

SCHALLPHÄNOMENE AUF DEM TREPPENAUFGANG ZUR WALHALLA

von

HELMUTH ACKERMANN*

ZUSAMMENFASSUNG

Im monumentalen Treppenaufgang der Walhalla bei Regensburg treten an den beiden einander gegenüberliegenden Treppen Schallphänomene auf, die LAGALLY (1900) zuerst beschrieben hat. Beim Widerhall von Geräuschen ist ein Ton vorherrschend, der in der Musik dem c^2 entspricht. Dieses Phänomen läßt sich durch die baulichen Besonderheiten der Treppe erklären.

ABSTRACT

In the monumental staircase to the Walhalla-temple near Regensburg a striking acustic phenomena is observed in the two stairs opposite to each other, which was first described by LAGALLY (1900). In the echo a predominate tone can be heard, which is identical to the c^2 in music, due to the particular type of construction of the stairs.

1. EINLEITUNG

In Zusammenhang mit dem vorangegangenen Beitrag von U. ZAHN (1977) wird hier auf ein Schallphänomen aufmerksam gemacht, das von M. LAGALLY (1900) zum erstenmal beschrieben wurde. Weil ein bloßer Nachdruck dieser Schrift nicht mehr geeignet erscheint, dieses akustische Phänomen mit wünschenswerter Deutlichkeit zu erklären, wird in diesem Aufsatz mit entsprechenden Erläuterungen nochmals darauf eingegangen.

2. BESCHREIBUNG DES PHÄNOMENS

Erzeugt man am Treppenaufgang zur Walhalla an den beiden großen einander gegenüberliegenden Treppen mit je 56 Stufen, Geräusche irgendwelcher Art – z.B. durch Händeklatschen, Schreie oder durch laute Schritte – so ertönt ein Widerhall mit einem seltsamen, federnden, leicht metallischen Klang, in dem ein ganz bestimmter Ton dominiert. Mit einer Stimmgabel läßt sich feststellen, daß es sich dabei um den Ton c^2 handelt. Gibt man diesen Ton mit einem Instrument oder durch die menschliche Stimme an, so kommt derselbe Ton rein und stark von der Treppe zurück. Der Nachhall kann bis zu 4 Sekunden dauern. Das gleiche gilt, wenn man die nächst tiefere oder höhere Oktave dieses c^2 angibt, allerdings ist der Nachhall dann nicht so stark. Gibt man dagegen einen halben Ton tiefer oder höher (h^1 oder cis^2) an, so wird man erstaunt sein, daß die Treppe mit keinem Nachhall antwortet.

3. PHYSIKALISCHE ERKLÄRUNG DES EFFEKTES

Trifft eine Schallwelle oder allgemein ein Geräusch auf eine Wand, so werden diese an der Wand reflektiert. Darauf beruhen die Erscheinungen des Echos und des Nachhalls. Der Nachhall ist besonders deutlich in leeren Kirchen und Gewölben festzustellen. In sehr großen und hohen Räumen wirkt sich dieser Effekt z.B. beim Sprechen sehr nachteilig aus, da entstehende und reflektierte Schallwellen miteinander so interferieren können, daß einzelne Worte nicht mehr zu verstehen sind.

*) Dr. Helmuth Ackermann, Staatl. Forsch. Inst. f. angew. Mineralogie, Kumpfmühler Str. 2, 8400 Regensburg

Durch besondere Bauweise kann man auch ganz bestimmte Reflexionsverhältnisse hervorrufen. Geht der Schall z.B. von einem Brennpunkt einer Ellipse aus, so verläuft er, durch die geometrischen Verhältnisse bedingt, im zweiten Brennpunkt der Ellipse wieder zusammen. Darauf beruhen die früher beliebten Flüstergewölbe (WESTPHAL, 1970).

Bei der Walhallatreppe wird eine Schallwelle nicht an einer glatten Wand reflektiert, sondern an den senkrechten Setzstufen von 56 einzelnen Stufen. Es entstehen somit 56 Reflexionen, die nacheinander unser Ohr treffen. Die Wegdifferenz dieser reflektierten Wellen beträgt jeweils 2 mal die Breite der einzelnen Stufen. Während nämlich ein Teil der Schallwelle an der untersten Stufe reflektiert wird und bereits zurückläuft, hat der nächste Teil noch eine Stufe zurückzulegen, bis ebenfalls Reflexion stattfindet. Das gleiche trifft für die übrigen Stufen zu. Treffen an unser Ohr Schallwellen von einer ganz bestimmten Periodizität, dann werden diese Wellen als musikalischer Ton empfunden.

3.1 BERECHNUNG DER FREQUENZ DES TREPPENTONS

Die Breite der Treppenstufen variiert zwischen 0,31 und 0,32 m. Im Mittel liegen die Stufenbreiten bei 0,315 m. Die Frequenz der von der Treppe reflektierten Schallwellen läßt sich aus folgender Formel berechnen:

$$v = n \cdot \frac{c}{2l}$$

v = Schwingungszahl (Hz · m/sec)

c = Schallgeschwindigkeit in Luft
bei 0°C = 331,5 m/sec
bei 20°C = 340,0 m/sec

l = Breite der Treppenstufen (m)

n = Maß für die Oberschwingungen (hier $n = 1$ für Grundton)

Daraus ergibt sich für den Treppenton eine Frequenz von 526 – 540 Hz (für Temperaturen von 0 – 20°C).

Legt man dem Kammerton a^1 eine Schwingungszahl von 440 Hz zugrunde (internationale Übereinkunft von 1939), so ergeben 526 bzw. 540 : 440 ziemlich genau das Verhältnis 6 : 5 welches nach den Gesetzen der Akustik dem Intervall einer kleinen Terz und somit dem Ton c^2 entspricht (KOHLRAUSCH, 1955).

Neben diesem Grundton c^2 (Eigenfrequenz der Treppe) können im Nachhall auch alle Töne enthalten sein, deren Schwingungsverhältnisse in ganzen, einfachen Zahlenverhältnissen zueinander stehen wie z.B. 2 : 1 (Oktave) oder 3 : 2 (Quinte) usw. (GRABNER, 1959).

Bei den Reflexionen werden aus einem Geräusch, in dem alle Frequenzen enthalten sind, jene herausortiert, die zu den Eigenfrequenzen der Treppe in harmonischen Beziehungen stehen. Alle anderen Frequenzen werden durch Interferenz ausgelöscht. Aus diesem Grund werden dann auch die z.B. eingangs erwähnten Töne h^1 oder cis^2 , die dem Grundton c^2 in Verhältnissen wie 15 : 16 bzw. 16 : 15 stehen, keine Reflexion hervorrufen und wirkungslos verhallen.

3.2 BERECHNUNG DER ZEITDAUER DES TREPPENTONS

Der durch ein Geräusch (Händeklatschen usw.) hervorgerufene Schalleffekt ist sehr kurz. Es entstehen insgesamt 56 Wellenreihen von jeweils der doppelten Treppenbreite von 0,63 m, also insgesamt ca. 35 m. Bei einer mittleren Schallgeschwindigkeit in Luft von 335 m pro sec entspricht der Effekt einer Dauer von 0,1 sec. Die Wellenreihen werden zwar an der gegenüberliegenden Treppenseite wiederum reflektiert usw., aber durch die Reflexionsverluste ist der Nachhall bald verschwunden, zumal aus dem erzeugenden Geräusch nur ganz bestimmte Frequenzen verwendet werden.

Einen besseren Effekt erzielt man, wenn man den Ton, der dieselbe Höhe hat wie der an der Treppe durch Reflexion entstandene, selbst erzeugt, entweder durch ein Instrument oder durch die menschliche Stimme (LAGALLY 1900). Hierbei werden sich ankommende und reflektierte Wellen verstärken, und der Nachhall ist bis zu einer Dauer von 4 Sekunden zu vernehmen.

4. SCHLUSSBETRACHTUNG

Dieser Schalleffekt an der Treppe der Walhalla ist zwar eine Attraktion, doch theoretisch sind solche Phänomene an allen Treppen zu erwarten, die zwei Bedingungen erfüllen: erstens exaktes Gegenüberliegen der beiden Treppenreihen und zweitens keine Treppenabsätze zwischen den einzelnen Stufen, da sonst kein reiner Ton entstehen kann. Diese beiden Bedingungen sind bei den meisten bekannten Treppen nicht zugleich erfüllt, so daß der Effekt an der Walhalla-Treppe etwas Besonderes darstellt.

Die ca. 8 m hohe vertikale Wand längs der beiden gegenüberliegenden Treppen dürfte gleich zwei Funktionen ausüben, einmal ist sie eine natürliche Begrenzung der Schallwellen, und zum anderen wirkt sie wie ein Resonanzkasten. Gerade entlang dieser Wand sind die beschriebenen Schalleffekte am deutlichsten ausgeprägt.

LITERATUR

GRABNER, H. (1959) Allgemeine Musiklehre. Bärenreiter-Verlag, Kassel und Basel

LAGALLY, M. (1900) Die Schallphänomene auf der Treppe zur Walhalla. Berichte des Naturwiss. Vereins Regensburg, Heft VIII.

KOHLRAUSCH, F. (1955) Praktische Physik. Teubner Verlag, Stuttgart

WESTPHAL, W.H. (1970) Physik – ein Lehrbuch.
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

ZAHN, U. (1977) Walhalla und Bräuberg – Vorstellung und Wirklichkeit einer Landschaftsgestaltung. Acta Albertina Ratisbonensia, Bd. 37

