

Akustische Messungen unter realen Bedingungen: das 1:10-Konzertsaalmodell. Foto: Müller-BBM GmbH

Eine verlässliche Methode

Die polnische Hauptstadt Warschau bekommt in den nächsten Jahren einen neuen Konzertsaal, das Gebäude wird die zukünftige Heimat und Spielstätte des Orchesters Sinfonia Varsovia sein. Die außergewöhnliche Saalform kombiniert die klassische „Schuhschachtel“ mit neuen Formen. Akustische Schalluntersuchungen wurden vorab in einem eigens gefertigten Modell im Maßstab 1:10 durchgeführt.

von Michael Prüfer, Müller-BBM GmbH

Bereits 2010 wurde von der Stadt Warschau als Bauherrin und dem Orchester Sinfonia Varsovia als Nutzer und Betreiber ein internationaler Architektenwettbewerb für den Neubau eines Konzertsaals ausgeschrieben. Ab 2015 erfolgte die planerische Umsetzung des Projekts. Noch 2021 soll der erste Teil des Gesamtprojekts, das neben dem neuen Konzertsaal auch eine Sanierung historischer Gebäude beinhaltet, an einen Generalunternehmer vergeben werden. Ab 2022 soll dann mit der Realisierung des eigentlichen Neubaus begonnen werden. Herzstück des Projekts ist ein großer Konzertsaal für über 1800 Zuhörer. Der hohe Anspruch des Nutzers an die Akustik sowie die

außergewöhnliche Architektur des Saals waren maßgebliche Gründe dafür, dass bei der akustischen Planung neben modernsten raumakustischen Computersimulationen auch akustische Modellmessungen in einem realen Maßstabsmodell zum Einsatz kommen sollten.

Neue Saalform

Das Grazer Architekturbüro Atelier Thomas Pucher konnte sich 2010 beim internationalen Architekturwettbewerb für das neue Konzerthaus des Sinfonia Varsovia Orchesters in Warschau gegen 137 Teilnehmer durchsetzen – und realisiert somit das derzeit wichtigste Bauvorhaben Polens. Das Atelier schreibt dazu: „Das Projekt mit einer Nutzfläche

von 28.000 m² entsteht entlang einer der größeren Ausfallstraßen Warschau. Es besteht aus einem Orchestersaal mit 1800 Sitzplätzen, großzügigen Proberäumen, einem Gastronomiebereich sowie Räumen für Artists in Residence.

Beim großen Konzertsaal wurden vollkommen neue Wege der Saalarchitektur beschritten. Er ist als Kombination aus Schuhschachtel-Typus und Stadion konzipiert. Der historisch entstandene Typ der Schuhschachtel (z. B. Wiener Musikvereinssaal) ist zwar aus akustischer Sicht nach wie vor der bevorzugte Orchestersaal, leidet aber unter teils unvorteilhaften Sichtverhältnissen für das Publikum. Demgegenüber weist das Stadion hervorragende visuelle Qualitäten auf, besitzt aber – aufgrund des kreisförmigen Zuschnitts – eine außerordentlich schlechte Akustik.



Rendering mit Blick durch die große Glaswand vom Foyer in den Saal.
Grafik: Atelier Thomas Pucher, Sinfonia Varsovia

hilfreiche Erkenntnisse, so auch für die Akustik. Auch in diesem Projekt erfolgten in den frühen Planungsphasen raumakustische Untersuchungen in einem computerbasierten Modell, das auf der Grundlage des BIM (Building Information Modelling)-Modells des Architekten aufbaute. Dies ermöglichte bereits zu einem frühen Planungszeitpunkt die Festlegung und Optimierung wichtiger akustischer Grundparameter des Konzertsaals wie das Raumvolumen oder auch die Herstellung der richtigen geometrischen Grundbedingungen, um eine gute Klangversorgung zu schaffen.

Trotz der sehr hilfreichen Erkenntnisse, die aus raumakustischen Computermodellen gezogen werden können, stoßen auch die modernsten Simulationsverfahren in der Prognosegenauigkeit an ihre Grenzen, die zusätzliche Modellmessungen in einem Maßstabsmo-



Rendering des Konzertsaals mit dem Blick auf das Podium.
Grafik: Atelier Thomas Pucher, Sinfonia Varsovia



Modellbau aus Holz und Gips: Produktion der Seitenwandflächen des Saals.
Foto: Wojtek Radwański



Überprüfung der korrekten Krümmung der Reflektorunterseiten.
Foto: Wojtek Radwański

Der große Konzertsaal des Sinfonia Varsovia verbindet die Vorteile beider Typen, indem die Ränge und Auditorien nach Vorbild eines Stadions als schwebende Bänder in ein rechteckiges Volumen – nach Art der Schuhschachtel – eingesetzt werden. Durch die genaue Berechnung dieser Bänder und ihrer Wechselwirkung zu Orchester und Saalwand können nun erstmals die akustischen wie auch die visuellen Eigenschaften eines Konzertsaals gleichzeitig optimiert werden. Jeder Besucher erhält den Eindruck unmittelbarer Nähe zum Orchester bei gleichzeitig höchstmöglichem Hörgenuss. Man sitzt buchstäblich inmitten der Musik.“

Warum akustische Modellmessungen?

Die Planung komplexer Bauprojekte wie die eines Konzertsaalgebäudes ist heutzutage ohne die Erstellung aufwendiger Computermodelle kaum noch denkbar, denn sie liefern für nahezu alle Planungsbereiche

dell sinnvoll machen können. Grund dafür ist im Wesentlichen der Wellencharakter des Schalls, der selbst in den neuesten Simulationsalgorithmen noch nicht hundertprozentig korrekt nachgebildet werden kann. Die Wellenlängen der Schallwellen im hörbaren Bereich erstrecken sich von wenigen Zentimetern bis hin zu mehreren Metern bei den tiefen Frequenzen. Damit liegen die Wellenlängen des hörbaren Schalls in der gleichen Größenordnung wie die Ausdehnung typischer Bauteile eines Konzertsaals, etwa Rangbrüstungen oder Wandverkleidungselemente. Ist die Schallwellenwelle klein gegenüber der

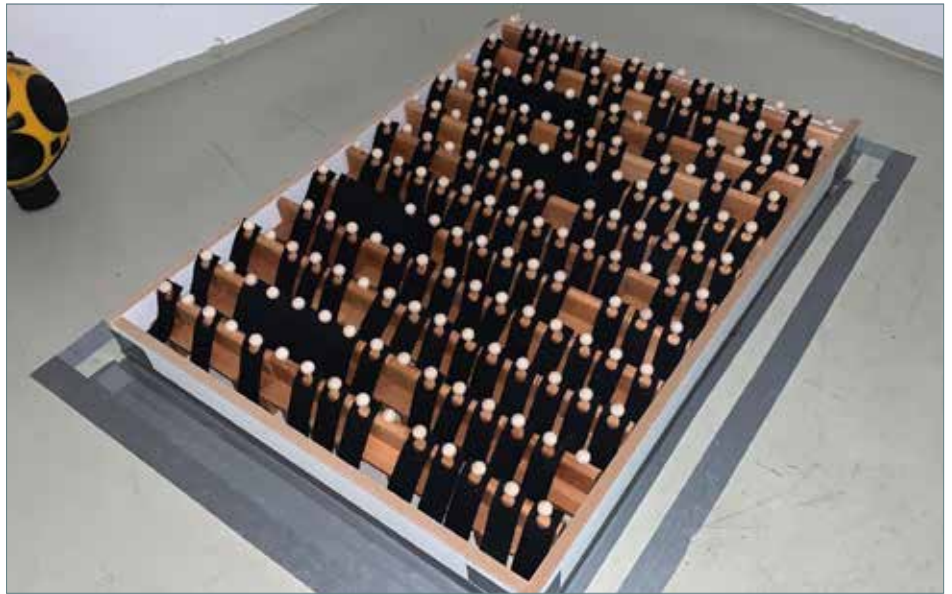
English version available:
www.der-theaterverlag.de

Struktur, an der diese reflektiert wird, erfolgt die Reflexion rein geometrisch, ähnlich wie bei einem Lichtstrahl.

Ein solches geometrisches Reflexionsverhalten lässt sich hervorragend mittels Computersimulationen mit den sogenannten Spiegelquellenverfahren bzw. dem Raytracing nachbilden. Haben die geometrischen Strukturen und die Wellenlänge des auftreffenden Schalls jedoch in etwa die gleiche Größenordnung/Abmessung, treten Effekte wie Beugung und Brechung in den Vordergrund, die in Computersimulationen in der erforderlichen Genauigkeit derzeit noch nicht nachgebildet werden können.

Bei gängigen und bewährten Konzertsaalgeometrien, z. B. der allgemein bekannten Schuhschachtel, genügen häufig Computersimulationen, wenn die Akustiker auf Erfahrungswerte aus vielen bestehenden Konzertsälen zurückgreifen können. Bei neuen, weniger erprobten Formen, wie diese in der zeitgenössischen Architektur häufiger anzutreffen sind, ist dies nicht so einfach möglich. Erst Modellmessungen schaffen dann zusammen mit Computersimulationen ein vollumfassendes Bild der akustischen Situation im geplanten Konzertsaal und können damit signifikant zur Erhöhung der Planungssicherheit beitragen. Bekannte Beispiele neuerer Konzertsäle wie die Philharmonie in Paris, die Elbphilharmonie in Hamburg oder der Kulturpalast in Dresden zeigen, dass die Durchführung akustischer Modellmessungen auch heute noch – und vielleicht mehr denn je – eine verlässliche Methode in der akustischen Planung von Konzertsälen darstellt.

Beim Projekt des Warschauer Konzertsaals stand von Beginn an fest, dass neben Computersimulationen auch akustische Modellmessungen durchgeführt werden sollten. Die Messungen wurden in die letzte Planungsphase der Ausführungsplanung des Projekts gelegt, damit ein möglichst präzises Modell auf Basis einer bereits ausgereiften Planung



Die Nachbildung des Publikums im Saal für die Modellmessungen.
Foto: Müller-BBM GmbH

erstellt werden konnte. Die Messungen sollten zwar in erster Linie zur Bestätigung der bis dato gewonnenen Erkenntnisse dienen, man war sich dabei aber auch bewusst, dass die Messergebnisse auch noch Änderungen und Optimierungen am Konzertsaaldesign zur Folge haben könnten.

Was passiert bei akustischen Modellmessungen?

Es handelt sich bei akustischen Untersuchungen im Maßstabsmodell um „echte“ akustische Messungen, bei denen der Wellencharakter des Schalls durch Messungen erfasst wird. Entsprechend dem Maßstab des Modells werden die Schallwellen, bei denen gemessen wird, in einen höheren Frequenzbereich transferiert. So erfolgt die akustische Analyse bei einer realen Frequenz z. B. von 500 Hz, die in etwa den mittleren Frequenzbereich üblicher raumakustischer Analysen repräsentiert, in einem Maßstabsmodell 1:10 bei einer mit dem

Modellfaktor 10 multiplizierten Messfrequenz, also bei 5000 Hz.

Was zunächst prinzipiell einfach klingt, ist im Detail in der Umsetzung recht aufwendig und kompliziert: Die Messungen müssen mit einer hochfrequenztauglichen Messtechnik durchgeführt werden, und es muss der Einfluss der Luftabsorption, die bei hohen Frequenzen dominant sein kann, entsprechend korrigiert werden. Bewährt haben sich Modelle im Maßstab 1:10, da hierbei die architektonischen Details ausreichend genau nachgebildet werden können. Zudem ist der um den Faktor 10 hochtransformierte Frequenzbereich messtechnisch noch recht gut beherrschbar.

Präzise Handarbeit – der Modellbau

Im Jahr 2019 wurde ein 1:10-Modell des Konzertsaals durch die Firma Pracownia Tryktrak, ein Modellbauer aus Warschau, errichtet. Sämtliche Oberflächen des Modells wurden

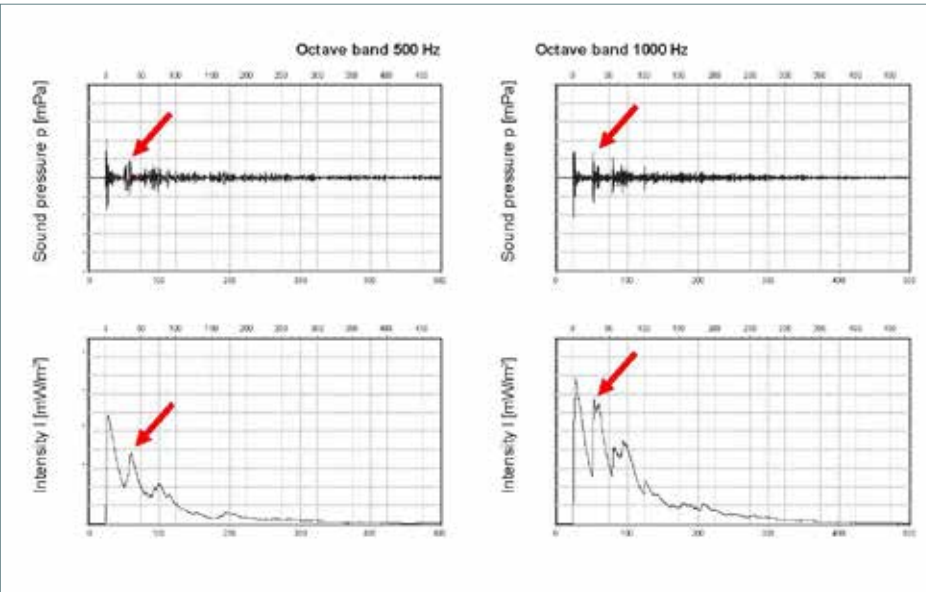
DIE CAD-SOFTWARE FÜR BÜHNE & THEATER

Infos und Testversion:
WWW.COMPUTERWORKS.EU/THEATER

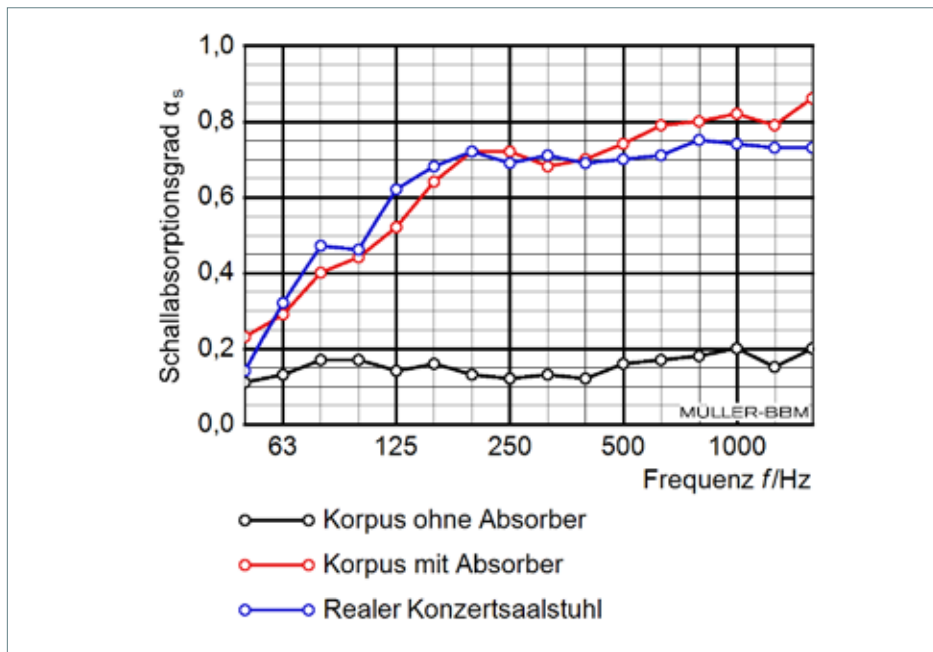
ComputerWorks
AUTHORIZED DISTRIBUTOR

VECTORWORKS
A NEMETSCHKE COMPANY

“DIE GROSSE REISE” © BÜHNENBILD UND VISUALISIERUNG: JÖRG SCHUCHARDT



Im Modell gemessene Impulsantwort an einem Sitzplatz im Parkett. Pegelerhöhungen im Zeitverlauf des Schalldrucks sind bedingt durch ungünstige Schallfokussierungen an gekrümmten Brüstungsflächen



Die Messung im Modellhallraum ergab eine hohe Übereinstimmung in der Absorption zwischen modellierter Nachbildung des Publikums und der real mit Publikum besetzten Fläche. Grafik: Müller-BBM GmbH [2]

entsprechend den akustischen Vorgaben und exakt nach den Detailplänen des Architekten zum großen Teil mittels CNC-Fräsen im Wesentlichen aus Holz und Gips hergestellt. Die Vorderwand des Konzertsaals, die als große strukturierte Glaswand geplant ist, wurde auch im Modell durch eine entsprechend geformte Glasfläche nachgebildet. Die Glaswand wurde abnehmbar gestaltet, wodurch sich Modifikationen noch nach Fertigstellung eines ersten Modellentwurfs vornehmen ließen. Da sowohl Temperatur als auch Luftfeuchtigkeit für die akustischen Modellmessungen exakt kontrolliert und möglichst stabil gehalten werden müssen, wurde das Modell einschließlich eines Kontrollraums für die Durchführung der Messungen als klimatisch

abgeschlossener Raum konzipiert, der mit einer entsprechenden Beheizung und Befeuchtung versorgt wurde. Bei einigen großflächigen Bauteilen, z. B. den Deckenreflektoren, musste das Oberflächen-Finish in präziser Handarbeit in Spachteltechnik hergestellt werden. Hier war eine besonders sorgfältige Ausführung durch den Modellbauer vonnöten, der diese handwerklich sehr anspruchsvolle Aufgabe mit Bravour löste. Im neuen Warschauer Konzertsaal sind als feste Verkleidungen nahezu ausschließlich schallreflektierende Oberflächen vorgesehen. Für die Erstellung des akustischen Modells bedeutet dies, dass im Wesentlichen die schallreflektierenden Oberflächen in ihrer Form korrekt nachgebaut werden müssen. Die beim

CHAINMASTER

THE WORLD OF MOTORS

YOUR PARTNER FOR
STAGE & STUDIO
LIFTING EQUIPMENT



CHAINMASTER GmbH

✉ info@chainmaster.de
 🌐 www.chainmaster.de
 📱 @chainmastergermany



Ausrichtung der Deckenreflektoren.
Foto: Wojtek Radwański



Offene Vorderseite des Modells noch ohne Glaswand.
Foto: Wojtek Radwański

Modellbau des Warschauer Saals primär gewählten Materialien Holz, Gips und Glas sind hierfür hervorragend geeignet. Das erforderliche Schallreflexionsverhalten der Oberflächen wurde durch eine geeignete Gewichtswahl der Materialien sowie durch ein sorgfältiges Schließen von Fugen und Materialporen erreicht. Darüber hinaus soll der Konzertsaal auch über variable ausziehbare Absorber verfügen, die im Bedarfsfall, z. B. bei beschallten Konzerten, akustisch dämpfen. Solche Absorber können bei Modellmessungen relativ einfach durch das Einhängen entsprechender schallabsorbierender Materialien in guter Näherung akustisch simuliert werden.

Die wesentliche Absorptionsfläche im Konzertsaal stellt die mit Publikum besetzte Bestuhlung dar. Um bei Modellmessungen möglichst zuverlässige Ergebnisse zu erzielen, müssen das Absorptionsvermögen dieser Flächen, aber auch das verbleibende



Innenansicht des fertigen Modells vor den ersten Messungen.
Foto: Müller-BBM GmbH

EXPERTEN FÜR TANZBÖDEN

HARLEQUIN FLOORS ist seit über 40 Jahren weltweit führend in der Entwicklung und Herstellung von Tanzschwingböden und Tanzteppichen. Unser Schwingbodensystem LIBERTY ist ideal geeignet für die verschiedensten Tanzrichtungen. Schnelle & einfache Verlegung, exzellente Energiewiedergabe und homogenes Schwingverhalten machen den LIBERTY bei Technikern und Tänzern gleichermaßen beliebt.





Mobiler Ausstellungspavillon mit dem halbierten Modell des Konzertsaals vor dem Kulturpalast in Warschau. Foto: Sinfonia Varsovia

Reflexions- und Streuverhalten z.B. durch die Köpfe der Zuhörer möglichst präzise im Modell nachgebildet werden. Im Vorfeld der Modellmessungen für den Warschauer Konzertsaal wurde im Modellhallraum von Müller-BBM eine Publikumsnachbildung akustisch getestet und so optimiert, dass diese möglichst einfach in großen Stückzahlen hergestellt werden konnte und diese das akustische Verhalten einer mit Publikum besetzten Fläche möglichst präzise nachbildet. Das Ergebnis führte zu einem Holzkorpus, der mit einem schallabsorbierenden Material bekleidet wurde.

Modellmessungen unter realen Bedingungen

Im Jahr 2020 wurden durch Müller-BBM ausführliche Messungen im Modell des Warschauer Konzertsaals durchgeführt. Die Messungen erfolgten wie in einem realen Saal: Als Schallquelle diente ein omnidirektional abstrahlender Mini-Dodekaeder, der an unterschiedlichen Plätzen auf dem Podium positioniert wurde. An ausgewählten

Zuhörerplätzen wurden Miniatursensoren positioniert. Die Messungen erfolgten mittels frequenztransformierten Sweep-Messsignalen im Modellmaßstab. Aus dem Empfangssignal errechnet sich die sogenannte Raumimpulsantwort, die als eine Art unverwechselbarer „akustischer Fingerabdruck“ verstanden werden kann, die alle akustischen Informationen über die Feinstruktur des Nachhalls enthält und aus der alle akustisch relevanten Kriterien wie Nachhallzeit oder Klarheitsmaß abgeleitet werden können. Im weiteren Auswertalgorithmus erfolgte eine rechnerische Korrektur um den Einfluss der Luftabsorption.

Die Messergebnisse bestätigten die Prognosen aus den Computersimulationen, d. h. eine zu erwartende exzellente Konzertsaalakustik entsprechend den Anforderungen des Kunden. An einigen Platzbereichen zeigten die Messergebnisse aber auch unerwünschte akustische Artefakte, die auf ungünstige Schallreflexionen an gekrümmten Brüstungsflächen zurückgeführt werden konnten. Als

eine Konsequenz aus diesen Ergebnissen wurde in der Endausarbeitung des Projekts der Verlauf und die Krümmung der betreffenden Brüstungsflächen geändert, um diese Artefakte ausschließen zu können.

Fazit

Neben den beschriebenen Vorteilen, die Realmodelle bei der akustischen Analyse komplexer Konzertsaalgeometrien haben, können Realmodelle darüber hinaus auch weiteren Nutzen aufweisen. So eignet sich der Modellbau hervorragend als Test für die Ausführung, und es können so mögliche letzte Lücken oder Missverständnisse in Plänen rechtzeitig vor der Realisierung des Projekts aufgedeckt werden. Auch eignen sich die Modelle sehr gut als Anschauungsobjekte und für Promotionszwecke. Eindrucksvolle Beispiele dazu finden sich etwa im Social-Media-Auftritt des Sinfonia Varsovia.

Nach Abschluss der Modellmessungen wurde das Modell, das sich im Besitz des Orchesters Sinfonia Varsovia befindet, in zwei Hälften zerlegt, von denen nun die eine Hälfte für Werbe- und Präsentationszwecke in verschiedenen Ausstellungen in Polen zu sehen ist. •

Michael Prüfer, Raumakustiker bei der Müller-BBM GmbH mit dem Fokus der Akustik von Kulturbauten, betreut das Projekt als verantwortlicher Projektleiter.

Projektbeteiligte

Bauherrin: Stadt Warschau

Nutzer und Betreiber:

Orchester Sinfonia Varsovia, Warschau

Architekt und Generalplaner:

Atelier Thomas Pucher, Graz

Modellbau: Pracownia Tryktrak, Warschau

Akustische Planung:

Müller-BBM GmbH, Berlin und München

ART-THEA
Bühnentechnik GmbH

UNSERE LEISTUNGEN

- Steuerung für alle Ansprüche
- Projekte aller Art
- Service & Wartung

Hellerstrasse 23
01445 Radebeul
Tel.: +49 351 795 102 0
E-Mail: bt@art-thea.de
www.art-thea.de

Achtung Neu!!!

HOTLINE

+49 351 795 102 90