

# Projektierung, Installation und Inbetriebnahme der Beschallungsanlage im Moskauer Luzhniki Stadion

Anselm Goertz, \*Manfred Piontek, \*Michael Löhr

Audio & Acoustics Consulting Aachen ; \*harman pro Deutschland, Heilbronn

Im Rahmen einer Renovierungswelle zum 850-jährigen Stadtjubiläum von Moskau fiel auch die Überarbeitung und Überdachung des Luzhniki Stadions, im dem zur Olympiade in Moskau das olympische Feuer entzündet wurde. Das in einer Biegung der Moskwa gelegene Stadion wurde bei dieser Gelegenheit vollkommen entkernt und mit einer neuen Innenausstattung versehen. Eine rundum angelegte Bedachung bedeckt nun nahezu alle Zuschauerreihen und soll sogar in Zukunft durch eine vollständige Überdachung auch des Spielfeldes erweitert werden. Mit über 100.000 Sitzplätzen und einem Volumen von 1.600.000 m<sup>3</sup> stellt dieses Stadion nicht nur ein beeindruckendes Bauwerk dar, sondern erfordert auch einen erheblichen technischen Aufwand zur Beschallung der Zuschauer. Da ein Stadion heute nicht nur für Sportveranstaltungen genutzt wird, besteht natürlich auch der Anspruch einer adäquaten Qualität für Musikwiedergabe.

## Planungsphase

Das Konzept sieht eine dezentrale Versorgung der Zuschauerränge über insgesamt 40 Lautsprechersysteme und des Spielfeldes über 8 Lautsprecher vor. Die Platzierung der Lautsprecher sollte dabei an der Vorderkante des Daches über den Zuschauern sein, so daß eine Box mit einem recht großen vertikalen Abstrahlwinkel einen Ausschnitt des Tribünenovals von der untersten am Spielfeldrand gelegenen Reihe bis zur obersten Reihe unter dem Dachansatz abgedeckt. Die gleichmäßig aufgeteilten Lautsprecher wurden dann in 8 Gruppen zu je 5 Systemen zusammengefaßt, die von der Regie aus getrennt angesteuert werden können. Diese Aufteilung entspricht auch der räumlichen Unterteilung des Stadions in 8 Sektoren. Die gesamte Planungsphase dieser Anlage wurde durch Simulationen mit dem CADP2 Programm von JBL unterstützt.

Als Ausgangsdaten werden diesem Programm ein vereinfachtes Drahtgittermodell (siehe Abb.1) des Raumes und die frequenzabhängigen Absorptionsgrade der verwendeten Baumaterialien zu Verfügung gestellt. Mit diesen Daten besteht zunächst einmal die Möglichkeit die frequenzabhängigen Nachhallzeiten des Raumes zu berechnen. Einen sehr starken Einfluß auf diese Größen hat die Besetzungsdichte der sehr großflächigen Publikumsränge, die nur dann einen nennenswerten Absorptionsgrad aufweisen, wenn sie mit Zuschauern besetzt sind. Eine stark absorbierende Bestuhlung, wie sie gerne in Theatern verwendet wird um die Raumakustik weitgehend unabhängig von der Publikumsmenge zu halten, kommt natürlich für ein Fußballstadion nicht in Frage. Ohne Publikum steigen die Nachhallzeiten für diesen Raum mit 1,6 Millionen m<sup>3</sup> Volumen in Größenordnungen von 10 s und mehr an, die jede Art von Sprachübertragung zu einem Problem machen. Die berechneten Nachhallzeiten für einen durchschnittlichen Besetzungsgrad von 50% zeigt Abbildung 2. An dieser Stelle wird deutlich, daß die später noch erläuterte Unterteilung der Lautsprecher in 8 Sektoren unbedingt notwendig ist, wenn das Stadion nur in bestimmten Bereichen besetzt ist. Die Beschallung der leeren Ränge kann für diesen Fall abgeschaltet werden um eine unnötige Anregung des Raumes zu vermeiden.

Zusätzlich wurden im Stadion noch raumakustische Maßnahmen ergriffen um die Absorptionsfläche an kritischen Stellen zu erhöhen. Im hinteren Bereich der Dachflächen, die unvermeidlich von den Lautsprecher mit angestrahlt werden, hängten die Baufirmen über das gesamte Dachoval großflächige hochwirksame Absorberkästen mit einer Füllung aus Mineralwolle auf.

Im nächsten Schritt der Planungsphase erfolgte die Messung des Abstrahlverhaltens an je einem Prototypen der Lautsprecher 873-WRTC und 874-WRTC, deren Konzept im folgenden Absatz noch näher erläutert wird. Nachdem die einfachen Messungen der Frequenzgänge (Abb.3/4) und der horizontalen und vertikalen Directivity von 80x40 für die aktive Version mit doppelter V-Anordnung und 50x40 Grad für die einfache passive Ausführung die gewünschten Ergebnisse zeigten, mußte noch die recht aufwendige Messung des Abstrahlverhaltens auf einem dichten Kugelrasternetz um die gesamte Box für das Simulationsprogramm gemacht werden.

Mit insgesamt 703 Meßpunkten in einem 10 Grad Rasternetz wird der Frequenzgang der Box in jeder dieser Richtungen vermessen und in einer Datei festgehalten. Erst mit diesen Informationen kann das Programm die komplette Schallfeldverteilung im Raum für den Betrieb dieser Lautsprecher berechnen. Vorher müssen natürlich die Lautsprecher Positionen und ihre genaue Ausrichtung im Raummodell des Computers eingegeben werden. Als wichtige Größen sind dann aus der Simulation die Direktschall- und die Diffusschallverteilung sowie deren Verhältnis zueinander zu berechnen. Das Verhältnis vom Direktschall zum Diffusschall für die Frequenzbereiche der 250 Hz und der 2 kHz Oktave, die eine relevante Aussage über die für Sprache wichtigen Frequenzen zulassen, fällt in beiden Bereichen nur an den äußeren Rändern unter -10 dB und ist den Kernbereichen besser als -5 dB, womit eine gute Sprachverständlichkeit sicher gestellt ist. Eine grafische Darstellung der Ergebnisse ist an dieser Stelle wegen der eingeschränkten Druckmöglichkeiten weniger sinnvoll, so daß auf eine ausführliche Veröffentlichung zu diesem Thema verwiesen werden muß [1].

Ein weiterer zu prüfender Punkt vor einer Installation ist der maximale Schalldruck, den eine Anlage im Zuschauerbereich erzielen kann. Für ein Stadion besteht hier der nicht ganz geringe Anspruch auch bei großem Publikumlärm, das können hier 100.000 kreischende Fußballfans sein, noch eine gut verständliche Durchsage zu machen. Für das Luzhnikistadion wurde in der Ausschreibung ein Mindestwert von 105 dB auf allen Plätzen gefordert. Die Simulation für die 250 Hz und 2 kHz Oktave verspricht bei voller Auslastung der Einzelsystem fast 10 dB höhere Werte, die dann bei der Einmessung im Stadion auch bestätigt wurden.

## Lautsprecherkonzept

Für die hier verwendeten Lautsprecher wurde interessanterweise nicht auf ein Standardsystem zurückgegriffen, sondern eine Neuentwicklung eingesetzt, die in Zusammenarbeit von mehreren Firmen entstand. Die Begründung ist einfach darin zu suchen, daß die speziellen Anforderungen an den Lautsprecher in akustischer und mechanischer Hinsicht von keiner Serienbox direkt erfüllt wurden. Das Ergebnis sind die beiden Modelle 873-WRTC und 874-WRTC, wobei die Buchstaben WRT für Weather Resistant, Transformer und die Typenbezeichnung C für ein Stahlgehäuse stehen. Genau das wäre auch schon die äußerlich auffälligste Besonderheit, wo das Gehäuse komplett aus verzinktem pulverbeschichtetem Stahlblech hergestellt ist. Die notwendige Stabilität gegen Schwingneigung der Stahlplatten und Wandresonanzen konnte durch viele von innen aufgeschweißte Verstrebungen und dicke Bitumschichten aus der Kraftfahrzeugtechnik erzielt werden. Die Frontseite des komplett horngeladenen Systems besteht aus einem GFK Homelement und einem verzinkten Stahlgrill, der von innen zweilagig mit einem Spezialkunststoff hoher Schalldurchlässigkeit belegt ist und gegen Regen und Spritzwasser schützt. Zusätzlich wurden die Membranen der Tieftöner noch beidseitig beschichtet um ein Aufweichen durch hohe Luftfeuchtigkeit zu verhindern. Um auch einer Ablagerung von Kondenswasser im Luftspalt des Magneten zu begegnen, wird die komplette Anlage in längeren Betriebspausen mit einem nicht hörbaren Rauschsignal gespeist, womit eine leichte Erwärmung der Schwingspulen einhergeht und somit die Ablagerung von Feuchtigkeit an dieser kritischen Stelle vermieden werden kann. Wie die Erfahrung gezeigt hat, sind solche Maßnahmen ausnahmslos nicht übertrieben sondern zwingend notwendig, wenn ein Lautsprecher jahrelang unter härtesten klimatischen Bedingungen ohne jeden weiteren Schutz an der Dachkante eines Stadions überleben soll. Bei jeglicher Art von beschichteten Holzkonstruktionen wären gewisse Zweifel angebracht.

Neben der Wetterfestigkeit bestand die nächste Anforderung für den Lautsprecher in einem Abstrahlwinkel von 80x40 Grad um den vorab genannten Publikumsausschnitt abdecken zu können.

Die Entfernung der Zuhörer von der Box erstreckt sich dabei von 35 Metern für die ersten Reihen bis 50 Meter für die obersten Reihen. Um auch bei großem Umgebungslärm noch eine verständliche Durchsage sicherzustellen, lag die Anforderung für den Schalldruck bei mindestens

105 dB auf allen Plätzen. Immerhin galt es bei dieser Konstellation mit nur einer Box einen Tribünenbereich mit 2500 Plätzen zu versorgen. Der Anforderungen an den Spitzenpegel der Box lagen somit in der Größenordnung um 140 dB, wo nur ein komplett horngeladenes Konzept in Frage kam. Die Wahl fiel hier auf zwei zueinander angewinkelte Hornelemente mit je zwei 12" Mitteltieftönern und einem 2" Hochtontreiber. Die quer gehängte Box strahlt so mit einem Hornelement auf den unteren Teil der Sitzreihen und mit dem zweiten Hornelement auf die etwas weiter entfernten oberen Sitzreihen. Zum Ausgleich der Entfernung Unterschiede wurde der einfache Trick angewandt im oberen Teil einen 8 Ohm Hochtontreiber einzusetzen und im unteren Teil einen 16 Ohm Treiber. Die Trennung zwischen den beiden Wegen erfolgt aktiv mit einem Digitalcontroller. Von diesem Lautsprechermodell, dem 873-WRTC wurde noch eine Variante, die 874-WRTC gebaut, die nur über ein 2x12" + 2" Hornelement verfügt und passiv getrennt ist. Insgesamt 8 dieser kleineren Lautsprecher wurden zur Beschallung des Spielfeldes an der Dachkante nach innen gerichtet installiert.

Für das Gesamtkonzept der Anlage wurde eine zentrale Versorgung aller Lautsprecher aus dem Regieraum gewählt, die Leitungslängen von bis zu 460 Metern erforderlich machte. Um die Verluste auf den Leitungen gering zu halten, blieb somit nur die Möglichkeit mit Übertragern die Spannung auf 200 V hochzutransformieren. Da ein solcher Übertrager für Leistungen von 800 VA für den Tieftonzweig und 150 VA für den Hochtöner natürlich nicht von der Stange käuflich ist, blieb auch hier nur der Weg einer Sonderanfertigung bifilar gewickelter Ringkernübertrager. Mit einer Verkabelung von 4x4mm<sup>2</sup> lagen dann die Verluste auch auf den längsten Leitungswegen unter 1,5 dB.

## Inbetriebnahme

In zwei langen Arbeitstagen wurden in einer sehr detaillierten Meßreihe zunächst alle System einzeln gemessen und auf Verpolungen und Frequenzgangabweichungen hin überprüft. Die notwendige Beweglichkeit für die weit auseinander liegenden Meßpositionen konnte mit einer Wireless Anlage und einem Kugelkondensatormikrofon erreicht werden. Die ausführlichen Messungen erstreckten sich eine geraume Zeit und mußten immer wieder wegen gleichzeitig schon im Stadion stattfindender Proben unterbrochen werden. Erst danach konnte die Messung kompletter Sektoren und der gesamten Lautsprecheranlage erfolgen, die zur allgemeinen Befriedigung eine hohe Übereinstimmung mit den Simulationsergebnissen zeigten. Eine Pegelmessung von der untersten zur obersten Reihe ergab Unterschiede von weniger als 5 dB und Maximalpegel von 110-113 dB.

Zwischen den einzelnen Messungen und Einstellarbeiten am Controller wurde natürlich nicht vergessen immer wieder eine Hörprobe einzulegen, um sich von der Wirksamkeit der Maßnahmen zu überzeugen. Besonders beeindruckend fiel der Höreindruck auf dem nur wenig vom Nachhall gestörten Spielfeld aus, wenn die Lautsprecher für die Publikumsränge nicht in Betrieb waren. Insgesamt lieferten alle Hörproben zufriedenstellende Ergebnisse in einem völlig leeren Stadion. Dieser denkbar ungünstigste Zustand durfte somit als absoluter Härtestest gelten, der noch deutliche Verbesserungen bei besetzten Rängen erwarten ließ.

## Fazit

Im Moskauer Luzhniki Stadion ist es in der Tat gelungen mit vertretbaren Mitteln und Kosten eine unter diesen Umständen als High-End Beschallung zu bezeichnende Anlage zu installieren. Angefangen mit der hervorragenden Lösung der für diesen Zweck optimierten Lautsprecher bis hin zur eleganten und edlen Ansteuerung der Systeme, die sich aber stets auf das Wesentliche beschränkte, wurde hier kompromißlos gute Arbeit geleistet. Auch unter anderen Aspekten sind noch zwei erfreuliche Dinge zu bemerken, die zum einen die reibungslose und gute Zusammenarbeit deutscher und russischer Firmen betrifft und zum zweiten das flexible Reagieren eines großen Herstellers mit einer individuell angepaßten Lautsprecherlösung.

[1] Luzhniki-Stadion Moskau ; Anselm Goertz  
Production Partner 10/97 ; Musik Media Verlag Köln

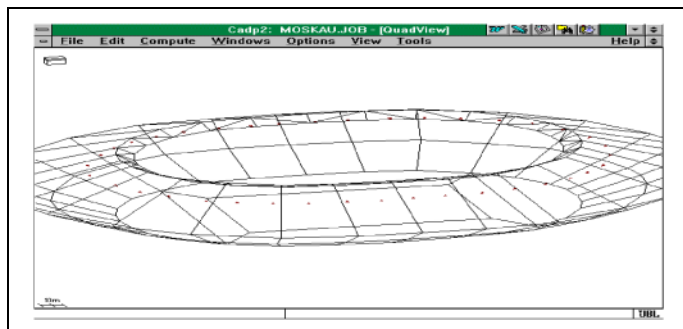


Abb.1 Stadionansicht als Drahtmodell mit Lautsprecherverteilung

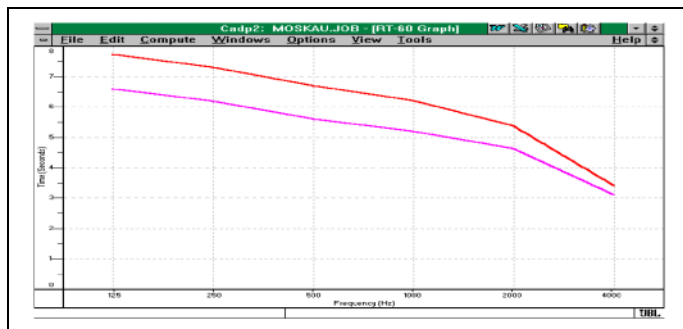


Abb.2 Frequenzabhängige Nachhallzeiten  
Raumvolumen: 1.691.096 m<sup>3</sup>

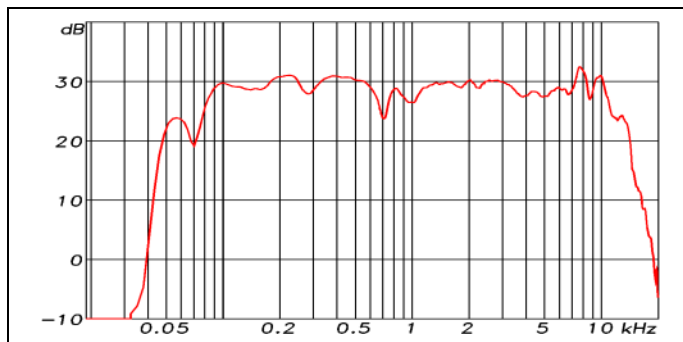


Abb.3 Frequenzgang der aktiven 873-WRTC

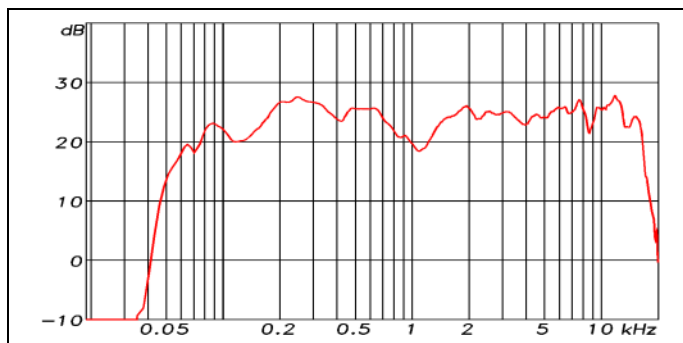


Abb.4 Frequenzgang der passiven 874-WRTC  
(0 dB entspricht 80 dB @ 1W/1m)

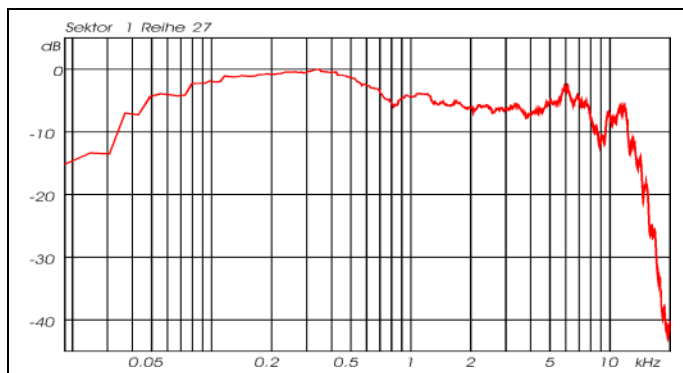


Abb.5 Meßergebnisse im Stadion