

# Ueber die Akustik von Studioräumen [Schluss] = Sur l'acoustique des studios [suite et fin]

Autor(en): **Furrer, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri**

Band (Jahr): **14 (1936)**

Heft 3

PDF erstellt am: **17.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-873445>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Technische Mitteilungen

Herausgegeben von der schweiz. Telegraphen- und Telephon-Verwaltung

**Bulletin Technique**

Publié par l'Administration des  
Télégraphes et des Téléphones suisses



**Bollettino Tecnico**

Pubblicato dall'Amministrazione  
dei Telegrafi e dei Telefoni svizzeri

**Inhalt — Sommaire — Sommario:** Ueber die Akustik von Studioräumen. Sur l'acoustique des studios. — Die Verwendung von Feldmessinstrumenten bei der Telegraphen- und Telephonverwaltung. L'utilisation des instruments de nivellement dans l'administration des télégraphes et des téléphones. — Das Schnellverkehrsamt Zürich. — Verstärker für Aussenübertragungen. Fortschritte der Fernsehentwicklung in Deutschland 1935. Les progrès de la télévision en Allemagne au cours de l'année 1935. Das neue Postmuseum. — Verschiedenes. Divers: Ausbau und Verbesserung des Landessenders Beromünster. — Perfectionnements apportés au poste national de Sottens. — Die drahtlosen Verbindungen der Radio-Schweiz. — Telephonkabel begeben sich auch auf die Wanderschaft. — Betrachtungen über den Ausdruck „Impulsverhältnis“. — Le réveil automatique. — Innovation dans le service téléphonique nippon. — Des câbles à travers les Andes. — Rechtsfrage der Telephongebühren. — Le téléphone, ange gardien. — Ici... la lune! — Galgenhumor. — Der Uebermensch. — Personlnachrichten. Personnel. Personale.

## Ueber die Akustik von Studioräumen.

W. Furrer, Bern.  
(Schluss.)

### 8. Die Projektierung von Studioräumen.

Wie bereits in Abschnitt 5 angeführt wurde, machen sich bei Uebertragungen durch das erzwungenermassen einohrige Hören akustische Mängel des Studios viel empfindlicher bemerkbar als in einem Konzertsaal. Um die überwiegende Rolle, die der Raum spielt, zu illustrieren, wird das Verhältnis zwischen direktem Schall und reflektiertem Schall für ein konkretes Beispiel gerechnet:

Ein quaderförmiges Studio, 20 m lang, 12 m breit und 8 m hoch, hat einen Rauminhalt von 1920 m<sup>3</sup>, seine totale Oberfläche beträgt 992 m<sup>2</sup>. Sein mittlerer Absorptionskoeffizient  $a$  betrage 0,25; das gibt nach Eyring eine Nachhallzeit von 1,08 Sekunde. In diesem Raum befinde sich eine Schallquelle ohne Richtwirkung mit einer Leistung von  $E$  erg/sec. Die nach den ersten Reflexionen noch verfügbare Schall-Leistung beträgt  $E(1-a)$  erg/sec. Damit bestimmt sich die mittlere Energiedichte  $I$  im Raume zu:

$$I = \frac{4E(1-a)}{S \cdot a \cdot c} = 3,5 \cdot 10^{-5} E \text{ erg/m}^3.$$

Die Energiedichte  $I_r$  des direkten Schalles beträgt in einem Abstand  $r$  von der Quelle

$$I_r = \frac{E}{4\pi r^2 c} \text{ erg/m}^3.$$

Für  $r = 5$  m ist  $I_r = 0,93 \cdot 10^{-5} E$  erg/m<sup>3</sup>. Schon in einer Entfernung von nur 5 m von der Quelle beträgt die Energie des direkten Schalles also nur noch 26% der durch Reflexion erhaltenen Energie!

8. 1. *Grösse eines Studios.* Im Abschnitt 6. 3. wurde ausgeführt, dass die Nachhallzeit eines Studios das wichtigste Kennzeichen für seine akustischen Qualitäten darstelle. Das ist nicht so zu verstehen, dass die Nachhallzeit allein massgebend sei; sie ist vielmehr abhängig von der *Raumgrösse*, welche das eigentliche primäre Bestimmungsstück ist.

## Sur l'acoustique des studios.

W. Furrer, Berne.  
(Suite et fin.)

### 8. Etablissement des projets de studios.

Nous avons vu au chapitre 5 que pendant les émissions, du fait de l'audition monauriculaire forcée, les défauts acoustiques ressortent beaucoup plus dans un studio que dans une salle de concert. Pour illustrer le rôle prépondérant que joue le local, calculons pour un exemple concret le rapport existant entre le son direct et le son réfléchi:

Un studio rectangulaire de 20 m de long, 12 m de large et 8 m de haut a un volume de 1920 m<sup>3</sup> et une surface totale de 992 m<sup>2</sup>. En admettant que son coefficient d'absorption soit  $a = 0,25$ , on aurait, d'après Eyring, une durée de réverbération de 1,08 seconde. Dans ce local se trouve une source sonore non dirigée ayant une puissance de  $E$  erg/sec. Après les premières réflexions, la puissance acoustique restante est  $E(1-a)$  erg/sec. La densité d'énergie moyenne  $I$  dans le local est alors

$$I = \frac{4E(1-a)}{S \cdot a \cdot c} = 3,5 \cdot 10^{-5} E \text{ erg/m}^3.$$

La densité d'énergie  $I_r$  du son direct à une distance  $r$  de la source est

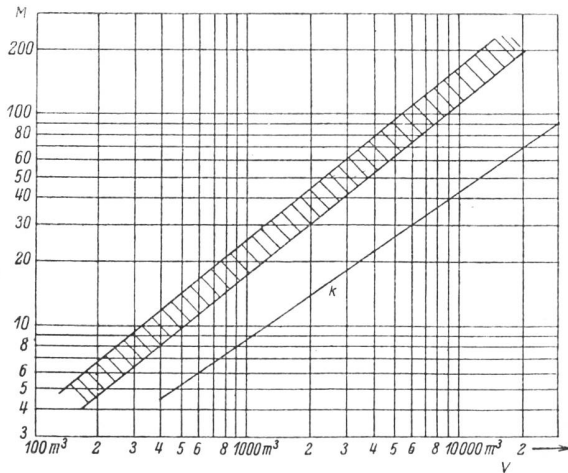
$$I_r = \frac{E}{4\pi r^2 c} \text{ erg/m}^3.$$

Pour  $r = 5$  m, on a  $I_r = 0,93 \cdot 10^{-5} E$  erg/m<sup>3</sup>. Ainsi, déjà à une distance de 5 m seulement de la source, l'énergie du son direct ne représente plus que le 26% de l'énergie obtenue par réflexion.

8. 1. *Dimensions des studios.* Au chapitre 6. 3. nous avons dit que la durée de réverbération d'un studio est le meilleur critère de ses qualités acoustiques. Il ne faut pas en déduire que la durée de réverbération a cette importance en elle-même; au contraire, elle dépend de la grandeur du local, qui est le facteur primaire.

Für Hörspielräume, Sprechstudios usw. kann sich der Rauminhalt ganz nach den Bedürfnissen der Regie usw. richten. Es besteht jedoch häufig die Tendenz, besonders Sprechstudios zu klein zu machen. Das sollte mit Rücksicht auf die sonst zu hoch liegenden Eigenfrequenzen des Raumes (vgl. Abschnitt 6. 1.) vermieden werden.

Fig 11



Für Musikräume bestehen viel genauer umschriebene Beziehungen. Während die Grösse eines Konzertsaales im wesentlichen durch die gewünschte Anzahl Zuhörerplätze bestimmt ist, ist die Grösse eines Studios nur durch die Anzahl der Musiker gegeben. Es ist jedoch einleuchtend, dass ein Raum, der gerade für ein Orchester bestimmter Grösse Platz böte, von den Musikern als unbrauchbar abgelehnt würde. Zwischen diesen beiden Extremen liegt also ein Optimum. In Fig. 11 ist der experimentell gefundene Zusammenhang zwischen der Anzahl der Musiker  $M$  und dem Raumvolumen  $V$  dargestellt (4). Diese Beziehung ist natürlich etwas dehnbar; deshalb ist nicht eine einzelne Kurve, sondern ein schraffiertes Band eingezeichnet, innerhalb welchem der optimale Wert liegt. Die Kurve  $k$  zeigt die Verhältnisse für Konzertsäle.

8. 2. *Form eines Studios.* Wie in Abschnitt 6 ausgeführt wurde, ist die Bestimmung der besten Form für ein Studio wesentlich einfacher als für einen Konzertsaal. Immerhin spielen auch hier die Verhältnisse der Seitenlängen und der Höhe eine nicht zu unterschätzende Rolle. Ein würfelförmiger Raum würde z. B. unbrauchbar sein, weil sich dort bis zu relativ hohen Frequenzen hinauf sehr starke, weitauseinander liegende Eigenfrequenzen ausbilden könnten, die durch Zusammenfallen der bei einem nicht würfelförmigen Raum verteilt liegenden Eigenfrequenzen entstehen (vgl. Abschnitt 6. 1.).

Ein gutes Verhältnis für Höhe, Breite und Länge eines Studios ist 2:3:5. Für die Höhe sollten jedoch ca. 12 m nicht überschritten werden, auch bei sehr grossen Räumen nicht. In Fig. 12 sind die für eine gegebene Raumgrösse wünschenswerten Längen  $a$ , Breiten  $b$  und Höhen  $c$  aufgetragen (21).

Das Vermeiden von parallelen Wänden ist nicht unbedingt nötig; die Ausbildung von Eigenfrequenzen lässt sich dadurch nicht beeinflussen. Zudem ent-

Les dimensions des studios pour productions théâtrales, des studios pour conférences, etc., peuvent être adaptées entièrement aux exigences du régisseur. On a cependant très souvent la tendance de faire les studios trop petits, en particulier les studios pour conférences. Cette manière de faire devrait être évitée parce que, sans cela, les fréquences propres du local sont trop élevées (voir chapitre 6).

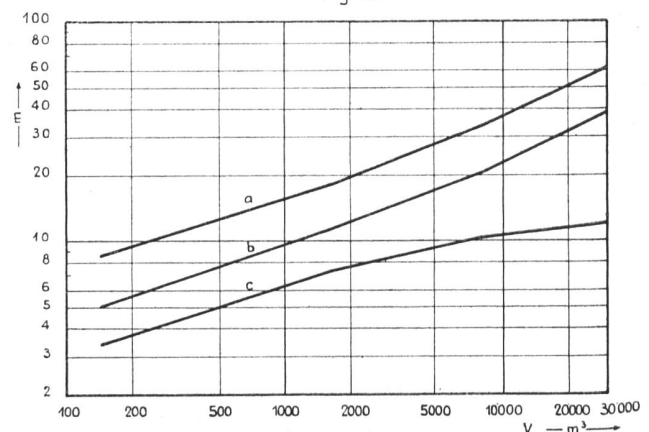
Les studios pour productions musicales sont soumis à des conditions beaucoup plus précises. Alors que la grandeur d'une salle de concert est surtout déterminée par le nombre des places d'auditeurs envisagées, la grandeur d'un studio dépend uniquement du nombre des musiciens. Il est clair cependant qu'un local, dans lequel il y aurait exactement place pour un orchestre à effectif déterminé, serait déclaré inutilisable par les musiciens eux-mêmes. Il y a donc entre ces deux extrêmes un optimum. La fig. 11 montre le rapport trouvé expérimentalement entre le nombre des musiciens  $M$  et le volume du local  $V$  (4). Ce rapport est naturellement un peu large; c'est pourquoi on ne l'a pas représenté par une simple courbe, mais par une bande à hachures, à l'intérieur de laquelle se trouve la valeur optimum. La courbe  $k$  se rapporte aux conditions des salles de concert.

8. 2. *Formes des studios.* Nous avons vu au chapitre 6 qu'il était beaucoup plus facile de déterminer la meilleure forme d'un studio que de déterminer celle d'une salle de concert. Cependant, dans ce cas aussi, le rapport entre les dimensions des côtés et la hauteur du local joue un rôle qu'il convient de ne pas sous-estimer. Par exemple, un local cubique serait inutilisable du fait que, jusqu'à des fréquences relativement élevées, il peut s'y produire des fréquences propres très fortes et très espacées, créées par la rencontre de fréquences propres qui, dans un local non cubique, se répartissent (voir chapitre 6. 3.).

Les meilleures proportions entre la hauteur, la largeur et la longueur d'un studio sont données par le rapport 2:3:5. Cependant, la hauteur ne devrait pas dépasser environ 12 m, même pour les très grands locaux. La fig. 12 indique les valeurs désirables de la longueur  $a$ , de la largeur  $b$  et de la hauteur  $c$  d'un local de grandeur donnée (21).

Il ne sert pas à grand'chose d'éviter les parois parallèles, car cela n'a aucune influence sur la for-

Fig 12



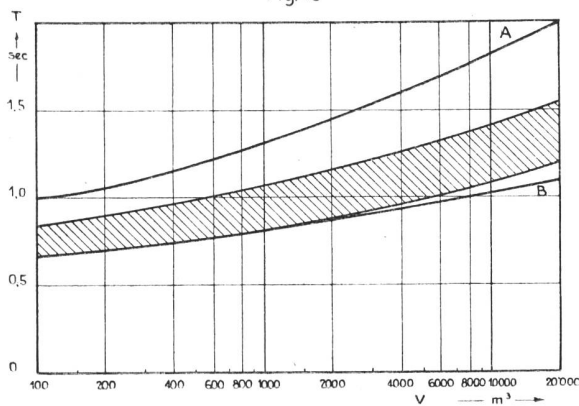
stehen dadurch Grundrissformen, die sich meist schwer in ein Gebäude einordnen lassen, ohne dass viel Platz verschwendet wird. Viel wichtiger ist die akustische Aufteilung grosser Flächen, besonders der Wände (vgl. Abschnitt 8. 5.).

### 8. 3. Grösse der Nachhallzeit.

8. 3. 1. *Musikräume.* Durch die Ausmessung einer grossen Anzahl von Konzertsälen, die als akustisch vorzüglich gelten, hat es sich herausgestellt, dass zwischen dem Raumvolumen und der Nachhallzeit eine Beziehung besteht. Diese Beziehung wurde von verschiedenen Autoren experimentell bestimmt. Die Kurve A der Fig. 13 stellt die von Watson, Lifshitz und P. E. Sabine gefundenen Werte dar. Die Angaben der 3 Autoren stimmen sehr gut überein.

Es ist auch möglich, durch rein theoretische Betrachtungen eine Beziehung zwischen Raumvolumen und Nachhallzeit abzuleiten. Dies wurde von W. Mac Nair durchgeführt, dessen Ergebnisse ebenfalls sehr genau mit der experimentell gefundenen Kurve übereinstimmen (19).

Fig 13



Die Kurve A der Fig. 13 gilt für direktes zwei-ohriges Hören. Man kann nun experimentell nachweisen, dass beim einohrigen Hören, das bei Uebertragungen allein massgebend ist (vgl. Abschnitt 5), der Nachhall eines Raumes scheinbar (subjektiv) vergrössert wird. Um also die Verhältnisse, die beim direkten zweiohrigen Hören bestehen, einiger-massen zu reproduzieren, ist es nötig, die Nachhallzeit der Studios kleiner zu machen.

Zu diesem psychologischen Effekt kommt noch, dass auch der Lautsprecher des Hörers in einem Raum mit einer gewissen Nachhallzeit aufgestellt ist. Die massgebende Nachhallzeit, d. i. die kombinierte Nachhallzeit des elektrisch mit dem Wohnraum des Hörers gekoppelten Studios, erfährt also auch noch rein physikalisch eine Vergrösserung. Die Vergrösserung der totalen Nachhallzeit durch den Nachhall des Empfangsraumes ist genau untersucht worden (20). Es zeigte sich, dass keine direkte Addition der beiden Nachhallzeiten eintritt, sondern dass im wesentlichen die grössere der beiden Nachhallzeiten massgebend ist. Sind die beiden Nachhallzeiten ungefähr gleich gross, so ist die kombinierte Zeit der beiden Räume ca. 25% grösser.

Aus diesen beiden Gründen wird die Nachhallzeit für ein Studio bestimmter Grösse im Mittel um 30% kleiner gewählt, als es für einen entsprechenden

mation de fréquences propres. En outre, on obtient ainsi des formes de salle qu'il est très difficile de disposer dans un bâtiment sans perdre beaucoup de place. Une bonne répartition acoustique des grandes surfaces, en particulier des parois, a beaucoup plus d'importance (voir chapitre 8. 5).

### 8. 3. Durée de réverbération.

8. 3. 1. *Studios pour productions musicales.* Les mesures effectuées dans un grand nombre de salles de concert réputées parfaites au point de vue acoustique ont prouvé qu'il existait un rapport entre la durée de réverbération et le volume de la salle. Ce rapport a été déterminé expérimentalement par plusieurs physiciens. La courbe A de la fig. 13 indique les valeurs trouvées par Watson, Lifshitz et P. E. Sabine. Les données de ces trois auteurs concordent presque exactement.

On arrive aussi à trouver un rapport entre le volume d'un local et la durée de réverbération en s'appuyant sur des considérations purement théoriques. C'est ce que fit W. MacNair, qui obtint des résultats correspondant très bien, eux aussi, aux courbes trouvées expérimentalement (19).

La courbe A de la fig. 13 se rapporte à l'audition directe binaurculaire. On peut cependant prouver expérimentalement que, par l'audition monaurculaire, qui est la seule dont il faille tenir compte pour les émissions (voir chapitre 5), la réverbération d'un local apparaît (subjectivement) renforcée. On doit donc, pour reproduire dans une certaine mesure les conditions de l'audition directe binaurculaire, réduire la durée de réverbération des studios.

A part cet effet psychologique, il faut considérer le fait que le haut-parleur de l'auditeur est installé dans un local qui accuse également une certaine durée de réverbération. La durée de réverbération réelle, c'est-à-dire la durée de réverbération combinée du studio relié électriquement avec la chambre de l'auditeur, subit donc encore une augmentation. L'augmentation de la durée totale de réverbération due à la réverbération du local de réception a été calculée et mesurée exactement (20). On a constaté que les deux durées ne s'additionnent pas directement, mais que c'est essentiellement la plus longue qui compte. Si les deux durées sont à peu près identiques, la durée de réverbération combinée des deux locaux est plus longue d'environ 25%.

Pour ces deux raisons, on choisit pour un studio de dimensions données une durée de réverbération plus courte, en moyenne de 30%, que celle qu'on choisirait pour une salle de concert. On peut aussi tolérer ici des écarts importants ( $\pm 5$  à 10%) de la valeur idéale sans qu'il en résulte des conséquences désagréables. On a donc dessiné sur la fig. 13 une bande à hachures (21) à l'intérieur de laquelle se trouvent les valeurs optimum.

La détermination de la réverbération la plus favorable pour un local donné est naturellement aussi une question de goût artistique. La fig. 13 donne cependant des valeurs moyennes applicables dans la plupart des cas et qui ont permis de faire les meilleures expériences en Amérique, en Allemagne et dans d'autres pays. En Angleterre (Londres), les organes de la BBC considèrent comme plus favorables des durées de réverbération plus



Konzertsaal der Fall wäre. Auch hier können erhebliche Abweichungen vom Idealwert zugelassen werden ( $\pm 5$  bis 10%), ohne dass sich nachteilige Folgen bemerkbar machen. In der Fig. 13 ist deshalb ein schraffiertes Band eingezeichnet (21), innerhalb welchem die optimalen Werte liegen.

Die Bestimmung des günstigsten Nachhalls für einen bestimmten Raum ist natürlich auch weitgehend eine Frage des künstlerischen Geschmacks. Die Angaben der Fig. 13 stellen jedoch allgemein gültige Durchschnittswerte dar, mit denen in Amerika, Deutschland und andern Staaten die besten Erfahrungen gemacht wurden. In England (London) werden zum Teil etwas grössere Nachhallzeiten für günstig angesehen (22), in Ungarn (Budapest) bleibt man dagegen eher unter den Werten der Fig. 13 (23).

Zu einer bestimmten Raumgrösse gehört auch eine bestimmte Nachhallzeit. Ebenso gehört ein Klangkörper bestimmten Umfanges in einen Raum mit einem bestimmten Volumen.

Es muss deshalb danach getrachtet werden, möglichst für jeden Verwendungszweck das geeignete Studio vorzusehen. Es ist z. B. nicht möglich, in einem grossen Studio, dessen Volumen und Nachhallzeit für ein grosses Orchester passen, ein Streichquartett spielen zu lassen. Selbst wenn für diesen Zweck die Nachhallzeit durch Anbringen von Absorptionsmaterialien entsprechend verkürzt würde, wäre das Ergebnis unbefriedigend. Diese Erkenntnis ist auch wichtig, wenn es sich darum handelt, eine für Kirchenmusik bestimmte Orgel in ein Studio einzubauen, das in erster Linie für ein Orchester von 40 bis 60 Mann bestimmt ist. Auch wenn die Nachhallzeit künstlich vergrössert wird, sei es durch Verminderung der Absorption im Raume selbst, sei es durch Benützung eines Echoraumes, so wird das Ergebnis immer unbefriedigend sein. Die richtige Kirchenakustik lässt sich in einem zu kleinen Raum nie verwirklichen.

8. 3. 2. *Sprechräume*. Die günstigste Nachhallzeit für Sprechräume kann mit Verständlichkeitsmessungen einwandfrei bestimmt werden. Die Kurve B in Fig. 13 zeigt das Resultat solcher Messungen (24). Die Kurve gilt für zweiohriges Hören, so dass für ein Studio wieder etwa 30% kleinere Zeiten in Frage kommen. Für kleinere und mittlere Sprechstudios (bis zu etwa 200—300 m<sup>3</sup>), wie sie bei uns vorwiegend verwendet werden, sind also Nachhallzeiten von 0,4—0,5 Sekunden nötig. Bei sehr kleinen Studios (Sprechkabinen) zeigt es sich, dass die erforderliche absorbierende Oberfläche einzig durch die notwendige Dämpfung der Eigenfrequenzen des Raumes (vgl. Abschnitt 6) bestimmt ist und dass sich dabei noch kleinere Nachhallzeiten ergeben.

Auch in einem fast völlig gedämpften Raum ist die Verständlichkeit jedoch gut (schätzungsweise über 80%, gegenüber einem praktisch erreichbaren Maximum von etwa 90%), nur verlangt ein solcher Raum einen Sprecher, der die Gewohnheit hat, in stark gedämpften Räumen zu sprechen.

8. 4. *Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit*. Die Erfahrung hat gezeigt, dass für Musikräume eine frequenzunabhängige Nachhallzeit nicht günstig ist. Es scheint in der Tat nicht gerechtfertigt zu sein,

longues (22), alors qu'en Hongrie (Budapest) on reste plutôt au-dessous des valeurs indiquées par la fig. 13 (23).

Un local de dimensions déterminées doit accuser une durée de réverbération déterminée. De même pour un corps sonore d'une importance déterminée, il faut un local d'un volume déterminé.

On doit donc tendre à prévoir autant que possible un studio approprié à chaque but. Il est impossible, par exemple, de faire jouer un quatuor à cordes dans un grand studio dont le volume et la durée de réverbération sont prévus pour un grand orchestre symphonique. Même si, à cet effet, on raccourcissait la durée de réverbération en utilisant des dispositifs d'absorption, le résultat ne serait pas satisfaisant. Il est très important de tenir compte de ce fait lorsqu'il s'agit d'installer un orgue pour la musique sacrée dans un studio prévu en premier lieu pour un orchestre de 40 à 60 exécutants. Même si on augmente artificiellement la durée de réverbération soit en diminuant l'absorption dans le local même soit en ayant recours à une salle d'écho, le résultat restera toujours peu satisfaisant. Il est absolument impossible de réaliser l'acoustique exacte d'une église dans un local relativement petit.

8. 3. 2. *Studios pour conférences*. La durée de réverbération la plus favorable pour des studios de conférenciers peut être déterminée exactement par des mesures d'intelligibilité. La courbe B de la fig. 13 montre le résultat de ces mesures (24). Cette courbe concerne l'audition binaurale de sorte que, pour un studio, on doit choisir des durées d'environ 30% plus courtes. Pour les petits et moyens studios de conférences (jusqu'à environ 200 à 300 m<sup>3</sup>), tels qu'on les emploie de préférence chez nous, on aura donc des durées de réverbération variant de 0,4 à 0,5 seconde. Pour les très petits studios (cabines), on constate que les surfaces absorbantes indispensables sont déterminées uniquement par l'amortissement nécessaire des fréquences propres du local (voir chapitre 6) et qu'il en résulte encore de plus courtes durées de réverbération.

Même dans un local à amortissement presque complet, l'intelligibilité reste bonne (évaluée à plus de 80% contre environ 90%, maximum atteint dans la pratique), à condition que l'orateur ait l'habitude de parler dans des locaux à fort amortissement.

8. 4. *Caractéristique de fréquence de la durée de réverbération*. L'expérience a démontré qu'une durée de réverbération indépendante de la fréquence n'est pas désirable. En effet, il ne semble pas indiqué d'exiger que l'excitation acoustique s'évanouisse avec la même rapidité pour toutes les fréquences. Il est beaucoup plus logique de considérer la sensation subjective. Nous avons vu au chapitre 4 que, lorsque l'excitation acoustique diminue, la sensation diminue beaucoup plus vite pour les basses fréquences que pour les fréquences de 800 à 2000 p/s de sorte que pour répondre à la condition ci-dessus, la durée absolue de réverbération d'un local doit être plus grande pour les basses fréquences que pour les moyennes et hautes fréquences. La fig. 14 montre la caractéristique de fréquence de la durée de réverbération d'un local, déterminée de cette manière (19). La valeur à

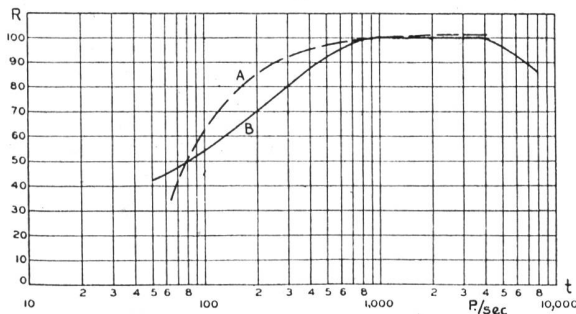
die Voraussetzung zu machen, dass der Schallreiz für alle Frequenzen gleich rasch verklingen soll. Viel logischer ist es, wenn auf die Schallempfindung abgestellt wird. Es ist in Abschnitt 4 gezeigt worden, dass besonders für die tiefen Frequenzen die Schallempfindung mit sinkendem Schallreiz viel stärker abnimmt als für die Frequenzen von 800 bis 2000 p/s, weshalb, um der obenstehenden Forderung zu genügen, die absolute Nachhallzeit eines Raumes nach den tiefen Frequenzen hin ansteigen muss. Fig. 14 zeigt die so bestimmte Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit eines Raumes (19). Der Wert bei 1000 p/s ist dabei mit 1,0 bezeichnet; er ist durch die in Abschnitt 8. 3 erläuterten Bedingungen bestimmt; bei den übrigen Frequenzen wird der jeweilige Wert der Nachhallzeit durch Multiplikation des Faktors  $b$  (Fig. 14) mit der Nachhallzeit bei 1000 p/s erhalten.

In einem Konzertsaal wird die absorbierende Oberfläche fast ausschliesslich durch das Publikum dargestellt. Es hat sich nun erwiesen, dass der Verlauf dieser Absorption bei den verschiedenen Frequenzen ziemlich genau der obigen theoretisch gefundenen Beziehung entspricht. Die Kurve A der Fig. 15 zeigt die von einem Konzertpublikum dargestellte relative Absorption  $R$  bei den verschiedenen Frequenzen (durch W. C. Sabine gemessen), die Kurve B die durch die erwähnte Beziehung geforderte relative Absorption.

Die Erfahrung hat jedoch gelehrt, dass die von MacNair angegebene Funktion bei den tiefen Frequenzen zu grosse Werte der Nachhallzeit ergibt. Die günstigsten Ergebnisse werden mit einem Faktor  $b$  von etwa 1,4 bei 100 p/s erhalten.

8. 5. *Absorbierende Oberflächen.* Nach den vorhergehenden Ausführungen können also für ein Studio, das einem bestimmten Zweck dienen soll, der Rauminhalt und die absolute Grösse der Nachhallzeit sowie ihre Frequenzabhängigkeit festgelegt werden. In Abschnitt 6. 3 wurde auch gezeigt, dass diese Grössen den Wert des anzubringenden Absorptionsmaterials eindeutig bestimmen.

Fig. 15

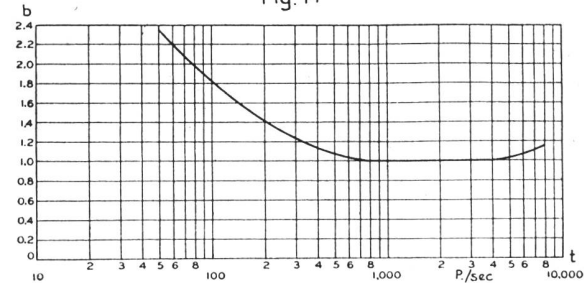


Die Nachhallverhältnisse sind damit vollständig abgeklärt. Sie sind eine notwendige, aber noch nicht hinreichende Bedingung für eine gute Akustik. Neben der Raumform, die bereits besprochen wurde (Abschnitt 8. 2.), spielt auch die *Verteilung des Absorptionsmaterials* eine wichtige Rolle.

Als wichtigste Regel gilt der Grundsatz, dass die unmittelbare Umgebung des Klangkörpers akustisch hart sein soll (4, 21). Die direkt beim Orchester

1000 p/s est désignée par 1,0; elle a été déterminée d'après les conditions décrites au chapitre 8. 3. Pour les autres fréquences, on obtient la durée de réverbération en multipliant dans chaque cas la durée à 1000 p/s par le facteur  $b$  de la fig. 14.

Fig. 14



Dans une salle de concert, les surfaces absorbantes sont représentées presque exclusivement par le public. On a constaté que cette absorption pour les différentes fréquences correspond avec assez d'exactitude au rapport ci-dessus, établi théoriquement. La courbe A de la fig. 15 montre l'absorption relative  $R$  représentée par le public d'une salle de concert pour les différentes fréquences (mesurée par W. C. Sabine), la courbe B indique l'absorption relative exigée d'après le rapport en question.

On a trouvé par expérience que la fonction indiquée par MacNair fournit des valeurs trop élevées pour le temps de réverbération aux basses fréquences. On obtient de meilleurs résultats avec un facteur  $b$  de 1,4 à 100 p/s.

8. 5. *Surfaces absorbantes.* D'après ce qui précède, on peut donc fixer le volume, la durée absolue de réverbération ainsi que la caractéristique de fréquence d'un studio devant servir à un but déterminé. Nous avons aussi vu au chapitre 6. 3 que ces facteurs déterminent d'une manière absolue la valeur des matériaux d'absorption à employer.

Les conditions de réverbération sont ainsi tout à fait claires. Il est nécessaire de les connaître, mais cela ne suffit pas pour avoir une bonne acoustique. A côté de la forme du local dont nous avons déjà parlé (chapitre 8. 2), la *répartition des matériaux d'absorption* joue un rôle important.

On applique avant tout le principe fondamental qui veut que les environs immédiats du corps sonore soient durs au point de vue acoustique (4, 21). Les murs qui se trouvent directement près de l'orchestre doivent donc être uniquement recouverts d'enduit dur; l'orchestre lui-même doit être placé sur un plancher de bois. Un podium de salle de concert proprement dit n'est *pas* nécessaire du fait que l'amplification de son qu'il provoque est inutile. En outre, l'usage d'un podium produit très souvent des phénomènes de résonance désagréables qui troublent l'émission au microphone (en particulier pour les instruments de cuivre et la batterie).

De préférence, le plancher doit être recouvert d'un tapis. Si l'on prévoit des sièges, il faut qu'ils soient rembourrés aussi profondément que possible afin que les conditions d'absorption des sièges occupés et non occupés restent à peu près les mêmes

befindlichen Mauerflächen werden also nur mit hartem Putz belegt; das Orchester selbst wird auf eine Holzunterlage gestellt. Ein eigentliches Konzertsaal-Podium ist *nicht* erforderlich, da die dadurch bewirkte Schallverstärkung nicht benötigt wird. Ausserdem treten sehr oft durch ein Podium unangenehme Resonanzerscheinungen auf, die sich im Mikrophon störend bemerkbar machen (besonders bei den Blechbläsern und dem Schlagzeug).

Der Fussboden wird am besten mit einem Teppich bedeckt. Wenn eine Bestuhlung vorhanden ist, so sollen die Stühle möglichst tief gepolstert werden, damit die Absorptionsverhältnisse bei besetzten und unbesetzten Stühlen ungefähr gleich bleiben (Bedeckung mit Plüsch usw., nicht mit Leder oder Kunstleder.)

Für kleinere Studios, die nicht ausschliesslich für Orchesterdarbietungen benützt werden, empfiehlt es sich gewöhnlich nicht, einen bestimmten Teil des Raumes akustisch hart zu machen; die Absorptionsmaterialien werden dann ziemlich gleichmässig verteilt.

Für *Hörspielräume* sind verschiedene Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Man wird hier im allgemeinen stärker dämpfen, d. h. kürzere Nachhallzeiten wünschen, da diese Räume in erster Linie nur für Sprache benützt werden. Sollte für irgendeinen dramatischen Effekt ein grösserer Nachhall benötigt werden, so steht für diesen Zweck der Echoraum zur Verfügung. Oft ist es auch erwünscht, über einen „toten“ Raum zu verfügen, da durch verschwindend kleinen Nachhall für den Hörer der Eindruck des freien Raumes entsteht. Der nötige Aufwand, um genügend zu dämpfen, ist erheblich; Wände und Decke müssen stark mit Mineralwolle gepolstert werden.

## 9. Verschiedenes.

9. 1. *Deckenkonstruktionen.* Eine zweckmässige Deckenkonstruktion ist für ein Studio von grosser Wichtigkeit. Es ist notwendig, geeignete Massnahmen zu treffen, damit ein unerwünschtes Mitschwingen der Decke verhütet wird. Unbedenklich sind Massivdecken, die man überall da anwendet, wo sich oben noch ein Stockwerk befindet. Andernfalls wird man aus wirtschaftlichen Gründen meist eine aufgehängte Decke vorsehen, deren Konstruktion jedoch besondere Vorsichtsmassregeln erfordert. Vorzüglich bewährt haben sich Gipsdecken mit Verwendung von Streckmetall als Träger.

Um eine möglichst diffuse Schallreflexion zu erhalten, kann die Decke kassettiert werden. Die Tiefe der Kassetten muss jedoch mindestens 20 bis 30 cm betragen, sonst ist die Wirkung so klein, dass die Decke ebensogut glatt gemacht werden könnte.

9. 2. *Schallisolation.* Für einen reibungslosen Studiobetrieb ist eine möglichst gute Schallisolation zwischen den einzelnen Räumen unter sich, gegen die Verstärker- und Kontrollräume, gegen die Korridore usw. Bedingung.

Die Schallisolationseigenschaft einer Trennwand wird durch ihren Schallschwächungsfaktor dargestellt. Dieser Faktor ist das logarithmisch ausgedrückte Verhältnis der Schallintensität ohne Trennwand zu der Schallintensität mit Trennwand.

(ils doivent être recouverts de peluche, etc., non de cuir naturel ou artificiel).

Pour les petits studios qui ne sont pas utilisés uniquement pour des productions orchestrales, il n'est en général pas recommandable de rendre une certaine partie du local dure au point de vue acoustique; il est préférable que les matériaux d'absorption soient répartis régulièrement.

Concernant les studios pour productions théâtrales, la question doit être étudiée d'un point de vue différent. On demande généralement que ces locaux aient un plus fort amortissement, c'est-à-dire des durées de réverbération plus courtes, du fait qu'on ne les utilise en premier lieu que pour la parole. Si, pour obtenir un effet dramatique quelconque, on a besoin d'une plus grande réverbération, on peut utiliser la salle d'écho. On désire souvent aussi avoir à sa disposition une chambre amortie qui, ne présentant que très peu de réverbération, permet de donner à l'auditeur l'illusion du plein air. Les mesures qu'il convient de prendre pour obtenir un amortissement suffisant occasionnent des dépenses assez élevées, car les murs et les plafonds doivent être garnis de laine minérale.

## 9. Divers.

9. 1. *Construction des plafonds.* La construction rationnelle du plafond est très importante. Des mesures spéciales doivent être prises pour éviter des vibrations nuisibles. Les plafonds en béton, tels qu'ils sont construits partout où ils doivent supporter encore un étage, n'offrent aucun inconvénient. D'autre part, pour des raisons économiques, on prévoit généralement un plafond flottant, dont la construction réclame cependant des mesures de sécurité spéciales. On a fait de très bonnes expériences avec des plafonds en gypse sur métal déployé.

Pour obtenir une réflexion aussi diffuse que possible, on peut établir le plafond en caissons. Mais ces caissons doivent avoir au moins 20 à 30 cm de profondeur sinon leur effet est si faible qu'on peut tout aussi bien se contenter d'un plafond plat.

9. 2. *Isolement acoustique.* Pour qu'il ne se produise aucun accroc dans l'exploitation d'un studio, il est indispensable que l'isolement acoustique entre les différents studios, le local des amplificateurs, les cabines de contrôle, les corridors, etc., soit aussi parfait que possible.

La capacité d'isolement d'une paroi de séparation est exprimée par son facteur d'amortissement. Ce facteur est représenté par le rapport logarithmique existant entre l'intensité sonore sans paroi de séparation et l'intensité sonore avec paroi de séparation.

Là également, il faut faire une distinction entre les matières poreuses et les matières non poreuses (étanches). Ce qui intéresse en premier lieu pour la construction d'un studio, ce sont les matières étanches. Une paroi de séparation étanche retransmet le son en *vibrant par flexion*. Sa masse, sa rigidité et son frottement intérieur déterminent ainsi son étanchéité acoustique. Cependant, du fait que la rigidité et le frottement intérieur d'un matériau déterminé restent constants, l'étanchéité acoustique peut être évaluée d'après le poids de la paroi.

Man hat auch hier wieder zwischen porösen und nicht porösen (undurchlässigen) Stoffen zu unterscheiden. Für den Studiobau interessieren in erster Linie die undurchlässigen Materialien. Eine undurchlässige Trennwand überträgt Schall durch *Biegungsschwingungen*. Masse, Steifigkeit und innere Reibung der Wand bestimmen deshalb ihre Schalldurchlässigkeit. Da die Steifigkeit und die innere Reibung für ein und dasselbe Material konstant sind, ist die Schalldurchlässigkeit für diesen Stoff nur durch sein Gewicht gegeben.

Das wichtigste Material ist Ziegelmauerwerk. Fig. 16 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Gewicht einer Ziegelmauer  $g$  (in  $\text{kg/m}^2$ ) und der Schallschwächung  $S$  (in Neper oder db) (25).

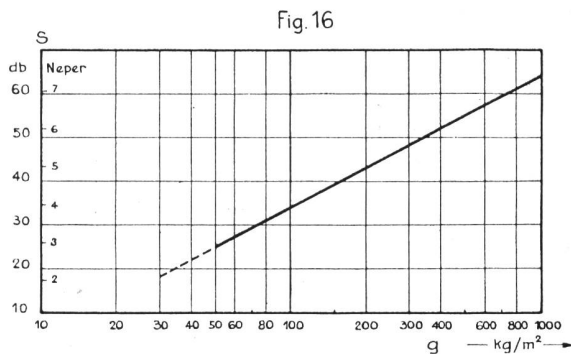


Fig. 17 gibt den Zusammenhang zwischen Dicke  $d$  und Gewicht  $g$  einer Ziegelmauer, so dass aus diesen beiden Kurven die Dicke einer Mauer für eine gewünschte Schallschwächung bestimmt werden kann.

Wenn eine Trennwand aus mehreren Teilen besteht, die verschiedene Schallschwächungen aufweisen (z. B. Wand mit Fenster und Türen), so wird die totale, kombinierte Schallschwächung (25):

$$S_k = 10 \log_{10} \frac{a}{T} \text{ db}$$

$$\text{oder } S_k = \frac{1}{2} \log_e \frac{a}{T} \text{ Neper}$$

Dabei ist:

$a = aS$  (vgl. Abschnitt 6. 3.)

$T = S_1 t_1 + S_2 t_2 + \dots$

$S_1, S_2, \dots$  sind die einzelnen Flächen der Trennwand;

$t_1, t_2, \dots$  sind ihre Schallschwächungskoeffizienten.

Die Schallschwächung eines Materials ist frequenzabhängig; hohe Töne werden stärker geschwächt als tiefe. Man misst die Schallschwächung jedoch nicht bei einzelnen Frequenzen, da man ja in den meisten Fällen auch die Frequenzzusammensetzung des zu schwächenden Geräusches nicht genau kennt, sondern man misst mit komplexen Tönen, d. h. mit Geräuschen. Als Empfänger wird dabei entweder direkt das Ohr benützt oder dann ein „Geräuschmesser“, d. h. ein Apparat, der die Frequenzabhängigkeit des Ohres nachbildet.

Die notwendige Schallschwächung wird durch die auf beiden Seiten der Trennwand herrschenden Lautstärken bestimmt.

Das folgende numerische Beispiel wird die Beziehungen besser illustrieren:

Le matériau le plus important est celui employé pour les ouvrages en briques. La fig. 16 montre le rapport existant entre le poids d'un mur de briques  $g$  (en  $\text{kg/m}^2$ ) et l'amortissement acoustique  $S$  (en népers ou en db) (25).

La fig. 17 indique le rapport existant entre l'épaisseur  $d$  et le poids  $g$  d'un mur de briques. A l'aide de ces deux courbes, on peut donc calculer l'épaisseur qu'il convient de donner à un mur pour obtenir un amortissement déterminé.

Quand une paroi de séparation se compose de différentes parties qui accusent chacune un autre amortissement (p. ex. une paroi avec des fenêtres et des portes), l'amortissement total combiné se détermine suivant les formules (25):

$$S_k = 10 \log_{10} \frac{a}{T} \text{ db}$$

$$\text{ou } S_k = \frac{1}{2} \log_e \frac{a}{T} \text{ népers}$$

dans lesquelles

$a = aS$  (voir chapitre 6. 3)

$T = S_1 t_1 + S_2 t_2 + \dots$

$S_1, S_2, \dots$  représentent les différentes surfaces de la paroi

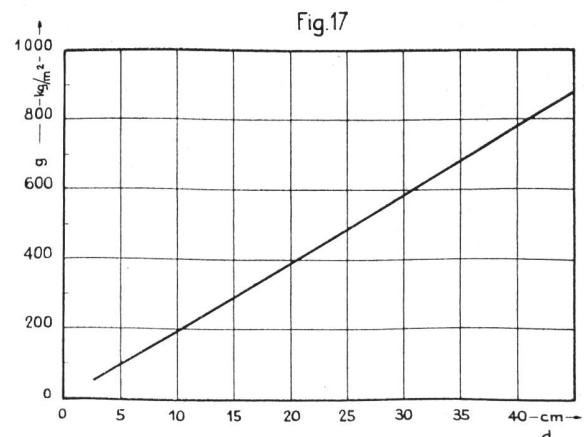
$t_1, t_2, \dots$  sont les coefficients d'amortissement acoustique.

L'amortissement acoustique d'un matériau dépend de la fréquence; les sons aigus sont en général plus amortis que les sons graves. Du fait que la plupart des bruits à amortir sont composés d'un grand nombre de fréquences, on ne mesure pas l'amortissement pour chaque fréquence séparément mais pour un bruit complexe. On le fait soit directement à l'oreille soit en se servant d'un appareil à mesurer le bruit, qui reproduit la sensibilité de l'oreille aux différences de fréquences.

L'amortissement sonore nécessaire est déterminé par l'intensité du son régnant des deux côtés de la paroi.

L'exemple numérique suivant permet de mieux illustrer ces rapports:

Il s'agit de déterminer l'épaisseur d'une paroi séparant deux studios. L'un d'eux est destiné aux petites auditions orchestrales, l'autre aux représentations théâtrales. L'intensité de son maximum produite par un petit orchestre est d'environ 50 phones (26). L'intensité perturbatrice tolérée dans un studio de théâtre est excessivement petite (0 phone)





Die Stärke einer Trennwand zwischen zwei Studios ist zu bestimmen. Das eine der beiden Studios ist für kleines Orchester bestimmt, das andere für Hörspiele. Die maximale Lautstärke, die bei einem kleinen Orchester auftritt, beträgt etwa 50 Phon (26). Die im Hörspielstudio maximal zulässige „Stör-Lautstärke“ sei ganz klein (0 Phon), so dass die Mauer eine Schallschwächung von 50db oder 5,8 Neper haben muss. Nach Fig. 16 ist dazu eine Ziegelwand von 350 kg/m<sup>2</sup> Gewicht nötig, d. h. (Fig. 17) ca. 17 cm Dicke.

Wenn z. B. ein Studio direkt an einer Aussenmauer liegt, so ist mit dem Strassenlärm zu rechnen. Mittlerer Strassenlärm hat eine Lautstärke von ca. 70 Phon. (Durch Autohupen kann er bis auf 80 Phon steigen.) Wenn eine Störlautstärke von maximal 10 Phon zugelassen wird, muss die Mauer eine Schallschwächung von 60 db aufweisen, d. h. sie muss mindestens 40 cm dick sein (1½ Stein, unverputzt). Gerade für diesen Fall wird es sich jedoch empfehlen, noch weiter zu gehen und eine Mauer von mindestens 50 cm, eventuell mit Luftzwischenraum, vorzusehen.

Bei grösseren Lautstärken (80 Phon für grosses Orchester) würden einzelne Mauern unter Umständen zu dick. Man ist dann gezwungen, zwei- oder mehrschalige Wände mit Luftzwischenräumen zu verwenden, die eine ganz bedeutende Erhöhung der Schallschwächung bewirken.

P. E. Sabine (25) gibt die folgenden Werte für zwei *vollständig getrennte* Wände:

1. 1 Gipswand, 4,5 cm dick . . . . .	35 db
2. 2 Gipswände, je 4,5 cm dick mit 4,5 cm Zwischenraum . . . . .	56 db
3. Wie 2, jedoch Zwischenraum mit Sägemehl ausgefüllt . . . . .	47,7 db
4. Wie 2, jedoch Zwischenraum mit Filz ausgefüllt . . . . .	55,1 db
5. Wie 2, jedoch 9 cm Zwischenraum . . . . .	59 db

Wenn die beiden Wände nicht vollständig getrennt sind, vermindert sich die Schallschwächung etwas. Wenn sie z. B. oben und unten miteinander verbunden sind, geht die Schwächung um ca. 5—6 db zurück.

Der Zwischenraum ist am wirksamsten, wenn er nur mit Luft gefüllt ist. Sägemehl und sogar Filz verkleinern die Schallschwächung.

Stahl und Glas haben eine bedeutend grössere Steifigkeit als Mauerwerk und geben deshalb bei gleichem Gewicht wesentlich höhere Schallschwächungen. Für den Studiobau speziell interessant ist der Fall eines Glasfensters.

P. E. Sabine fand folgende Werte für ein konkretes Beispiel:

Fenstergrösse: 208×86 cm, Glas 6 mm dick.

1. 2 Scheiben aufeinander gelegt	33,2 db
2. 3,7 cm Zwischenraum, . . . . .	38,6 db
3. 11 cm „ . . . . .	40,1 db
4. 19 cm „ . . . . .	44,2 db
5. 23 cm „ . . . . .	46,3 db
6. 34 cm „ . . . . .	48,2 db
7. 41 cm „ . . . . .	48,8 db

Auch hier gilt, dass die Schallisolation um so besser wird, je grösser der Abstand der Glasplatten ist, je dicker (und damit je schwerer) sie sind und je grösser ihre Anzahl ist.

de sorte que le mur de séparation doit accuser un amortissement acoustique de 50 db ou 5,8 népers. D'après la fig. 16, il faudra une paroi de briques de 350 kg/m<sup>2</sup>, c'est-à-dire de 17 cm d'épaisseur environ (fig. 17).

Lorsqu'une des parois du studio est constituée par un mur extérieur, il faut tenir compte du bruit de la rue. En moyenne, le bruit de la rue a une intensité d'environ 70 phones, que les trompes d'auto peuvent faire monter à 80 phones. Si l'on tolère une intensité perturbatrice de 10 phones au maximum, le mur doit accuser un amortissement acoustique de 60 db, c'est-à-dire qu'il doit avoir au moins 40 cm d'épaisseur (1½ pierre sans enduit). Il serait même recommandable, dans ce cas, d'aller plus loin et de prévoir un mur de 50 cm au minimum, éventuellement un mur double avec un vide.

Lorsqu'on a affaire à de plus fortes intensités (80 phones pour les grands orchestres), on ne peut pas se contenter d'un seul mur qui, suivant les circonstances, devrait être trop épais. On est obligé d'avoir recours à des parois doubles ou multiples séparées par des couches d'air, qui augmentent sensiblement l'amortissement acoustique.

P. E. Sabine (25) indique les valeurs suivantes pour deux parois *entièrement séparées*:

1° 1 paroi de gypse de 4,5 cm d'épaisseur	35 db
2° 2 parois de gypse de 4,5 cm d'épaisseur avec un espace de 4,5 cm . . . . .	56 db
3° idem avec l'espace rempli de sciure . . . . .	47,7 db
4° idem avec l'espace rempli de feutre . . . . .	55,1 db
5° idem avec un espace de 9 cm . . . . .	59 db

Si les parois ne sont pas entièrement séparées, l'amortissement acoustique diminue quelque peu. Lorsqu'elles sont réunies, par exemple à leur base et à leur sommet, l'amortissement diminue de 5 à 6 db environ.

L'espace joue un rôle des plus efficaces lorsqu'il est simplement rempli d'air. La sciure de bois et même le feutre diminuent l'amortissement.

L'acier et le verre sont beaucoup plus rigides que les ouvrages en maçonnerie et donnent, par conséquent, à poids égal, un amortissement beaucoup plus élevé. Ce qui intéresse particulièrement la construction des studios, ce sont les fenêtres.

P. E. Sabine a trouvé les valeurs suivantes pour un exemple concret:

Dimensions de la fenêtre: 208×86 cm, épaisseur du verre 6 mm.

1° Deux carreaux placés l'un sur l'autre	33,2 db
2° „ „ espacés de 3,7 cm . . . . .	38,6 db
3° „ „ „ „ 11 cm . . . . .	40,1 db
4° „ „ „ „ 19 cm . . . . .	44,2 db
5° „ „ „ „ 23 cm . . . . .	46,3 db
6° „ „ „ „ 34 cm . . . . .	48,2 db
7° „ „ „ „ 41 cm . . . . .	48,8 db

On constate également dans ce cas que plus les carreaux sont espacés, leur verre épais (par conséquent plus lourd) et leur nombre élevé, plus l'isolement acoustique s'améliore.

Les conditions sont identiques pour les *portes*. Si elles sont bien travaillées et séparées par un espace assez grand, les portes doubles permettent d'atteindre



Aehnlich sind die Verhältnisse bei *Türen*. Bei guter Bearbeitung und genügend grossem Abstand lassen sich mit Doppeltüren Werte bis über 60 db erreichen, so dass Dreifachtüren meistens nicht notwendig sind.

Gewöhnliche *Fenster* geben recht kleine Schallschwächungen (27).

Gewöhnliche Holz-Einfachfenster . . . . .	20 db
Holz-Einfachfenster, besonders sorgfältig gedichtet . . . . .	27 db
Holz-Doppelfenster . . . . .	36 db
Stahl-Doppelfenster, je nach Abdichtung	33—41 db

In welchem Masse Fenster die Schallschwächung herabsetzen können, zeigt das folgende numerische Beispiel:

Ein Studio,  $20 \times 12 \times 8$  m gross, mit einem Rauminhalt von  $1920 \text{ m}^3$ , einem mittleren Absorptionskoeffizienten von 0,25 bei einer totalen Oberfläche von  $992 \text{ m}^2$ , einer Nachhallzeit von 1,08 Sekunden (vgl. Abschnitt 8), grenze mit einer seiner Längsseiten ( $160 \text{ m}^2$ ) an die Strasse. Die Mauer sei 50 cm stark; ihre Schallschwächung beträgt also über 60 db. Es sind 4 Holz-Doppelfenster von je  $5 \text{ m}^2$  vorgesehen.

$$S_k = 10 \log_{10} \frac{a}{T}$$

$$a = 248 \text{ Absorptionseinheiten (m}^2\text{)}$$

$$T = S_1 t_1 + S_2 t_2$$

$$t_1 = 60 \text{ db} = 0,000001$$

$$t_2 = 36 \text{ db} = 0,00025$$

$$S_1 = 140 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 20 \text{ m}^2$$

$$S_k = 46,8 \text{ db}$$

Durch diese vier Fenster (12% der Wandfläche) wird also die Schallschwächung der Wand von über 60 db auf nur 46 db — ein für diesen Fall ganz unzulässiger Wert — herabgesetzt. Da Fenster mit hoher Schallschwächung (60 db und mehr) einen sehr grossen Aufwand erfordern (s. oben), sollten Studiowände, die zugleich Aussenmauern gegen belebte Strassen sind, immer *fensterlos* ausgeführt werden.

Es ist möglich, dass die zur Erreichung einer genügenden Schallschwächung erforderlichen Mauern so schwer werden, dass dadurch die Tragkonstruktionen unwirtschaftlich würden. Das ist hauptsächlich bei Umbauten der Fall, wo bestehende Tragkonstruktionen überlastet werden können. In diesen Fällen wird vorteilhaft die sog. „*Schwebebauweise*“ angewendet (28).

Fussboden, Wände und Decken bestehen dabei aus Streckmetall, auf das Zement aufgelegt wird. Das Streckmetall wird durch Profilträger abgestützt, die *federnd* aufliegen. Auf diese Art und Weise lassen sich mit geringen Gewichten hohe Schallschwächungen erreichen.

Diese Bauweise ist in neuester Zeit mit gutem Erfolg bei einem Umbau im „Haus des Rundfunks“ in Berlin verwendet worden (29).

## 10. Zusammenfassung.

Die Probleme, die bei der Projektierung und Ausführung von Studioräumen gelöst werden müssen, sind heute weitgehend abgeklärt. Es darf jedoch

des Werts je über 60 db, de sorte qu'on peut se passer de portes triples dans la plupart des cas.

Les *fenêtres* ordinaires donnent de très faibles amortissements (27):

Les fenêtres simples ordinaires, avec cadre de bois . . . . .	20 db
Les fenêtres simples, particulièrement étanches, avec cadre de bois . . . . .	27 db
Les fenêtres doubles, avec cadre de bois	36 db
Les fenêtres avec cadre de métal, doubles, suivant leur étanchéité . . . . .	33 à 41 db

L'exemple numérique suivant montre dans quelle mesure les fenêtres peuvent faire baisser l'amortissement acoustique:

Un studio mesurant  $20 \times 12 \times 8$  m, avec un volume de  $1920 \text{ m}^3$ , un coefficient d'absorption moyen de 0,25, pour une surface totale de  $992 \text{ m}^2$ , une durée de réverbération de 1,08 seconde (voir chapitre 8) a un de ses longs côtés ( $160 \text{ m}^2$ ) sur la rue. Le mur a 50 cm d'épaisseur, son amortissement dépasse donc 60 db. On y prévoit 4 fenêtres doubles en bois, de  $5 \text{ m}^2$  chacune.

$$S_k = 10 \log_{10} \frac{a}{T}$$

$$a = 248 \text{ unités d'absorption (m}^2\text{)}$$

$$T = S_1 t_1 + S_2 t_2$$

$$t_1 = 60 \text{ db} = 0,000001$$

$$t_2 = 36 \text{ db} = 0,00025$$

$$S_1 = 140 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 20 \text{ m}^2$$

$$S_k = 46,8 \text{ db}$$

Ces quatre fenêtres (12% de la surface du mur) font baisser considérablement l'amortissement acoustique du mur et le ramènent de plus de 60 db à 46 db seulement, valeur qui, dans ce cas, est tout à fait insuffisante. Comme les fenêtres à fort amortissement acoustique coûtent très cher (voir plus haut), les parois de studio qui forment en même temps le mur extérieur du côté d'une rue très fréquentée devraient toujours être dépourvues de fenêtres.

Il est possible que pour obtenir un amortissement acoustique suffisant il faille faire des murs si lourds que la construction ordinaire devient anti-économique. C'est en particulier le cas lorsqu'on effectue des transformations qui pourraient surcharger les murs existants. On a recours alors à ce qu'on appelle la construction flottante (28).

Les planchers, les parois et les plafonds sont formés de métal déployé, sur lequel on applique du ciment. Le métal déployé est soutenu par des fers profilés montés sur des ressorts. De cette manière, on peut atteindre avec des poids minimes de forts amortissements acoustiques.

Ce mode de construction a été appliqué avec succès ces derniers temps pour les transformations de la „Maison de la Radio“ à Berlin (29).

## 10. Résumé.

On peut admettre aujourd'hui que les problèmes que posent l'établissement et l'exécution des projets de studios sont déjà bien éclaircis. Il ne faut cependant pas se dissimuler qu'il est encore très difficile d'embrasser d'un seul coup toutes les

nicht übersehen werden, dass viele Zusammenhänge noch sehr schwer zu überblicken sind und rechnerisch nicht erfasst werden können. Dazu gesellt sich die steigende Vollkommenheit der Empfänger, die dafür sorgt, dass auch die an die Studioakustik gestellten Ansprüche immer grösser werden.

Es ist deshalb beim Bau von Studioräumen unerlässlich, immer wieder auf Laboratoriumsversuche zurückzugreifen. Ebenso müssen während des Baues alle getroffenen Massnahmen fortlaufend messtechnisch ausgewertet werden, um mit Sicherheit Fehlschläge vermeiden zu können.

circonstances connexes et qu'on ne peut pas en tenir compte dans les calculs. Il faut ajouter à cela les perfectionnements croissants apportés aux récepteurs, qui imposent à l'acoustique des studios des exigences toujours plus élevées.

Il est donc indispensable, lors de l'établissement de studios, de revenir constamment aux expériences de laboratoire. De même, toutes les dispositions prises pendant la construction doivent être vérifiées au moyen d'instruments de mesure au fur et à mesure de l'avancement des travaux afin d'éviter sûrement toute erreur.

## II. Literaturverzeichnis. — Bibliographie.

1. H. Lueder, Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konzern, IX/2, 1930.
2. E. W. Kellogg, Journ. of the Acoust. Soc. Am., Oct. 1930.
3. H. Fletcher und W. A. Munson, Bell Syst. Techn. Journ., Oct. 1933.
4. H. J. von Braunmühl, „Techn. Akust. II“ (herausg. v. E. Waetzmann, 1934).
5. H. Backhaus, Zeitschr. f. techn. Physik, Nr. 1, 1932.
6. H. Fletcher, Bell Syst. techn. Journ., April 1934.
7. L. J. Sivian, Bell Syst. techn. Journ., Oct. 1929.
8. V. O. Knudsen, Journ. of the Acoust. Soc. Am., July 1932.
9. F. M. Osswald, Schweiz. Bauzeitung 1930, S. 51.
10. E. Petzold, „Elementare Raumakustik“, Berlin 1927.
11. M. J. O. Strutt, Elektr. Nachr. Techn., Juni 1932.
12. C. F. Eyring, Journ. of the Acoust. Soc. Am., January 1930.
13. V. Kühl und E. Meyer, Sitzungsber. d. preuss. Akademie d. Wissensch. Phys.-Math. Klasse, 1932, XXVI.
14. Davis und Evans, Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, Vol. 127, 1930.
15. E. C. Wente, Bell Syst. techn. Journ., January 1928.
16. G. von Békésy, Ann. der Physik, Bd. 19, 1934.
17. V. O. Knudsen, Journ. of the Acoust. Soc. Am., July 1931.
18. V. O. Knudsen, Journ. of the Acoust. Soc. Am., April 1935.
19. W. A. MacNair, Bell Syst. techn. Journ., April 1930.
20. A. P. Hill, Journ. of the Acoust. Soc. Am., July 1932.
21. G. T. Stanton und F. C. Schmid, Journ. of the Acoust. Soc. Am., July 1932.
22. A technical description of Broadcasting House, London 1932.
23. G. von Békésy, Elektr. Nachr. Techn., Nov. 1934.
24. V. O. Knudsen, Journ. of the Acoust. Soc. Am., Oct. 1929.
25. P. E. Sabine, „Acoustics and Architecture“, New York and London, 1932.
26. Janowsky, Zeitschr. für techn. Physik, S. 611, 1931.
27. L. Sautter, „Wärme- und Schallschutz im Hochbau“, Berlin 1933.
28. W. Hämer, Bauwelt, 2. 5., 1935.
29. H. J. von Braunmühl, Bauwelt, Heft 4, 1934.

## Die Verwendung von Feldmessinstrumenten bei der Telegraphen- und Telephonverwaltung.

Von F. Kräuchi, Bern.

Einige Baubeamte haben den Wunsch geäussert, es möchten in unserer Zeitschrift die hauptsächlichsten zur Feldmessung verwendeten Instrumente und Hilfsmittel, sowie deren Verwendung besprochen werden.

Wir kommen diesem Wunsche gerne nach und veröffentlichen im nachstehenden die nötigen Aufklärungen, wobei wir stets darauf bedacht sein werden, auch für den Nichttechniker verständlich zu bleiben.

1. *Die Wasserwaage* besteht aus einem gebogenen Glasrohr, das in einer Fassung aus Holz oder Metall liegt und nicht vollständig mit Flüssigkeit gefüllt ist. Der verbleibende Luftraum ist bei liegender Waage als Blase sichtbar. Das Rohr trägt Marken, die die mehr oder weniger genaue Einstellung der Fassung in die Horizontalebene gestatten. Die Flüssigkeit im Rohre ist Aether, der durch Kälte und Hitze weniger beeinflusst wird als Wasser. Dieses jedem Bauhandwerker bekannte Hilfswerkzeug kann in vielen Fällen, wo kein eigentliches Instrument zur Verfügung steht, gute Dienste leisten, wenn es sich darum handelt, die Höhendifferenz zweier Punkte, bzw. ein Gefälle oder eine Steigung, zu messen oder anzugeben.

Die Wasserwaage wird in der Weise geprüft, dass sie auf einer ebenen Unterlage zum Einspielen gebracht wird. Dann deutet man auf der Unterlage

## L'utilisation des instruments de nivellement dans l'administration des télégraphes et des téléphones.

Par F. Kräuchi, Berne.

Quelques fonctionnaires du service de construction ayant exprimé le désir que notre journal leur fasse connaître les instruments et accessoires utilisés dans notre administration pour les travaux de nivellement et de piquetage et qu'il les renseigne sur la manière de s'en servir, nous déférons à ce vœu et publions ci-après quelques explications où nous sommes efforcés de rester à la portée des lecteurs non techniciens.

1. *Le niveau à bulle d'air* est formé d'un tube de verre légèrement courbé, enchâssé dans une monture de bois ou de métal et rempli de liquide, à l'exception d'une bulle. Le tube porte des repères qui permettent de contrôler la position plus ou moins horizontale de la monture. Le liquide que ce tube contient est généralement de l'éther, moins sensible que l'eau aux changements de température. Cet instrument, connu de tous les ouvriers en bâtiment, peut rendre de bons services lorsqu'on n'a pas de niveau à lunette à disposition et qu'il s'agit de mesurer une différence de niveau ou d'évaluer une pente.

Pour contrôler le niveau à bulle d'air, on le place, prêt à fonctionner, sur une planchette plane. On en dessine au crayon les contours sur la planchette, puis on le retourne bout pour bout. Si la bulle dévie, on rectifie sa position en vissant ou dévissant les vis de correction jusqu'à ce que la déviation ait diminué de moitié. Si le niveau n'a pas de vis de correction,