



STADT **LIPPSTADT**

Vorlage Nr. 068/2019/1

öffentlich

FB 6 / Stadtentwicklung und Bauen

Auskunft erteilt: Herr Horstmann

Telefon: 02941 980-425

Beratungsfolge	Sitzungstermin
Baukommission "Stadttheater"	07.03.2019
Bau-, Umwelt- und Verkehrsausschuss	20.03.2019

TOP Technische Sanierung Stadttheater; Raumakustische Untersuchung und Empfehlungen

Beschlussvorschlag

1. Die Ergebnisse der raumakustischen Untersuchung durch das Büro AMT Ingenieurgesellschaft mbH werden zur Kenntnis genommen.
2. Die Maßnahmen entsprechend der Empfehlungen zum schallabsorbierenden Aufbau auf der Brüstung in Verbindung mit der Brüstungserhöhung in Anlehnung an die bestehende Holzlamellenverkleidung werden beschlossen.
3. Die Maßnahmen entsprechend der Empfehlungen zum schallabsorbierender Aufbau auf den hinteren Seitenwänden bis zur Decke in Anlehnung an die bestehende Holzlamellenverkleidung werden zunächst zurückgestellt, bis die Ergebnisse einer Testveranstaltung im sanierten Theater vorliegen. Über deren Umsetzung ist zu einem späteren Zeitpunkt abschließend zu entscheiden.

Anlage 1 - Darstellung der raumakustischen Maßnahmen (Variante 1 + 2)

Beratungsergebnis

<input type="checkbox"/> Einstimmig	<input type="checkbox"/> Mit Stimmen-Mehrheit	Ja	Nein	Enthaltung	<input type="checkbox"/> Laut Beschlussvorschlag	<input type="checkbox"/> Abweichender Beschluss
-------------------------------------	---	----	------	------------	--	---

Unterschrift

Auswirkungen auf den laufenden Ergebnis- und/oder Finanzplan? Nein**Sachdarstellung**Bestand:

Dem großen Theatersaal und der Studiobühne wurden für die verschiedensten Veranstaltungen durch Zuschauer und Künstler stets eine gute Akustik bescheinigt. Daraus abgeleitet, könnte davon ausgegangen werden, dass keine akustischen Maßnahmen notwendig werden.

Die eingebaute Lautsprecheranlage ist jedoch seit längerem defekt. Für Veranstaltungen wurden Beschallungsanlagen auf der Bühne aufgebaut. Durch die Position auf der Bühne kam es häufig zu Rückkopplungen. Um diese zu vermeiden, ist die Festinstallation einer neuen Beschallungsanlage, wie in Veranstaltungsstätten üblich, oben rechts und links neben der Bühnenöffnung vorgesehen.

Bei einem Probeaufbau ist aufgefallen, dass dadurch mehr Echoerscheinungen im Zuschauersaal auftreten. Diese können schon durch die Auswahl des Beschallungssystems (Richtungsmöglichkeiten) wesentlich gemindert, aber nicht gänzlich unterbunden werden.

Aus diesem Grund wurde eine raumakustische Untersuchung für die Rangbrüstung und die hinteren Seitenwände empfohlen und durchgeführt.

Bisher sind lediglich im Foyer auf Grund jahrelanger Beschwerden akustische Maßnahmen fest in die Planungen mit aufgenommen worden. Die Ausführung der Akustikdecke im Foyer wurde bereits in der letzten Sitzung vorgestellt und beschlossen.

1. Aufgabenstellung

Im Vorfeld der Technischen Sanierung des Theaters wurde die bestehende Raumakustik im Großen Saal bereits messtechnisch von der AMT Ingenieurgesellschaft mbH untersucht und bewertet. Die Messung wurde am 02.02.2017 mit einem omnidirektionalen Dodekaederlautsprecher an verschiedenen Positionen im Bühnen- und Publikumsbereich in etwa 1,5 m Höhe durchgeführt. Eine Messung mit der bestehenden Beschallungsanlage war zu diesem Zeitpunkt nicht möglich. Besondere Auffälligkeiten wurden bei der akustischen Bestandsaufnahme nicht festgestellt.

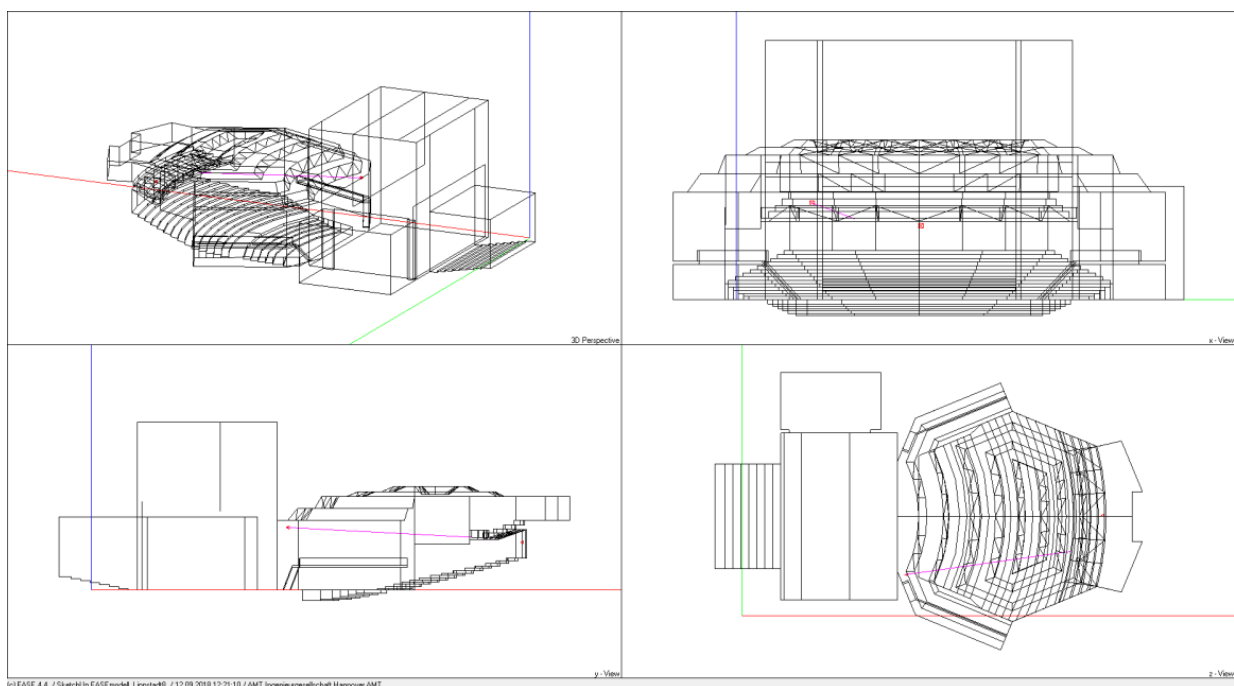
Im Zuge der Planungsvertiefung für die Medientechnik fand am 02.05.2018 ein Probeaufbau mit einer geflogenen Beschallungsanlage statt. Diese Beschallungsanlage wurde an einer vergleichbaren Position der später fest installierten Lautsprecher temporär installiert. Dabei waren im mittleren und hinteren Saalbereich besonders für die „Experten“ Echos hörbar.

Mit Hilfe einer raumakustischen Computersimulation ist untersucht worden, mit welchen Maßnahmen die Echobildung auch bei geflogenen Lautsprechersystemen unterbunden werden kann. Hierfür ist ein dreidimensionales Computermodell des Theatersaales erstellt worden, um die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen vorab detailliert zu ermitteln. Die Ergebnisse dieser Simulationen sind dokumentiert. Empfehlungen für die raumakustische Optimierung werden ausgesprochen.

2. Vorgehensweise

Anhand der zur Verfügung gestellten Bestandpläne wurde ein dreidimensionales Computermodell des Saales mit Hilfe der akustischen Simulationssoftware EASE 4.4 erstellt (siehe Abbildung 1). Neben der Geometrie wurden die akustischen Oberflächeneigenschaften des Saales modelliert. Anhand von Simulationen des bestehenden Saales und der im Vorfeld durchgeführten Bestandsmessungen konnte das akustische Modell validiert werden.

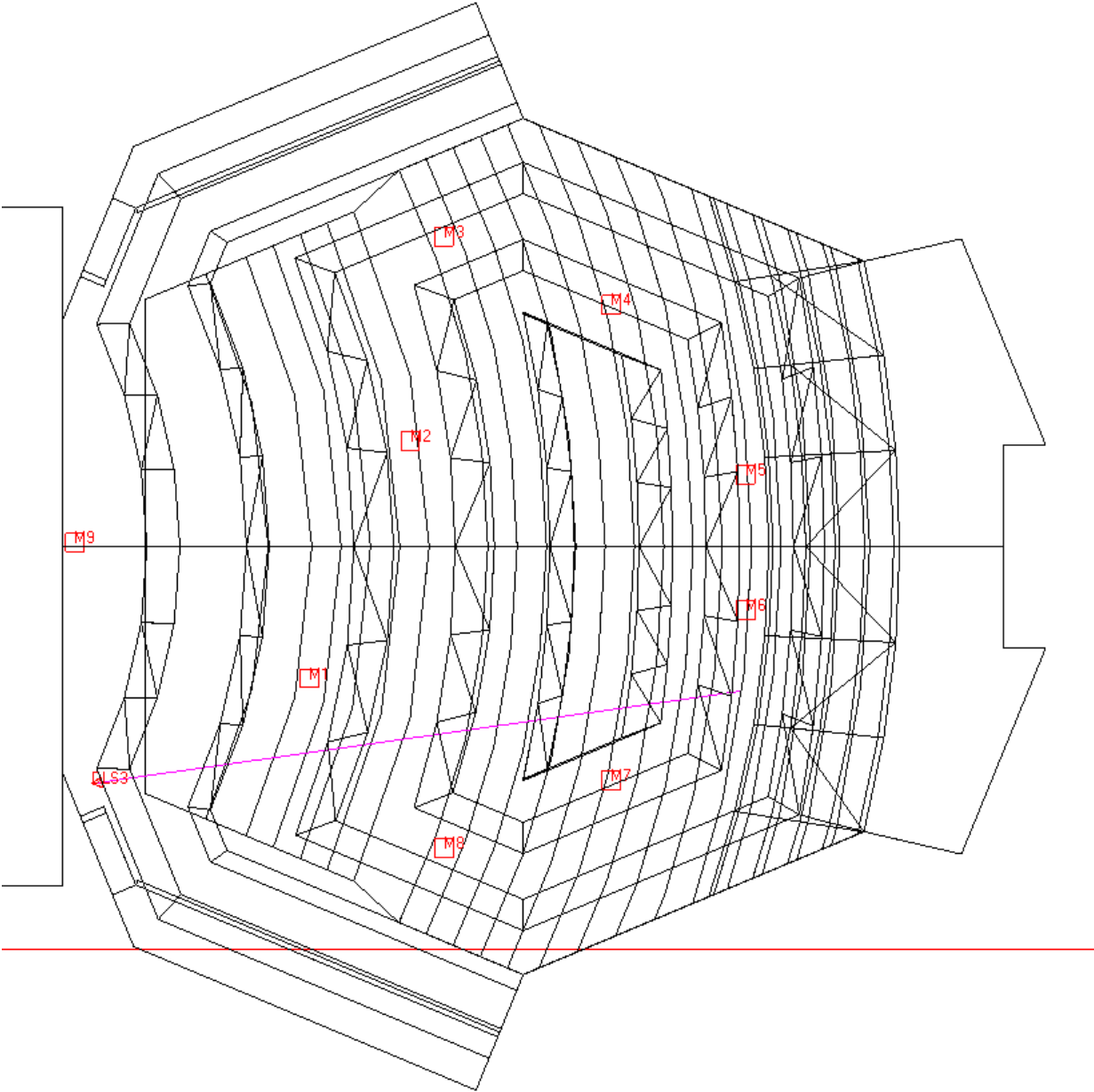
Abbildung 3: Computermodell des Großen Saales in der Simulationssoftware EASE 4.4



Für die Anregung des Schallfeldes wurde im Modell ein Line-Array-Lautsprechersystem in der derzeit geplanten Höhe und Ausrichtung auf der rechten Bühnenseite angeordnet. Das für die Simulationen angesetzte System ist akustisch dem beim Probeaufbau verwendeten Beschallungssystem in Bezug auf das Abstrahlverhalten ähnlich.

Für die Untersuchung der Ursachen der Echobildung wurde die akustische Übertragung vom Lautsprecher zu insgesamt acht verschiedenen Hörerpositionen im Saal und einer auf der Bühne untersucht. Die untersuchten Hörplätze sind in der Abbildung 4 dargestellt.

Abbildung 4: Lage der untersuchte Hörplätze M1 – M9 (rot)



3. Untersuchung des Bestandes

Nach der Erstellung und Validierung des Computermodells wurde zunächst die Bestandssituation des Saales mit der geplanten Lautsprecheranordnung untersucht.

Energiereiche und späte Reflexionen sind verstärkt an den Positionen im mittleren und hinteren Saalbereich zu erkennen. Aber auch in der vorderen Publikumsfläche sind energiereiche Reflexionen festzustellen. Dies deckt sich auch mit der Wahrnehmung bei der Probebeschallung.

Weiter sind Reflexionen auch auf der Bühnenposition M9 zu beobachten. Hier treffen die Schallwellen mit etwa 180 ms Zeitverzögerung und annähernd gleichen Schalldruckpegel, wie der Direktschall, wieder auf der Bühne ein. Der gleiche Pegel lässt sich durch die Richtwirkung des Lautsprechers, der vorzugsweise Schall in Richtung des Saals und nur reduziert in Richtung Bühne abstrahlt, erklären.

Ebenfalls auffällig ist die Vielzahl energiereicher Reflexionen an der Position M6 unterhalb des oberen Ranges, bei der ca. 150 ms nach dem Direktschall viele Reflexionen mit vergleichsweise hohem Pegel eintreffen. Durch die hohe zeitliche Verzögerung und deren hohen Schalldruckpegel sind diese Reflexionen als Echo vor Ort auch zu hören.

Aus der zeitlichen Differenz zwischen Direktschall und der Reflexion kann der Umweg, den die Schallwellen zurückgelegt haben, errechnet werden. Auffällig sind insbesondere Reflexionen im Zeitbereich von 150 – 200 ms nach dem Direktschall. Die Zeitdifferenz entspricht dabei einem Umweg von etwa 52 m bis 68 m. Bei der Saalgeometrie und deren Abmessungen können damit Reflexionen erster Ordnung (Reflexion an nur einer Oberfläche), wie der Decke und die Saalrückwand, ausgeschlossen werden.

Die detaillierte Untersuchung einzelner Schallpfade im Computermodell weist im Wesentlichen drei Ursachen für die späten Reflexionen auf:

1. Die schallharte Brüstung reflektiert den Schall wieder nach vorne auf die gegenüberliegende Seite des Bühnenhauses, wo er an den schallharten Wänden Richtung Publikum gelenkt wird. Besonders betroffen von diesem langen Schallweg ist der hintere Saalbereich.
2. Die dem Lautsprecher gegenüberliegende hintere und schallharte Seitenwand reflektiert den Schall auf die ihr gegenüberliegende Seitenwand. Der dort auftretende Schall wird dann wieder in die vordere Saalhälfte bzw. Richtung Bühne gelenkt, wo er auf Grund der langen Laufzeit und der geringen Pegelverluste als Echo in Erscheinung treten kann.

Abbildung 7: Darstellung ungünstiger Schallpfade II

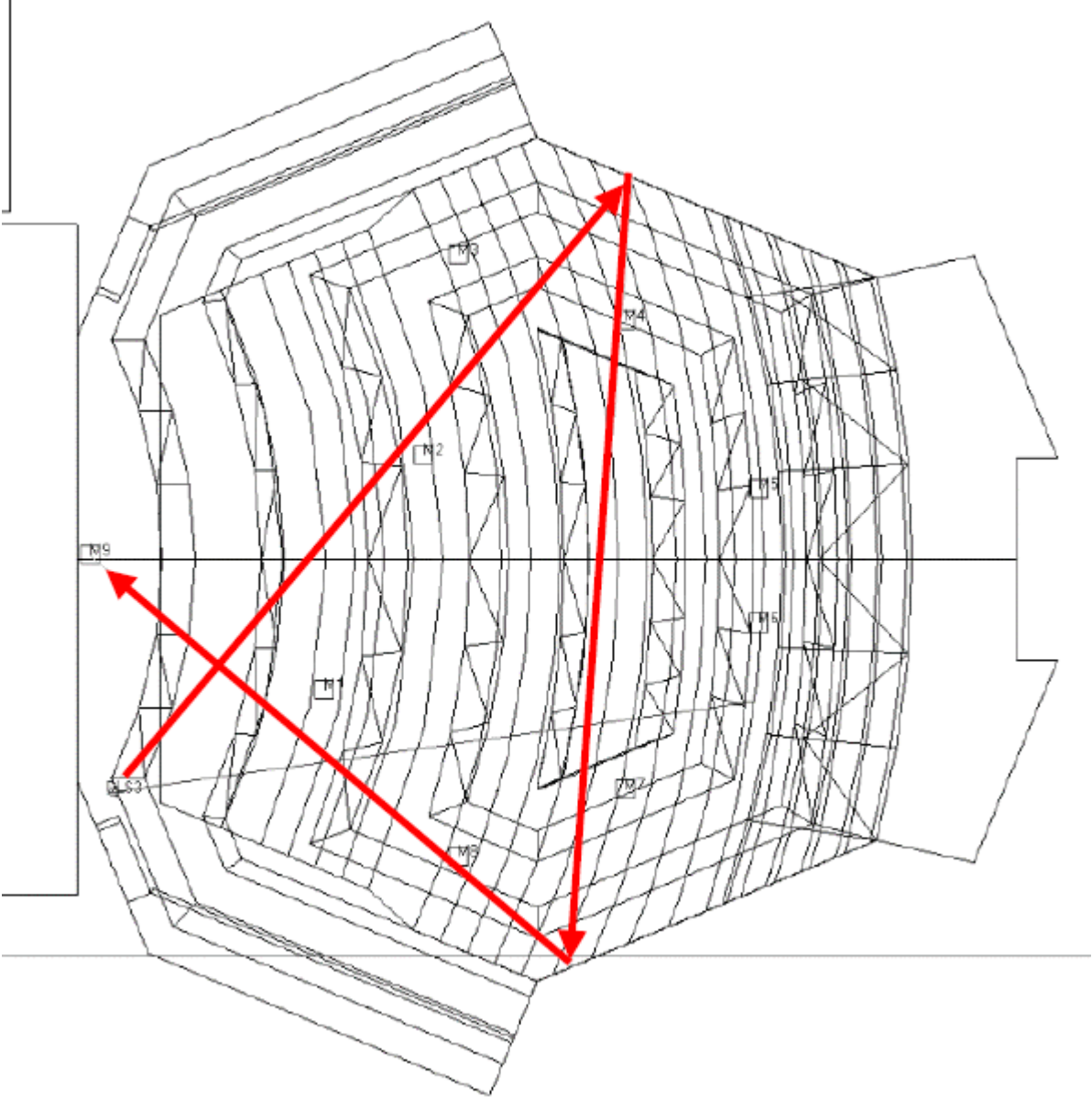
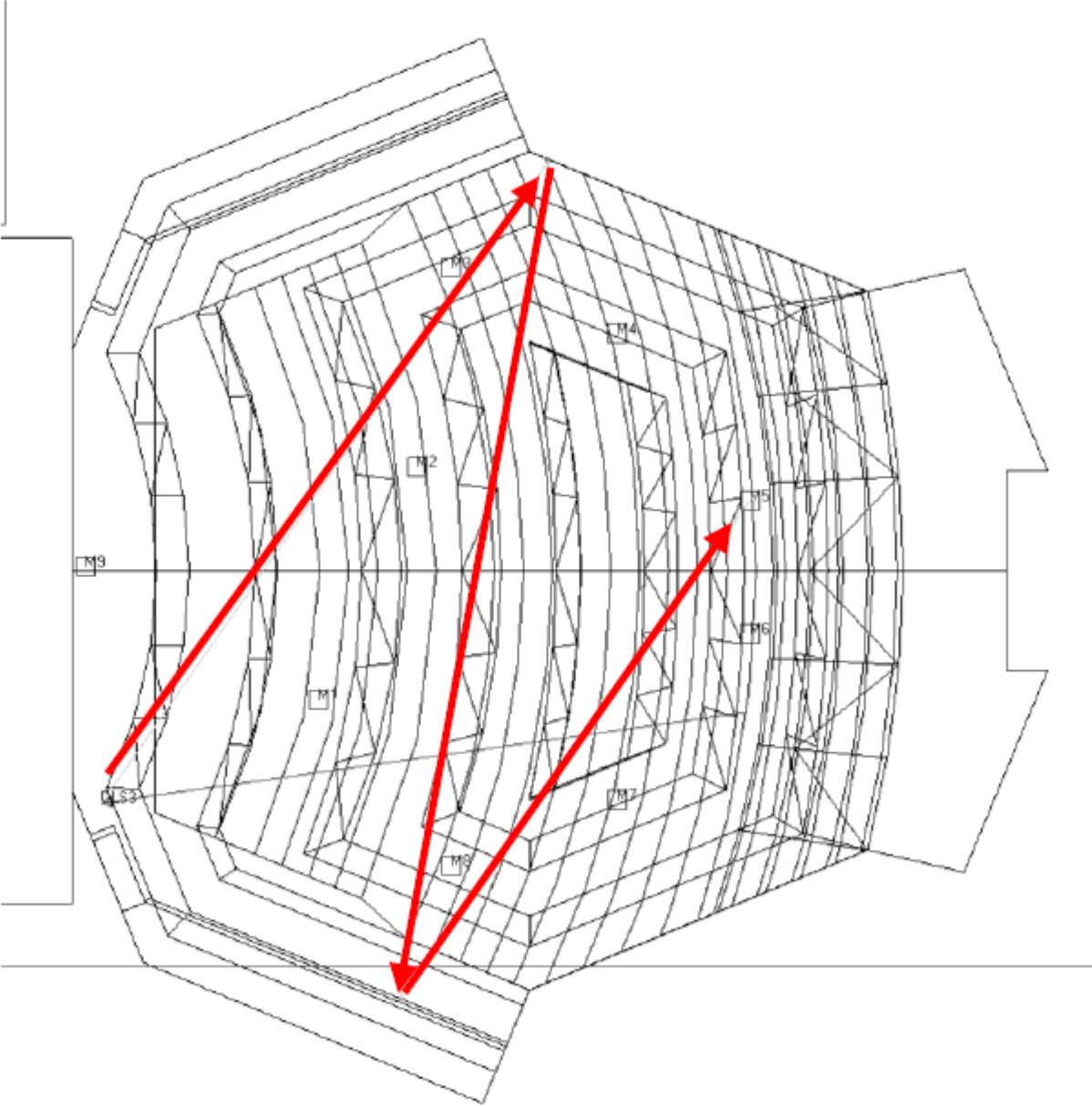


Abbildung 8: Darstellung ungünstiger Schallpfade III

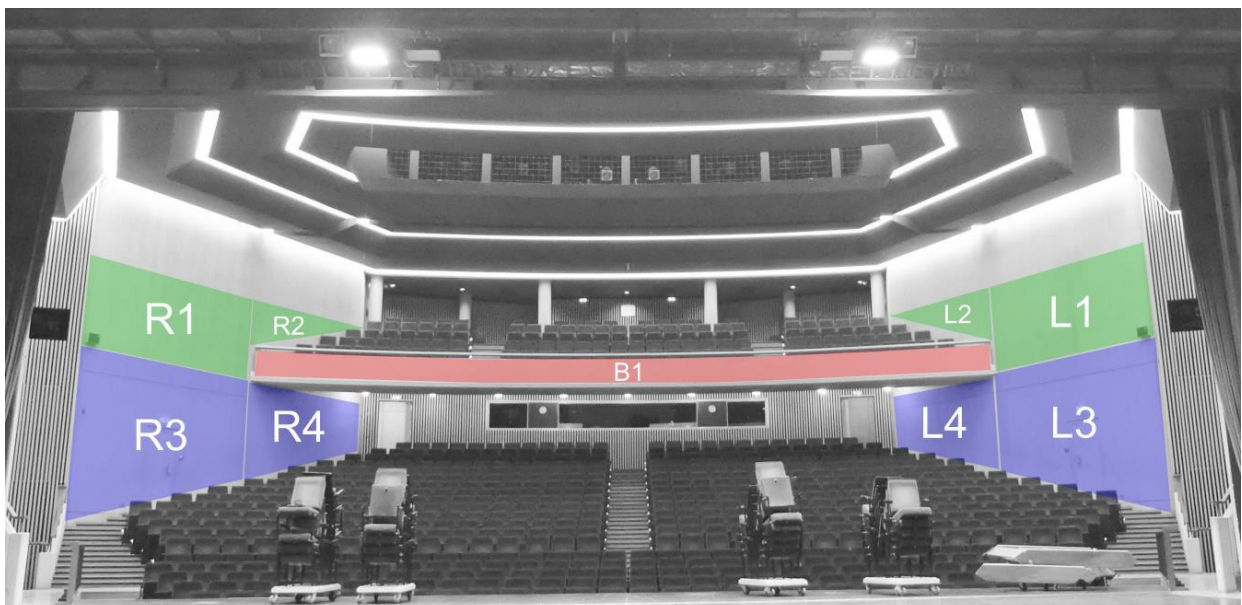


4. Untersuchung von möglichen Verbesserungsmaßnahmen

Zur Untersuchung der Auswirkung verschiedener Maßnahmen auf das Reflexionsverhalten des Saales wurden unterschiedliche Varianten im akustischen Modell untersucht. In verschiedenen Simulationen wurden die in Abbildung 9 farblich dargestellten Flächen akustisch unterschiedlich belegt. Folgende Fälle wurde akustisch untersucht:

1. Vollständige Absorption der Brüstung und der gesamten hinteren Seitenwand (blaue + grüne + rote Flächen behandelt)
2. Vollständige Absorption der Brüstung und oberen, hinteren Seitenwand; der untere Bereich schallhart (grüne + rote Flächen behandelt)
3. Vollständige Absorption der Brüstung und unteren, hinteren Seitenwand; der obere Bereich schallhart (blaue + rote Flächen behandelt)
4. Vollständige Absorption der Brüstung und vollständige Diffusität der Seitenwand (blaue + grüne + rote Flächen behandelt)

Abbildung 9: Darstellung der untersuchten Wand- und Brüstungsflächen (eine vergrößerte Darstellung zeigt Anhang 1)



5. Zusammenfassung der Untersuchung

Die durchgeführten Simulationen haben die folgenden Erkenntnisse ergeben:

- Die hinteren Seitenwandflächen und die Brüstung sind auf Grund einer ungünstigen Saalgeometrie bei der Entstehung der Echos maßgeblich beteiligt.
- Durch akustische Maßnahmen an den hinteren Seitenwänden und der Brüstung kann das Reflexionsverhalten des Saals somit wesentlich verbessert werden.
- Eine Belegung nur der oberen oder unteren Seitenwandflächen mit akustisch wirksamen Oberflächen ist nicht ausreichend, um alle problematischen Reflexionswege zu unterbinden.
- Als akustisch wirksame Maßnahme sind sowohl schallabsorbierende als schallstreuende Maßnahmen möglich.

Die schalltechnische Simulation wurde mit idealisierten Oberflächen (100% Absorption bzw. Diffusion) durchgeführt.

6. Aufbau der akustisch wirksamen Wandbekleidung

Zu den konstruktiv realisierbaren Wandverkleidungen erfolgte im Vorfeld bereits die Abstimmung mit Architektur. Akustische diffus wirkende Flächen sind baulich sehr aufwändig zu realisieren. Damit reduziert sich die zum Einsatz kommende Konstruktion auf eine absorbierende Variante, die mit ihrem Erscheinungsbild so bereits im Bestand existiert (an den zu Bühne zeigenden Stirnflächen der Galerie + Saalrückwand).

Ein akustisch geeigneter Wandaufbau, welcher optisch auch zur bestehenden Wandverkleidung an der Rückwand angepasst ist, könnte beispielsweise wie folgt aussehen - die Detailabstimmung dazu muss unter Berücksichtigung weiterer baulicher Vorgaben erfolgen (Brandschutz, Design, Fluchtwegbreite), Beschreibung des Aufbaus von der Bestandswand aus:

- 40 mm Mineralfaser, Strömungswiderstand $r \geq 10 \text{ kPa s/m}$
- Unterspannstoff (akustisch transparent)
- 40 x 40 mm Holzlamelle, 40 mm Öffnungsbreite Spalt

Dieser Aufbau ist geeignet, die auftreffenden Schallwellen zu absorbieren und so die Gefahr von Echos zu reduzieren. Durch das rückseitige Verschließen der Öffnungen in Bereichen, in denen eine Schallabsorption nicht notwendig ist, kann bei gleicher Oberflächenanmutung der Aufbau gezielt auch schallreflektierend ausgelegt werden. So könnte die akustische Bedämpfung auf das Notwendigste beschränkt bleiben und eine starke Veränderung der Nachhallzeit vermieden werden.

Alternative:

Eine weitere Möglichkeit, die an der Echobildung beteiligten Wandflächen zu entschärfen, ist die gezielte Streuung oder Umlenkung der auftreffenden Schallwellen. Die folgenden Abbildungen zeigen Beispiele solcher Wandverkleidungen. Dabei können ganze Wandbereiche durch die geometrische Ausrichtung akustisch optimiert oder mit schallstreuenden Elementen, wie z.B. Helmholtzdiffusoren, belegt werden. Wesentliche Nachteile gegenüber einer schallabsorbierenden Wandverkleidung ist der wesentlich stärkere Aufbau und die in der Regel auch deutlich höhere Kosten einer solchen Maßnahme.

Abbildung 14: Diffuse Wandverkleidung (links), Helmholtzdiffusor (rechts)
[Quelle: shunmook.com]



7. Empfehlungen

Es bleibt festzuhalten, dass sowohl der Theatersaal als auch die Studiobühne grundsätzlich eine gute Akustik aufweisen.

Auf Grund des Sachverhaltes, dass eine neue Beschallungsanlage fest installiert wird, ist untersucht worden, inwieweit die Akustik durch weitere Maßnahmen optimiert werden kann.

Unter Abwägung der ökonomischen Aspekte in Relation zum akustischen Nutzwert wird empfohlen, folgende akustische Maßnahmen im Zuge der jetzt durchgeführten Technischen Sanierung umzusetzen:

- einen schallabsorbierenden Aufbau in Anlehnung an die bestehende Holzlamellenverkleidung (mit ca. 8 cm Bautiefe) auf der Brüstung (Fläche B1 wie in Abbildung 9 und Anhang 1 dargestellt).

Die Kosten für den schallabsorbierenden Ausbau an der Brüstung sind auf rd. 8.500 € kalkuliert. Diese Kosten sind in der Gesamtmaßnahme bereits mit veranschlagt.

Durch einen zusätzlichen schallabsorbierenden Aufbau in Anlehnung an die bestehende Holzlamellenverkleidung auf den hinteren Seitenwänden bis zur Decke (Abbildung 9 und Anhang 1) kann die Neigung des Saals zur Echobildung weiter wesentlich reduziert

werden und so insgesamt die akustische Qualität für eine Vielzahl an Veranstaltungen verbessert werden.

Die damit verbundene Reduzierung der Nachhallzeit um ca. 0,2 – 0,3 s wird sich für die multifunktionale Nutzung positiv auswirken. Insbesondere sprachliche Darbietungen und elektroakustisch verstärkte Veranstaltungen profitieren von dieser Maßnahme.

Für Orchesterdarbietungen wird der Saal transparenter empfunden werden. Die Durchmischung der Instrumente und die musikalische Einhüllung werden durch die reduzierten Seitenwandreflexionen in geringem Umfang gemindert.

Für den schallabsorbierenden Aufbau der hinteren Seitenwände sind bisher Kosten in Höhe von rd. 56.000 € kalkuliert. Diese Kosten sind in der Gesamtmaßnahme bisher nicht enthalten.

Unter Abwägung der ökonomischen Aspekte in Relation zum akustischen Nutzwert wird jedoch empfohlen, den zusätzlichen schallabsorbierenden Aufbau auf den hinteren Seitenwänden bis zur Decke zunächst zurückzustellen. Vorgeschlagen wird die Durchführung von Beprobungen bei Testveranstaltungen im sanierten Theater. Über die Umsetzung eines schallabsorbierenden Aufbaus auf den hinteren Seitenwänden ist zu einem späteren Zeitpunkt abschließend zu entscheiden, wenn Ergebnisse aus Beprobungen bei Testveranstaltungen vorliegen. Die Verkleidung der Seitenwände ist auch im sanierten Theater gut nachzuholen.

Die Ergebnisse der Raumakustischen Untersuchung wurden von Vertretern des Büros AMT in der Sitzung der Baukommission Stadttheater am 07.03.2019 erläutert.

Nach eingehender Diskussion hat die Baukommission dem gleichlautenden Beschlussvorschlag einstimmig zugestimmt.

Der Bau-, Umwelt- und Verkehrsausschuss wird gebeten, über die raumakustische Untersuchung sowie die Maßnahmen entsprechend den Empfehlungen zu beraten und die benannten Beschlüsse zu fassen.