

# Akustische Messungen in Konzertsälen = Mesures acoustiques effectuées dans des salles de concert

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): **15 (1937)**

Heft 2

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-873413>

## **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 Ausdrücke 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.

## Akustische Messungen in Konzertsälen.

Von W. Furrer, Bern.

534.84.08 = 3

Die Uebertragungen aus den grossen Konzertsälen bilden heute einen wesentlichen Teil unserer Rundspruchprogramme. Es handelt sich dabei immer um hochwertige Darbietungen, so dass es wichtig ist, sich über die Eignung dieser Säle vom übertragungstechnischen Standpunkt aus ein klares Bild zu machen. Nebenbei kann erwartet werden, dass die durchgeführten Messungen auch raumakustisch interessante Ergebnisse zeitigen, da zu der Zeit, wo diese Räume erbaut wurden, die elektro-akustische Messtechnik noch unbekannt war.

Die Akustik eines Raumes wird physikalisch nach verschiedenen Gesichtspunkten beurteilt, die voneinander weitgehend unabhängig sind. Einmal muss das Problem *geometrisch* betrachtet werden, wobei die bekannten Forderungen hinsichtlich Laufzeitunterschieden, Rückwürfen usw. im wesentlichen die *Form* des Raumes und die geometrische Anordnung der Zuhörerplätze und des Klangkörpers bestimmen. Diese Beziehungen sind seit langem bekannt und wurden zum Teil schon von den alten Griechen und Römern beim Bau ihrer Theater berücksichtigt.

Erst in der neueren Zeit ging man dazu über, die Rückwürfe *statistisch* zu erfassen. Man erkannte, dass dabei besonders die nichtstationären Zustände wichtig sind, nämlich Anhall und Nachhall. W. C. Sabine fand auf empirischem Wege eine einfache Beziehung zwischen der Nachhallzeit und dem Schallschluckvermögen der Begrenzungsflächen eines Raumes (1900). Es ist bis heute noch nicht gelungen, einen restlos befriedigenden theoretischen Ansatz dafür zu finden, so dass die Sabine'sche Formel, trotz vielen offenbaren Mängeln und beschränktem Anwendungsbereich, immer noch häufig gebraucht wird.

Die *Nachhallzeit* eines Raumes ist eine sehr wichtige Grösse, welche weitgehend seine akustischen Eigenschaften bestimmt. Das zeigt sich besonders bei elektro-akustischen Uebertragungen, wo die geometrischen Forderungen stark vereinfacht sind, da sie, streng genommen, nur für einen einzigen Punkt des Raumes erfüllt sein müssen, nämlich für die Stelle, an der sich das Mikrophon befindet.

Der Projektierung eines Studios oder Konzertsaales muss eine bestimmte Nachhallzeit, die einen bestimmten Frequenzgang aufweist, zugrunde gelegt werden. Es ist wiederholt versucht worden, diese beiden Beziehungen irgendwie, z. B. aus den Eigenschaften des menschlichen Ohres, theoretisch abzuleiten.<sup>1)</sup> Die so gewonnenen Ergebnisse waren jedoch nicht überzeugend. Hier muss vielmehr die Mitarbeit des Künstlers einsetzen, der bestimmte Räume als „akustisch gut“ bezeichnet und deren physikalische Eigenschaften dann gemessen werden, um als Grundlage für Neubauten zu dienen. Es ist verständlich, dass auf diese Weise keine völlig übereinstimmenden Werte erhalten werden, so dass teilweise noch erhebliche Unsicherheiten bestehen, für

<sup>1)</sup> W. MacNair, Journ. Acoust. Soc. America I. S. 242, 1930.

## Mesures acoustiques effectuées dans des salles de concert.

W. Furrer, Berne.

534.84.08 = 4

Les retransmissions d'œuvres jouées dans les grandes salles de concert constituent, aujourd'hui, une partie importante de nos programmes de radio-diffusion. Comme il s'agit toujours, pour les œuvres de ce genre, de productions de haute valeur, il importe d'établir exactement dans quelle mesure ces salles répondent à ce qu'on en attend du point de vue de la technique des retransmissions. D'autre part, on peut s'attendre à ce que les mesures effectuées donnent également d'intéressants résultats en ce qui concerne l'acoustique des locaux, du fait que ces salles ont été construites à une époque où la technique des mesures électro-acoustiques était encore inconnue.

Les qualités acoustiques d'un local sont appréciées sous divers aspects physiques, indépendants les uns des autres. Il convient de considérer d'abord le problème comme un problème de *géométrie*, dans lequel les exigences imposées en ce qui concerne les différences de durée de propagation, les réflexions, etc., déterminent en particulier la *forme* du local, la disposition géométrique des places d'auditeurs et la position du corps sonore. Les rapports existant entre ces différents facteurs sont connus depuis fort longtemps; les anciens grecs et les romains en tenaient déjà compte en partie lors de la construction de leurs théâtres.

Ce n'est que ces tout derniers temps qu'on a commencé à étudier les phénomènes de réflexion sur une base *statistique*. On constata que les états non stationnaires, c'est-à-dire la saturation et la réverbération, jouent un rôle particulièrement important. W. C. Sabine établit par des moyens empiriques que la durée de réverbération est inversement proportionnelle à la capacité d'absorption des parois d'un local (1900). Jusqu'à présent, on n'est pas encore parvenu à trouver une formule théorique entièrement satisfaisante, de sorte qu'on emploie encore très souvent la formule de Sabine, malgré ses nombreux défauts apparents et son champ d'application limité.

La *durée de réverbération* est un facteur très important, qui détermine dans une large mesure les qualités acoustiques d'un local. On le constate particulièrement lors de retransmissions électro-acoustiques, pour lesquelles les conditions géométriques sont grandement simplifiées, car, au fond, ces conditions ne doivent être remplies que pour un seul point du local, celui où se trouve le microphone.

Lorsqu'on établit les plans d'un studio ou d'une salle de concert, on doit prendre pour base une durée de réverbération déterminée, ayant également une caractéristique de fréquence déterminée. On a souvent cherché à déduire théoriquement ces deux facteurs d'une manière quelconque, par exemple en se basant sur les propriétés de l'oreille humaine<sup>1)</sup>. Les résultats obtenus ne furent cependant pas convaincants. Il est préférable de faire appel à la collaboration d'artistes, qui désignent tel ou tel local

<sup>1)</sup> W. MacNair, Journ. Acoust. Soc. America I, p. 242, 1930.

deren Beseitigung die Ergebnisse der vorliegenden Messungen beitragen mögen.

Prinzipiell besteht eine Nachhallmessung darin, dass der zu messende Raum akustisch angeregt wird; die Erregung wird plötzlich unterbrochen, und es wird die Zeit gemessen, welche verstreicht, bis der Schalldruck auf den  $10^{-3}$  Teil seines Wertes abgefallen ist. Das Absinken wird mit einem geeigneten Registrierinstrument aufgezeichnet. Ein gewöhnlicher Oszillograph eignet sich jedoch nicht dazu, da ein Spannungsbereich von mindestens 1:200 erfasst werden muss. Die Messungen wurden deshalb mit einem „Pegelschnellschreiber“ durchgeführt, der über einen Bereich von 50 db (1:320) in logarithmischem Maßstabe anzeigt<sup>2)</sup>. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass gemessen werden muss, wenn der Saal mit Publikum besetzt ist. E. Meyer (Berlin) hat auf die Möglichkeit hingewiesen, während eines Konzertes zu messen, indem das Orchester selbst als Schallquelle benützt wird<sup>3)</sup>. Es ist dabei nur nötig, dass ein Stück vorgetragen wird, bei dem das Orchester möglichst oft plötzlich abbricht, so dass der Schall während 1—2 Sekunden Zeit hat, zu verklingen, bevor weiter gespielt wird. Während dieser Zeit wird dann der Nachhall registriert. Mit passenden Bandfiltern kann dabei auch der Frequenzgang aufgenommen werden.

Die vorliegenden Ergebnisse sind alle mit dieser Methode erhalten worden. Als veränderliches Bandfilter wurde das Oktavsieb von Siemens & Halske benützt. Die Fig. 1 zeigt seine Eigenschaften. Bei bestimmten Komponisten, z. B. bei Beethoven und bei einigen modernen Tondichtern kommen Stellen, die für die Messung geeignet sind, wohl ziemlich häufig vor (10—20 in einer Beethoven-

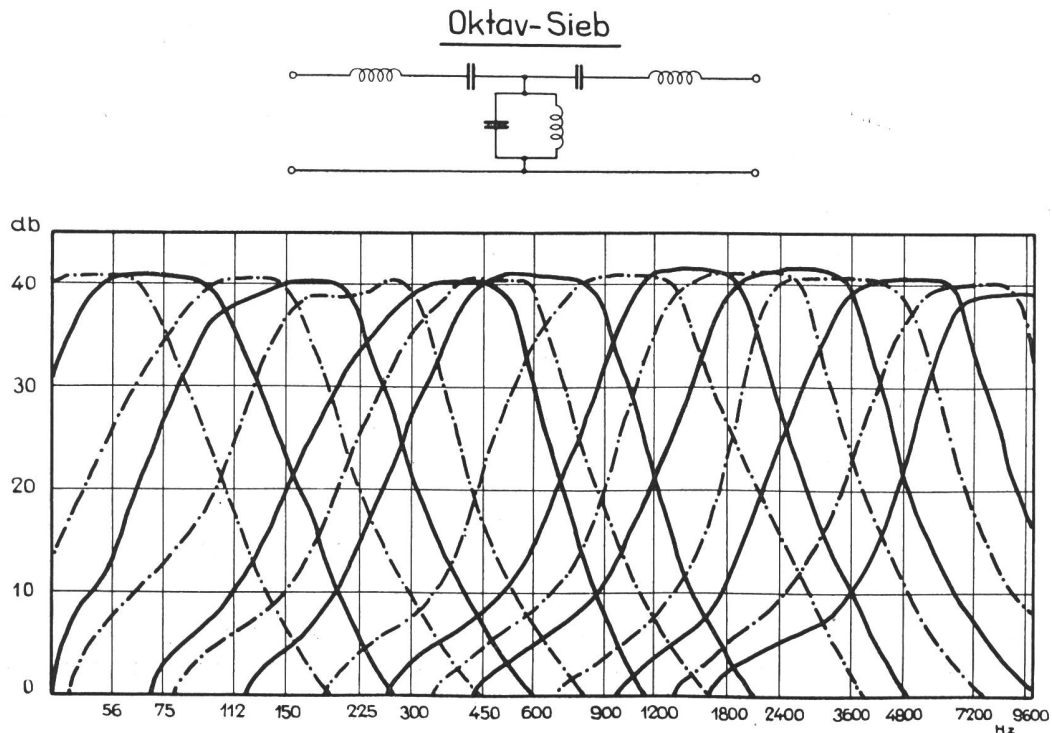
comme ayant une „bonne acoustique“, de mesurer ensuite les propriétés physiques de ce local et de les utiliser alors comme base pour la construction de nouvelles salles. Il est évident que, par ce procédé, on n'obtient pas des valeurs entièrement concordantes; il subsiste certaines incertitudes, à l'élimination desquelles les résultats des mesures ci-après peuvent contribuer.

En principe, pour mesurer la réverbération, on procède de la manière suivante: on excite acoustiquement le local à mesurer, puis on interrompt subitement cette excitation et l'on mesure le temps qui s'écoule jusqu'à ce que la pression acoustique soit tombée à la  $10^{-3}$  partie de sa valeur initiale. Il convient de faire enregistrer cette chute de pression par un appareil approprié. On ne peut pas utiliser à cet effet un oscillographe ordinaire du fait qu'il s'agit d'une étendue de mesure d'au moins 1:200. On effectue donc les mesures à l'aide d'un hypsographe rapide à échelle logarithmique, qui indique une étendue de 50 db (1:320).<sup>2)</sup> Une autre difficulté réside dans le fait qu'on doit effectuer les mesures pendant que le public occupe la salle. E. Meyer (Berlin) a indiqué le moyen de faire les mesures pendant un concert, en utilisant l'orchestre comme source sonore. Il suffit que le morceau joué par l'orchestre présente le plus possible d'interruptions brusques, au cours desquelles le son peut s'étendre pendant 1—2 secondes avant que l'orchestre reprenne. Pendant ce temps, on s'empresse d'enregistrer la réverbération. Au moyen d'un filtre de bande approprié, on peut également enregistrer la caractéristique de fréquence.

Les résultats ci-après ont tous été obtenus de cette manière. Comme filtre de bande variable, on utilise

<sup>2)</sup> H. J. Braunmühl und W. Weber, ENT 12, S. 223, 1935.  
<sup>3)</sup> E. Meyer und V. Jordan, ENT 12, S. 213, 1935.

<sup>2)</sup> H. J. Braunmühl et W. Weber, ENT 12, p. 223, 1935.  
<sup>3)</sup> E. Meyer et V. Jordan, ENT 12, p. 213, 1935.



Symphonie), ihre Anzahl genügt aber nur selten zur einwandfreien Aufnahme des vollständigen Frequenzganges. Aus diesem Grunde wurden diese Stellen gleichzeitig noch auf Grammophonplatten aufgenommen, von welchen dann durch wiederholtes Abspielen mit jeweils verschiedenen Durchlassbereichen des Filters die Nachhallzeit in Abhängigkeit der Frequenz erhalten wurde. Dieses Verfahren eignet sich jedoch nur für die mittleren Frequenzen (200 bis 4000 Hz), während für Frequenzen ober- und unterhalb dieses Bereiches direkte Messungen nötig sind. Die Fig. 2 zeigt sechs Registrierstreifen des Pegelschnellschreibers für eine derartig ausgewertete Stelle aus einer Beethoven-Symphonie.

Die Messung eines leeren Saales bietet insofern einige Schwierigkeiten, als die Erzeugung grosser Schallenergien für sehr tiefe Frequenzen einen ganz erheblichen Aufwand erfordert. Bei diesen Frequenzen werden zur Messung deshalb recht grosse Schalldrücke benötigt, weil das immer vorhandene Störgeräusch relativ starke Komponenten tiefer Frequenzen enthält, die subjektiv allerdings kaum wahrnehmbar sind. Bei den sehr hohen Frequenzen ist der Umstand nachteilig, dass diese von den Lautsprechern nur in engen Bündeln abgestrahlt werden, so dass keine gleichmässige Schallverteilung im Saal entsteht. Um diese Schwierigkeiten auf einfache Art zu überwinden, liegt der Gedanke nahe, mittelst eines Knalles möglichst viele Eigenfrequenzen des Raumes anzuregen und den Nachhall wieder unter Verwendung eines Bandfilters zu messen.

Um die Brauchbarkeit dieser Methode zu untersuchen, wurde der grosse Kasinosaal in Bern (9800m<sup>3</sup>) ohne Publikum auf beide Arten gemessen. In der Fig. 5 sind die so erhaltenen Punkte eingetragen. Jeder eingezeichnete Punkt stellt das Mittel aus 9—12 Messungen dar, die an drei verschiedenen Stellen des Raumes gemacht wurden. Während die mit Knallerregung erhaltenen Punkte auf einer glatten Kurve liegen, streuen die mit dem Lautsprecher gemessenen Werte ziemlich erheblich um diese Kurve herum. Die Erregung des Lautsprechers erfolgte mit Heultönen,  $\pm 50$  Hz. Die bei einer bestimmten Frequenz an verschiedenen Stellen des Saales gemessenen Werte streuen unter sich um etwa  $\pm 4\%$  bei Knallerregung und um etwa  $\pm 10\%$  bei Lautsprechererregung. Unter 100 Hz und über 5000 Hz konnten trotz Verwendung einer sehr guten Lautsprecherkombination nur mit der Knallerregung einwandfreie Resultate erhalten werden. Die Fig. 3 zeigt einen Vergleich zwischen einem mit Knallerregung und einem mit Lautsprechererregung erhaltenen Registrierstreifen des Pegelschnellschreibers. Der Abfall des Schalldruckes bei der Knallerregung ist eine fast völlig glatte Exponentialkurve, während bei der Lautsprechererregung starke Schwankungen auftreten, die auf Schwebungen zwischen benachbarten Eigenfrequenzen zurückzuführen sind. Durch den Knall wird offensichtlich eine wesentlich grössere Anzahl von Eigenfrequenzen sehr gleichmässig angeregt.

Das Verfahren der Knallerregung lässt sich auch mit Vorteil bei Messungen im Hallraum anwenden. Allerdings wurden dort grössere Abweichungen gegenüber der Erregung mit Heultönen festgestellt.

le filtre d'octaves de Siemens et Halske. La fig. 1 en montre les propriétés. Dans les œuvres de certains musiciens, comme par exemple celles de Beethoven et celles de quelques compositeurs modernes, on rencontre assez fréquemment (10 à 20 fois dans une symphonie de Beethoven) des passages qui se prêtent aux mesures, mais il est rare que leur

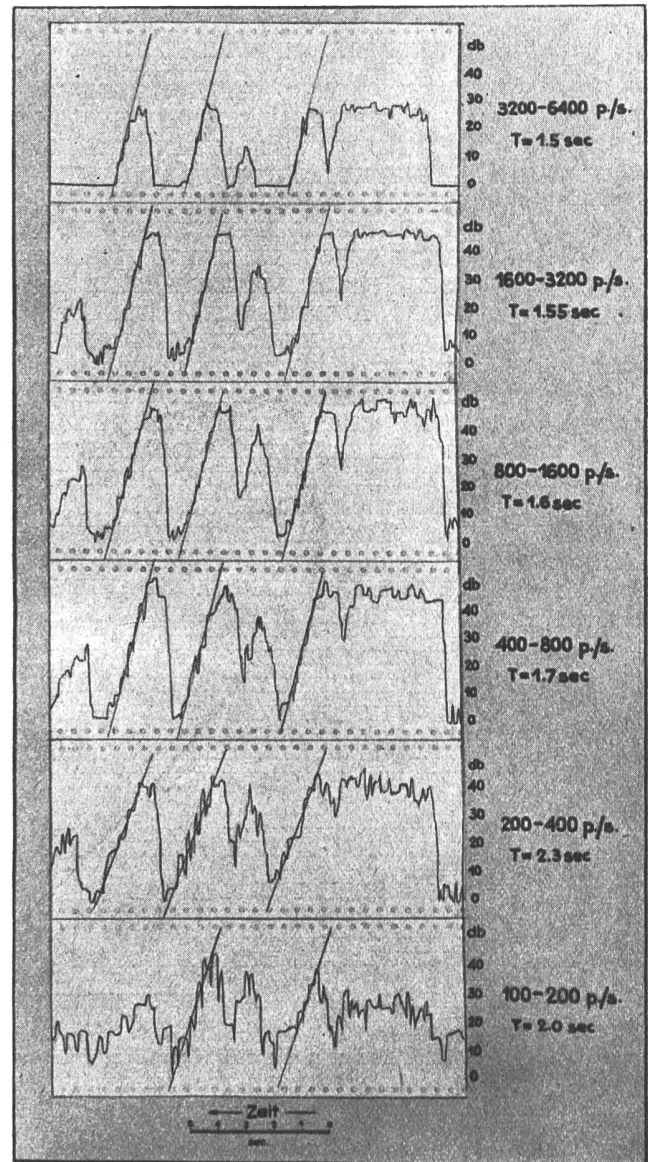


Fig. 2.

nombre soit suffisant pour qu'on puisse enregistrer à la perfection toute la caractéristique de fréquences. C'est pour cette raison que ces passages sont en même temps enregistrés sur des plaques de gramophone, que l'on fait rejouer ensuite en changeant chaque fois l'étendue du filtre de bandes pour obtenir la durée de réverbération en fonction de la fréquence. Ce procédé n'est cependant applicable que pour les fréquences moyennes (200—4000 p/s); pour les fréquences inférieures ou supérieures à cette bande, il est indispensable de procéder à des mesures directes. La fig. 2 montre 6 bandes de l'hypsographe



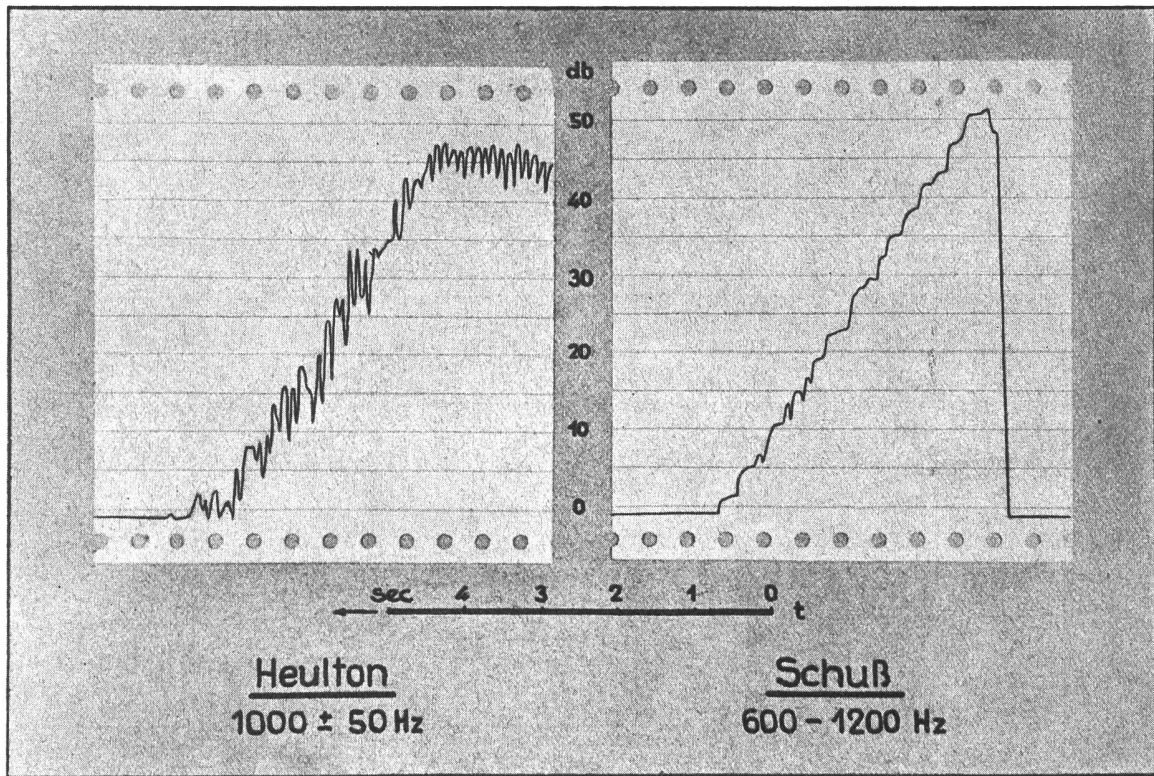


Fig. 3.

Mit den angegebenen Verfahren sind nun die folgenden Räume ausgemessen worden:

1. Grosser Casinosaal Bern (Fig. 4, 5)
2. Grosser Saal, Tonhalle Zürich (Fig. 6, 7)
3. Grosser Musiksaal, Stadt-Casino Basel (Fig. 8, 9)
4. Grand théâtre, Genf (Fig. 10, 11)

Die Konzertsäle 1, 2 und 3 haben alle einen Rauminhalt von ungefähr 10 000 m<sup>3</sup>, so dass sie sich untereinander gut vergleichen lassen. Das Theater in

rapide, sur lesquelles est enregistré le passage d'une symphonie de Beethoven utilisé pour les mesures.

Les mesures à faire dans une salle *vide* présentent quelques difficultés en tant que la production de grandes énergies sonores pour les fréquences très basses exige des moyens considérables. Pour mesurer avec ces fréquences, on doit avoir des pressions acoustiques très grandes du fait que les bruits per-

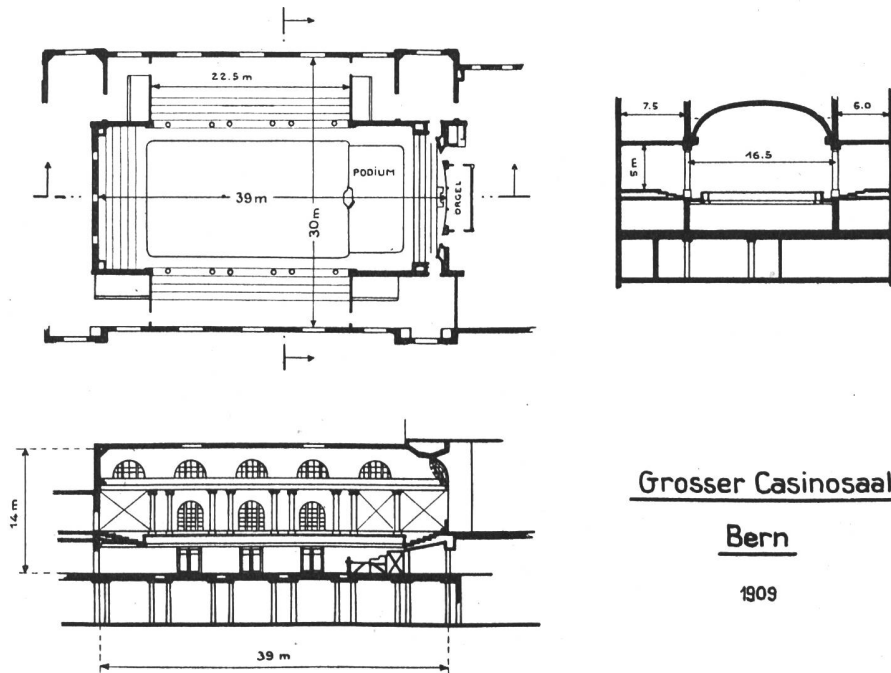


Fig. 4.

## Grosser Casinosaal, Bern

9800 m<sup>3</sup>, 1500 Zuhörerplätze

- ① Saal ohne Publikum, • Messung mit Lautsprecher u. Heultönen, ◦ Messung mit Pistole u. Oktavsieb  
 ② Saal 63 % besetzt (950 Zuhörer, ca 80 Mann Orchester) Messung  
 ③ Saal 90 % besetzt (1350 Zuhörer, ca 80 Mann Orchester) berechnet

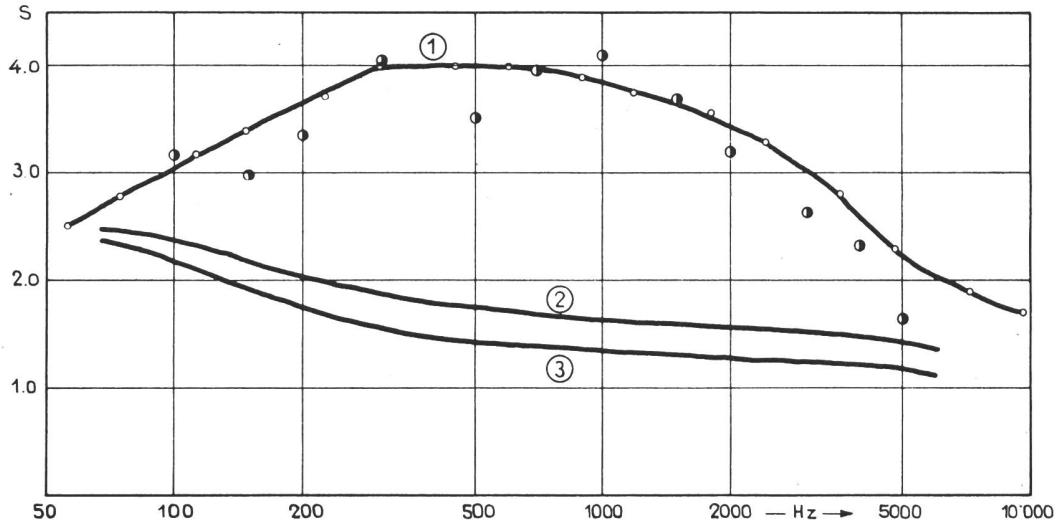
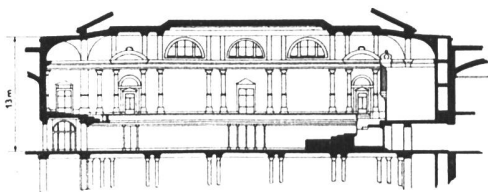
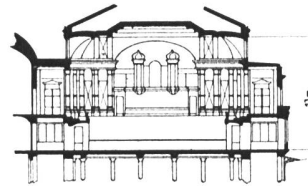
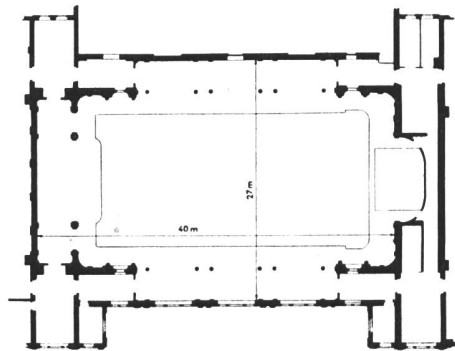


Fig. 5.

Genf wurde einestils gemessen, weil auch von dort Uebertragungen von Symphoniekonzerten stattfinden, andernteils um den Unterschied gegenüber einem Konzertsaal festzustellen. Neben den Messresultaten sind jeweils auch Schnitte des Raumes dargestellt, welche einen Ueberblick über die Form und die wichtigsten Abmessungen vermitteln.

Bei der Diskussion der Messresultate fällt vor allem auf, dass die Nachhallkurven der leeren Säle ein ausgesprochenes Maximum bei den mittleren Frequenzen aufweisen. Das Absinken der Nachhallzeit bei den höhern Frequenzen wird durch poröse

turbateurs persistants contiennent des composantes de basses fréquences relativement fortes qui, il est vrai, sont à peine perceptibles subjectivement. Pour les fréquences très élevées, le fait que les haut-parleurs ne diffusent ces fréquences que par minces fuseaux constitue un inconvénient, parce que la répartition du son dans la salle est très irrégulière. On a pensé à y remédier par un moyen très simple, qui consiste à engendrer dans la salle le plus grand nombre possible de fréquences propres en tirant un coup de pistolet et à mesurer ensuite la réverbération en faisant usage d'un filtre de bandes.



Grosser Tonhalle-Saal

Zürich

1895

Fig. 6.

## Grosser Saal Tonhalle, Zürich

11'000 m<sup>3</sup>, 1600 Zuhörerplätze

- ① Saal ohne Publikum
- ② Saal 90 % besetzt (1450 Zuhörer, ca 80 Mann Orchester)

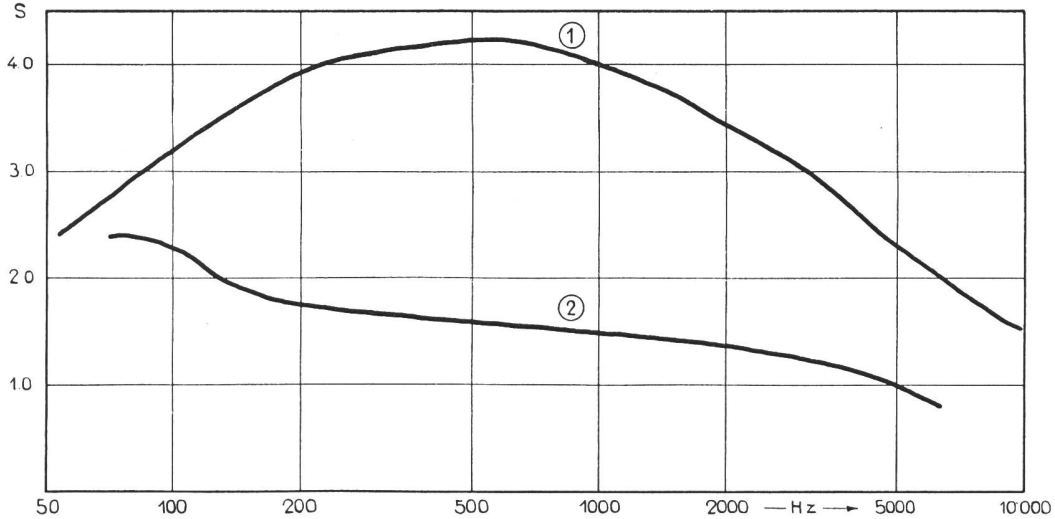


Fig. 7.

Absorption der Wände, Bestuhlung usw. herbeigeführt, während die Verminderung bei den tiefen Frequenzen durch Mitschwingen gewisser Teile, wie der aufgehängten Decke, des Podiums, der Holzverkleidungen usw. entsteht.

Die aufgenommenen Kurven lassen sofort erkennen, dass das „betriebsmässige“ Verhalten eines Saales in hohem Masse von der Besetzung durch Publikum abhängig ist. Die Säle 2 und 3 konnten mit 90% Besetzung gemessen werden, die 90%-Kurve des Saales 1 wurde zu Vergleichszwecken aus der gemessenen 63%-Kurve berechnet. Es ist ohne

Pour contrôler l'efficacité de cette méthode, on a mesuré des deux manières la grande salle du Casino de Berne (9800 m<sup>3</sup>), sans public. La fig. 5 montre les résultats obtenus. Chaque point indique la moyenne de 9 à 12 mesures effectuées à trois endroits différents. Alors que les points indiquant les résultats obtenus par l'excitation au moyen d'un coup de pistolet se trouvent sur une courbe régulière, ceux indiquant les résultats obtenus par l'excitation au moyen d'un haut-parleur sont passablement dispersés autour de cette courbe. Le haut-parleur a été excité par des tons dont la fréquence a été modulée

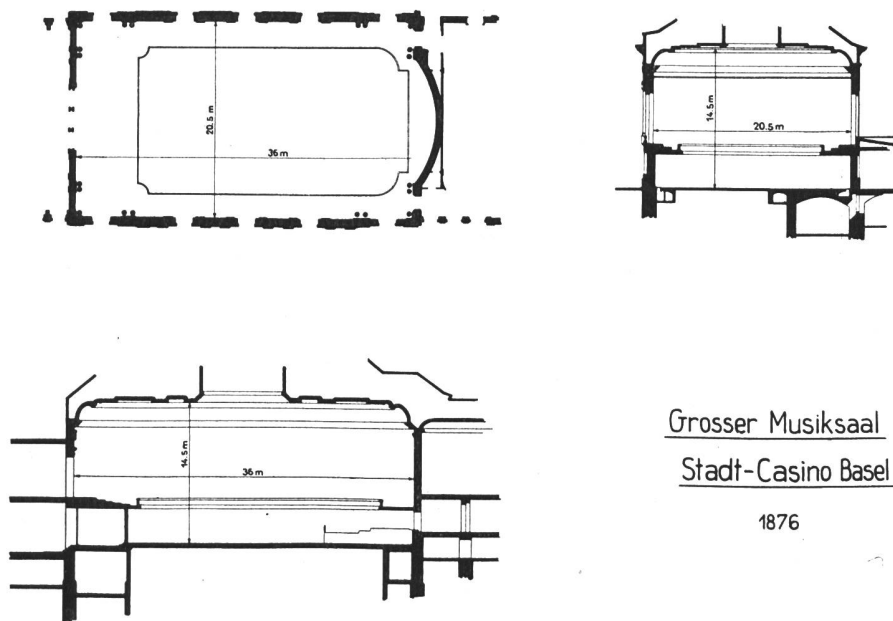


Fig. 8.

## Grosser Musiksaal Stadt-Casino, Basel.

10'500 m<sup>3</sup>, 1110 Zuhörerplätze.

- ① Saal ohne Publikum  
 ② Saal 90% besetzt (1000 Zuhörer, ca 80 Mann Orchester)

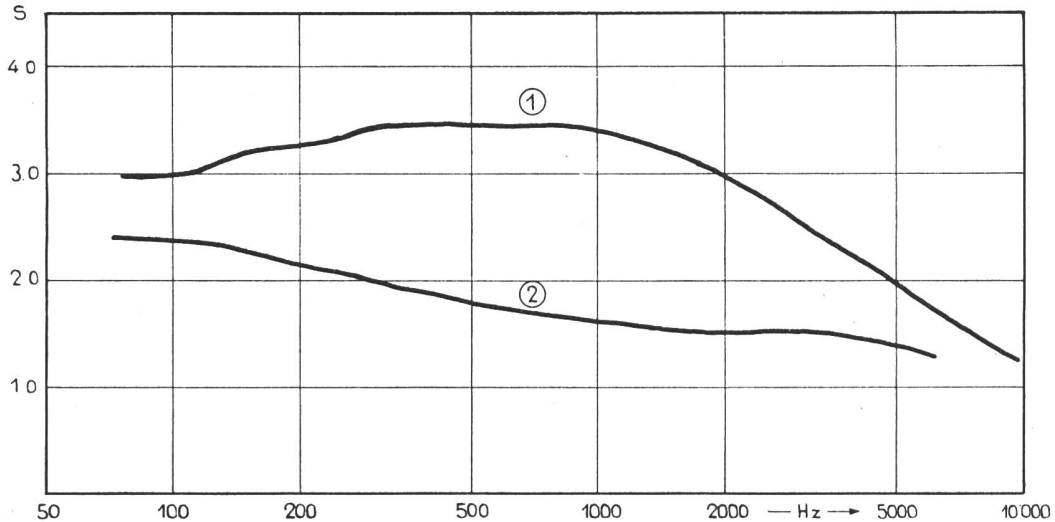


Fig. 9.

weilers klar, dass der Besetzung ein entscheidender Einfluss auf die akustischen Verhältnisse zukommt. Beim Saal 3 ist der Unterschied zwischen leerem und besetztem Saal etwas weniger gross, da eine Anzahl Stühle mit Polstern versehen war.

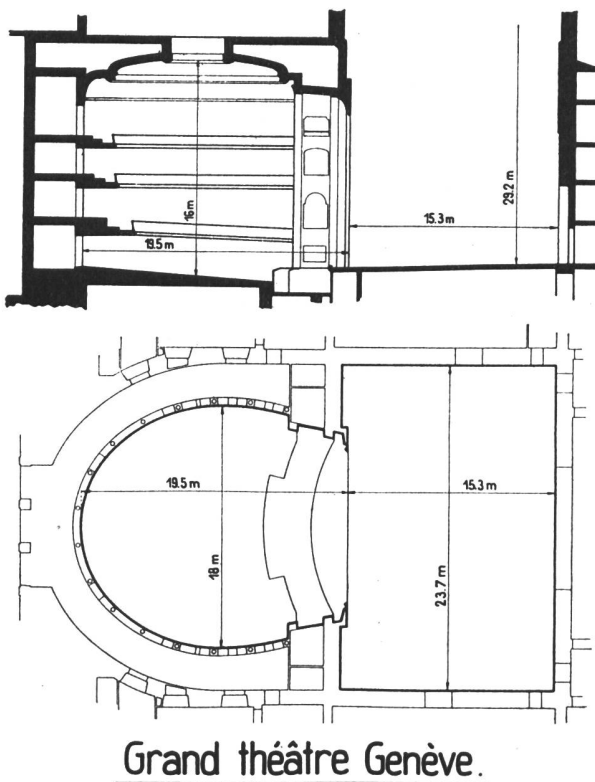
à  $\pm 50$  p/s. Les valeurs mesurées avec une fréquence déterminée, à différents endroits de la salle, s'écartent l'une de l'autre d'environ  $\pm 4\%$  pour l'excitation au moyen d'un coup de pistolet et d'environ  $\pm 10\%$  pour l'excitation par haut-parleur. Au-dessous de 100 p/s et au-dessus de 5000 p/s, on ne réussit pas à faire des mesures avec le haut-parleur, malgré l'utilisation d'une très bonne combinaison de haut-parleurs; on ne peut obtenir des résultats parfaits que par l'excitation au moyen d'un coup de pistolet. La fig. 3 permet de comparer la bande d'enregistrement de l'hypsographe rapide obtenue avec l'excitation par un coup de pistolet et celle obtenue avec l'excitation par un haut-parleur. Avec l'excitation par un coup de pistolet, la chute de la pression acoustique donne une courbe exponentielle presque régulière, tandis qu'avec l'excitation par un haut-parleur, cette courbe accuse de fortes déviations dues aux interférences des fréquences propres voisines. On voit clairement que, du fait de la détonation, un nombre très élevé de fréquences propres sont très régulièrement excitées.

Le procédé du coup de pistolet peut aussi très bien être utilisé pour effectuer des mesures dans la chambre de résonance. Il est vrai que là on constate de plus grandes différences par rapport à l'excitation obtenue au moyen d'un haut-parleur.

En ayant recours à ces procédés, on a mesuré les locaux suivants:

- 1° Grande salle du Casino à Berne (fig. 4 et 5).
- 2° Grande salle de la Tonhalle à Zurich (fig. 6 et 7).
- 3° Grande salle de musique du Casino municipal à Bâle (fig. 8 et 9).
- 4° Grand Théâtre de Genève (fig. 10 et 11).

Les salles de concert 1, 2 et 3 accusent chacune un volume d'environ 10 000 m<sup>3</sup> et peuvent, par



Grand théâtre Genève.

Fig. 10.



## Grand théâtre, Genève

Zuschauerraum 4400 m<sup>3</sup>, 1130 Plätze

Kein meßbarer Unterschied zwischen leerem und besetztem  
(1080 Personen) Zuschauerraum.

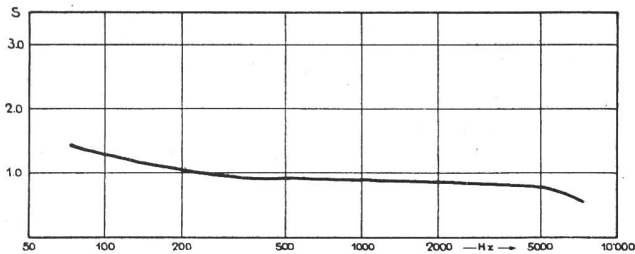


Fig. 11.

Die drei Säle haben ein ungefähr übereinstimmendes Volumen (9800, 11 000, 10 500 m<sup>3</sup>), die Anzahl der Zuhörerplätze ist jedoch ziemlich abweichend, so dass die Nachhallzeiten bei 500 Hz zwischen 1,4 sec. (Bern) und 1,8 sec. (Basel) liegen. Zum Vergleich sei erwähnt, dass die Nachhallzeit des neuen Gewandhauses in Leipzig (11 400 m<sup>3</sup>) 1,9 sec. beträgt. Watson gibt als günstigste Nachhallzeit für einen Raum von 10 000 m<sup>3</sup> 1,9 sec. an, Michel, Petzold und Lifschitz 1,7 sec.<sup>4)</sup>

Es ist leider sehr schwierig, massgebende *subjektive* Urteile über die akustische Qualität der einzelnen Säle zu bekommen. Immerhin konnte der Schluss gezogen werden, dass die Säle 1 und 2 das Prädikat „befriedigend“ verdienen (mit Ausnahme einiger Platzkategorien, was durch die komplizierten Raumformen bedingt ist), während der Saal 3 ziemlich allgemein als „gut“ oder sogar als „sehr gut“ angesprochen wird. Der Saal 3 weist nun mit 1,8 sec. bei 500 Hz die längste Nachhallzeit auf, was teilweise von der kleinern Anzahl Zuhörerplätze herührt. (9,5 m<sup>3</sup> pro Zuhörerplatz, gegen 6,5 und 6,9 m<sup>3</sup>) bei den Sälen 1 und 2). Auch hier scheint also die Qualität bis zu einem gewissen Grade auf Kosten der Wirtschaftlichkeit zu gehen. Eine zu grosse Anzahl von Zuhörerplätzen könnte einigermaßen dadurch kompensiert werden, dass für den Bau und die Auskleidung des Saales ausschliesslich akustisch harte Stoffe verwendet würden; insbesondere müssten die Holzverkleidungen sorgfältig di-

<sup>4)</sup> F. H. van den Dungen, Acoustique des salles, Paris 1934.

Mittlere Schallschluckung eines Zuhörers.

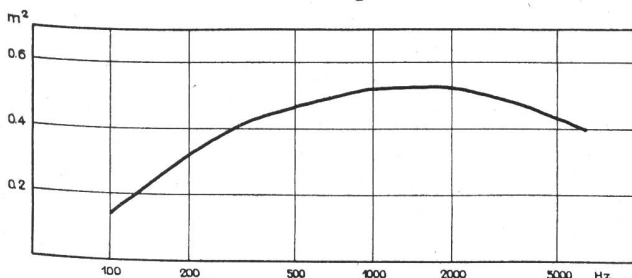


Fig. 12.

conséquent, très bien être comparées entre elles. On mesura le théâtre de Genève, d'une part parce qu'on y joue des concerts symphoniques radiodiffusés, d'autre part pour pouvoir établir la différence existant entre ce local et une salle de concert. Les figures montrent les résultats des mesures et aussi les coupes du local, qui en indiquent les formes et les principales dimensions.

Lorsqu'on étudie les résultats des mesures, on remarque tout d'abord que les courbes de réverbération des salles vides accusent un maximum prononcé pour les fréquences moyennes. La diminution de la durée de réverbération pour les fréquences élevées est provoquée par l'absorption poreuse des parois, fauteuils, etc., tandis que pour les fréquences basses, elle est provoquée par les vibrations de certaines parties, telles que les plafonds suspendus, le podium, les revêtements en bois, etc.

Les courbes font immédiatement constater que la manière de se comporter d'une salle „en exploitation“ dépend dans une grande mesure de la densité du public qui l'occupe. Les salles 2 et 3 ont pu être mesurées pendant qu'elles étaient occupées aux 90% et la salle 1 pendant qu'elle était occupée aux 63%. Pour permettre des comparaisons, on a calculé la courbe aux 90% de la salle 1 d'après la courbe mesurée aux 63%. On voit au premier coup d'œil que l'occupation a une influence prépondérante sur les conditions acoustiques. Pour la salle 3, la différence entre la salle vide et la salle occupée est un peu moins grande du fait qu'un certain nombre de fauteuils sont rembourrés.

Les trois salles ont à peu près le même volume (9800, 11000, 10 500 m<sup>3</sup>), mais le nombre des sièges est passablement différent, de sorte que la durée de réverbération à 500 p/s varie entre 1,4 sec. (Berne) et 1,8 sec. (Bâle). A titre de comparaison, rappelons que la durée de réverbération du nouveau Gewandhaus à Leipzig (11400 m<sup>3</sup>) est de 1,9 sec. Comme durée de réverbération favorable pour un local de 10 000 m<sup>3</sup>, Watson indique 1,9 sec., Michel, Petzold et Lifschitz 1,7 sec.<sup>4)</sup>

Il est malheureusement très difficile de se faire un jugement *subjectif* autorisé sur les qualités acoustiques de chaque salle. Cependant, on peut dire que les salles 1 et 2 méritent la mention „satisfaisant“ (excepté pour quelques catégories de places, du fait des formes compliquées du local), tandis que la salle 3 peut être qualifiée d'une manière générale de „bonne“ et même de „très bonne“. La salle 3 accuse pour 500 p/s la plus longue durée de réverbération, soit 1,8 sec., ce qui est dû en partie au nombre peu élevé des places (9,5 m<sup>3</sup> par placé contre 6,5 et 6,9 m<sup>3</sup> dans les salles 1 et 2.) Il semble donc qu'ici aussi la qualité ait été obtenue dans une certaine mesure aux dépens du rapport économique. On aurait pu compenser en partie les effets du trop grand nombre de places en utilisant uniquement, pour la construction et le revêtement de la salle, des matériaux durs au point de vue acoustique, et en calculant soigneusement les revêtements de bois. Bien entendu, la salle réagirait ainsi plus fortement en cas d'occupation insuffisante.

<sup>4)</sup> F. H. van den Dungen, Acoustique des salles, Paris 1934.

mensioniert werden. Allerdings würde der Saal dadurch noch stärker auf ungenügende Besetzung reagieren.

Ein zweiter Punkt, der besonders auch für den Studiobau wichtig ist, ist die *Frequenzabhängigkeit* der Nachhallzeit. Bei allen 3 Sälen ist die Nachhallzeit bei 100 Hz um rund 50% grösser als bei 1000 Hz. Dieser Wert steht auch in guter Übereinstimmung mit den im Studiobau gemachten Erfahrungen. Bei 5000 Hz haben die Säle 1 und 3 eine gegen 1000 Hz um 11—12% kleinere Nachhallzeit, während beim Saal 2 eine Verminderung um 34% gemessen wurde, was bestimmt ungünstig ist.

Mit Hilfe der Sabine'schen Formel wurde aus den Messresultaten der Säle 1, 2 und 3 die mittlere *Schallschluckung eines Zuhörers* berechnet (Fig. 12.) Die aus den Messergebnissen der drei Säle erhaltenen Werte stimmen gut miteinander überein, so dass die Kurve der Fig. 12 wenigstens für Säle ähnlicher Grösse als zuverlässige Berechnungsgrundlage verwendet werden kann.

Als Gegenstück zu den 3 Konzertsälen mag das Theater in Genf dienen. Die Nachhallzeit bei 500 Hz ist wesentlich kleiner, während ihre Frequenzabhängigkeit prinzipiell gleich geblieben ist. Auch ist hier zwischen leerem und voll besetztem Zuschauer-raum kein Unterschied messbar. Dies rührt zum Teil von der grossen Anzahl von Polstersesseln, stoffbespannten Logen usw. her, zum Teil ist die durch die Bühnenöffnung dargestellte grosse dämpfende Fläche dafür verantwortlich. Die gegenüber einem Konzertsaal von ähnlichem Fassungsvermögen um fast 50% kleinere Nachhallzeit ist dadurch gegeben, dass für ein Theater die Verständlichkeit des gesprochenen Wortes berücksichtigt werden muss. Allerdings sollte dann zwischen Oper und Schauspielhaus ein deutlicher Unterschied bestehen. V. O. Knudson fand durch Verständlichkeitsmessungen als günstigste Nachhallzeit für einen Raum von 4400 m<sup>3</sup> etwa 0,9 sec. bei 500 Hz. Dies entspricht genau dem Theater in Genf, so dass sich dessen Akustik für Schauspiele sehr gut eignet. Umgekehrt werden Opern und besonders Symphoniekonzerte hart und trocken klingen, was auch bei Uebertragungen ohne weiteres festgestellt werden kann.

Un deuxième point, particulièrement important pour la construction des studios, est la *caractéristique de fréquences* de la durée de réverbération. Dans les 3 salles, la durée de réverbération à 100 p/s est d'environ 50% plus élevée qu'à 1000 p/s. Cette valeur correspond bien aux expériences faites dans la construction des studios. A 5000 p/s, la durée de réverbération dans les salles 1 et 3 est de 11—12% plus petite qu'à 1000 p/s, tandis que dans la salle 2, elle accuse une diminution de 34%, ce qui est certainement défavorable.

Les résultats des mesures des salles 1, 2 et 3 ont permis de calculer, en application de la formule de Sabine, *l'absorption acoustique moyenne d'un auditeur* (fig. 12). Les valeurs tirées des résultats des mesures des trois salles correspondent bien les unes avec les autres, de sorte que la courbe représentée à la fig. 12 peut être utilisée en toute confiance comme base de calculs, du moins pour les salles de grandeurs analogues.

Le théâtre de Genève contraste singulièrement avec les 3 salles de concert. La durée de réverbération à 500 p/s est passablement plus petite, tandis que la caractéristique de fréquences reste en principe inchangée. On ne peut pas mesurer ici non plus une différence sensible entre le local vide et le local entièrement occupé. Ceci est dû en partie au grand nombre de sièges rembourrés, aux loges tendues d'étoffe, etc., en partie aussi à la grande surface d'amortissement que représente l'ouverture de la scène. Le fait que la durée de réverbération est de presque 50% plus petite que celle d'une salle de concerts contenant le même nombre de places provient de ce que, pour un théâtre, on doit considérer l'audition de la parole. On devrait alors, il est vrai, constater une différence sensible entre une salle d'opéra et une autre salle de spectacle. Par des mesures d'intelligibilité, V. O. Knudson a établi que la durée de réverbération la plus favorable pour un local de 4400 m<sup>3</sup> est d'environ 0,9 sec. à 500 p/s, ce qui correspond exactement à celle du théâtre de Genève, dont l'acoustique est ainsi très bonne pour l'audition des pièces théâtrales. Par contre, les opéras et particulièrement les concerts symphoniques ont trop peu de résonance, ce qu'on peut constater sans autre en écoutant les retransmissions radiophoniques.

## Comité consultatif international télégraphique.

C. C. I. T.

621. 394 (061. 2/3) 100 = 4

### Questions techniques.

Dix années se sont écoulées depuis la première réunion du C. C. I. T. Si, pendant cette période, la télégraphie a perdu de son importance primitive, elle n'a cependant jamais cessé de se développer au point de vue technique. C'est au C. C. I. T. que revient le mérite d'avoir encouragé ce développement et de l'avoir dirigé dans un cadre déterminé. Les alphabets uniformes et les principes réglant la construction des appareils, grâce auxquels les types d'appareils fabriqués dans différents pays peuvent sans autre travailler ensemble, sont issus de ses délibérations. Les avis qui traitent de la définition de la transmission télégraphique et des caractéris-

tiques des relais ont aussi servi l'idée de l'unification. Ils constituent les principes servant à apprécier la qualité d'une liaison ou de tel ou tel de ses éléments, et sont de ce fait d'une grande importance notamment pour le personnel chargé de la surveillance des installations techniques.

Parmi les résultats les plus importants issus des discussions au sein du C. C. I. T., il convient, parce que revêtant un intérêt général, de relever particulièrement les suivants:

### I. Définitions relatives à la transmission télégraphique.

En attendant que soit établie la possibilité de donner, en matière de transmission télégraphique, les défini-