

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 33 (1942)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Die Akustik von Radio-Studios  
**Autor:** Furrer, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056665>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 13.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

# BULLETIN

## REDAKTION:

Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

## ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 5 17 42  
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXIII. Jahrgang

N<sup>o</sup> 11

Mittwoch, 3. Juni 1942

## Bericht über die 5. Hochfrequenztagung des SEV vom 8. November 1941 in Zürich

Der Schweizerische Elektrotechnische Verein hielt am 8. November 1941 in Zürich seine 5. Hochfrequenztagung ab. Die Vorträge fanden am Vormittag im grossen Hörsaal des Physikgebäudes der Eidg. Technischen Hochschule statt; am Nachmittag wurde eine Führung durch das Radiostudio Zürich veranstaltet. Vorgängig den Vormittagsvorträgen war Gelegenheit geboten zur Besichtigung des Cyclotrons im Physikalischen Institut der ETH, das unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. P. Scherrer steht.

Es wurden folgende Vorträge gehalten:

1. «Die Akustik von Radio-Studios», von Privatdozent W. Furrer, Telegraphen- und Telephonabteilung der PTT, Bern.
2. «Verstärker-Probleme», von Dr. E. Baldinger, Abteilung für industrielle Forschung (AfIF) des Institutes für technische Physik der ETH, Zürich.
3. «Aus Physik und Technik der kürzesten Radiowellen», von Prof. Dr. F. Tank, Vorstand des Institutes für Hochfrequenztechnik der ETH.

Im folgenden veröffentlichen wir die Vorträge und Diskussionsbeiträge.

Zur Eröffnung der Versammlung begrüsst der Präsident des SEV, Herr Dr. h. c. M. Schiesser, die Tagungsteilnehmer, insbesondere auch die zahlreichen Vertreter der militärischen Behörden und Dienststellen. Er verdankt Herrn Professor Scherrer die Erlaubnis zur Besichtigung des interessanten Cyclotron-Raumes und ermuntert ihn und seine Mitarbeiter zu weiterer intensiver Forschung auf dem Gebiete der Atomphysik, die zweifellos noch viele neue Erkenntnisse bringen wird.

Herrn Professor Tank widmet er warme Worte des Dankes für die Organisation der 5. Hochfrequenztagung und aller dieser Tagungen in früheren Jahren; er dankt ihm auch für seine steten Bemühungen über die Ausgestaltung der Hochfrequenzrubrik im Bulletin des SEV.

Herr Dr. Schiesser dankt der Radio-Genossenschaft Zürich für die Erlaubnis zur Besichtigung des Studiogebäudes in Zürich und dem Schweizerischen Schulratspräsidenten für die Bewilligung zur Benützung des Vortragssaales im Eidg. Physikgebäude. Hierauf tritt er den Vorsitz Herrn Prof. Dr. F. Tank ab.

Der Vorsitzende, Herr Prof. Dr. F. Tank, erteilt das Wort sofort dem ersten Referenten, Herrn Privatdozent W. Furrer.

### Die Akustik von Radio-Studios

Vortrag, gehalten an der 5. Hochfrequenztagung des SEV am 8. November 1941 in Zürich

Von W. Furrer, Bern

534.861.1

*Es wird ein Ueberblick über einige wichtigere Probleme der akustischen Dimensionierung von Radio-Studios gegeben, die beim Bau der neuen Studio-Gebäude in Lugano, Genf, Basel und Zürich zu lösen waren.*

*Aperçu sur quelques problèmes importants se rapportant au conditionnement acoustique des studios de radio, et ayant été résolu lors de la construction des nouvelles maisons de la radio à Lugano, Genève, Bâle et Zurich.*

Wir alle haben die stürmische Entwicklung mitgemacht, die die Radio-Technik in den letzten 10 Jahren erlebt hat, viele unter uns haben dabei aktiv mitgewirkt. Es sind ja vor allem die Fortschritte auf dem eigentlichen Hochfrequenzgebiet, die besonders evident sind, wir denken da hauptsächlich an die Entstehung der Gross-Sender und an die Entwicklung der Empfängertechnik. Schon etwas weniger bekannt sind die Fortschritte auf dem Gebiete der Elektroakustik, hauptsächlich auf der Sendeseite, also der Mikrophone, Verstärker und übrigen Geräte in den Studios, während die Verbesserung der Lautsprecher naturgemäss bekannter geworden ist.

Fast gänzlich unbemerkt ist der nicht speziell interessierten Fachwelt aber die Entwicklung geblieben, die das Gebiet der *Studio-Akustik* genom-

men hat. Und doch sind hier die Fortschritte vielleicht relativ am grössten, man kann, ohne sich einer Uebertreibung schuldig zu machen, feststellen, dass die Entwicklung der Radio- und auch der Tonfilmtechnik der ganzen Raum- und Bauakustik einen neuen Aufschwung gegeben hat.

Den Zweck meines Vortrages sehe ich nun darin, Ihnen dieses im Verborgenen blühende Veilchen etwas näher zu zeigen. Ich möchte mich dabei ausschliesslich auf das Gebiet der *Raumakustik* beschränken und die übrigen bauakustischen Probleme, also vor allem die Dämmung von Luft- und Körperschall, nicht berühren.

Die Grundlage für die Projektierung eines Radio-Studios bilden die *Volumina* der einzelnen Räume. Ohne hier auf die nähern Zusammenhänge zwischen der Anzahl Musiker, der Lautstärke und der aku-

stischen Eigenschaften der Räume einzugehen, zu denen sich noch weitere Ueberlegungen anderer Natur gesellen, wollen wir zeigen, welche Grössen-kategorien von Radiostudios nötig sind, um für alle praktisch denkbaren Arten von Darbietungen optimale akustische Verhältnisse zu schaffen.

### Volumina von Radiostudios

Tabelle I.

Art der Darbietung	Studiokategorie	Volumen m <sup>3</sup>
Musik	1. Grosse Studios .	2000...5000
Musik	2. Mittlere Studios	600...1000
Musik	3. Kleine Studios .	200... 300
Sprache	4. Hörspiel-Studios	150... 250
Sprache	5. Vortrag-Studios.	30... 50

Damit kommen wir zu der Frage: was für akustische Eigenschaften müssen diese Räume aufweisen? Es ist bekannt, dass das akustische Verhalten jedes Raumes durch seine *Nachhallzeit* sehr weitgehend charakterisiert ist. Unter der Nachhallzeit versteht man diejenige Zeit, die vom Augenblick des Verstummens einer Schallquelle an verstreicht, bis die mittlere Schallenergie im Raum auf den 10<sup>-6</sup>ten Teil ihres stationären Wertes gesunken ist. Man weiss ferner, dass es für jeden Raum eine optimale Nachhallzeit gibt, die durch das musikalische Empfinden relativ scharf definiert werden kann. Es ist daher naheliegend, diese optimale Nachhallzeit durch das Ausmessen von als akustisch gut bekannten Konzertsälen zu ermitteln. Bei näherer Ueberlegung zeigt es sich, dass dies wirklich der einzig gangbare Weg ist. Es wäre sinnlos, das musikalische Empfinden, welches eine rein subjektive Grösse ist, irgendwie physikalisch ableiten zu wollen. Dieses Empfinden ist ja in keiner Weise absolut definiert, es ist gewissermassen historisch entstanden. Durch

mitteln, so ergibt dies eine statistische Auswertung des musikalischen Empfindens, die ein sehr sicheres Resultat darstellt. Hier ist nun der Punkt, wo das subjektive Empfinden physikalisch greifbar wird. Wir sind also nicht gezwungen, uns auf Einzelurteile zu stützen, die immer stark streuen, sondern können auf einem sichern statistischen Mittelwert basieren.

Die Resultate der vielen vorliegenden Konzertsaalmessungen stimmen miteinander erstaunlich gut überein. Dies rührt hauptsächlich daher, dass für die Dämpfung und damit für die Nachhallzeit eines Konzertsalles nicht seine Bauweise, sondern die durch das Publikum dargestellte Absorption massgebend ist. Weiter zeigt es sich, dass der Frequenzgang der Publikumsabsorption und also auch der Nachhallzeit ziemlich gut mit dem Frequenzgang der menschlichen Ohrreizschwelle übereinstimmt.

Die Nachhallzeit eines Konzertsalles wird also von sehr natürlichen Faktoren beeinflusst, so dass die gute Uebereinstimmung der vielen Einzelmessungen erklärlich ist und man berechtigt ist, die optimale Nachhallzeit eindeutig festzulegen. Es bleibt nun nur noch die Frage übrig, ob dies auch für ein Radio-Studio gelte, das gegenüber einem Konzertsaal den sehr wesentlichen Unterschied zeigt, dass der Hörer nur über einen einzigen Uebertragungskanal zuhören kann, was dem einohrigen Hören entspricht.

Fig. 1 zeigt schematisch eine gewöhnliche Einkanal-Uebertragung, ferner zwei prinzipiell verschiedene Möglichkeiten, das zweiohrige (stereophonische) Hören auch für Mikrophonübertragungen anzuwenden, wobei aber mehrere Uebertragungssysteme erforderlich sind. Diese Betrachtun-

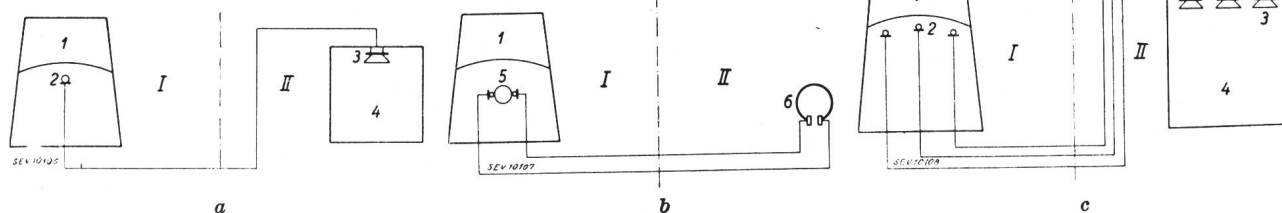


Fig. 1.

#### a Gewöhnliche (Einkanal) Uebertragung

I Aufnahme  
II Wiedergabe  
1 Orchester  
2 Mikrophon

#### b, c Stereophonische Uebertragung

3 Lautsprecher  
4 Zuhörer  
5 Künstlicher Kopf  
6 Kopfhörer

Ueberlieferung und Gewöhnung ordnen wir jedem Raum einen bestimmten optimalen Nachhall zu. Zu lange oder zu kurze Nachhalldauer wird als unangenehm empfunden. Dies gilt natürlich nicht nur für die Zuhörer, sondern auch für die Komponisten, die mehr oder weniger bewusst für eine ganz bestimmte Raumakustik komponieren.

Ein akustisch als gut empfundener Konzertsaal repräsentiert daher eine grosse Summe von Einzelurteilen, an die wir anknüpfen können. Wenn wir nun viele solcher Säle messen und die Resultate

gen gelten auch für den Tonfilm, dort tritt an Stelle des Uebertragungssystems eine oder mehrere Tonspuren.

Bekanntlich werden heute im Rundfunk noch ausschliesslich Einkanal-Uebertragungen durchgeführt. Es ist jedoch leicht möglich, dass es einer weiteren Entwicklung vorbehalten bleibt, qualitativ besonders hochstehende Programme stereophonisch über zwei vollständige Kanäle, also über zwei Mikrophone, 2 Sender, 2 Empfänger und 2 Lautsprecher zu übertragen.

Es erhebt sich also die Frage, ob durch die Tatsache des einohrigen Hörens die optimale Nachhallzeit beeinflusst wird. Auch heute wird noch teilweise die Auffassung vertreten, dass für das einohrige Hören die optimale Nachhallzeit kleiner sein müsse. Schon die Uebertragungen aus unsern Konzertsälen, deren akustische Eigenschaften uns genau bekannt sind und die immer zu unsern besten Sendungen zählten, zeigten, dass die optimale Nachhallzeit durch das einohrige Hören nicht beeinflusst wird. Weitere Versuche haben diese Auffassung dann immer wieder bestätigt, so dass wir die grossen Studios mit Konzertsaalnachhall gebaut haben. Dies gilt nicht nur für die Nachhallzeit im mittlern Frequenzbereich, sondern für den ganzen Frequenzgang. Die mittlern und kleinen Studios wurden dagegen mit kleinerem Nachhall gebaut, da diese Räume nicht die Funktion kleiner Konzertsäle haben, sondern für ganz bestimmte Zwecke gebaut sind. Mittlere Studios dienen beispielsweise für Tanzorchester, kleinere Chöre u. ä., kleine Studios für Kammermusik und andere musikalische Darbietungen mit ausgesprochen intemem Charakter.

Bei den Sprechstudios ist die optimale Nachhallzeit im wesentlichen durch die Verständlichkeit gegeben, wozu sich aber noch andere Funktionen gesellen, auf die wir hier nicht eintreten können. Zusammenfassend ergibt sich für die einzelnen Studiokategorien das folgende Bild (Tabelle II):

Tabelle II.

Art der Darbietung	Studiokategorie	Nachhallzeit bei 1000 Hz s
Musik	1. Grosse Studios .	1,35 ... 1,5
Musik	2. Mittlere Studios	0,9 ... 1,1
Musik	3. Kleine Studios .	0,6 ... 0,7
Sprache	4. Hörspiel-Studios	0,4 ... 0,5
Sprache	5. Vortrag-Studios.	0,3 ... 0,4

Fig. 2 zeigt als Beispiel die Nachhallfrequenzkurve von drei grossen Studios.

Wichtig ist, dass wir konsequent jeden Raum für seine optimale Nachhallzeit bauen, um eine Dar-

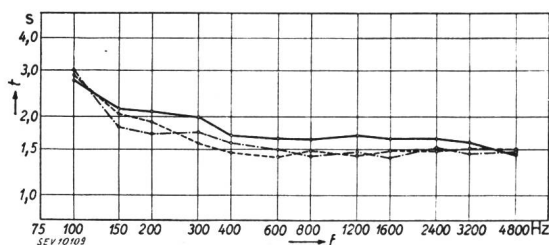


Fig. 2.

Nachhallzeiten  $t$  grosser Studios in Funktion der Frequenz  $f$   
 — Zürich (1) 4500 m<sup>3</sup>    - - - Genf (1) 3500 m<sup>3</sup>  
 - · - · - Basel (1) 2070 m<sup>3</sup>

bietung je nach ihrer Art und der Zahl der Mitwirkenden der passenden Raumkategorie zuzuordnen. Auf diese Weise brauchen wir weder Räume, deren Nachhallzeit mit Hilfe von besondern Vorrichtungen geändert werden kann, noch Echoräume, beides

Massnahmen, welche für die bis vor kurzem noch herrschende Unsicherheit über die studioakustischen Probleme typisch waren. Wohl werden auch heute noch in den Studios Echoräume vorgesehen, sie werden aber nur für dramatische Zwecke (akustische Kulisse) gebraucht, niemals aber zur «Verbesserung» der Akustik eines Musikstudios.

### Nachhallmesstechnik

Für eine Diskussion der Nachhallmesstechnik ist es in erster Linie nötig, eine physikalische Vorstellung des Nachhallvorganges zu besitzen. Man hat früher vorwiegend mit Schallstrahlen operiert, mit denen sich Reflexions- und Echoerscheinungen in Anlehnung an die geometrische Optik erklären lassen. Auch die berühmte erste Nachhallformel von Sabine wurde mit dieser Vorstellung gewonnen. Um der physikalischen Wirklichkeit näher zu kommen, muss man ein begrenztes Luftvolumen als ein dreidimensionales, kontinuierliches Schwingungssystem betrachten, das für jede der 3 Dimensionen eine  $\infty$  grosse Zahl von diskreten Eigenfrequenzen besitzt. Der Nachhall kommt dann durch die Ueberlagerung der abklingenden Eigenfrequenzen zustande, die von der Schallquelle angestoßen worden sind. Aus verschiedenen Gründen ist es unzweckmässig, bei einer einzelnen Eigenfrequenz zu messen, so dass man viele Eigentöne anregen muss, die sich überlagern und ausmitteln.

Ein Knall stösst praktisch alle Eigenfrequenzen des Raumes an. Wir wollen aber den Frequenzgang der Nachhallzeit messen, so dass wir aus dem breiten angeregten Spektrum mit einem veränderlichen Bandfilter schmale Bereiche ausscheiden (Fig. 3).

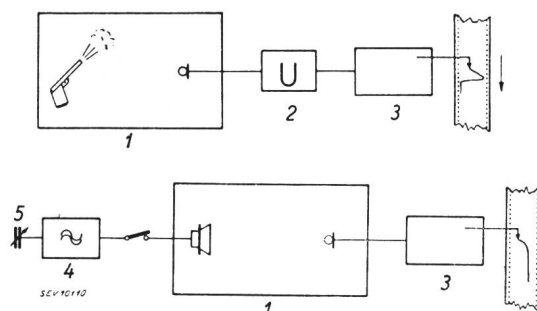


Fig. 3.

### Nachhall-Messtechnik

1 Zu messender Raum (Knall). 2 Veränderliche Bandfilter.  
 3 Schnellregistriergerät. 4 Tonfrequenzgenerator. 5 Heulzusatz (rotierender Kondensator).

Der an irgendeinem Punkte des Raumes herrschende Schalldruck, den wir mit einem Mikrophon aufnehmen können, setzt sich also aus zahlreichen abklingenden Eigenfrequenzen zusammen. Der zeitliche Momentanwert dieses Schalldruckes klingt daher nicht rein exponentiell ab, wie die vereinfachte Theorie annimmt, sondern er pendelt um eine mittlere Exponentialkurve herum. Es würde daher nicht genügen, 2 Momentanwerte des Schalldruckes in einem bestimmten zeitlichen Abstand zu messen, sondern man muss den ganzen zeitlichen Verlauf aufzeichnen. Das kann man im

Prinzip mit einem Oszillographen tun, zweckmässiger aber mit einem besondern Gerät, einem sogenannten Schnell-Registriergerät. Den grundsätzlichen Aufbau eines solchen Gerätes zeigt Fig. 4.

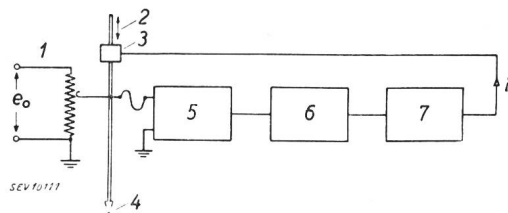


Fig. 4.

Schema eines Schnell-Registriergerätes

- 1 Logarithmisches Potentiometer. 2 Motorischer Antrieb.  
3 Magnetische Kupplung. 4 Schreibstift. 5 Verstärker.  
6 Gleichrichter. 7 Steuerröhren.

Meist messen wir nicht mit Knallen, sondern mit frequenzmodulierten Tönen, den sogenannten Heultönen. Solche Töne weisen im Gegensatz zum kontinuierlichen Spektrum eines Knalles ein Linienspektrum auf, so dass das Verhältnis der Zahl der Eigenfrequenzen des betreffenden Raumes im betrachteten Frequenzgebiet wichtig ist (Fig. 5).

Der Zusammenhang zwischen den akustischen Eigenschaften eines Raumes und seiner Nachhallzeit wird durch die *Nachhalltheorien* hergestellt. Es sei in dieser Hinsicht lediglich erwähnt, dass es zu einem grossen Teil dem Studiobau vorbehalten blieb, die Nachhalltheorien und damit auch die Absorptionsmessverfahren über einen grossen Bereich, was Raumvolumina und Nachhallzeiten anbelangt, experimentell nachzuprüfen. Dabei konn-

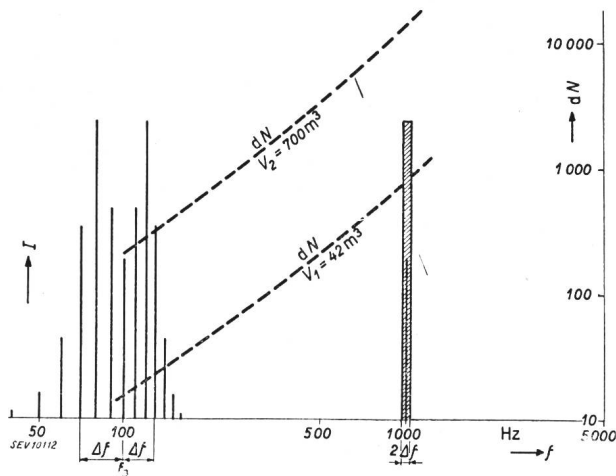


Fig. 5.

Linienspektrum eines Heultones

Heulton-Komponenten ( $I$ ) (linearer Maßstab) in Funktion der Frequenz ( $f$ ).

$$F(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} I_n \cdot \left(\frac{\Delta f}{\alpha}\right) \sin[2\pi(f_0 + n\alpha)t] ; \Delta f = 30 \text{ Hz} ; \alpha = 10 \text{ Hz}$$

$dN$  = Zahl der Eigenfrequenzen eines Raumes für den Bereich  $2\Delta f = 60 \text{ Hz}$

ten wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden. Ein näheres Eingehen auf diese Fragen würde uns leider zu weit vom Thema wegführen, die Erwähnung dieser Probleme hat nur den Zweck, den fruchtbringenden Einfluss der Studioakustik auf die allgemeine Raumakustik zu beleuchten.

Ebenso können wir uns hier nicht eingehender mit den *Schallschluckstoffen* befassen. Bekanntlich zerfallen die Absorptionsstoffe in 2 grosse Gruppen: die schwingungsfähigen und die porösen, die einen prinzipiell verschiedenen Frequenzgang der Schallschluckung aufweisen. Als porösen Schallschluckstoff, zur Absorption der mittlern und hohen Frequenzen, haben wir ausschliesslich Glaswolle verwendet, die als mechanischen Schutz eine Abdeckung aus perforierten Pavatex-Platten erhielten. Für die Absorption der tiefen Frequenzen ist dann noch ein schwingungsfähiger Schluckstoff nötig; wir haben dafür Sperrholz verwendet, das in geeigneter Weise verlegt werden muss. Durch Kombinieren dieser 2 Materialien lassen sich dann fast beliebige Absorptionskurven erzielen (Fig. 6).

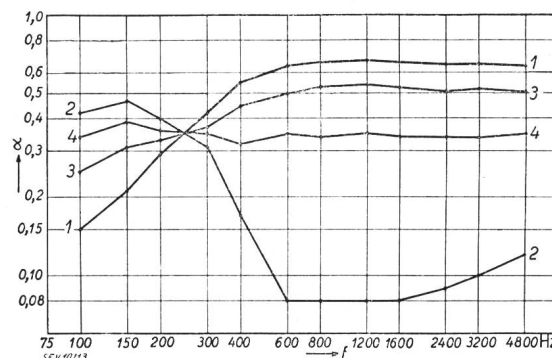


Fig. 6.

Kombinationen Sperrholz-Glaswolle

Schallschluckgrad  $\alpha$  in Funktion der Frequenz  $f$  von:  
1 Glaswolle allein. 2 Sperrholz allein. 3  $\frac{1}{4}$  Sperrholz,  $\frac{3}{4}$  Glaswolle. 4  $\frac{2}{3}$  Sperrholz,  $\frac{1}{3}$  Glaswolle.

Damit verfügen wir über die Mittel, die diskutierten Nachhallkurven zu erzielen und es fehlt uns nur noch die *Form* der Räume, die durch die Nachhalltheorie nicht erfasst wird.

Als die natürliche Form eines Raumes können wir das rechtwinklige Parallelepiped bezeichnen, da sich damit einfache Grundrisse für die Planung des Gebäudes ergeben. Es zeigt sich aber, dass diese Form vom akustischen Standpunkt aus keineswegs ideal ist. Zwischen 2 parallelen Flächen können sich *singuläre, d. h. besonders ausgezeichnete Eigenfrequenzen* ausbilden, die dadurch ausgezeichnet sind, dass ihre Dämpfung von der mittlern Raumabsorption unabhängig ist und nur durch die Absorption der beiden erzeugenden Flächen gegeben ist. Extreme Fälle sind als *Flatterechos* bekannt.

Singuläre Eigenfrequenzen sind in jedem Falle nachteilig für die Akustik eines Raumes. Beim direkten zweiohrigen Hören sind sie weniger fühlbar, bei einer Mikrophon-Lautsprecher-Übertragung müssen sie aber so vollständig als möglich unterdrückt werden. Dafür stehen zwei Wege zur Verfügung: Vermeidung aller parallelen Flächen oder Absorption vorhandener paralleler Flächen entsprechend der mittlern Raumdämpfung. Durch Kombinieren dieser beiden Prinzipien ergeben sich sehr günstige Lösungen. Fig. 7 zeigt als Beispiel das grosse Studio in Genf (3500 m³). Aus verschiedenen Gründen dürfen die unmittelbar beim Orche-



ster liegenden Wandteile nicht mit Schluckstoffen belegt werden; dieser Teil des Raumes muss daher trapezförmig ausgeführt werden. Die übrigen Wandteile werden mit der passenden Kombination Sperrholz-Glaswolle belegt, die Decke wird sägezahnförmig gebaut. Die gleiche Anordnung findet sich auch im neuen Studiogebäude in Basel, während das neue grosse Studio Zürich (4500 m<sup>3</sup>) einen vollständig trapezförmigen Grundriss erhalten hat.

Für die Beurteilung einer Raumform ist es wichtig, einen zuverlässigen Nachweis für singuläre Eigenfrequenzen zu besitzen. In krassen Fällen kann ein Flatterecho direkt oszillographiert werden; auch gebrochene Nachhallgeraden, d. h. nicht exponentieller Schalldruckverlauf während des Nachhalles, lassen auf singuläre Eigenfrequenzen schliessen. Darüber hinaus konnten wir eine Methode entwickeln, die viel empfindlicher und zu-

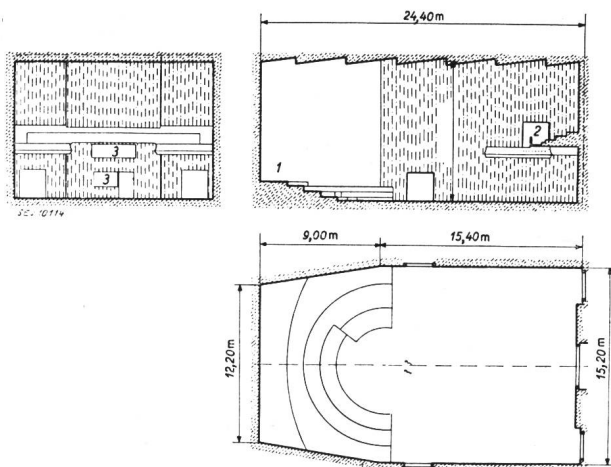


Fig. 7.  
Studio Genf (1)

Schallschluckstoffe.

1 Orchester-Podium. 2 Galerie für Zuhörer. 3 Regie.

verlässiger ist und die auf dem folgenden Prinzip beruht: Die in einem Raum gemessenen Nachhallzeiten zeigen eine *ortsabhängige Streuung*. Dies ist ohne weiteres verständlich, wenn man sich das komplizierte Interferenzfeld vorstellt, das durch die Ueberlagerung der vielen angestossenen Eigenfrequenzen des Raumes entsteht. Man misst daher immer an mehreren Stellen und mittelt die gemessenen Werte. Wir haben nun diese ortsabhängige Streuung näher untersucht und dabei gefunden, dass sie einer *Gaußschen Verteilung* gehorcht. Da das Gaußsche Fehlerintegral nicht in geschlossener Form integrierbar ist, geht man zu graphischen Auswertungen über und zeichnet die bekannten Häufigkeitskurven, am bequemsten mit Hilfe des sogenannten *Wahrscheinlichkeitsnetzes*, dessen Abszisse so eingeteilt ist, dass eine Gaußsche Verteilung eine Gerade bildet. Ein Beispiel zeigt Fig. 8.

Wir konnten nun ferner feststellen, dass eine solche Gaußsche Verteilung nur dann vorliegt, wenn der betreffende Raum *keine* singulären Eigenfrequenzen aufweist. In Fig. 9 ist ein Fall dargestellt, wo die Streuung der Nachhallmesswerte keine Gerade mehr im Wahrscheinlichkeitsnetz

darstellt. Die erhaltene Kurve kann dann mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung in mehrere Gaußsche Verteilungen zerlegt werden, von denen jede einer Gruppe von singulären Eigenfrequenzen

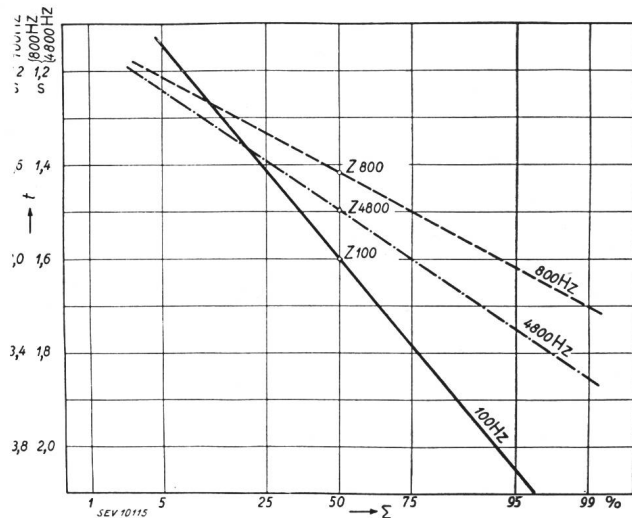


Fig. 8.

Merkmalsgrenzwert (Nachhallzeit)  $t$  (in s) in Funktion der Summenhäufigkeit  $\Sigma$  (in %) Studio Basel (1).

entspricht. Im Beispiel Fig. 9 wurden zwei Verteilungen gefunden, wobei die eine mit der kleineren Streuung und dem kleineren Zentralwert der mittlern Raumabsorption entspricht und die andere singuläre Eigenfrequenzen anzeigt, die sich zwischen Boden und Decke ausbilden konnten.

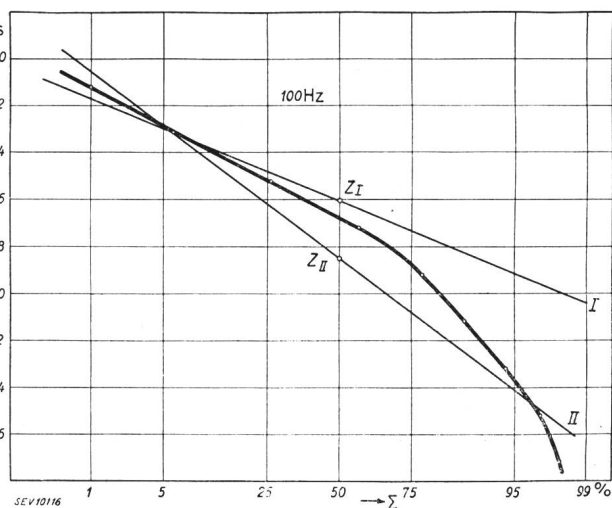


Fig. 9.

Merkmalsgrenzwert (Nachhallzeit)  $t$  (in s) in Funktion der Summenhäufigkeit  $\Sigma$  (in %) Studio Zürich (1).

Damit haben wir einen summarischen Ueberblick über einige Probleme der akustischen Dimensionierung von Radio-Studios gewonnen<sup>1)</sup>. Die anschließende Exkursion ins Radio-Studio Zürich wird Gelegenheit bieten, einige Punkte noch näher zu diskutieren.

<sup>1)</sup> Einzelheiten und Literatur siehe Furrer: Beitrag zur Akustik von Radio-Studios. Schweiz. Arch. angew. Wissensch. u. Techn. Bd. 8 (1942).

### Diskussion

Der **Vorsitzende** verdankt Herrn Furrer seinen interessanten Vortrag und bemerkt dazu folgendes:

Es fällt heute schwer, uns in die Zeit zurück zu denken, da man den raumakustischen Problemen noch rat- und hilflos gegenüberstand. Herr Furrer hat diese Probleme von Anfang an verfolgt und eine Reihe von Studioräumen vermessen und bei deren Konstruktion und Einrichtung mitgewirkt.

Auch die raumakustische Forschung zeigt wieder mit aller Deutlichkeit, wie sehr alle technischen und physikalischen Probleme miteinander zusammenhängen. In erster Linie musste auch hier die Messtechnik entwickelt werden, bevor man konstruktive Aufgaben mit Erfolg lösen konnte. Dabei bot eine grosse Schwierigkeit die Tatsache, dass für die Beurteilung des Schalleindrucks das menschliche Ohr massgebend ist, welches aber nicht die Eigenschaften eines objektiven Messinstrumentes besitzt. Heute kann man nahezu alle akustischen Erscheinungen durch Messung verfolgen und man beherrscht die Raumakustik weitgehend.

Herr Dr. W. Gerber, PTT, Bern, erkundigt sich über das Zusammenwirken der Nachhallzeiten von zwei akustisch in Serie geschalteten Räumen, wie dies beim Sende- und Empfangsraum der Fall ist.

Herr W. Furrer, Referent: Das Problem der Addition zweier Nachhallzeiten lässt sich streng rechnen. Wenn zwei Räume — Senderraum und Empfangsraum — gleiche Nachhallzeiten besitzen, so wird die kombinierte Nachhallzeit beider Räume um 22 % länger. Dabei verläuft der Abfall der Schallenergie nicht mehr nach einer einfachen Exponentialfunktion. Der Empfangsraum ist gewöhnlich ein relativ stark gedämpftes Wohnzimmer mit einer Nachhallzeit, die zwischen 0,4 und 0,8 s betragen mag; ein Musikstudio wird also meist eine bedeutend längere Nachhallzeit haben, so dass keine merkliche Beeinflussung vorhanden ist. Anders kann es sich verhalten, wenn z. B. ein Redner in einem kleinen, stark gedämpften Vortragsstudio spricht und ein grösserer und halliger Raum als Empfangsraum dient; dann ist die Nachhallzeit des grösseren Raumes massgebend. Diese beiden Fälle vermitteln dem Hörer zwei grundsätzlich verschiedene Hörerlebnisse: Beim Wohnzimmer gewinnt er den Eindruck, aus dem Konzertsaal zu hören, sein Ohr wird also gewissermassen im Studio elektrisch nachgebildet. Im zweiten Falle jedoch, wo die Akustik des Empfangsraumes massgebend ist, hat man das Gefühl, der Sprecher selbst werde durch den Lautsprecher ersetzt. Im ersten Fall wird also der Hörer zum Klangkörper gebracht, während im zweiten Fall der Klangkörper zum Hörer transportiert wird.

Herr Prof. Laub, Zürich, erkundigt sich nach dem Stand der räumlichen Ausstrahlung eines Rundfunkprogramms zur Erzielung des räumlichen Hörens.

Herr W. Furrer, Referent: Stereophonische Uebertragungen sind in grösserem Rahmen bisher nur in Amerika durchgeführt worden und auch dort nur versuchsweise. Meines Wissens wird diese Möglichkeit noch nirgends betriebsmässig ausgenutzt. Vielleicht kommen wir in der Schweiz auch einmal dazu, besonders hochwertige Konzerte plastisch zu übertragen. Eine Möglichkeit dafür würde beispielsweise bei den Gemeinschaftssendungen bestehen, wo jedem der drei Landessender ein besonderes Mikrophon zugeordnet werden könnte. Ein Hörer wäre dann imstande, mit Hilfe von zwei oder drei Empfängern eine solche Sendung stereophonisch zu hören.

Der **Vorsitzende**: Es erhebt sich die Frage, welcher Art die Zukunftsaufgaben des Rundspruchs sind. Nachdem die Studios gebaut sind, wird man darnach trachten, die Qualität der Uebertragung noch zu verbessern; man wird die Konzertsäle revidieren, man wird beispielsweise auch untersuchen, wie ein Orchester gruppiert werden muss, um eine optimale Akustik zu erzielen.

Herr W. Furrer, Referent: Heute hat die Technik der Rundfunkübertragung auf der Seite der Tonfrequenz einen Vorsprung der Entwicklung gegenüber der Hochfrequenzseite. Wir haben heute durchweg niederfrequenzmässig einen geradlinigen Frequenzgang von 30...8000 Hz, das ist nur noch eine Oktave weniger als der ganze Bereich des menschlichen Ohres umfasst. Dabei sind inbegriffen: Die Akustik des Senderraumes, das Mikrophon, die Verstärker, die Uebertragungsleitungen zum Sender. Der Sender selbst überträgt zwar diesen Frequenzgang vollständig, es gelangen aber trotzdem nur wenige Hörer in den Genuss dieses weiten Tonumfanges. Dies liegt vor allem an der zu grossen Zahl von Sendern im Mittelwellengebiet, wo die Wellenlängen viel zu nahe beieinander liegen und deshalb eine begrenzte Bandbreite der Empfänger erfordern, ferner auch an den Radiostörungen. Das führt auch dazu, dass es oft als unnötig betrachtet wird, die Empfänger mit Lautsprechern auszurüsten, die den oberen Frequenzbereich einwandfrei wiedergeben. Im Gebiet von über etwa 2000 Hz ist dabei die Richtwirkung der Lautsprecher besonders wichtig. Ohne entsprechende Massnahmen wird die Schallabstrahlung stark gebündelt, so dass sich die Tonwiedergabe ändern kann, je nach dem Winkel, unter welchem man sich gegenüber der Lautsprecherachse befindet. — Verbesserungen der vollständigen Uebertragung müssen also zuerst auf der Hochfrequenzseite gesucht werden. Die Frequenzmodulation, die in Amerika schon weitgehend eingeführt ist, öffnet vielleicht einen Weg in dieser Richtung. Im Gebiet der Ultrakurzwellen ist für so viele Sender Platz, dass eine Begrenzung der Bandbreiten vermieden werden kann, auch ist ein frequenzmoduliertes Signal weniger störanfällig als ein amplitudenmoduliertes.

Darauf gibt der **Vorsitzende** Herrn Dr. Baldinger das Wort zu seinem Vortrag.

### Verstärker-Probleme

Vortrag, gehalten an der 5. Hochfrequenztagung des SEV am 8. November 1941 in Zürich.

Von E. Baldinger, Zürich.

621.396.645

Einleitend wird der Störpegel, welcher infolge der thermischen Bewegung der Elektronen in einem Verstärker entsteht, untersucht; er hat hauptsächlich zwei Ursachen, nämlich das Widerstandsrauschen des Eingangskreises und das Schrotrauschen der 1. Verstärkerröhre. Dabei ist die Raumladungsschwächung und der Einfluss des Schirmgitterstromes auf den Schroteffekt zu berücksichtigen. Anschliessend wird die Verstärkung breiter Frequenzbänder untersucht, und zwar werden der Widerstandsverstärker (R-C-Kopplung) und der Trägerfrequenzverstärker mit stark gedämpften Kreisen diskutiert und verglichen. An Hand von zwei in der AfiF (Abteilung für industrielle Forschung des Institutes für technische Physik an der Eidg. Technischen Hochschule) hergestellten Breitbandverstärkern wird gezeigt, welche Bandbreite und welche Verstärkung mit den heute erhältlichen Röhren etwa zu erreichen ist.

Aus der Vielzahl von Fragen, die sich in der Verstärkertechnik stellen, möchte ich einige Grenz-

*Le conférencier examine tout d'abord le niveau de perturbation provoqué par le déplacement thermique des électrons dans un amplificateur, et qui provient notamment des bruits engendrés dans le circuit d'entrée et dans le premier tube d'amplification. Il y a lieu de tenir compte de l'affaiblissement de la charge dans l'espace et de l'influence exercée par le courant de grille sur l'effet de grenaille. Le conférencier passe ensuite à l'examen de l'amplification de larges bandes de fréquences et compare l'amplificateur à résistance (couplage R-C) et l'amplificateur à fréquence porteuse avec des circuits fortement amortis. Se basant sur deux amplificateurs à large bande construits par l'AfiF (Section de recherches industrielles de l'Institut de physique technique de l'Ecole Polytechnique Fédérale), il montre quelle largeur de bande et quelle amplification peuvent s'obtenir avec les tubes les plus récents.*

probleme herausgreifen. Wir wollen uns zunächst überlegen, welche untere Grenze die Eingangslei-