

Akustik der Staatsoper Unter den Linden - Ergebnisse

M.R.Lautenbach, M.L.S.Vercammen ,

Peutz Consult GmbH, Carmerstr.5, 10623 Berlin, E-Mail:mv@peutz.de

Einleitung

Im Oktober 2017 hat die Staatsoper Unter den Linden in Berlin, nach einer Bauperiode von ca. 7 Jahren, wieder seine Türen geöffnet. Zielsetzung war sowohl eine denkmalgerechte Sanierung als auch eine erhebliche Verbesserung der Akustik. Neben den grundsätzlichen akustischen Schwierigkeiten einer Oper war die wichtigste Einschränkung das geringe Volumen. Auf Grund einer akustischen und baulichen Analyse wurden eingreifende Baumaßnahmen empfohlen und auch durchgeführt, unter Anderem eine Erhöhung der Decke mit ca. 5 m, ohne Erhöhung des Daches. Die Untersuchungen und akustische Maßnahmen wurden in den 1. Beitrag beschrieben [1]. In dieser zweiten Veröffentlichung werden die Ergebnisse der Messungen im (fast) fertig gestellten Saal gezeigt und mit Messungen in einigen anderen Opernhäusern (DSO vor Umbau, Köln, Bayreuth, Komische Oper Berlin) verglichen.



Abbildung 1: Bild des neuen Zuschauersaals der Staatsoper Unter den Linden Berlin, September 2017.

Abnahmemessungen

Ende September war der Zuschauersaal fast fertig und es wurden, noch vor den ersten Proben, Messungen durchgeführt, um die akustischen Ergebnisse zu ermitteln, und ggf. noch Anpassungen durchzuführen. Gemessen wurde in der unbesetzten Situation und in einer Situation mit Publikumsbesetzung, siehe Abbildung 2. Gemessen wurde sowohl mit Eisernen Vorhang (EV) zu als mit offenem EV.

Die verfahrbaren Wandelemente im Orchestergraben haben auch eine absorbierende Seite: auch in dieser Situation wurden Messungen durchgeführt.

Für symphonische Konzerte gibt es die Möglichkeit mit Bühnenbildern ein Konzertzimmer aufzubauen [1]. Diese Situation wurde unbesetzt und besetzt gemessen.

Messungen der Nachhallzeit wurden durchgeführt mit einer Rauschquelle und mit einer 9 mm Pistole, vor allem für die 63 Hz Oktavband. Messungen der Impulsantwort wurden

durchgeführt mit einem MLS-Signal und MLSSA-Messgerät, mit einer rundum strahlende Punktquelle [2].



Abbildung 2: Parkettbereich mit Publikumsimulation (Vorhänge). Mitte: einer der Autoren mit Schallpegelmessgerät.

Mittels dieser Messungen wurde die ETC (Energy Time Curve) bestimmt und das Klarheitsmaß berechnet. Mit Kalibrierung auf 1 m-Positionen wurden diese Messungen auch verwendet, um das Stärkemaß G zu ermitteln.

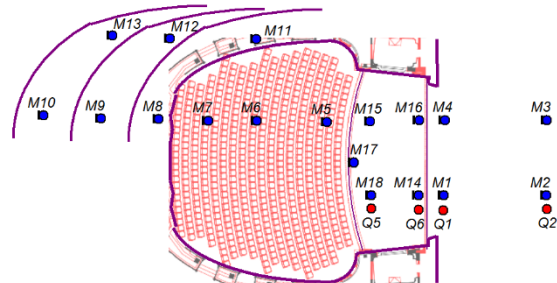


Abbildung 3: Quellposition in Rot und Messpositionen in Blau. Ränge schematisch abgebildet.

Abbildung 3 zeigt die Quell- und Messpositionen. Einige Messungen wurden noch mit einer Quelle (Q7) und 2 Messpositionen im überdachten Bereich des Orchestergrabens durchgeführt (unter Q1, M1, M4).

Messergebnisse

In Abbildung 4 werden als Beispiel, einige Impulsantworten (ETC) sowohl der Situation vor (2009) und nach Umbau (2017) präsentiert. Es ist deutlich zu sehen, dass die Impulsantwort aus 2009, die eine typische Akustik eines Sprechtheaters aufweist, in eine konzertsaaltypische Impulsantwort mit stärkeren Reflexionen im späteren Bereich umgewandelt wurde. Die Abklingkurve ist regelmäßig, es gibt keine echoartige Erscheinungen.

Gemessene Nachhallzeiten in der Opernsituation werden in Abbildung 5 gezeigt. Wegen der gering absorbierenden Bestuhlung ist die Nachhallzeit in der unbesetzten Situation etwas länger als 2 s. In der maßgeblichen Situation, mit EV

zu und mit „Publikum“ wurde eine mittlere Nachhallzeit von 1,6 s. gemessen (125-4kHz).

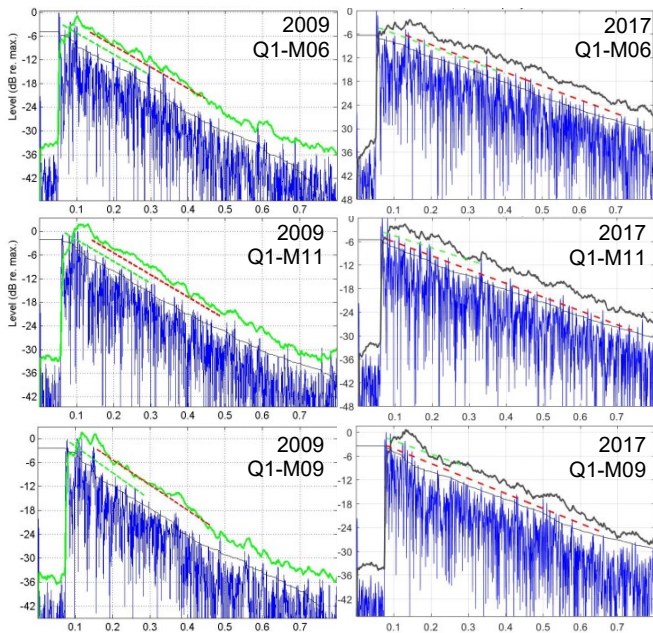


Abbildung 4: Einige gemessene Impulsantworten aus 2009 (links) und 2017 (rechts). Opernsituation mit EV zu und Publikumssimulation.

Bei den 2017 durchgeführten Messungen waren im Bühnenhaus noch keine Bühnensbilder oder Vorhänge vorhanden, es gab nur die fest installierte „Basisabsorption“ im Bühnenhaus. Die Nachhallzeit bei geöffnetem EV war deshalb auch etwas länger als mit EV zu.

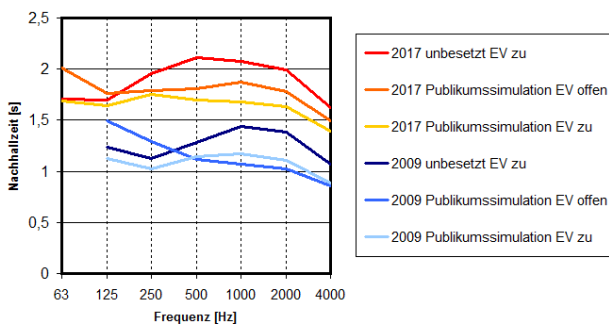


Abbildung 5: Mit Rauschquelle und Pistole (63 Hz) gemessene Nachhallzeiten in 2009 und 2017, Opernsituation.

Die Ergebnisse für das Konzertzimmer werden in Abbildung 6 gezeigt.

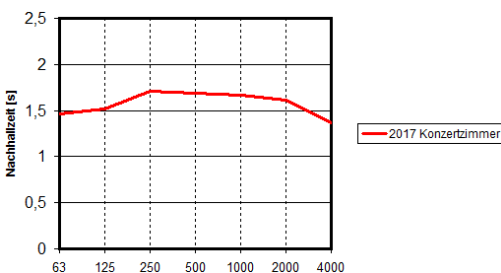


Abbildung 6: Mit Rauschquelle und Pistole (63 Hz) gemessene Nachhallzeiten in der Situation mit Konzertzimmer.

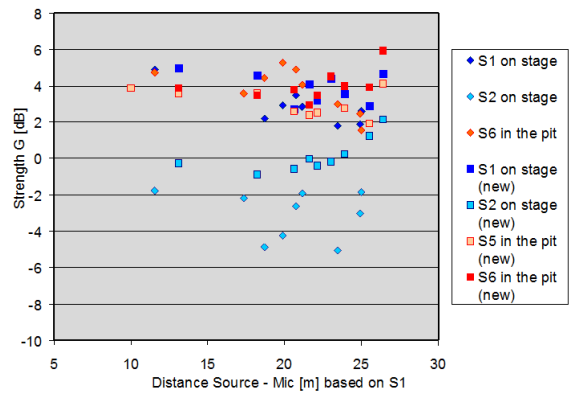


Abbildung 7: Gemessene Stärkemaß G vor Umbau (Rauten) und nach Umbau (Rechtecken).

Die gemessenen Stärkemaße G zeigt Abbildung 7. Hier wird deutlich sichtbar, wie viel leiser die Quellenposition 2, Mitte Bühne, ist, im Vergleich zu den anderen Positionen. Der Unterschied vor und nach Umbau hängt aber bei Q2 vor allem von dem Bühnenbild ab. Im Saal ist Q1 auf der Bühne etwas lauter geworden, andererseits ist Q6 für die meisten Empfängerpositionen etwas leiser geworden. Vor allem im Parkett Ost wird die Balance zugunsten der Sänger verschoben. Das ist aber nicht der Fall für den 3.Rang wegen der Nähe zur Nachhallgalerie, da sind die Sänger und insbesondere das Orchester lauter geworden. Insgesamt wird im Saal noch immer ein maximaler Stärkemaß G von ca. 4 bis 5 dB gemessen, mit Ausnahme der Mitte des 3.Ranges, da werden G=6 dB gemessen. Der Ziel dass der Saal nicht Lauter werden sollte ist damit, mit Ausnahme des 3.Ranges, erreicht.

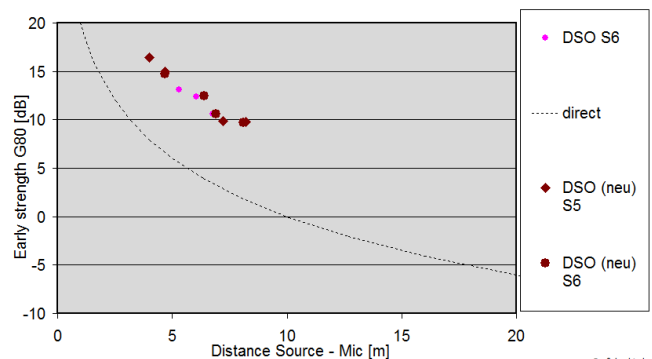


Abbildung 8: Gemessener Stärkemaß G₈₀ vor Umbau (Violett) und nach Umbau (Braun).

Abbildung 8 zeigt die frühe Schallenergie des Stärkemaßes bis 80 ms im Orchestergraben, bei Quellen im Orchestergraben. Zum Vergleich wird auch der theoretische Direktschall unter Freifeldbedingungen präsentiert. Die Messwerte folgen der Abnahme mit zunehmenden Abstand vom Direktschall, liegen aber ca. 7 dB oberhalb des Direktschallpegelwertes. Die Pegel haben sich im Vergleich zum Bestand nicht wesentlich geändert, obwohl die bauliche Situation hinsichtlich Reflexionsflächen (vor allem Wände Orchestergraben) deutlich geändert ist und die Musiker angeben, dass die Zusammenspielbedingungen sich deutlich verbessert haben. Möglicherweise war die Anzahl der Messungen im Bestand zu gering für einen guten Vergleich.

Abbildung 9 zeigt die frühe Schallenergie zwischen Orchestergraben und Bühne.

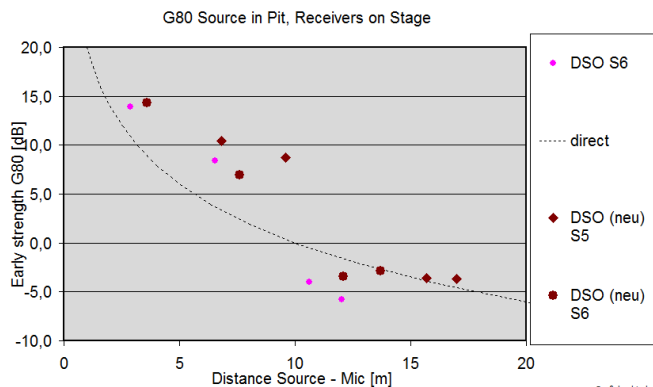


Abbildung 9: Gemessener Stärkemaß G_{80} vor Umbau (Violett) und Nach Umbau (Braun).

Wie auch auf Abb. 7 zu erkennen, gibt es einen deutlichen Unterschied zwischen Positionen auf der Vorbühne und weiter hinten auf der Bühne. Die Hörbarkeit zwischen Orchester und Sänger im Vorbühnenbereich ist ausgezeichnet, mehr nach hinten deutlich weniger gut (ca. 15 dB Abnahme). Für die Quellen, die für den Empfänger nicht sichtbar sind, liegen die Pegel unterhalb der theoretischen Abnahme unter Freifeldbedingungen. Diese Messwerten sind aber üblich für Opernhäuser (siehe auch [3]) und können durch die richtige Gestaltung von Bühnenbilder verbessert werden. In der Praxis wird die Hörbarkeit manchmal durch Einsatz von Lautsprechern verbessert, so dass z.B. der Sänger den Orchester auf der Bühne besser hören kann. Auch kann die Inszenierung geändert werden, so dass die Sänger mehr nach vorne gebracht werden, um die gute Hörbarkeit zu erreichen.

Die gemessenen Klarheitsmaß C_{80} wird in untenstehender Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1. Klarheitsmaß C_{80} [dB] im Saal, Mittelwert von alle Saal-Positionen, 500-1000Hz, EV offen, Publikumssimulation.

| Quelle | 2009 | 2017 |
|--------|------|------|
| Q1 | 4,6 | 0,6 |
| Q2 | 6,4 | 0 |
| Q5 | | -2,8 |
| Q6 | 4,4 | -0,2 |

Die Verteilung über die Publikumsbereiche (EV offen, Publikumssimulation) ist in der Tabelle 2 angegeben:

Tabelle 2. Klarheitsmaß C_{80} [dB] im Saal, Mittelwert von Q1, Q5, Q6, 500-1000Hz.

| Position | 2017 |
|-----------------------------------|------|
| Parkett (M5, M6, M7) | -2,4 |
| 1. und 2. Rang (M8, M9, M11, M12) | 0,2 |
| 3. Rang (M10, M13) | -0,4 |

Die Messwerte nach dem Umbau sind relativ niedrig. Das bedeutet, dass der Nachhall und die Klangmischung einen wichtigen Anteil an dem Klang haben. Dabei ist zu bemerken, dass in dieser Situation der Nachhall aus dem Bühnenturm das Klarheitsmaß auch noch etwas verringert. Die Quellenposition 5 ergibt einen niedrigeren Wert als Q6, weil Q6 mehr in der Mitte vom Orchestergraben ist und es vom Rang aus eine direkte Sichtbeziehung zu Q6 besteht, das ist nicht den Fall bei Q5.

Die Ergebnisse im 1. und 2. Rang (Tabelle 2) liegen höher als im Parkett und auf dem 3. Rang. Vor allem die direkte Sicht zum Orchestergraben sorgt für die höheren Werte im 1. und 2. Rang, für die Quelle 1 (Vorbühne) ist der Unterschied gering. Auf dem 3. Rang sorgt die hohe Nachhallenergie für das niedrigere Klarheitsmaß.

Die jetzt erzielten Werte des Klarheitsmaßes C_{80} sind wesentlich besser als in der früheren Situation. Die hohen Werte aus 2009 weisen auf einen sehr direkten Klang hin (wie in einem Sprechtheater). Die jetzigen Werte bewegen sich weitgehend in der Richtung eines optimalen Konzertsalklanges.

Erfahrungen/Diskussion

Die Zunahme der Reflexionen, sichtbar aus den Impulsantworten, den erheblich längeren Nachhallzeiten und den niedrigeren Klarheitsmaß, hat zu einen komplett anderen Raumeindruck geführt. Ein reicher, wärmerer Klang ist entstanden. Die stärkeren Wandreflexionen (siehe auch [1]) führen zu einen hohen Räumlichkeitseindruck mit großer subjektiven Verbreitung der Quelle, vor allem für Zuschauerpositionen im hintere Parkett und 1. und 2. Rang.

Bei den niedrigen Frequenzen ist die Nachhallzeit ca. 0,1 s. kürzer als vorher erwartet. Der Bassklang wird aber als ausreichend klar empfunden. Für die Konzertsituation wurde vorher erwartet, dass eine längere Nachhallzeit, als der gemessene Wert von ca. 1,7 s. benötigt würde. Der Saal wird aber als ausreichend „hallig“ empfunden, es gibt kein bedarf da etwas zu ändern.

Insgesamt wurden alle Zielwerte erreicht und Nutzer und Publikum sind sehr zufrieden mit der neuen Akustik der Staatsoper Unter den Linden.

Literatur

[1] M.L.S.Vercammen, M.R.Lautenbach, Akustik der Staatsoper Unter den Linden – Entwurf, Daga 2018

[2] K.-H. Lorenz-Kierakiewitz, M.Vercammen, Entwicklung eines verbesserten raumakustischen Messlautsprechers für Raumimpulsantwortmessungen, DAGA 2010

[3] M. Lautenbach, M. Vercammen, K.-H. Lorenz-Kierakiewitz, Acoustic Aspects of Stage and Orchestra Pit in Opera Houses, Proc. of DAGA, Darmstadt, 2012