**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
**Band:** 70 (1952)
**Heft:** 39

**Artikel:** Nachhallmessungen in der Aula der Universität Fribourg
**Autor:** Briner, Hermann
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-59683

**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:** 24.08.2025

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

Unterstützung zurückgebliebener Länder haben, sind zur Mitarbeit aufgefordert worden; es handelt sich dabei um die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinigten Nationen, die Weltgesundheitsorganisation, die Organisation der Vereinigten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur, die Weltarbeitsorganisation und die internationale Organisation für Zivilluftschiffahrt.

In der Schweiz wurde eine Koordinationskommission ins Leben gerufen, die sich zusammensetzt aus Prof. Dr. H. Pallmann, Präsident des Schweizerischen Schulrates, Präsident, Direktor O. Zipfel, Delegierter für Arbeitsbeschaffung, Ständerat Dr. E. Speiser, Dr. J. Schmidheiny, Prof. Dr. H. Gutersohn sowie Vertretern des Politischen Departementes, des Bundesamtes für Industrie, Gewerbe und Arbeit, der Abteilung für Landwirtschaft und der Eidg. Finanzverwaltung. Die Eidgenössischen Räte haben beschlossen, die technische Hilfe der Vereinigten Nationen finanziell zu unterstützen. Von der Schweiz erwartet man ausserdem die Entsendung ausgewiesener Fachleute, um in den rückständigen Ländern dringliche Arbeiten ausführen zu können. So werden Volkswirtschafter, Eisenbahntechniker, Elektroingenieure, Agrar- und Forstingenieure, Weinbaufachleute, Fachleute für Erziehung und Berufsausbildung, sowie Wissenschafter aus verschiedenen Gebieten gesucht. Neben der Entsendung von Experten sollen auch technische Ausrüstungen geliefert werden. Weiter ist beabsichtigt, geeigneten Fachleuten der zurückgebliebenen Länder Studienaufenthalte in fortgeschrittenen Ländern zu ermöglichen. Hierdurch ergibt sich eine grosse Zahl wertvoller Beziehungen, die sich auch für unser Land fruchtbar auswirken werden. Im Jahre 1951 wurde an ungefähr fünfzig Staaten Hilfe gewährt, die sich auf über vierzig verschiedene Tätigkeitsgebiete erstreckte. Etwa 1300 Fachleute wurden angestellt und 1100 Studienstipendien gewährt. Im Laufe der ersten Rechnungsperioden wurde unser Land in 260 Fällen aufgefordert, Kandidaten vorzuschlagen; in 80 Fällen konnte diesen Forderungen entsprochen werden. Davon wurden 24 für Missionen im Ausland von ein- bis zwölfmonatiger Dauer angestellt.

Die technische Hilfe soll den zurückgebliebenen Ländern die Möglichkeit geben, die ihnen zur Verfügung stehenden Reichtümer, wie Bodenschätze, Landesprodukte, Energiequellen und Arbeitskräfte, besser auszunützen. Sie wird besonders für solche Wissenszweige ausgebaut, die für bestimmte Regionen lebenswichtig sind und die auch die Wirtschaft des betreffenden Landes günstig beeinflussen. Es handelt sich nicht darum, den unterentwickelten Ländern die Ergebnisse der wirtschaftlichen Forschung als «Fertigerzeugnisse» zukommen zu lassen; vielmehr sollen die lokalen Kräfte zur wissenschaftlichen Tätigkeit geweckt werden. Der Wissenschafter, der eine Mission der Unesco übernimmt, muss eine den wirtschaftlichen Voraussetzungen des betreffenden Landes entsprechende Zweckforschung aufbauen und betreiben und gewillt sein, von seiner Tätigkeit zurückzutreten, sobald sie von ortseigenen Kräften übernommen und weitergeführt werden kann. Dazu muss er den Kontakt mit der einheimischen Bevölkerung pflegen, ihr Vertrauen erwerben und ihre fachtechnischen Fähigkeiten fördern. Sein Vertrag mit der Unesco wird nur erneuert, wenn es das Land, in dem er tätig ist, wünscht. Die Hilfe wird also niemals aufgedrängt; sondern den Experten der Unesco fällt die Rolle von «international civil servants» zu.

A. Portmann, Professor für Zoologie an der Universität Basel, gab in einem Vortrag, den er am 1. Dezember 1951 anlässlich der Jahresversammlung der Nationalen Schweizerischen Unesco-Kommission in der dortigen Aula hielt, einen umfassenden Ueberblick über die Pflege der wissenschaftlichen Forschung im Aufbauwerk der Unesco[1]). Die grosse Dringlichkeit und die hohe Bedeutung der Hilfe, die diese Organisation zu leisten gewillt ist, geht eindringlich aus den folgenden Sätzen des Referates von A. Portmann hervor: «Wer die tragischen Spannungen der weiten menschlichen Wirklichkeit kennt, der weiss, dass wir nur dann von Kultur reden dürfen, wenn wir im innersten Herzen bereit sind, die Tore zu dieser Kultur weit zu öffnen.» Und: «seine Art, den Nächsten wie sich selbst zu lieben, wird darin zum Ausdruck kommen, dass er ihm zu erlangen hilft, was er für sich selbst anstrebt».

Prof. Dr. H. Mohler, der als Chemiker eine Unesco-Mission im Irak durchführt, hat in der von ihm redigierten Fachzeitschrift «Chimia» 1952, Nr. 7, auf Grund des Vortrags von A. Portmann, der Unesco-Berichte, der bundesrätlichen Botschaften und reicher eigener Erfahrungen über die Unesco-Tätigkeit auf wissenschaftlichem und technischem Gebiet berichtet. Wir stützen uns auf diese Veröffentlichung. Mit Recht bezeichnet H. Mohler in seinen Schlussbemerkungen die Tätigkeit der Unesco als eine entschlossene Anstrengung, auf die Herausforderung der Zeit eine Antwort zu finden. «Es muss jedem Einsichtigen klar geworden sein, dass die in der Welt herrschenden Spaltungen wohl letztendlich dem Umstand zuzuschreiben sind, dass wir Menschen, im besondern wir westlichen Menschen, zu sehr auf uns selbst eingestellt sind, um noch die Not der Mitmenschen zu sehen. Diese Einstellung des modernen Menschen, die nicht auf einzelne Nationen beschränkt ist, sondern mitten durch die Nationen hindurchgeht, darf man als die Ursache der heutigen Weltlage bezeichnen, denn diese Haltung verstösst offensichtlich gegen ein elementares Naturgesetz. Der Geist des Habens wird, wenn er sich an die erste Stelle setzt, zum Geist der Begierde und des Hasses, der Krisen und Weltkriege auslöst. Die nun entstandene Situation ist die Herausforderung. Die Antwort kann nicht im Suchen nach einem Sündenbock liegen, sondern in einer geänderten inneren Haltung, im Geist des Gebens statt des Nehmens.»

[1]) Adolf Portmann, Die Wissenschaft im Aufbauwerk der Unesco, Bern 1952.

# Nachhallmessungen in der Aula der Universität Fribourg

Von Dr. HERMANN BRINER, Physikalisches Institut der Universität Fribourg

DK 534.84:727.3 (494.41)

## I. Einleitung

Die Aula der Universität Fribourg wird mit wachsender Beliebtheit wegen ihres würdevollen Charakters und ihres grossen Fassungsvermögens für die Durchführung künstlerischer, vorwiegend musikalischer Veranstaltungen verwendet. Leider wurden in letzter Zeit öfters Einwände gegen die Akustik der Aula laut, obwohl bei der Erstellung der Universitätsgebäude eine sorgfältige akustische Beratung erfolgte[1]). Aus diesem Grunde schien es notwendig, die Verhältnisse durch Nachhallmessungen objektiv zu prüfen.

Mit Ausnahme der Radio- und Tonfilmstudios (und etwa der Kinosäle) wird meistens bei der Projektierung von Räumen, deren akustische Eigenschaften wichtig sind, so vorgegangen, dass der Architekt den fertig erstellten Plan dem akustischen Experten zur Bearbeitung übergibt. Diesem verbleibt dann nur noch die Möglichkeit, die durch die Geometrie des Raumes entstehenden Mängel durch geeignete Disposition von schallabsorbierenden (seltener schallreflektierenden) Wand- und Deckenbekleidungen zu mindern. Richtiger wäre es, wenn die Projekte in Zusammenarbeit von Architekt und Akustiker entstehen würden, der sich dann nicht genötigt sähe, sich mit Kompromisslösungen zu begnügen, wie dies z. B. auch in der Universitätsaula der Fall war.

Die Aula hat die Form eines stark geneigten Amphitheaters, das von hinten über einen Rundgang zugänglich ist (Bild 1). Vorn befindet sich ein 20 m breites und 5 m tiefes Podium, dessen Rückseite durch ein grosses, 12 m breites und 5,5 m hohes Schiebetor aus Bronze gebildet ist. Dieses verstärkt durch günstige Reflektion den Schall einer auf dem Podium sich befindenden Quelle. Die Rückwand um das Bronzetor ist mit frei schwingenden Holzplatten bekleidet, so dass Reflektionen mit zu grossen Weglängen vermieden werden. Die Rundung der (vom Podium aus gesehen) nach hinten fallenden, kassettierten Decke und die Kuppel mit ungefähr halbkreisförmigem Grundriss bewirken die Bildung eines ausgeprägten Echos auf dem Podium vorn in der Mitte, dort also, wo sich ein Redner oder ein Instrumentalsolist aufstellen wird. Um dieses Echo zu vermindern, blieb dem beratenden Akustiker nichts anderes übrig, als die

[1]) L. Villard: L'Acoustique, im Heft «Les nouveaux Bâtiments de l'Unversité de Fribourg», Edition «Vie, Art et Cité», Lausanne 1941.

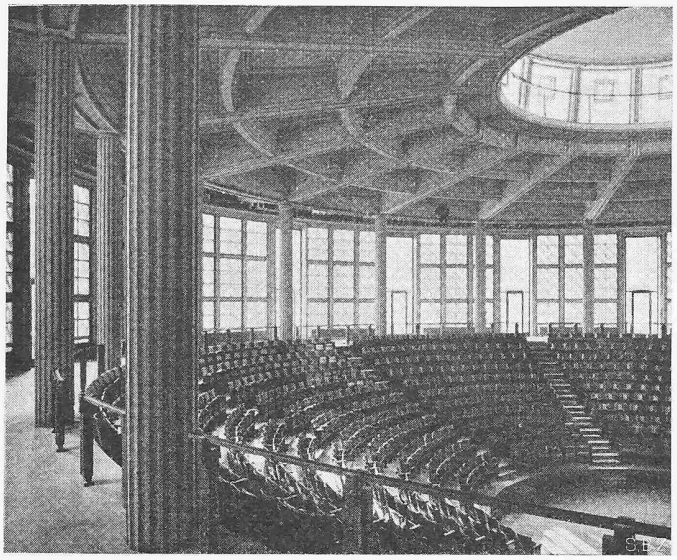

Bild 1. Aula der Universität Fribourg
Erbaut 1938/1940 durch die Architekten F. DUMAS und D. HONEGGER. Ausführliche Darstellung siehe «Werk» 1942, Nr. 2/3

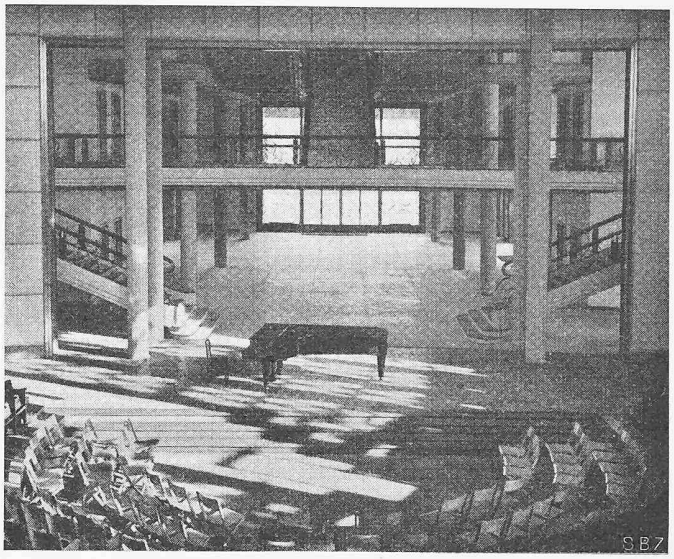

Bild 2. Das Podium bei geöffnetem Bronzetor (dieses liegt zwischen den Kuppelsäulen. Auf dem Bild ist auch die Wand hinter dem freischwebenden Balkon, die in Bild 4 eingetragen ist, nicht vorhanden).

dafür verantwortlichen Flächen, d. h. die erwähnte Halbkuppel und den hintersten Kassettenhalbkreis mit stark absorbierendem Material zu verkleiden. Dazu wurde (nicht zuletzt wegen der Aehnlichkeit mit dem Beton ohne Verputz der ganzen Decke) «Spray Asbestos» verwendet, ein Material mit dem für alle Frequenzen konstanten Absorptionskoeffizienten von 0,65. Trotzdem bleibt die Echowirkung noch etwas bestehen. Wenn sie gar nicht zur Geltung kommen darf, genügt es, sich auf dem Podium etwas weiter zurück aufzustellen, da die gefährliche Zone klein und scharf begrenzt ist. Es liegt hier ein Beispiel dafür vor, wie wenig Gestaltungsmöglichkeiten dem Akustiker oft zur Lösung seiner Aufgabe gelassen werden: zur Verminderung der wichtigsten Unzulänglichkeiten sieht er sich gezwungen, über bestimmte Flächen nicht mehr frei verfügen zu können, muss sie also meistens absorbierend gestalten, oft mit dem Risiko, dass dadurch schon zu viel absorbiert und der Raum akustisch zu dumpf wird. Es müssen deswegen oft einige Fehler stehen gelassen werden, um nicht ihre völlige Aufhebung mit dem Nachteil zu kurzer Nachhallzeit zu erkaufen. In der Aula fand man den wahrscheinlich besten Kompromiss, indem das störende Echo auf dem Podium gerade so weit vermindert wurde, dass der gesamte Nachhall, wie weiter unten gezeigt wird, nicht zu kurz ausfällt.

Da bei der Projektierung die Verwendung der Aula für die Erfordernisse der Universität im Vordergrund stand, durfte der Podiumsabschluss nicht zu weit hinten vorgesehen werden. Daraus ergab sich eine Podiumstiefe, die für die Aufstellung eines grossen Symphonieorchesters zu gering ist (Bild 3). Für grössere Veranstaltungen ist vorgesehen, die Aula durch Oeffnen des Schiebetors um die vor ihr liegende Ehrenhalle zu vergrössern (Bild 2). Da diese Halle auch aus schallharten Baumaterialien (Beton und dickem Glas) besteht, wird dann die Nachhallzeit des gesamten Raums zu gross. Der Zuwachs an Nachhall kann kompensiert werden durch teilweises oder ganzes Schliessen des grossen Vorhanges, der sich vor den ganzen hinteren, halbkreisförmigen Glas-Abschluss des Amphitheaters ziehen lässt. Um dem durch das Oeffnen des Bronzetores vergrösserten Raum einen vordern Abschluss gegen die Ehrenhalle zu geben, wird bei Konzerten eine Wand hinter dem Balkon aufgestellt, der ausserhalb des Bronzetors freischwebend angeordnet ist. Der leichten Montierbarkeit wegen wurden dazu dünne, harte Pavatex-Platten gewählt. Die durchgeführten Nachhallmessungen sollten auch den Zweck haben, diese vom Akustiker nicht vorgesehene Disposition zu prüfen. Es waren also bei Anwesenheit der Pavatex-Wand die Nachhallmessungen mit offener und mit geschlossener Bronzetüre durchzuführen, jedesmal mit offenem oder mit gezogenem Vorhang vor der Rückwand des Amphitheaters.

Da man es dem Konzertpublikum nicht zumuten kann, die Nachhallmessungen mitzumachen, konnten diese nur bei leerem Saale durchgeführt werden. Die Nachhallzeit bei anwesender Hörerschaft musste dann berechnet werden. Kennt man das Volumen der Aula (4595 m³), so ergibt sich die Nachhallzeit $T$ in s nach der Formel von Sabine zu:

$$T_s = 0{,}161 \frac{V_m{}^3}{A_m{}^2}$$

Hierin bedeutet $A$ die Anzahl der absorbierenden Einheiten. Dazu ist die Absorption durch die Hörer zu addieren, um dann aus der gleichen Formel den Nachhall mit Publikum zu berechnen. Als Absorptionszahlen der Hörer wurden die Angaben des «American Bureau of Standards» zu Grunde gelegt, und die Rechnung jeweils in Abhängigkeit der Frequenz für folgende Besetzung durchgeführt:

1. Saal halb besetzt: 300 Personen,
2. Saal gut besetzt (alle Sitze des Amphitheaters): 700 Personen,
3. Sehr stark besetzt (Abonnementskonzerte): alle Sitze der Aula, Zusatzsitze im hinteren Halbkreisgang, auf dem Aulagrund vor dem Podium, auf dem Balkon hinter dem Orchester, Stehplätze, Orchestermusiker: 1200 Personen.

Zu diesen Zahlen und den entsprechenden Rechnungen ist aber zu bemerken, dass in Wirklichkeit die Absorption durch die Hörerschaft nicht proportional mit ihrer Anzahl

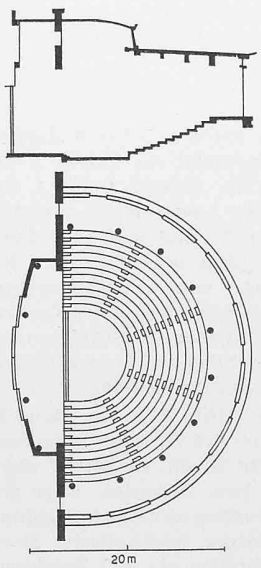


Bild 3. Bronzetor zu

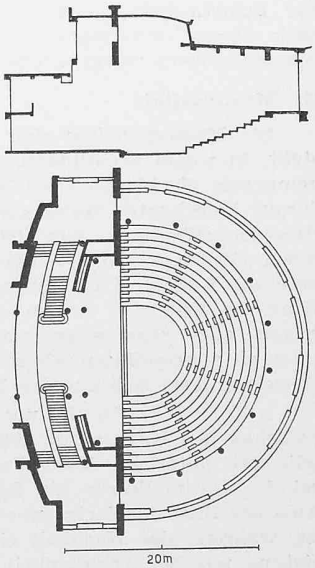


Bild 4. Bronzetor offen

Grundriss und Vertikalschnitt der Aula, 1:750

wächst, da sich die Zuhörer gegenseitig abschirmen. Die stark reduzierten Nachhallzeiten, die sich aus der Rechnung für 1200 Personen ergaben, sind aus diesem Grund zu niedrig; die Kurven für 700 Personen sind wohl als das ungefähre Minimum der Nachhallzeit anzusehen.

Zahlreiche empirische Daten bestehender Vortrags- und Konzertsäle erlaubten es, die allgemein anerkannte günstigste Nachhallzeit eines Raumes in Abhängigkeit seines Volumens anzugeben. Um optimale Verhältnisse zu erreichen, sollte diese günstigste Nachhallzeit für alle Frequenzen gültig sein, bis herab auf etwa 300 Hz bei Musik und 200 Hz bei Sprache. Bei noch tieferen Frequenzen darf sie wieder etwas ansteigen: bei 100 Hz um 50 % für Musik und um 25 % für Sprache. Für das Raumvolumen der Aula ergeben sich die folgenden günstigsten Nachhallzeiten bei voller Besetzung:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sprache: | 100 Hz: | 1,5 s | 200 Hz und darüber: | 1,2 s |
| Musik: | 100 Hz: | 2,4 s | 300 Hz und darüber: | 1,6 s |

Wird die Schiebetüre geöffnet, so kommt zum Volumen der Aula der durch die Pavatexwand angeschlossene Raum von 1400 m³ dazu. Dem vergrösserten Volumen entsprechen längere Nachhallzeiten, und zwar:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sprache: | 100 Hz: | 1,75 s | 200 Hz und darüber: | 1,4 s |
| Musik: | 100 Hz: | 2,7 s | 300 Hz und darüber: | 1,8 s |

Dass ein grösserer Raum eine grössere Nachhalldauer liefern soll, ist vor allem psychologisch bedingt, denn der optische Eindruck der Grösse muss mit der entsprechenden akustischen Empfindung übereinstimmen. Aus diesem Grunde wird man, um die optimal zu erwartenden Nachhallzeiten bei geöffnetem Tor zu ermitteln, nicht das ganze Zusatzvolumen von 1400 m³ berücksichtigen müssen, sondern nur die von der Aula aus sichtbaren ungefähren 800 m³. Man bekommt dann folgende Werte:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sprache: | 100 Hz: | 1,6 s | 200 Hz und darüber: | 1,3 s |
| Musik: | 100 Hz: | 2,5 s | 300 Hz und darüber: | 1,7 s |

Diese letzten Werte und diejenigen für geschlossenes Tor sind in den Bildern 5 bis 8 eingetragen, die Kurven für Sprache punktiert, diejenigen für Musik gestrichelt.

## II. Gang der Messungen

Die Nachhallzeit wird definiert als diejenige Zeit, in der ein den zu prüfenden Raum ausfüllender Schall auf den $10^{-6}$ - fachen Betrag der Energie gefallen ist, oder, was das selbe ist, die Zeit, in der er um 60 db geschwächt wird. Die Messung geschieht am einfachsten mit einem Dämpfungsschreiber mit logarithmischem Potentiometer. Das exponentielle Abklingen der Schallenergie wird dabei als Gerade aufgezeichnet, deren Neigung (auf 60 db umgerechnete Zeit des Abfalls) die Nachhallzeit ergibt. Als Schallquelle diente ein Lautsprecher, der durch einen frequenzmodulierten Tongenerator über einen Verstärker gespeist war. Die Frequenzmodulation («warble tone») wird angewendet, um die Bildung stehender Wellen zu vermeiden; die Abweichung der Schreiberkurve von der Geraden wird dadurch viel geringer. Zur Schallmessung diente ein Kondensatormikrophon, das nach seinem Vorverstärker direkt an den Eingang des Dämpfungsschreibers gelegt wurde.

## III. Messresultate

Die Messergebnisse sind in den Bildern 5 bis 8 dargestellt. In jedem Koordinatensystem bedeutet die Kurve 1 die gemessene Nachhallzeit bei leerer Aula, Kurven 2 bis 4 die daraus berechneten Nachhallzeiten bei Anwesenheit von 300 Personen (Kurve 2), von 700 (Kurve 3) und von 1200 Personen (Kurve 4). Wie schon weiter oben begründet, ist die unterste Kurve (1200 Personen) nur von hypothetischem Wert. Im Vergleich zu den eingetragenen optimalen Kurven zeigen alle gemessenen und berechneten Nachhalldauern einen zu ausgeprägten Abfall bei zunehmender Frequenz. Im Einzelnen lässt sich aus den Kurven folgendes ablesen:

I. Tor zu, Vorhang offen (Bild 5). Der Bereich zwischen den Kurven für 300 und 700 Hörer liegt grösstenteils weit unterhalb des Optimums für Musik, im Mittel aber bei der Optimalkurve für Sprache. Dies bedeutet, dass die Aula vor allem für Vortragsveranstaltungen akustisch geeignet ist, während der Nachhall eine günstige musikalische Darbietung nur bei Anwesenheit von weniger als 300 Zuhörern gestattet. Die zu grosse Anhebung der niederen Frequenzen beeinträchtigt etwas die Silbenverständlichkeit, trotz der günstigen mittleren Nachhalldauer. Jedoch ist es deutlich, dass die vom akustischen Experten vorgenommene Korrektur bei den wenigen noch verfügbaren Freiheiten die bestmögliche war im Hinblick auf den Hauptzweck einer Universitätsaula, der Rede zu dienen. Bei der starken Ueberfüllung des Saales, wie sie bei Abonnementskonzerten üblich ist, muss hingegen die kurze Nachhalldauer auf den Redner, Sänger oder Instrumentalsolisten wegen der aufzubringenden Schallenergie ermüdend wirken. — Der Mittelwert des Nachhalls für leeren Saal entspricht mit bemerkenswerter Güte dem aus dem Volumen sich ergebenden günstigsten Leerwert von 2 s.

II. Tor offen, Vorhang offen (Bild 6). Durch Hinzufügen des äusseren Raumes wird das Volumen vergrössert und anderseits eine ziemlich stark absorbierende Wand eingeführt. Der Beitrag der übrigen schallharten Wände scheint aber zu überwiegen, denn der Nachhall nimmt deutlich zu, wie es der Vergleich mit den Kurven von Bild 5 zeigt. Allerdings steigen auch die theoretischen Optimalwerte des Nachhalls, dem grösseren Raum entsprechend, jedoch in geringerem Masse, so dass die Verhältnisse doch günstiger werden. Für das gesprochene Wort entspricht die Kurve für 700 Hörer im Mittel ziemlich gut dem Optimum. Für die Musik ergibt sich auch eine gute mittlere Nachhallzeit bei halbgefüllter Aula (300 Personen und etwas mehr). Anderseits bewirkt der starke Abfall gegen höhere Frequenzen eine Verminderung des Glanzes und die Ueberhöhung für niedere Frequenzen ein, zwar nicht sehr ausgesprochenes, Nachklingen der Bässe. Bei voller Besetzung von 700 Personen und mehr ist jedoch auch bei offener Türe die mittlere Nachhallzeit zu gering.

Die akustischen Eigenschaften des Saales machen ihn wohl für die rhythmische Präzision und die klanglichen Kontraste der zeitgenössischen Musik geeigneter als für jene leichte Verschmelzung der Ton-Komponenten, die zum romantischen Klangideal gehört.

Vielleicht liessen sich die Bedingungen durch Ersetzen der Pavatexwand durch einen schallhärteren und steiferen Abschluss günstig beeinflussen. Dieser Abschluss sollte aber auch aus frei schwingenden Platten bestehen, damit die tiefen Frequenzen, die für die Ausgeglichenheit des Klanges zu lange nachhallen, nicht auch verlängert werden. Die Grösse dieser Platten hängt vom gewählten Material ab; sie müsste genau derart berechnet werden, dass die gewünschte Absorption der tieferen Frequenzen eintritt.

Etwas gefährlich ist der Umstand, dass die zusätzliche Rückwand von der vorderen Podiumkante etwa 10 m entfernt ist, also jenseits des Maximalabstandes, der zur Vermeidung einer Echowirkung nicht überschritten werden darf. Dieses Echo kommt zum Saalecho von der Deckenrückseite und der Kuppel hinzu; es wird durch die Absorption der Rückwand verringert. In dieser Hinsicht ist Pavatex günstig. Diese Ueberlegung ist jedoch höchstens für die weit vorne placierten Instrumente gültig, also vor allem wichtig für den

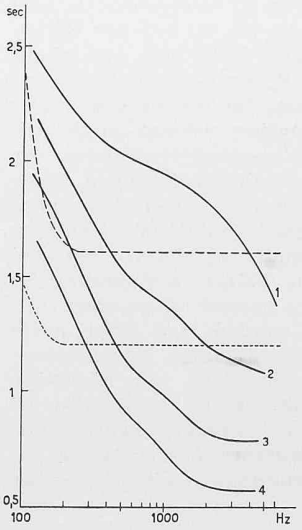


Bild 5. Tor zu, Vorhang offen.

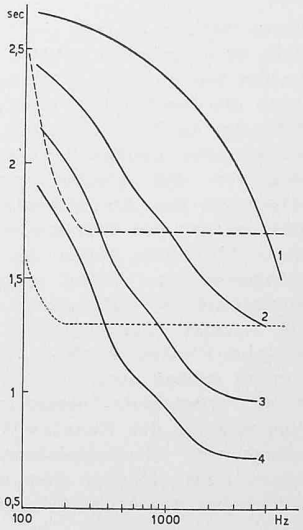


Bild 6. Tor und Vorhang offen.

Gemessene Nachhallzeiten, Legende im Text

klanglich exponierten Konzertsolisten. Bei einer schallhärteren Rückwand müsste man einfach das ganze Orchester etwas zurücksetzen, um die Laufzeitdifferenzen zu verringern und die Nachhallvergrösserungen nicht durch verstärkte Echobildung zu erkaufen.

Ein gänzliches Entfernen der Zusatzwand wäre nicht nur aus praktischen, sondern auch aus akustischen Gründen ungünstig, da zwar ein grosser Nachhall erreicht würde (wahrscheinlich wegen der Grösse und Härte der Ehrenhalle zu viel!) aber des Abstandes der Hallenwände wegen sehr störende Echos zur Ausbildung kämen. Der rückwärtige Vorhang kann, wie es die weiter unten gezeigten Messungen beweisen, die Nachhallzeit sehr stark beeinflussen, wäre aber auf die Echos nicht wirksam.

Aus den Messungen geht hervor, dass das Oeffnen des Tores und das Anbringen der Pavatexwand auch dann ratsam wäre, wenn der dadurch gewonnene Platz nicht für das Orchester benötigt wird, also auch bei Instrumentalkonzerten. Die Aufstellung des Solisten hätte dann nicht ganz vorne, wie üblich, sondern eher gegen die Podiummitte zu erfolgen, um die Echobildung durch die drei oben erwähnten Rückwürfe (Decke, Kuppel, Rückwand) zu verhüten. Ein Musizieren zu nahe am Türrahmen ist aber in diesem Fall zu vermeiden, da zu viel Schalleistung in die seitlichen Zusatzvolumen direkt ausgestrahlt würde. Sollte der Zuspruch eines Konzertes der Erwartung nicht entsprechen, könnte die dann zu grosse Nachhallzeit entweder durch teilweises Zuziehen des Vorhanges, oder besser durch Schliessen des Bronzetores auf einen recht günstigen Wert gebracht werden. (Bilder 5 und 8).

Die Echozone kann auch vermieden werden durch Aufstellen der Musiker weiter vorn auf einem zusätzlichen Podium, wie es etwa bei Kammermusikkonzerten durchgeführt wird. Die schallreflektierende Rückwand befindet sich dann allerdings etwas weit weg; dafür geht weniger direkter Schall im oberen Bühnenraum verloren.

Zur Abschätzung, ob nicht vielleicht unvorhergesehene Phänomene die Nachhallzeit beeinflussen (wie z. B. Resonanzen), soll aus der Nachhallformel von Sabine der Zuwachs an Nachhall berechnet werden, der sich beim Oeffnen des Tores ergibt. Bei 1000 Hz beträgt der Nachhall bei geschlossenem Tor $T = 1{,}96$ s. Dieser Zeit entspricht, bei einem Volumen von 4595 m³, eine Absorptionszahl von $A = 378$. Beim Oeffnen des Tores ist davon die Absorption des Metalls ($13 \times 5{,}5$ m² zu 2 %) abzuziehen, und es ist die Absorption des Hartpavatex ($14 \times 6$ m² zu 10 %), der Mauer mit Verputz ($51 \times 6$ m² zu 2,5 %) und der Fenster aus dickem Glas ($10 \times 6$ m² zu 2,5 %) zu addieren. Dies gibt insgesamt die Absorptionszahl $A = 394$, woraus unter Berücksichtigung des jetzt um 1400 m³ vergrösserten Volumens eine Nachhallzeit von 2,5 s folgt. Der zu grosse Wert gegenüber dem gemessenen Betrag von 2,35 lässt sich dadurch begründen, dass die Nachhallformel von Sabine (sowie ihre Verbesserung nach Eyring) streng nur für nahezu rechteckigen Grundriss gültig ist. Beim Oeffnen des Tores der Aula hat man hingegen zwei grosse Räume vor sich, die durch die Toröffnung miteinander gekoppelt sind und in denen daher getrennte Eigenschwingungen vorkommen können. Man darf also zur Berechnung des Nachhalls nicht einfach das totale Volumen und die totale absorbierende Fläche in die Formel einsetzen. Wie aus Bild 4 ersichtlich, wird Schall vom Podium her in die beiden seitlichen Teile des äusseren Zusatzraumes reflektiert und dort durch wiederholte Reflektionen vernichtet, um dann nicht mehr zur Erhöhung des Nachhalles beizutragen. Aus diesem Grunde wäre es auszuprobieren, ob ein seitliches Begrenzen des Aussenraumes etwa in der Breite der Toröffnung oder etwas weiter aussen, z. B. beim Treppenabsatz, sich nicht günstig auf die Verlängerung des Nachhalls auswirken könnte.

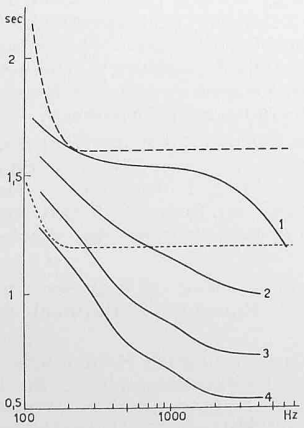


Bild 7. Tor und Vorhang zu

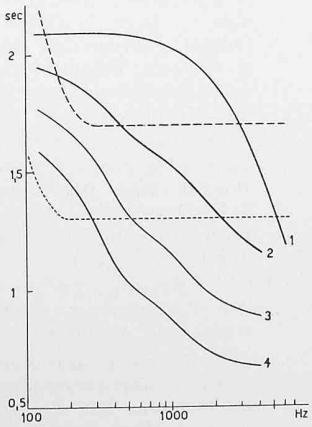


Bild 8. Tor offen, Vorhang zu

Gemessene Nachhallzeiten, Legende im Text

Die Nachhallkurven bei offenem Tor sind im unteren Teil, also bei schon sehr stark abgeklungener Schalleistung, geknickt; es zeigt sich ein kurzer, letzter Teil eines viel langsameren Abfalls. Dies ist die Bestätigung des oben Gesagten: Im äusseren Raum bildet sich ein lange dauernder, wegen der zahlreichen Reflektionen schwacher Nachhall, der zum gesamten Nachhall nur sehr wenig beiträgt. Es sollte also wahrscheinlich durch seitliche Begrenzung die Bildung eines fast unabhängigen Zusatzresonators verhütet werden.

Ein weiterer schallabsorbierender toter Zusatzraum befindet sich über dem Podium, zur Aufnahme der Bühneneinrichtung und der Podium-Beleuchtung. Auch hier könnte ein schallharter Abschluss erfolgreich sein.

III. Tor geschlossen, Vorhang gezogen (Bild 7). Aus den Kurven ist ersichtlich, dass die Nachhallzeiten für Musik viel zu gering werden und für Sprache nur im Notfall genügen können, liegen doch die Kurven grösstenteils weit unterhalb des Optimums.

IV. Tor offen, Vorhang gezogen (Bild 8). Für Musik liegt auch hier die ganze Kurve der Nachhallzeit unterhalb des erwünschten Verlaufs, während für die Rede der Mittelwert der Nachhallkurve gerade auf dem Optimum liegt. Wird also bei offenem Tor gesprochen, ist das Zuziehen des Vorhangs anzuraten, wenn die Aula halb bis normal besetzt ist. Auf jeden Fall ist die kleine Echozone an der Podiumskante zu vermeiden.

Die beiden Bilder 7 und 8 zeigen, wie stark der hintere Vorhang die Nachhalldauer beeinflusst. Man muss daher sehr vorsichtig mit ihm umgehen und dabei an die Folgen für die Akustik denken.

**IV. Zusammenfassung**

Aus den verschiedenen gemessenen und berechneten Kurven ergeben sich durch Vergleich mit den theoretisch günstigsten Verhältnissen folgende beste Verwendungen der zur Verfügung stehenden Möglichkeiten:

| | | |
|---|---|---|
| a) Rede: | schwach besetzt: | Tor zu, Vorhang teilweise zu |
| | normal besetzt: | Tor zu, Vorhang offen oder Tor offen, Vorhang zu |
| | überfüllt: | Tor offen, Vorhang offen |
| b) Musik: | schwach besetzt: | Tor zu, Vorhang offen |
| | normal besetzt: | Tor offen, Vorhang offen |
| | überfüllt: | Tor offen, Vorhang offen (noch zu geringer Nachhall) |

Für die gütige Erlaubnis, die Messungen in der Aula durchzuführen, sei hier Seiner Magnifizenz, dem Rektor der Universität, Professor Dr. L. Chardonnens, bestens gedankt; ebenso möchte ich es nicht unterlassen, der Firma Dr. W. A. Günther AG., Zürich, freundlichst dafür zu danken, durch die leihweise Ueberlassung eines Neumann-Schreibers und eines Kondensatormikrophones diese Arbeit ermöglicht zu haben.

# MITTEILUNGEN

**The American Society of Heating and Ventilating Engineers.** Dieser Tage ist eine Schweizer Sektion der American Society of Heating and Ventilating Engineers (ASHVE) gegründet worden mit dem Zweck, engere Beziehungen zur amerikanischen Forschung auf dem Gebiet der Heizungs- und Lüftungstechnik zu unterhalten. Die ASHVE führt sowohl in ihrem eigenen Laboratorium in Cleveland als auch in Verbindung mit Universitäten und technischen Hochschulen ausgedehnte Forschungsarbeiten durch, die auch für die schweizerische Industrie von Interesse sind. Die Gründungsurkunde wurde der Schweizer Sektion von dem früheren Präsidenten der ASHVE, Alfred J. Offner, anlässlich einer Exkursion in die Kraftwerke Oberhasli, persönlich übergeben. Präsident