

Karl-Ritter-von-Frisch-Gymnasium Moosburg

Oberstufenjahrgang 2018/2020

SEMINARARBEIT

Rahmenthema des Wissenschaftspropädeutischen Seminars

Die Welt der Bauphysik

Leitfach

Physik

Thema der Arbeit:

Raumakustische Merkmale eines Konzertsaaes am Beispiel der Philharmonie im Gasteig
mit anschließendem Vergleich der Schulaula

Verfasser der Seminararbeit: Maximilian Bosser
Seminarbezeichnung: W-Ph21
Seminarleiterin: Andrea Koslow
Abgabetermin: 05. November 2019
Abgegeben am: 04. November 2019
Abschlusspräsentation am: 13. Dezember 2019

Erzielte Punkte der schriftlichen Arbeit:

Erzielte Punkte der Präsentation:

Gesamtpunktzahl (3-fach schriftlich + mündlich = 4-fache Wertung):

Doppelte Wertung (= 4-fache Wertung geteilt durch 2, gerundet):

Aus der einfachen Wertung (= 4-fache Wertung geteilt durch 4, gerundet):

ergibt sich für die Gesamtleistung die Note, in Worten:

Unterschrift der Seminarleiterin:

Raumakustische Merkmale eines Konzertsaales am Beispiel der Philharmonie im Gasteig mit anschließendem Vergleich der Schulaula



1

Maximilian Bossler

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Die Philharmonie im Gasteig: Eine akustische Katastrophe? | 4 |
| 2 | Die Raumakustik..... | 5 |
| 2.1 | Raumakustische Merkmale in der Theorie..... | 5 |
| 2.1.1 | Anhall..... | 6 |
| 2.1.2 | Nachhall..... | 6 |
| 2.1.3 | Widerhall | 7 |
| 2.1.4 | Reflexion..... | 7 |
| 2.1.5 | Absorption..... | 8 |
| 2.2 | Die Philharmonie im Gasteig | 9 |
| 2.2.1 | Umsetzung der akustischen Merkmale..... | 9 |
| 2.2.2 | Bewertung der Akustik..... | 11 |
| 2.3 | Messung akustischer Merkmale in der Schulaula | 12 |
| 2.3.1 | Versuchsaufbau für die Messung..... | 12 |
| 2.3.2 | Ergebnisse | 13 |
| 2.3.3 | Auswertung | 16 |
| 2.3.4 | Gesamte Beurteilung der Akustik | 19 |
| 2.4 | Vergleich mit dem Gasteig | 19 |
| 3 | Architektur vs. Akustik | 21 |
| 4 | Anhang..... | 22 |
| 5 | Abkürzungsverzeichnis..... | 30 |
| 6 | Literaturverzeichnis..... | 31 |
| 6.1 | Buchquellen | 31 |
| 6.2 | Internetadressen | 31 |
| 7 | Eidesstattliche Erklärung..... | 33 |

1 Die Philharmonie im Gasteig: Eine akustische Katastrophe?

„Sir Simon Rattle mag München nicht.“² Laut der „Zeit Online“ gefällt dem Stardirigenten die Akustik in der Philharmonie des Gasteigs nicht. Deswegen gastierte er bislang relativ selten mit seinen weltberühmten Berliner Philharmonikern oder dem London Symphony Orchestra im Gasteig.³ München selbst hat mit dem Symphonieorchester des Bayerischen Rundfunks zwar einen herausragenden Klangkörper, dem aber anscheinend ein „akustisch optimaler und international konkurrenzfähiger Konzertsaal“⁴ fehlt. Diese Meinung ist zwar weit verbreitet und es wird viel Negatives über die Philharmonie berichtet. Doch es gibt auch gegenteilige Ansichten. Der Tonmeister des Gasteigs, Peter Brümmer, bezeichnet den Klang der Philharmonie beispielsweise als „[g]roß“⁵. Wie ist also die Akustik dort zu bewerten? Wegen seiner enormen Größe für Solo- und Kammermusik ungeeignet⁶, aber für wuchtige Symphonien durchaus brauchbar? Auf diese Einschätzung einigte sich die Fachwelt mehr oder weniger. Jetzt sollen im Zuge einer Generalsanierung die Philharmonie und die anderen Säle im Gasteig akustisch optimiert werden. Dazu wurde der renommierte Akustiker Yasuhisa Toyota beauftragt, der unter anderem auch die Elbphilharmonie in Hamburg mitplante. Wie er dieses Mammutprojekt bewältigt, wird die Zukunft zeigen.⁷

Diese Arbeit soll die Grundlagen der Raumakustik erläutern, um die Abläufe in einem solchen Konzertsaal zu verstehen. Durch die Messungen in der Schulaula und dem anschließenden Vergleich mit dem Gasteig soll ein differenziertes Bild der Akustik sowohl in der Aula als auch im Gasteig geschaffen werden, das dann eine Bewertung der Gegebenheiten möglich macht.

2 Etscheit, G., München ist verstimmt, in: <https://www.zeit.de/kultur/musik/2011-03/konzertsaal-debatte-muenchen>; Zugriff vom 02.08.2019

3 vgl. Blumberg, N., Simon Rattle, in: <https://www.britannica.com/biography/Simon-Rattle>; Zugriff vom 02.08.19

4 Etscheit, München ist verstimmt

5 Czeguhn, J., Schall und Hauch, in: <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/gasteig-schall-und-hauch-1.3129933>; Zugriff vom 02.08.19

6 vgl. Etscheit, G., „Das wird eine Elbphilharmonie auf Raten“, in: <https://www.welt.de/regionales/bayern/article137269818/Das-wird-eine-Elbphilharmonie-auf-Raten.html>; Zugriff vom 02.08.19

7 vgl. Gasteig München GmbH (Hg.), Toyota soll Akustik im Gasteig planen, in: <https://www.gasteig.de/neuigkeiten-toyota-soll-akustik-des-neuen-gasteig-planen.html,k1,n278>; Zugriff vom 02.08.19

2 Die Raumakustik

Die Raumakustik beschäftigt sich mit dem Teilgebiet der Akustik, die sich in geschlossenen Räumen abspielt. Begonnen hat die Forschung auf dem Gebiet der Raumakustik mit den steigenden Ansprüchen an Konzertsäle, Opernhäuser, Tonstudios und andere Räume, in denen eine gute Akustik von Bedeutung ist. Grundsätzlich beruht sie nicht nur auf naturwissenschaftlichen Erkenntnissen, sondern auch auf praktischen Beobachtungen und subjektiven Wahrnehmungen. Analog zur Optik gelten für Schallwellen die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie für Lichtwellen. Sie können an Oberflächen und deren Kanten reflektiert, absorbiert, gebrochen oder gestreut werden.⁸ Für die Akustik unter freiem Himmel, wie z.B. in einem Freilufttheater, gelten diese Regeln nur bedingt oder überhaupt nicht.

2.1 Raumakustische Merkmale in der Theorie

Im Allgemeinen wird in der theoretischen Raumakustik zwischen drei verschiedenen Teilgebieten unterschieden: die geometrische, die statische und die wellentheoretische Raumakustik. In der geometrischen Raumakustik betrachtet man die nach dem Reflexionsgesetz zurückgeworfenen Schallwellen, die an den Wänden eines Raumes reflektiert werden. Diese Schallwellen sind dann als Echos zu hören. Im Bereich der statischen Raumakustik wird die absorbierende Wirkung eines Raumes genauer untersucht. Die Energiedichte im Raum, die im Verlauf der Zeit nach dem Aussenden eines Tons abnimmt, ist für den Menschen als Nachhall zu hören und hat eine entscheidende Wirkung auf das menschliche Tonempfinden. Der dritte Teilbereich der Raumakustik ist die wellentheoretische Raumakustik. Sie behandelt auftretende Resonanzen, also Schwingungen des ganzen Raumes, die durch einen Ton einer bestimmten Frequenz angeregt werden. Dadurch kann sich die Klangfarbe eines Konzertsaaes, oder bei kleineren Räumen auch die Sprachverständlichkeit verschlechtern.⁹ In den folgenden Unterkapiteln werden die wichtigsten Erscheinungen der theoretischen Raumakustik aus den genannten Teilbereichen genauer untersucht, um später praktische Messungen und Beobachtungen beurteilen zu können.

⁸ vgl. Eggebrecht, H., unter dem Stichwort: Raumakustik, in: Riemann Musik Lexikon Sachteil, Mainz 1967/12, S. 781

⁹ vgl. Zita, K., unter dem Stichwort: Raumakustik, in: O. Höfling (Hg.), Lexikon der Schulphysik Band 1 Mechanik und Akustik, Köln 1978, S. 161ff

2.1.1 Anhall

In einem geschlossenen Raum teilt sich, anders als auf offenem Gelände, der Schall in einen direkten und einen reflektierten Schall auf. Während der direkte Schall nahezu ohne Verzögerung, abgesehen von der Zeit, die er für die Strecke zwischen Schallquelle und Hörer benötigt, hörbar ist, wird der reflektierte Schall über eine Wand oder eine Decke über Umwege geleitet. Da Schall sich mit einer gewissen Geschwindigkeit ($343 \frac{m}{s}$)¹⁰ ausbreitet und der reflektierte Schall einen längeren Weg zurücklegen muss, wird dieser erst später hörbar. Bis also an einem gewissen Punkt in einem Raum die volle Lautstärke des Tones hörbar ist, vergeht eine gewisse Zeit, die Anhallzeit genannt wird.¹¹ Dieses Kriterium wird aber in der Arbeit nicht weiter beachtet, da eine Änderung des Wertes unser Hörempfinden kaum beeinflusst und das Kriterium dadurch bei der akustischen Planung und Umsetzung meist keine große Rolle spielt.

2.1.2 Nachhall

Ähnliches wie für den Anhall eines Tones gilt auch für den Nachhall. Wird eine Schallquelle in einem Raum ausgeschaltet, ist der direkte Schall wieder fast gleichzeitig mit dem Ausschalten nicht mehr zu hören. Bis aber in den Raum wieder Ruhe einkehrt, vergeht noch einige Zeit. Dieser Effekt wird Nachhall, und die dafür benötigte Zeit Nachhallzeit genannt. Die Länge der Nachhallzeit ist essenziell für die Sprachverständlichkeit in einem Raum. Ist die Nachhallzeit zu groß, verschlechtert sich die Verständlichkeit. Bei zu kurzem oder fehlendem Nachhall wird der Ton jedoch als zu trocken empfunden. In einer Kirche zum Beispiel sind Töne oder Geräusche noch sehr lange nach ihrer Entstehung zu hören, weswegen sie mit anderen Tönen verschwimmen. Im Gegensatz dazu hört sich ein Raum trocken an, wenn sofort nach Aussenden eines Tones dieser wieder abgeklungen ist und fast kein Nachhall entsteht. Es ist also wichtig, für jede Darbietungsform von Musik oder Sprache, die richtige Nachhallzeit zu finden.¹²

10 Engelmann, L./Pehle, T. (Hg.), unter dem Stichwort: Schallgeschwindigkeiten, in: Formelsammlung Naturwissenschaften. mit Merkhilfe Mathematik Gymnasium Bayern, München 2013¹, S. 55

11 vgl. Stauder, W., Einführung in die Akustik, Wilhelmshaven 1980², S.165ff

12 Ebd., S. 167f

Nachhallzeiten für unterschiedliche Räume können zum Beispiel folgende sein:

| | |
|-------------|--|
| Tonstudio | 0,3 Sekunden (s) – 1,2 s |
| Oper | 1,5 s |
| Konzertsaal | 2,0 s |
| Kirchen | 2,5 s - 3,0 s (in Extremfällen sogar bis 12,0 s) |

Abbildung 1: Beispiele für Nachhallzeiten¹³

Die Messung der Nachhallzeit wird im praktischen Teil dieser Arbeit eine entscheidende Rolle spielen. Gemessen wird dabei die Zeit in Sekunden, in der die Energiedichte, also die Lautstärke in einem Raum, auf den millionsten Teil seines Ausgangszustandes gesunken ist.¹⁴ Richtwerte sind in der Norm DIN 18041 definiert, die in Abhängigkeit des Raumvolumens Nachhallzeiten mit Toleranzbereichen angibt.¹⁵

2.1.3 Wiederhall

Der Wiederhall, der oft auch als Echo bezeichnet wird, ist klar von dem oben genannten Nachhall abzugrenzen. Der Nachhall, der nach dem Abschalten einer Schallquelle noch zu hören ist, verschmilzt mit dem Primärschall und ist nicht als eigenständiger Ton zu hören. Wiederhall entsteht, wenn der Reflektor, der den Schall zurückwirft, mehr als 22m von der Schallquelle entfernt ist. Dadurch wird die Laufdifferenz größer als $\frac{1}{16}$ s und der Schall ist für das menschliche Gehör als eigenständiger Ton zu hören.¹⁶

2.1.4 Reflexion

Die Reflexion bezeichnet den Vorgang, bei dem eine Welle, die aus einer Richtung auf eine Fläche trifft, zurückgeworfen, also reflektiert wird. Dabei gilt immer: Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel (vgl. Anhang, Abb. 11). Neben der Reflexion an ebenen Flächen ist die Reflexion auch an gewölbten (konvexen und konkaven) Flächen möglich. Bei einer ebenen Fläche treten

13 Curdt, O., Grundlagen der Raumakustik, in: https://curdt.home.hdm-stuttgart.de/PDF/_Raumakustik%20AM3.pdf; Zugriff vom 26.03.19

14 Stauderer, Akustik, S. 168

15 Hunecke, J., Nachhallzeit, in: <http://www.hunecke.de/de/wissen/raumakustik/nachhallzeit.html>; Zugriff vom 27.03.19

16 Stauderer, Akustik, S. 168

parallel eintreffende Schallwellen auch wieder parallel aus. Wenn es sich um eine konkave Fläche handelt, findet eine Fokussierung statt (vgl. Anhang, Abb. 12). Das bedeutet, dass an einer Stelle im Raum die Schallintensität und somit die Lautstärke höher ist, da sich dort alle Schallwellen schneiden. Solche Flächen sind in Konzertsälen meist unerwünscht und werden nach Möglichkeit vermieden. Eine Streuung der Schallwellen findet hingegen bei konvexen Flächen statt (vgl. Anhang, Abb. 13). Der Schall verteilt sich dann gleichmäßiger im Raum, was der Akustik in einem Konzertsaal zugutekommt. Grundsätzlich gelten diese Gesetzmäßigkeiten nur, wenn die Wellenlänge des Schalles kleiner ist als die Fläche, auf die er auftrifft. Ansonsten tritt keine Reflexion, sondern eine Beugung des Schalles auf.¹⁷

2.1.5 Absorption

Im vorherigen Kapitel wurde bei der Reflexion von Schall angenommen, dass diese ohne Verluste stattfindet. In der Realität aber wird ein gewisser Anteil des Schalles an Flächen absorbiert, ein Teil ist also nicht mehr hörbar. Da die Schallabsorption, also die Fähigkeit Schall zu schlucken, bei unterschiedlichen Materialien verschieden groß ist, gibt es den sogenannten Absorptionskoeffizienten α , der beschreibt, wie groß der Anteil des absorbierten Schalles ist. Dieser Koeffizient kann entweder in Prozent von 0 bis 100 Prozent oder analog dazu in Dezimalzahlen von 0 bis 1 angegeben werden. 100 Prozent entspricht dabei einer kompletten Absorption des Schalles. Mit diesem Absorptionskoeffizienten lässt sich dann durch Multiplikation mit der Größe der Fläche die Schallabsorption berechnen. Daraus wiederum kann mit der Formel $\frac{V \cdot k}{A_{\text{ges}}} = T$ die Nachhallzeit in einem Raum berechnet werden, wobei T die Nachhallzeit, V das Raumvolumen in m^3 , A_{ges} die gesamte Absorption in diesem Raum und k eine Konstante mit dem Wert 0,163 ist. Zusätzlich erschwert werden solche Berechnungen durch, dass die Absorption frequenzabhängig ist, d.h. bei höheren oder tieferen Frequenzen verändert sich das Absorptionsverhalten und damit auch die Nachhallzeit.¹⁸ Da der Absorptionskoeffizient eine Materialkonstante ist, und es schwierig ist, diese für ganze Räume zu bestimmen, wird der Begriff Absorption in dieser Arbeit nur im qualitativen Zusammenhang benutzt.

¹⁷ vgl. Eggebrecht, Raumakustik, S.161ff

¹⁸ vgl. Ebd, S.170ff

2.2 Die Philharmonie im Gasteig

Die in den vorherigen Kapiteln erarbeiteten theoretischen Merkmale können nun auf die Praxis angewandt werden. Um genaue Einblicke in die Funktion, den Aufbau und die Ausstattung der Philharmonie im Gasteig zu bekommen, liegt diesem Teil der Arbeit eine Besichtigung des Gasteigs und ein Gespräch mit dem leitenden Tonmeister Peter Brümmer zugrunde. Bevor die Philharmonie genauer untersucht wird, wird noch ein kurzer Überblick über die Entstehung, den Aufbau und die Entwicklung des Gasteigs gegeben.

Die Gesamteröffnung des Gasteigs fand nach sieben Jahren Bauzeit am 10. November 1985 statt. Die Münchner Philharmoniker, die damit einen eigenen Konzertsaal für die meisten ihrer Konzerte bekamen, spielten zu Eröffnung unter Sergiu Celibidache den „Feierlichen Einzug“ von Richard Strauß. Im Haus gibt es fünf verschiedenen große Säle für die unterschiedlichsten musikalischen Darbietungen. Diese Arbeit befasst sich aber nur mit dem größten Saal, der Philharmonie. Im Jahr 2018 beschloss der Münchner Stadtrat, den Gasteig ab 2020 komplett zu entkernen und eine Generalsanierung durchzuführen. In den geplanten fünf Jahren Bauzeit werden die Philharmoniker und alle anderen Programmpunkte in ein Interimsgebäude in Sendlingen umziehen. 2025 soll dann der neue, akustisch komplett überarbeitete, Gasteig wiedereröffnet werden.¹⁹

2.2.1 Umsetzung der akustischen Merkmale

Die Philharmonie im Gasteig ist, mit einer Länge von der Bühnenkante bis zum letzten Zuschauer von 44m, einer maximalen Breite von 70m und 2387 Sitzplätzen, die größte Philharmonie in Deutschland.²⁰ Trotz dieser atemberaubenden Größe liegt die Nachhallzeit mit einem Wert von 2,4s bei 400Hz im optimalen Bereich. Im Vergleich zu anderen Sälen ist der Wert etwas höher, was aber der Größe des Raumes geschuldet ist.²¹ Beim Betreten des Saales fallen sofort die durchsichtigen Akustiksegel auf, die über der Bühne hängen (vgl. Anhang, Abb. 14). Sie sind, je nachdem welche Orchesterbesetzung spielt, bewegbar und sollen die Hörbarkeit der Instrumente untereinander verbessern. Da die Decke über der Bühne bis zu

19 vgl. Gasteig München GmbH (Hg.), Geschichte des Gasteigs, in: <https://www.gasteig.de/der-gasteig/geschichte-des-gasteig.html>; Zugriff vom 29.09.19

20 vgl. Brümmer, P., Transkript Interview, Zeit: 0:13 und 0:40 (vgl. Anhang, Abb. 22)

21 vgl. Brümmer, Transkript, 2:10 und 2:28

17m hoch ist, kommen die Reflexionen der Töne zu spät wieder unten an, um vernünftig zu hören, was auf der anderen Seite des Orchesters gespielt wird. Durch die Segel wird der Schall schneller zurückgeworfen, da er nicht so viel Strecke zurücklegen muss. Dadurch können sich auch weit voneinander entfernt stehende Musiker hören. Ähnliche Vorrichtungen gibt es auch in vielen anderen klassischen Konzertsälen, die eine zu hohe Deckenhöhe haben. Kurz nach der Eröffnung der Philharmonie gab es diese Segel noch nicht. Sie wurden erst nachträglich eingebaut, um es den Musikern zu erleichtern, sich und die anderen Instrumente zu hören.²² Damit die Musik aber nicht nur für die Musiker schön klingt, gibt es auch im Zuschauerraum einige typische Hilfsmittel, um die Hörqualität zu verbessern. Eine entscheidende Rolle spielen die konvexen Diffusoren an der Seite der Philharmonie. Durch ihre Form wird der Schall in alle Richtungen zurückgeworfen (vgl. Anhang, Abb. 15). Aufgrund dieser Streuung sind überall viele vermischte Reflexionen hörbar und nicht nur einzelne Instrumente oder sogar Echos.²³ Peter Brümmer beschreibt zur Veranschaulichung als Negativbeispiel ein leeres Parkhaus. Dort gibt es fast nur gerade und rechtwinklig zueinanderstehende Flächen. Wird hier eine Autotür laut zugeschlagen, ist der Schall noch sehr lange als Echo hörbar. Er ist also sozusagen zwischen den Säulen und Wänden eingesperrt und wird immer wieder hin und her reflektiert.²⁴

Um die Nachhallzeit in einem unbesetzten Saal genauso hoch zu halten wie in einem besetzten Saal, müssen die Absorptionseigenschaften des Publikums nachgeahmt werden. Denn auch während der Proben muss der Saal wie bei der Aufführung klingen. Um das zu erreichen, wurde bei der Gestaltung der Sitze auf eine Ähnlichkeit zum menschlichen Körper geachtet. Zuerst sollte man dazu wissen, dass der Kopf andere Absorptionseigenschaften hat, wie zum Beispiel ein weicher Pullover oder eine Jacke, die am Oberkörper getragen wird. Der Kopf absorbiert weniger Schall und reflektiert dafür eine größere Menge, er ist also schallhärter, während der Oberkörper eher schallweicher ist. So soll das freie Stück Holz über dem gepolsterten Sitz den Kopf simulieren. Durch Löcher an der hölzernen Unterseite des Sitzes wird der Körper nachgestellt, der relativ viel Schall absorbiert (vgl. Anhang, Abb. 16). Laut dem Tonmeister

22 vgl. [Brümmer](#), Transkript, 3:56 und 4:25

23 vgl. [Brümmer](#), Transkript, 5:15

24 vgl. [Brümmer](#), Transkript, 5:48

Peter Brümmer klingt der Saal auch unbesetzt nahezu genauso wie mit voll besetztem Publikum.²⁵

Besonders wichtig ist auch, dass in den letzten Reihen das Orchester noch gut zu hören ist. Hierfür wurde die Decke des Saales nach hinten leicht abfallend gebaut, sodass neben dem Primärschall, der direkt von den Musikern kommt, vor allem in den hinteren Reihen auch viel reflektierter Schall zu hören ist. Durch diese Abschrägung wird die Reflektion direkt nach unten auf das Publikum geleitet. Denselben Effekt haben auch die nach vorne überhängenden Elemente vor den Abgängen²⁶ (vgl. Anhang, Abb. 17).

2.2.2 Bewertung der Akustik

Zuerst sollte erwähnt werden, dass die Ansicht, wie gut ein Saal sich anhört, oft subjektiv ist. Jede Person kann also eine individuelle Meinung zu diesem Thema haben. Wie bereits im Vorwort dieser Arbeit erwähnt, spielt Sir Simon Rattle nicht gerne in der Philharmonie des Gasteigs. Laut Peter Brümmer ist die Akustik aber nicht so schlecht, wie sie oft von den Medien dargestellt wird. „Natürlich gibt es hier Plätze, die nicht so optimal sind“ sagt Brümmer²⁷, aber das liegt einfach an den großen Dimensionen und der Lage der Plätze. Plätze in den vorderen Reihen zum Beispiel hören die Instrumentengruppe vor sich viel lauter, als die weiter entfernten. Die Philharmonie werde viel schlecht geschrieben, aber das stimme nicht, meint Peter Brümmer²⁸. Vor allem im Vergleich zu anderen Konzertsälen schneidet der Gasteig nicht negativ ab. Wegen der großen Steigung im Publikumsraum sind fast alle Reihen durch Direkt-schall vom Orchester erreichbar. Dadurch klinge der Saal laut Brümmer, beispielsweise im Vergleich zum Concertgebouw in Amsterdam, sehr viel griffiger.²⁹

Durch den oben bereits erwähnten Umbau soll die Akustik nochmals verbessert werden. Das Publikum soll trotz gleichbleibender Zahl näher an die Bühne heranrücken. Dadurch soll es für Solosänger und Soloinstrumente leichter werden, den ganzen Saal auszufüllen, damit diese nicht durch elektronische Mittel verstärkt werden müssen.

25 vgl. Brümmer, Transkript, 7:17 und 7:53

26 vgl. Brümmer, Transkript, 8:48 und 9:01

27 Brümmer, Transkript, 13:17

28 vgl. Brümmer, Transkript, 13:17

29 vgl. Brümmer, Transkript, 17:21

Wie bereits beschrieben, eilt der Philharmonie im Gasteig ein nicht allzu positiver Ruf voraus. Ein eindrucksvolles Beispiel, wie diese Ansicht durch die Medien aufgeputscht wurde, zeigt ein Zitat des Komponisten und Dirigenten Leonard Bernstein. Er soll nach einem Konzert im Backstage-Bereich wutentbrannt „Burn it!“ geschrien haben. Von den Medien wurde das natürlich sofort als ein Kommentar über die Philharmonie und die vermeintlich schlechte Akustik aufgenommen. Obwohl Bernstein nur über die, seiner Meinung nach nicht ausreichend positive Reaktion des Publikums auf seine Komposition aufgebracht war, geriet die Akustik in München in Verruf.³⁰

Als Fazit kann man sagen, dass natürlich nicht jedem der Klang der Philharmonie gefällt. Oftmals mag das auf die riesigen Dimensionen des Saales zurückzuführen sein. Meiner eigenen Meinung nach ist das Orchester leider an manchen Plätzen sehr laut und an anderen etwas zu leise zu hören, aber im Allgemeinen hört sich der Saal gut an. Anhand der meistens fast vollständig gefüllten Vorstellungen lässt sich schließen, dass dem Großteil der Gäste ebenfalls die Darbietungen und somit auch der Klang in der Philharmonie gefallen.

2.3 Messung akustischer Merkmale in der Schulaula

Da die Schulaula des Gymnasiums regelmäßig für Vorträge, Konzerte oder Versammlungen genutzt wird, stellt sich natürlich die Frage, wie geeignet die Akustik der Aula für diese verschiedenen Veranstaltungsformen ist. Natürlich kann und muss die Aula nicht den gleichen akustischen Ansprüchen wie die Philharmonie im Gasteig entsprechen, aber zumindest sollte eine in Grundzügen annehmbare Akustik vorhanden sein. Im nachfolgenden Teil der Arbeit wird anhand von Experimenten vor allem der Nachhall der Schulaula untersucht und eine Bewertung abgegeben.

2.3.1 Versuchsaufbau für die Messung

Um die entsprechenden Werte für eine Beurteilung der Aula zu erhalten, müssen zuerst eigene Messungen durchgeführt werden. Hierfür wurde die kostenlose Software AcouCheck der

³⁰ vgl. Brümmer, Transkript, 14:10

Bergischen Universität Wuppertal benutzt.³¹ Die Aufzeichnung der Werte wurde am 30.07.2019 vorgenommen. Da dieser Termin in den Schulferien lag, war es sehr leise in der Aula und es konnte eine hohe Genauigkeit der Ergebnisse gewährleistet werden. Für die Messung wurde neben der Software AcouCheck noch das Mikrofon Sonotronics STC-20, ein Großmembran Kondensator Mikrofon mit einem typischem Frequenzgang von 20Hz bis 20kHz verwendet, das über Phantomspannung (48V) betrieben wird. Das Mikrofon wurde mit einem XLR Kabel an ein Steinberg UR12 Audiointerface und an den Laptop mit der entsprechenden Software angesteckt. Als Schallquelle für die Messungen diente eine entspannte Snare-Drum, die mit einem Drumstick schnell und stark angespielt wurde und dann sofort mit der flachen Hand gedämpft wurde. So wurde ein einziger lauter Ton erzeugt, der im Raum nachhallen konnte. Die Software lässt bis zu 12 Einzelmessungen zu, bei denen verschiedene Quellen und Mikrofonpositionen gewählt werden können. Als Quellenpositionen wurden 4 verschiedene Stellen, jeweils auf der Bühne, im vorderen, im mittleren und im hinteren Teil des Zuschauerraums, jeweils mittig in der Aula gewählt und durch am Boden liegende Bücher markiert. Für das Mikrofon wurden von der Bühne aus gesehen Positionen vorne links, mittig rechts und hinten links verwendet. Bei der Kombination aller Quellen- und Mikrofonpositionen ergaben sich 12 verschiedene Aufstellungen und somit eine gute räumliche Abdeckung. Die Aula war bis auf das Messequipment und einige Tische leer. (vgl. Anhang, Abb. 18,19,20)

2.3.2 Ergebnisse

Für die später erfolgende genaue Auswertung der Ergebnisse wird das Raumvolumen der Aula benötigt. Da die Aula aber keinen rechteckigen Grundriss hat, und die verschiedenen Treppen und Bühnen nicht parallel sind, und dadurch schwer zu messen sind, kann nur ein ungefähres Ergebnis angegeben werden. Die Software AcouCheck akzeptiert auch nur auf die Hunderterstelle gerundete Volumenangaben. Deshalb fällt die ungenaue Messung nicht allzu stark ins Gewicht. Das Volumen wurde vereinfacht folgendermaßen berechnet:

31 Software zur Messung von raumakustischen Parametern: AcouCheck, Bergische Universität Wuppertal (Hg.), in: <https://www.btga-arch.uni-wuppertal.de/index.php?id=2317>; Zugriff vom 26.03.19

$$\begin{aligned}
 V &= V_{\text{ganz}} - V_{\text{Bühne}} = l * b * h - l_b * b_b * h_b = \\
 &= 29,5\text{m} * \left(\frac{16,1\text{m} + 14,1\text{m}}{2} \right) * 4,1\text{m} - 4,6\text{m} * 14,1\text{m} * 0,9\text{m} = \\
 &= 1767,971\text{m}^3
 \end{aligned}$$

Die Werte sind auf der nicht maßstabsgetreuen Skizze erkennbar (vgl. Anhang, Abb. 21). Bei der Breite der Aula wird ein gemittelter Wert zur Vereinfachung verwendet. Die Seitenteile der Bühne wurden nicht berücksichtigt, da diese sich ungefähr mit den links und rechts abgehenden Gängen ausgleichen. Im Versuch wird der gerundete Wert von 1800m³ verwendet.

Nachdem die 12 Einzelmessungen, aufgeteilt nach Frequenzen, durchgeführt wurden, ergeben sich folgenden Werte für die Nachhallzeiten.

| Einzel-Messungen | | | | | | | | | | | |
|------------------|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|----------------|----------------------|
| Nr. | Nachhallzeiten [s] (Qualität 0..9) | | | | | | | | Posi- tionen | Meß- Signal | Messung verwendet |
| | 63 Hz | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz | 8 kHz | | | |
| 1 | 2.42 (7) | 1.07 (8) | 1.10 (8) | 1.18 (9) | 1.39 (9) | 1.37 (9) | 1.32 (9) | 0.97 (9) | A 1 | Impuls | ja |
| 2 | 3.34 (1) | 0.95 (8) | 0.96 (8) | 1.34 (9) | 1.35 (9) | 1.42 (9) | 1.44 (9) | 1.06 (9) | B 1 | Impuls | ja |
| 3 | 2.27 (5) | 1.15 (9) | 1.13 (9) | 1.32 (9) | 1.38 (9) | 1.41 (9) | 1.43 (9) | 1.09 (9) | C 1 | Impuls | ja |
| 4 | 3.34 (1) | 0.95 (8) | 0.96 (8) | 1.34 (9) | 1.35 (9) | 1.42 (9) | 1.44 (9) | 1.06 (9) | D 1 | Impuls | ja |
| 5 | 2.27 (5) | 1.15 (9) | 1.13 (9) | 1.32 (9) | 1.38 (9) | 1.41 (9) | 1.43 (9) | 1.09 (9) | A 2 | Impuls | ja |
| 6 | 1.04 (9) | 1.00 (8) | 1.02 (9) | 1.26 (9) | 1.34 (9) | 1.40 (9) | 1.39 (9) | 1.04 (9) | B 2 | Impuls | ja |
| 7 | 1.64 (8) | 0.78 (9) | 0.80 (9) | 1.18 (9) | 1.36 (9) | 1.40 (9) | 1.39 (9) | 1.00 (9) | C 2 | Impuls | ja |
| 8 | 2.54 (6) | 0.92 (6) | 0.93 (8) | 1.25 (9) | 1.37 (9) | 1.39 (9) | 1.40 (9) | 1.04 (9) | D 2 | Impuls | ja |
| 9 | -- | 1.15 (8) | 1.23 (9) | 1.41 (9) | 1.36 (9) | 1.39 (9) | 1.45 (9) | 1.10 (9) | A 3 | Impuls | ja |
| 10 | -- | 1.07 (9) | 1.05 (9) | 1.29 (9) | 1.36 (9) | 1.41 (9) | 1.44 (9) | 1.09 (9) | B 3 | Impuls | ja |
| 11 | 1.58 (9) | 0.89 (7) | 0.93 (8) | 1.21 (9) | 1.37 (9) | 1.39 (9) | 1.42 (9) | 1.00 (9) | C 3 | Impuls | ja |
| 12 | 6.73 (2) | 0.79 (8) | 0.88 (9) | 1.34 (9) | 1.24 (9) | 1.38 (9) | 1.40 (9) | 1.03 (9) | D 3 | Impuls | ja |

Abbildung 2: Messungen der Nachhallzeiten

Für die verschiedenen Frequenzen von 63Hz bis 8kHz sind jeweils, nach Messungsnummer sortiert, die Nachhallzeiten angegeben. Die Zahl in Klammern hinter dem Wert ist eine Angabe über die Qualität der Messung, wobei null qualitativ schlecht und neun qualitativ hochwertig bedeutet. Zusätzlich werden die Position der Schallquelle als Buchstabe von A bis D und die Position des Mikrofons von eins bis drei angegeben. Die Qualität der Messungen kann im Allgemeinen als gut angesehen werden, da der Qualitätsindex im Wesentlichen zwischen acht und neun liegt. Nur bei den Messungen im tiefen Frequenzbereich gibt es einige schlechtere Bewertungen und zwei nicht aufgezeichnete Werte. Diese Ungenauigkeiten sind auf die Messmethoden und die Ausrüstung zurückzuführen, die nicht hochprofessionell sind. Sie wirken sich allerdings nicht negativ auf die Verwendbarkeit des Experiments aus, da diese Frequenzen für das menschliche Hörempfinden nicht ausschlaggebend sind.

Für einen besseren Überblick wurden die 12 Einzelmessungen zu einer gemittelten Nachhallzeit pro Frequenz zusammengeführt.

| Gemittelte Nachhallzeiten [s] aus 12 Messungen | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|--|
| 63 Hz | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz | 8 kHz | Breitband (250Hz.. 2kHz) | |
| 2.72 | 0.99 | 1.01 | 1.29 | 1.35 | 1.40 | 1.41 | 1.05 | 1.26 | |

Abbildung 3: Gemittelte Nachhallzeiten

Der Wert „Breitband“ ergibt sich aus den Durchschnittswerten für 250Hz, 500Hz, 1kHz und 2 kHz.

Auch hier ist wieder der Wert bei 63Hz auffällig, der deutlich über den restlichen Werten liegt.

Neben den oben präsentierten Werten hat die Software zudem mit verschiedenen anderen Messkriterien Nachhallzeiten ermittelt (z.B. T20, T30, EDT). Die Auswertung dieser Daten wäre aber zu aufwendig und sind für das Ergebnis nicht entscheidend.

Außer den Werten für die Nachhallzeit kann die Software zusätzlich die Schwerpunktzeit (Center Time) Ts messen. Sie bezeichnet die Zeit in Millisekunden, nach welcher die bereits eingetroffene Schallenergie gleich der Schallenergie ist, die nach Ts eintrifft. Damit beschreibt sie relativ genau die Schallwirkung in der Praxis. Werte zwischen 60ms und 80ms im Bereich zwischen 500Hz und 4kHz bedeuten eine gute Sprachverständlichkeit.³²

| Einzel-Messungen Nr. | Ts Schwerpunktzeiten [ms] | | | | | | | | Posi- tionen | Meß- Signal | Messung verwendet |
|-------------------------|------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-----------------|----------------|----------------------|
| | 63 Hz | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz | 8 kHz | | | |
| 1 | 44.84 | 47.06 | 47.94 | 49.82 | 57.81 | 78.87 | 78.15 | 53.27 | A 1 | Impuls | ja |
| 2 | 55.31 | 105.7 | 106.0 | 97.98 | 140.4 | 138.3 | 132.7 | 97.15 | B 1 | Impuls | ja |
| 3 | 67.88 | 60.53 | 78.99 | 110.7 | 114.4 | 111.5 | 99.85 | 77.19 | C 1 | Impuls | ja |
| 4 | 55.31 | 105.7 | 106.0 | 97.98 | 140.4 | 138.3 | 132.7 | 97.15 | D 1 | Impuls | ja |
| 5 | 67.88 | 60.53 | 78.99 | 110.7 | 114.4 | 111.5 | 99.85 | 77.19 | A 2 | Impuls | ja |
| 6 | 47.06 | 48.32 | 53.72 | 65.58 | 76.62 | 87.37 | 69.56 | 47.84 | B 2 | Impuls | ja |
| 7 | 31.60 | 51.00 | 53.74 | 79.94 | 72.69 | 78.12 | 65.81 | 38.43 | C 2 | Impuls | ja |
| 8 | 88.52 | 71.46 | 86.60 | 92.87 | 121.4 | 111.1 | 113.8 | 82.49 | D 2 | Impuls | ja |
| 9 | 103.1 | 101.6 | 112.1 | 90.00 | 114.8 | 103.1 | 97.85 | 77.47 | A 3 | Impuls | ja |
| 10 | 105.8 | 55.21 | 64.67 | 93.30 | 117.0 | 108.7 | 101.2 | 72.04 | B 3 | Impuls | ja |
| 11 | 31.66 | 64.36 | 63.80 | 72.47 | 75.04 | 72.30 | 62.30 | 40.70 | C 3 | Impuls | ja |
| 12 | 72.55 | 67.79 | 67.88 | 79.14 | 86.83 | 71.26 | 65.92 | 46.60 | D 3 | Impuls | ja |

Abbildung 4: Messungen der Schwerpunktzeit

Für die Auswertung im nächsten Kapitel werden bei diesen Messkriterien nur die Werte für 500Hz bis 4kHz betrachtet. Aufgrund der großen Varianz wird für jede dieser Frequenzen ein Durchschnittswert ermittelt.

| 500Hz | 1kHz | 2kHz | 4kHz | 500Hz-4kHz |
|----------|-----------|-----------|----------|------------|
| 87,71 ms | 102,65 ms | 100,87 ms | 95,89 ms | 96,78 ms |

Abbildung 5: Gemittelte Schwerpunktzeiten

32 vgl. HifiPilot GmbH (Hg.), Sprachverständlichkeit, in: <https://www.design-heimkino.de/wissenswertes/sprachverst%C3%A4ndlichkeit/>; Zugriff vom 29.09.19

2.3.3 Auswertung

Für die Auswertung stellt AcouCheck Vergleichsmöglichkeiten mit der DIN 18041 aus dem Jahr 2004 und 2016 für die Bereiche Musik, Sprache/Vortrag, Unterricht/Kommunikation und Sport bereit. Im Folgenden werden zwei Szenarien beschrieben und diese dann mit den entsprechenden Richtwerten verglichen. Im ersten Fall wird von einer Musikveranstaltung in der Aula ausgegangen. Dafür sind durch die DIN18041 folgende Richtwerte für den Nachhall vorgegeben.

Vergleichs-Kriterium: DIN 18041 (2016) 'Musik' (1800 m³)

Empfohlene Nachhallzeiten [s] für die Nutzungsart: (1800 m³)

| | 63 Hz | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz | 8 kHz |
|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| empf. | 1.53 | 1.53 | 1.53 | 1.53 | 1.53 | 1.53 | 1.53 | 1.53 |
| max. | 2.61 | 2.23 | 1.84 | 1.84 | 1.84 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| min. | 0.77 | 1.00 | 1.23 | 1.23 | 1.23 | 1.23 | 1.00 | 0.77 |

Abbildung 6: DIN 18041 für Musik

Angegeben sind immer der empfohlene Durchschnittswert und ein Toleranzbereich von einem minimalen bis zu einem maximalen Wert. Beim Vergleich mit den vorher gemessenen und vorgestellten Werten ergibt sich folgendes Diagramm.



Abbildung 7: Vergleich der Messung mit der DIN 18041

Der lila Graph zeigt die gemessenen Werte, der schwarze Graph die empfohlene Nachhallzeit und der grüne Bereich gibt den Toleranzbereich an. Für die Bewertung der Akustik ist auffällig, dass der gemessene Wert immer unter dem empfohlenen liegt, bei 125Hz und 250Hz sogar unterhalb des Toleranzbereichs. Das bedeutet, dass der Nachhall für die Dar-

bietung von Musik zu kurz ist, der Schall also zu schnell vom Raum absorbiert wird. Dadurch erscheint der Klang als trocken und leer.

Für den zweiten Vergleich gehen wir von einem Vortrag aus, bei dem ein Sprecher auf der Bühne etwas präsentiert. Hier werden die Vergleichswerte aus der DIN18041 für den Bereich Sprache und Vortrag herangezogen.

Vergleichs-Kriterium: DIN 18041 (2016) 'Sprache / Vortrag' (1800 m³)
Empfohlene Nachhallzeiten [s] für die Nutzungsart: (1800 m³)

| | 63 Hz | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz | 8 kHz |
|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| empf. | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.06 |
| max. | 1.81 | 1.54 | 1.28 | 1.28 | 1.28 | 1.28 | 1.28 | 1.28 |
| min. | 0.53 | 0.69 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.69 | 0.53 |

Abbildung 8: DIN 18041 für Sprache/Vortrag

Sofort erkennbar ist, dass die Werte deutlich unter den oben genutzten Empfehlungen Musik (s. Abb. 6) liegen, da für einen Vortrag beispielsweise eine größere Sprachverständlichkeit nötig ist als für Musik. Beim Vergleich der gemessenen Ergebnisse mit den Empfehlungen für Sprache und Vortrag kommt man zu folgendem Diagramm.

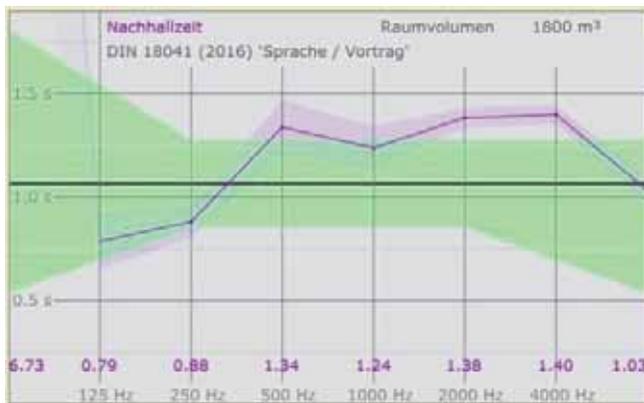


Abbildung 9: Vergleich der Messung mit der DIN 18041

Hier zeichnet sich ein ganz anderes Bild ab. Die gemessenen Daten liegen nur für 125Hz und 150Hz unter dem empfohlenen Wert, aber noch im Toleranzbereich. Alle anderen Frequenzen liegen darüber und bei 500Hz, 2000Hz und 4000Hz sogar außerhalb des grünen Bereichs. Damit bei einem Vortrag jedes einzelne Wort gut zu verstehen ist, sollte die Nachhallzeit relativ gering sein, da sonst die letzte Silbe oder das letzte Wort noch im Raum nachhallen, während schon das nächste Wort gesprochen wird. Die Wörter verwaschen sich dann und werden unverständlich. Diese Gefahr droht auch in der Aula, denn die Werte liegen teilweise recht hoch über dem empfohlenen Wert.

Die Ergebnisse der beiden Szenarien spiegeln immer die Situation in einer leeren Aula wider. Aber natürlich findet dies in der Realität nicht so statt. Anhand des zweiten Gedankenexperiments wird nun die Veränderung durch einen vollen Zuschauerraum untersucht. Die Aula ist aufgrund der Brandschutzverordnung für 199 auf Stühlen sitzende Personen zugelassen. In der Software AcouCheck können verschiedene akustikverändernde Elemente simuliert werden. In diesem Fall werden 200 sitzende Zuschauer simuliert.

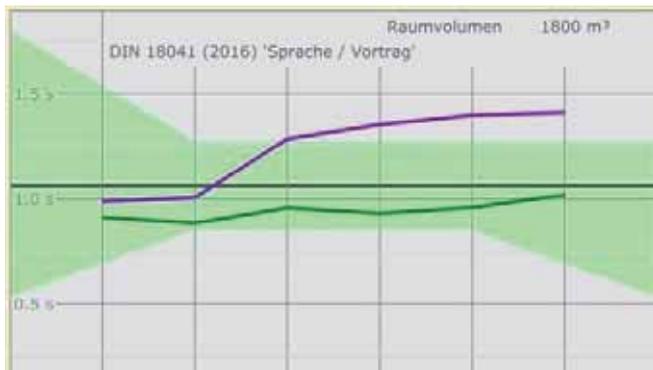


Abbildung 10: Nachhallzeit mit vollbesetzter Aula

Der lila Graph zeigt die vorher gemessenen und beschriebenen Werte (aus einem mir nicht bekannten Grund wurde der Graph hier etwas mehr gemittelt als oben). In dunkelgrün sind die Nachhallzeiten mit 200 dicht sitzenden Personen angegeben. Sofort ist erkennbar, dass durch die zusätzlichen Personen der Schall we-

sentlich schneller absorbiert wird. Die Werte liegen deutlich unter den zuvor gemessenen und sogar knapp unter den empfohlenen Werten aber noch im Toleranzbereich. Die Sprachverständlichkeit hat sich demnach enorm verbessert und kann nahezu als perfekt angesehen werden.

Wenn man dieses Ergebnis auf die Musiksituation bezieht, haben die Zuschauer jedoch eine negative Wirkung auf den Klang. In Abb. 7 ist erkennbar, dass die Nachhallzeit deutlich unter den empfohlenen Werten liegt. Die absorbierende Wirkung der Zuschauer senkt sie nochmals und verschlechtert somit erheblich den Klang.

Der Schwerpunktzeit soll im Folgenden noch kurze Aufmerksamkeit zukommen.

Bei der Schwerpunktzeit T_s gilt, wie bereits unter 2.3.2 erwähnt, dass Werte zwischen 60ms und 80ms eine gute Sprachverständlichkeit bedeuten. Sind diese Werte kürzer, ist der größte Teil des Schalles schon zu früh eingetroffen. Ist der Wert zu groß, braucht der Großteil des Schalles zu lang, bis er zu seinem Bestimmungsort gelangt. In beiden Fällen können sich dann die Schallwellen einzelner hintereinander gesprochener Worte überlagern. Alle gemessenen Werte liegen deutlich über 80ms. Der Durchschnittswert für 500Hz- 4kHz liegt mit fast 98ms um 18ms über dem Sollwert. Zu beachten ist, dass sich diese Werte wieder auf eine leere Aula beziehen. Diese Erkenntnis deckt sich erneut mit den obigen Ergebnissen, die belegen, dass die Sprachverständlichkeit in einer leeren Aula nicht gut ist. Bei einem voll besetzten Saal ist aber von einer Besserung der Werte auszugehen.

2.3.4 Gesamte Beurteilung der Akustik

Einen so vielseitig genutzten Raum wie die Schulaula für alle Anwendung akustisch optimal zu gestalten ist nahezu unmöglich. Deshalb ergeben sich für die verschiedenen Nutzungsarten auch unterschiedliche Ergebnisse, was eine gute oder schlechte Akustik betrifft. Die nicht ganz optimale Akustik lässt sich zusätzlich auch dadurch erklären, dass die Schule in den 1970er Jahren gebaut wurde und damals die Richtlinien zur Akustik nicht entsprechend differenziert waren und der Fokus bei solchen Bauten immer mehr auf dem Aussehen und der architektonischen Gestaltung lag.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Aula grundsätzlich besser für Vorträge, als für musikalische Darbietungen geeignet ist. Die Sprachverständlichkeit wird durch die relativ kurze Nachhallzeit vor allem bei voller Aula unterstützt, sodass auch schneller sprechende Redner noch gut zu verstehen sind. Diese Erkenntnisse decken sich auch mit den subjektiven Erfahrungswerten aus der Aula. Sei es unverstärkt, oder verstärkt, einzelne Silben sind immer gut herauszuhören und die Wörter sind verständlich. Die für die Sprache vorteilhafte Akustik wirkt sich allerdings nicht positiv auf musikalische Darbietungen aus. Erfahrungen in diesem Bereich zeigen, dass durch die kurze Nachhallzeit die Musik nicht lange genug im Raum stehen bleibt. Das bedeutet, sie verklingt zu schnell wieder. Da die meisten Konzerte bei vollbesetztem Saal stattfinden, verringert sich die Nachhallzeit, wie oben beschrieben nochmals, was der Musik nicht vorteilhaft zugutekommt. Dadurch klingt sie trocken, wenig voluminös und kann auf Dauer langweilig werden. Im Bereich der unverstärkten Darbietung ist daran kaum etwas zu verändern. Bei abgenommenen und elektronisch verstärkten Instrumenten oder Stimmen kann mithilfe der Einstellung von verschiedenen Effekten, wie z.B. Hall oder Reverb, beim Mischen des Tones nachträglich eine Verbesserung durchgeführt werden.

2.4 Vergleich mit dem Gasteig

Natürlich ist der direkte Vergleich einer Schulaula mit einem Konzertsaal schwierig, da die Bauanlässe und die Schwerpunkte in der Planung sehr unterschiedlich sind. Trotzdem lassen sich die einzelnen Erkenntnisse der beiden Räume miteinander vergleichen.

Die Nachhallzeit der Philharmonie im Gasteig beträgt 2,4s und liegt wie oben beschrieben damit genau im richtigen Bereich für klassische Orchester. In der Schulaula liegt der gemittelte

Wert aus den 12 durchgeführten Messungen bei 1,26s. Damit liegt der Wert der Aula fast um die Hälfte unter dem Wert der Philharmonie. Dieser Unterschied von fast 1,2s ist auch für das ungeübte Ohr hörbar. Der ausgesendete Schall in der Philharmonie benötigt also fast 1,2s länger, bis er auf den millionsten Teil seiner anfänglichen Energie gesunken ist. Auf das Hörempfinden wirkt sich dies, wie bereits oben dargestellt, in der Folge so aus, dass die Sprachverständlichkeit in der Philharmonie relativ schlecht ist, sich Musik aber dort umso besser anhört. Da in der Philharmonie im Wesentlichen Musik aufgeführt wird, ist diese Erkenntnis als positiv einzustufen. In der Aula ist es, wie unter 2.3.4 ausgeführt, umgekehrt der Fall.

Während in der Philharmonie durch bautechnische Maßnahmen dafür gesorgt wird, dass der Schall auch in den hinteren Reihen noch möglichst gut zu hören ist, gibt es solche konvexen und überhängenden Flächen in der Schulaula nicht. Dadurch gelangt der Schall nicht so gut nach hinten, was durchaus hörbar ist, aber nicht zu sehr ins Gewicht fällt, da die Aula nicht lang ist.

Einen weiteren wesentlichen Unterschied stellen die Materialien an Wänden, Boden und Decke dar. Die Philharmonie ist an den Wänden und an der Decke hauptsächlich mit Holz ausgekleidet, und der Boden ist aus Parkett (vgl. Anhang, Abb. 15). Die Aula hat verputzte Ziegelwände, einen Steinboden und die Decke besteht aus Gipsplatten mit Löchern (vgl. Anhang, Abb. 16). Bis auf diese Gipsplatten ist die Verkleidung somit viel schallhärter und mit weniger Struktur als in der Philharmonie. Dadurch wird der Schall bei der Reflektion weniger gestreut und der Klang wirkt nicht gleichmäßig.

Im Gasteig bleibt der Wert der Nachhallzeit sowohl bei leerem Saal als auch bei voll besetzten Plätzen gleich. In der Aula ist das vermutlich nicht der Fall. Die Nachhallzeit mit Publikum wurde zwar nur in einer Simulation festgestellt, aber da es keine Maßnahmen zum Ausgleich der Absorptionsfunktion des Publikums gibt, ist davon auszugehen, dass die Praxis dieses Ergebnis bestätigen würde. Dadurch unterscheiden sich Probensituation und Aufführung hier deutlich.

Abschließend lässt sich feststellen: Zwei sehr unterschiedliche Säle wurden auf ihre Gemeinsamkeiten und Unterschiede untersucht und anhand von genannten Kriterien kommen zwei verschiedene Ergebnisse zustande. Der Gasteig hat nicht nur positive Seiten, sondern auch Nachteile und die Schulaula ist tatsächlich für Vorträge sehr gut geeignet. Allerdings sollte das

klassische Orchesterkonzert oder das Klavierkonzert besser in der Philharmonie oder einem ähnlichen Saal und nicht in der Aula aufgeführt werden.

3 Architektur vs. Akustik

Vor allem bei der Planung von neuen Konzertsälen, wie z.B. der Elbphilharmonie in Hamburg steht die optimale Akustik bei der Realisierung nicht immer im Vordergrund. Ein größeres Augenmerk wird auf eine besondere und einzigartige Architektur gelegt. Oftmals sind eine gute Akustik und eine ansprechende Architektur nicht miteinander vereinbar. Der Akustiker, der natürlich auch an der Planung eines Konzertsaales beteiligt ist, bekommt manchmal nur eine korrigierende Rolle zugeteilt. Er tritt nicht gestalterisch in den Vordergrund wie der Architekt, sondern verbessert nur die größten akustischen Fehlplanungen. Die in den 1960ern gebaute Philharmonic Hall in New York wurde beispielsweise nur wenige Jahre später komplett abgerissen und durch ein neues Gebäude ersetzt, weil dort die Akustik angeblich komplett falsch geplant war.³³

In den wirklich alten Konzertsälen aus dem Barock oder der Klassik spricht man aber fast immer von einer guten Akustik. Hier handelt es sich meistens um Rechteckräume, bei denen kein Architekt einen besonders ausgefallenen Grundriss geplant hatte. Die Balkonkanten, Verzierungen und der Putz tragen zu einer gleichmäßigen Schallabsorption bei und verteilen den Schall überall im Raum. Diese Säle wurden aber ohne die Mitarbeit eines Akustikers gebaut. So gehört z.B. der Saal der Musikfreunde in Wien zu den legendärsten und besten seiner Art, was die Akustik anbelangt.³⁴

Verbauen also die Architekten der modernen Säle die gute Akustik?

Für die Philharmonie im Gasteig lautet die Antwort „Jein“. Wie aus dieser Arbeit hervorgeht, ist die Größe der Philharmonie ein Hindernis für eine optimale Akustik, jedoch ist ihre Raumform optisch ansprechend und kommt dem Klang und somit dem Genuss der Konzerte zugute.

³³ Jecklin, J., Architektur für die Musik, in: <http://contrapunkt-online.net/architektur-fuer-die-musik/>; Zugriff vom 27.03.19

³⁴ Ebd.

4 Anhang

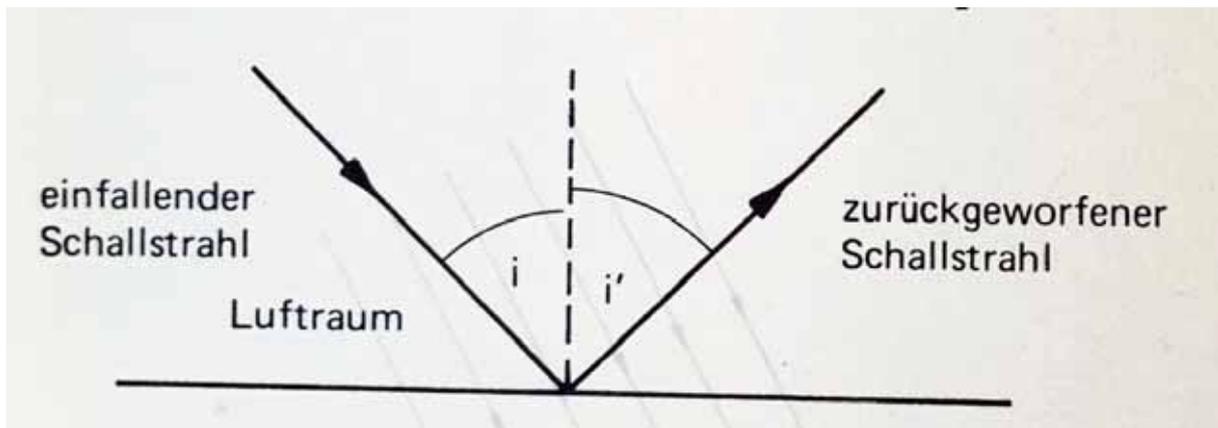


Abbildung 11: Reflexionsgesetz³⁵

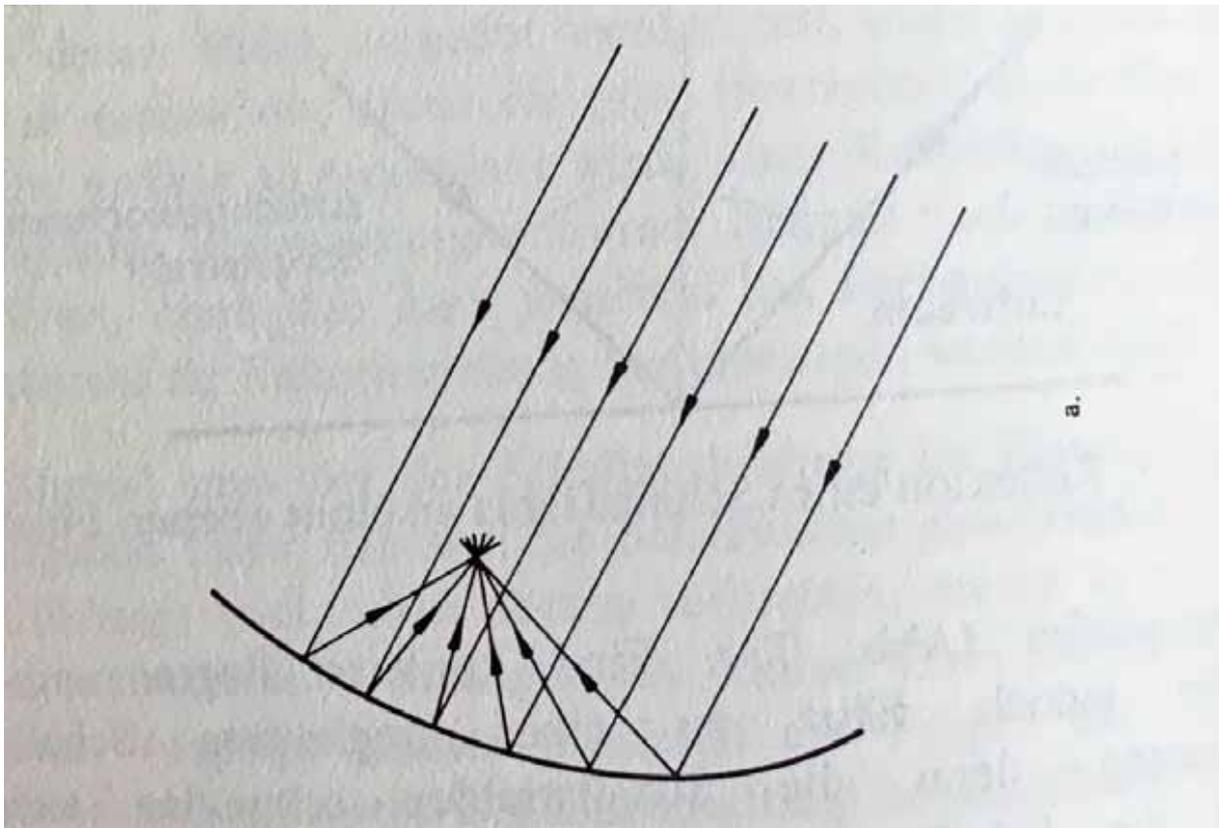


Abbildung 12: Reflexion an konkaver Fläche³⁶

35 aus: Stauder, W., Einführung in die Akustik, Wilhelmshaven 1980², S. 161
36 aus: Ebd. S. 162

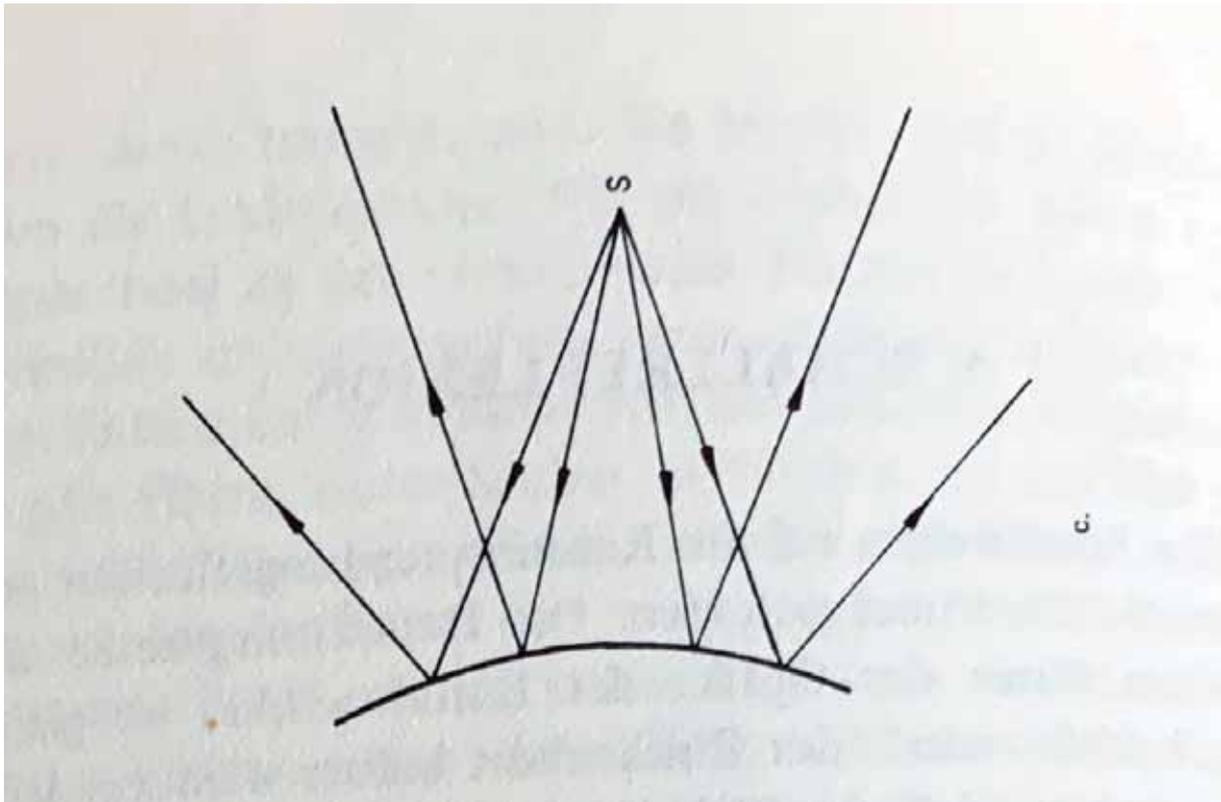


Abbildung 13: Reflexion an konvexer Fläche³⁷



Abbildung 14: Akustiksegel über der Bühne³⁸

37 aus: Ebd.

38 aus: Gasteig München GmbH (Hg.), Matthias Schönhofer, Pressefotos, in: <https://www.gasteig.de/der-gasteig/presse/pressefotos-gasteig.html,pf2>; Zugriff vom 29.09.19



Abbildung 15: Diffusoren an den Wänden³⁹



Abbildung 16: Publikumssitze⁴⁰

39 aus: Gasteig München GmbH (Hg.), Robert Götzfried, Pressefotos, in: <https://www.gasteig.de/der-gasteig/presse/pressefotos-gasteig.html,pf2>; Zugriff vom 29.09.19

40 aus: Gasteig München GmbH (Hg.), Christian Trojok/Freilicht, Pressefotos, in: <https://www.gasteig.de/der-gasteig/presse/pressefotos-gasteig.html,pf2>; Zugriff vom 29.09.19



Abbildung 17: Abschrägung hinten an Decke und über Abgängen⁴¹



Abbildung 18: Versuchsaufbau in der Aula mit Mikrofonposition¹⁴²

41 aus: Gasteig München GmbH (Hg.), Mina Esfandiari, Pressefotos, in: <https://www.gasteig.de/der-gasteig/presse/pressefotos-gasteig.html,pf2>; Zugriff vom 29.09.19

42 Bossler, Maximilian, 30.07.19, Gymnasium Moosburg, Aula



Abbildung 19: Versuchsaufbau in der Aula mit Mikrofonposition 2⁴³



Abbildung 20: Versuchsaufbau in der Aula mit Mikrofonposition 3⁴⁴

43 Bosser, Maximilian, 30.07.19, Gymnasium Moosburg, Aula

44 Bosser, Maximilian, 30.07.19, Gymnasium Moosburg, Aula

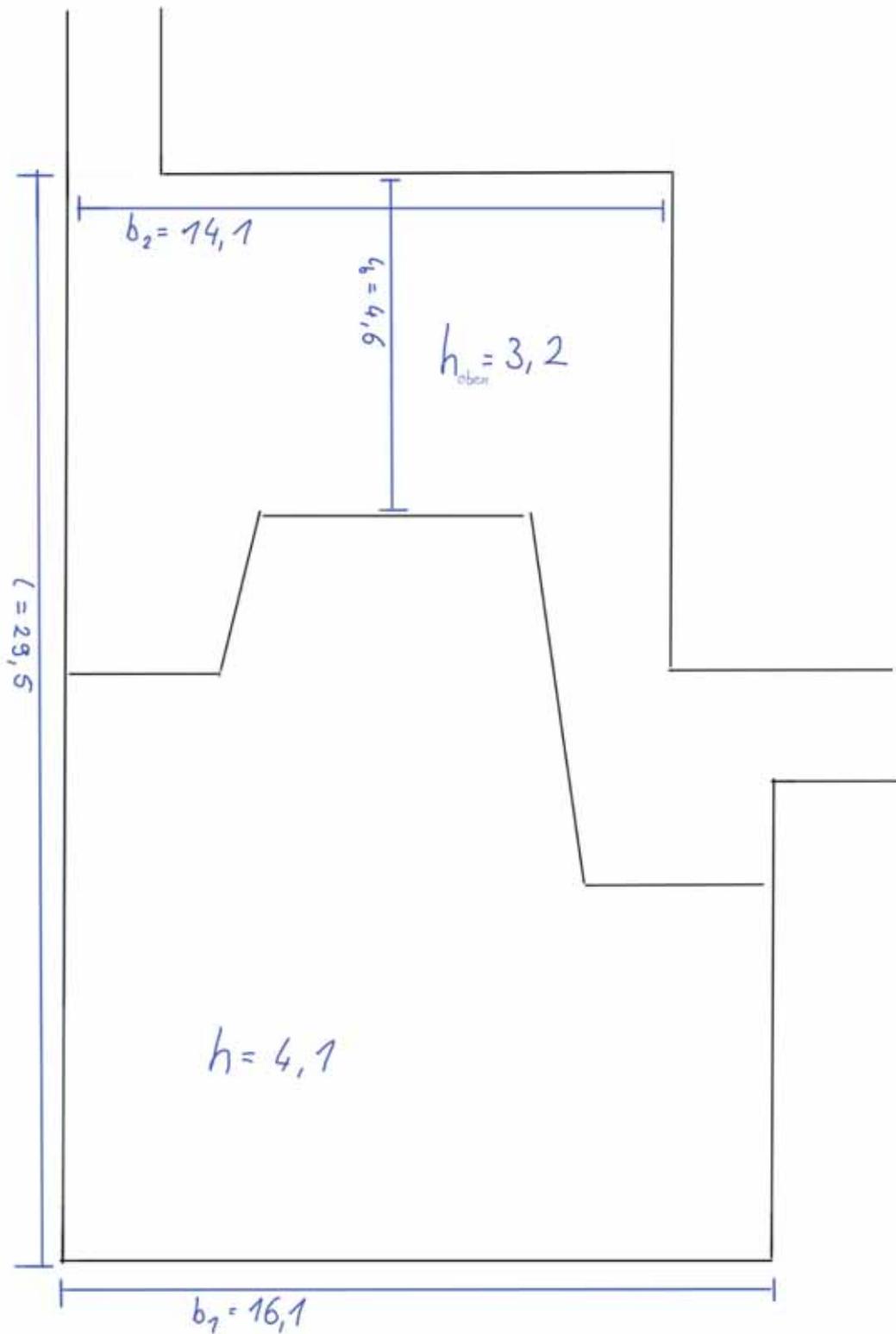


Abbildung 21: Skizze der Schulaula (nicht maßstabsgetreu)⁴⁵

| Zeit (min:s) | Aussage (als Zitat) |
|-----------------|---|
| 0:13 | Die Philharmonie hat 2387 Plätze [...] und ist damit die größte Philharmonie in Deutschland. |
| 0:40 | Ich weiß, dass es von der Bühnenkante bis zur letzten Sitzreihe 44m sind, und dass die Philharmonie an der breitesten Stelle [von der linken hinteren Ecke bis zur rechten] 70 m [breit ist]. |
| 2:10 | Nach meinem Informationsstand ist der bei 400Hz 2,4s. Und damit liegt der eigentlich ganz gut für klassische Orchester um 2,2s. Das ist so ein idealer Wert für klassische Konzertsäle. |
| 2:28 | <i>Im Vergleich zu anderen Konzertsälen?</i> Ist vielleicht ein bisschen größer, weil er [der Saal] ja auch größer ist, aber im Prinzip ist das genauso ein Zielwert, den man anstrebt, zwischen 2,2 und 2,6s. |
| 3:56 | <i>Akustiksegel über der Bühne?</i> Die sind in erster Linie dazu da, um dem Orchester [das] untereinander Hören zu verbessern. Die Decke ist mit 16/17m zu hoch, dass die Early Reflections, die kommen zu spät. [...]Damit die sich besser hören, untereinander, damit die besser zusammenspielen können, hat man diese Segel eingebaut. |
| 4:25 | Wenn du mal allgemein Konzertsäle auf der Welt googelst, gibt es in vielen Sälen, z.B. in der Elbphilharmonie gibt es einen riesigen Pilz über der Bühne, der auch genau diese Funktion hat [...] auch selbst das Sydney Opera House hat solche akustischen Teile über der Bühne. |
| 4:48 | [19]84 war die Eröffnung [des Gasteigs] und zwei Jahre lang gab es diese Segel noch gar nicht. |
| 5:08 | Der [Sergiu Celibidache, erster Generalmusikdirektor des Gasteigs] hat dann dafür gesorgt, dass diese Segel angeschafft werden. |
| 5:15 | Was typisch für so einen Konzertsaal ist, sind diese konvexen Seitendiffusoren. Wenn da der Schall darauf trifft wird der so gestreut. Und das will man haben, damit man einen möglichst diffusen Schall hat. Dass man eben nicht, möglichst keine einzelnen Reflexionen hört, sondern dass der Schall schön gestreut wird. |
| 5:48 | Ich habe vor vielen Jahren in einem Parkhaus geparkt [...] und spätabends war mein Auto das letzte das dort stand [...] und ich machte die Tür auf und hörte plötzlich „boah“ was ist das für ein Hall und dann habe ich die Tür wieder zugehauen und der [Hall] steht dann wirklich eine Minute oder so. [...] Das liegt eben da dran, dass diese Säulen in diesen Parkhäusern [...] streuen den Schall in alle Richtungen [...] und je dichter das [die Säulen] sind, desto länger ist dann der Hall. |
| 6:34 | Je schallhärter sie [die Wände] sind, desto länger ist der Hall. |
| 6:38 | <i>Schallhärter heißt z.B. Beton ist im Vergleich zu Holz schallhärter? Richtig.</i> |
| 7:17 | Ich kann nur sagen, dass es angeblich so ist, dass diese Stühle, dass die Unterseite hier Löcher hat. Man hat die so gebaut, dass der Saal im unbesetzten Zustand, wenn kein Publikum drin ist, eine nahezu identische Nachhallcharakteristik hat, als wenn Publikum dasitzt. Darum ist diese Kante hier oben aus Holz, denn der Kopf ist relativ schallhart gegenüber dem Körper und das hat man eben versucht mit diesem Stückchen Holz [...] den Kopf zu simulieren. |
| 7:53 | Und das ist auch wirklich so, wenn das hier voll besetzt ist, ist der Klang hier auch nicht anders [als unbesetzt]. |

| | |
|-------|--|
| 8:27 | <i>Über die Fächerung an der Decke?</i> Das ist natürlich ein architektonisches Stilmittel, man sieht da auch wieder diese gerundeten Kanten [...] das soll natürlich alles den Schall schön in alle Richtungen zerstreuen. Warum man die Gestaltung so gewählt hat, kann ich dir jetzt auch nicht sagen. |
| 8:48 | Aber man sieht, dass die Decke hinten wieder abfällt, dadurch soll der Schall wieder Richtung Publikum reflektiert werden. |
| 9:01 | <i>Überhängende Holzteile an den Ausgängen?</i> Diese Holzpanelen sind auch so schräg überhängend, auch das soll rückwertige Reflexionen auslösen fürs Publikum. |
| 9:39 | <i>Lautere und leisere Plätze aufgrund von Reflexion?</i> Mit dem Abstand hat man immer weniger Direkt-schall und immer mehr Diffusschall und der ist doch deutlich leiser, man kann nicht sagen, dass es hinten lauter ist als vorne |
| 9:59 | <i>Solisten?</i> Nur ganz große Stimmen schaffen es gegen das Orchester anzusingen, dass man die noch deutlich hört. [...] Und das ist immer so ein Problem dieses Saales, das hat mit der großen Größe zu tun und mit dem riesigen Abstand nach hinten in die letzten Reihen. Da will man bei einer Neuge-staltung des Saales diese großen Entfernungen nach hinten verhindern. |
| 10:53 | <i>Über die Neugestaltung?</i> Da will man dann die Bühne weiter in den Saal schieben und gleichzeitig das Publikum näher ranholen. Damit da nicht zu viel verloren geht, die Entfernung ist einfach zu weit, [das] ist da das Problem. |
| 12:48 | <i>Musiker/Dirigenten denen es im Gasteig nicht gefällt?</i> Z.B der [ehemalige] Dirigent der Berliner Philharmoniker Sir Simon Rattle, angeblich tritt der hier nicht auf, der sagt er will hier nicht spielen, das habe ich mal gehört. [...] Ich verfolge das Programm schon sehr lange [...] und ich glaube seinen Namen habe ich auch noch nie auf einem Plakat gelesen. Der hat hier glaube ich einmal gespielt und gesagt „Nö, das brauch ich nicht“. |
| 13:17 | Das ist alles so ein bisschen relativ, die Akustik hier wird immer sehr schnell, auch von den Medien [...] [schlecht geredet]. Natürlich gibt es hier Plätze, die nicht so optimal sind, wenn ich auf der Seite sitze, ziemlich weit vorne, dann höre ich natürlich die Instrumentengruppe, die hier vorne ist, viel lauter als die, die hier drüben sitzen, weil das einfach so riesige Dimensionen sind. [...] So wurde die Philharmonie viel schlecht geschrieben, was aber nicht der Fall ist. |
| 14:10 | Leonard Bernstein hat hier ziemlich am Anfang gespielt und kam dann am Ende des Konzertes wut-entbrannt runter vom Konzert und hat im Backstage-Bereich wohl angeblich gesagt „Burn it“ und meinte damit die Halle. Aber das wurde von der Presse natürlich sofort kolportiert und die haben das sofort verbreitet und seitdem haftet der Philharmonie so ein Dünkel [Ruf] an, von wegen, dass die Akustik schlecht ist. Aber man muss dazu wissen, das habe ich aus internen Quellen hier von langjährigen Mitarbeitern [erfahren], es war damals so, dass er ein selbstkomponiertes Stück mit seinem Orchester gespielt hat, unter anderem und dieses Stück wurde seiner Meinung nach von dem Münchner Publikum nicht genug goutiert, die sind nicht gut darauf abgefahren, haben wohl applaudiert aber er hat sich da halt mehr erhofft oder so und deswegen war er stinksauer und darauf hatte er schlechte Laune. |

| | |
|-------|--|
| 17:21 | <i>Brümmers Meinung zum Saal?</i> Da man hier eben leicht von oben aufs Orchester guckt, kriegt man den Direktschall, der vom Orchester nach oben abgestrahlt wird, besser ab und dadurch ist da Orchester hier griffiger [als im Concertgebouw Amsterdam]. |
| 21:44 | <i>Verbesserungen durch Umbau?</i> Dass das Publikum näher an das Orchester ran rückt, gerade bei Sachen, wo leisere Dinge mit einem Orchester spielen, Solisten, Gitarre oder so [...], dass man das eben nicht mit elektronischen Mitteln ausgleichen muss sondern dass das auch akustisch funktioniert, oder dass Sänger einfach von allen gut zu hören sind, dass die Lautstärkenverhältnisse von Orchester und Sänger von Anfang an stimmt. Hier müssen die wirklich extrem laute Stimmen haben um dadurch zukommen. Hier unten mag das noch gut gehen, in den unteren vier Blöcken, da ist das ok da hört man das gut aber wenn man weiter nach oben geht in die letzten vier Blöcke, da ist da Verhältnis einfach nicht mehr gegeben. |

Abbildung 22: Transkript Interview Peter Brümmer

5 Abkürzungsverzeichnis

| | | | |
|----------------|--------------------------------|---------------|-------------------|
| Abb. | Abbildung | ms | Millisekunde(n) |
| d.h. | das heißt | $\frac{m}{s}$ | Meter pro Sekunde |
| DIN | Deutsches Institut für Normung | s | Sekunde(n) |
| Ebd. | ebenda | S. | Seite |
| Hz | Hertz | V | Volt |
| kHz | Kilohertz (1000 Hz) | vgl. | vergleiche |
| m | Meter | vs. | versus |
| m ³ | Kubikmeter | z.B. | zum Beispiel |

6 Literaturverzeichnis

6.1 Buchquellen

1. Eggebrecht, H., unter dem Stichwort: Raumakustik, in: Riemann Musik Lexikon Sachteil, Mainz 1967¹²
2. Engelmann, L./Pehle, T. (Hg.), unter dem Stichwort: Schallgeschwindigkeiten, in: Formelsammlung Naturwissenschaften. mit Merkhilfe Mathematik Gymnasium Bayern, München 2013¹
3. Stauder, W., Einführung in die Akustik, Wilhelmshaven 1980²
4. Zita, K., unter dem Stichwort: Raumakustik, in: O. Höfling (Hg.), Lexikon der Schulphysik Band 1 Mechanik und Akustik, Köln 1978

6.2 Internetadressen

1. Bergische Universität Wuppertal (Hg.), AcouCheck, in: <https://www.btga-arch.uni-wuppertal.de/index.php?id=2317>; Zugriff vom 26.03.19
2. Blumberg, N., Simon Rattle, in: <https://www.britannica.com/biography/Simon-Rattle>; Zugriff vom 02.08.19
3. Curdt, O., Grundlagen der Raumakustik, in: https://curdt.home.hdm-stuttgart.de/PDF/_Raumakustik%20AM3.pdf; Zugriff vom 26.03.19
4. Czeguhn, J., Schall und Hauch, in: <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/gasteig-schall-und-hauch-1.3129933>; Zugriff vom 02.08.19
5. Etscheit, G., „Das wird eine Elbphilharmonie auf Raten“, in: <https://www.welt.de/regionales/bayern/article137269818/Das-wird-eine-Elbphilharmonie-auf-Raten.html>; Zugriff vom 02.08.19
6. Etscheit, G., München ist verstimmt, in: <https://www.zeit.de/kultur/musik/2011-03/konzertsaal-debatte-muenchen>; Zugriff vom 02.08.2019
7. Gasteig München GmbH (Hg.), Geschichte des Gasteigs, in: <https://www.gasteig.de/der-gasteig/geschichte-des-gasteig.html>; Zugriff vom 29.09.19

8. Gasteig München GmbH (Hg.), Pressefotos, in: <https://www.gasteig.de/der-gasteig/presse/pressefotos-gasteig.html,pf2>; Zugriff vom 29.09.19
9. Gasteig München GmbH (Hg.), Toyota soll Akustik im Gasteig planen, in: <https://www.gasteig.de/neuigkeiten-toyota-soll-akustik-des-neuen-gasteig-planen.html,k1,n278>; Zugriff vom 02.08.19
10. HifiPilot GmbH (Hg.), Sprachverständlichkeit, in: <https://www.design-heimkino.de/wissenswertes/sprachverst%C3%A4ndlichkeit/>; Zugriff vom 29.09.19
11. Hunecke, J., Nachhallzeit, in: <http://www.hunecke.de/de/wissen/raumakustik/nachhallzeit.html>; Zugriff vom 27.03.19
12. Jecklin, J., Architektur für die Musik, in: <http://contrapunkt-online.net/architektur-fuer-die-musik/>; Zugriff vom 27.03.19

7 Eidesstattliche Erklärung

Versicherung des Verfassers

Hiermit erkläre ich, dass ich die Seminararbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Moosburg, 8.12.19

Ort, Datum

Mari Basse

Unterschrift Verfasser