben müßten. Soviel scheint mir klar, daß der Eindruck nicht die mindeste Ähnlichkeit hätte mit einem Geräusch.“ Hierin muß man STUMPF sicherlich zustimmen. Wenn man in der Definition unter gleichzeitigen Tönen gleichzeitige Tonempfindung versteht, und zwar von nicht beschränkter Dauer, relativ oder absolut frei von Schwebungen, verhältnismäßig nicht allzu schwer analysierbar, so muß man die Definition verwerfen. In der Tat stellt sich STUMPF die Töne im obigen Beispiel analysiert vor. Was sollte der Ausdruck „in der Vorstellung hinzufügen“ sonst für einen Sinn haben: Analyisierte gleichzeitige Töne sind sicher kein Geräusch. Wenn man aber unter gleichzeitigen Tönen physikalische Töne versteht (und STUMPF selber tut dies in seiner Diskussion des HELMHOLTZ'schen Versuchs mit Niederdrücken einer ganzen Klavieroktave), so läßt sich die Definition in der modifizierten Form, die ich ihr oben gegeben habe, sehr wohl halten, gilt aber nicht für alle Geräusche, da man Geräusche auch noch auf andere Weise hervorbringen kann. Psychologisch wichtig ist der Umstand, daß wir dann nicht nur gleichzeitige Tonempfindungen haben, sondern auch einen raschen Wechsel der Empfindungen. Dies führt uns zu der zweiten Definition des Geräusches, die STUMPF diskutiert.

„Geräusche sind sehr zahlreiche, sehr schnell aufeinanderfolgende Töne verschiedener Höhe.“ (Tonpsychologie II, 508.) Diese Ansicht hält STUMPF für ganz undurchführbar. „Wir können ja den schnellsten Wechsel von Tönen herstellen, wenn wir mit dem Finger über die Tasten streichen oder auf einer Violinsaite stetig hinaufrutschen oder den eine gedackte Pfeife verschließenden Pfropfen hin- und herschieben. — Wenn man will, kann man freilich jede stetig veränderliche Tonhöhe ein Geräusch nennen, entgegen dem gewöhnlichen Sprachgebrauch; ebenso wie manche Vertreter der vorangehenden Definition kurzweg jede unanalyisierte Vielheit von Tönen ein Geräusch nennen, auch wenn der gewöhnliche Mensch dagegen protestiert.“

Dem letzten Argument konnten wir uns schon oben durchaus nicht anschließen; denn der gewöhnliche Mensch protestiert gar nicht dagegen, daß man ein Gehörspheänomen, aus dem er schlechterdings keine bestimmte Tonhöhe heraushört, ein Geräusch nennt. Nicht mehr überzeugend ist das gegen die zweite Definition gerichtete Argument. Der Fehlschluß ist ähnlich, als wenn jemand beweisen wollte, daß ein Kreis kein Kegelschnitt sei, indem er einen Kegel zerschneidet und aufzeigt, daß der Schnitt in diesem speziellen Falle eine Ellipse ist. Eine stetig veränderliche Tonhöhe nennt der gewöhnliche Sprachgebrauch freilich nicht unter allen Umständen ein Geräusch; aber nennt er sie denn einen Ton? Er hat einen anderen sehr bezeichnenden Namen dafür. Wir müssen uns jedoch etwas genauer ausdrücken. Für eine stetig, aber verhältnismäßig langsam sich verändernde Tonhöhe hat der Sprachgebrauch überhaupt keine besondere Bezeichnung; er beschreibt sie mit den Worten, mit denen wir sie soeben beschrieben haben. Dagegen hat er eine Bezeichnung für eine Tonhöhe, die sich ziemlich schnell verändert, so schnell, daß zu keiner Zeit ein bestimmtes Tonhöhenexistentialurteil möglich ist. Wenn die Veränderung sich sehr schnell vollzieht, können wir sogar auf die Bedingung der objektiven Stetigkeit verzichten. Man nennt eine solche Empfindung ein Geheul. Doch die folgende Bedingung muß noch erfüllt sein, um von einem Geheul sprechen zu können: Die Veränderung muß während einer genügend langen Zeit in derselben Richtung geschehen, um ein Urteil über die Richtung möglich zu machen; in objektiver Hinsicht bedeutet das, da die Veränderung ja sehr schnell geschieht, daß sie sich während der in Frage kommen-

den Zeit über eine beträchtliche Tonregion erstrecken muß. Wenn aber eine solche schnelle Tonhöhenveränderung — stetig oder unstetig, das macht nun keinen Unterschied — bald in der einen, bald in der anderen Richtung geschieht und dieser Richtungswechsel so häufig ist, daß wir in keinem Zeitmoment über die jeweilige Richtung der Veränderung zu urteilen vermögen, dann nennt der gewöhnliche Mensch das weder einen Ton noch ein Geheul, sondern — ein Geräusch.

Wir können daher diese zweite, von STUMPF ohne hinreichenden Grund verworfene Definition eines Geräusches (wovon ein Geheul nur ein spezieller Fall ist) sehr wohl festhalten. Wir müssen nur im Gedächtnis behalten, daß in dieser Definition unter Tönen subjektive Töne, d. h. Tonempfindungen gemeint sind, und daß ein derartiger stetiger oder unstetiger Wechsel von Tonempfindungen objektiv auf zwei verschiedene Arten hervorgebracht werden kann: durch einen entsprechenden Wechsel objektiver Töne oder durch eine Anzahl gleichzeitiger Töne in Intervallen, die beträchtliche Unregelmäßigkeiten des Klanges bedingen. Die obige Definition schließt natürlich den Fall ein, daß mehrere objektive Vorgänge, von denen bereits jeder einzeln eine Geräuschempfindung veranlassen würde, zugleich bestehen.

Die Definition, zu der wir so gelangt sind, scheint jedoch unvollständig zu sein, da von vielen Seiten behauptet wird, es gebe noch eine dritte Art der objektiven Entstehungsweise von Geräuschen. Nach dieser Ansicht wird eine Geräuschempfindung durch eine einzige das Ohr treffende Luftwelle erzeugt, während zwei oder mehr periodische Luftwellen eine Tonempfindung hervorbringen. Diese Theorie liegt nach unseren Erfahrungen im alltäglichen Leben (z. B. bei dem beliebten Kinderspiel des Zerdrückens einer mit Luft gefüllten Tüte) so nahe, daß man wohl schwerlich einem bestimmten Namen die Urheberschaft zuweisen kann. EXNER hat sie 1876 diskutiert. Besonders ausführlich ist diese Anschauung von BRÜCKE behandelt worden. Die „Höhe“ des Geräusches hängt nach BRÜCKE von der Länge der einfachen Welle ab. Diese Anschauung, daß eine einzelne Welle ein Geräusch hervorbringe, eine Wiederholung solcher Wellen dagegen einen Ton, scheint neuerdings in den Textbüchern mehr und mehr adoptiert zu werden (z. B. in den in Amerika weit verbreiteten Büchern von TITCHENER), keineswegs

jedoch verdientermaßen, wie wir sehen werden. Die mannigfaltigen Experimente, die zum Beweise dieser Anschauung angestellt worden sind und zur Nachprüfung empfohlen werden, beweisen nämlich gar nicht, was sie beweisen sollen.

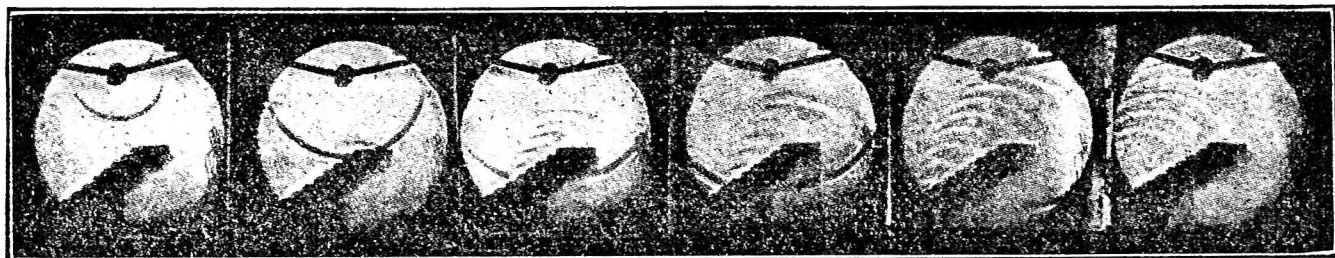
Nach der BRÜCKE'schen Lehre müßte jeder plötzlich entstehende starke Ton im Beginne der Empfindung einen Knall geben. Daß dies der Erfahrung widerspricht, wird jeder ohne weiteres zugeben.

Daß eine einzige Welle keine Tonempfindung hervorbringen kann, ist experimentell bewiesen. Unter diesen Umständen sollte man doch mit sehr mißtrauischen Blicken auf die BRÜCKE'sche Theorie sehen, und eher zu der Annahme neigen, daß eine einzige Welle überhaupt keine Gehörsempfindung irgend welcher Art hervorbringt — es sei denn, daß das Gegenteil überzeugend dargetan werden könnte. Dies ist aber keinem von den Anhängern dieser Theorie gelungen.

Jedermann weiß, daß Schallwellen reflektiert werden; aber wenige denken daran zur rechten Zeit; noch viel geringer ist die Zahl derer, die eine richtige Vorstellung von einem solchen Vorgange haben. Freilich, bei einem ursprünglich periodischen Vorgange kann man Reflexionen fast immer ungestraft vernachlässigen. Sie stören die Periodizität des akustischen Vorganges in den die Tonquelle umgebenden Medien nur ganz im Anfange beträchtlich. Nach sehr kurzer, praktisch zu vernachlässigender Zeit tritt dort eine regelmäßige Periodizität des Vorganges ein. Bei einer einzigen ursprünglichen Welle ist dies anders. Hier veranlassen die Reflexionen in den die Quelle umgebenden Medien so komplizierte Vorgänge, daß sie mit der ursprünglich hervorgebrachten Welle gar keine Ähnlichkeit mehr haben. Selbst unser eigener Körper und seine Teile, namentlich die Knochen und Höhlungen des Schädels sollten hier nicht einfach vernachlässigt werden. Man kann eine einzige Luftwelle überhaupt nicht hervorbringen, ohne daß das innere Ohr von irgend welchen Reflexionswellen getroffen werde. BRÜCKE hat an Reflexionswellen wohl gedacht, glaubte aber beweisen zu können, daß sie bei seinen eigenen Experimenten unwirksam seien. ABRAHAM und BRÜHL (*diese Zeitschrift* 18) haben gezeigt, daß dieser Beweis mißlungen ist, daß BRÜCKE's Instrument viel zu unempfindlich war, um irgend einen Schluß zu gestatten.

Auf der anderen Seite dagegen ist es gelungen, die Existenz

solcher Reflexionswellen in einer so ausgezeichneten Weise zu demonstrieren, daß auch der Taube daran glauben muß. R. W. Wood (*Popular Science Monthly* 57 (4), August 1900) hat eine Anzahl typischer Fälle photographiert, wovon die beigefügte Abbildung eine gute Vorstellung gibt. Doch sollte der Leser,



der an diesen Problemen Interesse nimmt, nicht versäumen, die übrigen Abbildungen im Originale anzusehen. Wenn der Körper, von dem die einzelne Welle reflektiert wird, verhältnismäßig glatt ist, so wird die Welle ziemlich unverändert reflektiert. Aber wie selten ist diese Bedingung in Wirklichkeit erfüllt. Sobald die Welle auf unregelmäßig geformte Oberflächen trifft, wird sie in mannigfaltiger Weise aufgebrochen. An einer Treppe oder einem Lattenzaun wird sie in eine regelmäßige periodische Tonwelle verwandelt. Man kennt die helle, metallisch klingende Empfindung, die jeder Fufstritt verursacht, wenn man in einer stillen Gegend an einem Lattenzaun entlang geht. Die Höhe des Tones ist durch die Schmalheit und den geringen gegenseitigen Abstand der Latten bedingt. Wenn die reflektierende Fläche nicht aus einer Reihe gleichartig gestalteter Körper besteht, sondern unregelmäßig ist, so kommt kein Ton zu stande, sondern ein Geräusch; z. B. das Echo eines Fufstritts oder Händeklatsches, das von einem Walde hervorgebracht wird. Mancher hat sich darüber gewundert, daß ein Echo so häufig höher klingt oder doch eine hellere Klangfarbe besitzt als der Klang, den man hinübergesandt hat. Nichts ist einfacher als die Erklärung dieser Tatsache. Wellen von größerer Wellenlänge werden durch die Zweige der Bäume in Wellen kleinerer Wellenlänge aufgebrochen und kommen so als Echo zurück.

Wenn wir zum Zweck eines Experimentes eine einzelne Luftwelle hervorbringen, so wird unser Ohr tatsächlich von einer großen Zahl von Luftwellen getroffen, die infolge der unregelmäßigen Gestalt der reflektierenden Körper sehr verschiedene Wellenlängen haben mögen. Was sollten wir daher erwarten zu hören? Eine große Zahl sehr schnell aufeinanderfolgender

Töne von verschiedener Tonhöhe, hervorgebracht durch je zwei (oder auch manchmal drei oder mehr) direkt aufeinanderfolgende Reflexionswellen. Und was hören wir tatsächlich? Ein Geräusch — ganz in Übereinstimmung mit der oben vertretenen Theorie der Geräuschempfindungen.

Das Geräusch eines Pistolen- oder Kanonenschusses ist sicherlich nicht der direkte Erfolg der ersten, gewaltigen Luftverdichtung, die der Explosion des Pulvers entspricht. Diese Luftverdichtung ist so unendlich viel stärker als alle die periodischen Änderungen des Luftdrucks, die wir als Töne zu empfinden pflegen, daß wir, wenn sie die direkte Ursache der Knallempfindung wäre, eine Stärke dieser Empfindung erwarten sollten, die alle unsere Einbildung übersteigt. Tatsächlich ist jedoch ein Pistolenschuß durchaus nicht unvergleichlich stärker als die stärksten Tonempfindungen, die wir kennen. Die Explosionswelle selbst ist eben aller Wahrscheinlichkeit nach gar nicht die direkte Ursache der Knallempfindung, sondern die Knallempfindung ist eine Folge der Einwirkung der viel schwächeren unregelmäßigen Reflexionswellen auf das Gehörorgan.

Wir müssen daher die Theorie, wonach eine „reine“ Geräuschempfindung durch die Einwirkung einer einzigen Luftwelle hervorgebracht wird, beiseite legen. Diese Theorie hat einen zu geringen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich und wird durch die Tatsachen nicht gefordert.

Wir haben uns nun der Frage zuzuwenden, ob für Geräuschempfindungen ein besonderes Sinnesorgan anzunehmen ist, oder ob das bekannte Gehörorgan, die Schnecke, auch den Geräuschempfindungen zu dienen vermag. Natürlich werden wir solch ein hypothetisches Geräuschorgan nur dann annehmen, wenn eine befriedigende Erklärung des Zustandekommens der Geräuschempfindungen auf andere Weise unmöglich ist. Daß sie unmöglich ist, ist von verschiedenen Seiten behauptet worden; doch nur von denjenigen, die das Gehörorgan in der Schnecke für ein Resonatorensystem halten. Von diesem Standpunkte aus kann man freilich die außerordentlichen Unregelmäßigkeiten der Gehörsempfindung, die wir oben diskutiert haben (z. B. beim Niederdrücken aller Tasten einer Klavieroktave) nicht erklären. Indessen, dieses ungemein schnelle Auftreten und Verschwinden der Primär- und Differenzöne ist eine Tatsache; und wir haben nicht die Tatsachen der Theorie, sondern die Theorie den Tat-

sachen anzupassen. Die Erklärung dieser Tatsache ist einfach genug, sobald wir die Resonatorenhypothese aufgeben. Wenn wir annehmen, daß irgend zwei direkt aufeinanderfolgende auf irgend einen sensibeln Punkt des Gehörorgans ausgeübte Drucke eine Tonempfindung verursachen können (ich sage absichtlich nicht: unter allen Umständen müssen), so begreift sich die Komplexität der Empfindung sogleich aus der Komplexität der Weise, in welcher die Reizungen, die physikalischen Druckänderungen, in einem Falle wie bei der ganzen Klavieroktave, aufeinanderfolgen. Die Resonatorenthorie jedoch, eine Theorie der Auslese bestimmter Resonatoren unter Tausenden durch graduell wachsende Intensität des Mitschwingens der ersteren, kann nicht zugeben, daß irgend zwei aufeinanderfolgende Druckänderungen schon eine Tonempfindung zu verursachen vermögen; wo bliebe sonst das wichtige Prinzip der Auslese. Man nimmt daher dann an, daß das Ohr den verwickelten Vorgang wieder vereinfache, nämlich durch Auflösung der zusammengesetzten Welle nach dem FOURIER'schen Theorem. Eine solche verhältnismäßig einfache Summe von Tonempfindungen kann freilich kein Geräusch sein. Daher nimmt man ferner an, wie z. B. STUMPF in seiner Tonpsychologie, daß es irgendwo ein mysteriöses Sinnesorgan geben müsse, das Geräuschempfindungen „hinzubringe“. Geben wir die Resonatorenthorie auf und entschließen wir uns, im CORTI'schen Organ nichts als eine im wesentlichen an allen Punkten gleichartig funktionierende sensorielle Fläche zu sehen¹,

¹ Daß man den sonstigen Tatsachen auf dem Gebiete der Gehörsempfindungen unter dieser Voraussetzung ebensowohl, ja selbst besser gerecht werden kann, als auf Grund der Resonatorenhypothese, habe ich bereits früher in dieser Zeitschrift und anderwärts gezeigt; wenn auch die von mir entwickelte Theorie des Hörens sich noch in einem sehr unvollkommenen Stadium befindet.

Nach HENSEN (Das Verhalten des Resonanz-Apparates im menschlichen Ohr. *Sitzungsberichte d. Akad. d. Wiss. Berlin* 38, 904—914. 1902) wird das Vorhandensein eines Resonanzapparates im Ohr dadurch bewiesen, daß ein Ton, der nur durch zwei gleichstarke Luftstöße hervorgebracht wird, sehr schwach ist; stärker, wenn drei, vier oder mehr Stöße wirksam sind. Wie man aus dieser Erfahrung auf das Vorhandensein eines Resonanzapparates schließen kann, ist nicht ganz klar. Bisher hat man noch stets, auf allen Sinnesgebieten, angenommen, daß die Intensität einer physiologischen Erregung in einem Sinnesorgan mit einer praktisch unendlich kleinen GröÙe beginnt und anwächst, bis sie die dem Reize entsprechende GröÙe erreicht

so sind wir zu der Annahme eines gänzlich unbekannten Geräuschorgans nicht länger gezwungen. Die verwickelte Weise, in der die Druckänderungen einander folgen, läßt uns dann erwarten, sehr viele sehr schnell aufeinanderfolgende Töne zu empfinden, was mit der oben entwickelten psychologischen Theorie der Geräusche übereinstimmt. Die Hypothese eines besonderen Geräuschorgans ist also überflüssig.

Einen Einwand, den man gegen die obige Theorie der Geräuschempfindungen machen könnte, will ich hier noch kurz erwähnen. Man findet nämlich experimentell, daß verschiedene sehr schnell aufeinanderfolgende Töne (ähnlich Akkorde von extrem kurzer Dauer) jemandem, der an die Beobachtung solcher Phänomene noch nicht hinreichend gewöhnt ist, mehr geräuschartig erscheinen und längere Zeit hindurch noch als Geräusche beurteilt werden, wenn die die Gehörsempfindung zusammensetzenden Töne (ich meine Tonempfindungen, nicht physikalische Töne) dissonant sind, als wenn sie konsonant sind. Dies darf uns jedoch nicht verführen, die Bedingung der Dissonanz in unsere Theorie der Geräuschempfindungen aufzunehmen. Die Verwandtschaft der Töne ist ein ausgezeichnetes Hilfsmittel für manche psychische Prozesse wegen ihres günstigen Einflusses auf die den verschiedenen Tonempfindungen zuzuwendende Aufmerksamkeit. Wir müssen daher erwarten, daß wir eine Reihe dissonanter Töne länger als geräuschartig beurteilen, eine Reihe konsonanter eher als eine tonale Empfindung, nicht direkt wegen der Konsonanz oder Dissonanz, sondern wegen des Einflusses der Konsonanz auf die Aufmerksamkeitsvorgänge.

Noch eine Frage bleibt uns zu erörtern. Wir haben ein Geräusch definiert als eine Reihe von Tonempfindungen unter Bedingungen, die das Zustandekommen eines bestimmten Tonhöhen-Existentialurteils unmöglich machen. Widerspricht nun

hat, um dann diese Größe, falls keine Erschöpfung eintritt, bis zum Aufhören des Reizes zu behalten. Aus dieser Tatsache des Anwachsens der Intensität einer Empfindung in den ersten Augenblicken hat doch noch niemand auf das Vorhandensein eines Resonanzapparates in anderen Sinnesorganen geschlossen; z. B. im Auge. Warum denn im Ohr? Wahrscheinlich, weil man von vornherein an die Existenz dieses Resonatorenapparates im Ohr glaubt. Jenes Anwachsen der Intensität der Empfindung in den ersten Augenblicken der Reizung dürfte wohl eine allgemeine Eigenschaft des Nervensystems sein, die für die Art der in Frage kommenden mechanischen Vorgänge im Sinnesapparat gar nichts beweist.

nicht dieser Definition die Tatsache, daß man bei zwei reinen Geräuschen das eine als höher (heller), das andere als tiefer (dumpfer) zu beurteilen vermag? Ich denke nicht, daß hier ein Widerspruch besteht; denn solche Urteile beziehen sich nicht auf die Tonhöhe, sondern auf die Klangfarbe.

Wie STUMPF, dem ich mich hier anschliesse, zuerst gezeigt hat, besitzen einfache Töne zwei den Schwingungszahlen parallel laufende psychologische Merkmale: Tonhöhe und Tonfarbe (Pitch und Quality in englischer Terminologie). Die Tonhöhe scheint aus dem Bewußtsein austreten zu können, ohne daß dies auch mit der Tonfarbe desselben Tons zu geschehen braucht. Auf diese Weise kann man z. B. die Eigentümlichkeiten sehr hoher und sehr tiefer Töne, das Phänomen der Klangfarbe bei zusammengesetzten Klängen, und mancherlei andere Erscheinungen erklären.¹ Eine einfache Konsequenz dieser Theorie ist die Annahme, daß solche Reihen von Tonempfindungen, die wir Geräusche nennen, weil wir keine bestimmte Tonhöhe heraus hören können, doch die Ursache eines Klangfarbenurteils sein können, das wir dann mit den Worten ausdrücken, das Geräusch sei höher oder heller als ein anderes.

¹ Weitere Einzelheiten findet man in meiner Abhandlung: Über Beurteilung zusammengesetzter Klänge, *diese Zeitschrift* 20, S. 13—33. 1899 und: Die Tonpsychologie etc., *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 1. 1899. Die letztere Abhandlung ist mit Beziehung auf dies spezielle Problem etwas ausführlicher.

(Eingegangen am 26. November 1902.)
