



Sicherungen gegen Einbruch

Marx, Erwin

Darmstadt, 1884

a) Akustisch günstige Gestaltung der Räume

[urn:nbn:de:hbz:466:1-78856](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-78856)

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

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 *Bouvard* ausgeführten Versuche zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit ergaben $340,88^m$ pro Secunde bei einer Lufttemperatur von 16 Grad R.; das Barometer stand auf $756,6^{mm}$ 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 Refonanz, 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 unbertührt geblieben wären; der Brennpunkt wirkt nicht wie eine neue Schallquelle, sondern nur wie ein Durchgangspunkt des Schalles.

a) Akustisch günstige Gestaltung der Räume.

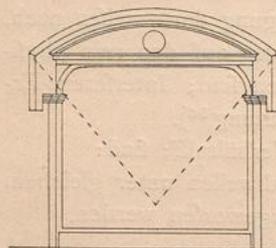
Die im Vorstehenden angeführten Gesetze sollen nunmehr in ihrer Anwendung auf die akustisch günstige Gestaltung neu zu erbauender, größerer Räume in nachfolgenden Hauptgesichtspunkten erläutert werden.

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 *Haege*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 21,34m (= 2 × 35 Fufs 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 Ufererschälung zurückgeworfenen Schall deutlich unterscheidbar, wie wenn man mit einer Säge rasch über einen Gegenstand

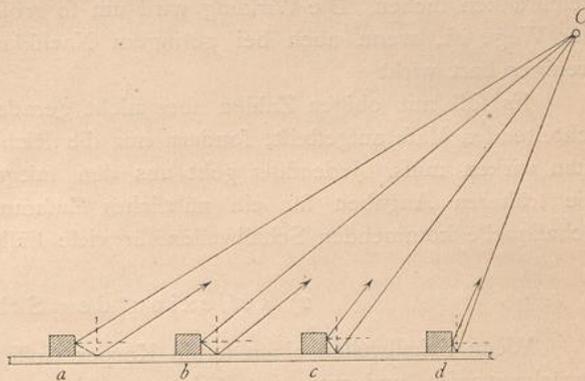
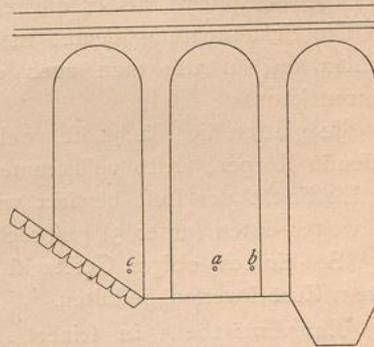


Fig. 34.

hinfährt. Es war dieses die einzige Stelle, wo der Lage nach ein derartiges Echo zurückkommen konnte. Die Pfähle der Ufererschälung mochten ungefähr 1,5 bis 2,0m von einander entfernt sein, so daß im Maximum ca. 3 bis 4m Differenz der Wege bei zwei benachbarten Pfählen eintrat.

Ein anderer Fall ist vom Verfasser in der Zeitschrift für Bauwesen (1872, S. 196) mitgeteilt. Bei einem Viaduct in Greene bei Kreifen, 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 6m (ca. 20 Fufs) 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 $\frac{1}{60}$ Secunde wesentlich durch die Wiederholung und das Eigenthümliche des Tones bemerkbar.

Fig. 35⁵⁷⁾.

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

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 Gefange wird man diese Grenze weiter ziehen können, wie schon die vielfach gröfsere 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 gröfser fein, 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 mufs. Jedenfalls geht aus den mitgetheilten Versuchen hervor, dafs 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, dafs, 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, dafs 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.

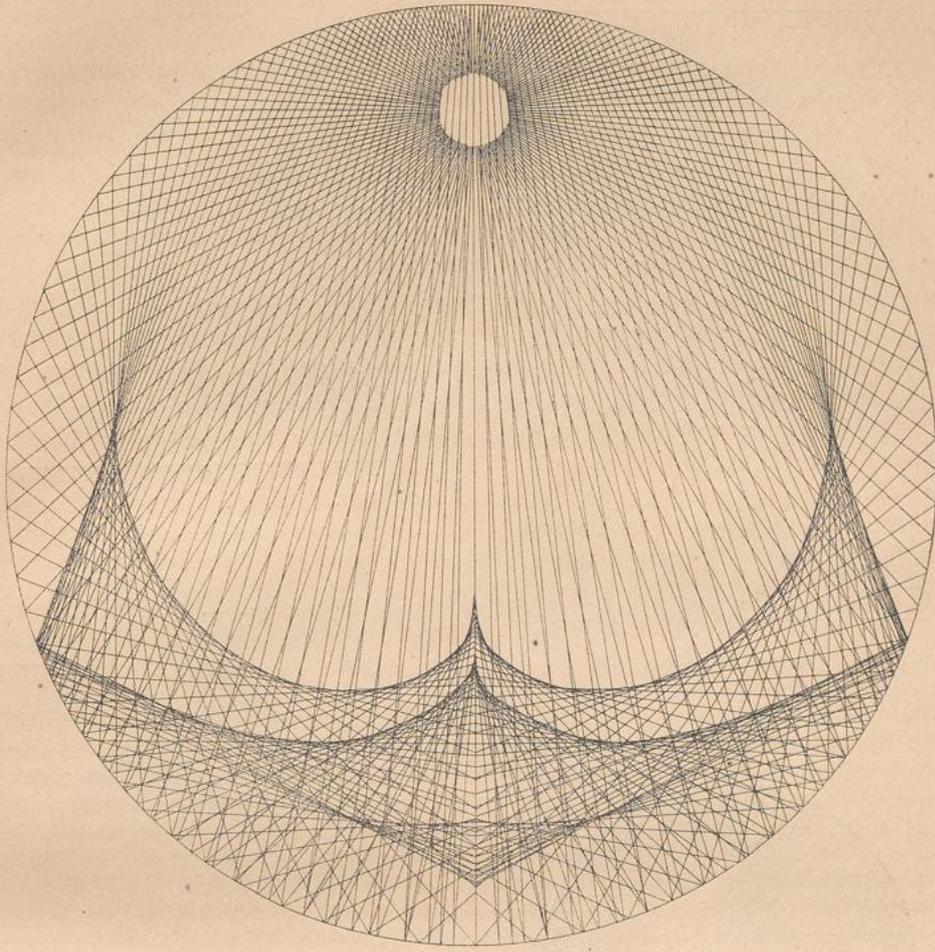
34-
Beschaffenheit
der
reflectirenden
Flächen.

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-
Grundriffsform.

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 übermäfsige 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-Concentrationsen 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.

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 mitgetheilt; dieselbe würde für die entsprechenden Grundriffsformen 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, bezw. Gewölbe angenommen, während, wie im vorhergehenden Falle, die Schallquelle in *O* ist; unterhalb der festen Wand, bezw. Decke können Pfeiler, Säulen etc. vorausgesetzt werden. Es zeigt sich hier an dem Grade der Zerstreuung 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 Constructions-material 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 Zerstreuung 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 zerstreudend 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 Plätschern und Riefeln des etwa 32 mm (= 1/8 Zoll) starken Strahles

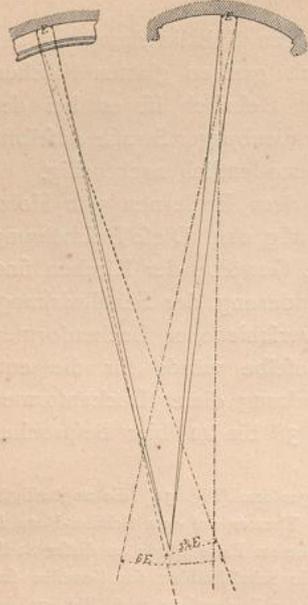
36.
Deckenform.

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 = 55^m 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 Ungeföhrtheit 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 Galeriewände treffenden Schallwellen beruhen, wo die stark geneigte Decke (Fig. 44) den Schall nach den Sitzreihen herunter wirft.

Bekannt sind ähnliche Erscheinungen bei den oberen Galerien 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. Dieser 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.

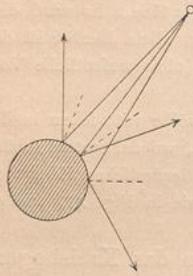


Fig. 44.

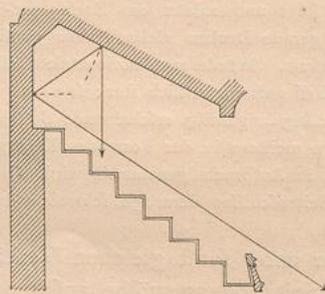
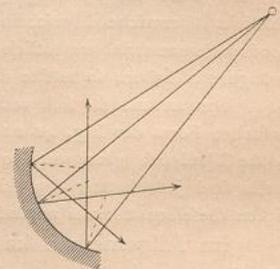


Fig. 45.



3) Mittönen von Wänden und Decken.

38.
Wirkung
mittönender
Flächen.

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 *Haage*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

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

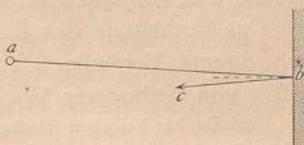
⁶⁴⁾ In: Zeitschr. f. Bauw. 1860, S. 336.

⁶⁵⁾ In: Zeitschr. 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 Aufsetzen 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 merkbar Tönen der Stimmgabel in freier Luft an einem Faden aufgehängt im Verhältniß zu dem beim Aufsetzen 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 $(a b + b c)^2$ maßgebend, bei der neuen durch Mittönen entstehenden Schallquelle jedoch das Quadrat $b c^2$. 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, Gitarre 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 Gefchoße, 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 Schaldeckel (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 präzise 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 seiner 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 StraÙe zu Berlin mit einer geputzten Fläche und einer Marmorplatte anstellte, hervorging, daß gefchliffene und polirte Marmorplatten sehr wenig Reflexionsverlust ergeben⁶⁸⁾, wie dies auch andererseits aus dem starken Schallreflex der glatten Marmorwände dieses Bauwerkes hervorgeht.

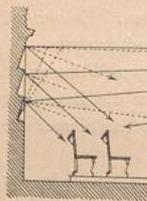
4) Deflexion des Schalles.

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.

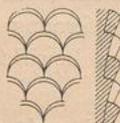


Fig. 50.

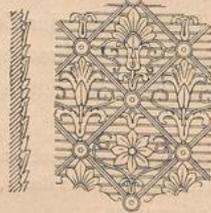
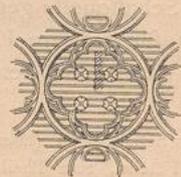


Fig. 51.



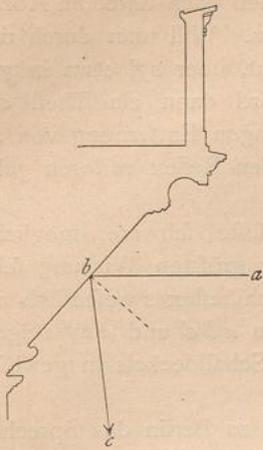
⁶⁷⁾ Siehe: Zeitschr. f. Bauw. 1872, S. 209 u. 210.

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 Fig. 53. nahe gelegenen Sitzplätzen reflectirt. Die Fig. 48 bis 51 geben die Anwendung, wie dieses Princip, ohne den Flächeneindruck zu beeinträchtigen, durchführbar ist.

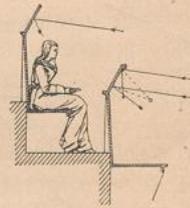
Dieselbe Wirkung tritt ein bei schrägen Unteransichten von Gesimsen, bei vorspringenden schrägen Unterflächen von Emporen etc. In Fig. 51 wird dies durch den dem Schallstrahl entsprechenden Linienzug *abc* ohne Weiteres klar.

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

In einer Kirche zu Pymont hat Verfasser bei den großen Wandflächen unterhalb der Emporen die in Fig. 53 skizzirte Quaderung angewendet und dadurch sehr günstige Resultate bezüglich der Schallerstreuung erreicht; die Wände zeigen keinen schädlichen Schallreflex. Eben so wirken die mit einem sorgfältigen, in der äußeren 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 Abschlussgefimse werden hier den Schall nahe dem Ohr des Hörenden concentriren, besonders wenn die reflectirende Fläche aus festem, glattem Material gebildet ist.

Fig. 54.



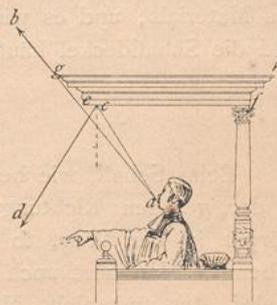
42.
Anordnung
der
geneigten
Flächen.

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 Größe 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.



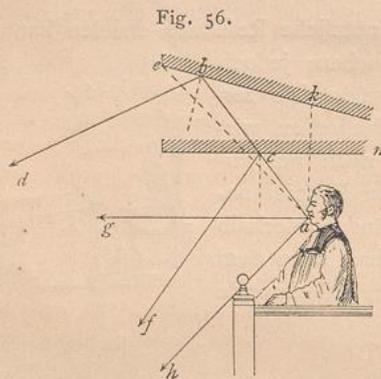
43.
Größe.

decke ef elastisch mitfchwingt 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 Strasse 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 gesammte 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.

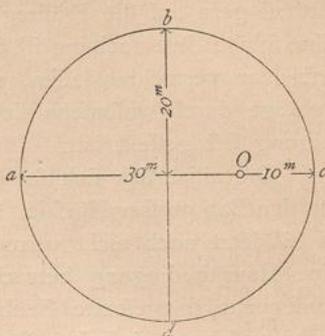
45.
Wesen
der
Diffusion.

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

Redners, 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, 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 schliesslich das Ohr des Zuhörers erreicht. Man construiert sich an dieser Stelle den Querschnitt des Schallauschnittes und vergleicht diese Fläche mit derjenigen, welche in gleicher GröÙe 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 schliesslich 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 gröÙeren Hörfällen bereits im Entwurf vorzunehmen, wenn man nicht schon vorher durch vielfache Untersuchungen ein genügendes Urtheil für den einzelnen Fall gewonnen hat.

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

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

46.
Maßstab.

47.
Raum-
untersuchung.

48.
Prüfung
in den
Entwürfen.

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 ein 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 ausgespannte Netze meistens unwirksam sein.