

Jakob Zenthöfer 6C5 Lycée Ermesinde Mersch

2022/2023

Tutrice: Nadine Elcheroth



Foto: <https://lem.lu/the-growlight-company/>, Foto 5807

Mikrofonierung und Beschallung

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

1. Physikalische Grundlagen

- 1.1. Was ist Schall?
- 1.2. Schallgeschwindigkeit und Schallschnelle
- 1.3. Schalldruck
- 1.4. Schalldruckpegel
- 1.5. Frequenzen
- 1.6. Die spektrale Zusammensetzung einer Schallwelle
- 1.7. Wie verbreitet sich der Schall?
 - a. Die Raumakustik
 - b. Die Positionierung der Beschallungsanlage
 - c. Die Mikrofonierung

2. Die Technik

- 2.1. Wie funktioniert eine Public Address Anlage (PA)?
- 2.2. Mikrofone
- 2.3. Mischpulte
- 2.4. Endstufen
- 2.5. Lautsprecher

3. Der Theatersaal des Lycée Ermesinde

4. Fragen an die Experten

5. Kurzanleitung für die Regie im Theatersaal

6. Fazit

7. Quellen- & Literaturverzeichnis

Einleitung

Ohne funktionierende Mikrofonierung und Beschallung würden viele kulturelle Ereignisse nicht wie gewünscht stattfinden: Konzerte, Tanz, Theateraufführungen.

Das bedeutet, dass die Tontechnik eine wichtige Rolle für Künstler und Zuschauer spielt. Dies gilt für große Aufführungsräume wie der Philharmonie bis zum Theatersaal des Lycée Ermesinde Mersch (LEM).

Mir ist die Bedeutung der Tontechnik bewusst geworden, seitdem ich in der Entreprise Backstage bin. Denn dort habe ich gelernt: Ohne Mikrofon kein Ton.

Mich interessieren die physikalischen Grundlagen der Akustik und Elektrotechnik, aber auch die praktischen Anwendungen. Beides möchte ich in diesem Travail personnel untersuchen.

Ich möchte später Ingenieur werden und finde es deshalb spannend, mich bereits jetzt vertieft mit diesem Thema auseinanderzusetzen.

Vielen Dank sage ich den Kollegen in meiner Entreprise, insbesondere Felix Weis, Herrn Scholtes und Herrn Filauro, deren Erklärungen ich oft in dieser Arbeit aufgenommen habe, ohne diese Passagen mit Fußnoten zu bezeichnen.

1. Physikalische Grundlagen

1.1. Was ist Schall?

Das Wort „Beschallung“ kommt vom Wort „Schall“. Schall ist nichts anderes als Geräusche, die man hört. Wenn ein Lautsprecher beispielsweise Musik abspielt, entsteht Schall. Die Lautsprechermembran verursacht Schwingungen in einem elastischen Medium, in unserem Fall breitet sich der Schall in der Luft aus.¹ Die Schwingungen äußern sich in Vor- und Rückwärtsbewegungen der Membran, dadurch entstehen sogenannte Tief- und Hochdruckgebiete, die man sich wellenförmig vorstellen kann.² Die Schwingungen der Membran verursachen, dass sich Luftmoleküle verdichten.³ Das passiert mit den Luftmolekülen im ganzen Raum, der beschallt wird, es entsteht sozusagen ein Dominoeffekt: Die Luftmoleküle stoßen aneinander. So verbreitet sich der Schall.⁴

1.2. Schallgeschwindigkeit und Schallschnelle

Schallschnelle und Schallgeschwindigkeit lassen sich leicht verwechseln, es handelt sich jedoch hierbei um zwei ganz verschiedene Dinge. Schallschnelle bedeutet beispielsweise, wie schnell die Membran eines Lautsprechers schwingt.⁵ Schallgeschwindigkeit hingegen bedeutet, wie schnell der Schall das menschliche Gehör erreicht, dies ist unter anderem abhängig von der Temperatur des elastischen Mediums und der Umgebung.⁶ Bei einer Temperatur von 20 Grad Celsius breitet sich Schall mit einer Geschwindigkeit von ca. 344 m/s aus,⁷ bei einer Temperatur von 0 Grad Celsius nur noch mit 331,8 m/s.⁸

1.3. Schalldruck

Je stärker die Membran eines Lautsprechers auslenkt, also je stärker die Schwingungen der Membran sind, desto stärker wird die Luft verdichtet.⁹ Je stärker die Luft verdichtet wird, desto stärker ist der Schalldruck.¹⁰ Der Schalldruck spielt eine wichtige Rolle bei der Wahrnehmung der Lautstärke.¹¹ Je stärker der Druck, desto lauter erscheint das Geräusch (z.B. die Musik bei einem Konzert).

¹ Ederhof, Andreas, **Das Mikrofonauch**, 3. Auflage, München 2020, 17.

² Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 22.

³ Ederhof, Andreas, **Das Mikrofonauch**, 3. Auflage, München 2020, 17.

⁴ Ederhof, Andreas, **Das Mikrofonauch**, 3. Auflage, München 2020, 17.

⁵ <https://de.wikipedia.org/wiki/Schallschnelle>, abgerufen am 30.10.2022.

⁶ Fasold, Wolfgang und Veres, Eva, **Schallschutz + Raumakustik in der Praxis**, 1.Auflage, Berlin 1998, 15.

⁷ Ederhof, Andreas, **Das Mikrofonauch**, 3. Auflage, München 2020, 18.

⁸ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 23.

⁹ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 23.

¹⁰ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 23.

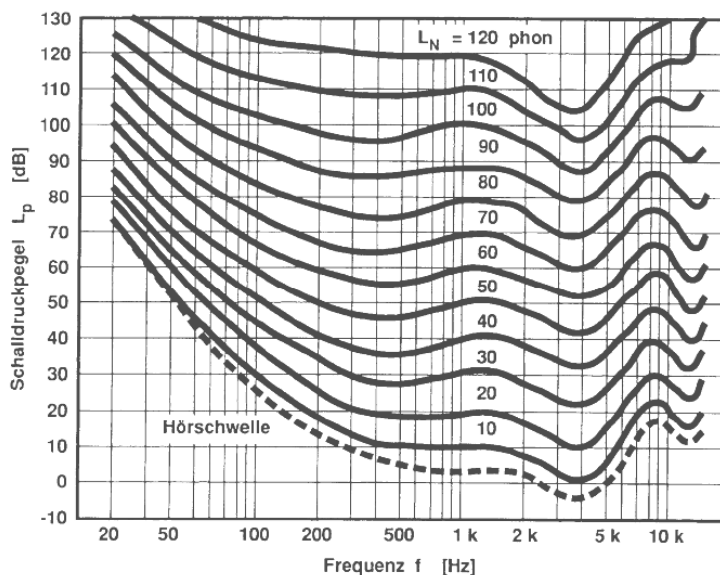
¹¹ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 23.

1.4. Schalldruckpegel

Da Lautstärke von Menschen unterschiedlich wahrgenommen wird, ist es schwierig Messeinheiten für die Lautstärke zu definieren.¹² Die untere Hörschwelle des Menschen wurde auf 0,00002 Pascal (Pa) und die obere Schmerzgrenze auf 150 Pa definiert.¹³ Wenn man mit der Einheit Pascal arbeitet, entstehen schnell viele Nachkommazahlen. Es gibt daher auch die Messeinheit Dezibel Sound Pressure Level (dB SPL), die untere Hörschwelle liegt hier bei 0 dB SPL und die Schmerzgrenze bei 137,5 dB SPL.¹⁴

1.5. Frequenzen

Die Frequenz einer Schallwelle besagt, wie viele Tief- und Hochdruckgebiete eine Schallwelle in einer Sekunde hat.¹⁵ Die Frequenz wird in Hertz (Hz) gemessen, das heißt, eine Frequenz von beispielsweise 200 Hz hat 200 Tief- und Hochdruckgebiete innerhalb einer Sekunde. Es gibt Hz-Bereiche, die von den Menschen nicht hörbar sind.¹⁶ Wir können nur Geräusche oder Töne zwischen 20 Hz bis 20.000 Hz (20 Kilo-Hertz, kHz) wahrnehmen.¹⁷ Menschen nehmen die unterschiedlichen Frequenzen besser oder schlechter wahr: Frequenzen im Bereich von 4 kHz sind für die meisten Menschen am besten hörbar, dort die höchste Empfindlichkeit des Ohrs und der erforderliche Schalldruck ist hier am geringsten.¹⁸ Der Bereich von 4 kHz entspricht einem lauten Piepton, der von den meisten Menschen als unangenehm wahrgenommen wird.¹⁹



Hier sieht man die Fletcher-Muson-Kurven, die den hörbaren Frequenzbereich zeigen. Unterhalb der gestrichelten Linie unten im Bild können wir Menschen nichts hören. Die Einheit L_N bezeichnet den Lautstärkepegel in Phon.

Quelle:

<https://docplayer.org/22642556-Schallschutz-arge-stiba-holding.html>,
abgerufen am 31.10.2022.

¹² Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 23.

¹³ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 24.

¹⁴ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 24.

¹⁵ Ederhof, Andreas, **Das Mikrofonbuch**, 3. Auflage, München 2020, 19.

¹⁶ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 26.

¹⁷ Ederhof, Andreas, **Das Mikrofonbuch**, 3. Auflage, München 2020, 19.

¹⁸ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 27.

¹⁹ <https://www.youtube.com/watch?v=IO9uRnRP8Mo>, abgerufen am 31.10.2022.

1.6. Die spektrale Zusammensetzung einer Schallwelle

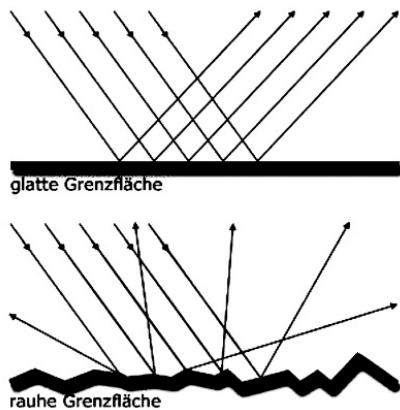
Wenn man Geräusche oder beispielsweise Musik hört, hört man nie nur einen Ton: Das Geräusch setzt sich aus verschiedenen Tönen zusammen, was bedeutet, dass das Geräusch aus verschiedenen Frequenzen entsteht.²⁰ Wenn man also jetzt ein Geräusch nimmt und die Schalldruckverteilung einer Schallwelle (also dem Geräusch) zeitlich darstellt, sieht man, dass keine Sinuswellen, also Wellen positiver und negativer Polarität, mehr zu sehen sind, sondern der Frequenzgang des ganzen Geräusches.²¹ Ein Geräusch setzt sich aus einem Grundton zusammen und aus verschiedenen Obertönen, die dem Geräusch die Charakteristik geben.²²

1.7. Wie verbreitet sich der Schall?

Die Kenntnisse über die Verbreitung von Schall sind sehr wichtig, denn sonst lässt sich das Publikum nicht ideal beschallen. Drei Dinge sind hierbei entscheidend:

- a. die Raumakustik
- b. die Positionierung der Beschallungsanlage und
- c. die Mikrofonierung

a. Die Raumakustik



Raumakustik spielt bei der Beschallung eine wichtige Rolle, da bei einer schlechten Raumakustik von der Beschallungsanlage wiedergegebene Geräusche verfälscht werden können. In einem Raum mit glatten Oberflächen entstehen Reflexionen, die dazu führen, dass sich der Klang verändert.²³ Frühe Reflexionen und Nachhall können den Direktschall beeinflussen und das Klangbild verändern.²⁴ Durch den reflektierten Schall entsteht ein sogenanntes Diffusschallfeld. Um das zu verhindern, empfiehlt es sich, den Raum mit Oberflächen zu verkleiden, die den Schall absorbieren, also dafür sorgen, dass er nicht reflektiert.²⁵

Solche Oberflächen können beispielsweise aus Holz bestehen oder Vorhänge sein, oder Matten, die speziell für das Absorbieren von Schall geeignet sind.²⁶

Bildquelle: <https://bellton.ch/akustik-abc/schallreflexion> abgerufen am 05.11.2022

²⁰ Ederhof, Andreas, **Das Mikrofonbuch**, 3. Auflage, München 2020, 21.

²¹ Ederhof, Andreas, **Das Mikrofonbuch**, 3. Auflage, München 2020, 21.

²² Ederhof, Andreas, **Das Mikrofonbuch**, 3. Auflage, München 2020, 22.

²³ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 29.

²⁴ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 29.

²⁵ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 29.

²⁶ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 29.

b. Die Positionierung der Beschallungsanlage

Wenn Lautsprecher Schall erzeugen, werden Schallwellen abgestrahlt: wenn mehrere Lautsprecher zum Einsatz kommen, kann sich der Klang und die Lautstärke verändern.²⁷ Das kann positive wie auch negative Folgen für den Klang haben.

Man kann Lautsprecherboxen „stacken“, also stapeln, um die Lautstärke anzuheben.²⁸ Dies funktioniert folgendermaßen: Wenn Lautsprecherboxen exakt gleichstehen und das Gleiche abspielen, addieren sich die Schallwellen, es entsteht eine einzige große Schallwelle.²⁹ Das ist positiv. Negative Effekte treten dagegen auf, wenn die Lautsprecher versetzt stehen und dann eine Phasenverschiebung haben, das bedeutet, dass die Lautsprecher verschieden ausstrahlen. Dann ist der Klang des Geräusches beeinflusst, was zur Verfälschung führt.

Es kann noch ein weiteres Problem auftauchen. Wenn Schallwellen einer Lautsprecherbox reflektieren, die Schallwellen einer anderen Box aber nicht (z.B. wegen unterschiedlicher Positionierung der Boxen), kann es auch zu Beeinflussungen kommen. Daher ist eine nicht-versetzte und gleich-reflektierende Positionierung der Beschallungsanlage wichtig. Überlappungen des Schalls verschiedener Boxen können so vermieden werden.

c. Die Mikrofonierung

Für eine gute Beschallung muss auch eine gute Mikrofonierung her. Es können sowohl Personen, als auch Instrumente mikrofoniert werden. Ziel jeder Mikrofonierung ist es, für die Zuhörer oder die Aufnahme einen optimalen Klang zu erreichen.

Es gibt viele verschiedene Typen von Mikrofonen, denn jede Situation verlangt einen anderen Mikrofontyp. Vor allem für Instrumente gibt es unterschiedlichste Mikrofontypen, die teilweise für bestimmte Instrumentenarten entwickelt wurden. Auch für Personen gibt es verschiedene Wege der Mikrofonierung.

Ein großer Unterschied sind Drahtlosmikrofone und Mikrofone, die ein Kabel benötigen, damit das Signal beispielsweise zum Mischpult geschickt werden kann. Kabellose Mikrofone, also Funkmikrofone, sind in vielen Situationen praktischer als kabelgebundene Mikrofone. Oftmals ist die Bewegungsfreiheit von Drahtlosmikrofonen ein entscheidender Vorteil. Bei größeren Veranstaltungen kommen auch Headsets zum Einsatz. Der Knackpunkt bei allen drahtlosen Mikrofonen ist jedoch, dass sie hohe Kosten verursachen. Denn ein Funkmikrofon benötigt zwar kein Kabel, aber dafür einen Empfänger, der angeschafft werden muss. Zudem ergeben sich bei drahtlosen Mikrofonen manchmal auch Probleme mit den Frequenzen. Nicht immer stehen ausreichend störungsfreie Frequenzen zur Verfügung. Hier werden in Luxemburg und Europa vor allem Frequenzen im Bereich zwischen 470 und 694 MHz benutzt. In diesem Bereich funken aber auch der Rundfunk, die Astronomie und das Militär.

Bei der Positionierung von Mikrofonen in geschlossenen Räumen spielt wieder einmal die Raumakustik eine wichtige Rolle. Ein Mikrofon nimmt den Direktschall auf, also jenen Schall,

²⁷ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 30.

²⁸ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 30.

²⁹ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 30.

der noch nicht reflektiert wurde. Das Mikrofon nimmt aber auch Frühreflexionen und den Nachhall auf.³⁰ Die frühen Reflexionen sind entscheidend für das Klangbild und variieren je nach Raumgröße, Möblierung und Art der Oberflächen im Raum. Der Schall wird in einem Raum meist nicht nur einmal reflektiert, sondern „mehrfach hin- und herreflektiert“.³¹ Dadurch unterscheidet sich jeder Raum voneinander – und die Mikrofonierung muss hierauf Rücksicht nehmen und stets angepasst werden.

Wenn die einzelnen Reflexionen so dicht aufeinanderfolgen, dass sie akustisch nicht mehr voneinander zu trennen sind, nennt man dies Diffusschall.³² Dieser Diffusschall kann in großen Räumen mit vielen glatten Oberflächen, an denen der Schall stark bricht, eine sogenannte Nachhallfahne bilden, die sogar den Direktschall überlagern kann – ein unerwünschtes Phänomen in der Mikrofonierung.

Deswegen ist es von Vorteil, wenn sich die mikrofonierte Person oder das mikrofonierte Instrument nahe am Mikrofon befindet. Dies ist auch der Grund, warum zum Beispiel professionelle Sänger in Musikvideos oft so aussehen, als würden sie mit dem Mund das Mikrofon berühren. Ein weiterer Vorteil ist der Nahbesprechungseffekt: Hierbei werden tiefere Frequenzen stärker betont.³³

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Mikrofonierung ist die Nachhallzeit. Diese bezeichnet die Zeit, die es braucht, bis der Hall nicht mehr hörbar ist.³⁴ Optimal ist eine kurze bis sehr kurze Nachhallzeit, in manchen Situationen kann die Nachhallzeit aber auch dem Klang eine interessante Charakteristik verschaffen, wie zum Beispiel in Kirchen, aber auch bei Geräuschen die gruselig oder angsteinflößend klingen sollen.

³⁰ Ederhof, Andreas, Das Mikrofonbuch, 3. Auflage, München 2020, 25.

³¹ Ederhof, Andreas, Das Mikrofonbuch, 3. Auflage, München 2020, 26.

³² Ederhof, Andreas, Das Mikrofonbuch, 3. Auflage, München 2020, 26.

³³ Ederhof, Andreas, Das Mikrofonbuch, 3. Auflage, München 2020, 52.

³⁴ Ederhof, Andreas, Das Mikrofonbuch, 3. Auflage, München 2020, 26.

2. Die Technik

2.1. Wie funktioniert eine Public Address-Anlage (PA)?

Eine Public Address (PA)-Anlage ist ein System, das aus vielen Komponenten besteht. Der Weg vom Mikrofon bis zu den Lautsprechern erfordert verschiedene technische Geräte, die die Beschallung erst möglich machen.

Folgende Bestandteile gehören zu einer kleinen PA:

- Mikrofone
- Mischpult
- Endstufe(n)
- Lautsprecher

Das grundlegende Prinzip ist wie folgt: Ein Ton entsteht, z.B. bei einem Sänger oder einem Instrument. Dieser Ton wird von Mikrofonen aufgenommen und an das Mischpult übertragen, was im Falle einer kleinen Anlage über Kabel erfolgt. Danach werden die Töne im Mischpult zusammengemischt, von einer Endstufe verstärkt an die Lautsprecherboxen geschickt und dort hörbar gemacht. Das ist stark vereinfacht das Grundprinzip einer kleinen Anlage.

Es gibt verschiedene Methoden für kleine PA-Systeme. Man kann beispielsweise einen Powermischer benutzen: Hierbei werden die Signale, die am Mischpult ankommen auch im Mischpult verstärkt und anschließend über Output Buchsen mit Kabeln zu den Lautsprechern weitergegeben.³⁵ Powermischer sind jedoch meistens nur im ganz kleinen Format praktisch, da sie eine begrenzte Leistung haben und teilweise nicht so viele Mischmöglichkeiten bieten.³⁶

Üblicher sind Anlagen mit einer separaten Endstufe und passiven Lautsprechern (Lautsprecher ohne Endstufe) oder mit aktiven Lautsprechern (Lautsprecher mit einer eingebauten Endstufe). Bei einer Anlage mit einer separaten Endstufe werden die summierten Signale im Mischpult über den Ausgang mit zwei XLR-Kabeln (Mikrofonkabel) zur Endstufe geschickt, von der Endstufe wird das Signal mit Speakon-Kabeln (Lautsprecherkabel) zu den Lautsprecherboxen geschickt.

Aber wozu braucht man eine Endstufe überhaupt? Endstufen verstärken das Signal so, dass die Lautsprecher es mit einer ausreichenden Lautstärke wiedergeben können.³⁷ Meistens handelt es sich bei kleinen PA um Endstufen der niedrigen bis mittleren Preis-Klasse. Eine Endstufe für eine PA hat meistens zwei Verstärkerkanäle zum Stereobetrieb.³⁸ Verschiedene Endstufen können verschieden viel Leistung erbringen, ein Beispiel hierbei sind 2 x 400 Watt.

³⁵ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 47.

³⁶ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 173.

³⁷ Johne, Raik, **Tontechnik-Einsatz in der Schule**, 1. Auflage, Norderstedt, 2021, 55.

³⁸ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 233.

Zusätzlich muss gesagt sein, das Subwoofer, die sich um den Bassbereich kümmern, der Endstufe mehr Leistung abverlangen, als beispielsweise Hochtöner.

Bei einer Anlage mit aktiven Lautsprechern sind die Endstufen in den Lautsprechern integriert. Hierbei ist dann keine separate Endstufe nötig. Von den Output Buchsen am Mischpult geht es dann via XLR-Kabel direkt zu den aktiven Lautsprechern. Dieses System hat den Vorteil, dass man keine Endstufe kaufen bzw. mit herumschleppen muss und dass der Aufbau so um einiges einfacher ist. Es gibt jedoch auch Nachteile: Aktive Lautsprecher sind vom Gewicht her schwerer als passive Lautsprecher, sie sind teurer und müssen mit Strom versorgt werden.

Bei den Lautsprechern für ein kleines PA-System eignen sich „12/2er“-Lautsprecherboxen gut, da diese kompakt sind und gleichzeitig eine ausreichende Wiedergabequalität haben.³⁹ Bei einer kleinen PA werden meistens zwei solcher Lautsprecher benutzt, einer links, der andere rechts. „12/2er“ steht dafür, dass der Tieftöner einen Durchmesser von 12 Zoll hat und dass es sich um ein Zwei-Weg-System handelt.⁴⁰ Das bedeutet, dass der Lautsprecher einen Tieftöner hat, der für die tieferen Frequenzen und die Mitten zuständig ist und ein Horn, das für die hohen Frequenzen zuständig ist. Diese Lautsprecher werden in der Regel auf Stative gestellt, was für einen besseren Klang sorgt und dafür, dass die Menge besser beschallt werden kann.

2.2. Mikrofone

Der Markt für Mikrofone ist riesig. Sie unterscheiden sich in der Regel im Klang. In einem Fachbuch ist zu lesen: „Es gibt kaum schlechte Mikrofone, nur viele Mikrofone am falschen Platz!“⁴¹ Bei Mikrofonen unterscheidet man grundlegend zwischen zwei Typen: dynamische Mikrofone und Kondensatormikrofone.

Dynamische Mikrofone funktionieren nach dem elektrischem Induktionsprinzip. Das bedeutet, dass die Schallwellen vom Benutzer eine Membran und eine Kupferspule in Schwingungen setzen, die Membran ist an der Spule befestigt. Die Spule befindet sich in einem magnetischen Feld eines Dauermagneten. Durch die Schwingungen wird in der Spule eine Wechselspannung verursacht, die ein mechanisches Abbild des Schalls ist. Positiv hierbei ist, dass diese Funktionsweise relativ einfach ist und keine 70 Volt Phantomspeisung benötigt.

Kondensatormikrofone funktionieren nach dem elektrostatischen Prinzip. Das bedeutet, dass die Schallwellen vom Benutzer zwei verschiedene Platten in Bewegung setzen. Diese zwei Platten stehen unter Spannung. Wenn der Schall auf die erste Platte, also die Membran eintrifft, entsteht eine minimale Veränderung des Abstandes der Platten. Das nennt man Kapazitätsveränderung.⁴²

³⁹ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 47.

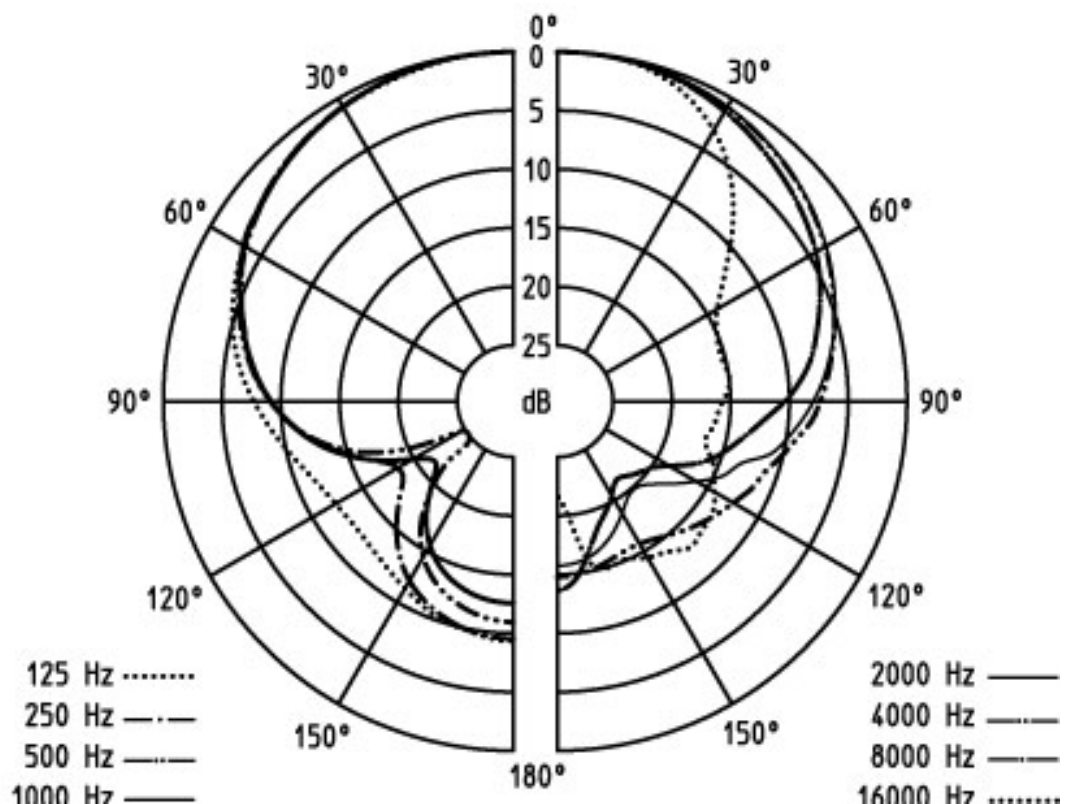
⁴⁰ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 48.

⁴¹ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 69.

⁴² Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 72.

Welche der beiden Mikrofonarten eignet sich am besten? Dynamische Mikrofone sind einfacher zu bedienen, robuster und günstiger. Kondensatormikrofone können dagegen besondere Töne besser wiedergeben, zum Beispiel bei einem Schlagzeug.⁴³

Die Richtwirkung oder Richtcharakteristik ist ebenfalls ein wichtiger Punkt in der Mikrofonierung. Dies bedeutet grundlegend nichts anders als unterschiedlich laute Betonung unterschiedlicher Frequenzen aus verschiedenen Winkeln. Dies eignet sich dazu, Rückkopplungen zu verhindern und Störgeräusche nicht zu betonen. Es gibt viele verschiedene Richtcharakteristiken für verschiedene Einsatzgebiete. Die Richtcharakteristik eines Mikrofons wird in einem sogenannten Polardiagramm dargestellt.⁴⁴



Quelle: https://soniccircus.com/?attachment_id=15503 , abgerufen am 07.03.2023

Die Funktionsweise der Richtcharakteristik ist sehr komplex, daher werde ich sie hier nur grob erläutern. Es dringt nicht nur Schall frontal in die Mikrophonkapsel, sondern auch seitlich oder von hinten. Durch den komplexen Bau des Mikrofons werden beispielsweise Geräusche, die seitlich kommen, oder von hinten, durch das phasenverschobene Auftreten ausgelöscht und sind deswegen nicht mehr zu hören. Allerdings funktioniert das nicht perfekt und es treten oft Defizite auf.⁴⁵

⁴³ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 73.

⁴⁴ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 74.

⁴⁵ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 75.

2.3. Mischpulte

Bei Mischpulten entscheidet man zwischen analogen Mischpulten und digitalen Mischpulten. Digitale Mischpulte sind um Einiges komplexer und teurer als analoge Mischpulte, bieten aber viel mehr Funktionen. Um grundlegend ein Mischpult zu erläutern, ist es besser, man nimmt ein analoges Mischpult als Beispiel, siehe Foto.



Quelle: <https://www.presonus.com/products/StudioLive-AR12c> ,abgerufen am 07.03.2023

Jedes Mischpult verfügt über Eingänge. Meistens handelt es sich hierbei um einen XLR-Eingang und einen Klinke Eingang, manchmal auch zwei Klinke Eingänge (links u. rechts). Danach kommt der sogenannte Gainregler, also der Vorverstärker. Dieser hat den Zweck, das Eingangssignal auf eine gewisse Lautstärke anzuheben, damit man problemlos das Signal bearbeiten kann.⁴⁶

⁴⁶ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 154.

Anschließend folgt der Equalizer, der sich oft aus drei bis vier Drehreglern zusammensetzt. Hier kann man verschiedene Frequenzen stärker oder schwächer betonen, je nachdem, wie es die Situation verlangt.

Danach kommen die Ausgänge. Hier hat man je Kanal eine gewisse Anzahl an Drehreglern und die gleiche Anzahl an Klinke Ausgängen. Hier schließt man Monitore, also Lautsprecher, für beispielsweise die Musiker selbst an. Das bedeutet, dass die Monitore nicht für die Beschallung des Publikums gedacht sind, sondern für die Musiker, die sich selbst sonst nicht ausreichend hören könnten.

Die Drehregler auf dem Mischpult geben dann an, wieviel von welchem Kanal auf den Monitoren zu hören ist, da die Musiker eventuell einen eigenen Mix benötigen. Danach kommen in manchen Mischpulten noch ein und mehrere FX-Regler hinzu für Effekte, die man in diesem Fall am Mischpult einstellen kann.

Der letzte Drehregler eines Kanals, auf den ich eingehen werde, ist der Pan-Regler, mit diesem Regler kann bestimmen, ob das Signal des Kanals stärker links oder rechts zu hören ist. Wenn der Pan-Regler genau in der Mitte steht, ist das Verhältnis ausgewogen, das Signal ist links und rechts gleich stark zu hören. Es gibt noch die Mutetaste, die (wie der Name schon sagt) dafür sorgt, dass das Signal des Kanals nicht mehr zu hören ist.

Das ist nur der grobe Aufbau eines Mischpultes, damit man eine Idee bekommt, wozu man ein Mischpult einsetzt. Hinzu kommt, dass viele Mischpulte noch andere Funktionen haben, die oftmals auf spezifische Nutzungsbereiche ausgelegt sind.

2.4. Endstufen

Endstufen sind, genau wie die anderen Bestandteile einer PA, sehr wichtig. Sie dienen dazu, das Signal so zu verstärken, dass es an die Lautsprecher weitergeleitet und gut hörbar gemacht werden kann. Deswegen werden Endstufen auch Verstärker genannt. Die Endstufen werden nicht benutzt, wenn aktive Lautsprecher im Einsatz sind. Bei vielen Veranstaltungen eigenen sich der Betrieb mit Endstufen, da die Lautsprecher, wie erwähnt, Gewicht verlieren. Die Leistung einer Endstufe wird daran bemessen, wie viel Watt pro Kanal zur Verfügung stehen. Beispielsweise: *2 x 400 Watt an 4 Ohm und 2 x 300 Watt an 8 Ohm*. Das sind frei erfundene Zahlen, die jedoch ihren Zweck erfüllen.

Man sieht, dass, je geringer der elektrische Widerstand, desto mehr Leistung (gemessen in Watt) genutzt werden kann. Verschiedene Lautsprecher haben also einen unterschiedlich starken Widerstand, auf den sich die Endstufe anpasst. Im Idealfall hat der Lautsprecher einen geringen Widerstand, wenn die Endstufe, dies ermöglicht. Ist dieser Widerstand des Lautsprechers größer, kann weniger Strom fließen, z.B. 300 Watt in unserem Fall. Ist der Widerstand noch höher, ist die Leistung um ein Vielfaches geringer, aber die Anlage nimmt keinen Schaden.⁴⁷ Sind die Lautsprecher jedoch auf 2 Ohm ausgelegt und die Endstufe ist das nicht, kann es gefährlich werden, da die Endstufe diese stärkere Leistung, bedingt durch den geringeren Widerstand, nicht liefern kann.⁴⁸ Dann ist noch wichtig zu wissen, wie viel Watt-

⁴⁷ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 264.

⁴⁸ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 264.

Leistung der Lautsprecher benötigt, denn so kann man die Verstärker-Leistung ideal an den Bedarf anpassen.

Grundlegend unterscheidet man auch hier zwischen analogen und digitalen Endstufen. Digitale Endstufen können oftmals mehr Leistung als analoge Endstufen aufwenden und sind oft energieeffizienter aufgrund des besseren Wirkungsgrades. Digitale Endstufen haben ebenfalls den Vorteil, dass sie Frequenzweichen integriert haben. Hierbei handelt es um ein Gerät, welches das Signal quasi nach Frequenzen, also Tonhöhe zerlegt, um den dafür geeigneten Lautsprecher anzusteuern.⁴⁹

2.5. Lautsprecher

Lautsprecher funktionieren grundlegend wie Mikrofone, nur in umgekehrter Form. Anders als bei Mikrofonen müssen Lautsprecher laut sein. Mikrofon hingegen hat das Wort Mikro in seinem Namen, was man als ein Synonym für sehr klein verstehen kann. Deshalb müssen Lautsprecher um ein Vielfaches größer sein, vor allem im PA-Bereich. Lautsprecher müssen über große Membranen verfügen, damit auch tiefe Frequenzen gut zu hören sind.⁵⁰ Der Lautsprecher besteht aus einer Induktionsspule, die an einer Membran befestigt ist. Die Membran ist aufgehängt, also fähig, sich zu bewegen. Die Induktionsspule befindet sich im Magnetfeld eines Dauermagneten. Die Induktionsspule wird mit dem Audiosignal versorgt. Dadurch entsteht ein elektromagnetisches Feld, das in Wechselwirkung mit dem Dauermagneten tritt. Die Polarität des Magneten verändert sich, was dazu führt, dass die Membran in Schwingung gerät. Die Induktionsspule und somit auch die Membran werden abgestoßen oder angezogen, was die Frequenz des Signals wiedergibt.⁵¹

Wie bereits erwähnt gibt es verschiedene Lautsprecher, um verschiedene Signale bzw. Frequenzen gut wiedergeben zu können. Hierfür gibt es beispielsweise Bass Lautsprecher, Lautsprecher für die Frequenzmitten und hohen Frequenzen. In einfachen PA Anlagen sind meistens die Mitten- und Höhenfrequenzen in einem Lautsprecher zusammengefasst und es gibt große schwere Bassboxen. Warum ist das so? Warum ist der Stromverbrauch für den Bass so gigantisch im Vergleich zu anderen Lautsprechern? Das liegt daran, dass tiefe Frequenzen über eine höhere Wellenlänge verfügen, was sich aufgrund der Häufigkeit der Sinuswellen ergibt. Die Wellenlänge der Sinuskurven ist oft länger als der Lautsprecher selbst. Das Problem ist, dass der Schall über die Luft übertragen werden muss um beim Zuhörer anzukommen. Die gasförmige Luft macht es dem Schall nicht leicht. Die Luft bildet einen Widerstand, welches dem Schall erschwert, hörbar zu werden, das gilt vor allem für tiefe Frequenzen. Daher muss viel Energie aufgewandt werden, um den Bass befriedigend wiedergeben zu können.⁵²

⁴⁹ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 236.

⁵⁰ <https://www.production-partner.de/basics/lautsprecher-und-ihre-funktionsweise/>, abgerufen am 14.02.2023.

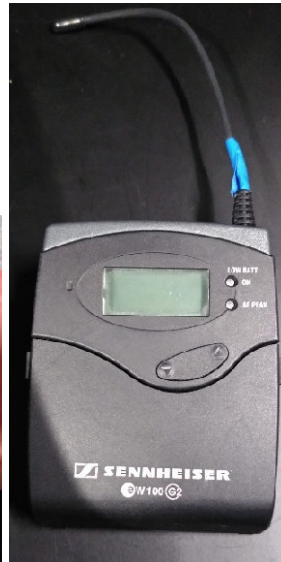
⁵¹ Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015, 256.

⁵² <https://www.production-partner.de/basics/lautsprecher-und-ihre-funktionsweise/>, abgerufen am 14.02.2023.

3. Der Theatersaal des Lycée Ermesinde

Nun schauen wir uns an, wie sich Beschallung und Mikrofonierung an einem Beispiel darstellen lassen. Dafür habe ich den Theatersaal (Schwarzer Saal) des Lycée Ermesinde ausgewählt.

a) Mikrofone



Es gibt zwei Arten von kabellosen Mikrofonen im Theatersaal des LEM:

- Das Handheldmikrofon, das aus dem Mikrofon und dem Empfänger besteht und
- das Headset, das aus dem Mikrofon, dem Taschensender und dem Empfänger besteht.

Das Handheldmikrofon trägt man in der Hand, das Headset am Kopf.

Der Headset Taschensender, der auf dem rechten Foto zu sehen ist, ist der ew 100 G2 des deutschen Unternehmens *Sennheiser*. Das Headset bietet den besonderen Vorteil, dass man es fest am Körper tragen kann und es nicht zu Störungen während des Gebrauchs aufgrund schwankender Distanz zwischen der Audioquelle und des Mikrofons kommt.

Das Handheld Mikrofon (linkes Foto) kann individueller genutzt werden. Das Handheld Mikrofon kann jederzeit abgelegt werden. Es ist nicht fest am Körper angebracht und lässt sich schneller in Betrieb nehmen.

b) Mischpult

Es handelt sich um ein digitales Mischpult des Herstellers *Allen & Heath*. Das Gerät hat 48 Input-Kanäle, über 17 Fader und verfügt über 16 Preamps. Es wiegt ca. 10 Kilogramm. Der Hersteller verspricht latenzfreies und extrem schnelles Arbeiten: „Die Allen & Heath SQ-5 Konsole lässt sich out-of-the-box bereits nahtlos in die unterschiedlichsten Umgebungen

integrieren, wobei ihre umfangreichen Erweiterungs- und Anschluss-Optionen die Einsatzmöglichkeiten vervielfachen.“⁵³ Im Handel kostet es derzeit rund 3700 Euro.



c) Endstufen

Bei der Endstufe handelt es sich um eine DCA 1622 des Unternehmens QSC. Laut Hersteller wurde dieses Gerät speziell für Kinoanwendungen entwickelt. Die heiße Abluft tritt aus der Front des Verstärkers aus, damit das Rack nicht aufgeheizt wird.

Zusätzlich zu den fünf Zweikanal-Verstärkern eröffnen zwei Vierkanal-Verstärker auch Möglichkeiten für Mehrkanal-Kinoverstärkung. Die jeweils vier Kanäle der DCA-1824 und

⁵³ www.thomann.de/de/allen_heath_sq5.htm, abgerufen am 12.03.2023.

DCA-1644 können im Parallel- und Mono-Brückenmodus betrieben werden, z.B. Kanal 1 mit Kanal 2, und Kanal 3 mit Kanal 4.⁵⁴



d) Lautsprecher

Es handelt sich um QSC-Lautsprecher. Da die Lautsprecher fest installiert sind, kann die genaue Artikelnummer nicht erkannt werden. Es handelt sich wahrscheinlich um QSC E115, die pro Stück im Handel rund 900 Euro kosten. Das sind passive 2-Wege-Lautsprecher, die laut Herstellerangaben wie folgt bestückt sind: 15" Tieftöner mit 3,5" Voice Coil und 1,5"

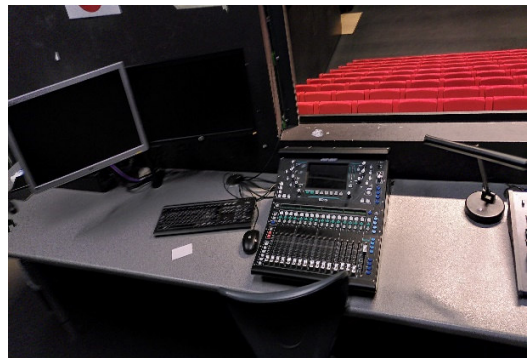
⁵⁴ https://www.qsc.com/resource-files/productresources/amp/dca/q_amp_dca_usermanual_en_es_de_fr.pdf, abgerufen am 01.02.2023.

Hochtöner mit 2,8" Voice Coil. Das Gehäuse aus Multiplex hat einen stoßfesten schwarzen Strukturlack.⁵⁵



Aufnahmen des sogenannten „Schwarzen Saal“ im Lycée Ermesinde.⁵⁶

Zuschauerkapazität: 163 Personen. (Sitzplätze)



⁵⁵ https://www.thomann.de/de/qsc_e115.htm abgerufen am 01.02.2023.

⁵⁶ Alle Fotos: Carl Jakob Zenthöfer, Februar 2023.

4. Fragen an die Experten

Ich habe drei Experten, Tobias Berlet, Matthias Fehr und Marco Völzke Fragen zum Thema Beschallung und Mikrofonierung gestellt. Ich möchte mich an dieser Stelle herzlich für die Gespräche bedanken!

1. Was ist grundsätzlich wichtig bei Tontechnik bei Schulaufführungsräumen?
2. Welche Grundlagen sollten Schüler in einer Bühnentechnik-Arbeitsgemeinschaft lernen?
3. Welche Tontechnik empfiehlt sich zur Nutzung in einem Schulaufführungsraum?

Antworten Tobias Berlet

Tobias Berlet ist gelernter Veranstaltungstechniker und Tonmeister, der in der Live-Entertainment Branche tätig ist. Tobias Berlet ist Mitglied des vdt (Verband deutscher Tonmeister).

1. Was ist grundsätzlich wichtig bei Tontechnik bei Schulaufführungsräumen?

„Grundsätzlich differenziere ich nicht zwischen Schulaufführungen, großen Konzertsälen oder speziellen Eventhallen. Für mich sind alle Veranstaltungen gleich bedeutsam, Aus diesem Grund würde ich das nicht speziell auf einen Schulaufführungsraum beziehen. Die Frage ist relativ offen gehalten, sodass man mehrere Ansätze für die Beantwortung verfolgen kann.

Bei Veranstaltungsräumen (so wie es der Schulaufführungsraum ja auch ist), sollte man sich erstmal über die Ausgangslage Gedanken machen. Man kann z.B. zwischen reinen Sprachbeschallungen und Musikveranstaltungen unterscheiden. Auch ob es eine ortungsbezogene oder indirekte, vielleicht sogar immersive Beschallung sein soll. Ist es eine Festinstallation oder eine temporäre? Soll das Audiodesign, einmal angefertigt, immer gleich sein oder den jeweiligen Veranstaltungen angepasst werden?

Die Informationen über den Schulaufführungsraum am LEM zeigen eine sehr anspruchsvolle Form des Beschallungssystem, welches ziemlich viele Szenarien abdecken kann.

Grundlegende physikalische Regeln sollten aber bei nahezu jedem Raum beachtet werden. Es sei denn, man möchte diese bewusst ausspielen oder es lässt dich baulich nicht anders realisieren.

Boxen, die den Zuschauerraum beschallen müssen, sollten auch erst ab Höhe der Bühnenkante installiert werden, um Übersprechungseffekte und Feedbackprobleme zu minimieren.

Weitere Fragen wären zum Beispiel das Anbringen von Delaylines. Also Boxen, die weiter im Zuschauerbereich platziert werden, um eine bessere Schallabdeckung im Zuschauerbereich zu erzielen. Wenn man sich auf die „Beschallungsform“ festgelegt hat, sollte man sich Gedanken über die Art der Lautsprecher machen. Line Array oder Point Source? Wie groß sollten die sein? Gibt es Gewichtsbeschränkungen für eventuelle Hängepunkte? Welchen Schalldruckpegel muss ich flächendeckend erzielen? Will ich Amps und Boxen von einem einzigen Hersteller beziehen oder mischen?

Danach kommen dann die Fragen nach den Mikrofonen, eventuelle Funkstrecken und dem Mischpult. Es gibt natürlich noch viele weitere Fragen zu beantworten:

Brauche ich Monitore oder In Ear auf der Bühne und wenn ja, wie viele auf wie vielen separat ansteuerbaren Wegen?

Wie möchte ich Audio aus dem Mischpult auf die PA verteilen? Einfach Links-Rechts oder über eine (mehrere) Matrix?

Diese Fragen engen auch die Auswahl des Mischpultes stark ein.

Ich hoffe ich habe nichts vergessen. Über jeden einzelnen Punkt könnte man Bücher schreiben.“

2. Welche Grundlagen sollten Schüler in einer Bühnentechnik AG lernen?

„Alle Grundlagen! ;-)

Bühnentechnik ist für mich im Kopf stark an das Theater geknüpft. Ich denke da immer direkt an Drehbühnen und den Schnürrboden.

In meinem Fall würde ich das auf die audiospezifischen Faktoren beziehen.

Der Signalfluss ist für mich eines der wichtigsten Basics, die man erlernen sollte. Also der Weg von der Schallquelle bis zum Speaker.

Wenn man diesen Part einmal verstanden hat und erklären kann, hat man schon eine Menge über das grundsätzliche Prinzip verstanden.

- Grundlegende physikalische Gesetze helfen und ein wenig Elektrotechnik.
- Wie schnell breitet sich Schall aus?
- Wellenlängen berechnen.
- Welche Schallwandler gibt es und wie arbeiten diese?
- Symmetrische und unsymmetrische Signale.
- usw.

Ich glaube sehr wichtig ist es auch zu wissen, was man auf keinen Fall machen sollte.

- Ein Mikrokabel aus einem offenen Kanal ziehen.
- Den Fader ungehört auf 0dB schieben und entmuten.
- zu laut mischen.“

3. Welche Tontechnik empfiehlt sich zur Nutzung in einem Schulaufführungsraum?

„Jede, die die gesetzten Ansprüche erfüllt und budgettechnisch zu realisieren ist.

Vor allem aber die, die ich kenne und sicher bedienen kann.
Auch wäre es nicht ratsam, Dinge zu verkomplizieren. Eventuell sollte das Setup ein wenig mehr können, als man zu Beginn braucht.
So würde ich aber erstmal nichts kategorisch ausschließen.“

Antworten Matthias Fehr und Marco Völzke

***Marco Völzke** ist Freier Manager für Frequenzmanagement und -koordination in Berlin und Referent in der ARD/ZDF-Medienakademie.*

***Dipl. Ing. Ing. Ing. Matthias Fehr** ist Freiberuflicher HF-Technologieberater, Ideen und Konzepte in Hochfrequenz – IKHF, er lebt in Hausen, in Bayern. (Zum Zeitpunkt des Interviews war Herr Fehr mit dem Auto unterwegs.)*

1. Was ist grundsätzlich wichtig bei Tontechnik bei Schulaufführungsräumen?

„Zunächst sollten die Nutzungsszenarien beschrieben werden, zum Beispiel:

- Audio-Equipment für Durchsagen
- Equipment für Veranstaltungen vielen Teilnehmer (Schülern, Besucher und andere).
- Hörhilfen für Schüler mit Gehörbeeinträchtigungen.

Mit diesen Informationen können die gewünschten Szenarien skizziert werden.“

2. Welche Grundlagen sollten Schüler in einer Bühnentechnik AG lernen?

„Die Ausbildung/Einarbeitung sollte mit Bezug auf die zuvor definierten Szenarien erfolgen.

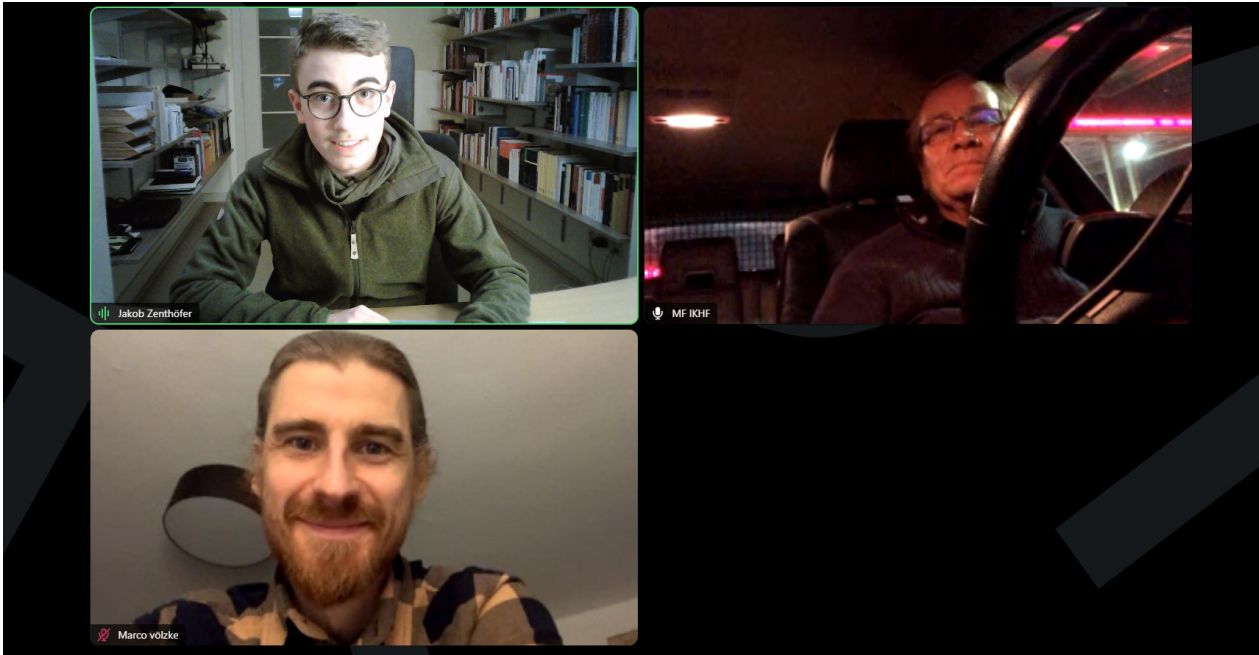
Schwerpunkte sind u.a.:

- Technik und Installation von Mikrofonen, Lautsprechern und weiterem Equipment.
- Umgang mit der Raumakustik, z.B.:
 - Wie hört man die Sprache, Gesang und die Musik von Instrumenten oder anderen Quellen gut im Zuschauerraum?
 - Wie kann man bei größeren Räumen den für den „eigenen Auftritt“ notwendigen Raumsound gut berücksichtigen/hören?
Braucht man eventuell Audio-Rückstrecken und geeignete Bühnenlautsprecher oder im eigenen Ohr „Soundstöpsel“?
 - Wie erfassen und übertragen wir Rückmeldungen aus dem Zuschauerraum?“

3. Welche Tontechnik empfiehlt sich zur Nutzung in einem Schulaufführungsraum?

„Am Markt gibt es viele Anbieter von Mikrofonen, Lautsprechern und weiterem Equipment. Wenn die Nutzungsszenarien beschrieben sind, ist dort umfassende Hilfe möglich.“

(Das Gespräch fand am 15. Februar 2023 statt. Foto rechts: Herr Fehr, unten links: Herr Völzke)



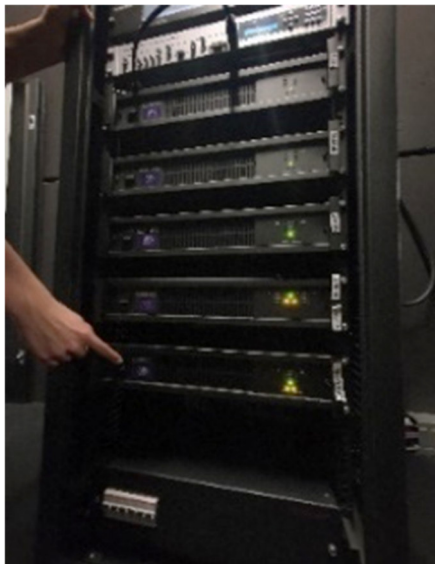
5. Kurzanleitung für die Regie im Theatersaal



Sobald man die Regie betritt, wird man diesen Raum vorfinden. Von hier aus kann man den Ton und das Licht steuern.



Um die Saallampen anzuschalten, muss man die Schalttafel bedienen, die man auf der rechten Seite vorfindet, sobald man den Saal betritt. Hier kann man die Saallampen einschalten, in dem man die drei Knöpfe (éclairage 1-3) jeweils zweimal drückt.



Anschließend kann man den zweiten Raum betreten. Hier findet man den Projektor und die Verstärker, welche man anschalten muss, wenn man den Ton benötigt.



Man findet die Verstärker auf den rechten Seiten, sobald man den zweiten Raum betritt. Zuerst muss man den grünen Knopf drücken, welcher sich hinter den Verstärkern befindet. Anschließend schaltet man jeden Verstärker auf der vorderen Seite an.



Sobald das getan ist, muss dieses Mischpult angeschaltet werden, welches im Regieraum, also im ersten Raum, steht. Hierzu muss man den Knopf auf der Rückseite drücken. Danach muss der PC angeschaltet werden. Jetzt kann man jeglichen Ton, den man möchte, vom Computer aus abspielen.

Bitte keinen Müll im Regieraum liegen lassen!

6. Fazit

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, welche Möglichkeiten es für Mikrofonierung und Beschallung, besonders in Schulaufführungsräumen, gibt.

Ein Inventar der Tontechnik im Schwarzen Saal des Lycée Ermesinde hat gezeigt, dass unsere Schule bereits sehr gut ausgestattet ist.

Veranstaltungen mit Theater und Musik können deshalb erfolgreich stattfinden.

Auch die externen Experten haben dies bestätigt.

Wichtig ist, dass sämtliche Gerätschaften auf dem neuesten Stand bleiben.

Ich habe bei den Recherchen für diesen Travail personnel vieles gelernt und bin erpicht darauf, dieses Wissen in der Praxis im Schwarzen Saal anzuwenden. An dieser Stelle möchte ich noch einmal bei meinen Interviewpartnern bedanken, die sich die Zeit genommen haben, alle meine Fragen ausführlich zu beantworten.

7. Quellen- & Literaturverzeichnis

Ederhof, Andreas, **Das Mikrofonbuch**, 3. Auflage, München 2020

Pieper, Frank, **Das P.A. Handbuch**, 5. Auflage, München 2015

Fasold, Wolfgang und Veres, Eva, **Schallschutz + Raumakustik in der Praxis**, 1. Auflage, Berlin 1998

Johne, Raik, **Tontechnik-Einsatz in der Schule**, 1. Auflage, Norderstedt, 2021

- <https://de.wikipedia.org/wiki/Schallschnelle>, abgerufen am 30.10.2022
- <https://www.youtube.com/watch?v=IO9uRNrP8Mo>, abgerufen am 31.10.2022
- <https://docplayer.org/22642556-Schallschutz-arge-stiba-holding.html>, abgerufen am 31.10.2022
- https://soniccircus.com/?attachment_id=15503, abgerufen am 07.03.2023
- <https://www.presonus.com/products/StudioLive-AR12c>, abgerufen am 07.03.2023
- <https://www.production-partner.de/basics/lautsprecher-und-ihre-funktionsweise/>, abgerufen am 14.02.2023
- www.thomann.de/de/allen_heath_sq5.htm, abgerufen am 12.03.2023
- https://www.qsc.com/resource-files/productresources/amp/dca/q_amp_dca_usermanual_en_es_de_fr.pdf, abgerufen am 01.02.2023
- https://www.thomann.de/de/qsc_e115.htm abgerufen am 01.02.2023