

6.

CENTRALBAU ODER LANGHAUS?

EINE ERÖRTERUNG
DER
SCHALLVERHÄLTNISSE IN KIRCHEN

VON

A. STURMHOFEL,
STADTBAURATH A. D.

MIT 12 ABBILDUNGEN IM TEXT.



BERLIN 1897.

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.
GROPIUS'SCHE BUCH- UND KUNSTHANDLUNG.

Nr 917

G. 21
ga

211

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298324

CENTRALBAU ODER LANGHAUS?

EINE ERÖRTERUNG
DER
SCHALLVERHÄLTNISSE IN KIRCHEN

VON
A. STURMHOFEL,
STADTBAURATH A. D.

MIT 12 ABBILDUNGEN IM TEXT.



N. 917

BERLIN 1897.
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.
GROPIUS'SCHE BUCH- UND KUNSTHANDLUNG.

xxx
211

Erweiterter Sonderdruck aus der Zeitschrift für Bauwesen
Jahrgang 1897.

Nachdruck verboten.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA

KRAKÓW

II 31420

Akc. Nr. 176 50

Vorwort.

Ueber die Schallentwicklung in Kirchen sind die Ansichten vielfach so aus einander gehend, daß der Versuch einer Klärung hierin nicht überflüssig erscheint. Geübte Redner wissen, wie sie in einem bekannten Raume sprechen müssen; sie prüfen an einem fremden Orte vorsichtig, ob der Schall ihrer Worte auch für die entfernteren Zuhörer ausreicht; aber diese Erfahrung täuscht auch sie häufig, weil sie bei ihrer Beurtheilung nicht selten von Voraussetzungen ausgehen, die nicht zutreffen. Auf der Kirchenconferenz in Berlin im Mai 1894 hörte man wiederholt von Geistlichen die Ueberzeugung aussprechen, ein Kanzelredner würde auf 20 m oder 25 m Entfernung immer gut verstanden. Dies ist eine völlig irrige Ansicht. Es giebt eine große Zahl von Versammlungssälen, Begräbnisscapellen usw., deren Längen bei entsprechender Breite das Maß von 20 m kaum erreichen, und in denen der Redner doch recht schlecht verstanden wird. Es giebt anderseits mehr als doppelt so lange Räume mit guter Hörsamkeit bis auf den entferntesten Platz. Die Ausdehnung allein leistet keine Gewähr; sondern der Erfolg oder Mißerfolg hängt von der Gesamtgestaltung des Raumes und von der Ausbildung der ihn begrenzenden Flächen ab. Kirchliche Versammlungen und Fachmänner wie Zwirner und Boisserée haben aus ihren Erfahrungen heraus sich für den Langschiffbau ausgesprochen, ohne sich jedoch auf die Begründung dafür einzulassen. Den Kirchenbaumeistern indessen hat das Rechteck nie genügt. Sie strebten über die geraden Linien nach allen Seiten hinaus, um für ihren Bau innen wie außen reizvollere Wirkungen zu erzielen. Interessante Centralbauten waren schon in frühchristlicher Zeit entstanden und haben bis

heute als anregende Vorbilder gedient. So glaubte Verfasser, der seit Jahren mit praktischen Versuchen bezüglich der Schallentwicklung sich beschäftigt, die Formen des Langbaues wie der Centralkirchen einer eingehenden Betrachtung betreffs ihrer Hörsamkeit unterziehen zu sollen. Die Untersuchung ergab die zweifellose Ueberlegenheit des Rechtecks, bei dem nachgewiesen werden konnte, daß störende Reflexe in weit geringerer, günstige den directen Schall unterstützende Reflexe dagegen in wesentlich größerer Zahl und Wirkung sich bilden, als bei den Centralformen.

In meiner „Akustik des Baumeisters“*) hatte ich die überraschende Thatsache angeführt, daß das Gesetz, nach welchem die Schallstärken sich in demselben Maße vermindern, in dem die Quadrate der Entfernungen zunehmen, durch die Versuche thatsächlich niemals und nirgends bestätigt wird. Diese Versuche sind mit einem mehr und mehr vervollkommeneten Instrumente seitdem fortgesetzt und die wichtigsten Ergebnisse davon in dieser Schrift mitgetheilt worden. Es hat sich aus ihnen die Lösung finden lassen, wie die scheinbar widersprechenden Ergebnisse dennoch auf das theoretische Grundgesetz zurückzuführen sind. Der einfache und wenig kostspielige Fallstächenapparat giebt Baumeistern wie Predigern ein Mittel an die Hand, sich über die Schallverhältnisse in den Kirchen durch selbstausgeführte Messungen ein begründetes Urtheil zu verschaffen. Die Fallhöhen geben unmittelbar die Schallstärken an, welche im Vergleich zur Schallstärke auf 30 m Entfernung im Freien für die weiter abliegenden Plätze im Schiffe wie auf den Emporen zur Erregung der Reizschwelle ausreichen. Die größten Fallhöhen zeigen diejenigen Orte an, wo man am wenigsten gut hört. Dies wird der Kanzelredner auszugleichen haben, indem er besonders dorthin seine Stimme richtet. Störende Reflexe erkennt man bei einem kurzen scharfen Schalle an dem zu lange nachschleppenden Nachhall. Dieser lästige Nachhall, der gerade in kleineren Kirchen häufig das Verständniß der Rede trübt, wird stets von ebenen, glatten Flächen verursacht, deren Lage

*) A. Sturmhoefel, Akustik des Baumeisters oder der Schall im begrenzten Raume. Berlin 1894.

man unschwer ermitteln kann, um dann dem Uebel abzuhelpfen. Auch bei Kathedralen mit Langschiffbauten von bedeutenden Abmessungen, wie sie aus dem Mittelalter erhalten und nach deren Vorbild in neuerer Zeit entstanden sind (Hamburg, Leipzig usw.), wird es weniger die Länge des Hauptschiffs sein, als besonders die ebenen, kahlen Wand- und Deckenflächen mit ihren störenden Reflexen, was die Akustik dieser Kirchen als wenig oder gar nicht gelungen erscheinen läßt. Um dies klar zu stellen, sind in dieser Schrift die Erörterungen der Schallverhältnisse an einem Schema mit großen Maßstab geführt worden. Die Verhältnisse in den heutigen Großstädten drängen aus mehr als einem Grunde auf die Errichtung von Gotteshäusern hin, welche mehrere Tausend Andächtige aufzunehmen imstande sind. Bau, Unterhaltung und Verwaltung gestalten sich dadurch wirtschaftlich so erheblich vortheilhafter, daß die bequeme Behaglichkeit mehrerer kleiner Kirchen dagegen zurückstehen muß. Die Beschaffung des Bauplatzes und der Geldmittel werden damit vereinfacht und, rationell angesehen, auch erleichtert. — Von den Fachgenossen verläßt sich noch mancher, was die Hörsamkeit seines Baues anlangt, auf den gütigen Zufall (wie Ch. Garnier) und meint, daß schließlich, wenn der Mißerfolg nicht mehr zu läugnen ist, immer noch nachgeholfen und abgeholfen werden könne. Diese Aufgabe ist mir kürzlich wiederholt gestellt worden bei Sälen, die nur mäßige Abmessungen aufwiesen. Es konnten Maßregeln getroffen werden, die mit immerhin nicht unbedeutenden Kosten und Störungen den lästigen Nachhall beseitigten, ohne den Schall allzusehr abzustumpfen. In größeren Räumen wird man jedoch hiermit nicht auskommen; harte Eingriffe in die Architektur, große Aufwendungen werden erforderlich werden, und das führt dann zu Auseinandersetzungen die für unser Fach wenig erfreulich sind.

Uebersicht des Inhalts.

| | Seite |
|--|-------|
| Entstehung des Schalls | 9 |
| Kleinster Schall | 9 |
| Geschwindigkeit des Schalls. Wellenlänge. Höhe. Tiefe | 9 |
| Töne. Geräusche | 10 |
| Grundton. Obertöne. Klangfarbe | 10 |
| Menschliche Stimme | 11 |
| Gehör | 11 |
| Das Ohr | 11 |
| Schallstärke. Reizschwelle | 13 |
| Theorie und Wirklichkeit bezw. Schallabnahme nach dem Quadrat der Entfernungen. Reflexe | 14 |
| Reflexwirkungen der ebenen und der reliefirten Flächen | 14 |
| Mehrmalige Reflexion | 15 |
| Schallinterferenz und ihre Wirkungen. Vocale und Consonanten | 16 |
| Die Rede. Klangfarbe | 17 |
| Zeitmaß | 18 |
| Betonung | 19 |
| Tragweite | 19 |
| Fallstäbchenapparat | 20 |
| Schallkraft des Instruments | 22 |
| Schallabnahme auf freiem Felde | 23 |
| Wachsen der reflektirenden Flächen mit den zunehmenden Entfernungen | 24 |
| Schallabnahme im Walde | 25 |
| Schallabnahme in geschlossenen Räumen. Philharmonie | 26 |
| Tivolisaal. Wirkungen mehrmaliger Reflexion | 27 |
| Fußbodenreflex | 28 |
| Schallhindernisse | 29 |
| Maschinenhalle in Moabit. Refl. Wirkung einer gefugten Wand. Glas und Eisen | 29 |
| Vortheil höherer Lage der Zuhörer | 30 |
| Methode der Versuche | 30 |

| | Seite |
|--|-------|
| Langschiff oder Centralbau? | 31 |
| Quadrat. Diagonalstellung | 32 |
| Achteck und Sechseck | 34 |
| Kreis | 35 |
| Ungünstige Reflexion unter rechtem Winkel | 35 |
| Oblongum | 37 |
| Das Kirchenbedürfnis der Grosstädte | 38 |
| Beispielschema für 2500 Sitzplätze | 38 |
| Höhenlagen | 39 |
| Kanzel. Resonanz der Holzkanzel | 40 |
| Schaldeckel | 41 |
| Altar | 42 |
| Gewölbe der Vierung. Decke der Schiffe | 42 |
| Reflexe der Wände, Emporen und Sitzreihen | 43 |
| Schallwirkung am Ende des Langschiffs; auf den Emporen. Reflexe höherer Ordnungen | 44 |
| Beleuchtungskörper | 45 |
| Gestühl | 46 |
| Vortheil der feierlich gemessenen Sprache | 46 |

Entstehung des Schalls. Jeder elastische Körper, dessen Ruhe durch einen Stofs oder Zug gestört wird, geräth in Schwingungen, die sich durch die Luft ringsumher verbreiten, und falls sie stark genug sind unsre Gehörnerven zu reizen, Schall genannt werden.

Kleinster Schall. Der Ton einer angeschlagenen Saite vermindert sich rasch bis zur Unhörbarkeit. Ihre Schwingungen aber dauern, ohne dafs wir sie vernehmen, noch eine geraume Weile fort. Wir können diese „stummen Schwingungen“ mit dem vorsichtig genäherten Finger fühlen; für unser Ohr jedoch sind sie ohne Wirkung. Wenn solche kleinsten Schallschwingungen indessen sich in grösserer Menge summiren, werden sie hörbar. Die ersten einzelnen Regentropfen vernehmen wir nicht, obwohl sie meist die grössten zu sein pflegen, wohl aber den Platzregen, der auf Dächer und Pflaster herniederrauscht. Wir hören nicht das einzelne Blatt vom Baum herunterschweben, wohl aber im Herbst jenes eigenthümliche Knistern, mit dem die Blätter im Walde in Menge zu Boden sinken. In gleicher Weise können in Innenräumen schwache Schalle sich zu erheblichen Wirkungen häufen.

Geschwindigkeit des Schalls. Wellenlänge. Der Schall pflanzt sich durch die Luft bei 20° C. mit einer Geschwindigkeit von 343,33 m in der Secunde fort. Hieraus und aus der Zahl der Schwingungen einer Saite in der Secunde läfst sich die Länge der auf die Luft übertragenen Tonwellen berechnen. Macht die Saite (a') 440 Doppelschwingungen (hin und zurück), so wird mit diesen Tonwellen ein Weg ausgefüllt von 343,33 m; und da die Dauer jeder Schwingung dieselbe ist, beträgt die Länge der Doppelschwingung in diesem

Falle $\frac{343,33}{440} = 0,79$ m. Sobald die Zahl der Doppelschwingungen in der Secunde gröfser wird, mufs ihre Länge, da der zurückgelegte Weg derselbe bleibt, sich vermindern, bei einer kleineren Zahl Schwingungen umgekehrt sich vergröfsern. Je kleiner die Wellenlänge und je gröfser die Zahl der Schwingungen, um so höher, je gröfser die Wellenlänge und je kleiner die Zahl der Schwingungen, um so tiefer wird der Ton.

Töne. Geräusche. Bei der Schwingung prefst die Saite die Luft vor sich her zusammen und dehnt sie hinter sich her aus. Bei der Rückschwingung ist der Vorgang umgekehrt. Nach beiden Schwingungsrichtungen hin entstehn also abwechselnd Verdichtungen und Verdünnungen der Luft, welche man die positiven und die negativen Phasen der Schwingungen nennt. Solche regelmäfsigen Schallschwingungen nennen wir Töne im Gegensatz zu den unregelmäfsigen Schwingungen oder Geräuschen. Diese Unregelmäfsigkeit macht eine allgemeine Definition der Geräusche nahezu unmöglich. Ihre Verschiedenheit ist unendlich; ihr Gemeinsames schwer festzustellen. In der Natur giebt es nur Geräusche. Der Gesang des Menschen, der Klang der Musikinstrumente sind Kunsterzeugnisse. Den so erzeugten Tönen klebt immer etwas ihrer irdischen Herkunft an: sie sind stets mit Geräuschen gemischt. Am wenigsten noch die Nachahmung des Vogelgesangs, die Flötentöne. Aber auch die Geräusche ermangeln nicht begleitender Tonwirkungen. Aus dem Brausen des Sturmes und der Meereswellen, aus dem Getöse des Eisenbahnzuges kann das geübte Ohr auch ohne musikalische Phantasie Töne ja Melodien herausfinden.

Grundton. Obertöne. Eine Saite schwingt nicht nur in ihrer vollen Länge, sondern ihre Hälften, Drittheile, Viertel usw. schwingen aufserdem für sich und bilden im Gegensatz zum Grundton der ganzen Länge den ersten, zweiten, dritten usw. Oberton. Ebenso theilt sich die schwingende Luftsäule in den Blasinstrumenten zu Obertönen, welche den Grundton begleiten. Diese Obertöne aber bilden sich nicht gleichmäfsig stark; bald wiegen die einen, bald die andern dabei vor. Die Mischung des Grundtons mit den auftretenden Obertönen giebt dem so ent-

stehenden Klänge seinen Charakter, seine Klangfarbe, die auf diese Weise außerordentlich verschieden sein kann.

Menschliche Stimme. Besonders reich an Obertönen ist die menschliche Stimme. An einer Bafsstimme hat Helmholtz deren 16 nachgewiesen. Einen besonders schönen Klang giebt der Grundton mit den ersten 6 gleichmäfsig ausgebildeten Obertönen (*Vox humana* der gröfseren Orgeln). Die höheren und höchsten Obertöne machen die Klangfarbe scharf und leidenschaftlich; nicht nur im Gesange, auch in der Rede stellen sie sich ohne unser Wissen und Wollen in der Erregung von selber ein. Durch ein Vorwiegen der ungraden Obertöne wird der Klang etwas quäkig wie beim Fagot und der Oboe. Die Stimme entsteht, indem die Luft aus der Lunge durch die Luftröhre geprefst wird. Dabei passirt sie die im Kehlkopf zwischen den Stimmbändern liegende Stimmritze, deren Länge mittels eines bewunderungswürdigen Muskelapparats ebenso vielfach veränderlich ist, wie die Straffheit der Stimmbänder. Die Schwingungszahl der so bewegten Stimmbänder verleiht dem Ton seine musikalische Lage, die mittönende Luftsäule der Luftröhre verstärkt die Kraft, die Mundhöhle macht den Klang zum Vocal und zugleich mittels Zunge und Zähnen durch die Consonanten zur Sylbe, zum Worte. Dies ist in grofsen Zügen der Vorgang, den mit allen seinen Einzelheiten und Eigenthümlichkeiten zu erschöpfen viele Capitel geschrieben werden müfsten. Aber auch das Gesagte genügt, um die überaus reichen Mittel erkennen zu lassen, über welche das ausgebildete Sprachorgan gebietet. Dem unendlich abwechselnden Ausdruck der Stimme gegenüber ist die Wirkung des Mienenspiels und der Geberden nur eine sehr beschränkte.

Gehör. Ebenso wichtig ist die Untersuchung der Schallwirkungen auf das Gehör. Der Mensch hört zwar vorzugsweise aber durchaus nicht allein mit den Ohren; der ganze Kopf ist schallempfindend, ebenso, wenn auch mit der Entfernung vom Kopfe abnehmend, der übrige Körper. Selbst die Schwingungen des Fußbodens werden durch das feste Knochengüst dem Gehör sofort übermittelt.

Das Ohr (Abb. 1). Dem Trommelfell (*c*) wird die Schall-schwingung der Luft durch die Ohrmuschel (*a*) und den Gehör-

gang (*b*) zugeführt und von dort durch den Hebelmechanismus der Gehörknöchelchen: Hammer (*e*), Ambos (*f*) und Steigbügel (*g*) auf eine kleine Oeffnung im innersten Theile des Ohrs, auf das sog. ovale Fensterchen (*h*) des Labyrinths übertragen. Der Raum hinter dem Trommelfell, in welchem sich die Gehörknöchelchen befinden, heist die Paukenhöhle (*d*). In der Knochenwand, die die Paukenhöhle vom Labyrinth trennt, befindet sich aufser dem ovalen Fensterchen nur noch eine zweite Oeffnung: das runde Fensterchen (*i*). Beide sind mit einer dünnen, elastischen Membran geschlossen. Das Labyrinth besteht aus dem Vorhof (*k*)

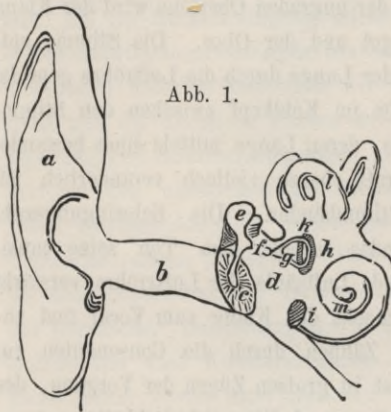


Abb. 1.

den 3 halbkreisförmigen Bügeln (*l*) und der Schnecke (*m*); es ist völlig mit einer Flüssigkeit, dem Gehörwasser gefüllt. Die Schnecke hat ihren Namen von ihrer spiralförmigen Gestalt erhalten; durch eine theils knöcherne, theils häutige Scheidewand ist sie in der ganzen Länge ihrer Spirale getheilt. Von den

so entstandenen Hälften des Schneckengangs öffnet sich die eine, die Vorhottreppe, auf den Vorhof; die andere Hälfte, die Paukentreppe, ist an ihrem unteren Ende durch das runde Fensterchen von der Paukenhöhle abgeschlossen. Da die Schallwellungen im Wasser sich viermal schneller als in der Luft fortpflanzen, laufen sie auch vom Steigbügelchen und dem ovalen Fensterchen um so rascher durch den Vorhof, die 3 halbkreisförmigen Canäle, die Vorhottreppe hinauf bis zur Schneckenspitze, treten dort durch eine feine Oeffnung in die Paukentreppe über und endigen zurücklaufend an der elastischen Membran des runden Fensterchens. Die Membrane der beiden Fensterchen dienen nicht allein zum Halten des Gehörwassers, sondern zugleich durch ihre Elasticität zum Ausgleich der Schallwellenbewegung. Die inneren Wände des Vorhofs, der 3 Bügel und der Schnecke sind mit zarten häutigen Gebilden, die Schneckenscheidewand besonders mit den

„Cortischen Fasern“ überzogen, welche die letzten feinen Endigungen des Gehörnervs sind, die Schallschwingungen dem Gehirn übermitteln und so die Empfindung des Hörens hervorbringen. Trotz der Untersuchungen von Helmholtz u. A. sind die Functionen der einzelnen Theile des Labyrinths, besonders der Schnecke, immer noch geheimnifsvoll geblieben.

Schallstärke. Die Stärke des Schalls kann unendlich verschieden sein. Der Donner eines schweren Belagerungsgeschützes und das kaum vernehmbare Geräusch einer zu Boden fallenden Stecknadel zeigen die äußersten Grenzen der Zumuthungen an unser Gehör.

Erfolgreiche Bemühungen Schallstärken zu messen sind erst in neuerer Zeit gemacht worden. Wie die Klänge aus verschiedenen Tönen, so sind auch alle Geräusche aus verschiedenen Schallschwingungen zusammengesetzt. Wenn ein kleiner Hammer auf ein leichtes Holzplättchen schlägt, so schallen nicht allein das Plättchen und seine Unterlager, sondern auch Kopf und Stiel des Hammers. Schon bei diesem einfachsten Beispiel ist der Vorgang ein verwickelter. Man hat sich überzeugen müssen, dafs nur diejenigen Schallstärken mit einander verglichen, d. h. gemessen werden können, welche dieselbe Schallmischung oder Schallfarbe haben, d. h. aus derselben Schallquelle stammen. Aber auch unter dieser Einschränkung entgehen dem ungeübten Ohre Unterschiede bis zu 20 v. H. der Stärke! Ferner mußte man einen Anfangspunkt für die Untersuchungen festlegen. Wird der Schall eines Körpers, der einem bestimmten Beobachter auf eine gewisse Entfernung noch nicht vernehmbar ist, ganz allmählich verstärkt, bis er gerade hinreicht, in dem Ohre dieses Beobachters eine kleinste Schallempfindung auszulösen, so nennt man diese kleinste Empfindung die Reizschwelle.

Die Reizschwelle bezeichnet also für einen bestimmten Hörer, für eine bestimmte Entfernung und eine bestimmte Schallquelle (z. B. den später zu behandelnden Fallstäbchenapparat) den Beginn des Hörens. Mit derselben Person kann man nun die Schallstärken für die zweifache, vierfache usw. Entfernung ermitteln und daraus Schlüsse über die Abnahme der Schallstärke ziehen, die für die Akustik von der größten Bedeutung sind. Diese Versuche werden aber nicht über zwei bis drei

Stunden auszudehnen sein, da in einem längeren Zeitraume die Empfindlichkeit des Ohres sich leicht ändert.

Theorie und Wirklichkeit bez. des Quadrats der Entfernungen. Die Theorie, daß die Schallstärke abnimmt wie das Quadrat der Entfernungen, daß sie also bei der doppelten Entfernung auf $\frac{1}{4}$ der Stärke bei der einfachen Entfernung herabsinkt, findet in Wirklichkeit niemals und nirgends statt. Der Grund dafür sind die überall auftretenden Reflexe. Aehnlich wie die Lichtwellen werden auch die Schallwellen von jedem Körper zurückgeworfen. Eine ebene Fläche wirft die Schallwellen unter demselben Winkel, unter dem sie sie treffen, zurück; nur wie beim Spiegelbilde umgekehrt. Wenn man sich einer graden Mauer in hinreichender Entfernung gegenüber stellt und in die Hände klatscht, kann man sich von dem Widerhall oder Echo überzeugen. Die mathematisch genaue Winkelreflexion beweist ein parabolischer Hohlspiegel, in dessen Brennpunkt eine Uhr tickt. Wird in der Parabelachse ein zweiter Spiegel dem ersten auf 15 m Entfernung gegenüber gestellt, so vernimmt das Ohr in dessen Brennpunkt deutlich das Ticken der Uhr. Die vom ersten Spiegel parallel zur Achse zurückgeworfenen Schallwellen treffen den zweiten Spiegel und werden von diesem wieder im Brennpunkte gesammelt. Auch eine Kugelhohlfläche reflectirt die Schallwellen aus einem Ort heraus, der etwa um die Hälfte des Radius von ihr abliegt. Alle akustischen Wunder antiker wie moderner Zeit erklären sich aus solchen Reflexionsgesetzen. In Kirchen wie in allen andern Innenräumen sind derartige Schallhäufungen noch mehr aber Widerhall oder Echo sehr störend. Diese unerwünschten Schallwirkungen muß man zu verhindern und die Verhältnisse so anzuordnen streben, daß die Reflexe möglichst den entfernteren Plätzen zugute kommen, für welche die Kraft der directen, d. h. vom Redner in grader Linie bis zum Zuhörer fortgepflanzten Schallwelle allein zum Verständniß nicht mehr ausreichen würde.

Ebene und mit Relief versehene Flächen in ihren verschiedenen Reflexionswirkungen. Wären Wände und Decke eines Raumes ebene Flächen, so würde an jeder derselben auch nur ein Reflex entstehen, dessen Reflexionspunkt nach dem Stande des Redners und des Hörers genau construirt werden

könnte. Diese kräftigen Reflexe würden der Länge ihres Umweges gegen den directen Schall entsprechend nach einander beim Zuhörer eintreffen und dort die Gesamtwirkung erhöhen, wenn sie sich nur wenig vom directen Schall trennen, dieselbe aber um so mehr beeinträchtigen, je später sie dort anlangen. Sind die Flächen aber nicht eben, sondern mit körperlichen Ornamenten, mit Reliefs ausgestattet, so bildet sich an den vielen kleinen Flächen dieser Reliefs eine sehr große Zahl von in ihrer Einzelwirkung schwachen Reflexen, deren Gesamtwirkung jedoch erheblich ist. Besonders aber können die Reflexe, weil sie nicht wie von der ebenen Wand in einem Augenblicke und wie mit einem Schläge sondern allmählich, nach und nach bei dem Hörer eintreffen, niemals stören. Allerdings ist die Wirkung der Gesamtreflexion einer reliefbedeckten Wand geringer als die einer glattgeputzten. Diese reflectirt mit 80 bis 84 v. H. Nutzeffect, jene nur mit 64 v. H. Trotz dieser 36 v. H. Verlust wird man die mit Relief bedeckte Wand in allen zweifelhaften Fällen vorziehen. Die Schallreflexion ähnelt hierbei der Lichtreflexion auf einer Wasserfläche. Ist diese ruhig, so zeigt sie nur ein einziges, genaues Spiegelbild, beispielsweise des Mondes. Ist sie bewegt, so sieht man auf einer großen Zahl von Wellen die Lichtreflexe leuchten.

Mehrmalige Reflexion. Aber noch eine weitere Erscheinung findet sich bei Reliefs. Bei ihrem meist dem Halbkreis sich nähernden Querschnitt werfen sie den Schall nicht nur nach dem Zuhörer, sondern auch nach allen benachbarten Reliefs, sodafs er von dort schliesslich ebenfalls beim Zuhörer anlangen kann. Es läfst sich nachweisen, dafs aufser der einmaligen eine zwei- und mehrmalige Reflexion von den Reliefs nach fast allen Plätzen des Zuhörerraumes stattfindet. Dadurch würde eine aufserordentliche Schallverstärkung eintreten, wenn nicht die Schallkraft um so mehr sich herabminderte, je öfter der Verlust bei der jedesmaligen Brechung eintritt und je länger die entstehenden Wege der Reflexe werden. Deutlich zeigt sich die Wirkung mehrmaliger Reflexion in allen langen, schmalen und niedrigen Räumen, so wie dort, wo in den Winkeln und Ecken eines Raumes zwei Wände, Fußboden oder Decke zusammentreffen.

Schallinterferenz. Dieses Uebermafs der Reflexion könnte lästig werden, wenn nicht ein erheblicher Theil der Wirkung durch die Gegenwirkung der Schallinterferenzen aufgehoben würde. Interferenzen giebt es bei allen Wellenbewegungen: beim Schall, Licht, bei der Elektrizität usw. Das Gesetz ist folgendes: Fallen zwei gleich starke und gleich lange Schallwellen derart zusammen, dafs die positive Phase der einen (Luftverdichtung) genau die negative Phase der anderen (Luftverdünnung) deckt, so heben sie sich gegenseitig auf. Gleiche Phasen vereinen sich zur Summe, entgegengesetzte vermindern sich zur Differenz ihrer Stärken. Das Vorhandensein der Interferenzen wird am besten bewiesen, indem man eine angeschlagene Stimmgabel auf eine gerade Bretttafel setzt. Der Ton wird dadurch bekanntlich auferordentlich verstärkt, weil die grofsen Flächen der Tafel mitzuschwingen gezwungen werden. Von der Vorderfläche wird an die Luft eine positive Phase in demselben Augenblick abgegeben, in welchem die Hinterfläche eine negative Phase erzeugt. Dreht man nun das Brett mit der Gabel um eine seiner Seiten, bis die Verlängerung seiner Fläche das Ohr trifft, so sinkt die Tonstärke auf ein Mindestmafs, weil die gleich starken positiven wie negativen Schwingungen der Vorder- und Hinterfläche der Tafel zu gleicher Zeit im Ohr eintreffen und sich gegenseitig aufheben. Nur der schwache Ton der Stimmgabel selbst ist allein noch zu hören. Derartige vollkommene Interferenzen sind in der Praxis seltene Ausnahmen, die man künstlich construiren mufs. Die menschliche Stimme entsendet nicht gleichzeitig neben einander, sondern nur nach einander die wechselnden Phasen unmittelbar nach dem Zuhörer. Die Reflexe eines Innenraums können nun wegen der sehr verschiedenen Länge ihrer Umwege beim Zuhörer mit denselben oder mit entgegengesetzten Phasen wie der directe Schall im Ohr desselben eintreffen und dementsprechend die Schallwirkung verstärken oder vermindern. Es ist sogar möglich, dafs in einem Augenblicke die Kraftsumme der positiven genau gleich ist der Kraftsumme der gleichzeitigen negativen Phasen und auf diese Weise die Gesamtwirkung = 0 wird; ebenso, dafs alle Phasen positiv (oder negativ) sich deckend im Ohre anlangen und der Gröfstwerth der Gesamtwirkung eintritt. Setzt man diese

vollkommene Häufung = 1, wie die vollkommene Aufhebung = 0, so wird man sich bei der unendlichen Zahl der Reflexe bald darüber klar, daß diese Grenzwerte eben so selten eintreffen werden, wie der genaue Durchschnitt der Gesamtwirkung = $\frac{1}{2}$. Das gewöhnliche wird sein, daß die Gesamtwirkungen um $\frac{1}{2}$ herum schwanken, und zwar bei Tönen etwa von $\frac{2}{5}$ bis $\frac{3}{5}$, bei Geräuschen von $\frac{3}{7}$ bis $\frac{4}{7}$ der stärksten Wirkung. Bei Tönen liegen die Grenzwerte weiter, weil bei gleichen Wellenlängen ein vollkommeneres Häufen oder Aufheben wahrscheinlicher ist, als bei den ungleichen Wellenlängen der Geräusche. Die Interferenzen bringen es mit sich, daß ein gleich starker Schall auf dieselbe Entfernung und für dasselbe Ohr verschieden kräftig wirkt, weil die geringste Bewegung des Zuhörers, wie sie beispielsweise schon durch den Pulsschlag hervorgerufen wird, auch eine andere Combination der Reflexe zur Folge hat. Das Urtheil des Hörers aber wird sich nach den stärkeren Eindrücken richten; bei Tönen nach der $\frac{3}{5}$, bei Geräuschen nach der $\frac{4}{7}$ Wirkung. Für die Richtigkeit dieser Entwicklung sprechen nicht nur die Erfahrungen bei den Schallmessungen, sondern auch die Thatsache, daß man, aus größerer Entfernung sich nähernd, zuerst die Vocale (Tonklänge) und später die Consonanten (Geräusche) eines Zwiegesprächs vernimmt, dessen Verständniß erst hiermit beginnt.

Die Rede. Aus Vocalen und Consonanten setzen sich die Silben, aus diesen die Worte, aus den Worten die Rede zusammen. Zur verständlichen Rede gehört, wie eben ausgeführt, vor allem die deutliche Aussprache der Consonanten. Ist diese Bedingung erfüllt, so wird das Wort auch bei mäßiger Klangstärke der Vocale in größeren Räumen verstanden werden. Beim Flüstern wird den Vocalen nur der schwache Eigenklang der Mundhöhle gegeben, der Brustton fällt fort, da die Stimmbänder in Ruhe bleiben, und dennoch wird bei scharfer Aussprache der Consonanten jede Silbe im entferntesten Winkel (z. B. eines Theaters) gehört. Die althebräische Schrift weist nur Consonanten, keine Vocale auf; die überwiegende Bedeutung der Consonanten war also schon vor 2000 Jahren anerkannt. Leider scheint diese Grundregel für das Sprechen recht vielen Rednern unbekannt zu sein. Sie steigern die Stimme bis zum Schreien der Vocale, vernachlässigen aber die Conso-

nanten und sind dann bestürzt, wenn sie kaum noch auf 15 m weit verstanden worden sind! Dabei wird ein solcher Vortrag für alle Hörer zur Pein, während ein richtiges Ebenmafs zwischen Selbstlautern und Mitlautern das Begreifen des geistigen Inhalts nicht nur überhaupt erst ermöglicht, sondern durch die Schönheit der Gesamtwirkung auch zu einem Kunstgenufs erhöht.

Nächst der sauberen Aussprache ist die Lage der Klangfarbe von Bedeutung. Aus seiner natürlichen Anlage mufs der Vortragende eine ihm bequeme mittlere Tonhöhe wählen, um nach dem Inhalt seines Stoffes die Tonlage steigen oder fallen lassen zu können, wie es der Eindruck, den er beabsichtigt, verlangt. Auch im gewöhnlichen Leben kennzeichnet ja das Erhöhen der Stimme ein Wachsen der Erregung, das Sinken des Tons die Beruhigung.

Zeitmafs. Ein Redner pflegt in der Secunde etwa vier (ein Prediger gewöhnlich sogar nur drei) Silben zu sprechen. Zwischen zwei Silben ist immer eine geringe Zeit nöthig zum Umstellen des Sprachorganismus für den Wechsel ihrer Buchstaben. Bei vier Silben in der Secunde wird man für die Silbe $\frac{1}{5}$ Secunde und für die Pause $\frac{1}{20}$ Secunde rechnen können. In $\frac{1}{20}$ Secunde macht der Schall einen Weg von $\frac{343,33}{20} = \text{rund } 17 \text{ m}$. Die Reflexe, welche gegen den directen

Schall einen 17 m längeren Weg machen müssen, beginnen im Ohre des Zuhöreres demnach $\frac{1}{20}$ Secunde später, fallen dort, da ihre Dauer gleich der des directen Schalls = $\frac{1}{5}$ oder $\frac{4}{20}$ Secunden ist, auf die Zeit von $\frac{3}{20}$ Secunden mit der directen Schallwelle zusammen und mit ihrem Rest von $\frac{1}{20}$ Secunden hinterher in die folgende Pause. Das würde bei Reflexen von reliefbedeckten Flächen nicht weiter stören. Bei Reflexen von glatten Flächen aber, die mit einem Mal und schlagähnlich im Ohre anlangen, würde dies nur erträglich sein, wenn sie sich möglichst eng an den directen Schall anschließen, ihr Umweg also höchstens 8 m, besser noch höchstens 5—6 m betrüge. Ist ihr Umweg aber gröfser als 17 m, so fallen sie für das Ohr bereits in die folgende Silbe und stören, weil sie nicht zu dieser gehören, das Verständnifs empfindlich. (In einer Kirchhofscapelle von 18 m Länge und 10 m Breite wird eine Grabrede

gehalten. Die dem Prediger vor dem Altar gegenüber liegende Eintrittswand ist glatt geputzt. Ihre Reflexe kommen bei den in der Mitte der Länge sitzenden Zuhörern nach einem Umwege von $2 \cdot 9 = 18$ m an, fallen daher schon in den Beginn der nächsten Silbe! Noch gröfser wird der Uebelstand für die davor liegenden Plätze. Aehnliche Bauten, die trotz mäfsiger Ausdehnung mangelhafte Hörverhältnisse haben, giebt es überraschend viele. Wäre die Eintrittswand architektonisch gegliedert, ihre Felder mit Relief bedeckt, so würde der störende Nachhall beseitigt sein.) Die Reflexe von glatten Wänden beeinträchtigen schon das Verständnifs, wenn sie in den zweiten Theil der Pause zwischen zwei Silben fallen; denn auch diese Pausen müssen einigermafsen erhalten bleiben.

Betonung. Bei dem Vortrage ist ferner von Bedeutung, dafs sinngemäfs betont wird. Mit der stärkeren Betonung einer Silbe ist auch immer eine längere Dauer verbunden. Es ist eben Zeit dazu erforderlich, die Stimme in kräftigere Schwingungen zu versetzen. Aufserdem findet aber noch ein anderer sehr bemerkenswerther Vorgang statt. Hat der stärkere Ton hinreichend lange gedauert, dann klingt er wesentlich schwächer beim Uebergang zur folgenden Silbe aus, sodafs auch die dementsprechend abgeschwächten Reflexe in der folgenden kleinen Pause, ohne zu stören, erlöschen können. Ueber die unbetonten Zwischensilben schlüpft die Stimme schneller und weniger laut hinweg, um ihre Kraft um so nachdrücklicher auf die accentuirten Silben verwenden zu können. Andererseits aber achten auch die Zuhörer vorzugsweise auf diese betonten Träger des Redesinns, viel weniger auf die nicht betonten, grade wie wir beim Lesen uns nicht beim einzelnen Worte aufhalten, sondern die Sätze rasch zum Gesamtgedanken der Periode zusammenfassen. Aus allen diesen Erwägungen geht deutlich hervor, dafs die Redekunst aus dem Erfolge und den Erfahrungen heraus sich so ausgebildet hat, wie es das Bedürfnifs verstanden zu werden erforderte, dafs sie in gröfseren Versammlungen auch darin besteht, die unentbehrliche Mitwirkung der Reflexe zu benutzen.

Tragweite. Auf einem freien Platze mit ebener, festgetretener kiesiger Oberfläche ist ein mäfsig lautes deutliches Wort auf 30—35 m weit zu verstehn. Ein Redner mit kräftigem

Organ wird sich auch noch weiter verständlich machen können. Aufser der directen Schallwelle kommt hierbei nur noch der Reflex des Erdbodens zur Wirkung, der mit 50 v. H. der Kraft des directen Schalls angenommen werden kann. An der Erdoberfläche verliert die Schallwelle also die Hälfte ihrer Kraft und nur der Rest mit 50 v. H. unterstützt als Reflex den directen Schall. Bezeichnen wir letzteren mit $\frac{2}{3}$, so ist der Bodenreflex = $\frac{1}{3}$ und die Gesamtwirkung = 1. Da die Kraft des Schalls abnimmt wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen, kann man hieraus diejenige kleinere Entfernung berechnen, für welche der directe Schall allein ohne jeden Reflex schon jene Gesamtwirkung = 1 haben würde. Diese Entfernung ist = 24,5 m oder rund 25 m.

Ein überraschendes Beispiel vortheilhafter natürlicher Reflexion zeigt jeder Hochwald. Nirgends eine glatte Fläche, welche den Schall störend zurückwerfen könnte; nur mosiger Boden, Stämme und Aeste, Blätter oder Nadeln, deren unendlich viele kleine Flächen den Klang der Stimme ebenso unendlich oft reflectiren und durch diese feine Vertheilung der Reflexe die directe Kraft der Rede derart verstärken, dafs sie auf 50 bis 60 m weit deutlich bleibt. In Salsnitz auf Rügen und auch anderweit hat man diese akustische Eigenschaft des Waldes benutzt, um in ihm in guter Jahreszeit Sonntagsandachten abzuhalten, in welchen von einer primitiven Kanzel herab ein guter Prediger Tausende erbauen kann.

Zum Erkennen der Schallentwicklung gehört die durch Versuche zu erreichende Feststellung der Reflexwirkungen, die im Innern wie im Freien — überall — von den benachbarten Körperoberflächen ausgehen. Nur indirect kann dies geschehen, indem man aus der durch die Mitwirkung der Reflexe alterirten theoretischen Schallabnahme Rückschlüsse auf die Kraft der Reflexe macht. Die einfachsten Versuche im Freien mit nur einer reflectirenden Fläche (Bodenfläche) kann man etwa als eine Gleichung mit Einer Unbekannten, die Versuche in Innenräumen als eine mit mehreren Unbekannten ansehen. Hierzu gehört ein Instrument, mittels dessen verschiedene, genau mefsbare Schallstärken hervorgebracht werden können. Ein solches Instrument ist der Fallstübchenapparat, das Ergebnifs mehrjähriger

Arbeit, das letzte einer ganzen Reihe von Versuchsinstrumenten. Der Apparat hat den Vorzug der Einfachheit und Handlichkeit, verändert auch beim Wechsel des Belastungsgewichts nicht seine Schallfarbe, zeigt hinreichend genau die Fallhöhen bis auf Zehntelmillimeter (für geübte Augen Zwanzigstelmmillimeter) an und besitzt für alle Entfernungen von 20 bis 100 m die nöthige Empfindlichkeit. Auf der Holzplatte *a* (Abb. 2) von 150 mm Länge, 80 mm Breite und 4 mm Dicke ist ein Lagerbock *b* aufgeschraubt,

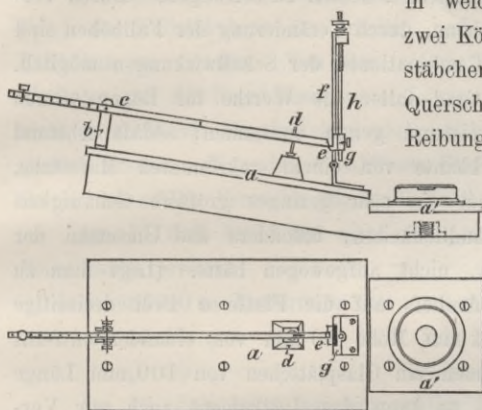


Abb. 2.

in welchem sich zwischen zwei Körnerspitzen das Fallstäbchen von 2,5/3,5 mm Querschnitt mit geringster Reibung dreht. Die Länge des Stäbchens von der Drehachse *c* bis zur messingnen Fallschraube *d* ist 100 mm, von dort bis zum Ende *e* 20 mm. Diese Endkante ist durch eine

feine Metallschneide gegen Abnutzung gesichert; sie kann von beliebigen Höhen des Schiebers *g* auf den kleinen Holzambofs über der Platte *a* hinabfallen. Der Schieber ist mit einem Nonius ausgestattet; er gleitet auf dem Millimetermafsstab *f* und der Spindel *h* frei entlang, bis er auf letzterer festgeklemmt und dann mittels der oberen Mikrometerschraube fein gestellt wird. Der gewöhnlichen Ruhelage des Stäbchens entspricht 0 des Nonius auf 0 des mit einem Gelenk auf der Platte *a* befestigten Mafsstabes. Jenseits der Drehachse hat das Fallstäbchen eine Länge von 52,5 mm und ist von dort aus in Abständen von 5 mm mit feinen, senkrechten Bohrlöchern versehen, in die der zugespitzte Dorn eines Gegengewichts von 1,19 Gramm Schwere paßt, welches in 50 mm Entfernung von der Drehachse bei wagerechter Lage dem Gewicht des Fallstäbchens nebst Fallschraube das Gleichgewicht hält. Steckt man das Gegengewicht auf 45 mm Entfernung von der Dreh-

achse ein, so gleicht es $\frac{9}{10}$ des fallenden Schenkels ab, der mit $\frac{1}{10}$, also mit Berücksichtigung des größeren Hebelsarms nur mit rund 0,06 Gramm — einem sehr geringen Gewichte — auf den Amboss fällt. Vor der Platte ist, mit derselben einen Winkel von 9 Grad bildend, eine kleinere quadratische Platte a^1 von derselben Dicke und 60 mm Seite angeordnet, welche die Dosenlibelle zur Wagerechtstellung des Instruments trägt. Unter der Libelle befindet sich die Schraubenmutter, um das Ganze auf einem leichten Gestell zu befestigen. Durch Versetzung des Gewichtchens, durch Veränderung der Fallhöhen sind die verschiedensten Combinationen der Schallwirkungen möglich. Für Winkel bis 9 Grad fallen die Werthe für Bögen, Sinus und Tangenten hinreichend genau zusammen, sodafs Abstand genommen werden konnte von einem gekrümmten Mafsstabe, dessen theoretisch um ein sehr geringes gröfsere Genauigkeit die gröfsere Umständlichkeiten, besonders das Umsetzen der Bögen in Sinus usw. nicht aufgewogen hätte. (Legt man zu beiden Seiten des Amboss auf die Platte a zwei dreiseitige Korkprismen von 14 mm Höhe 60 mm von einander entfernt und über diese Prismen ein Glasplättchen von 100 mm Länge und 30 mm Breite, so kann das Instrument auch zur Vergleichung von Tonstärken dienen.) Mit den Fallstäbchen ist die Feststellung der Reizschwelle nur möglich durch eine gröfsere Zahl von Versuchen (mindestens 10—12), aus deren Ergebnissen das Mittel zu nehmen ist.

Schallkraft des Instruments. Die Kraft, mit der ein fallender Körper auf einen ruhenden aufschlägt, ist proportional dem Producte aus seinem Gewicht und dem Quadrate seiner Endgeschwindigkeit. Die Endgeschwindigkeit ist gleich der Quadratwurzel aus der Fallhöhe selbst, sodafs bei gleichem Gewichte (bei gleicher Stellung des Gegengewichts) die Fallhöhen unmittelbar die Verhältnifszahlen der entsprechenden Aufschlags- oder Stofs-Kräfte darstellen. Diesen Kräften proportional wird auch die Schallkraft des Instrumentes sein. Nach der Theorie müfste nun für die doppelte Entfernung die vierfache Schallkraft oder beim Fallstäbchen bei derselben Belastung die vierfache Fallhöhe zur Erregung der Reizschwelle erforderlich sein. Nach allen bisher angestellten Versuchen trifft dies

indessen nirgends zu. Im begrenzten Raume, in Sälen usw. war das durch die Mitwirkung der Reflexe unschwer zu erklären. Anders lag die Sache auf freiem Felde, wo es für alle Entfernungen stets die gleiche in derselben Weise reflectirende Fläche (die Bodenfläche) gab.

Schallabnahme auf freiem Felde. Die hierfür angestellten Versuche fanden auf einer grossen Waldblöße in den Rüdersdorfer Forsten statt. Das Gegengewicht wurde 45 mm von der Drehachse eingesteckt, um mit dem kleinsten Gewichte ($\frac{1}{10}$) des Fallstäbchens zu arbeiten und so möglichst grosse Fallhöhen zu erzielen. Von den vielen Messungen lasse ich hierunter nur die Ergebnisse zweier folgen, die wenig oder garnicht durch Wind, Vogelgeschrei oder andere äufsere Hindernisse gestört wurden. (Von diesen zahllosen Störungen weifs nur der etwas, der solche Versuche angestellt hat!)

Am 11. Juli 1895 bei nicht völlig stiller Luft wurde die Reizschwelle erreicht

| | | |
|----|-------------------------|-----------------|
| I. | auf 20 m Entfernung bei | 1,8 mm Fallhöhe |
| | „ 40 „ „ „ | 5,1 „ „ |
| | „ 80 „ „ „ | 16,5 „ „ |

Am 17. Juli 1895 bei ganz stiller Luft

| | | |
|-----|-------------------------|------------------|
| II. | auf 20 m Entfernung bei | 1,25 mm Fallhöhe |
| | „ 40 „ „ „ | 3,64 „ „ |
| | „ 80 „ „ „ | 11,40 „ „ |

Hiernach trat die Reizschwelle ein für die doppelte Entfernung bei dreifacher, für die vierfache Entfernung bei neunfacher Fallhöhe, während nach den Kräftegesetzen die vierfache, beziehungsweise sechzehnfache Fallhöhe hätte erforderlich sein müssen. Die für die Neueinschonung rauh gepflügte Fläche war mit Gras und Heidekraut bewachsen, im übrigen aber in ihrer ganzen Ausdehnung gleichmäfsig. Bei meinen früheren Messungen mit noch unvollkommenen Instrumenten hatte ich jene Erscheinungen aus Vorgängen der Hörthätigkeit zu erklären versucht. Der erhebliche Einfluss der Interferenzen war mir noch nicht hinreichend klar geworden. Je länger indessen die Versuche mit dem genaueren Fallstäbchen währten, um so mehr lernte ich einsehen, dafs alle diese Herleitungen (Akustik des Baumeisters) nicht stichhaltig waren.

Wachsen der reflectirenden Flächen. Der Widerspruch zwischen Theorie und Praxis war nur zu lösen, wenn

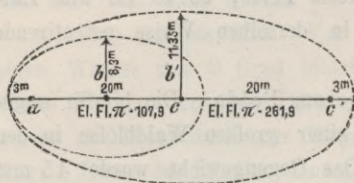


Abb. 3.

die Bodenfläche nicht einen stetigen, sondern einen mit der Entfernung wachsenden Reflexionseffect äußerte. Und dies konnte hier nachgewiesen werden. Alle Schallwellen (Abb. 3), welche von dem einen Brennpunkte a

einer Ellipsenfläche ausgehen, werden von allen Punkten dieser Fläche nach dem anderen Brennpunkte c reflectirt. Denkt man sich das Instrument in dem einen, den Hörer in dem anderen Brennpunkte auf 20 m Entfernung und nimmt bei der kurzen Dauer des Fallschlags für alle Reflexe, die den directen Schall wirksam zu unterstützen geeignet sind, einen größten Wegeunterschied von 6 m an, so hat die reflectirende Ellipsenfläche bei 20 m Entfernung einen Inhalt $= \pi \cdot 107,9$, bei 40 m Entfernung zwischen Instrument und Hörer $= \pi \cdot 261,9$; letztere Fläche ist also 2,6 mal größer, wird also, da die reflectirenden Punkte in beiden Fällen gleichmäfsig vertheilt sind, in demselben Verhältnifs stärker wirken. Sieht man von allen Zufälligkeiten und Fehlern ab und setzt für 20 m Entfernung die Fallhöhe $= 1,20$ mm, für 40 m Entfernung die Fallhöhe $= 3,6$ mm, so hat man bei einer Reflexionswirkung der Bodenfläche von 18 v. H. für

$$20 \text{ m Entf. die Schallstärke } S = 1,2 + 1,2 \cdot 0,18,$$

$$40 \text{ " " " " } S' = 3,6 + 3,6 \cdot 0,18 \cdot 2,6.$$

Hieraus folgt

$$S = 1,416,$$

$$S' = 5,285.$$

Nach den Kräftegesetzen sollten sein

$$S' = 4 \cdot S = 4 \cdot 1,416 = 5,664.$$

Der Unterschied beider Resultate

$$5,664 - 5,285 = 0,379$$

ist durch die Mitwirkung der Reflexe höherer Ordnung zu erklären.

In demselben Mafse wächst die reflectirende Fläche bei 80 m Entfernung gegenüber derjenigen bei 40 m Entfernung, sodafs aus diesen Beispielen erhellt: Auf die doppelte Ent-

fernung äufsert die dreifache Fallhöhe durch die Mitwirkung der Reflexe immer die von den Kräftegesetzen verlangte vierfache Schallstärke.

Im Walde. Noch stärker wirken die Reflexe in einem Hochwalde; sie würden dies bei der hohen Zahl der Reflexflächen in noch größerem Mafse thun, wenn nicht das gegenseitig sich Decken dieser Flächen einen erheblichen Theil derselben unwirksam machte.

Am 11. Juli 1895 im Hochwalde bei etwas bewegter Luft und $\frac{1}{10}$ Belastung wurde die Reizschwelle erreicht:

| | | | | |
|------|----------|----------------|--------|-----------|
| III. | auf 20 m | Entfernung bei | 1,6 mm | Fallhöhe, |
| | „ 40 „ | „ „ | 4,0 „ | „ |
| | „ 80 „ | „ „ | 9,8 „ | „ |

Desgleichen am 24. Juli 1895 bei geringer Luftbewegung:

| | | | | |
|-----|----------|----------------|---------|-----------|
| IV. | auf 10 m | Entfernung bei | 0,54 mm | Fallhöhe, |
| | „ 20 „ | „ „ | 1,35 „ | „ |
| | „ 40 „ | „ „ | 3,5 „ | „ |
| | „ 80 „ | „ „ | 8,6 „ | „ |

(Unmittelbar nach dieser Messung wurde mit demselben Gehülfen in einem ländlichen Saale auf 10 m Entfernung die Fallhöhe mit $\frac{1}{10}$ Belastung ermittelt = 0,32 mm.)

Das Ergebnifs obiger Versuche ist dahin zusammenzufassen, dafs im Hochwalde für die doppelte Entfernung die $2\frac{1}{2}$ fache Fallhöhe (Schallkraft) genügt, um die Reizschwelle hervorzu- bringen, und dafs gegen die Messung im Walde die Messung im geschlossenen Raum eine um 40 v. H. geringere Fallhöhe als ausreichend erwies. Dieses Ergebnifs war überraschend, erklärt sich aber aus dem im Saale herrschenden Gleichgewichte der Luft und aus dessen Resonanz, während im Walde auch bei anscheinender Ruhe infolge der Temperaturunterschiede ein stetes Ausgleichen und Bewegen der Luftschichten stattzufinden pflegt.

Im Innern. Der Lärm einer Grofsstadt beeinträchtigt Schallmessungen aufserordentlich. In der Berliner Garnisonkirche wurden sie durch das Strafsengetöse unmöglich. Auch im Philharmoniesaaale und im Saale auf Tivoli in Berlin mußte trotz ihrer Abgelegenheit auf 20 m Entfernung mit erheblich gröfseren Fallhöhen begonnen werden, als im Freien. Hierauf kommt

es indessen auch weniger an, als auf das Verhältniß dieser Fallhöhe zu denen der größeren Entfernungen in demselben Raume.

Die Versuche in der Philharmonie (Abb. 4) fanden im October 1894 statt. Das Instrument stand auf dem Podium bei *a*; die Belastung war $\frac{1}{10}$.

V. Punkt *b* auf 20 m Entfernung bei 4,5 mm Fallhöhe,

| | | | | | | | | |
|---|----------|---|----|---|---|-----|---|---|
| „ | <i>c</i> | „ | 20 | „ | „ | 3,4 | „ | „ |
| „ | <i>d</i> | „ | 33 | „ | „ | 8,0 | „ | „ |
| „ | <i>e</i> | „ | 35 | „ | „ | 7,2 | „ | „ |

Zur Fallhöhe 4,5 mm für den frei in der Mittelachse liegenden Punkt *b* tritt hinzu der Reflex des parkettirten Fußbodens mit 90 v. H. = 4,05.

Die Gesamtschallwirkung in *b* war also = 8,55 oder rund 8,6.

Bei derselben Entfernung von 20 m mußte in *c* die Gesamtwirkung zur Erregung der Reizschwelle dieselbe sein wie in *b*.

Die Fallhöhe für *c* betrug indessen nur 3,4 mm und mit 90 v. H. Fußbodenreflex

= 3,4 + 3,06 = 6,5. Der Unterschied von 8,6 — 6,5 = 2,1 rührt von der reliefbedeckten Pfeilerwand her, an der Punkt *c*

liegt. Diese Wand reflectirt also mit $\frac{2,1}{3,4} = 62$ v. H. In der

„Akustik des Baumeisters“ ist diese Wirkung mit 64 v. H. aufgeführt. Der kleine Unterschied erklärt sich aus den leeren

Oeffnungen der Logen. — Die Fallhöhe für *d* war 8,0 mm; dazu 90 v. H. Fußbodenreflex und 62 v. H. Wandreflex giebt 8,0 (1 + 1,52) = 20,2. Geht man zur Vergleichung aus von den einfachsten Verhältnissen für *b* bei 20 m Entfernung und 8,6 Gesamtwirkung, so müßte bei 33 m Entfernung die Gesamtwirkung in *d* sein = 8,6 · $\frac{33^2}{20^2} = 23,2$. Der Unterschied

23,2 — 20,2 = 3,0 oder $\frac{3,0}{8,0} = 38$ v. H. kann nur herrühren aus den Reflexen höherer Ordnungen, die sich durch Combination

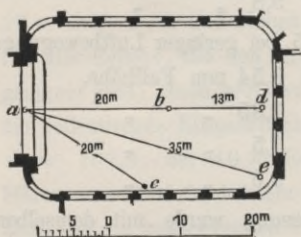


Abb. 4.

von Fußboden- mit Wandrelief-Reflexen bilden. Noch mehr tritt dies hervor für e in der abgerundeten Ecke der Längswand mit der Rückwand. Zur Fallhöhe 7,2 mm tritt hinzu 90 v. H. Fußbodenreflex = 6,48; Wandreflex 0,62 = 4,47, sodafs die nachweisbare Gesamtwirkung in e beträgt 18,15. Diese Wirkung müfste, wieder von b ausgehend, auf 35 m Entfernung betragen

$$8,6 \cdot \frac{35^2}{20^2} = 26,66. \text{ Der Unterschied von } 26,66 - 18,15 = 8,51$$

oder $\frac{8,51}{7,20} = 118$ v. H. ist zuzuschreiben den Reflexen höherer Ordnung, die sich zwischen Fußboden und zwischen den Reliefs der beiden Eckwände bilden müssen.

Während der Philharmoniesaal bei 33 m Länge die erhebliche Breite von 23,5 m besitzt, hat der Tivolisaal 65 m Länge, 10 m Breite und (durchschnittlich) 6,5 m Höhe. Es ist nicht schwer einzusehen, dafs der Einflufs der Reflexion, besonders der der höheren Ordnungen, in einem so langgestreckten Raume noch viel stärker hervortreten müfs. Der Saal ist mit Tischen und Stühlen bestellt, hat gewöhnliche Putzwände und eine ebenfalls geputzte Holzdecke. Das Instrument wurde hinreichend entfernt von der einen Endwand aufgestellt, um deren Reflexion zu vermeiden. Die im October 1895 mit $\frac{1}{10}$ Belastung ausgeführten Versuche ergaben

| | | | | | |
|-----|---------------------|--------|-----------|---|---|
| VI. | bei 20 m Entfernung | 4,1 mm | Fallhöhe, | | |
| | „ 30 „ | „ | 7,1 | „ | „ |
| | „ 40 „ | „ | 9,8 | „ | „ |
| | „ 50 „ | „ | 12,6 | „ | „ |

Es wirkten hier folgende Reflexe mit: Reflex des Fußbodens = 90 v. H.; des Gestühls usw. = 50 v. H.; der beiden Längswände und der Decke. Die Wirkung dieser letzten 3 Reflexe vermindert sich bei 20 m Entfernung durch den Wegeunterschied (21,2 m) von 80 v. H. auf 72 v. H., bei 30 m Entfernung auf 75 v. H., bei 40 m auf 77 v. H. und bei 50 m auf 78 v. H. Die Gesamtwirkung des directen Schalls und der Reflexion ist also bei

$$\begin{aligned} 20 \text{ m Entfernung} &= 4,1 \cdot (1 + 0,9 + 0,5 + 3 \cdot 0,72) \\ &= 4,1 \cdot 4,6 = 18,86, \end{aligned}$$

$$30 \text{ m Entfernung} = 7,1 \cdot 4,7 = 33,37,$$

$$40 \text{ „ „} = 9,8 \cdot 4,7 = 46,06,$$

$$50 \text{ „ „} = 12,6 \cdot 4,8 = 60,48.$$

Nach den Quadraten der Entfernung hätten die Gesamtwirkungen, wenn man die auf 20 m zu Grunde legt, ergeben müssen

$$\text{auf 30 m Entfernung } 18,9 \cdot \frac{30^2}{20^2} = 42,5 \text{ (gegen oben } 33,37),$$

$$\text{„ 40 „ „} \quad 18,9 \cdot \frac{40^2}{20^2} = 75,6 \text{ (gegen oben } 46,06),$$

$$\text{„ 50 „ „} \quad 18,9 \cdot \frac{50^2}{20^2} = 118,12 \text{ (gegen oben } 60,48).$$

Man erkennt deutlich, daß die Berechnung aus der Fallhöhe und den zu ihr gehörenden einmaligen Reflexen nicht hinreicht, um die nach dem Quadrate der Entfernung erforderlichen Schallstärken herzuleiten, daß vielmehr mit den wachsenden Entfernungen die mehrmaligen Reflexionen oder die Reflexe höherer Ordnungen immer stärker ergänzend hinzutreten müssen. Die für 50 m erforderliche directe Schallstärke 12,6 wird durch die einmalige Reflexion auf fast das Fünffache 60,48 und durch Mitwirkung der mehrmaligen Reflexion auf fast das Zehnfache 118,12 gesteigert!

Fußbodenreflex. Es wurde ferner im Tivolisaaale für 20 m Entfernung der Fußbodenreflex dadurch beseitigt, daß ein zweiter Gehülfe im Mittelgange auf 10 m Entfernung die eine Hälfte einer 1,5 m breiten, 2 m langen dicken Plüschdecke 1 m hoch vom Fußboden ausgespannt hielt, während die andere Hälfte den Reflexionspunkt des Fußbodens bedeckte. Die für die Reizschwelle nöthige Fallhöhe mußte von 4,1 mm (siehe oben) auf 5,0 mm erhöht werden. Oben war Gesamtwirkung gewesen auf 20 m Entfernung

$$4,1 \cdot 4,6 = 18,86.$$

Hier haben wir nach Fortfall des Fußbodenreflexes = 0,9 die Gesamtwirkung:

$$\text{VII.} \quad 5,0 \cdot (4,6 - 0,9) = 18,50.$$

Ein genaues Uebereinstimmen ist natürlich nicht möglich, da trotz der Decke der Fußboden immer noch etwas reflectirte. Indessen beweist der Versuch, daß der Werth des Fußboden-

reflexes mit 90 v. H. von der Wirklichkeit nicht wesentlich abweicht.

Schallhindernisse. Endlich wurde vor dem 20 m entfernten Gehülfen die Plüschdecke vom Fußboden bis 2 m hoch ausgespannt, sodafs er weder von dem directen Schall noch von den Reflexen von vorn getroffen werden konnte. Nun wurde eine Fallhöhe von 8,5 mm erforderlich statt der früheren 4,1 mm. Die Gesamtwirkung (x) dieser 8,5 mm Fallhöhe berechnet sich aus $8,5 \cdot x = 18,86$. Denn für 20 m Entfernung bleibt für dasselbe Gehör die für die Reizschwelle nöthige Schallkraft ebenfalls dieselbe. — Hieraus ergibt sich:

$$\text{VIII.} \quad x = 2,24,$$

während die Gesamtwirkung oben bei freiem Zutritt aller Schallwellen 4,6 betragen hatte. Von diesem Werthe sinkt sie also durch das Hindernifs auf 2,24, d. h. unter die Hälfte! Man sieht hieraus, wie störend für die Schallwellenverbreitung in Kirchen, Concertsälen usw. breite Pfeiler werden können.

Im December 1895 bot sich Gelegenheit in der grossen leeren Maschinenhalle der Ausstellung in Moabit einige Versuche anzustellen. Auch wenn bei den vorbeibrausenden Stadtbahnzügen die Arbeit ausgesetzt wurde, blieb das dumpfe Tosen des Berliner Lebens ringsum doch so stark, dafs mit $\frac{5}{10}$ Belastung geprobt werden mufste. Das Instrument wurde in einer Querachse von der einen Längswand 5,6 m, von der gegenüberliegenden 19 m entfernt aufgestellt. Der Widerhall von dieser zweiten Längswand erstarb bei einer Fallhöhe von 10,2 mm; auf dieselbe Entfernung von 19 m gegenüber einer der grossen aus Façoneisen, Eisenblech und Glas gebildeten Thorthüren erlosch der Widerhall bei einer Fallhöhe von 9,1 mm. Frei in der Längsachse der Halle ergab sich

| | |
|----------------------------------|---------|
| auf 20 m Entfernung die Fallhöhe | 2,6 mm, |
| „ 40 „ „ „ „ | 8,0 „ |
| „ 60 „ „ „ „ | 16,7 „ |

Gegen 8,0 mm Fallhöhe auf 40 m hätte die Fallhöhe auf $2 \cdot 19 = 38$ m betragen müssen

$$8,0 \cdot \frac{38^2}{40^2} = 7,2 \text{ mm.}$$

Der Widerhall dieser zweiten Längswand erstarb indessen (siehe oben) bei 10,2 mm Fallhöhe. Diese Wand (Ziegelfachwerk mit einem dünnen lose hängenden Stoff bespannt) reflectirte also

$$\text{IX.} \quad \text{mit } \frac{7,2}{10,2} = 70 \text{ v. H. und die Thorthüre}$$

$$\quad \quad \quad \text{„ } \frac{7,2}{9,1} = 80 \text{ v. H. Nutzeffect.}$$

In der „Akustik des Baumeisters“ ist der Nutzeffect der gefugten Wand mit 75 v. H. aufgeführt, also (mit Rücksicht auf die Stoffbekleidung) dem Ergebnisse in der Maschinenhalle entsprechend.

Vortheil höherer Lage. Zu den Versuchen in der Philharmonie ist noch nachzutragen, daß auch die Fallhöhen ermittelt wurden für 2 Punkte d' und e' , die in den Ranglogen über den Punkten d und e (Abb. 3) des Saalfußbodens lagen.

X. Für d' auf 34 m Entfernung war die Fallhöhe 5,1 mm gegen 8,0 mm für d .

Für e' auf 36 m Entfernung war die Fallhöhe 4,7 mm gegen 7,2 mm für e .

Demnach waren für diese beiden höher liegenden Punkte des Ranges nur erforderlich $\frac{2}{3}$ derjenigen Schallstärken, welche die unter ihnen liegenden Punkte auf dem Saalfußboden bedurften.

Methode der Versuche. Zu den Versuchen mit dem Fallstäbchen gehören zwei Personen von Geduld und Ausdauer. Nervöse, unruhige Leute werden keine zuverlässigen Ergebnisse erzielen. Der Gehülfe darf weder ein zu stumpfes, noch ein zu scharfes Gehör haben. Wünschenswerth ist das Durchschnittsgehör, wie man es bei einem größeren Publicum voraussetzen darf. Die ersten 20—30 Minuten sind darauf zu verwenden, das Ohr an diese kleinsten Schallwellen zu gewöhnen. Erst von da ab erhalten die Messungen Werth; sie viel über die Dauer von zwei Stunden auszudehnen, ist der eintretenden Abspannung wegen nicht rathsam. Allmählich mindert man die Fallhöhe, bis abwechselnd der Schall gehört und dann wieder nicht gehört wird. Die Wirkung der Interferenzen ist für den am Instrument Stehenden geradezu frappant! Bei derselben

Fallhöhe erscheint der Fallschlag abwechselnd matt und stumpf, dann gleich darauf scharf, klar und stark. In der nächsten Nähe der Schallquelle, die ihre Wellen radial nach allen Richtungen entsendet, sind die Combinationen des directen Schalls mit den Reflexen am Stativ, am eigenen Körper und am Erdboden viel wechselreicher, als bei der größeren Entfernung des Gehülfen. In der Richtung nach diesem hin und um diese Linie herum ist die Divergenz der Schallwellen geringer, die Reflexpunkte bleiben dieselben, die Zusammensetzung des directen Schalls mit den Reflexen kann nicht mehr so stark wechseln. Dennoch genügt auch dort ein kleiner Wechsel der Stellung, um bei derselben Fallhöhe einmal zu hören und dann wieder nicht zu hören. (Es erschien nothwendig, diese Erfahrungen mitzutheilen für diejenigen, welche mit helfen wollen, die Versuche zu prüfen, zu erweitern und deren Ergebnisse festzustellen. Der Fallstäbchenapparat mit sämtlichem Zubehör ist in sehr sorgfältiger Ausführung bei Lietzmann, Berlin, Commandantenstrasse 36, für den bescheidenen Preis von 25 Mark zu haben.)

Aus den Ausführungen auf Seite 20 geht hervor, daß die Reflexion im geschlossenen Raum noch günstiger wirkt, als in einem Hochwalde, in welchem die Tragweite menschlicher Rede auf 50—60 m Entfernung wächst gegen 30 m auf freiem Felde. Man wird hieraus, da die Schallwellen des Instruments in ihrem Effect den zum Verständniß nothwendigen Schallwellen der Consonanten ähnlich sind, folgern dürfen, daß in einem richtig angelegten Innenraume, wenn derselbe frei ist von störenden Reflexen, die Rede ebenfalls auf 50—60 m weit verstanden werden kann. Aber nicht nur auf die Sicherung gegen störende Reflexe durch Behandlung der betreffenden Flächen mit Relief kommt es an, sondern, wie aus den Ergebnissen der Messungen in der Philharmonie und auf Tivoli deutlich folgt, auch vornehmlich auf die Grundrißgestaltung des Gebäudes.

Langschiff oder Centralbau? Der Organismus der menschlichen Stimme ist dem der Zungenpfeifen der Orgel sehr nahe verwandt. So hat denn die Stimme auch die Eigenschaft, den Schall aus der Mitte des Mundes heraus (wie alle Blas-

instrumente aus der Mitte der Schallöffnung) nach vorn in gerader Richtung am meisten stark erklingen zu lassen. Die Schallstärke nimmt rechtwinklig nach den Seiten zu bereits wesentlich, am meisten aber nach rückwärts ab. Nach dieser Erfahrung lag der Gedanke nahe, dafs ein Langschiff vom Redner in der Längsachse oder, wenn die Kanzel seitwärts steht, in der Diagonale am besten beherrscht wird und die günstigste Form für die Predigt ergiebt. Der schaffenden Phantasie der Baumeister hat indessen diese einfachste Grundriformgestalt niemals recht genügt. Von den Römern übernommen, haben sich die Centralbauten durch die altchristliche Zeit und auch das Mittelalter theils als reine Rundbauten, meist aber als Verbindungen mit Langschiffen bis auf den heutigen Tag fortgepflanzt. Wenn nun auch diese Formen das künstlerische Streben der Architekten befriedigten, die damit der Vierung, der Stätte des Allerheiligsten nicht nur im Grundrifs, sondern auch durch Tambour und Kuppel in der äufseren Erscheinung das Uebergewicht über den ganzen übrigen Kirchenkörper hatten geben wollen, so hat es doch, seit in den letzten drei Jahrhunderten die Predigt im protestantischen Gottesdienst das wesentlichste geworden war, nicht an dem Vorwurfe gegen den Centralbau gefehlt, dafs die Verständlichkeit des Wortes Gottes in ihm schwierig, dafs er hierin dem Langbau gegenüber minderwerthig sei. In neuerer Zeit haben sich bei Gelegenheit der Preisbewerbung für die Nikolaikirche in Hamburg 1844 Zwirner und Boisserée entschieden in diesem Sinne geäußert. Es ist sehr schwierig über eine solche Frage zu urtheilen auf Grund rein äufserer Eindrücke. Diese Eindrücke sind allzusehr abhängig von einer grofsen Summe von Zufälligkeiten. Deshalb schien mir eine Untersuchung zeitgemäfs, wie weit sich jene Bedenken gegen Centralbauten aus den bisher gemachten akustischen Erfahrungen als begründet nachweisen lassen.

Von den Grundriformen, die sich in einen Kreis einschreiben lassen, ist das Quadrat die einfachste. Nur selten wird es mit glatten, geschlossenen Wänden Verwendung finden. Um jedoch die Gemeinsamkeit in den Erscheinungen der Reflexionswirkungen ins richtige Licht zu setzen, mag mit dieser Form begonnen werden. Nur bei ebenen Flächen lassen sich

diese Wirkungen in übersichtlicher Weise verfolgen und daraus dann die Schlüsse ziehen, wo die ebenen Flächen in reliefirte aufzulösen erforderlich ist.

Steht in dem quadratischen Raume (Abb. 5) $ABCD$ von 25 m Seite der Redner in k , so werden die Schallwellen von der Wand AB in günstiger Weise bis zur Linie $\alpha\alpha$, in der sie einen Wegeunterschied von 8 m gegen den directen Schall erreichen, reflectirt. Bis zu diesen 8 m schliessen sich die Reflexe eng an den directen Schall an und unterstützen denselben. Je mehr aber der Wegeunterschied das Mafs von 8 m überschreitet, desto mehr beeinträchtigen sie die Dauer der Pause und damit

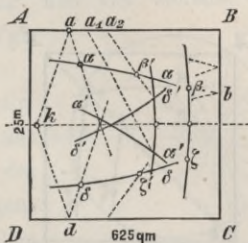


Abb. 5.

die Deutlichkeit der Rede. Denn zur Deutlichkeit gehört auch der gröfsere Theil der Pausendauer ($\frac{1}{20}$ Secunde = 17 m Wegeunterschied). Ueberschreitet aber gar der Wegeunterschied diese 17 m, so fallen solche reflectirten Schallwellen mit den directen Schallwellen der folgenden Silbe sehr hinderlich im Ohre des Zuhörers zusammen. Und dies thun die Reflexe der Wand AB von der Linie $\alpha'\alpha'$ ab für einen erheblichen Theil des Raums. Ganz dasselbe geschieht gleichzeitig von der Wand DC aus. Die von DC aus zurückgeworfenen Schallwellen trüben von der Linie $\delta\delta$ die zweite Hälfte der Pause und fallen von $\delta'\delta'$ ab störend in die nächste Silbe. Am ungünstigsten aber wirkt die dem Redner gegenüberliegende Wand BC . Ihre Reflexe überschreiten mit der Linie $\beta\zeta$ den Wegeunterschied von 8 m und von $\beta'\zeta'$ kommen sie störend in die folgende Silbe. Fassen wir den Einfluss der drei Wände AB , BC und CD zusammen, so finden wir den mittleren Theil des Quadrats, umschlossen von den Linien $\alpha\beta$, $\beta\zeta$, $\zeta\delta$, lang nachschleppenden Reflexen unterworfen, die an sich zwar mit der gröfseren Wegelänge an Kraft verlieren, dennoch aber die Deutlichkeit des Hörers beeinträchtigen, weil sie von drei Seiten aus übereinander fortlaufend sich gleichsam verdreifachen. Die hinter k liegende Rückwand AB reflectirt den directen Schall mit kleinstem Umwege, also sehr günstig, nach allen Punkten des Saales.

Nach alledem kann man einen quadratischen Raum, bei dem der untere Theil der Wände vorwiegend glatt gehalten ist, nicht für einen akustisch vortheilhaften ansehen, zumal die Zuhörer sich vorzugsweise und naturgemäfs in der Mitte, gegenüber dem Redner, aufzusammeln pflegen, wo die Reflexe der Wände am meisten stören. Auch bei Räumen, deren Abmessungen

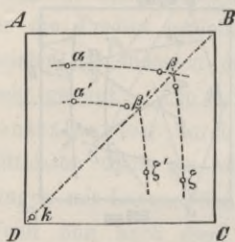


Abb. 6.

sich dem Quadrate nur nähern, zeigen sich schon diese ungünstigen Einflüsse. So bei dem großen Saale im Berliner Architektenhause mit 18,22 m Länge bei 15,1 m Breite. Etwas vortheilhafter gestalten sich die Verhältnisse für das Quadrat, wenn der Redner (Abb. 6) in einer Ecke steht und in der Diagonale spricht. Ungünstige Schallwellen werden, statt oben von drei, hier nur von zwei Seiten AB und BC verursacht, die in der Linie $\alpha\beta\zeta$ einen Wegeunterschied von 8 m, in der Linie $\alpha'\beta'\zeta'$ von 17 m überschreiten, dort die Pause und hier das Verständniß der folgenden Silbe beeinträchtigen. Also auch hier unterliegt der ganze mittlere, von der Linie $\alpha\beta\zeta$ eingeschlossene Raum ungünstigen akustischen Einflüssen. Immerhin ist diese Anordnung, zumal die beiden, die Ecke des Redners einschließenden Wände DA und DC für jeden Punkt des Raumes günstige Reflexe geben, der Anordnung in Abb. 5 vorzuziehen.

Schneidet man vom Quadrat die Ecken ab und macht man ein regelmäßiges Achteck daraus $ABCDEFGH$ (Abb. 7) in

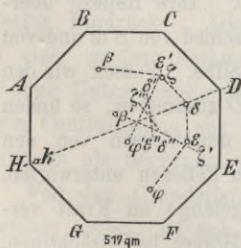


Abb. 7.

dessen Ecke H der Standpunkt k des Redners ist, so wirken die Reflexe der Seiten HA und HG günstig für alle Punkte des Raums; auch die Seiten AB und GF werfen die Schallwellen nicht unvortheilhaft zurück. Dagegen reflectiren die gegenüberliegenden vier Seiten BC, CD, DE und EF mit 8 m Wegeunterschied nach $\beta\zeta\delta\epsilon\varphi$, trüben von dieser Linie ab die Pausen zwischen den Silben und kommen jenseits der Linien $\beta'\zeta', \varphi'\epsilon', \zeta''\delta''$ und $\delta'\epsilon''$ mit 17 m Wegeunterschied bereits hindernd in die

folgenden Silben. Die Zuhörer in der ganzen Fläche um den Mittelpunkt herum und bis zur Linie $\beta\zeta\delta\epsilon\varphi$ werden im Verstehen der Rede sehr beeinträchtigt.

Das regelmäßige Sechseck zeigt ganz ähnliche Erscheinungen. Es steht aber akustisch gegen das Achteck zurück, weil dieses vier günstig und vier störend wirkende Seiten, das Sechseck dagegen nur zwei günstig und vier störende (weil gegenüberliegende) Seiten besitzt. (Vgl. unten.)

Beim Kreise (Abb. 8) reflectirt das Bogenstück der Wand hinter k mit gutem Erfolg nach allen Punkten des Raums. Das gegenüberliegende Bogenstück ABC aber wirft die Schallwellen mit 8 m Wegeunterschied nach der Curve $\alpha\beta\delta$ und jenseits dieser Linie

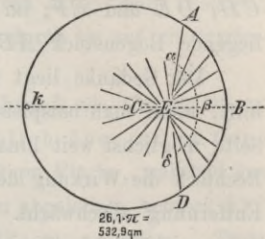


Abb. 8.

hindernd in die zweite Hälfte der Pausen. Alsdann schneiden sich die Reflexe um den Punkt E herum, überschreiten dabei den Wegeunterschied von 17 m und fallen von dort ab störend in die folgenden Silben. Hierdurch wird den Plätzen um den Mittelpunkt C herum und bis zur Linie $\alpha\beta\delta$ das Folgen und Verstehen der Rede in k außerordentlich erschwert. Diese lästige Häufung der Schallwellen in Räumen mit kreisrundem (und auch elliptischem) Grundriss ist schon länger bekannt. Zuerst hat sie Langhans in seiner Katakustik 1810 nachgewiesen. Da der Kreis als regelmäßiges Vieleck mit größter Seitenzahl aufgefasst werden kann, können sich seine akustischen Eigenschaften ja auch nicht sehr von denen des regelmäßigen Achtecks unterscheiden.

Ungünstige Reflexion unter rechtem Winkel. Es ist leicht zu erkennen, daß Schallwellen, die eine Wand senkrecht oder unter einem dem rechten Winkel sich nähernden Winkel treffen, gewöhnlich Reflexe mit großem Wegeunterschied gegen den directen Schall ergeben. So hat in Abb. 4 der Reflex $a\alpha'$ in α' bereits 17 m Wegeunterschied, ebenso der Reflex $d\delta'$ in δ' . Die weiteren Punkte der Wand AB : $a_1 a_2$ u. s. w. werden unter einem mehr und mehr spitzen Einfallwinkel getroffen; die Reflexe von ihnen werden immer weniger störend.

Die der Schallquelle gegenüberliegende Wand BC dagegen bildet in ihrer ganzen Ausdehnung Reflexe, welche von der Linie $\beta\zeta$ ab die Pausen, von $\beta'\zeta'$ ab den directen Schall der folgenden Silben stören, und dadurch die Deutlichkeit empfindlich beeinträchtigen. Immer sind es die dem Redner gegenüberliegenden Wände, welche lästige Reflexe in dieser Weise ergeben. So in Abb. 5 die Seiten AB und BC ; in Abb. 6 die Seiten BC , CD , DE und EF ; im Kreise Abb. 7 ebenfalls das gegenüberliegende Bogenstück ABD .

Der Gedanke liegt nahe, dafs man diesem Uebelstande abhilft, wenn man beispielsweise im Quadrate die gegenüberliegende Seite möglichst weit hinausrückt und damit in dem entstandenen Rechteck die Wirkung der Reflexe dieser Seite durch die gröfsere Entfernung abschwächt. $ABCD$, Abb. 9, stelle ein Rechteck vor von 45 m Länge und 20 m Breite. Auch hier erreicht der Reflex von a_2 der Seite AB in a_1 einen Wegeunterschied von 8 m. Aber einen Wegeunterschied von 17 m erhält dieser Reflex im Raume selbst nirgends. Der Punkt a_5 , in dem dies geschehen würde, liegt ausserhalb desselben. Der Reflex von b_2

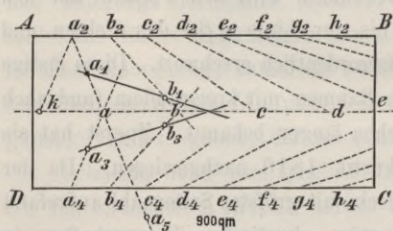


Abb. 9.

hat in b_1 den Wegeunterschied von 8 m. Bei a der Längsachse fällt der Reflex $a_2 a$ mit 13,5 m Wegeunterschied allerdings noch in die Pausen, bei b ist dies bezüglich des Reflexes $b_2 b$ mit 8,5 m Wegeunterschied

kaum mehr der Fall. Dasselbe gilt für die Reflexe $a_4 a, b_4 b$ der Seite DC . Nur in dem verhältnismäfsig kleinen von $a_1 b_1 b_3 a_3$ umgrenzten Raume werden die Pausen etwas getrübt. Ein störendes Hineinfallen der Reflexe in den directen Schall der folgenden Silben findet aber nirgends statt, und dies ist ein grofses Vorzug vor den Centralformen. Noch mehr zeigt sich die Ueberlegenheit des rechteckigen Grundrisses in den immer günstiger werdenden Reflexen der Längsseiten $c_2 e$ mit 6,5 m, $d_2 d$ mit 5 m, $e_2 e$ mit 4 m usw. bis $h_2 h$ mit 1 m Wegeunterschied. Zwei Drittel des Raumes erhalten von den Längsseiten Reflexe,

die sich vom directen Schall nur wenig trennen, denselben also sehr wirksam unterstützen. Diese kräftigen und günstigen Reflexe fehlen den Central-Grundrissen gänzlich! Die der Schallquelle gegenüberliegende Schlufsseite BC des Rechtecks erzeugt natürlich ähnliche dem directen Schall entgegenlaufende und deshalb störende Reflexe, wie beim Quadrat Abb. 5. Aber bei dem 45 m langen Rechteck haben diese Reflexe etwa nur noch $\frac{1}{3}$ der Kraft, die sie beim Quadrat von 25 m Seite besitzen; und so vermindert sich die Belästigung durch sie auf ein erträgliches Mafs.

Nach alledem steht das Rechteck als Grundriffsform bezüglich der Schallentwicklung erheblich über allen Centralformen. Dabei enthält Abb. 8 900 qm Fläche, während das Quadrat bei 25 m Seite 625, das davon abgeleitete Achteck 517 und der umschriebene Kreis etwa 533 qm aufweisen. Trotz alledem werden diese Formen für den Hauptraum, in dem Langschiff und Querschiff sich schneiden, nicht zu entbehren sein. Man wird sie auch alle verwenden können, wenn man ihre Abmessungen nicht übertreibt und diejenigen Flächen, von denen lästige Reflexe zu befürchten sind, mit kräftigem Relief ausstattet. Man darf indessen hierbei nicht etwa glauben, dafs damit die störenden Einflüsse völlig beseitigt seien. Sie sind dadurch nur wesentlich gemildert. (Ob der Kuppelraum des neuen Doms in Berlin bei 31 m Durchmesser den Anforderungen der Zuhörer überall genügen wird, ist eine Frage, deren Lösung Gemeinde und Fachwelt mit grösster Spannung entgegensehen. Wenn alle Mittel, die die bisherigen Erfahrungen an die Hand geben, sorgsame Verwendung finden, scheint trotz der grossen Schwierigkeiten eine genügende Hörsamkeit des gewaltigen Raums bei einem Prediger mit sehr deutlicher Aussprache und klangvollem Organ nicht unerreichbar. Ein bequemer Posten wird, was die rednerische Anstrengung anlangt, diese Kanzel jedenfalls nicht sein!) Auch für das Rechteck Abb. 8 $\frac{1}{2}$ wird man sich die gute Wirkung des Reliefs nicht entgehen lassen dürfen. Sobald die Wandtheile Ae_2 und De_4 , desgleichen die Schlufswand BC mit schallzerstreuender Oberfläche ausgestattet werden, fallen auch die letzten Belästigungen für den Raum $ABCD$ fort, ohne dafs seine günstigen Eigenschaften sich verringern.

Das Kirchenbedürfnis der Großstädte. Bei rasch anwachsenden Großstädten wie Berlin kann die Zahl der Kirchenneubauten dem Bedürfnis nur langsam und unter (besonders finanziellen) Schwierigkeiten folgen. Die Frage, wie weit man die Abmessungen des Raumes dehnen darf, um eine möglichst große Zahl von Andächtigen aufnehmen und durch eine überall verständliche Predigt erbauen zu können, ist für die wirtschaftlichen Verhältnisse der Gemeinden heute eine hervorragend praktische. Der Bau zweier Kirchen zu je 1200 Sitzplätzen kostet sehr viel mehr als eine Kirche mit 2400 Sitzplätzen, während diese an laufenden Aufwendungen für Personal und Unterhaltung nicht im entferntesten die doppelte Summe der Verwaltungsausgaben jener beansprucht. An den Prediger wird allerdings solch ein größerer Raum höhere Anforderungen stellen, wie eine Dorfkirche. Hierbei ist immer wieder hervor zu heben, daß keine übermäßige Anstrengung der Lungen, kein übertriebener Klang der Vocale, sondern die saubere Aussprache der Consonanten die Trägerin der Deutlichkeit bis in den entferntesten Winkel auch des mächtigsten Kirchenschiffs ist. Und diesen correcten Vortrag sollte jeder Redner imstande sein, sich anzueignen.

Beispielschema. Der in Abb. 10 skizzierte Grundriß soll kein Vorbild, sondern nur ein Schema sein, um an ihm übersichtlicher die einzelnen Verhältnisse besprechen zu können.

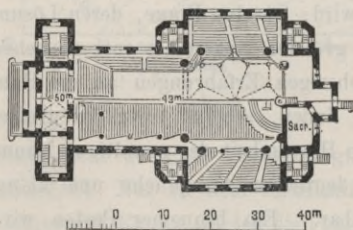


Abb. 10.

Bei einem Oblong sind, wie oben nachgewiesen, die dem Redner zunächst liegenden Theile der Längswände die Urheber der lästigen, spät hinterher fallenden Reflexe. Wenn man nun diese Theile ebenfalls hinausschiebt, um die Wirkung dieser Reflexe abzuschwächen, so kommt man auf ganz logischem Wege auf die Anordnung der Querschiffe.

Der Hauptraum Abb. 10 mißt von der Vorhallenmauer bis zur Kanzel 45 m bei 20 m Breite; hierzu die beiden Querschiffe von je 8 m Länge und 20 m Breite ergibt eine Fläche

von $900 + 320 = 1220$ qm, auf welcher (à 0,8 qm incl. Gängen) 1500 Sitzplätze eingerichtet werden können. Die ringsum laufenden Emporen würden mit 800 □ Mtr. weitere 1000 Sitzplätze aufnehmen, sodafs im ganzen 2500 Sitze vorhanden wären. Hinter der Kanzelwand liegen Sacristei und Confirmandenzimmer, über diesen beiden die Orgelempore; rechts und links die Emporen der Querschiffe. An diese schliessen sich die schmaleren Emporen des Hauptschiffs an, welche zur Westempore überführen. Die Ecken des Vierungsquadrats sind abgestumpft, sodafs dieser freie Raum durch seine Entwicklung und Ausbildung nach der Höhe den Vorrang vor Längsschiff und Querschiffen behält.

Ein Mittelweg von 2 m und 2 Seitengänge von je 1,5 m führen durch die ganze Länge der Kirche. Für die Querschiffe zweigen hinter den Emporenstützen radiale Nebengänge ab. Dasselbe findet bezüglich der Vierungsstützen unten wie auf den Emporen statt, sodafs alle Sitze freien Blick auf Altar und Kanzel haben.

Höhenlagen. Gegen den Vierungsestrich ist der Altarplatz um 0,50 m, der Fußboden der Kanzel in der Längsachse dahinter um 3 m erhöht. Die Emporen des Hauptschiffs kragen über die Stützen so weit vor, dafs oben 4 Stufen zu 0,80 m Breite entstehen, die ganze Ausdehnung mit Brüstung und Gesims darunter 3,5 m auf jeder Seite beträgt, und der freie Raum des Hauptschiffs zwischen den Emporengesimsen von 20 m auf 13 m Breite eingeschränkt wird. Fußbodenoberkante der ersten Emporenstufe liegt 4 m über Vierungsestrich. Die folgenden Stufen steigen mit 1:2 nach hinten an. Dieselbe Auskragung läuft rundum bis zur Orgelempore, deren Brüstung sich ohne eine solche auf die Kanzelwand setzt. Durch die starke Neigung der Emporen bleibt für dieselben der Prediger, auch wenn er vor dem Altar steht, noch sichtbar. Damit ist zugleich eine gute akustische Wirkung verbunden, die bei einer geringeren Steigung (1:3 oder 1:4) sich vermindern würde. Ebenso ist der Kanzelpunkt in der Längsachse der vortheilhafteste, weil Gleichgewicht nach beiden Seiten vorhanden ist. Legt man die Kanzel seitwärts, so wird dieses Gleichgewicht erschüttert. Die Emporen auf dieser Seite müßten gröfsere Steigung erhalten,

wenn ihnen gleiche Vortheile beim Sehn und Hören, wie den gegenüberliegenden, gewahrt werden sollen.

Kanzel. Vom Rundbogenstil des frühen Mittelalters bis heute haben Baumeister und Bildhauer gewetteifert, aufser dem Altar auch die Kanzel zum prächtigsten Schmuckstück der Kirche zu machen. Sandstein und Terracotta, die kostbarsten Marmorarten und Alabaster waren das Material, das man bevorzugte. Bei bedeutenden Abmessungen des Raums, welche die Benutzung jedes akustischen Vortheils nöthig machen, wird man für heutige Bauten dem Holze seiner resonanten Kraft wegen den Vorzug vor dem Stein geben müssen. Es giebt eine solche Auswahl schöner Hölzer, dafs das Aussehn einer Ausführung in diesem Material, selbst wenn auf Einlagen und figürlichen Schmuck aus Bronze verzichtet würde, gegen die reichste Marmorarbeit nicht zurückzustehn braucht. Die schallverstärkende Wirkung wird vorzugsweise durch die dünnen Platten der Füllungen und der Fufsbodenbretter der Kanzel ausgeübt. Eine Violine für sich allein hat einen nur sehr schwachen Klang; erst der Körper des Instruments (die Decke und der Resonanzboden) verleiht ihr die Kraft, den gröfsten Saal zu beherrschen. Von einer solchen Verstärkung ist natürlich bei der Kanzel nicht die Rede; eine sorgfältige Ausführung in der angedeuteten Weise kann immerhin die Kraft des Wortes sehr wirksam unterstützen. Ein Beispiel aus der Erfahrung mag dies noch erläutern. Das Gespräch zweier Personen in einem Nachen, welcher 150 m entfernt in einem See schwimmt, kann vom Ufer deutlich verstanden werden; und nicht etwa nur an stillen Abenden, sondern auch im Geräusch des Tages. Mag der Wasserspiegel ein noch so vortrefflicher Reflector sein, mögen sich Häufungen aller möglichen Reflexe am Nachen einerseits und am Uferende beim Zuhörer anderseits bilden: aus diesen Reflexionen allein ist die Wirkung bei einer Entfernung, welche die gewöhnliche Tragweite der menschlichen Sprache fünfmal übertrifft, nicht zu erklären. Man wird annehmen müssen, dafs die Resonanz des aus Brettern zusammengefügteten Nachens dabei eine hervorragende Rolle spielt und dafs sich aufserdem diese Schwingungen durch das Wasser bis zum Ufer fortpflanzen. Bei der Kanzel kann nach meinen Beobachtungen und Erfahrungen der Gesamteffect von Reflexion

und Resonanz wohl doppelt so hoch geschätzt werden, als der directe Schall.

Schalldeckel. Bei Ausbildung des Schalldeckels ist bisher mehr die künstlerische Form als die akustische Nutzbarkeit maßgebend gewesen. Erst Orth hat über der freistehenden Kanzel in der Gethsemane-Kirche zu Berlin die rationelle Form der Kugelcalotte angeordnet. Da ein Kegelmantel die Schallwellen weniger stark zerstreut, als eine Kugelfläche, könnte man

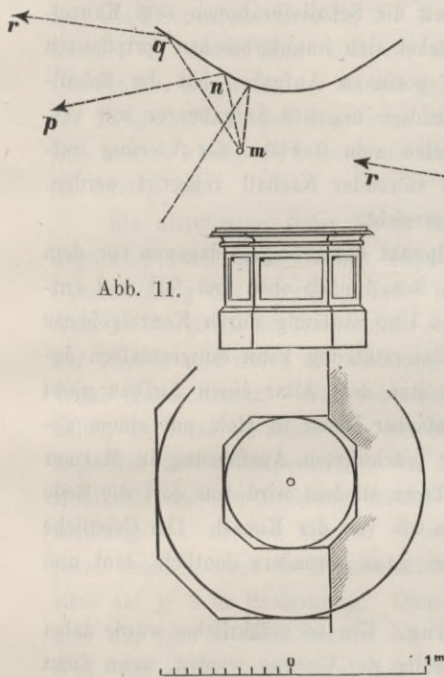


Abb. 11.

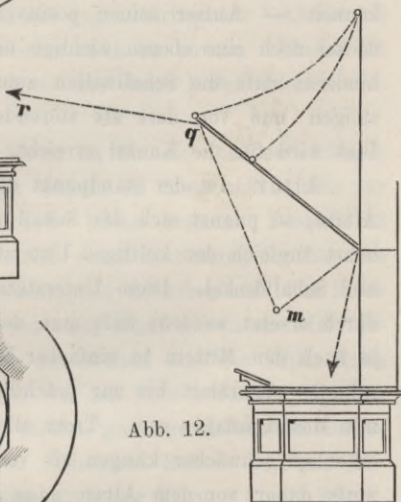


Abb. 12.

Abb. 11 letztere für den mittleren Theil verwenden, während der Rand eine Kegelfläche darstellen würde. Ist m die Schallquelle (d. h. der Mund des Predigers), so werden alle Schallwellen zwischen mnp und mqr nach den entfernteren Sitzen des Langschiffs und der Emporen mit geringerer, von der mittleren Kugelcalotte aber nach den der Kanzel näheren Plätzen mit stärkerer Zerstreung reflectirt werden.

Lehnt sich, wie dies meist der Fall zu sein pflegt, die Kanzel an einen Pfeiler oder die Chormauer an, so wäre eine

schräge ebene Fläche Abb. 12 für den Schalldeckel die einfachste und für alle Punkte der Kirche wirksamste Form. Die nach dem Achteck begrenzte Tafel könnte mit einem Randgesims und durchbrochenen Zierformen darüber eingefasst, an ihrer polirten Unterfläche mit Intarsien geschmückt und an den Eckpunkten mit Bronzeketten gehalten werden, die zugleich ein Reguliren der Schräge nach Bedarf ermöglichen. Der untere Rand des Schalldeckels ist vortheilhaft auf die Oberkanten der Kanzelrückseiten aufzusetzen, damit die Schallvibrationen vom Kanzelfußboden bis zum Schalldeckel sich ununterbrochen fortpflanzen können. — Außer seinen positiven Aufgaben hat der Schalldeckel noch eine ebenso wichtige negative Aufgabe: er soll verhindern, daß die Schallwellen zum Gewölbe der Vierung aufsteigen und von dort als störender Nachhall reflectirt werden. Dies wird für die Kanzel erreicht.

Altar. Ist der Standpunkt des Predigers dagegen vor dem Altare, so pflanzt sich der Schall nach oben frei fort und entbehrt zugleich der kräftigen Unterstützung durch Kanzelgehäuse und Schalldeckel. Diese Unterstützung kann einigermaßen dadurch ersetzt werden, daß man dem Altar einen Aufbau giebt je nach den Mitteln in einfacher Weise in Holz mit einem gerahmten Altarblatt bis zur prächtigsten Ausführung in Marmor mit Mosaikeinlagen usw. Trotz alledem wird von dort die Rede erheblich schwächer klingen als von der Kanzel. Der Geistliche muß daher vor dem Altare ganz besonders deutlich, laut und langsam sprechen.

Gewölbe der Vierung. Um so gefährlicher würde dabei aber der Nachhall vom Gewölbe der Vierung werden, wenn nicht Vorsichtsmaßregeln dagegen getroffen sind. Es empfiehlt sich das Gewölbe durch stark profilirtes Gratwerk zu theilen. Bekommen die so entstandenen Felder oder Kappen einen starken Busen (d. h. kleinen Radius) und werden ihre Flächen in Rauhputz gehalten, so wird dadurch das lästige Nachklingen beseitigt. Bei der Höhe der übrigen Kirchendecke, mag sie von Stein oder Holz sein, sind von dort günstige d. h. den directen Schall unterstützende Reflexe nur für die entfernteren Plätze des Langschiffs und der Emporen an und über der Vorhalle zu erwarten. Die Wölbungen werden daher überall am besten ebenso behandelt

wie die der Vierung. Soll eine Holzdecke angeordnet werden, so müssen die Binder und sonstige Constructionen möglichst gegen die Schalung hervortreten und ihre Unterkanten kräftig profilirt werden. Die Schalbrett sind schmal zu halten, senkrecht zur Schallrichtung zu legen, und ihre Kanten mit einem Kehlstoß zu versehen.

Reflexe der Wände und Emporen. Am meisten bedeutungsvoll für die Schallentwicklung sind alle Flächen oberhalb des Kirchenfußbodens bis 2—3 m über den letzten Emporensitzen. In dieser Zone sind vor allem die Schlußwände der Querschiffe, desgl. die der Kanzel gegenüberliegende Schlußwand des Langschiffs zu reliefiren oder rauh zu putzen. Ebenso ist jede weitere Fläche zu behandeln, über deren Reflexwirkung man im Zweifel ist.

Ein allzubreiter freier Raum ist für die Schallentwicklung ungünstig, weil darin Flächen fehlen, an denen sich Reflexe zur Unterstützung des directen Schalls bilden können. Deshalb ist Abb. 10 die Breite des Hauptschiffs durch die Stützen der Emporen auf 15,5 m und durch die Auskragung derselben auf 13 m lichte Weite eingeschränkt. Während oben Platz gewonnen wird, erhalten die Sitze im Schiff von den Stützen und den hinter ihnen liegenden beiden Längswänden, von den Reliefs der ausgekragten Hohlkehle und der Brüstung darüber günstige Reflexe zur Unterstützung des directen Schalls. Dieselben Reflexe von den Emporen erhöhen auch die Hörsamkeit in der Vierung für die Seitensitze auf je 8 m Entfernung. Ohne diese Unterstützung bleibt also nur der mittlere Streifen der Vierung in einer Breite von 4 m, der dafür den Vorzug hat, daß nach ihm vorzugsweise die Hauptkraft der Stimme gerichtet ist.

Es ist eine alte Erfahrung, daß es sich in einem mit Zuhörern gefüllten Raume (trotz der durch diese herbeigeführten Unruhe) besser spricht, wie in einem leeren. Die dicht besetzten Reihen bieten durch die Körper der Zuhörer eine außerordentlich große Menge regelmäßig vertheilter und sehr günstiger — weil niemals störender — Reflexflächen, deren Wirkung dem directen Schall sehr zu Hilfe kommt. In den antiken Riesentheatern hätte man auf den letzten von der Scene 50—60 m entfernten Sitzen ohne die kräftige Mitwirkung grade dieser

Reflexe nichts hören können. Der Effect der spärlichen Decorationen und des Bühnenpodiums war der Kraft des directen Schalls etwa gleich. Der directe Schall sinkt bei dieser doppelten Entfernung der Stimmentragweite auf $\frac{1}{4}$ hinab. Wurde soweit hin verstanden, so mußten die Reflexe aus den Zuschauerreihen die noch fehlenden $\frac{2}{4}$ ergänzen, ihre Kraft also doppelt so groß als die des directen Schalls sein. Die Anordnung der Sitze auf einer Hohlkegelfläche war eine sehr vortheilhafte, da mit den wachsenden Entfernungen nicht nur die Größe der reflectirenden Fläche (Messung I u. II), sondern bei der Hohlform auch die Zahl der mehrfachen Reflexionen, der Reflexe höherer Ordnungen, erheblich wuchs. Die Vorthelle derartiger Sitzüberhöhungen für den Kirchenbau zu benutzen hat Martin Gropius schon 1862 (Concurrenzproject zur Thomaskirche in Berlin) versucht. Auch im Schema Abb. 10 würde die Hörsamkeit gewinnen, wenn Gänge und Sitze im Langschiff von der Vierung bis an die Vorhalle eine Steigung von 0,60 bis 0,80 m in etwa 5 Abstufungen erhalten, deren Ueberhöhungen mit der Entfernung wachsen. In derselben Weise wären die Sitzreihen unter den Emporen der Querschiffe zu behandeln, sodafs nur die Vierung als tiefste wagerechte Ebene der Kirche übrig bliebe.

Schallwirkung am Ende des Langschiffs. Legt man die Kraft des directen Schalls (ohne jeglichen Reflex) auf 25 m Entfernung als ausreichend für das Verständnifs zu Grunde (S. 19), so würde für die letzte Sitzreihe im Langschiff auf 43 m Entfernung der directe Schall sinken auf $\frac{25^2}{43^2} = \text{rot. } \frac{1}{3}$ der ausreichenden Stärke. Zu diesem directen Schall treten jedoch denselben unterstützend hinzu:

| | |
|--|------|
| 1) Die Reflexe der Emporen und Längswände mit $2 \cdot 0,64 =$ | 1,28 |
| 2) „ „ „ Kanzel | 2,00 |
| 3) „ „ „ Zuschauerreihen mit nur | 1,50 |
| 4) „ „ „ Schlußwand | 0,64 |
| Dazu der directe Schall selbst | 1,00 |

Summe 6,42.

Die Gesamtschallkraft für die letzte Sitzreihe im Langschiffe würde also betragen $6,42 \cdot \frac{1}{3}$ oder 2,14 der für das Verständnifs

erforderlichen Kraft, d. h. sie würde diese Kraft mehr als doppelt überragen.

Für die letzte Sitzreihe auf der Empore über der Vorhalle sinkt bei 50 m Entfernung die Kraft des directen Schalls auf $\frac{25^2}{50^2} = \frac{1}{4}$ hinab, oder, da die Reflexe sich ähnlich wie oben gestalten, ist die Gesamtwirkung $= \frac{6,42}{4} = 1,6$. Die höhere Lage der Empore bringt es jedoch mit sich (Messung X), dafs die Gesamtwirkung des Schalls die nothwendige Kraft ebenfalls mehr als doppelt übertrifft.

Bei allen obigen Erwägungen sind die Resultate der Messungen V und VI, welche mit der wachsenden Entfernung auch eine immer mehr steigende Mitwirkung der Reflexe höherer Ordnungen ergaben, ganz aufser Betracht geblieben. Wenn diese Mitwirkung in unserm Schema auch nicht so hoch anzusprechen wäre, wie bei jenen Messungen, so würde sie doch zweifellos vorhanden sein und zur Verstärkung der Schallkraft für die entfernteren Plätze erheblich beitragen!

Beleuchtungskörper. Es dürfen bei dieser Abhandlung die Beleuchtungskörper nicht übergangen werden. Man hat, um in hohen Räumen den Verlust des Schalls nach oben zu hindern, in angemessener Höhe Fäden und Netze zu spannen versucht. Ihrer geringen Flächen wegen haben diese linienhaften Gebilde auch nur sehr geringen Erfolg gehabt, ohne das Aussehn der Räume grade zu verschönern. Kronen, deren Körper hauptsächlich aus einem grosen, flammentragenden Reif mit reichem daraus entwickelten Blattwerk besteht, werden, in richtiger Höhe hängend, schon ganz anders wirken. In Abb. 10 müfsten in der Vierung ein grosfer Kronleuchter von 5—6 m Durchmesser in der Mitte, 4 kleinere in den Diagonalen und weitere 3 desgl. im Langschiffe, alle etwa 9 m vom Fufsboden entfernt, angeordnet werden. Dazu würden auf den Emporenbrüstungen nach Bedürfnifs Candelaber treten, deren Schäfte so hoch sind, dafs die Arme für die Flammen darüber den Blick auf die Kanzel nicht hindern. Diese an sich nothwendigen Beleuchtungskörper, deren Flammenzahl für gewöhnlich durch Ausschaltung beschränkt, für festliche Gelegenheiten voll verwendet werden kann, würden nicht

nur ein Schmuck sein und den feierlichen Eindruck erhöhen, sondern sie werden auch auf die Hörbarkeit des ganzen Raumes einen erheblicheren Einfluss haben, als man ihnen bisher zuzutrauen geneigt war.

Gestühl usw. Das Holzwerk des Gestühls trägt durch Reflexion wie Resonanz zur guten Schallentwicklung bei. Wände und Stützen werden aus demselben Grunde wie des behaglichen Eindrucks wegen vortheilhaft mit einem Holzpaneel von 1,5 m Höhe bekleidet. — Die 3 Gänge des Langschiffs und der Vierung sind aus akustischen Rücksichten außerdem wie die Gänge auf den Emporen, um das störende Geräusch der Fufstritte zu dämpfen, mit dicken Matten zu belegen.

Vortheil der feierlich gemessenen Sprache. Es ist Seite 17 schon darauf hingewiesen, dafs ein Prediger nicht viel mehr als drei Worte in der Sekunde spricht. Die Erhabenheit des Stoffs, die Würde des Orts schliessen die gewöhnliche Schnelligkeit der Rede aus. Das ist für die Hörsamkeit der Kirchen ein Vortheil, der sehr hoch geschätzt werden mufs. Durch dieses langsame Tempo gewinnen besonders die betonten Sylben mit der längeren Dauer auch eine gröfsere Kraft (Akust. des Bmstrs. § 32). Dadurch verstärkt sich der Eindruck auf die Zuhörer, denen das Verständnifs der Rede bei dem gemäfsigten Vorwärtsschreiten derselben wesentlich erleichtert wird.

Bei den Passionsspielen in Oberammergau hat diese Art des Vortrags nicht wenig zum Gelingen der Aufführungen beigetragen. Der mächtige Raum für 4000 Zuschauer steigt mit etwa 1 : 5 an, liegt unter freiem Himmel und nur die entferntere Hälfte hat eine Bedachung. Die Reflexe aus den Zuschauerreihen und dieser Bedachung würden vereint mit dem directen Schall ohne diese Unterstützung durch das Tempo zum Verständnifs bis auf den letzten Platz nicht ausgereicht haben.

Von demselben Verfasser ist erschienen:

Scene der Alten und Bühne der Neuzeit.

Ein Beitrag zur Lösung der Volkstheaterfrage,
zugleich ein Versuch zur Raumgestaltung großer Zuschauerräume,
aus den bisher üblichen Theaterformen entwickelt.

Mit vielen Holzschnitten. gr. 8. 1888. geh. 8 M.

Die Akustik großer Räume nach altgriechischer Theorie.

Nebst der Berechnung einiger zugehöriger Beispiele
aus alter und neuer Zeit.

Von

Albrecht Eichhorn,
Regierungs-Baumeister.

Mit 4 Tafeln. gr. 8. 1888. geh. 2,80 M.

Die Akustik großer Räume mit speciellem Bezug auf Kirchen.

Von

August Orth,

Kgl. Baurath, Mitglied des Senats der Kgl. Akademie der Künste.

Mit 5 Kupfertafeln. gr. 4. geh. 5 M.

Die Dankeskirche in Berlin.

Von

August Orth,

Kgl. Baurath, Mitglied des Senats der Kgl. Akademie der Künste.

Mit 4 Kupfertafeln und 14 Holzschnitten. gr. Folio. 1890. steif geh. 10 M.

Die Zionskirche zu Berlin.

Von

August Orth,

Kgl. Baurath, Mitglied des Senats der Kgl. Akademie der Künste.

Mit 8 Kupfertafeln und 12 Holzschnitten. gr. Folio. 1874. steif geh. 14 M.

Verlag von **Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin W.8, Wilhelmstraße 90.**

Berlin und seine Bauten.

Bearbeitet und herausgegeben

vom

Architekten-Verein zu Berlin
und der
Vereinigung Berliner Architekten.

Drei Bände in zwei Bänden.

Band I: **Einleitendes. Ingenieurwesen.** — Band II und III: **Hochbau.**

210 Bogen Text in 4. 1896.

Mit 18 Lichtdrucktafeln, einer Stichtafel, 2150 Abbildungen im Text und
4 Kartenbeilagen. 60 M.

In zwei feinen Leinenbänden mit Lederrücken und Lederecken 72 M.

Illustrierter Probebogen, 16 Seiten umfassend, kostenfrei.

Die Thomaskirche in Berlin.

Von

F. Adler,

Geh. Ober-Baurath, Professor an der technischen Hochschule.

12 Tafeln mit Text. gr. Fol. 1873. steif geh. 14 M.

Die Christuskirche zu Berlin

und

Die Elisabethkirche zu Wilhelmshaven.

Von

F. Adler,

Geh. Ober-Baurath, Professor an der technischen Hochschule.

10 Tafeln mit Text. gr. Fol. 1875. steif geh. 12 M.

Der Umbau der Neuen Kirche in Berlin.

Von

Hermann v. d. Hude und Julius Hennicke,

Architekten.

Mit 7 Tafeln. gr. Folio. 1885. Pappband. 12 M.

Halle a. S., Buchdruckerei des Waisenhauses.

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW**

S. 61

Verlag von **Wilhelm Ernst & Sohn**

Unsere

Gruppirter Bauplan der Kirchen

Von

Otto March,

Königl. Bau Rath.

Mit 10 Abbildungen. gr. 8. 1896. 1,60 M.

Die Kirche San Lorenzo in Mailand.

Von

Julius Kohte,

Königl. Regierungs-Baumojster.

Mit 7 Kupfertafeln und vielen Holzschnitten. Folio. 1890. steif geh. 20 M.

Die
**St. Johanniskirche nebst Pfarrgebäude
in Altona.**

Von

Johannes Otzen,

Architekt.

Mit 10 Kupfertafeln. gr. Fol. steif geh. 16 M.

Der Dom zu Mainz.

Geschichte und Beschreibung des Baues
und seiner Wiederherstellung.

Von

Friedrich Schneider,

Dr. theol., Geistlicher Rath.

Mit 75 Holzschnitten und 10 Tafeln in Stich. gr. Folio. 1886. In Mappe. 36 M.

Hieraus Sonderabdruck des Textes.

Mit zahlreichen Holzschnitten.

gr. 8. 1886. geb. 6 M. geb. in Halbfranz 8,50 M.

Haller & S. Buchdruckerei des Waisenhauses.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298324

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

II 31420
L. inw.

Kdn., Czapskich 4 — 678. I. XII. 52. 10.000