

federnder folcher Contacte befindet) geschlossen werden und dadurch die Läutewerke in Thätigkeit setzen. Während der gewöhnlichen Benutzungszeit der betreffenden Räume (während der Geschäftsstunden etc.) sind die Contacte durch nicht sichtbar angebrachte Arretirungen außer Function zu setzen.

Ein hierher gehöriger Apparat ist der verbesserte Feuer- und Einbruch-Avifeur von *Peter Baumbach* in Wien⁵⁰⁾.

Das hörbare Signal kann durch ein optisches ersetzt werden. Es ist dies besonders dann zweckmäsig, wenn das Wachtlocal im Inneren sich befindet, in welchem Falle Diebe durch das Geräusch eines Alarm-Signals verfeucht werden können.

Beim Apparat von *Henry Diggins & Adolph Glück* in London⁵¹⁾ erfolgt das Signal durch eine gefärbte Glascheibe, welche vor das Licht von im Wachtlocal oder außen am Gebäude gut sichtbar angebrachten Lampen fällt und dasselbe verändert.

2. Kapitel.

Anlagen zur Erzielung einer guten Akustik.

VON AUGUST ORTH.

In dem am Schluffe des vorliegenden Kapitels angefügten Literaturverzeichniss ist nur ein Theil dessen aufgenommen, was in Betreff der Akustik der Räume veröffentlicht worden ist. Die älteren Publicationen (vor 1810) spiegeln wesentlich nur die Unklarheit auf diesem Gebiete wieder; eine Analyse ihres Inhaltes ist in der Schrift von *C. F. Langhans* »Ueber Theater oder Bemerkungen über Katakustik (Berlin 1810)« enthalten. Diese Schrift ist auf dem Gebiete der Akustik grundlegend gewesen, und es bestätigen desselben Verfassers im Jahre 1860⁵²⁾ mitgetheilten fünfzigjährigen Erfahrungen das Gesagte.

30.
Vor-
bemerkung.

Wie weit noch jetzt in diesen Fragen der Zufall spielt, beweist recht schlagend *Garnier*, der Architekt der großen Oper in Paris, in seiner Schrift »*Le théâtre*« (Paris 1871), wofelbst (S. 211 bis 219) er sagt: „... *il faut bien que j'explique que je n'ai eu aucun guide, que je n'ai adopté aucun principe, que je ne me suis basé sur aucune théorie, et que c'est du hasard seul que j'attends ou l'insuccès ou la réussite*“ ...

Alle wissenschaftlichen Werke, wie die von *Tyndall* und *Helmholtz*, alle Schriften von *Langhans* und *Orth* auf dem Gebiete der praktischen Akustik, so wie jene Mittheilungen, welche *Haage* über die im Auftrage des Präsidenten der Vereinigten Staaten von *Captain Meigs*, Professor *Bache* und *J. Henry* angestellten Versuche anführt, thun überall die Gesetzmäßigkeit der Schallbewegung dar, weisen nach, wie die schädlichen und nützlichen Schallwirkungen durchweg auf den rein physikalischen Gesetzen beruhen und nur danach zu beurtheilen sind; Interferenz-Erscheinungen sind für die Akustik praktisch von keiner Bedeutung⁵³⁾.

31.
Haupt-
gesetze.

Hauptgesetze für die Beurtheilung der einschlägigen Verhältnisse sind:

1) Das über die Reflexion des Schalles, wornach Schallwellen unter gleichem Winkel, womit sie eine Fläche treffen, von derselben zurückgeworfen werden.

⁵⁰⁾ Siehe: Zeitchr. f. ang. Electricität, 1881, S. 214.

⁵¹⁾ D. R.-P. Nr. 22202.

⁵²⁾ LANGHANS. Principien der Akustik und ihre Anwendung bei Theaterbauten. Zeitchr. f. Bauw. 1860, S. 330.

⁵³⁾ Siehe: ORTH. Die Akustik großer Räume mit speciellem Bezug auf Kirchen. Zeitchr. f. Bauw. 1872, S. 192 u. 193.

2) Das über die Verminderung des Schalles nach dem Quadrate der Entfernung von der Erzeugungsfelle.

3) Das Erfahrungsgesetz über die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft.

Die im Jahre 1822 vom Personal des *Bureau des Longitudes* bei Paris in Gegenwart von *Arago*, *Prony*, *Mathieu*, *Humboldt*, *Gay-Lussac* und *Boward* ausgeführten Versuche zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit ergaben $340,88^m$ pro Secunde bei einer Lufttemperatur von 16 Grad R.; das Barometer stand auf $756,6^m$ und das *Saussure'sche* Hygrometer auf 78 Grad. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft ist unabhängig vom Barometerstand, aber veränderlich mit der Temperatur und dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Für trockene Luft und eine Temperatur von Null Grad ergibt sich aus den gedachten Versuchen eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit von $331,05^m$ pro Secunde. *Moll* und *van Beek* in Holland haben hierfür $332,05^m$ gefunden.

4) Hierzu treten noch die Erfahrungen über Mittönen von Körpern und dem entsprechend Verminderung der Resonanz, ferner über Zusammenwirken von Schallwellen derselben Schallquelle bei nahezu gleich langen Wegen und über das Gegeneinanderwirken bei wesentlich ungleichen Wegen oder verschiedenen Schallquellen.

5) Das Bewegungsgesetz sich durchschneidender Schallwellen.

Im Allgemeinen bewegen sich Schallwellen wie Lichtwellen, und, wie *Helmholtz*⁵⁴⁾ angiebt, setzen Schallwellen, welche von verschiedenen Seiten kommen und sich durchschneiden, ihre Bewegung darüber hinaus fort, als ob jede für sich allein existire, ohne von einer anderen Welle durchschnitten zu werden, ähnlich wie bei den Wasserwellen und Lichtwellen, welche einander durchschneiden. Das Gleiche tritt auch ein, wenn Schallwellen durch feste Körper, welche spröde oder von großer Masse sind, reflectirt werden, abgesehen von der durch die Reflexion erzeugten neuen Bewegungsrichtung. In Brennpunkten concentrirte Schallwellen bewegen sich weiter, als ob sie von den anderen Schallwellen unberührt geblieben wären; der Brennpunkt wirkt nicht wie eine neue Schallquelle, sondern nur wie ein Durchgangspunkt des Schalles.

a) Akustisch günstige Gestaltung der Räume.

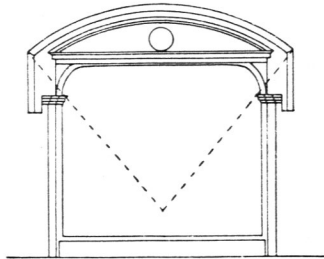
Die im Vorstehenden angeführten Gesetze sollen nunmehr in ihrer Anwendung auf die akustisch günstige Gestaltung neu zu erbauender, größerer Räume in nachfolgenden Hauptgesichtspunkten erläutert werden.

1) Zusammenwirken der Schallwellen derselben Schallquelle.

Die Grenzen für dieses Zusammenwirken fest zu stellen, ist eine der wichtigsten Aufgaben der Akustik, weil sonst viele Erscheinungen im Dunkel bleiben, und es soll deshalb mit der Feststellung dieser Grenzen begonnen werden.

Das von *C. G. Langhans* 1800 in Berlin erbaute, später abgebrannte und durch den *Schinkel'schen* Bau ersetzte Schauspielhaus führte den Sohn jenes Architekten *C. F. Langhans* dahin, diese Grenzen ins Auge zu fassen. Der Bogen über dem Proscenium (Fig. 33⁵⁵⁾) concentrirte den Schall in Kopfhöhe des Sprechenden; doch bewirkte die Neigung im Längenschnitt, daß die starke Concentration, der Brennpunkt des Schalles in den Parquet-Raum fiel, und wenn sich der Schauspieler von rechts nach links oder umgekehrt bewegte, so bewegte sich das Echo entsprechend von links nach rechts und umgekehrt.

Fig. 33⁵⁵⁾.



Der indirecte Schall machte hier einen Weg von $28,25^m$ (= 90 Fufs), der directe von $12,53^m$ (= 40 Fufs); die Differenz von $15,7^m$ (= 50 Fufs) entspricht bei der bekannten Schallgeschwindigkeit einem Zeitraum von $\frac{1}{22}$ Secunde. *Langhans*, welcher diesen Zeitraum auf $\frac{1}{27}$ Secunde berechnete, setzt hier keine schädliche Schallverlängerung voraus und nimmt dieselbe erst bei $\frac{1}{18}$ Secunde Zeitdifferenz an, während ein deutliches Echo im Allgemeinen $\frac{1}{9}$ Secunde Zeitdifferenz braucht.

⁵⁴⁾ HELMHOLTZ, H. Die Lehre von den Tonempfindungen etc. 3. Aufl. Braunschweig 1870. S. 41 bis 47.

⁵⁵⁾ Nach: LANGHANS, C. F. Ueber Theater oder Bemerkungen über Katakustik. Berlin 1810. Nr. 45.

Es entspricht $\frac{1}{18}$, bezw. $\frac{1}{9}$ Secunde einem Wege der Schallwellen von bezw. ca. 19 und 38m. Es wird in dem eben erwähnten Falle der von der gewölbten Decke kommende Schall so erdrückend stark gewesen sein, daß man den directen Schall bei $\frac{1}{22}$ Secunde Zeitdifferenz schon deshalb nicht mehr unterschieden hat gegenüber dem stärkeren indirecten und nahe damit zusammentreffenden Schall. —

Die von dem Amerikaner *J. Henry* mitgetheilten und von *Haage*⁵⁶⁾ angeführten, anscheinend mit großer Sorgfalt angestellten Versuche über die Grenze der Vernehmbarkeit eines Echos, wenn man sich einer geraden Wand nähert, geben ähnlich wie oben ca. $\frac{1}{16}$ Secunde Zeitdifferenz bei 21,34 m (= 2 × 35 Fuß engl.) Weg an.

Derartige Schallverlängerungen von so geringer Zeitdifferenz mögen in vielen Fällen schon nicht mehr nachtheilig sein; jedoch ist bei der Rede die Grenze wesentlich enger zu ziehen, weil schon der Nachklang eines Vocals, welcher mit dem Hauptklang eines Consonanten zusammentrifft, die Schallwirkung unklar macht, das Ohr unangenehm berührt.

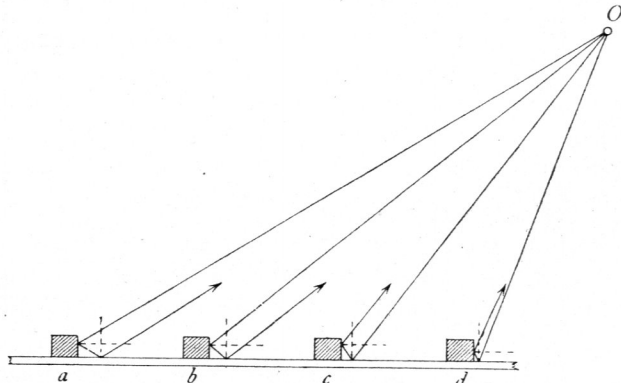
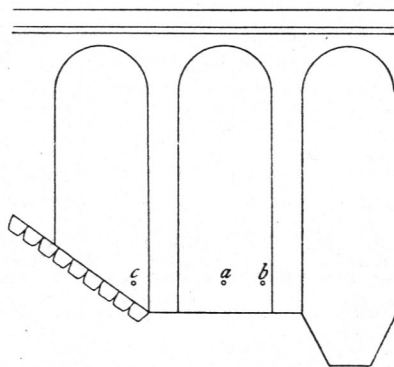
Verfasser wurde durch eigene Beobachtungen auf engere Grenzen geführt.

Auf der früheren Unterbaumbrücke zu Berlin hörte derselbe bei *O* (Fig. 34) den von einer ganzen Reihe von Pfählen *a, b, c, d . . .* einer hölzernen, jetzt verschwundenen Uferschälung zurückgeworfenen Schall deutlich unterscheidbar, wie wenn man mit einer Säge rasch über einen Gegenstand hinfährt. Es war dieses die einzige Stelle, wo der Lage nach ein derartiges Echo zurückkommen konnte. Die Pfähle der Uferschälung mochten ungefähr 1,5 bis 2,0 m von einander entfernt sein, so daß im Maximum ca. 3 bis 4 m Differenz der Wege bei zwei benachbarten Pfählen eintrat.

Ein anderer Fall ist vom Verfasser in der Zeitschrift für Bauwesen (1872, S. 196) mitgetheilt. Bei einem Viaduct in Greene bei Kreienfen, dessen Längenschnitt in Fig. 35 skizzirt ist, hörte Verfasser ein ganz ähnliches schnarrendes Geräusch in der Mitte *a* zwischen zwei Pfeilern, und zwar bei mehrfachen und zu verschiedenen Zeiten fortgesetzten Versuchen. Es konnte das Geräusch nur durch mehrfache Reflexion der Pfeilerwände geschehen, ähnlich wie eine Lichtquelle zwischen zwei parallel einander in gleicher Höhe gegenüber stehenden Spiegeln bei geeigneter Stellung des Auges unzählige Male gesehen wird. Wechselte man den Standpunkt und trat an den Pfeiler bei *b*, so war das Zeitintervall etwa das doppelte, während bei *c* gar kein Echo sich ergab, ein deutlicher Beweis, daß die Wände und nicht das Gewölbe die Ursache des Echos waren. Die Pfeiler waren etwas über 6 m (ca. 20 Fuß) von einander entfernt, und bei der Stellung in *a* war die Differenz der Wege zweier auf einander folgenden Schallreflexe eben so groß. Bei der Stärke der Schallwirkung wurden sie trotz der geringen Zeitdifferenz von etwa $\frac{1}{50}$ Secunde wesentlich durch die Wiederholung und das Eigenthümliche des Tones bemerkbar.

Bei nicht zu starkem Schall und nicht zu übermäßig raschem Sprechen wird man annehmen können, daß innerhalb der Grenze von etwa 5 m Differenz der Wege an

Fig. 34.

Fig. 35⁵⁷⁾.

⁵⁶⁾ In: Zeitschr. f. Bauw. 1859, S. 585.

⁵⁷⁾ Nach: Zeitschr. f. Bauw. 1872, S. 196.

das Ohr gelangende Schallwirkungen derselben Schallquelle zusammenwirken, sich gegenseitig unterstützen, in der Wirkung also addiren. Es entspricht dieses etwa einer Zeitdifferenz von $\frac{1}{67}$ Secunde.

Bei Musik und bei mehrstimmigem Gesange wird man diese Grenze weiter ziehen können, wie schon die vielfach grössere Tiefe des Orchesters nachweist; doch dürften bei einem Quartett solche Entfernungen der einzelnen Instrumente nach der Tiefe des Orchesters, auch der Zeitintervalle wegen, schon nicht mehr zulässig fein.

Will man aber in bewusster Absicht auf das Zusammenwirken aus derselben Schallquelle auf verschiedenen Wegen kommender Schallwellen hinarbeiten, so wird man zweckmäßiger Weise die Differenz der Wege auf weniger als 4 bis 5^m zu beschränken suchen. Die Wirkung wird um so grösser sein, je geringer die Differenz der Wege ist, wenn auch bei geringem Nachklang der Ton voller, runder und weniger hart wirkt.

Es soll mit obigen Zahlen aber nicht gerade ein bestimmtes, nicht zu überschreitendes Mafs aufgestellt, sondern nur die Richtung angedeutet werden, wohin man wirken muss. Jedenfalls geht aus den mitgetheilten Versuchen hervor, dass die früheren Angaben für ein nützliches Zusammenwirken zweier aus derselben Schallquelle kommenden Schallwellen für viele Fälle zu weit gegriffen war.

2) Reflexion des Schalles.

33-
Gesetz
der
Reflexion.

Wenn Schallwellen einen festen Körper treffen, so werden sie von demselben zurückgeworfen, und zwar der Richtung nach unter demselben Winkel, als sie denselben treffen. Es ist dies der gleiche Vorgang, wie beim Licht, und man kann mit Sicherheit annehmen, dass, wo man einen Redner im Spiegel sieht, man bei einer mit dem Spiegel in der Richtung zusammenfallenden Wand bei genügender Differenz der Schallwege einen Schallreflex hört.

Concave Wände sammeln den Schall, convexe zerstreuen ihn, und zwar überall nach dem eben ausgesprochenen Gesetz, dass der Schall unter gleichem Winkel zurückgeworfen wird, als er die reflectirende Fläche trifft.

Die Schallrichtung deutet man der klareren Darstellung wegen durch Schallstrahlen an, so wie man auch einen Auschnitt aus der Schallwelle damit begrenzen kann.

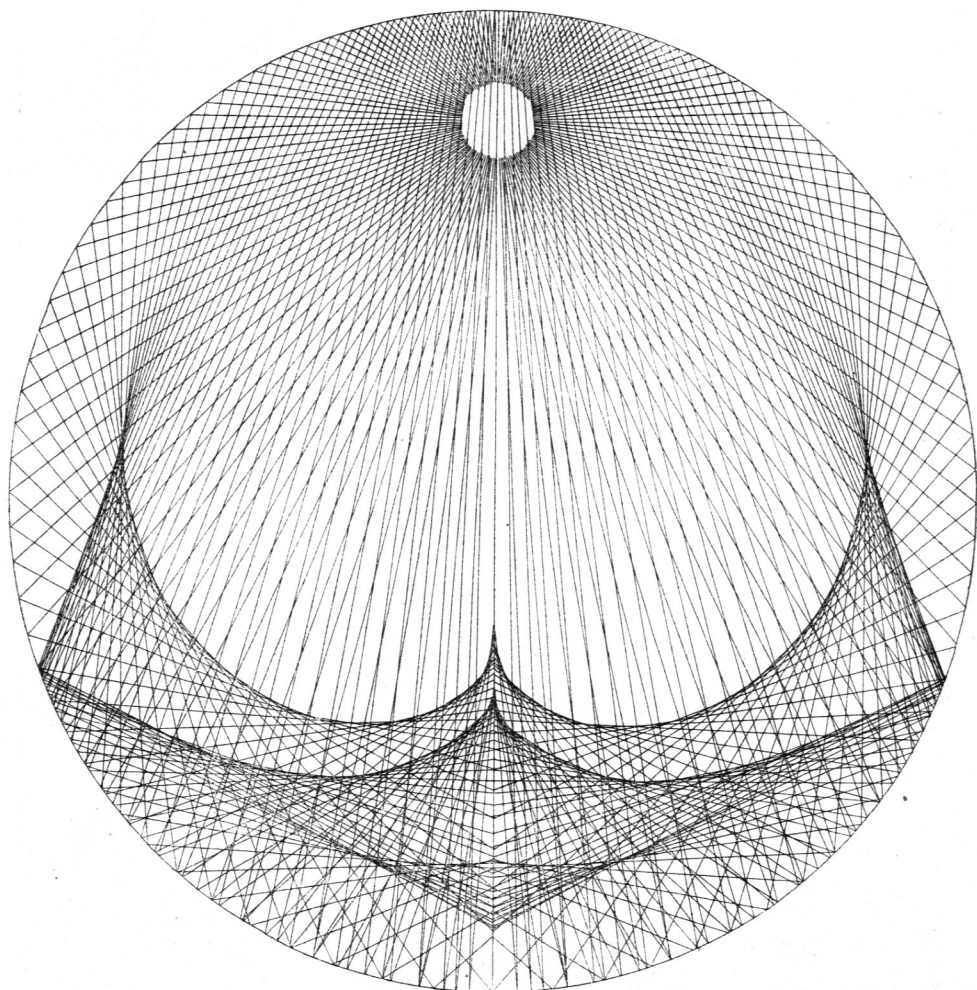
34-
Beschaffenheit
der
reflectirenden
Flächen.

Je glatter die Fläche ist, welche reflectirt, und je fester und dichter der betreffende Körper, desto vollkommener ist die Reflexion, welche dann allein durch die Elasticität der Luft bewirkt wird. Ueber das elastische Mittönen der Wände soll weiter unten (unter 3) gesprochen werden.

35-
Grundrissform.

So einfach obiges Gesetz ist, so complicirt kann es sich besonders bei doppeltem Zurückwerfen gestalten.

Langhans theilt in seiner »Katakustik« (in Fig. 46 u. 47) zwei Beispiele mit, worunter besonders das durch Fig. 36 wiedergegebene interessante Schall-Concentrationen zeigt. Diese können in doppelter Weise ungünstig wirken, entweder wenn sie wesentlich verschiedene Weglängen haben, oder durch die übermäßige Stärke des Schalles, welcher für das Ohr erdrückend, ja betäubend wirken kann, wie in dem eben mitgetheilten Falle (früheres Theater auf dem Schiller-Platz in Berlin).

Fig. 36⁵⁸⁾.

Runde, sowohl kreisförmige, wie elliptische Grundriffsformen können deshalb akustisch sehr gefährlich werden, wenn nicht die Brennpunkte, bezw. die Punkte starker Concentration in der Luft liegen, entfernt von den Zuhörern. Bei Theatern und ähnlichen Hörsälen ist dieses nicht immer der Fall.

Aber nicht bloß die Brennpunkte solcher Schallstrahlen sind gefährlich; sondern es liegen auch starke Schall-Concentrations nahe am Umfang, was für höhere Ränge von Theatern etc. von übler Wirkung sein kann. Aus diesem Grunde schlägt *Langhans* für die Brüstungen der Theater-Logen Querschnittsformen vor, welche den Schall stärker zerstreuen, als die Grundriffsform denselben sammelt. Brüstungen, wie die neben (Fig. 37) stehende, oder solche mit Balustern oder mit starkem Relief werden dies bewirken und sind in solchem Falle sehr zu empfehlen.

Es kann jedoch der Schall-Reflex auch ohne Concentration der Schallwellen sehr schädlich sein, wie dieses bei glatten geraden

Fig. 37.



⁵⁸⁾ Nach: LANGHANS, C. Ueber Theater oder Bemerkungen über Katakustik in Beziehung auf Theater. Berlin 1810.

Fig. 38.

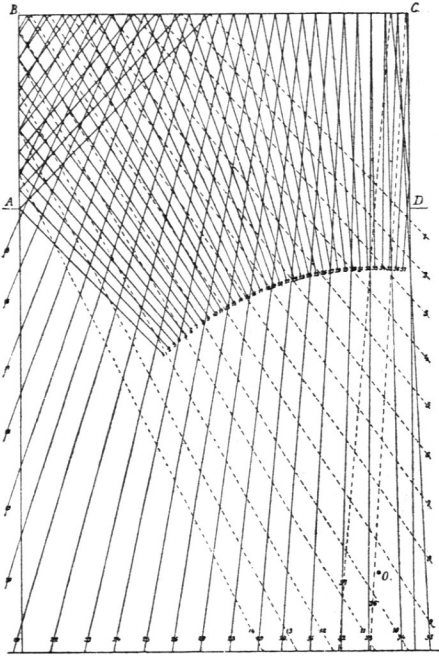


Fig. 39.

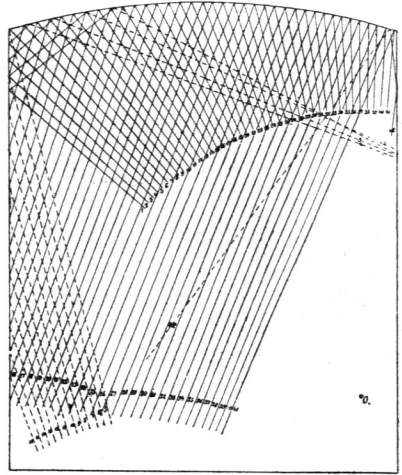


Fig. 40.

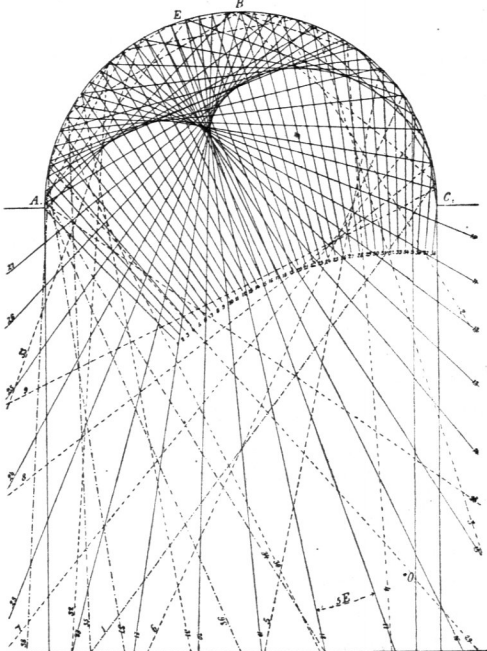
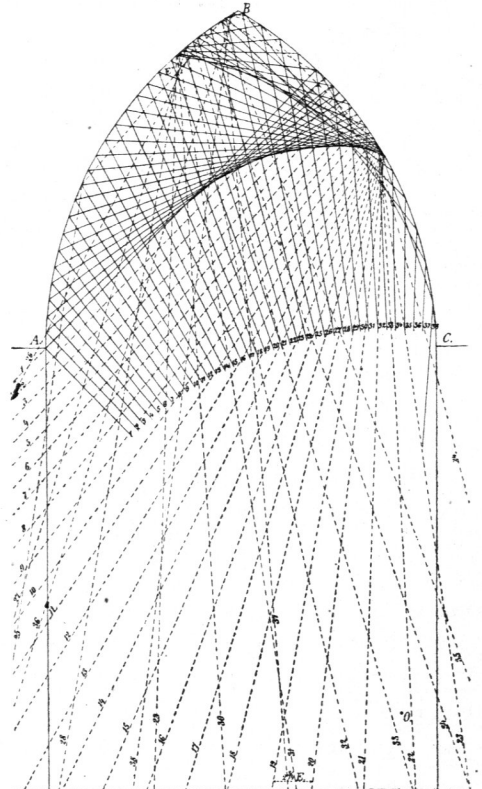


Fig. 41.



Wänden sehr häufig und viel öfter der Fall ist, als von den Meisten angenommen wird.

So liegt ein wesentlicher Theil der sehr ungünstigen Schallwirkung in der *Schinkel'schen Nicolai-Kirche zu Potsdam*⁵⁹⁾ an den mit großen glatten Flächen versehenen Pfeilern und an den großen Wandflächen. Aehnlich ist es bei der *Thomas-Kirche in Berlin* und bei der *Synagoge in der Oranienburger Straße* daselbst; in letzterer wirken die spiegelglatten Marmorwände außerordentlich nachtheilig.

Die schädliche Wirkung glatter Wände tritt nach dem Entfernen von Holz-Emporen in mittelalterlichen Kirchen außerordentlich häufig ein. Diese Erscheinung ist sehr bekannt, weniger aber der Grund derselben; die Gewölbe der Kirchen sind in diesen Fällen meist ganz ohne Einfluss auf die Veränderung der Schallwirkung.

Verfasser hat an anderer Stelle⁶⁰⁾ eine Parallele verschiedener Deckenformen in ihrer Beziehung zur Schallwirkung mitgeteilt; dieselbe würde für die entsprechenden Grundrissformen ganz eben so fein. Die Wirkung dieser Deckenformen auf den Schall-Reflex soll unter Bezugnahme auf Fig. 38 bis 41 hier besprochen werden.

Es zeigt sich, dass unter den betrachteten Formen die Stichbogenform (Fig. 39) die ungünstigste ist. Dieselbe würde es noch mehr sein, wenn, wie in dem früheren Theater auf dem Schiller-Platz in Berlin, das Gewölbe-Centrum etwa in der Ohrhöhe liegen würde. In diesem Falle würde an dieser Stelle ein Brennpunkt der Schallstrahlen sich bilden, während in Fig. 39 die Schallstrahlen das Gewölbe fast parallel verlassen. Abgesehen vom Reflexionsverlust wird demnach bei der Deckenform nach Fig. 39 der reflectirte Schall unten etwa gleiche Stärke, wie am Gewölbe haben.

In Fig. 38, 40 und 41 ist oberhalb in gleicher Höhe *AD*, *AC* und *AC* feste Wand, bzw. Gewölbe angenommen, während, wie im vorhergehenden Falle, die Schallquelle in *O* ist; unterhalb der festen Wand, bzw. Decke können Pfeiler, Säulen etc. vorausgesetzt werden. Es zeigt sich hier an dem Grade der Zerstreung auf den ersten Blick, dass unter den gewählten Beispielen die gerade Decke am ungünstigsten ist, dass dann das Spitzbogengewölbe folgt und zuletzt das Kreisbogen-Tonnengewölbe. Es wird dies vielleicht überraschend erscheinen, da gerade Decken vielfach sehr günstig sind; allein hierbei ist das Constructionsmaterial wesentlich von Einfluss. Würde man horizontale Steindecken ohne wesentliche Vorsprünge etc. haben, so müsste der Nachhall außerordentlich stark sein.

Das an und für sich verhältnismäßig ungünstig erscheinende Spitzbogengewölbe tritt selten in der einfachen Form der Fig. 41 auf, sondern meistens in der Form des Kreuzgewölbes, wo der untere schädlichste Theil fast ganz von den Rippen in Anspruch genommen wird. Bei der *Werder'schen Kirche in Berlin* sind jedoch über den schmalen Seitenschiffen derartige schmale Gewölbe, wie in Fig. 41, und es wirken dieselben überaus ungünstig.

Im Allgemeinen kann man unter sonst gleichen Verhältnissen das Kreisbogengewölbe als günstiger, wie das Spitzbogengewölbe ansehen; unter den Spitzbogengewölben sind diejenigen mit großem Radius im Allgemeinen ungünstiger, als diejenigen mit kleinerem Radius der Wölbung. Zweckmäßig wird man bei Anwendung beider Gewölbeformen speciell beim Kreuzgewölbe die Kappen stechen, um dadurch eine stärkere Zerstreung des Schalles zu bewirken.

Es ist dieselbe in Fig. 42 nach zwei auf einander senkrecht stehenden Richtungen für eine solche Kappe dargestellt, und es zeigt sich hier, wie sehr ein solcher Stich in der Kappe zerstreuend wirkt, da die Concentration in der Nähe der Decke erfolgt.

Das Theater von *Runge* in Philadelphia⁶¹⁾ zeigt, wie sehr eine schwach trichterförmige Decke den Schall sammeln kann. Wie *Runge*⁶²⁾ von der oberen Galerie sagt, »hörte man daselbst auf dem allerletzten Sitze mit Bestimmtheit das Plätfchern und Riefeln des etwa 32 mm (= 1/8 Zoll) starken Strahles

⁵⁹⁾ Siehe: Zeitchr. f. Bauw. 1872, S. 220 u. ff.

⁶⁰⁾ Ebendaf., Bl. F.

⁶¹⁾ Siehe: Zeitchr. f. Bauw. 1860, S. 146 u. ff.

⁶²⁾ Ebendaf., S. 150.

Fig. 42⁶³⁾.

37.
Säulen
u. dergl.

»einer kleinen Fontaine am allerentlegten Ende der Bühne (in einer Entfernung von beiläufig 180 Fufs = 55m in gerader Linie), während die ganze Bühne mit Draperien verhängt und das ganze Gebäude mit einer wogenden und fummenden Menschenmenge angefüllt war.« Der Grund, den *Runge* hierfür in der Ungeftörtheit der directen Schallwellen anführt, ist nicht zutreffend. Schon *Langhans* weist⁶⁴⁾ den richtigen Grund in der Schall-Concentration der Decke nach; ein zweiter Grund möchte noch in der doppelten Reflexion der den oberen Theil der Galleriewände treffenden Schallwellen beruhen, wo die stark geneigte Decke (Fig. 44) den Schall nach den Sitzreihen herunter wirft.

Bekannt sind ähnliche Erscheinungen bei den oberen Gallerien anderer Theater, wenn sie auch bei geraden Decken selten in gleicher Stärke auftreten, wie bei schwach gewölbten oder schwach zeltartigen Decken.

Runde Säulen (Fig. 43) zerstreuen bei der Reflexion den Schall, eben so Cannelirungen (Fig. 45) nach dem Durchgang der Schallstrahlen durch den Brennpunkt. Diefes liegt im Allgemeinen um die halbe Länge des Radius von dem Kreisumfang entfernt, wie sich dies auch schon oben bei der Schall-Concentration des Tonnengewölbes gezeigt hat.

Da glatte, steinerne Prosceniums-Wände der Theater vielfach ungünstige Schallreflexe zeigen, so werden sie oft mit Säulen, cannelirten Pilastern, Figuren etc. verziert, welche den Schall zerstreuen.

Fig. 43.

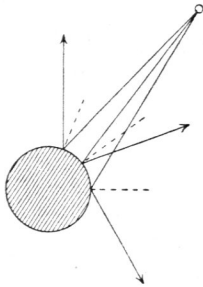


Fig. 44.

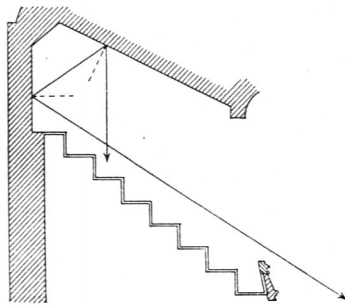
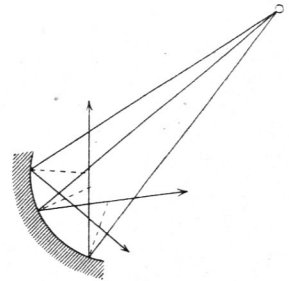


Fig. 45.



3) Mittönen von Wänden und Decken.

Bei elastischen Körpern und besonders bei solchen von geringer Masse bewirken die Schallwellen ein elastisches Schwingen dieser Objecte. Hierdurch wird einerseits die Reflexion wesentlich abgeschwächt; andererseits entstehen durch die Schwingungen des reflectirenden Körpers wieder neue Schallschwingungen, gewissermaßen eine neue Schallquelle, welche den reflectirten Schall unterstützt, aber nur auf eine geringere Entfernung, als der reflectirte Schall wirkt.

Von *Haege*⁶⁵⁾ mitgetheilte Versuche mit einer Stimmgabel, welche mit dem Kopf gegen eine hölzerne Wand gehalten wurde, zeigten eine ganz gleiche Schallwirkung an beiden Seiten der Wand, eben so

38.
Wirkung
mittönender
Flächen.

⁶³⁾ Nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1872, Bl. F.

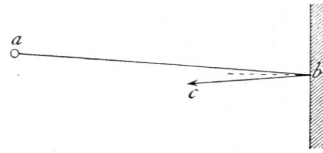
⁶⁴⁾ In: Zeitfchr. f. Bauw. 1860, S. 336.

⁶⁵⁾ In: Zeitfchr. f. Bauw. 1859, S. 587.

ober- und unterhalb einer Tischplatte, wenn man die Stimmgabel darauf hielt; es ging deshalb für die eine Seite des Raumes an und für sich die Hälfte der Schallwirkung verloren. Wenn trotzdem eine Verstärkung des Schalles durch das Auftreten der Stimmgabel auf eine mittönende Platte eintrat, so war die Dauer der Schallwirkung eine um so viel geringere. Dies zeigte sich beim Schwingen, bezw. kaum merkbaren Tönen der Stimmgabel in freier Luft an einem Faden aufgehängt im Verhältniß zu dem beim Auftreten auf eine Platte; im ersten Falle war die Dauer des Schwingens 252 Sekunden, im zweiten weniger als 10 Sekunden, allerdings bei verstärkter Schallwirkung.

Da die Abnahme des Schalles nach dem Quadrate der Entfernung erfolgt, so ist bei dem reflectirten Schallstrahl (Fig. 46) das Quadrat $(ab + bc)^2$ maßgebend, bei der neuen durch Mittönen entstehenden Schallquelle jedoch das Quadrat bc^2 . Letzteres wächst im Verhältniß viel rascher, als die vorhergehende Größe; also muß die Abnahme des Schalles hier auch viel rascher vor sich gehen. Derartige mittönende Wände müssen demnach ungeachtet des Schallverlustes nach außen sehr nützlich wirken, weil der Schall in geringer Entfernung sowohl den Schallreflex als den directen Schall, welche beide zusammenwirken, unterstützt und nur auf größere Entfernung für den Schallreflex verloren geht; dies ist aber betreff der Schall-Collisionen directer und reflectirter Schallwellen bei ausreichender Differenz der Wege sehr nützlich. Die in der Nähe eine kurze Zeit und sehr nützlich wirkende Verstärkung des Schalles kann man leicht bei Hörfälen mit hölzernen Paneelen, wenn man in deren Nähe sitzt, beobachten.

Fig. 46.



Ein elastisches Mittönen, wie bei der Stimmgabel, weist *Tyndall*⁶⁶⁾ bei einem Holzstabe nach, welcher einerseits mit einer Schneide auf dem Resonanzboden eines Musikinstrumentes steht und andererseits einen zweiten Resonanzboden trägt. Wenn ein solcher Stab durch mehrere Stockwerke reicht und in den Zwischendecken in Zinnröhren mittels Kautschukbändern vollständig isolirt ist, so hört man oben die Musik des unteren Instrumentes vollständig klar und deutlich. Das Tönen hört auf, sobald man den oberen Resonanzboden entfernt; derselbe kann auch durch eine Violine, Guitarre etc. ersetzt werden. Es werden auch hier die Schallwirkungen intensiver fein auf Kosten der Wirkungsdauer der Schallschwingungen.

Als verwandte Erscheinungen sind die unangenehmen Erfahrungen mit den Etagen-Wohnungen größerer Städte zu betrachten, wo die Musik einzelner Stockwerke leicht zu einer Qual für die Bewohner entfernter Geschosse, welche dieselbe mit zu genießen gezwungen sind, werden kann. Es dürften hierbei die Zwischendecken als Resonanzböden wirken.

Bei den verschiedenen Rängen von Theatern verstärken Holzwände und -Decken den Schall in der Nähe durch Mittönen, je nach der Anordnung auch durch Schallreflex. Doch ist dieses Mittönen nicht bloß eine Eigenschaft des Holzes, sondern aller dünnen elastischen Körper, welche eine nicht zu geringe Flächenentwicklung haben.

Wenn die mittönenden Flächen nahe der Schallerzeugungstelle liegen, so wirken sie auch auf größere Entfernungen, wie dies die Resonanzböden der musikalischen Instrumente beweisen. Es fällt hier die Entfernung des Resonanzbodens von der Schallquelle gegen die Entfernung der Zuhörer nicht mehr ins Gewicht. Es sind hier für größere Entfernungen das Quadrat der Entfernung für den directen und für den reflectirten, so wie für den durch Mittönen bewirkten Schall nahezu identisch.

Der Schalldeckel (über den noch unter 5 gesprochen werden wird) wirkt zum Theil durch Mittönen der Fläche, zum Theil durch Reflexion des Schalles, aber wegen der Nähe der Schallquelle auch bezüglich des Mittönens auf größere Entfernungen.

⁶⁶⁾ In: TYNDALL, J. *Sound. 4th edit.* London 1883. Deutsch von H. HELMHOLTZ u. G. WIEDEMANN. Braunschweig 1874. S. 95 bis 97.

39.
Mittönen
verschiedener
Materialien.

Wie weit das Mittönen bei einzelnen Materialien und bei welchen Stärken desselben es in erheblichem Masse eintritt, ist durch präcise Versuche noch nicht fest gestellt. Dieselben können voraussichtlich nur durch Unterstützung der Regierungen oder in deren Auftrag bewirkt werden, da sie mit wesentlichen Kosten verknüpft sind.

Wichtig würde es sein, wenn durch directe Versuche fest gestellt würde, wie weit bei Holz, bei Putz auf Drahtnetz, bei dünnen Marmorplatten, bei Spiegel- und anderen Glascheiben etc. das Mittönen der Fläche, wie weit der Reflex eintritt; ferner in wie weit darauf die Dicke und die Befestigung von Einfluss ist. So wird Holz in Putz eingebettet einen geringeren Theil feiner Resonanz durch Mittönen einbüßen, als frei schwingendes Holz, während nicht zu dicker Putz auf Drahtnetz weit stärker mittönen wird, als Holz, welches auf den Putz der massiven Wand dicht anliegend befestigt ist. Da Putz auf Drahtnetz für Theater ohne Feuersgefahr ist, würde er vielleicht Holz zum Theil ersetzen können.

40.
Reflexions-
verlust durch
Mittönen.

Das Verhältniß des Reflexionsverlustes zum Mittönen der reflectirenden Wand durch directe Versuche fest zu stellen, würde für die praktische Anwendung der Akustik von besonderer Wichtigkeit sein.

Verfasser hat bei einer Decke aus gehobelten Brettern von ca. 3 bis 4cm Stärke diesen Reflexionsverlust auf über 75 Procent geschätzt⁶⁷⁾, während bei vergleichenden Versuchen, welche der Architect der Synagoge in der Oranienburger Straßé zu Berlin mit einer geputzten Fläche und einer Marmorplatte anstellte, hervorging, daß geschliffene und polirte Marmorplatten sehr wenig Reflexionsverlust ergeben⁶⁸⁾, wie dies auch andererseits aus dem starken Schallreflex der glatten Marmorwände dieses Bauwerkes hervorgeht.

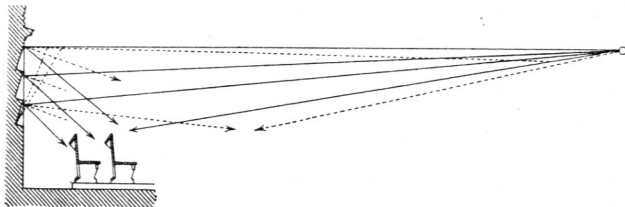
4) Deflexion des Schalles.

41.
Ablenkung
der
Schallwellen.

Verfasser hat die Bezeichnung »Deflexion« oder »Ablenkung« der Schallwellen eingeführt für die Ablenkung derselben in einer bewußt bestimmten Richtung, um reflectirte Schallwellen theils nutzbar, theils unschädlich zu machen⁶⁹⁾.

Wie man durch Bekleiden mit Holz die Umfassungswände durch Mittönen

Fig. 47⁷⁰⁾.



für die Schallwirkung nützlich machen kann, so kann man dies auch durch Aenderung der Flächenneigung in den Wänden.

In Fig. 47 ist eine verticale Wand im Schnitt dargestellt. Ist dieselbe glatt, so werden die Schallwellen einer bestimmten Schallquelle zum

Theile weit in den Raum hinein zurückgeworfen und werden hier Collisionen mit den directen Schallwellen bewirken, während die in Fig. 47 dargestellte, partiell

Fig. 48.

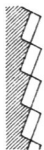


Fig. 49.

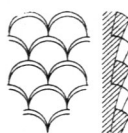


Fig. 50.

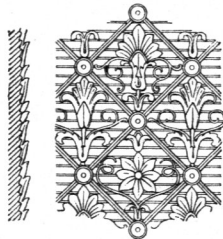
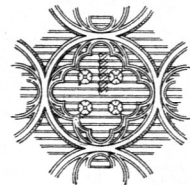


Fig. 51.



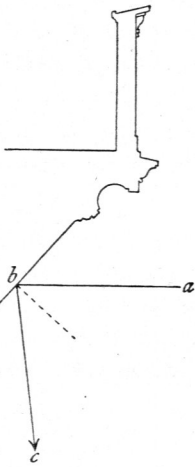
67) Siehe: Zeitschr. f. Bauw. 1872, S. 209 u. 210.

68) Siehe: Ebendaf., S. 209.

69) D. R.-P. Nr. 12135.

70) Nach: Deutsche Bauz. 1881, S. 9.

Fig. 52.



geänderte Wandneigung den Schall nach den nahe gelegenen Sitzplätzen reflectirt. Die Fig. 48 bis 51 geben die Anwendung, wie dieses Princip, ohne den Flächeneindruck zu beeinträchtigen, durchführbar ist.

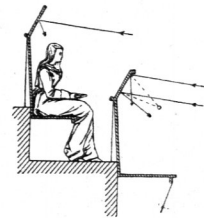
Dieselbe Wirkung tritt ein bei schrägen Unteransichten von Gefimfen, bei vorspringenden schrägen Unterflächen von Emporen etc. In Fig. 51 wird dies durch den dem Schallstrahl entsprechenden Linienzug *abc* ohne Weiteres klar.

Wie weit man derlei geneigte Wandflächen in der Gröfse reduciren und durch Wiederholung derselben ersetzen kann, darüber fehlen noch präcise Versuche.

In einer Kirche zu Pymont hat Verfasser bei den grofsen Wandflächen unterhalb der Emporen die in Fig. 53 skizzirte Quaderung angewendet und dadurch sehr günstige Resultate bezüglich der Schallzerstreuung erreicht; die Wände zeigen keinen schädlichen Schallreflex. Eben so wirken die mit einem sorgfältigen, in der äufseren Erscheinung nicht hervortretenden Steppputz versehenen Gewölbe der Kirche; jedoch wirkt Beides nur zerstreud, ohne den Schall noch nutzbar zu machen.

Wie man durch Deflexion der Schallwellen nützliche Resultate erzielen kann, ist in jedem einzelnen Falle besonders zu untersuchen; jedoch wird man vielfach durch einfache Mittel wirkungslos sich zerstreudenden Schall nützlich, so wie schädlichen Schallreflex wirkungslos machen können. Für das Erstere sei noch bei ansteigenden Emporen oder Sitzreihen in Fig. 54 ein Beispiel angeführt. Schwach gebogene Flächen der Rückwände unterhalb der oberen Abchlufsgemise werden hier den Schall nahe dem Ohr des Hörenden concentriren, besonders wenn die reflectirende Fläche aus festem, glattem Material gebildet ist.

Fig. 54.



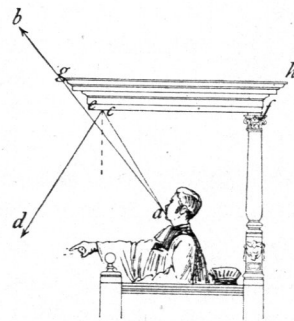
42.
Anordnung
der
geneigten
Flächen.

5) Schalldeckel.

Es ist schon in Art. 38 angedeutet worden, daß der Schalldeckel theils durch Schallreflexion, theils durch Mittönen, je nach Herstellung und Material, wirken kann, und es wird derselbe je nach dem Zwecke, der mit ihm erreicht werden soll, verschieden zu behandeln sein.

Was zunächst die Gröfse des Schalldeckels betrifft, so wird dieselbe nach der beabsichtigten Wirkung zu bestimmen sein. Soll der Schalldeckel dazu dienen, um Theile eines Raumes möglichst von der directen Schallwirkung abzusperren, so wird man von der Schallquelle die geeigneten Richtungslinien *ab* (Fig. 55) nach dem betreffenden Theile des Raumes ziehen, wodurch man in der Kante *e* den vorderen Rand des Schalldeckels begrenzt. Doch wird immer noch ein wesentlicher Theil des Schalles dahin gehen, wo er schädlich wirkt und wo man ihn auszuschliessen sucht, so fern die Schall-

Fig. 55.



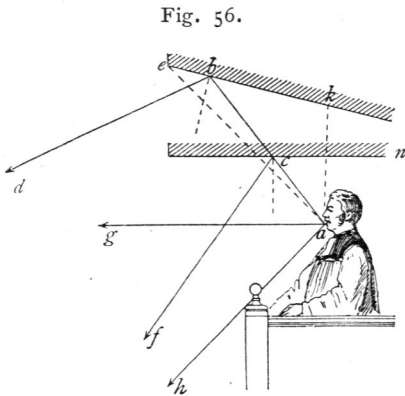
43.
Gröfse.

decke ef elastisch mitschwingt und mittönt. Es wird hier für die schädliche Schallwirkung nach oben nur der Schallreflex cd und das Mittönen nach unten in Abzug kommen, abgesehen von dem Schallverlust durch Reflexion. Will man durch den Schalldeckel den Schall stärker abschließen, so thut man gut, über ef , etwa in gh , eine schwere, wenig elastische Platte anzubringen; es wird dann ein Theil der Schallwellen wieder nach unten geworfen und bei der geringen Entfernung von ef das Mittönen verstärkt, während der andere Theil durch den Reflex verloren geht, bezw. durch den Stofs sich in Wärme umsetzt.

44.
Neigung
und
Material.

Für die Wirkung auf grössere Entfernung wird eine feste, schwere, möglichst glatt polirte, etwas geneigte Platte ek (Fig. 56) von der grössten Wirkung sein, während ein horizontaler Schalldeckel cn bezüglich des Schallreflexes wesentlich auf geringere Entfernung wirkt, wie dies die bez. Schallstrahlen abd und acf zeigen. Durch eine geringe Wölbung kann man die Wirkung des Schalldeckels in gewissen Richtungen wesentlich verstärken.

Wie in der Synagoge in der Oranienburger Strafe zu Berlin das Sprechen des nach der Altarnische sich wendenden Predigers gegen eine polirte Marmorplatte zeigt, ist bei derartigem Material ausserordentlich wenig Reflexionsverlust, da der Prediger nahezu eben so, als wenn er nach der Kirche hinein spricht, gehört wird. Es wird demnach auch bei obiger Anordnung einer Marmorplatte der gefamnte dieselbe treffende Theil des Schalles mit sehr geringem Verlust für den Hörsaal, bezw. die Kirche nutzbar.



Vergleicht man den durch gah bezeichneten Theil der Schallwelle, welcher direct nutzbar wird, mit dem Theil eak , so sieht man leicht, dass man durch eine geeignete Anordnung und durch geeignetes Material des Schalldeckels die Schallwirkung verdoppeln kann. Für die Schallwirkung würde es hierbei nicht ungeeignet sein, den über dem Kopf des Redners befindlichen Theil des Schalldeckels aus Holz herzustellen, so dass derselbe durch den starken

Schallreflex nicht selbst zu stark betäubt wird. Bringt man hinter dem Redner und zur Seite desselben mittönende Holzwände an, so kann auch hierdurch eine Schallverstärkung eintreten.

Man wird den Schalldeckel in jedem einzelnen Falle je nach den beabsichtigten Wirkungen stets besonders construiren müssen, sowohl in Betreff der Anordnung als des Materials, und es wird meistens hierauf nicht genug Gewicht gelegt, vielmehr sind die Schalldeckel häufig nur von sehr geringer Wirkung.

6) Diffusion des Schalles.

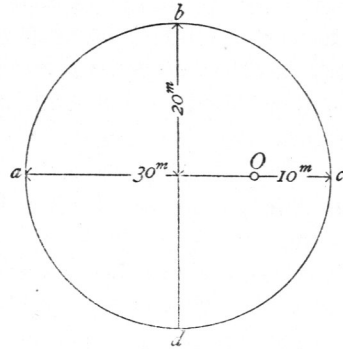
45.
Wefen
der
Diffusion.

Beim Schall, wie beim Licht tritt die Schall-, bezw. Lichtwirkung nicht blofs in der geraden Richtung von der Schall-, bezw. Lichtquelle aus ein. Tritt ein Körper in den Weg, so werden die Schall-, bezw. Lichtstrahlen an den Kanten gebeugt. Man hört auch hinter den Pfeilern einer Kirche, hinter den Säulen eines Saales etc. und nicht blofs durch Schallreflex. Man hört auch im Rücken des

Rédners, wenn auch auf geringere Entfernung, als in der Richtung, nach welcher der Redner spricht; allerdings wirkt dabei auch der Schallimpuls mit, welcher seinen Knotenpunkt, bezw. sein Centrum der Verbreitung in geringer Entfernung vor dem Munde des Sprechers haben wird.

Nimmt man den Redner in O (Fig. 57) an, so wird man nach vorn etwa dreimal fo weit, nach den Seiten etwa zweimal fo weit, als nach rückwärts hören, und es wird ein durch die Punkte a, b, c, d gelegter Kreis eine Linie gleich starken Schalles sein, in fo fern man nicht durch künstliche Mittel die Wirkung der Stimme unterstützt. Ohne solche Mittel, wie sie z. B. ein Schaldeckel darbietet, wird ein derartiger Kreis von ca. 40 m Durchmesser auch bei einer sehr starken und klaren Stimme die Grenze bequemen Hörens bilden. Hierbei dürfen jedoch keine schädlichen Schallverwirrungen entstehen, da in einem solchen Falle die Grenzen viel enger zu ziehen sind. Bei einem geeignet construirten Schaldeckel kann man die Grenze guten Hörens wesentlich weiter ziehen ⁷¹⁾.

Fig. 57.



7) Maßstab für den Schall und Untersuchung eines Raumes auf Grund von Zeichnungen.

Will man die Schallwirkungen eines Raumes klar beurtheilen können, so wird hierfür in vielen Fällen ein Maßstab von Nutzen sein, wobei man jedoch stets bedenken muß, daß die Schallstärke im umgekehrten Verhältniß zum Quadrat der Entfernung von der Schallquelle steht. Der Maßstab kann nur durch eine Schallfläche, durch einen Querschnitt eines Schallauschnittes gebildet werden.

Einen passenden Grundmaßstab bildet ein Quadrat von 1 cm Seitenlänge bei 10 m Entfernung von der Schallquelle. Ist der Maßstab der verfügbaren Zeichnungen klein, so wird man mit 2 bis 3 cm Seite klarere graphische Resultate erreichen.

Will man auf Grund einer Zeichnung untersuchen, wo und wie weit eine Schallrichtung schädlich ist, so wird man die durch vier Schallstrahlen begrenzte Pyramide, welche ihre Spitze in der Schallquelle hat, bis dahin verfolgen, wo die Schallrichtung schließlic das Ohr des Zuhörers erreicht. Man construiert sich an dieser Stelle den Querschnitt des Schallauschnittes und vergleicht diese Fläche mit derjenigen, welche in gleicher Größe entstanden wäre bei directer Fortbewegung des Schalles; alsdann kann man mit Hilfe des Gesetzes über die Abschwächung nach dem Quadrat der Entfernung leicht abschätzen, wie sich schließlic der Schall verhält zu dem an der Grenze des deutlichen Hörens, also bei ca. 30 m Entfernung.

Beispiele einer solchen Untersuchung sind in der unten ⁷²⁾ genannten Quelle mitgetheilt. Es empfiehlt sich, eine solche Untersuchung bei allen größeren Hörfällen bereits im Entwurf vorzunehmen, wenn man nicht schon vorher durch vielfache Untersuchungen ein genügendes Urtheil für den einzelnen Fall gewonnen hat.

46.
Maßstab.

47.
Raum-
untersuchung.

48.
Prüfung
in den
Entwürfen.

⁷¹⁾ Siehe auch Theil IV, Halbbd. 1 (Art. 241 bis 245, S. 245 bis 247) dieses Handbuchs.

⁷²⁾ Zeitchr. f. Bauw. 1872, S. 213 bis 222.

Die Prüfung eines Raumes auf seine Schallwirkung wird sich außerdem auf Grundlage der Zeichnungen meistens leichter durchführen lassen, als die Prüfung des Raumes selbst, weil sich in letzterem Falle so viele Schallwirkungen durchkreuzen und den Einzeleindruck so verwirren, daß man auch bei einigermaßen geübtem Urtheil gern auf die Prüfung der Akustik aus den Zeichnungen zurückgreifen wird. Eine solche Untersuchung ist allerdings immer sehr schwierig; dieselbe wird sich aber erst dann vermeiden lassen, wenn sich für gewisse Raumformen das akustisch Nothwendige durch wissenschaftliche Untersuchungen und die daran sich knüpfende Erfahrung fest gestellt hat.

Die alljährlich sich fortsetzenden ungünstigen Erfahrungen über unzweckmäßig für den Bau großer Hörsäle, Kirchen, Theater etc. verwendete große Summen haben es bis jetzt noch nicht vermocht, dahin zu führen, daß für Hörsäle das Hören als eine Hauptbedingung betrachtet wird; sie haben es noch nicht vermocht, durch consequent fortgesetzte Beobachtungen auf wissenschaftlicher Grundlage allgemein zu einer klaren einfachen Praxis zu gelangen.

b) Verbesserung der Akustik in vorhandenen Räumen.

49.
Erkenntniß
der
Fehler.

Im Allgemeinen werden dieselben Mittel, welche in neu zu erbauenden Räumen die Akustik derselben günstig beeinflussen, auch bei vorhandenen Räumen das Gleiche bewirken, so fern sie noch angewendet werden können. Dem stehen nach mancher Richtung die Bedingungen der Benutzung, vielfach auch die architektonische Raumgestaltung entgegen, und man wird deshalb in der Anwendung dieser Mittel manchen Beschränkungen unterliegen; auch wird man in den meisten Fällen die Raumformen selbst nicht mehr ändern können, wodurch die Akustik in sehr vielen Fällen vorzugsweise ungünstig beeinflusst wird.

Bei Beurtheilung der gegen eine fehlerhafte Akustik anzuwendenden Mittel ist vor Allem eine Erkenntniß der Fehlerursachen wichtig. Dieses ist aber in den meisten Fällen sehr schwer, weil meistens eine ganze Reihe von Fehlern zugleich wirksam sind, so daß sich die wirkliche Ursache vielfach der directen Beurtheilung entzieht. Es wird hierbei die Untersuchung des Raumes auf Grund von Zeichnungen häufig die Beurtheilung wesentlich erleichtern.

Man würde auch bald zu einem rascheren Resultat gelangen, so fern man die Schallquelle in nächster Nähe für einzelne Richtungen in geeigneter Weise unwirksam machen könnte, wofür aber bis jetzt die Instrumente fehlen. Es werden sich diesem Mangel weitere Untersuchungen und Arbeiten, mehr als bisher geschehen ist, zuwenden müssen.

50.
Mittel.

Für Decken sind in neuerer Zeit Netze oder ausgespannte Fäden und Drähte von Eisen oder Stahl mehrfach verwendet worden. Dieselben werden durch die Schallwellen in ein Mitschwingen versetzt und entziehen dadurch der Luftbewegung, sowohl auf dem Wege zur Decke, als zurück einen wesentlichen Theil der Kraft, so daß der Schallreflex dann zu schwach und unschädlich wird.

So ist in der Thomas-Kirche zu Berlin ein wesentlicher Theil der sehr ungünstigen Schallwirkung beseitigt, jedoch nur für die Kuppel, unter welcher das Netz gespannt ist. Bei der Höhe des Raumes fällt dieses Netz wenig auf. An anderen Stellen, besonders vor Wänden in Menschenhöhe, wird man solche Netze nicht aufspannen können, und es werden für verticale Wandflächen horizontal aufgespannte Netze meistens unwirksam sein.

Die ersten Angaben über dieses etwa seit 10 Jahren in Aufnahme gekommene Verfahren sind in englischen und amerikanischen Fachzeitschriften (siehe das unten stehende Literaturverzeichnis) zu finden. Aus diesen und anderen Mittheilungen geht hervor, daß es bei rationeller Anwendung meist von gutem Erfolge begleitet war, daß das Netz nicht zu hoch über dem Fußboden gespannt und die Maschenweite nicht zu groß sein darf. Favaro⁷³⁾ theilt hierüber folgende Einzelheiten mit.

Nach J. M. Allen wurden u. A. in der *Asylum Hill Congregational Church* zu Hertford der Draht in Abständen von 63 mm (= 2,5 Zoll engl.) in Kämpferhöhe des spitzbogigen Tonnengewölbes gespannt und Draht Nr. 21 verwendet. Nach Dolbear⁷⁴⁾ sollen es Drähte von der Dicke der Clavierfasen sein, die in solcher Weite zu spannen sind, daß sie, wenn mit dem Finger angeschlagen, einen tiefen Ton erklingen lassen. In vielen Kirchen Englands, in der *Madeleine-Kirche* zu Paris etc. sind mit Baumwollfäden von 2 bis 3 mm Dicke gute Resultate erzielt worden. Im Sitzungsfaale des Provinzialrathes von Treviso wurden Baumwollfäden von ca. 3 mm Dicke in Maschen von 12 cm Weite allerdings mit nur theilweisem Erfolge, in der Garnisons-Kirche zu Stuttgart ein Seilnetz von ca. 20 cm Maschenweite ohne allen Erfolg angewendet; in beiden Fällen wurde offenbar die Maschenweite zu groß gewählt, in Stuttgart das Netz in zu großer Höhe angebracht, so fern nicht die Wände der Hauptgrund für die schlechte Akustik sind.

Wände, welche akustisch ungünstig wirken, werden auch durch Bekleidung mit rauhen Stoffen akustisch wesentlich günstiger. Hier werden in den meisten Fällen auch in dem in Art. 41 angegebenen Sinne deflectirende Flächen nützlich sein können. Stoffvorhänge schließen sehr häufig Nischen ab, so daß entweder die Wand- oder Deckenflächen nicht mehr schädlich reflectiren, wie dieses bezüglich der Halbkuppeln des Kreuzschiffes in der Thomas-Kirche zu Berlin der Fall ist. Diese Halbkuppeln sind etwa auf halber Höhe nach der Kirche hin durch Draperien verhängt.

Wand- und Deckenflächen sind auch wohl durch ausgepannten und in der Farbe dieser Flächen gefrichenen Stoff unschädlich gemacht. Alle solche mit-schwingenden Flächen entziehen dem Schall seine Kraft und werden an richtiger Stelle angewandt vielfach nützlich wirken.

Ein Raummachen der Wandflächen, eine Stuck-Ornamentation etc. können die gleiche Wirkung haben. So wirken beispielsweise in der Peters-Kirche zu Rom die Deckenformen, welche jenen in der Nicolai-Kirche zu Potsdam und in der Thomas-Kirche zu Berlin ähnlich sind, in Folge der reichen Decken-Decoration weitaus günstiger. Es liegt dieses nicht an den größeren Dimensionen; vielmehr müßte daselbst ein concentrirter Schallreflex ein noch deutlicheres Echo bewirken.

Die Erkenntnis der Fehlerursachen ist jedoch überall das wichtigste und wird dafür in vielen Fällen die vom Verfasser angewandte und in der unten⁷⁵⁾ stehenden Quelle dargestellte Methode ausreichend Licht geben. Jedoch müssen präzise Versuche sich vielfach anschließen, wozu provisorische Verhüllungen der als schädlich anzusehenden Flächen zu empfehlen sind, so fern man die Schallbegrenzung nicht auf andere Weise erreichen kann.

Literatur

über »Akustik der Räume«.

- DUMONT, G. M. *Parallèle des plans des plus belles salles de spectacle de l'Italie et de la France.* Paris 1766.
 PATTE, P. *Essai sur l'architecture théâtrale.* Paris 1782.

⁷³⁾ In: FAVARO, A. *L'acustica applicata alla costruzione della salle per spettacoli e pubbliche adunanze.* Turin 1882.

⁷⁴⁾ DOLBEAR, A. E. *The telephone etc.* Boston 1877.

⁷⁵⁾ Zeitschr. f. Bauw. 1872, S. 190.

- SAUNDERS, G. *A treatise on building theatres*. London 1790.
- STIEGLITZ, Ch. L. Encyclopädie der bürgerlichen Baukunst etc. Ueber Schauspielhaus. Leipzig 1792—98.
- LANGHANS, C. G. Vergleichung des neuen Schauspielhauses zu Berlin mit verschiedenen älteren und neueren Schauspielhäusern in Rücksicht auf akustische und optische Grundsätze. Berlin 1800.
- RHODE, J. G. Theorie der Verbreitung des Schalls für Baukünstler. Berlin 1800.
- CATEL, L. Vorschläge zur Verbesserung der Schauspielhäuser. Berlin 1802.
- WEINBRENNER, F. Ueber Theater in architektonischer Hinsicht mit Beziehung auf Plan und Ausführung des neuen Hoftheaters zu Karlsruhe. Tübingen 1809.
- LANGHANS, C. F. Ueber Theater oder Bemerkungen über Katakustik. Berlin 1810.
- WETTER, J. Untersuchungen über die wichtigsten Gegenstände der Theaterbaukunst, der vortheilhaften Formen des Auditoriums und der zweckmässigen Anordnung der Bühne und des Prosceniums, in optischer und akustischer Hinsicht. Mainz 1829.
- OTTMER, C. T. Architektonische Mittheilungen. I. Abth. Das Königstädter Schauspielhaus zu Berlin etc. Braunschweig 1830.
- LACHEZ. *Sur l'optique et acoustique des salles de réunion publique*. Paris 1848.
- HENRY, J. *On acoustics applied to public buildings. Annual report of the Smithsonian institution etc. for the year 1856*. Washington 1857.
- A few gropings in practical acoustics. Builder*, Bd. 8, S. 411, 421.
- HÄEGE. Bemerkungen über Akustik, mit Bezug auf öffentliche Bauwerke in den Vereinigten Staaten und in England. *Zeitschr. f. Bauw.* 1859, S. 581.
- LANGHANS. Principien der Akustik und ihre Anwendung bei Theaterbauten. *Zeitschr. f. Bauw.* 1860, S. 330.
- SMITH, T. *On acoustics. Builder*, Bd. 18, S. 815, 833.
- SMITH, T. R. *A rudimentary treatise on the acoustics of public buildings*. London 1861.
- The acoustic properties of rooms. Builder*, Bd. 19, S. 469, 578.
- ORTH. Verhältniß der Akustik in baulicher Beziehung. *Zeitschr. f. Bauw.* 1864, S. 296.
- Akustische Neuigkeiten. *Wochbl. d. Arch.-Ver. zu Berlin* 1867, S. 369.
- TYNDALL, J. *Sound: A course of eight lectures*. London 1869. Deutsche Ausg. von H. HELMHOLTZ u. G. WIEDEMANN. Braunschweig 1874.
- Acoustics and buildings. Builder*, Bd. 27, S. 402.
- HELMHOLTZ, H. Die Lehre von den Tonempfindungen etc. 3. Aufl. Braunschweig 1870.
- Gutachten des Königl. Geh. Regierungsraths Prof. Dr. DOVE über die bei der Errichtung eines neuen Domes in Berlin zu beobachtenden Rücksichten auf Akustik. *Zeitschr. f. Bauw.* 1871, S. 245. Deutsche Bauz. 1871, S. 231.
- ORTH. Die Akustik großer Räume mit speciellem Bezug auf Kirchen. *Zeitschr. f. Bauw.* 1872, S. 189. Auch als Separat-Abdruck im Buchhandel erschienen: Berlin 1872.
- SAELTZER, A. *Treatise on acoustics in connection with ventilation*. London 1873.
- Akustik. HAARMANN'S *Zeitschr. f. Bauhdw.* 1874, S. 30, 46.
- DREW, Th. *On the application of wires to remedy acoustic defects in public buildings. Builder*, Bd. 32, S. 477.
- Der Entwurf zu einem Volks-Opernhause für Paris. Der Schall im Theater. Deutsche Bauz. 1876, S. 344.
- Notiz zur Akustik großer Räume. Deutsche Bauz. 1877, S. 330.
- LÖFFLER. Akustik im geschlossenen Raume. *Wochschr. d. Ver. deutsch. Ing.* 1877, S. 115.
- HENRY, J. *Researches on sound. Annual report of the Smithsonian institution etc. for the year 1879*. Washington 1879.
- Aphorismen über Akustik. ROMBERG'S *Zeitschr. f. prakt. Bauk.* 1879, S. 13.
- The acoustic properties of buildings. Building news*, Bd. 36, S. 410. NOSTRAND'S *electric engng. mag.* Bd. 22, S. 153, 369.
- Concert rooms and sound. Building news*, Bd. 37, S. 277.
- The acoustical improvement of large halls. Engng.* Bd. 28, S. 399.
- The acoustical improvement of large halls. Engng.* Bd. 30, S. 136, 148.
- Effect of the motion of the air within an auditorium upon its acoustic qualities. Builder*, Bd. 37, S. 44. *Philosoph. magaz.*, Bd. 7, S. 111.
- WATSON, T. L. *The acoustics of public buildings. Building news*, Bd. 38, S. 234, 245.
- An experiment in acoustics. Building news*, Bd. 39, S. 176.

Vorrichtungen in Wänden, Decken und Sitzbänken bei Kirchen, Theatern, Kuppeln, Parlaments- und anderen Hörfälen zur Beförderung der Akustik durch Deflexion der Schallwellen. Deutsche Bauz. 1881, S. 9.

Die Verbefferung der Akustik in Hörfälen. Wochbl. f. Arch. u. Ing. 1881, S. 160.

Aus der Lehre vom Schall. HAARMANN's Zeitschr. f. Bauhdw. 1881, S. 50, 57.

LACHEZ, Th. *Acoustique et optique des salles de réunion etc.* Paris 1881.

Oakey, A. F. *Acoustics in architecture.* Architect, Bd. 40, S. 195.

Acoustics in architecture. Engineering magazine 1881. Building news, Bd. 41, S. 391.

FAVARO, A. *L'acustica applicata alla costruzione delle sale per spettacoli e pubbliche adunanze.* Turin 1882. Verbefferung der Akustik durch Netze von Metalldrähten. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 78. Gefundh.-Ing. 1882, S. 217.

TYNDALL, J. *Sound.* 4th edit. London 1883.

3. Kapitel.

Glockenföhle.

Von KÖPCKE.

Schon seit dem frühen Mittelalter finden wir die Thürme der christlichen Kirchen, später auch die Festungs- und Rathhaustürme (Belfriede) für die Zwecke der bürgerlichen Gemeinden mit Glockengeläuten versehen; jedoch kommen erst seit der Mitte des 13. Jahrhunderts grössere gegoffene Glocken vor, deren Anbringung und Bewegung uns hier zu beschäftigen hat.

Eine Glocke stellt einen Rotationskörper dar, welcher beim Anschlagen in Transversalschwingungen geräth, deren Knotenpunkte in zwei sich rechtwinkelig kreuzenden Durchmessern liegen, welche die Klangfigur bilden, während der Körper an der Durchkreuzungsstelle in der Achse fest gehalten wird. Maßgebend für die Höhe des Haupttones einer Glocke ist außer dem größten Durchmesser die Wandstärke nächst dem unteren Rande, wohin der Klöppel trifft. Die Stärke an dieser Stelle heißt der Schlag und bildet im Wesentlichen die Grundlage für alle übrigen Abmessungen der Glocke, deren Verhältnisse im Laufe der Zeit für grössere Bezirke ziemlich fest stehende geworden sind. Bei ähnlichen Glocken aus demselben Materiale steht die Tonhöhe in umgekehrtem Verhältnisse zur Gröfse; eine Glocke also, welche einen um eine Octave höheren Ton geben soll, als eine andere, muß linear halb, an Inhalt also $\frac{1}{8}$ so groß sein, als die den Grundton liefernde. Der Achsenschnitt einer Glocke wird die Rippe genannt, und man kennt in Mittel-Europa namentlich die deutsche und die französische Rippe, welche hauptsächlich dadurch von einander abweichen, daß bei der deutschen Rippe der untere Durchmesser 14 Schlag, die Höhe 10,27 Schlag, bei der französischen der untere Durchmesser 15 Schlag, die Höhe 12 Schlag groß ist.

Es sind indess die Gewichte der Glocken auch bei der Anwendung derselben Rippe nicht ohne Weiteres aus der Tonhöhe oder dem Durchmesser zu berechnen; es kommt vielmehr bei dieser Berechnung zunächst das Material in Frage. Bekanntlich werden die Glocken fast ausschließlich aus Bronze — etwa $\frac{3}{4}$ bis $\frac{4}{5}$ Kupfer und $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ Zinn — gegoffen; es kommen aber auch Glocken aus Gußstahl und Gußeisen vor, welche ungeachtet der etwa gleichen Gestalt und Gröfse deshalb nicht gleich hohe Töne wie Bronze-Glocken geben können, weil die Tonhöhe (Zahl der transversalen Schwingungen in der Zeiteinheit) mit dem Elasticitäts-Modul und umgekehrt mit dem specifischen Gewichte zunimmt. Da nun Gußstahl einen größeren Elasticitäts-Modul und ein kleineres specifisches Gewicht, als Bronze hat, so müssen Gußstahlglocken höhere Töne geben, als gleich dimensionirte Bronze-Glocken; sie müssen daher behuf Ergänzung gleich hoher Töne entweder durchweg größer oder bei gleichen äußeren Abmessungen mit dünneren Wandungen versehen sein, als Bronze-Glocken; thatsächlich werden die Stahlglocken leichter, und zwar nach der Junck'schen Tabelle ⁷⁶⁾ mit ca. 72 bis 75 Procent des Gewichtes der Bronze-Glocken hergestellt.

Es ist indessen selbst bei Verwendung gleichen Materials wegen der mechanischen Einwirkungen

⁷⁶⁾ In: JUNCK, D. V. Wiener Baurathgeber etc. Wien 1880. S. 249.