© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

so hat jene Annahme nicht viel Wert; zudem gibt es noch eine Anzahl anderer Elemente mit hohem Atomgewicht, ohne dass diese aktiv wären.

Rätsel gibt es also auf diesem Gebiete noch genug zu lösen; doch werden wir vielleicht gerade diesem Umstand noch manche Bereicherung unseres Wissens zu verdanken haben.

Die Schallphänomene auf der Treppe zur Walhalla.

Von **M. Lagally**, k. Gymnasialprofessor.

Die akustischen Erscheinungen, welche an Gebäude gebunden sind, wurden bisher wissenschaftlich wenig untersucht, obwohl sie durchaus nicht selten, manche von ihnen allgemein bekannt und seit alters berühmt sind. Die Memnon-Säule erklang, sobald der erste Sonnenstrahl auf sie fiel; an das Ohr des Dionysius in den Latominen von Syrakus, wie an die verwandten Flüsterwinkel in mittelalterlichen Kirchen knüpfen sich unheimliche Sagen; auch in unserer Zeit kann sich Niemand ganz dem Eindruck entziehen, welchen der dumpfe Nachhall in einer Kirche oder Gruft oder das feierliche Dröhnen, welches jedes Geräusch in einem hochgewölbten Raum begleitet und vervielfältigt, auf unser Gemüt ausüben. Solche Erscheinungen sind gewissermassen accidentielle Eigenschaften, welche im Verein mit andern den in Stein ausgeführten Gedanken des Künstlers mit individuellem Leben erfüllen.

Schallphänomene treten auch auf dem grandiosen Treppenbau auf, welcher zur Walhalla bei Regensburg hinaufführt. Am auffälligsten sind sie auf der zweiten Treppe, welche aus 2 einander gegenüberliegenden Fluchten von je 56 Stufen besteht, die längs einer vertikalen Wand von ca. 8 Meter Höhe in divergierender Richtung zum nächsten Absatz emporführen. Jedes Geräusch, der Schall der Fusstritte, das Aufstossen des Spazierstockes ruft einen nicht leicht zu beschreibenden Wiederhall, ein nachtönendes Klingen hervor, am ehesten noch dem Schall vergleichbar, welcher entsteht, wenn man einen Stein über eine dünne Eisfläche gleiten lässt. Man kann diese

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Erscheinung wohl als „tönendes Echo“ bezeichnen. Während dieser Teil der Erscheinung jedem Besucher auffällt, bleibt ein anderer in der Regel unbeachtet. Bei einiger Aufmerksamkeit bemerkt man, dass in dem tönenden Echo ein musikalischer Ton von ganz bestimmter Höhe vorherrscht; gibt man diesen Ton mit einer Pfeife an, oder singt man ihn, so antwortet die Treppe, es kommt derselbe Ton auffällig stark und rein und lang andauernd zurück; erst nach 3—4 Sekunden ist er, allmählich abschwellend, ganz verklungen. Charakter und Klangfarbe erinnern an den eines angeschlagenen Glases. Auch die nächsthöhere und nächstniedrigere Oktave dieses Tones, sowie die Quinte, bringen ähnliche, wenn auch schwächere Wirkungen hervor. Singt man aber einen andern Ton, so verhallt er vollkommen wirkungslos.

Zur Erklärung dieser Erscheinung muss man zunächst auf ganz bekannte Dinge zurückgreifen.

Wenn irgend eine Schallwelle eine ebene Fläche trifft, so wird sie von ihr reflektiert. Ein Bild dieses Vorgangs gibt jede Wasserwelle, welche an den begrenzenden Rand stösst und dann in bekannter Weise zurückgeht. Wenn die reflektierende Fläche dem Beobachter so nahe ist, dass das Bewusstsein nicht imstande ist, den ursprünglichen Schall und den wiederkehrenden auseinander zu halten, so entsteht der Nachhall, der schon in einem mässig grossen leeren Zimmer merklich auftritt und in akustisch schlecht gebauten Räumen sich sehr störend bemerkbar macht. Ist aber der Abstand der reflektirenden Fläche grösser, sodass vom Moment der direkten Schalleinwirkung bis zur Wiederkehr des reflektierten Schalles mindestens 0,1 Sekunde verfliesst, so entsteht das Echo, eine der bekanntesten Naturerscheinungen.

Nehmen wir an, es würde vor der einen der oben geschilderten Treppenfluchten von 56 Stufen eine einzelne Schallwelle erzeugt, so wird diese von der vertikalen Wand einer jeden Stufe zurückgeworfen. Es entstehen also 56 reflektierte Wellen. Diese aber — das ist die Hauptsache — treffen nicht gleichzeitig das Ohr, sondern in regelmässigen Intervallen nach einander. Die Breite einer jeden Stufe beträgt nämlich ungefähr 31,5 cm. Wenn also die ursprüngliche Welle die vertikale Wand einer Stufe trifft und von ihr reflektiert wird, so trifft sie nicht zugleich auch die vertikale Wand der nächsthöheren Stufe, sondern sie muss noch einen Weg, der gleich der Stufen-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

breite ist, also 31,5 cm beträgt, zurücklegen. Inzwischen aber wurde der Teil der Welle, welcher die untere Stufe traf, bereits reflektiert und da nach den Gesetzen der Reflexion die zurückgeworfene Welle sich mit derselben Geschwindigkeit bewegt, wie die ursprüngliche, so hat die von der unteren Stufe reflektierte Welle bereits einen Weg von 31,5 cm nach rückwärts in dem Moment zurückgelegt, in welchem die ursprüngliche Welle die nächsthöhere Stufe trifft und an ihr zur Reflexion gelangt. Die von der oberen Stufe reflektierte Welle folgt also der von der unteren Stufe reflektierten in einem Abstand von 31,5 cm + 31,5 cm oder 63 cm nach. Es wird also die ursprüngliche Welle durch Reflexion an den 56 Stufen in 56 reflektirte Wellen zersplittert, welche in regelmässigen Abständen von 63 cm aufeinander folgen.

Wenn aber Luftwellen in gleichmässigen Abständen das Ohr treffen, so erregen sie im Bewusstsein die Empfindung eines musikalischen Tones, dessen Höhe von der Anzahl der Wellen abhängt, die in einer Sekunde das Ohr treffen. Nach Beschluss einer internationalen Konferenz vom Jahr 1885 entsteht der Ton, welchen der Musiker mit a_1 bezeichnet und welchen jede Stimmpfeife angibt, wenn in der Sekunde 435 Luftwellen das Ohr treffen. Die Schallgeschwindigkeit, das heisst die Geschwindigkeit, mit welcher sich jede Luftwelle fortbewegt, beträgt durchschnittlich 335 m in der Sekunde. Da nun in unserm Fall die Wellenlänge 63 cm beträgt, so treffen in der Sekunde ca. 350 Wellen das Ohr; dieser Schwingungszahl von 350 Wellen in der Sekunde entspricht ziemlich genau der Ton, welchen der Musiker mit c_2 bezeichnet.

Man hat also bisher das Resultat: Wenn eine einzelne Luftwelle die Treppe trifft, so wird sie von den einzelnen Stufen nach einander reflektirt; es entsteht dadurch eine Wellenreihe, welche dem Ton c_2 entspricht.

Der ganze Vorgang lässt sich durch folgendes Gleichnis in einfacher Weise veranschaulichen: Nehmen wir an, wir hätten eine Reihe von Soldaten, welche bis zu einer vor ihnen befindlichen Linie hin und zurücklaufen sollen, so haben wir das Bild einer von einer ebenen Fläche reflektierten Welle; wenn aber vor dieser Reihe von Soldaten Pflöcke in einem Abstand von je 31,5 m hintereinander angebracht sind, und wenn der erste Soldat der Reihe bis zum ersten Pflock hin und dann zurücklaufen soll, der 2. bis zum 2. Pflock und dann zurück u. s. w., so sieht man, dass sich die ursprüngliche Reihe von neben-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

einanderbefindlichen in eine Reihe von hintereinander laufenden Soldaten auflöst, deren Abstand je 2 mal 31,5 m oder 63 m beträgt. Diese Reihe stellt uns dann eine Wellenreihe vor, die einen musikalischen Ton ergibt.

Der so entstehende Ton würde sehr kurz sein, denn es entstehen ja nur 56 reflektierte Wellen, deren Länge je 63 cm beträgt. Also hat die entstandene Wellenreihe eine Länge von 56 mal 63 cm oder circa 35 m. Da die Schallgeschwindigkeit ca. 335 m beträgt, so verläuft der Ton in ca. 0,1 Sekunde. Ferner würde, abgesehen davon, dass es kaum möglich ist, eine einzelne Luftwelle zu erzeugen, wie ja auch nach der Erfahrung keine einzelne Wasserwelle entstehen kann, der durch Reflexion auftretende Ton auch so schwach sein, dass unsere Gehörorgane ihn nicht wahrnehmen könnten.

Wenn man aber einen Ton, der dieselbe Höhe hat, wie der auf diese Weise durch Reflexion entstandene, selbst erzeugt, indem man ihn mit Hilfe eines Instrumentes oder durch die menschliche Stimme angibt, so wird dadurch primär eine Reihe von Wellen hervorgerufen, deren Länge je 63 cm beträgt. Jede von diesen primären Wellen wird von den Stufen in eine Reihe von Wellen zersplittert, deren Abstand wieder je 63 cm beträgt. Der von einer Stufe reflektierte Teil der 1. primären Welle trifft zusammen mit dem von der nächstniedrigen Stufe reflektirten Teil der 2. primären Welle, ebenso mit dem von der zweitniedrigeren Stufe reflektierten Teil der 3. primären Welle u. s. w.; es resultiert daraus für das Ohr ein Ton von derselben Höhe und ein kräftiger, allmählich verklingender Nachhall, der solange dauert, bis der von der äussersten Stufe reflektierte Teil der letzten Welle das Ohr erreicht; es dauert das Abschwellen des Tones ebenso lang, als der von einer einzigen Luftwelle erzeugte Ton.

Auch dieser Vorgang kann durch das oben gebrauchte Bild veranschaulicht werden. Nehmen wir an, wir hätten nicht eine, sondern 2 Reihen von Soldaten in einem Abstand von 63 m hintereinander, denen dieselbe Aufgabe gestellt wäre, dann würde beispielsweise der Soldat der 1. Reihe, welcher bis zum 5. Pflock läuft, bei der Rückkehr zusammentreffen mit demjenigen Soldaten der 2. Reihe, welcher bis zum 4. Pflock zu laufen hatte; und man sieht, dass sich daraus eine Reihe von Soldaten ergeben würde, welche je zu zweien in einem Abstand von

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

63 m hintereinander laufen würden. Hätte man statt der ursprünglichen 2 Reihen, deren 3, so würde jedes Glied der zurückkehrenden Reihe aus je 3 Soldaten bestehen. Jedoch würden im vorletzten Glied nur noch zwei, im letzten nur noch 1 Soldat vorhanden sein. Dadurch ist das allmählige Abklingen des Tons veranschaulicht.

Wird aber vor der Treppe irgend ein anderer Ton erzeugt, dessen Höhe in keinem einfachen Verhältnis zur Höhe des von der Treppe hervorgebrachten Tones steht, so fallen die von den einzelnen Stufen reflektierten Teile der einen Welle nicht mehr zusammen mit den entsprechenden Teilen einer andern Welle; die reflektierten Wellenteile verstärken sich nicht gegenseitig, sondern vernichten sich; es kann also keinerlei Art von Nachwirkung entstehen.

Bisher war immer nur von einer einzigen Stufenreihe die Rede. Wenn aber dieser eine 2. ebenso konstruirte gegenübersteht, so spielt die erste die Rolle des Tonerregers für die 2. Die 2. nimmt den von der 1. Stufenreihe in der oben auseinandergesetzten Weise erzeugten Ton und Nachhall auf und gibt ihn ebenso wieder zurück. So schwingen beständig die Wellen von einer Stufenreihe zur andern bis sie durch die bei jeder Reflexion auftretenden Verluste allmählich zerstört werden. So entsteht der lange nachklingende Hall des gesungenen Tones. 4 Sekunden lang kann nach der Beobachtung der Nachhall dauern. In dieser Zeit würde der Schall einen Weg von 4×335 m oder 1340 m zurücklegen. Nimmt man als mittlere Entfernung der beiden Stufenreihen 30 m an, so ergibt sich, dass die Schallwelle im Mittel ca. 40 mal reflektiert wird, bis sie erstirbt. Für das Zusammenhalten der Schallwellen ist die vertikale Mauer, welche die beiden Stufenreihen nach einer Seite abschliesst, jedenfalls von grosser Bedeutung.

Es ist besonders darauf aufmerksam zu machen, dass die oben auseinandergesetzte Theorie mit den Resultaten der Beobachtung übereinstimmt. Es wurde durch Berechnung gefunden, dass die Treppe durch Reflexion den Ton c_2 hervorbringen muss; gibt man diesen Ton nun thatsächlich an, so antwortet die Treppe in der oben geschilderten Weise; auch der um eine Oktave niedrigere Ton c_1, welcher im Bereich des Umfangs fast einer jeden Singstimme liegt, hat dieselbe Wirkung; jeder andere Ton aber verhallt wirkungslos.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Bisher wurden die Erscheinungen besprochen, welche sich ergaben, wenn derjenige Ton angegeben wird, auf welchen, wenn man so sagen darf, die Treppe abgestimmt ist; es wurde auch gezeigt, dass ein anderer Ton keine Wirkung hervorbringen kann. Man kann nun sogleich auch die Wirkungen angeben, welche irgend ein Geräusch hervorbringen muss.

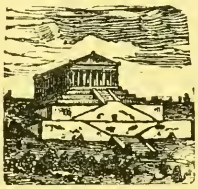
Während der musikalische Ton durch eine Reihe von gleichlangen Wellen gebildet wird, treten in einem Geräusch Wellen von allen möglichen Längen auf, oder in einem Geräusch sind alle möglichen Töne, hohe und tiefe, in disharmonischer Weise mitsammen verbunden Die Wellenreihe, welche in einem Teich entsteht, wenn man einen kleinen Stein hineinwirft, gibt ein Bild des musikalischen Tones: wirft man aber Steine von allen möglichen Grössen mitsammen auf den Spiegel des Wassers, so entstehen sich durchkreuzende Wellen von allen möglichen Längen; der Wasserspiegel bewegt sich in vollkommen unregelmässiger Weise und man hat das Bild eines Geräusches.

Aus dem Gewirr von Tönen, die in einem Geräusch enthalten sind, trifft nun die Treppe eine Auslese. Derjenige Ton, auf welchen die Treppe abgestimmt ist, sowie seine nächsthöhere und nächstniedrigere Oktave werden erhalten; alle die übrigen zahllosen Töne werden zerstört; sie verhallen ebenso wie in freier Luft. Es folgt also jedem Geräusch ein Nachklingen, welches aber nur den Eigenton der Treppe und seine Oktaven enthält, oder jedes Geräusch bringt ein tönendes Echo hervor. Auf diese Weise erklärt sich die jedem Besucher auffällige Erscheinung.

Der sich abspielende Vorgang ist ungefähr derselbe, wie wenn man Wasser in eine oben offene Röhre schüttet. Auch in diesem Falle entsteht durch das Aufklatschen des Wassers in der Röhre ein Gewirr von Tönen oder von Wellen aller möglichen Längen; aber nur diejenigen werden erhalten und durch die Resonanz der Luftsäule verstärkt, deren Länge in einem bestimmten Verhältniss steht zur Länge der Röhre. Auf diese Weise entsteht der bekannte hohle Ton, welcher den geschilderten Vorgang begleitet. Nur ist hier die Tonhöhe keine konstante, sondern eine ansteigende, weil durch das Eingiessen des Wassers die über dem Wasser stehende Luftsäule immer kürzer wird.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Man kann nun wohl sagen, dass unsere Treppe wie ein riesiger Resonanzkasten wirkt, der aber nur auf einen einzigen Ton abgestimmt ist. Sie lässt nur diejenigen Wellen zur Wirksamkeit kommen, welche ihr angepasst sind, alle übrigen werden nach ihrer Entstehung sofort vernichtet. Unwillkürlich drängt sich hier der Vergleich auf mit den Gesetzen, welche für die Existenz der organischen Wesen bedingend sind. Zahllose Keime zu unendlich vielen Wirkungen sind in der Natur gegeben, aber nur ein verschwindender Bruchteil von ihnen kommt zur Entwicklung, diejenigen welche ihrer Umgebung angepasst sind, welche also unter günstigen Existenzbedingungen entstehen; alle übrigen gehen im Kampf ums Dasein zu Grunde. Dieses Gesetz gilt in gleicher Weise für die organische Welt, wie für die unorganische. —



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte des Naturwissenschaftlichen Vereins Regensburg

Jahr/Year: 1901

Band/Volume: 8

Autor(en)/Author(s): Lagally M.

Artikel/Article: Die Schallphänomene auf der Treppe zur Walhalla. 54-60