



# NEUES ARBEITEN IM RENOVIERTEN HAUS

DIE SANIERUNG DER STAATSOPER UNTER DEN LINDEN – TEIL 2: DIE AKUSTIK

*Die Verbesserung der Akustik spielte eine zentrale Rolle bei der Sanierung der Berliner Staatsoper. Das deutsch-niederländische Akustikbüro Peutz Consult wurde mit der Planung für die Bau- und Raumakustik des Saals und der Probenräume beauftragt. Auch war die Firma zuständig für die Fachplanung Medientechnik. Der Projektleiter berichtet über die Zielsetzung, die Entwicklung des Akustikentwurfs und die realisierten akustischen Maßnahmen.*

von MARTIJN VERCAMMEN

**W**enn die Lindenoper vor der Sanierung mit anderen wichtigen Opernhäusern der Welt verglichen wurde, galt sie mit ca. 6500 m<sup>3</sup> als eine der kleinsten. Für eine wesentliche Verbesserung des Raumklangs war die erhebliche Vergrößerung des akustisch effektiven Raumvolumens erforderlich. Die Rahmenbedingungen waren aber klar: Eine denkmalgerechte Sanierung, ohne die Abmessungen des Saals und die der Außenkubatur zu verändern – eine große Herausforderung.

Vor der Sanierung bis 2010 war die Nachhallzeit für eine Opernnutzung sehr kurz: ca. 1,1 s – eher ausgerichtet für die Nutzung eines Sprechtheaters. Durch das beschränkte Volumen lag die Lautstärke

im Saal an der Obergrenze. Ziel war es, ohne Erhöhung der Lautstärke die Nachhallzeit auf 1,6 s zu verlängern. Dies ist ein optimaler Wert, um eine Klangmischung zu erreichen, ohne die Verständlichkeit des Gesangs zu sehr zu beeinträchtigen. Ausschließlich eine Verringerung der Schallabsorption im Raum – wenn dies überhaupt technisch realisierbar wäre – hätte zwar die Nachhallzeit verlängert, aber gleichzeitig die Lautstärke erhöht. Die einzige Lösung bestand in der Vergrößerung des Raumvolumens.

Anhand energetischer und 3D-geometrischer Modelle wurden mögliche Lösungen simuliert. Berechnungen zeigten, dass eine erhebliche Erhöhung der Saaldecke zu einer deutlichen Verbesserung der akustischen Bedingungen führen könnte. Die Simulationen zeigten jedoch

auch, dass dieser vorhandene Zwischenraum kein separater Raum sein konnte, sondern maximal an den Saal angekoppelt werden musste, um akustisch wirklich effektiv zu sein.

### Die Umbaumaßnahmen im Zuschauerraum

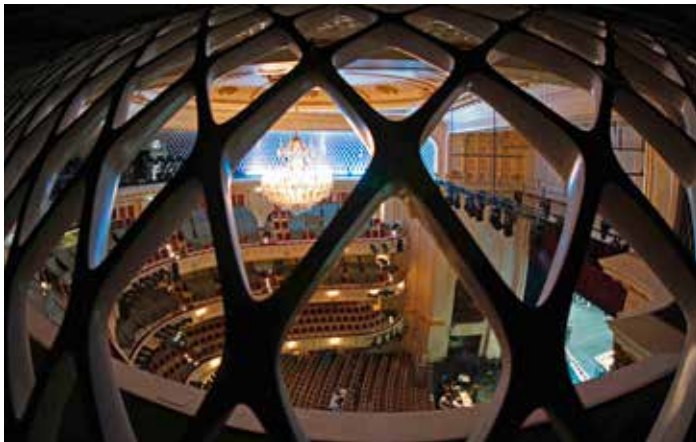
Der neue Zuschauerraum erstreckt sich jetzt oberhalb des dritten Rangs. Mit der Nachhallgalerie befinden sich im oberen Bereich nun Reflexionsflächen, die den Klang aufnehmen, reflektieren und wieder an die Zuschauer weiterleiten. Durch das ungewöhnliche Horizontaltragwerk konnte die Überhöhung wie ein Pilz gestaltet und das Volumen zusätzlich vergrößert werden.

Neben der Errichtung der Nachhallgalerie wurde in Zusammenarbeit mit dem Büro hg merz auch der Orchestergraben verbessert. Eine Ver-

größeren Portalöffnung und den Reflektoren oberhalb der Vorbühne wird ein neuer akustisch einheitlicher Klangraum realisiert, in dem sinfonische Musik optimal klingt.

### Akustik im Maßstab 1:10

Die von Margriet Lautenbach (Peutz Consult) verantworteten raumakustischen Berechnungen mithilfe von Computersimulationen basieren in der Regel auf Strahlenverfolgung. Dazu werden Schallwellen als (Licht-) Strahlen dargestellt. Anhand dieser Simulationen wurden Entwurfsvarianten hinsichtlich Lautstärke und Nachhall untersucht. Für Untersuchungen der frühen Reflexionen, vor allem bei gekrümmten Flächen, ist es wichtig, dass der Wellencharakter von Schallwellen erhalten bleibt. Das ist anhand von akustischen Messungen innerhalb eines Maßstabs-



*Auf das Ergebnis gespannt: Für die Tests wurden die Stühle behängt (Foto linke Seite). Die Keramikstruktur deckt den vergrößerten Raumteil ab*

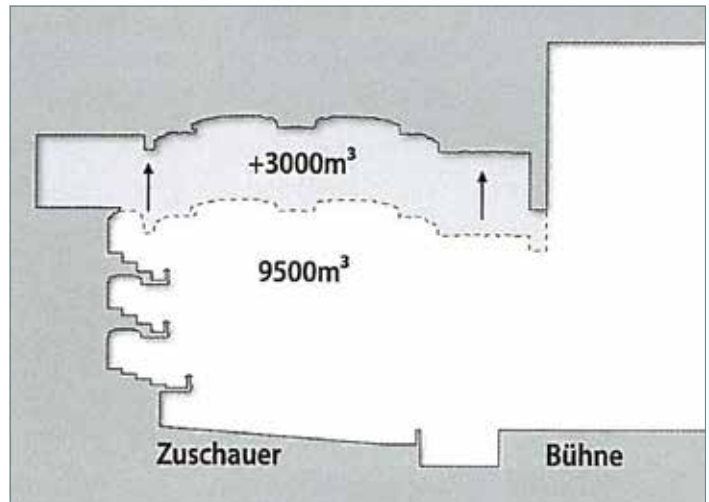


*In Ruhe proben: Die Probenräume – hier der Orchesterprobenraum – wurden als Raum-in-Raum-Konstruktion gebaut; Straßenlärm dringt nicht ein*

45



*Akustikmodell im Maßstab 1:10: Hier maß der Autor die Schallabsorption der Bestuhlung, um sie an die Anforderungen anpassen zu können*



*Deutlich vergrößertes Raumvolumen: Ein nicht genutztes Volumen über der Saaldecke konnte für die Verlängerung der Nachhallzeit genutzt werden*

tiefung und Vergrößerung der Fläche in Kombination mit schalldiffundierenden Wandelementen sorgt für eine bessere Akustik im Orchestergraben und eine bessere Mischung des Orchesterklangs, bevor der Klang sich im Saal ausbreitet. Zusätzlich sorgen schallreflektierende Einbauten in den Seitenlogen für Verbesserung der Rückkopplung des Schalls zu den Musikern.

Wenn der Saal für Konzerte genutzt wird, spielt das Orchester auf der Vorbühne und dem vorderen Teil der Bühne hinter der Portalöffnung. Ein neues Konzertzimmer aus Bühnenbildern ermöglicht eine richtige Bühnenakustik, wo Musiker sich selbst und Kollegen gut hören können, ohne dass der Klang im Bühnenturm verschwindet. Zusammen mit der

modell möglich. Es wurde ein Modell im Maßstab 1:10 erstellt. Entsprechend des Maßstabs verschieben sich hierbei die Messfrequenzen auch mit einem Faktor von 10.

Der Einsatz spezieller Lautsprecher verbunden mit einer besonderen Mikrofontechnik ermöglicht es jedoch, dass auch bei diesen hohen Frequenzen aussagekräftige Messergebnisse erzielt werden können. Anhand dieser wurde aufgezeigt, dass das Projektziel durch die Anhebung der Decke erreicht werden konnte. Da das Maßstabsmodell bereits während des Entwurfsprozesses genutzt wurde, konnten wichtige Entwurfsänderungen sowie geplante Änderungen der Prozeniumsdecke, der Wände der Regieräume und die Form der Nach-



hallgalerie überprüft und optimiert werden. Auch die akustische Optimierung des Konzertzimmers wurde anhand von Computersimulationen und Maßstabsmodellmessungen durchgeführt.

### Neuer Klang im Apollosaal

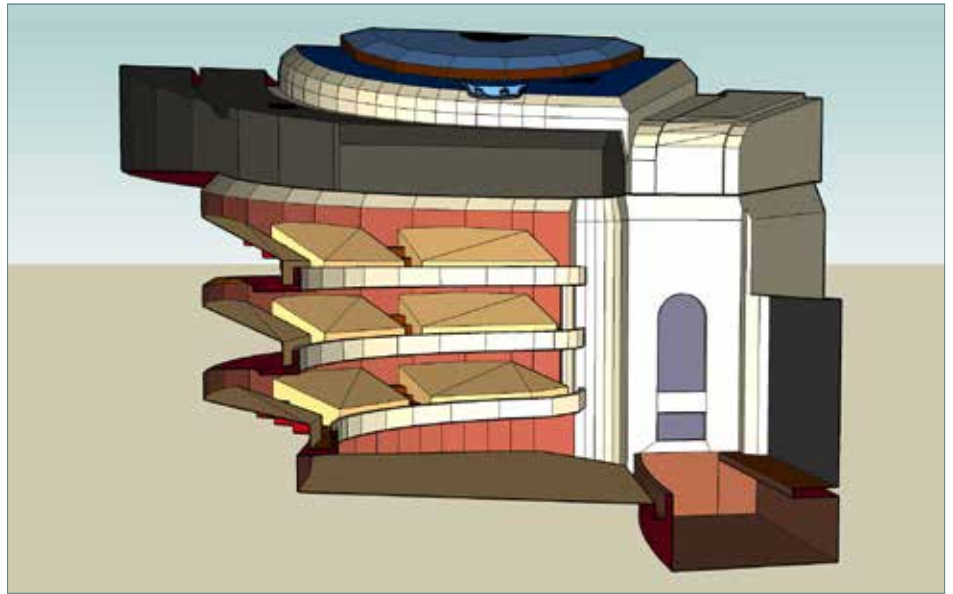
Wände und Boden des Apollosaals bestehen aus Naturstein. Nur die Stützen sind hohl und haben Löcher, die mit den Hohlräumen als Helmholzabsorber wirken. In den 1950er-Jahren war die Decke als nahtlose Absorptionsdecke angedacht. Die bautechnischen Möglichkeiten waren aber noch nicht ausreichend fortgeschritten, und mehrere Farbschichten hatten die ursprüngliche Wirkung aufgehoben. Das Büro hg merz plante eine neue nahtlose absorbierende, zweifach gekrümmte Rabitz-Unterdecke, realisiert von der Firma Baswa. Die originalen Ornamentierungen wurden nach dem Einbau der absorbierenden Decke wieder ortsgerecht replaziert. Oberhalb des Apollosaals entstand eine neue Technikzentrale für die Lüftung im Zuschauersaal und im Apollosaal. Um eine hohe Schalldämmung zwischen der Technikzentrale und dem Apollosaal zu realisieren, waren nicht nur am Boden, sondern auch an den Durchbrüchen für die Bühnentechnik und die unsichtbaren Lüftungskanäle kreative akustische Maßnahmen notwendig. Inklusiv der Verbesserung der Schalldämmung der Fassade ist der Apollosaal damit akustisch geeignet für Kammermusik-konzerte und -oper.

### Der Orchesterprobensaal

Im neuen Orchesterprobensaal wurden konvexe Reflektoren an den Wänden und Decken angebracht, um die Lautheit der einzelnen Reflexionen zu verringern und die Anzahl an Reflexionen zu vergrößern. Die Nachhallzeit lässt sich mit verschiebbaren Vorhängen zwischen ca. 1,1 und 1,6 s regulieren. Auch das Stärkemaß, das aufgrund des Volumens insgesamt höher liegt als im Zuschauersaal, ist mit den Vorhängen um ca. 2 dB reduzierbar. Der Orchesterprobensaal, wie auch die meisten anderen Probesäle und das Tonstudio, wurde als Raum-in-Raum ausgeführt, um damit einen ungestörten gleichzeitigen Betrieb der Probesäle zu gewährleisten. Auch der darunterliegende große Probesaal „Szenisch I“ ist als Raum-in-Raum-Konstruktion ausgeführt. Die Bühnentechnik ist federnd durch die Innenschale an den Rohbau abgehängt.

### Der Chorprobensaal

Die wichtigste raumakustische Maßnahme für den Chorprobensaal war das Volumen. Der Raum hat ein 7 m hohe Decke bekommen, womit ein Volumen von 2000 m<sup>3</sup> realisiert wurde. Mit diesem Volumen und vergleichbaren akustischen Maßnahmen wie im Orchesterprobensaal wurde eine optimale Akustik für einen Chor von ca. 80 Sängern realisiert, wobei



Unterschiedlich akustisch wirksam: Das Schema zeigt die Absorptionskoeffizienten. Die einzelnen Farben stehen jeweils für einen eigenen Wert

das Stärkemaß nur geringfügig höher ist als im Zuschauersaal.

### Akustik im Bauprozess

Die neu geplante Netzstruktur für den Zuschauersaal sollte die dahinterliegende Nachhallgalerie akustisch nicht abschließen, sondern vielmehr schalldurchlässig sein. Es wurden akustische Muster dieser Netzstruktur gebaut und messtechnisch im firmeneigenen Akustiklabor von Peutz überprüft und so lange optimiert, bis eine ausreichend schalldurchlässige Struktur erreicht war.

Auch die Portalrinne und der Wandbereich oberhalb der Bühnenöffnung enthalten schalldurchlässige Bereiche. Die Stoffbespannungen vor den hochperforierten Lochblechen in der Portalrinne sind ähnlich wie die Stucco-lustro gemalt und verstecken die vielen Lautsprecher, die digitale Schallzeile und Subwoofer, die dann unsichtbar genutzt werden können, wenn der Saal Beschallung braucht.

Eine Liste von Bauteilen mit akustischen Risiken, z. B. Wandbespannungen, Wandaufbau, Verkleidungen der Brüstungen oder die Absorption der Bestuhlung, wurde erstellt, um die Überwachung der einzelnen Bauelemente gewährleisten zu können. So sind an zahlreichen Stellen die akustisch relevanten Bauteile stetig kontrolliert und – wo nötig – nachgebessert worden.

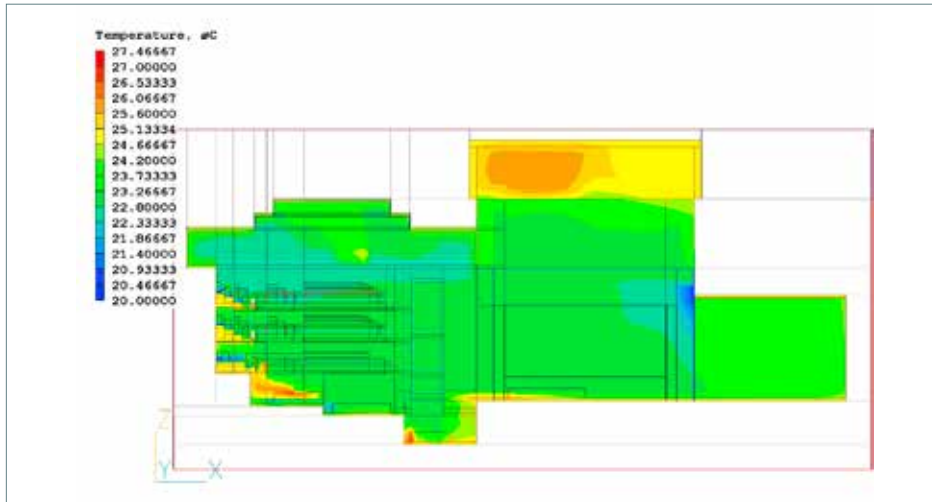
Weitere Messungen und Optimierungen im Labor sind unter anderem an der Schallabsorption der Wandbespannungen, der Schallleistung der Lufteinlässe sowie der Schalldämmung der Zugangstüren durchgeführt worden.

Die Stühle sollten einen besseren Sitzkomfort bieten, aber nicht mehr absorbierend sein als die sehr harten Bestandstühle. In Zusammenarbeit mit hg merz und einem beauftragten Er-

gonomen ist dies gelungen u. a. durch Formgebung der Rückenlehnen und mehrschichtigen Aufbau der Sitze (Umsetzung durch Firma Zehetner Einrichtungen GmbH). Im Akustiklabor wurde die Schallabsorption der Bestuhlung gemessen und in mehreren Schritten angepasst. Die Stoff-Wandverkleidung war wie üblich auf einen Holzrahmen gespannt. Jetzt ist sie auf schwere zementgebundene Platten verklebt, wodurch die Wandreflexionen akustisch viel zum räumlichen Klang beitragen. Die Decken und Brüstungen waren in der Bestandsituation mit schallschluckenden Hohlräumen (Helmholzabsorber) versehen. Diese wurden alle abgedichtet, sodass auch die Basstöne wieder nachklingen können.

In Momenten der Stille ist die musikalische Spannung am höchsten und darf nicht durch Geräusche der Bühnenmaschinerie oder Lüftung gestört werden. Anhand von thermischen Strömungssimulationen wurden Optimierungen an Lüftungskanälen und -anlagen vorgenommen. Dabei forderten die engen Platzverhältnisse findige Lösungswege. Im Zuschauerraum und einigen Proberäumen wurde ein Quellluftsystem geplant, bei dem geringe Luftmengen mit geringen Geschwindigkeiten für eine hohe Effizienz der Wärmeableitung sorgen. Der Entwurf der Lüftungsanlagen für alle Säle basiert weitestgehend auf einem hydraulischen Prinzip, wobei die Schalldämpfer für den Druckausgleich und die optimale Luftverteilung sorgen. Bei den Raum-in-Raum-Konstruktionen wurden Schalldämpfer und Kanäle zwischen Innen- und Außenraum getrennt. Insgesamt ließen sich sehr niedrige Schallpegel und sehr hohe Schalldämmungen erreichen.

Für die Bühnentechnik wurden, als Referenz, die Anlagen im Bestand gemessen. Auf Basis dieser Messungen und Daten aus anderen



*Luftströmung und Geräusche: Mit Strömungssimulationen wird ermittelt, wie ein gutes Klima gewährleistet werden kann bei gleichzeitig geringen Geräuschen z. B. an Luftauslässen*

Opernhäusern und Theatern wurden für dieses Projekt realistische Anforderungen formuliert. Aus Platzgründen mussten die Winden der Obermaschinen in das Bühnenhaus aufgenommen werden. Zwei Einhausungen sorgen für die erforderliche Schalldämmung. Die großen Elektromotoren der Bühnenpodeste wurden federnd aufgestellt und eingehaust.

**Das Ergebnis**

Nach Fertigstellung des Saals fanden im Zuschauersaal raumakustische Messungen statt. Während dieser Messungen wurden die akus-

tischen Bedingungen, die mit Publikum im Saal herrschen, durch spezielle Vorhänge über der Bestuhlung simuliert. Die Messergebnisse belegen, dass die formulierten Projektziele alle erfüllt werden: Die Impulsantworten zeigen ein regelmäßiges Ausklingen von einer Vielzahl an Reflexionen, die dazu führen, dass der Zielwert der Nachhallzeit von 1,6 s erreicht wird. Mit einer Vielzahl an frühen Reflexionen wird ein ausreichend hohes Klarheitsmaß realisiert. Die ersten Reflexionen kommen vor allem über die Seitenwände und erhöhen damit den räumlichen Klang. Dank der Volumenvergrößerung

des Saals hat die Lautstärke nicht zugenommen. Das Stärkemaß liegt bei +5 bis +6 dB. Bei den ersten Vorstellungen Anfang Oktober – sowohl bei Opernaufführungen wie auch bei den sinfonischen Konzerten – wurde in allen Publikumsbereichen ein warmer, reicher und räumlicher Klang wahrgenommen, wobei alle Instrumentengruppen gut hörbar sind. Auch die Instrumente, die wegen der Geometrie mit dem Orchestergraben keine direkte Sichtverbindung haben mit dem Zuhörer, sind gut hörbar. Die Musik ist im Passus pianissimo noch präsent und klingt in den Fortissimo-Stellen eindrucksvoll, ohne zu laut zu werden. Auch die Musiker und Sänger sind begeistert von der Akustik – nicht nur im Zuschauersaal, sondern auch im Orchester- und im Chorprobesaal. Somit trägt nun die Akustik umso mehr dazu bei, die Opernvorstellung zu einem gelungenen Gesamtkunstwerk werden zu lassen. Wir freuen uns, wenn diese ersten Eindrücke sich in der neuen Spielzeit bestätigen!

Der Autor:

**DR. MARTIJN VERCAMMEN**  
*hat das Projekt verantwortlich geleitet. Gleichzeitig ist er Co-Geschäftsführer der Peutz Consult GmbH und Peutz Group und Vorsitzender des niederländischen Normausschusses Bauakustik. Das Unternehmen ist spezialisiert auf Bau- und Raumakustik, Medientechnik, Bauphysik, Erschütterungsschutz und Umwelttechnologie und hat insgesamt etwa 220 Mitarbeiter in Deutschland, Frankreich, Belgien und den Niederlanden.*

**DWX**  
 Digital Wireless  
 Generation 3

In einigen Jahren wird Ihnen Ihr Lieferant erzählen, dass er:

- den kleinsten fernsteuerbaren Taschensender gebaut hat
- die Systemlatenz auf 1.5ms (AD in zu DA out) verkürzt hat
- mit handelsüblichen und günstigen Li-Ion Akkus mehr als 7 Stunden Laufzeit garantiert
- DANTE auch für den Kopfhörerbus nutzbar macht u.v.m.

Worauf warten Sie noch?

Digital Wireless von morgen schon heute

**SONY**

