


Schallschutzprüfstelle DIN 4109, VMPA-SPG-136-97-SH
Mess-Stelle nach §§ 26, 28 BImSchG



Schalltechnische Begutachtung



Betrifft:

Foyers im Haupthaus der Hamburgischen Staatsoper
Parkett/1. Rang und 2. Rang/3. Rang
20354 Hamburg

- Durchführung und Ergebnisse von Schallmessungen,
Festlegen von raumakustischen Anforderungen,
Ausarbeitung von raumakustischen Maßnahmen -

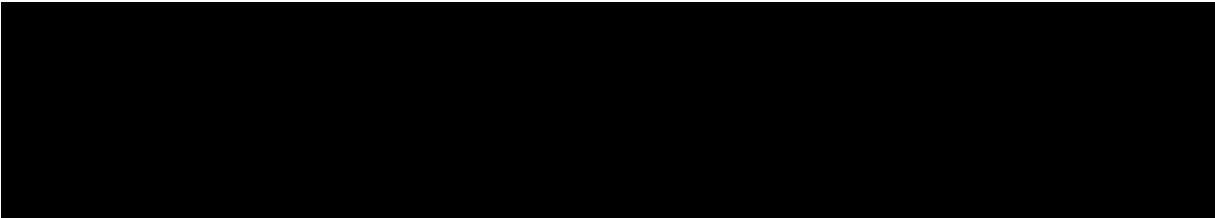
Auftraggeber:

Datum der Messungen

2005-05-31

Datum der Begutachtung:

2005-06-09



| | Inhaltsverzeichnis | Seite |
|-------|--------------------------------|-------|
| 1 | Aufgabenstellung | 3 |
| 2 | Grundlagen der Begutachtung | 3 |
| 3 | Schalltechnische Situation | 5 |
| 4 | Raumakustische Anforderungen | 6 |
| 5 | Raumakustische Messungen | 10 |
| 5.1 | Messgeräte | 10 |
| 5.2 | Messdurchführung | 11 |
| 5.2.1 | Nachhallzeitmessungen | 11 |
| 5.2.2 | Schallausbreitungsmessungen | 11 |
| 5.3 | Messergebnisse und Beurteilung | 12 |
| 5.3.1 | Nachhallzeiten | 12 |
| 5.3.2 | Schallausbreitungsmessungen | 13 |
| 6 | Raumakustische Maßnahmen | 14 |
| 7 | Zusammenfassung | 22 |

| | Anlagen | Nr. |
|--|---|---------------|
| | Vorhandene Nachhallzeiten | 1.1 und 1.2 |
| | Schallausbreitungsmessungen | 2.1 und 2.2 |
| | Auszug aus Produktunterlagen Firma Sto | 3 |
| | Auszug aus Produktunterlagen Firma Illbruck | 4.1 bis 4.3 |
| | Auszug aus Produktunterlagen Firma Capatect | 5 |
| | Auszug aus Produktunterlagen Firma Rigips | 6 |
| | Auszug aus Produktunterlagen Firma Ecophon | 7 |
| | Grundrisse 1. Rang und 3. Rang | 8.1 und 8.2 |
| | Berechnungsblätter Foyer Parkett/1. Rang | 9.1 und 9.2 |
| | Berechnungsblätter Foyer 2./3. Rang | 10.1 bis 10.3 |

1 Aufgabenstellung

In den Foyers des Haupthauses der Hamburgischen Staatsoper an der Dammtorstraße in Hamburg wird eine zu große Halligkeit und damit eine zu große Lautstärke während der Pausen von Veranstaltungen bzw. bei Veranstaltungen in den Foyers beanstandet. Um Maßnahmen zur Verbesserung vorzuschlagen wurden zunächst raumakustische Messungen im Foyer Parkett/1. Rang sowie im Foyer des 2./3. Ranges durchgeführt, um die bestehende Situation zu erfassen. In dem vorliegenden Gutachten sind raumakustische Anforderungen festzulegen und Maßnahmen zur Verbesserung auszuarbeiten.

2 Grundlagen der Begutachtung

Vom Auftraggeber wurden per E-Mail dwg-Dateien mit Grundrissen des Parkett und des 1. bis 3. Ranges am 1. Juni 2005 zur Verfügung gestellt. Der Begutachtung liegen weiterhin folgende Normen, Richtlinien, Regelwerke und Veröffentlichungen zugrunde:

DIN 18 041

Hörsamkeit in kleinen bis
mittelgroßen Räumen
Ausgabe Mai 2004

DIN EN ISO 3382

Akustik,
Messung der Nachhallzeit von Räumen mit
Hinweis auf andere akustische Parameter
Ausgabe März 2000

DIN EN ISO 354

Akustik,
Messung der Schallabsorption in Hallräumen
Ausgabe Dezember 2003

DIN EN ISO 11 654

Akustik, Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden, Bewertung der
Schallabsorption
Ausgabe Juli 1997

DIN EN ISO 14 257

Akustik,
Messung und Parametrisierung von Schallausbreitungskurven
in Arbeitsräumen zum Zweck der Beurteilung der akustischen
Qualität der Räume
Ausgabe März 2002

VDI 3755

Schalldämmung und Schallabsorption abgehängter Unterdecken
Ausgabe Februar 2000

VDI 3760

Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen
Ausgabe Februar 1996

W. Fasold, E. Sonntag, H. Winkler

Bauphysikalische Entwurfslehre:
Bau- und Raumakustik
VEB-Verlag für Bauwesen, Berlin, 1987

3 Schalltechnische Situation

Derzeit bestehen Beanstandungen über eine zu große Halligkeit und damit eine zu große Lautstärke im Foyer des Parketts/1. Ranges und im Foyer des 2./3. Ranges. Beide Foyers erstrecken sich jeweils über zwei Geschosse. Eine Längsseite zeigt jeweils zur Dammtorstraße. Diese Fassade ist vollständig verglast und weist Vor- und Rücksprünge auf. Die Decke besteht jeweils aus einer abgehängten Rabbitz-Putzdecke. Daran sind entlang der Fassade Luchungen vorhanden, die zur Entlüftung des Raumes dienen. Die Zuluft wird sowohl im unteren als auch im oberen Foyer an der Deckenstirnseite gegenüber der Fassade eingeblasen. Die Stirnwände weisen eine geschlossene Oberfläche auf. Subjektiv ist bei Beklopfen ein Hohlraum dahinter festzustellen, so dass vermutet werden kann, dass dies Vorsatzschalen sind. Gegenüber der Fassade befindet sich im Foyer des Parketts/1. Ranges Treppenaufgänge und Zugänge zum Saal. Verbleibende Wandflächen haben eine Putzoberfläche. Im Foyer des 2. Ranges ist diese Seite vollständig verglast und weist eine konvexe Krümmung mit großem Radius auf.

Im Foyer des Parketts besteht der Boden zu ca. 80 % aus einer Estrichfläche mit Beschichtung und zu ca. 20 % aus Naturstein. Der Boden des Foyers im 2. Rang ist vollständig mit Naturstein belegt. Im Raum befanden sich jeweils Stehtische bzw. Tische mit Bestuhlung und Tresen.

Das Foyer im Parkett hat eine Grundfläche von ca. 430 m² und ein Raumvolumen von etwa 2390 m³. Das Foyer im 2. Rang hat eine Grundfläche von ca. 350 m² und ein Volumen von ca. 1830 m³.

Beide Foyers werden überwiegend zu Pausenzwecken während der Veranstaltungen genutzt. Während dessen ist durch die dann anwesenden Personen durch Gespräche, Stühlerücken, Laufgeräusche und das Klappern von Geschirr die wesentliche Geräuscherzeugung zu erwarten. Außerdem werden Aufführungen per Beamer auf den Stirnseiten der Wände projiziert und akustisch übertragen. Für diese Nutzung sollte Musikklarheit und gegebenenfalls auch Sprachverständlichkeit gewährleistet werden.

4 Raumakustische Anforderungen

Allgemeines

Zur Festlegung der Anforderungen wird DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“ herangezogen. Die Norm behandelt unter anderem Maßnahmen, mit denen eine ausreichende Hörsamkeit, insbesondere Sprachverständlichkeit sichergestellt werden kann, ohne dass Mikrofone oder Lautsprecheranlagen verwendet werden müssen. Es werden auch Hinweise zur Gestaltung von Räumen mit Beschallungsanlagen gegeben. Die Norm unterscheidet zwei Anwendungen und zwar die Hörsamkeit über mittlere und größere Entfernungen (Räume der Gruppe A) sowie die Hörsamkeit über geringere Entfernungen (Räume der Gruppe B). Zunächst könnten die Foyers ähnlich wie Gaststätten Publikumsbereiche bzw. Öffentlichkeitsbereiche eingestuft werden. Für diesen Zweck werden Empfehlungen beschrieben, die eine Sprachkommunikation über geringe Entfernungen ermöglicht. Die daraus abgeleiteten Maßnahmen basieren auf der Erhöhung der Schallabsorption und der Verringerung des gesamten Stör-Schalldruckpegels und der Nachhallzeit.

Die Einhaltung eines Soll-Wertes der Nachhallzeit ist aber für den hier angestrebten Zweck nicht erforderlich.

Erfahrungsgemäß sind niederflorige Gehbeläge, übliche Polstermöbel, Verdunkelungselemente und Gardinen wenig zu effektiven Nachhallzeitreduzierungen geeignet. Trittweiche Gehbeläge (z. B. Teppiche, Auslegware) vermeiden aber die entsprechenden Störgeräuschenstehungen und tragen somit erheblich zur Senkung des Gesamt-Schalldruckpegels bei.

In Räumen, in denen sich viele oder mehrere Personen aufhalten, wird ein maßgeblicher Anteil des Störgeräuschpegels durch die Personen selbst erzeugt. In diesem Fall sind höhere Pegelminderungen als nach Berechnung zu erwarten, da sich in der Regel die Sprechlautstärke mit abnehmendem Störgeräuschpegel ebenfalls reduziert.

Dafür werden in Tabelle 6 in DIN 18 041 Orientierungswerte für mit Schallabsorbern zu bekleidende freie Decken- und Wandflächen als Vielfaches der Raumgrundfläche je übliche lichte Raumhöhe von im Mittel 2,5 m benannt. Für Pausenhallen und Speiseräume wäre bei einer lichten Raumhöhe von 2,5 m etwa 50 % der Deckenfläche mit einem 100 % absorbierenden schallabsorbierenden Material zu bekleiden. Bei etwa doppelt so hohen Räumen wie es hier der Fall ist, wäre demnach die Gesamtdecke mit einem sehr hochwertigen Material absorbierend zu gestalten. Bei geringeren Schallabsorptionsgraden, wie es bei den meisten Produkten der Fall ist, kann die zu bekleidende Deckenfläche bei üblichen Raumhöhen auf bis zu 80 oder 90 % ansteigen. Dies würde bedeuten, dass in diesem Fall etwa das 1,6- bis 1,8-fache der Raumgrundfläche schallabsorbierend zu bekleiden wäre. Dies entspreche einer mittleren Nachhallzeit von ca. $T_m = 0,90$ s. Derart kurze Nachhallzeiten sind bei diesen Raumvolumen jedoch nur sehr schwer zu er-

reichen und auch nicht zwangsläufig erforderlich. Im Vergleich dazu sollten die Anforderungen der Räume der Gruppe A gesehen werden.

Beispiele für die genannten Raumgruppen ergeben sich wie folgt:

Räume der Gruppe A

z. B. Konferenzräume, Gerichts-, Rats- und Festsäle, Unterrichtsräume, Seminarräume, Hörsäle, Tagungsräume und Interaktionsräume, Gruppenräume in Kindergärten, Seniorentagesstätten, Bürgerbüros, Gemeindesäle, Sport- und Schwimmhallen

Räume der Gruppe B

z. B. Verkaufsräume, Gaststätten, Publikumsbereiche für den öffentlichen Nah- und Fernverkehr, Fahrkarten- und Bankschalter, Sprechzimmer in Anwalts- und Arztpraxen, Büroräume, Operationssäle, Werkräume (z. B. Lehrwerkstatt), Öffentlichkeitsbereiche, Publikumsverkehrsflächen

Anforderungen gemäß DIN 18 041 - Räume der Gruppe A

Für eine optimale Hörsamkeit über mittlere und größere Entfernungen müssen bei geringer bis mäßiger Sprechanstrengung eines Sprechers (normal bis angehobener Sprechweise) oder Schallabstrahlung von einem Lautsprecher möglichst viel Direktschall und deutlichkeitserhöhende Anfangsreflexionen innerhalb von (30...50) ms nach dem Direktschall vom Sprecher zum Hörer geleitet werden. Anzustreben ist dazu eine weitgehende Reduzierung der Beeinträchtigungen durch längeren störenden Nachhall, langverzögerte energiereiche Reflexionen und Störgeräusche. Die Reduzierung des Nachhalls und störender Reflexionen tritt dann in den Vordergrund der raumakustischen Planung.

Der anzustrebende Sollwert der Nachhallzeit (T_{soll}) ist in Abhängigkeit von der Nutzungsart und dem effektiven Raumvolumen zwischen 30 m³ und 5 000 m³ zu bestimmen. Er gilt nach DIN EN ISO 3382 als Mittelwert für die beiden Oktavmittelfrequenzbänder 500 Hz und 1 000 Hz bzw. die sechs Terzmittelfrequenzbänder zwischen 400 Hz und 1 250 Hz im besetzten Zustand und ist unter Berücksichtigung der Toleranz $\pm 20 \%$ in Abhängigkeit von den o. g. Frequenzen einzuhalten. Der besetzte Zustand umfasst dabei 80 % der zu Grunde gelegten Platzkapazität. Die Nachhallzeiten dürfen bei Sprachnutzung nach niedrigeren und höheren Frequenzen abfallen. Für Musik dürfen sie zu niedrigen Frequenzen ansteigen und in den höheren Frequenzbereichen abfallen.

Die anzustrebenden Nachhallzeiten für Räume, die der Gruppe A angehören, sind in Abhängigkeit vom Rauminhalt für den vorliegenden Fall wie folgt zu entnehmen:

| | | |
|------------------------|------------------------------|--|
| Foyer, Parkett/1. Rang | $V \approx 2390 \text{ m}^3$ | $T_{\text{soll}} = 0,90 \text{ bis } 1,35 \text{ s}$ |
| Foyer, 2./3. Rang, | $V \approx 1830 \text{ m}^3$ | $T_{\text{soll}} = 0,85 \text{ bis } 1,30 \text{ s}$ |

Von Personen mit Hörschäden wird die raumakustische Situation für Sprachkommunikation um so günstiger empfunden, je kürzer die Nachhallzeit ist. Nach heutigem Kenntnisstand im Bereich des barrierefreien Planens und Bauens sollte für Personen mit eingeschränktem Hörvermögen die anzustrebende Nachhallzeit für Räume mit einem Volumen bis zu 250 m³ und der Hauptnutzung Sprache und Unterricht um 20% unter den o. g. Werten liegen. Vergleichbare Anforderungen gelten auch für die Kommunikation in einer Sprache, die nicht als Muttersprache gelernt wurde und/oder bei der Kommunikation mit Personen, die Deutsch als Fremdsprache sprechen. Für die akustische Übertragung von Aufführungen in die Foyers bzw. von Ansagen kann von den eigentlichen Anforderungen nach DIN 18 041 für Räume der Gruppe B abgewichen werden. Musikklarheit und Sprachdeutlichkeit wird auch mit

den Anforderungen für die Räume der Gruppe A gewährleistet. Auch für die Nutzung als Publikums-Verkehrsfläche mit der Anforderung an die Sprachverständlichkeit über geringe Entfernungen, sind nach Ansicht des Gutachters der Raum immer noch stark genug bedämpft.

5 Raumakustische Messungen

5.1 Messgeräte

| Messgeräte Nachhallzeit und Schallausbreitung | Fabrikat | Typ | Serien- Nummer |
|--|---------------|-------|-------------------|
| Echtzeit-Terz-Oktav-Analysator Klasse 1 nach DIN EN 60 651 und DIN EN 60 804 Kanal 2 | Norsonic | 840/2 | 18722 |
| Mikrofon-Vorverstärker 1/2" | Norsonic | 1201 | 18926 |
| Mikrofon-Kapsel 1/2" | Norsonic | 1220 | 15366 |
| Kalibrator Klasse 1 | Norsonic | 1251 | 25684 |
| Verstärker | Mühlnikel | 215 | 720 |
| Dodekaeder-Lautsprechergruppe | Norsonic | 229 | 20716 |
| Präzisions-Schallpegelmesser Klasse 1 nach DIN EN 60 651 | Brüel & Kjaer | 2215 | 1010493 |
| Mikrofon-Kapsel 1/2" | Brüel & Kjaer | 4165 | 1775247 |
| Rauschlautsprecher | Mühlnikel | NHL | ohne |

5.2 Messdurchführung

5.2.1 Nachhallzeitmessungen

Im Foyer Parkett/1. Rang wurde im unbesetzten Raum gemessen. Die Anregung des Raumes in seinen Eigenfrequenzen erfolgte mit Stationärem Rosa Breitbandrauschen. Der Dodekaeder-Lautsprecher und das Mikrofon wurden jeweils an acht unterschiedlichen Positionen im Raum aufgestellt und je Position nach Abschalten der Schallquelle abklingende Nachhall zweimal ausgewertet.

Im Foyer 2. Rang/3. Rang wurden im unbesetzten Raum nach dem MLS-Verfahren gemessen, weil zahlreiche Störgeräusche im Raum und von außen vorlagen. Hierzu wird ein Pseudo-Rauschsignal (Maximalfolgesequenz) erzeugt und durch Rückwärts-Integration der quadrierten Impulsantwort die Abklingkurve berechnet. Der Dodekaeder-Lautsprecher und das Messmikrofon wurden jeweils an acht unterschiedlichen Positionen im Raum aufgestellt und an jedem Messpunkt die Signale zwei Mal ausgewertet.

5.2.2 Schallausbreitungsmessungen

Ein Lautsprecher, dessen Richtwirkung etwa der des menschlichen Mundes entspricht, wurde in jedem Foyer jeweils 2 m von den Stirnseiten in ca. 1,5 m Höhe aufgestellt. Dies entspricht in etwa dem Aufenthaltsort und der Mundhöhe eines Sprechers. Er strahlte Stationäres Rosa Breitbandrauschen ab. Die Schallpegel wurden in verschiedenen Abständen vom Lautsprecher auf jeweils zwei Pfaden in Längsrichtung gemessen.

5.3 Messergebnisse und Beurteilung

5.3.1 Nachhallzeiten

Gemäß der Messdurchführung unter Ziffer 5.2.1 ergibt sich nach Auswertung der Messergebnisse die Nachhallzeit in Terzbandbreite nach DIN EN ISO 3382. Die Ergebnisse sind für die einzelnen Terzen in Anlage 1.1 und 1.2 sowohl numerisch als auch grafisch dargestellt. Die Nachhallzeiten für die Hauptoktavbänder aus dem Terzwert gemittelt, lauten wie folgt:

| <u>Frequenz</u> | <u>Parkett/1. Rang</u> | <u>2.Rang/3. Rang</u> |
|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 125 Hz | 2,25 s | 2,29 s |
| 250 Hz | 2,87 s | 3,36 s |
| 500 Hz | 3,49 s | 4,05 s |
| 1000 Hz | 3,46 s | 3,80 s |
| 2000 Hz | 3,00 s | 3,10 s |
| <u>4000 Hz</u> | <u>2,20 s</u> | <u>2,32 s</u> |
| $T_{m,250\text{ Hz}-2000\text{ Hz}}$ | 3.21 s | 3,58 s |

Die mittleren Nachhallzeiten mit $T_m = 3,21\text{ s}$ bzw. $T_m = 3,58\text{ s}$ für den Frequenzbereich zwischen 250 Hz und 2000 Hz überschreiten die Soll-Nachhallzeiten von maximal $T_m = 1,35\text{ s}$ bzw. $1,30\text{ s}$ um etwa den Faktor 3. Damit sind die Anforderungen nicht erfüllt. Deswegen sind zusätzliche Maßnahmen zur Verringerung der Halligkeit erforderlich.

5.3.2 Schallausbreitungsmessungen

Die Ergebnisse der Schallausbreitungsmessungen sind in den Anlagen 2.1 und 2.2 grafisch dargestellt. Dabei sind die Differenzen zu den Bezugs-Schallpegeln in 0,25 m Abstand aufgeführt. Die „Freifeld-Gerade“ fällt mit 6 dB je Abstandsverdoppelung und ist damit als durchgehende Gerade dargestellt. Diese Schallausbreitung ergäbe sich im Freien ohne raumumschließende Flächen. Dagegen ist die horizontale „Hallfeld-Gerade“ abstandsunabhängig. Diese beschreibt den Diffus-Schallpegel, der sich außerhalb des Direkt-Schallfeldes ergibt. Aus dem Schnittpunkt beider Geraden ergibt sich für den hier verwendeten Lautsprecher und somit auch für eine sprechende Person die sogenannte „Richtentfernung“ (Critical Distance D_c) im vorliegenden Fall wie folgt:

Foyer Parkett/1. Rang

$D_c = 3,60 \text{ m}$

Foyer 2. Rang/3. Rang

$D_c = 3,00 \text{ m}$

Die Grafiken in den Anlagen 2.1 und 2.2 zeigen, dass die Messwerte jeweils oberhalb der rechnerisch zu erwartenden Kurve liegen (gestrichelte Linie). Dies deutet darauf hin, dass von den schallharten Oberflächen bereits bei geringen Entfernungen jenseits der Richtentfernung Schallrückwürfe entstehen. Ab dieser Entfernung beispielsweise dann ein Musik- oder Sprachsignal das von einem Lautsprecher abgestrahlt wird, bereits von Reflexionen durchmischt, so dass die Verständlichkeit oder Durchsichtigkeit abnimmt. Außerdem deutet dies darauf hin, dass der Schallpegel weniger stark abnimmt, als es in bedämpften Räumen der Fall wäre. Somit ergibt sich an weiter entfernten Plätzen ein Schalldruckpegel, der von der dort sprechenden Person übertönt werden muss. Damit kommt es zum Aufschaukeln des Schallpegels im Raum, was mit einer zu großen Lautstärke beanstandet wird.

6 Raumakustische Maßnahmen

Die Nachhallzeiten wurden in beiden Foyers gemessen. Dabei zeigten die Messergebnisse, dass die Anforderungswerte bei weitem überschritten und nicht erfüllt sind. Zur Verringerung der auftretenden Lautstärke sowie zur Erhöhung der Sprach- und Musikdeutlichkeit bei der Übertragung von Aufführungen sind deswegen noch zusätzliche Maßnahmen zur Bedämpfung des Raumes erforderlich. Mögliche einzubauende schallabsorbierende Materialien werden bei den mittel- und hochfrequenten Absorbern aufgrund ihrer unterschiedlichen Wirkungsweise in zwei Gruppen aufgeteilt. Es sind poröse Absorber bzw. Loch- oder Schlitzabsorber.

Bei porösen Absorbern handelt es sich um offenporige Materialien, bei denen die Poren oder Kanäle miteinander verbunden sind. Beispiele für poröse Absorber sind mineralische oder organische Faserstoffe, z. B. Mineralwolle, offenporige Schaumstoffe, textile Vorhänge oder Akustikputze. Die Wirkungsweise von porösen Absorbern beruht maßgeblich darauf, dass - angeregt durch den Wechseldruck der Schallwelle - die Luft in den Poren hin- und herschwingt und durch Reibung an dem Skelett des Absorbers in Wärme umgewandelt wird.

Die Schallabsorption hängt unter anderem von der Porösität, dem Strömungswiderstand, der Dicke und dem Abstand zur schallharten Wand oder Decke ab. Werden poröse Absorber mit einer geringen Dicke bis ca. 30 mm unmittelbar auf einer schallreflektierenden harten Wand- oder Deckenfläche angeordnet, so wirken diese vorwiegend bei hohen Frequenzen. Diese wären dann z. B. Teppich bzw. Akustikputze oder dünne Schaumstoffschichten.

Durch eine Vergrößerung des Abstandes bzw. der Dicke weisen poröse Absorber auch bei mittleren Frequenzen höhere Schallabsorptionsgrade auf.

Häufig werden poröse Absorber aus gestalterischen oder funktionalen Aspekten mit gelochten oder geschlitzten Platten oder Blechen abgedeckt. Dadurch entsteht der zweite Typ der Loch- oder Schlitzabsorber. Dadurch wird gegenüber dem porösen Absorbern die Absorption bei hohen Frequenzen reduziert. Bei Öffnungsflächenanteilen von 15 % bis 20 % weisen die Konstruktionen ein mehr oder minder stark ausgeprägtes Absorptionsmaximum im mittleren Frequenzbereich auf. Ursache ist die Resonanz der in den Öffnungen schwingenden Luft mit dem als Feder wirkenden Hohlraum. Die Bedämpfung des Hohlraumes erfolgt mit Hilfe von porösen Dämmstoffen, die gegebenenfalls auch aus speziellen Herstellerseitig aufkaschierten Akustikvliesen bestehen können.

Günstigerweise werden Absorber großflächig an der Decke vorgesehen. Damit sind sie gleichmäßig über der Schallquelle verteilt. In beiden Foyers steht hier auch die größte zu bekleidende Fläche zur Verfügung. Allerdings befinden sich in einem Streifen von 2,0 m vor der Fassade Lüftungsöffnungen in der Putzdecke durch die die Abluft gesaugt wird. Poröse Absorber sollten nicht in unmittelbarer Nähe zu diesen angeordnet werden, weil durch angesaugte Feinstaubteilchen Verschmutzungen um die Löcher auftreten können. Möglicherweise ist diese Fläche je nach Wahl des Materials auszusparen. Zudem darf das nun einzubauende Material keine zu hohe flächenbezogene Masse aufweisen, weil die bereits vorhandene Deckenfläche ein abgehängtes System ist. Hier ist zu prüfen, welche zusätzlichen flächenbezogene Masse statisch möglich ist. Möglicherweise bestehen auch Anforderungen an die Brennbarkeit des Materials. Diese Anforderung sollte ebenfalls geprüft werden.

Außer der Deckenfläche könnten auch Wandflächen, in diesem Fall die Stirnwandflächen, bekleidet werden. Diese weisen jedoch wegen der großen Entfernung zu großen Bereichen der Foyers nur eine geringe Wirksamkeit auf, weil nur der Schall geschluckt werden kann, der auch auf eine schallabsorbierende Fläche auftrifft. Der mittlere Bereich der Foyers würde demnach kaum davon profitieren.

In den Anlagen 3 bis 9 werden verschiedene Absorbertypen vorgeschlagen. Die Anlage 3 zeigt Auszüge aus den Produktunterlagen der Firma Sto für einen Akustikspritzputz, der unmittelbar auf die Deckenfläche aufgebracht werden könnte. Die Gesamtdicke des Akustikputzes, der in mehreren Lagen aufgebracht wird, beträgt ca. 22 mm. Der bewertete Schallabsorptionsgrad beträgt dann $\alpha_w = 0,40$.

Die Acoustic Panels der Firma Illbruck bestehen aus Melaminharz-Schaumstoff mit einem Strukturgewebe auf der Oberfläche. Die Platten sind in 30 mm und 60 mm Stärke erhältlich. Die 90 mm dicken Platten werden seit ca. acht Wochen nicht mehr hergestellt. Die Platten können unmittelbar an die Decke bzw. an die Wand angeklebt werden. Der bewertete Schallabsorptionsgrad beträgt schon bei dem 30 mm dicken Panel $\alpha_w = 0,70$. Zudem weist das Material auch im mittleren Frequenzbereich relativ hohe Schallabsorptionsgrade auf, so dass die gemessenen langen Nachhallzeiten in diesem Frequenzbereich wirkungsvoll absorbiert werden können.

Die Anlage 5 zeigt das Topakustik-System BASWA. Dieses besteht aus einer Akustikputzbeschichtung, die auf eine 40 mm dicke Mineralfaserplatte aufgebracht wird. Damit entsteht ein insgesamt ca. 50 mm dickes System. Dieses Material kann unmittelbar an die Deckenfläche oder die Wandflächen aufgebracht werden. Bei einem gespritzten Akustikputz beträgt der bewertete

Schallabsorptionsgrad $\alpha_w = 0,60$. Würde der Akustikputz aufgespachtelt werden, so ergäbe sich eine Reduzierung des bewerteten Schallabsorptionsgrades um etwa 15 %. Dann ist die Oberfläche glatter aber akustisch weniger wirksam und deswegen ist eine größere Fläche erforderlich.

Anlage 6 zeigt Gipskartonlochplatten, die als Wandbekleidungen geeignet wären. Der Lochflächenanteil von Gipskartonlochplatten sollte ca. 15 % bis 20 % betragen. Die Platten sollten auf eine Konstruktion von etwa 50 mm Tiefe aufgebracht werden. Der Hohlraum ist mit mindestens 20 mm dicker Mineralwolle zu bedämpfen. Der bewertete Schallabsorptionsgrad beträgt dann $\alpha_w = 0,55$. Damit diese Flächen noch als Präsentationsflächen geeignet sind, könnte über die Gipskartonlochplatten dann ein Vlies oder ein schalldurchlässiger Stoff gespannt werden.

In Anlage 7 ist das Wandpaneel der Firma Ecophon dargestellt. Dies besteht aus einem Mineralwollkern und schalldurchlässige Platten können in einen Rahmen eingestellt werden, ohne auf eine Unterkonstruktion aufgebracht zu werden. Die Plattengröße beträgt 2,70 m x 0,60 m. Der bewertete Schallabsorptionsgrad beträgt $\alpha_w = 0,90$.

In ähnlicher Weise würden folgende handwerklich gefertigte Absorber wirken. Zunächst würde eine ca. 50 mm dicke Holzunterkonstruktion mit Gefachen erstellt werden. Die Gefache würden dann mit gleich dicker Mineralwolle ausgefüllt werden. Anschließend erfolgt eine Bespannung mit einem schalldurchlässigen Gewebe. Diese Fläche wäre dann auch gleichzeitig als Präsentationsfläche geeignet. Der bewertete Schallabsorptionsgrad gleicht demjenigen des Ecophon-Wandpaneels.

In den Anlagen 8.1 und 8.2 sind die möglichen zu bekleidenden Wand- und Deckenflächen dargestellt. Bei der Deckenfläche ist der gelochte Streifen für die Lüftung dabei zunächst grundsätzlich ausgespart. Damit ergibt sich eine Deckenfläche von jeweils $\geq 200 \text{ m}^2$. Als zu bekleidende Wandfläche stehen je Raum ca. $2 \times 35 \text{ m}^2$ zur Verfügung.

Für Berechnungen der zu erwartenden Nachhallzeit wurden verschiedene Materialien für Wand- und Deckenbekleidungen kombiniert. Die Berechnungsergebnisse sind beispielhaft in den Anlagen 9.1 bis 10.3 für die beiden Foyers dargestellt. In der nachfolgenden Tabelle werden für die unterschiedlichen Kombinationen jeweils nur die Mittelwerte für den Frequenzbereich zwischen 250 Hz und 2000 Hz dargestellt. Dabei sind die Berechnungsergebnisse, mit denen die Anforderungen erfüllt werden, in Fettdruck dargestellt.

| Deckenbekleidung je 200 m^2 | Wandbekleidung je 70 m^2 | zu erwartende Nachhallzeit $T_{m,250\text{Hz}-2000\text{Hz}}$ |
|--|---------------------------------------|---|
| <u>Foyer Parkett / 1.Rang</u> | | <u>vorhanden: 3,21 s</u> |
| sto Akustik-Spritzputz | - | 1,60 s |
| sto Akustik-Spritzputz | Gipskarton-Lochplatten | 1,32 s |
| sto Akustik-Spritzputz | Ecophon Wandpaneel | 1,27 s |
| illbruck Acoustic panel | - | 1,42 s |
| illbruck Acoustic panel | Gipskarton-Lochplatten | 1,21 s |
| illbruck Acoustic panel | Ecophon Wandpaneel | 1,16 s |
| Capatect BASWA | - | 1,57 s |
| Capatect BASWA | Gipskarton-Lochplatten | 1,31 s |
| Capatect BASWA | Ecophon Wandpaneel | 1,25 s |
| - | Gipskarton-Lochplatten | 2,25 s |
| - | Ecophon Wandpaneel | 2,09 s |
| - | Capatect BASWA | 2,33 s |

| Deckenbekleidung je 200 m ² | Wandbekleidung je 70 m ² | zu erwartende Nachhallzeit $T_{m,250\text{Hz}-2000\text{Hz}}$ |
|---|--|---|
| <u>Foyer 2.Rang / 3. Rang</u> | | <u>vorhanden: 3,58 s</u> |
| sto Akustik-Spritzputz | - | 1,49 s |
| sto Akustik-Spritzputz | Gipskarton-Lochplatten | 1,18 s |
| sto Akustik-Spritzputz | Ecophon Wandpaneel | 1,13 s |
| illbruck Acoustic panel | - | 1,27 s |
| illbruck Acoustic panel | Gipskarton-Lochplatten | 1,06 s |
| illbruck Acoustic panel | Ecophon Wandpaneel | 1,01 s |
| Capatect BASWA | - | 1,43 s |
| Capatect BASWA | Gipskarton-Lochplatten | 1,16 s |
| Capatect BASWA | Ecophon Wandpaneel | 1,10 s |
| - | Gipskarton-Lochplatten | 2,21 s |
| - | Ecophon Wandpaneel | 2,03 s |
| - | Capatect BASWA | 2,33 s |

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass zur Einhaltung der Anforderungen nach DIN 18 041 sowohl die Deckenfläche als auch die Wandflächen schallabsorbierend bekleidet werden sollten. Die geringsten Nachhallzeiten ergeben sich in Kombination von breitbandig wirkenden Schallabsorbern, z. B. des Typs Capatect BASWA und den Ecophon Wandpaneelen bzw. Wandbekleidungen aus Gipskartonlochplatten. Würde ausschließlich die Deckenfläche bekleidet werden, so wären bei einer Deckenfläche von 200 m² die Anforderungen jeweils noch überschritten und nicht erfüllt.

Die Bekleidung von Wandflächen ohne gleichzeitige schallabsorbierende Bekleidung der Deckenfläche ergibt Nachhallzeiten zwischen 2,0 und 2,3 s. Die Anforderungen wären dann um den Faktor 2 überschritten und nicht erfüllt. Gegenüber dem bisherigen Zustand würde sich zwar eine Reduzierung der Nachhallzeit ergeben, der Raum wäre jedoch noch zu hallig und die schallab-

sorbierenden Flächen von großen Teilen der Foyerflächen zum Teil entfernt, so dass sie nur geringfügig wirksam wären.

Die Berechnungsblätter in den Anlagen 9.1 bis 10.3 zeigen einige typische Kurvenverläufe. Für die genannten schallabsorbierenden Materialien und deren Kombinationen, bei Verwendung des Illbruck Acoustic Panel und des Systems Capatect BASWA, wird durch die starke mittelfrequente Schallabsorption die derzeit vorhandene Nachhallzeit bei 500 Hz und 1000 Hz sehr effektiv gesenkt (Anlage 9.1 und 9.2). Zu den hohen Frequenzen steigt die Nachhallzeit dann wieder an. Dies ist jedoch unerheblich, weil in diesem Frequenzbereich durch die Anwesenheit von Personen immer ausreichend Schallabsorption zur Verfügung steht.

Bei alleiniger Bekleidung der Wandoberflächen mit den Ecophon-Wandpaneelen wird ebenfalls sehr breitbandig absorbiert. Allerdings entsteht eine Nachhallzeit zwischen der derzeit vorhandenen und dem Sollbereich, so dass keine ausreichende Bedämpfung vorliegen würde.

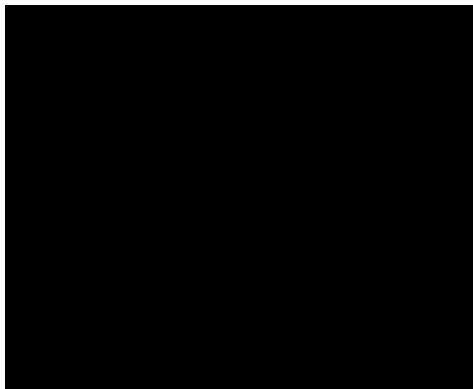
Bei Beschichtung der Deckenfläche mit dem Sto-Akustikputz, der eine überwiegend schallabsorbierende Wirkung im hochfrequenten Bereich hat, würde ab 1000 Hz die Soll-Nachhallzeit erfüllt werden. Allerdings beständen im Frequenzbereich zwischen 250 Hz und 5000 Hz noch Überschreitungen der Anforderungen. Der Raum würde dann zum „Dröhnen“ neigen. Deswegen wären prinzipiell noch weitere tieffrequent absorbierende Materialien erforderlich. In Kombination mit den Wandpaneelen der Firma Ecophon würde die Nachhallzeit dann weiter gesenkt werden, so dass ab 500 Hz die Soll-Nachhallzeit erfüllt ist. Die Überschreitung bei 250 Hz und 125 Hz kann dann toleriert werden.

In der Summe ergibt sich dann die Empfehlung, dass nach Möglichkeit die Decke eher einen breitbandig absorbierenden Schallabsorber, z. B. das Illbruck Acoustic Panel oder System Capatect BASWA erhalten sollte. Zusätzlich wären die Wandflächen dann mit Gipskarton-Lochplatten oder den Ecophon Wandpaneelen zu bekleiden. Sollte nur eine geringe Aufbauhöhe an der Decke zur Verfügung stehen, so dass nur der Akustikspritzputz zum Einsatz kommen kann, sollte die Wandflächen mit dem Capatect-BASWA-System oder den Ecophon-Wandpaneelen bekleidet werden.

Neben den in diesem Gutachten vorgeschlagenen eher flächigen Bekleidungen könnten prinzipiell auch Deckensegel aus Schaumstoffplatten, z. B. Fabrikat Illbruck oder Ecophon gewählt werden. Aufgrund der Abhängigkeit sind diese dann auch im tieffrequenten Bereich stärker wirksam. Die Zwischenräume zwischen den Sälen lassen dann auch die Oberfläche der absorbierenden Materialien ebenfalls wirksam werden, so dass dann gegebenenfalls mit einer geringeren zu bekleidenden Fläche eine ausreichende Bedämpfung des Raumes möglich wäre. Sofern auch architektonisch die Verwendung von schallabsorbierenden Segeln möglich wäre, könnten noch die notwendigen Berechnungen zur zu erwartenden Nachhallzeit durchgeführt werden.

7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Schalltechnischen Begutachtung wurden die raumakustischen Anforderungen für die Foyers im Haupthaus der Hamburgischen Staatsoper beschrieben und daraus ein Planungskonzept bzw. Entwurf für die raumakustischen Maßnahmen erstellt. Zugrunde gelegt wurden dabei die Messergebnisse zur Nachhallzeit und Schallausbreitung. Anhand der Messergebnisse wurden mit Schallabsorptionsgraden der vorgeschlagenen schallabsorbierenden Materialien die zu erwartenden Nachhallzeiten berechnet. Im weiteren Planungsverlauf sollte festgelegt werden, welche Materialien zum Einsatz kommen sollen. Grundsätzlich wird empfohlen sowohl die Deckenfläche mit jeweils ca. 200 m² und die Wandflächen mit jeweils 2 x 35 m² schallabsorbierend zu bekleiden.



4fach