

## Verbesserung der Akustik im Orchestergraben : Umgestaltung des Proszeniums der Deutschen Oper am Rhein in Düsseldorf

Dipl.-Phys. Klaus-H. Lorenz-Kierakiewitz<sup>1</sup>, Ir. Martijn Vercammen<sup>2</sup>, Dipl.-Ing. Heiko Kremer<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Peutz Consult GmbH, 53173 Bonn, E-Mail: khl@peutz.de

<sup>2</sup> Peutz bv, NL-6584AC Mook, E-Mail: m.vercammen@mook.peutz.nl

<sup>3</sup> Peutz Consult GmbH, 40599 Düsseldorf, E-Mail: hk@peutz.de

### Einleitung

Die Deutsche Oper am Rhein Düsseldorf (DOR), erbaut 1944, umgebaut 1954-1956, wird seit 2006 in Abschnitten modernisiert. Dabei sollte auch die Raumakustik verbessert werden. Zuvor konnten die Musiker einander schlecht hören und beklagten sich über hohe Lautstärken im Orchestergraben, das Verhältnis zwischen Orchester und Sängern war nicht ausgewogen und die Hörsamkeit in den ersten Reihen des Parketts nicht gut.

### Raumakustische Messungen

Detaillierte Raumimpulsantwortmessungen im Bestand der DOR und des Theaters in Duisburg, wo mit demselben Orchester deutlich weniger Beschwerden auftraten, ergaben 2006, dass insbesondere die im Orchestergraben und vorderen Parkett der DOR gemessenen Raumimpulsantworten nach dem Direktschall durchweg Energielücken/wenig frühe Reflexionen und danach einen Reflexionscluster aufwiesen, siehe rote Kurven in Abbildung 1.

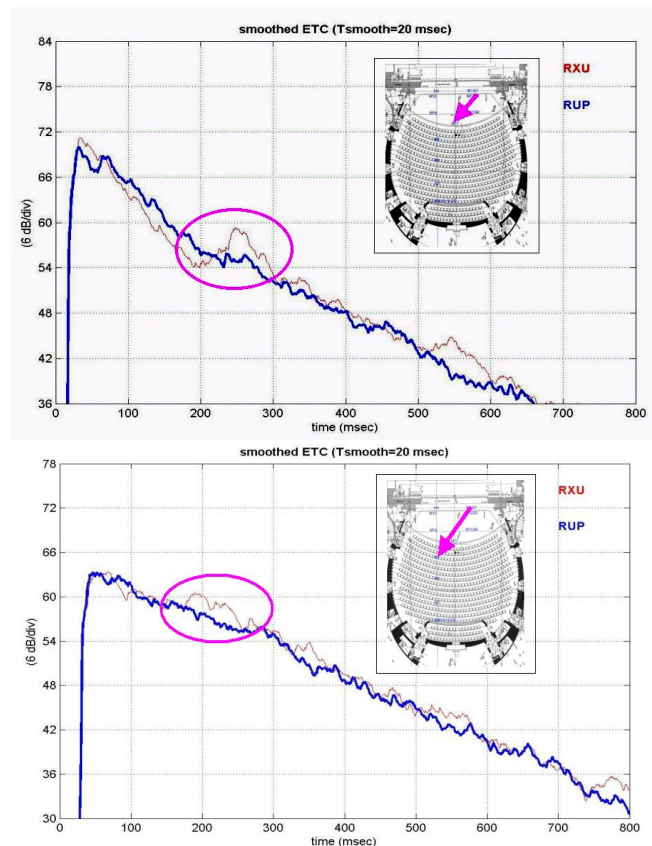


Abbildung 1: Echos und Effekt der Maßnahmen darauf:  
Vorher: rote Kurve, derzeit: **blaue** Kurve

### Problemanalyse

Vergleichende Analysen ergaben, dass der Orchestergraben im Vergleich zu anderen Opernhäusern relativ lang, wenig breit und hoch war. Als Ursache des Reflexionsclusters wurde der kombinierte Effekt des fast horizontalen übertragenden konkaven Baldachins über dem 3. Rang mit der 90°-Kante von Orchestergrabenboden und -rückwand lokalisiert, s. Abb. 2. Ursache der Energielücke davor war das sich trapezförmig zum Saal öffnende absorbierend ausgestaltete Proszenium gemeinsam mit der konkaven Deckenkrümmung über dem Orchester, welche kaum frühe Reflexionen in den Orchestergraben warfen. Mit Hilfe von Simulationen in einem Computersimulationsmodell (CATT) wurden daraufhin optimalere Geometrien des Orchestergrabens und Proszeniums getestet, um die signifikante Energielücke mit ausreichend starken und in der Zeit verteilten frühen Reflexionen aufzufüllen und damit den Sammelecho-Cluster zu entschärfen, und durch die mehr und stärkeren Reflexionen vom Orchestergraben in diesen zurück einen besseren Kontakt der Musiker untereinander zu ermöglichen.

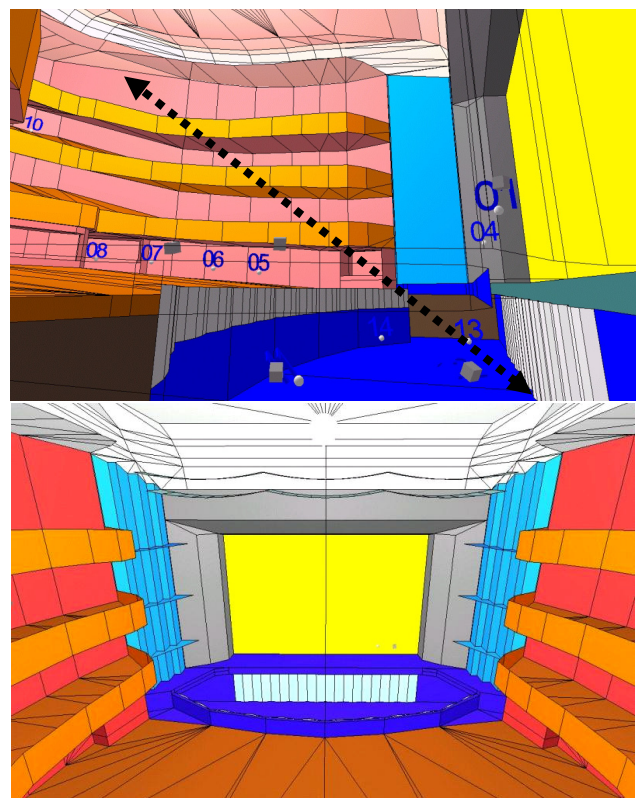


Abbildung 2: DOR, Simulationen Maßnahmen  
oben: seit 2007 mit neuen Diffusoren im OG  
unten: seit 2010 neu: Proszenium+Reflektoren

## Raumakustische Verbesserungsmaßnahmen

Mit Hilfe der Simulationsuntersuchungen wurden folgende Maßnahmen dimensioniert:

- Einbau von tiefton-absorbierenden Zylinderabschnitts-Diffusoren an den Stirnwänden des Orchestergrabens,
- Vertiefung des Orchestergrabens für höhere Kopffreiheit unter den überdachten Bereichen,
- Ersetzen des alten, trapezförmig zum Saal geöffneten absorbierenden Proszeniums durch neue, ziemlich diffus streuend gegliederte Proszeniums-Seitenwände,
- Einbau konvex durchhängender Orchesterreflektoren (Schalldeckel) unter der Saaldecke in 11-12 m Höhe.

2006-07 wurden im 1 BA der Sanierung zunächst die diffus streuenden zylinderabschnittsförmigen Tieftonabsorber an den Stirnwänden des Orchestergrabens realisiert, siehe Abbildung 2 oben, was in einer gewissen begrenzten Echoverringerng resultierte. In der Spielzeitpause 2010 folgte der Einbau komplett neuer Proszeniumswände und Orchesterreflektoren, siehe Abbildung 2 unten.

## Raumakustische Abnahmemessungen

Um die Auswirkungen der Maßnahmen aufzuzeigen, wurden auch im neuen Zustand Raumimpulsantwortmessungen mit derselben Ausrüstung an identischen Messpfaden durchgeführt. Das Stärkemaß  $G$  (1 kHz) nahm im unbesetzten Zustand mit geschlossenem eisernen Vorhang für Abstände  $< 10$  m von einer Quelle auf der Vorbühne von ca. 6,5 dB auf ca. 8 dB zu. Tabelle 1 zeigt die Werte der aus den gemessenen Raumimpulsantworten bestimmen Parameter, arithmetisch gemittelt über die Oktavbänder 500 Hz – 2 kHz, gemittelt über Saal und Orchestergraben im unbesetzten Zustand mit geschlossenem eisernen Vorhang.

**Tabelle 1:** Mittelwerte der akustischen Parameter vor und nach den Maßnahmen 1.+2. BA

Ort	$C_{80}$ [dB]	$T_c$ [ms]	EDT [s]	$E_{k, max}$	$ST_{early}$ [dB]
Saal vorher	1,5	101	1,3	1,1	-
Saal derzeit	1,1	105	1,4	0,8	-
OG vorher	8,3	45	0,9	0,7	-9,6
OG derzeit	6,5	54	1,0	0,7	-7,0

**Tabelle 2:** Ermittelte Werte der Early reflection strength  $G_{5-80}$  im Orchestergraben vor und nach den Maßnahmen 1.+2. BA

Messpfad im OG	$G_{5-80}$ [dB], OG vorher	$G_{5-80}$ [dB], OG derzeit	Differenz $\Delta G_{5-80}$ [dB]
Q3-M12	17,2	19,7	+2,5
Q3-M13	8,3	14,5	+6,2
Q3-M14	8,5	11,9	+3,4
Q3-M17	9,3	12,2	+2,9
Mittelwert	10,8	14,6	+3,8

Gegenüber dem alten Zustand konnten in der neuen Situation mit neuem Proszenium und Orchesterreflektoren

die durchschnittlichen Werte des Klarheitsmaßes abgesenkt und die Schwerpunktszeit erhöht werden. Die Nachhallzeit konnte durch den Fortfall der alten Absorberprismen im Proszenium hochfrequent etwas angehoben werden. Auf der 1m-Position ist im Orchestergraben mit dem neuen Proszenium und den Reflektoren eine deutliche Anhebung des Wertes von  $ST_{early}$  (Mittelwert 125-4000Hz) um +2,6 dB auf -7,0 dB gegenüber dem alten Zustand zu verzeichnen. Bezüglich der Stärke der frühen Reflexionen (Early reflection strength  $G_{5-80}$ , Definition siehe [1]) ist im Orchestergraben eine deutliche Anhebung der Werte um +1 bis +3 dB zu verzeichnen. Die Werte des Echogrades nach Dietsch und Kraak  $E_k(t)$  konnten deutlich verringert werden: Die Analyse der Reflexionsstrukturen der gemessenen Raumimpulsantworten zeigt, dass durch die Gesamtheit der durchgeführten raumakustischen Maßnahmen im Orchestergraben und im Proszenium die Reflexionen auf der Bühne, im Orchestergraben und im Parkett deutlich regelmäßiger und die Echos damit positiv verringert wurden. Im vorderen Parkett, auf der Bühne und insbesondere im Orchestergraben selbst wurden durch die durchgeführten raumakustischen Maßnahmen die Reflexionsstrukturen der Raumimpulsantworten durchweg sehr viel ausgeglichener: Bei ca. 50 ms kommen deutliche Beiträge vieler starker früher Reflexionen hinzu, die Energielücke bei ca. 150-250 ms nach dem Direktschall vor dem Echocluster wurde grobenteils aufgefüllt, s. **blaue** Kurven in Abbildung 1.

## Zusammenfassung

Durch die Gesamtheit der durchgeführten raumakustischen Maßnahmen im Orchestergraben und im Proszenium der DOR, siehe Abbildung 3, konnten die Reflexionsstrukturen auf der Bühne, im Orchestergraben und im Parkett deutlich verbessert und die Echos deutlich verringert werden.



**Abbildung 3:** DOR, Ansicht mit Maßnahmen seit 2010: neue Reflektoren und neues Proszenium

Das Ergebnis ist ein deutlich verbesserter Kontakt der Musiker untereinander im Orchestergraben und ein signifikant verbesserter Klang im Saal. Um im (aufgrund seiner Abmessungen) begrenzten Orchestergraben auch spätromantische Opern mit adäquateren Besetzungen als derzeit spielen zu können, soll er in der kommenden Spielzeitpause saalseitig um 1 Reihe vergrößert werden.

## Literatur

- [1] M. Lautenbach et al.: Renovation of the concert Hall De Doelen, Proceedings of the Institute of Acoustics; 2008