



[Beratung und Gutachten](#)

Lärmimmissionsschutz
Technischer Schallschutz
Bauakustik
Raumakustik
Elektroakustik
Luftreinhaltung
Geruchsgutachten
BlmSchG – Verfahren
Umweltverträglichkeit
CO₂-Emissionshandel

[Messstelle n. §26 BImSchG](#)

Zugelassen durch das Bay. LfU
als Stelle zur Ermittlung von
Geräuschen nach § 26
BImSchG

[Güteprüfstelle n. DIN 4109](#)

Schallschutz im Hochbau

[Kontakt](#)

hooock farny ingenieure
City Center Landshut (CCL)
Am Alten Viehmarkt 5
D-84028 Landshut

Fon: +49 (0)871 9656373-0
Fax: +49 (0)871 9656373-44

Öffentlich bestellt und vereidigt
durch die IHK für Niederbayern
in Passau:

[Dipl.-Ing. Univ. Heinz Hooock](#)

Sachverständiger für
Schallimmissionsschutz

[Dipl.-Ing. FH Roswitha Farny](#)

Sachverständige für
Verifizierung im Treibhausgas-
Emissionshandel (TEH)

Optimierung der Raumakustik in einem Theaterzelt

Johannes Eichinger, Heinz Hooock und Andreas Dantele

DAGA 2015
17.03.2015



Optimierung der Raumakustik in einem Theaterzelt

- Ausgangssituation
- Anforderungen
- Raumakustische Güteprüfung
- 3D-Modell
- Verbesserungsmaßnahmen
- Messtechnische Validierung
- Zusammenfassung und Ausblick



Ausgangssituation

- Theaterzelt in Landshut
 - Temporäre Spielstätte des Landestheaters Niederbayern
 - 450 Zuschauerplätze
 - Musik und Schauspiel
 - z.B. Oper, Operette, Musical, Sprechtheater, Konzerte
 - Eröffnung Juni 2014, zuvor Einsatz in anderen Städten





Ausgangssituation

- Bewertung der Akustik
 - Sprechtheater: „zu hallig“, mangelnde Sprachverständlichkeit im Parkett
 - Musiktheater: Gut bis sehr gut
 - Geräuscheinwirkung von außen: sehr störend
- Projektziel:
(kostengünstige) Maßnahmen zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit



© Landestheater Niederbayern

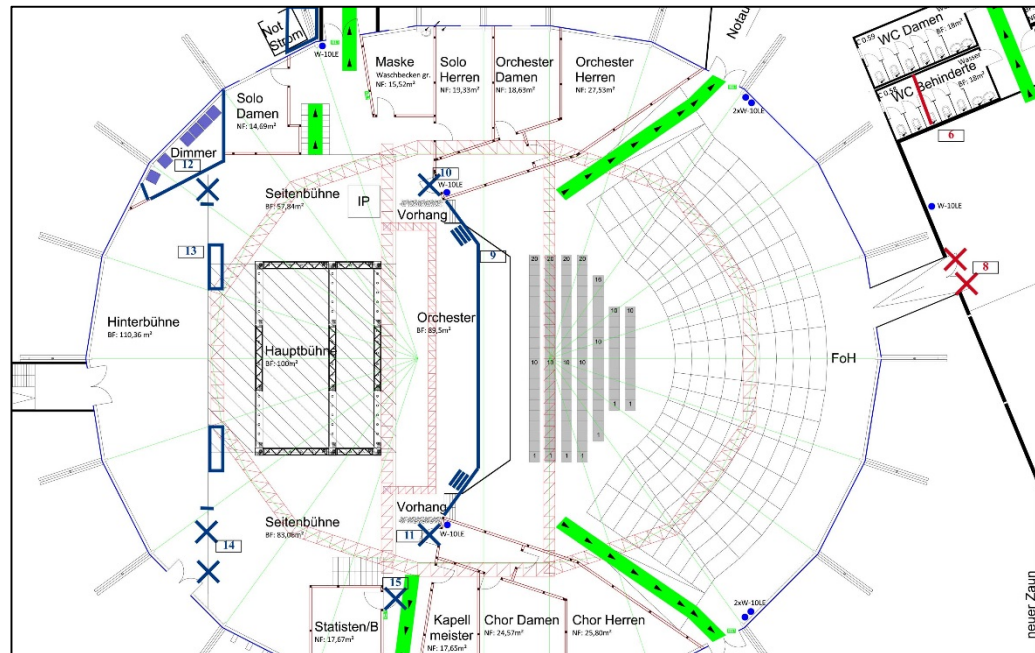
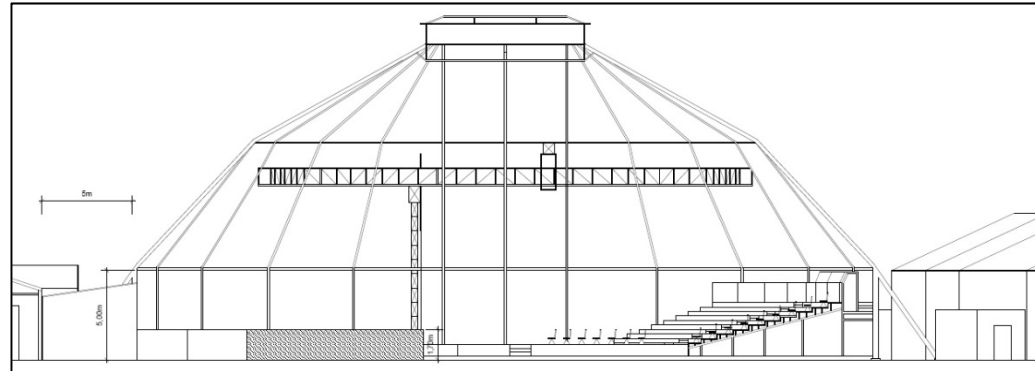


Theaterzelt

- Raumvolumen ca. 11.000 m³
 - L x B x H: ca. 42 x 35 x 19 m
 - Elliptische Grundfläche ca. 1.200 m²
- Boden: Holzwerkstoffplatten bzw. Teppich
- Gebäudehülle:
 - Metallpaneele bis 5 m Höhe
 - darüber fest gespannte Zeltplane (2 Lagen)
- Innenwände: Gipskarton oder Holzwerkstoffe
- Bestuhlung:
 - Parkett: "einfache" Polsterstühle
 - Tribüne: "schwere" Polsterstühle
- Beschallungsanlage
 - 2 x Line-Array, 2x Subwoofer



Theaterzelt





Raumakustische Anforderungen

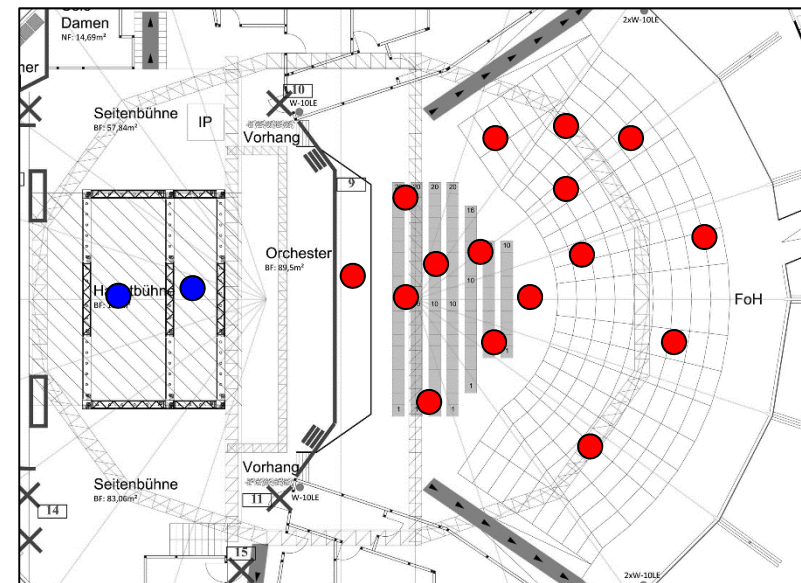
- Mehrzwecknutzung Musik und Sprache
- Nachhallzeit RT_{60}
 - DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“ :
Sprache: 1,4 sek / Musik: 1,8 sek (+/- 20%) für $V=11.000 \text{ m}^3$
 - Vorgabe des Auftraggebers:
 $T_{\text{Soll}} \sim \mathbf{1,8 \text{ sek}}$ (bei Besetzung 0 %)
- C_{50} / STI:

Raumakustische Bewertungsparameter für Sprache		
Kriterium	Definition	Bewertung
Deutlichkeitsmaß C_{50} [dB]	> 0 dB	gut
	-2,5 dB bis 0 dB	ausreichend
	< - 2,5 dB	schlecht
Sprachübertragungsindex STI	> 0,75 %	sehr gut
	0,60 bis 0,75	gut
	0,45 bis 0,60	befriedigend
	0,30 bis 0,45	ausreichend
	< 0,30	schlecht



Raumakustische Güteprüfung

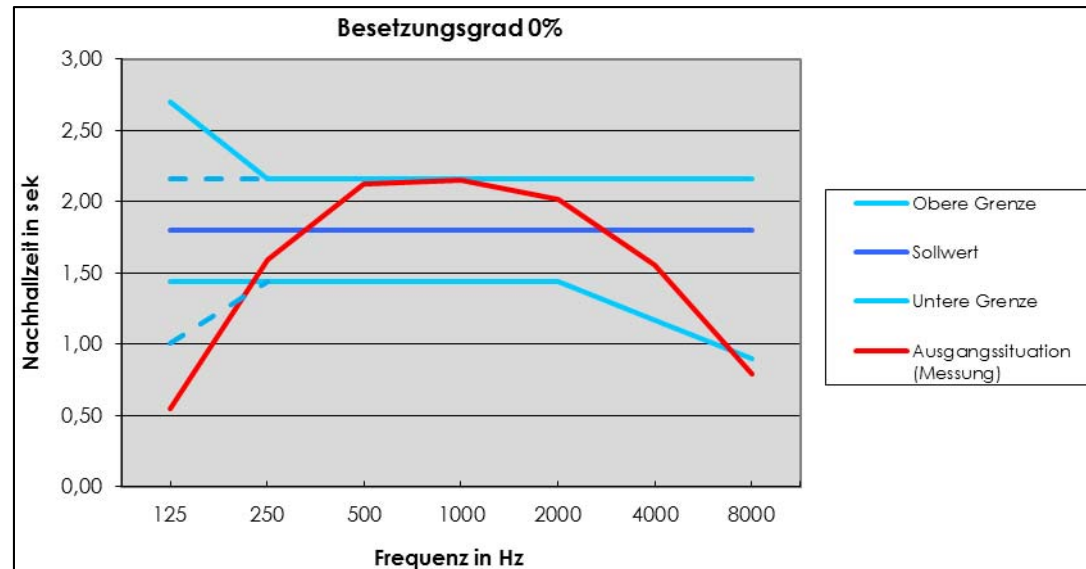
- Nachhallzeit nach DIN EN ISO 3382-1
 - Messung im unbesetzten Zustand
 - Vorhang zwischen Haupt- und Hinterbühne geschlossen
 - 2 Sendepositionen auf der Bühne
 - Parkett und Tribüne: je 8 Messpunkte
 - Gesamt 40 Messungen





Raumakustische Güteprüfung

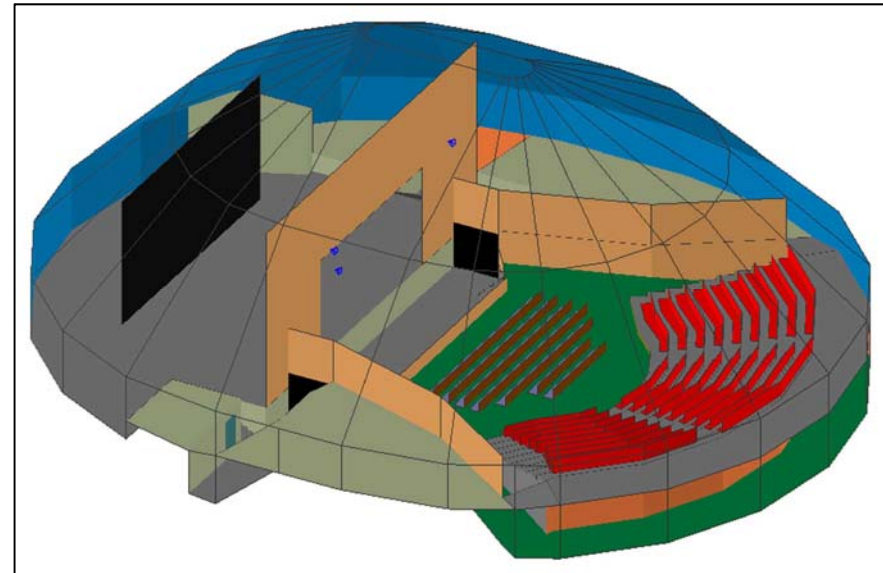
- Messung der Nachhallzeit nach DIN EN ISO 3382-1
 - $T_{30} = 2,15$ sek
 - Parkett: 2,06 sek / Tribüne: 2,21 sek
 - Frequenzgang sehr unausgewogen





3D-Modell

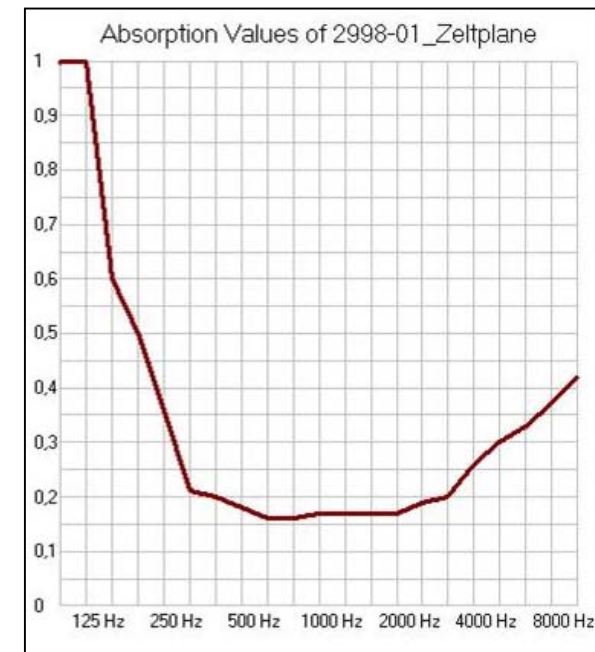
- Begrenzungsflächen und Einrichtungsgegenstände
 - Materialien nach Planunterlagen und Ortseinsicht
 - Frequenzabhängige Absorption
 - Oktavbänder
125 Hz bis 8 kHz
- Besetzungsgrade
0 % (Messabgleich)
und 100 %
- EASE v4.4.6.32
 - AURA Mapping
 - 3,2 Mio. Strahlen





3D-Modell

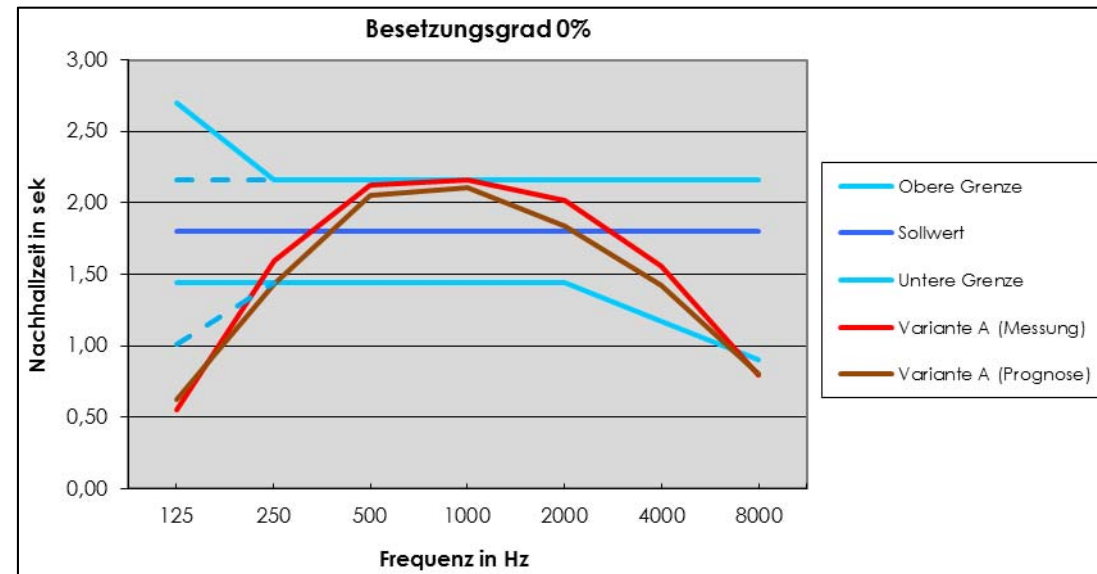
- Abgleich mit gemessener Nachhallzeit
- Zeltplane ca. 1.900 m²
 - Oberflächenanteil ~ 35 %
 - Keine Informationen zu Absorptionseigenschaften
 - Iterativer Abgleich
 - Hohe Absorption < 250 Hz
 - Real hohe Transmission





3D-Modell

- Abgleich mit gemessener Nachhallzeit
 - $T_{30, \text{Prognose}} = 2,08 \text{ sek}$
 - $T_{30, \text{Messung}} = 2,15 \text{ sek}$





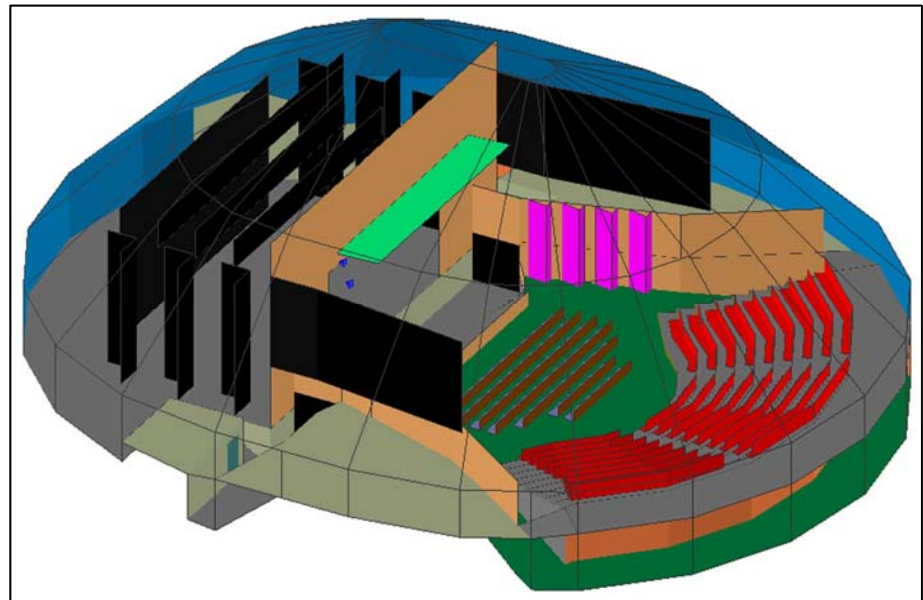
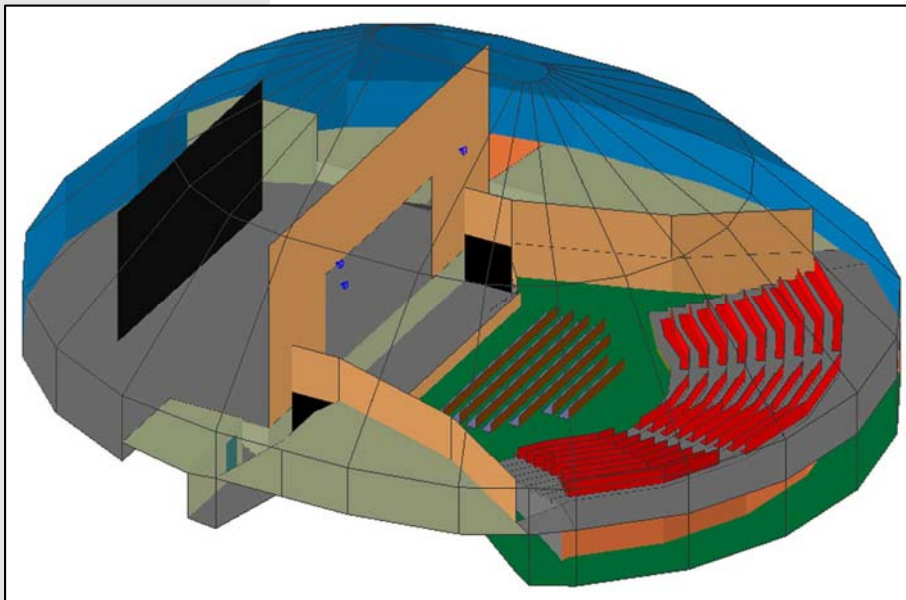
Verbesserungsmaßnahmen

- Absorbierende Oberfläche vergrößern → *RT60*
 - Schwere Vorhänge (600-700 g/m²)
 - Oberhalb der Wände links und rechts im Parkett
 - Zusätzliche Fläche ca. 100 m²
- Schalllenkung → *STI Parkett*
 - Reflektoren in Dreiecksform
 - Je vier Reflektoren an den Wänden im Parkett
 - Schallharte Oberfläche
 - Reflektor über dem Orchestergraben
 - ca. 12,5 x 2,2 m, Neigung 2,5°
 - Schallharte Oberfläche



Verbesserungsmaßnahmen

- Gegenüberstellung – 3D Ansicht





Verbesserungsmaßnahmen

- Gegenüberstellung – 3D Ansicht



mit zusätzlichen Vorhängen (Absorbern)
und Reflektoren





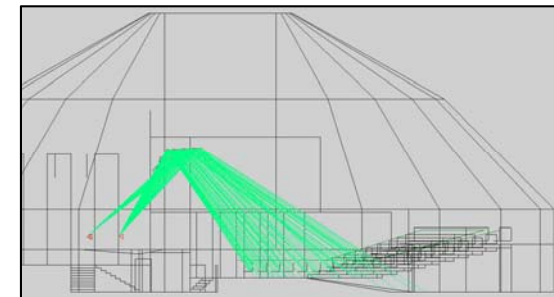
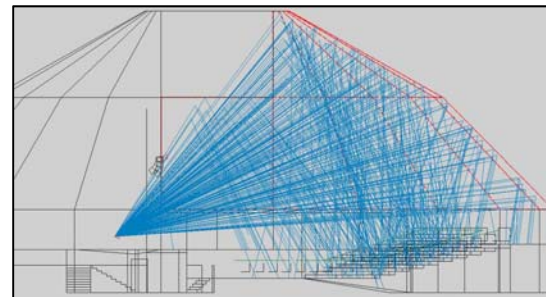
Verbesserungsmaßnahmen

- Lenkung von Schallreflexionen

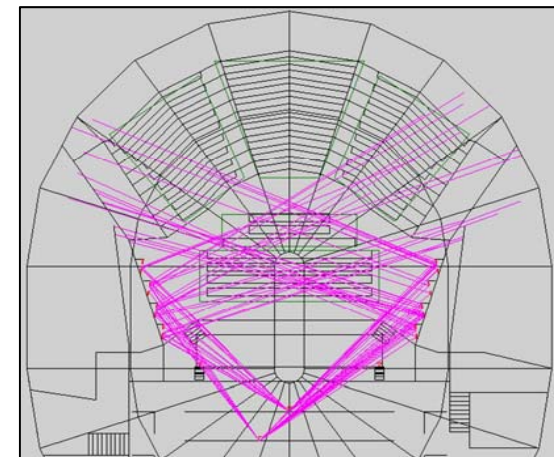
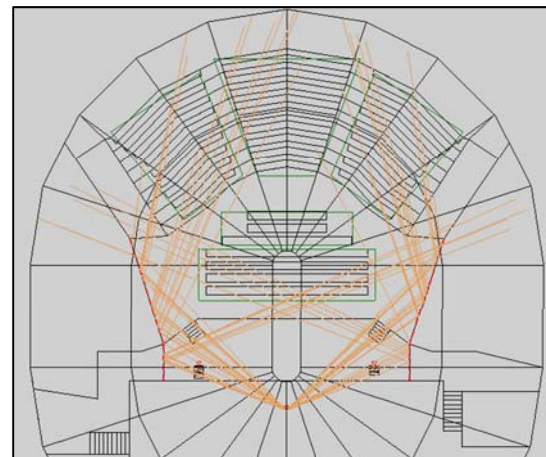
ohne

mit

Reflektor
über
Orchester-
graben



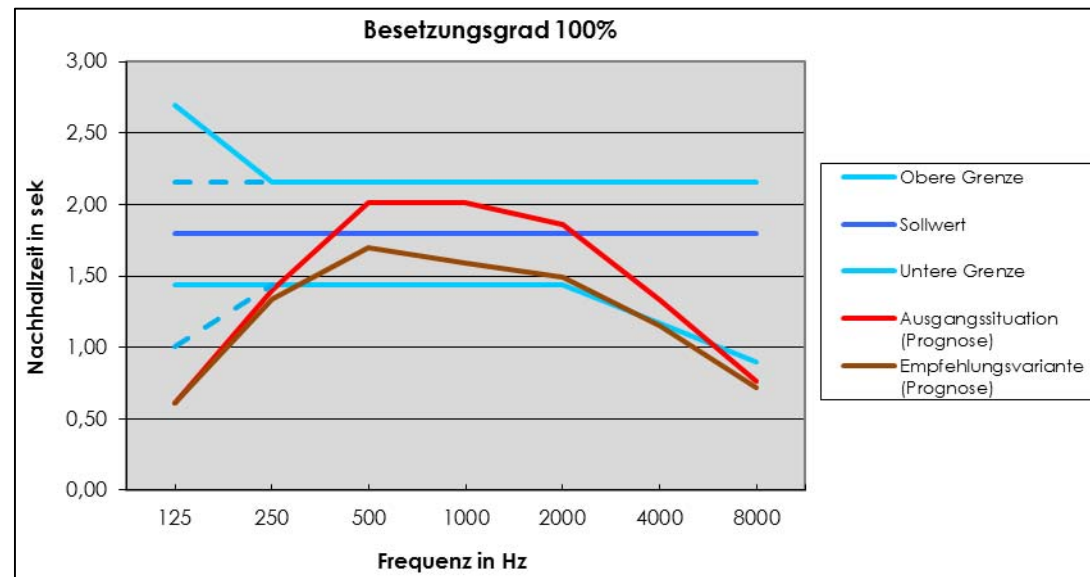
seitliche
Reflektoren





Verbesserungsmaßnahmen

- Prognoseberechnung Nachhallzeit
 - Besetzung 0 %: $T_{30} = 2,15 \text{ sek} \rightarrow 1,70 \text{ sek}$
 - Besetzung 100 %: $T_{30} = 2,01 \text{ sek} \rightarrow 1,66 \text{ sek}$





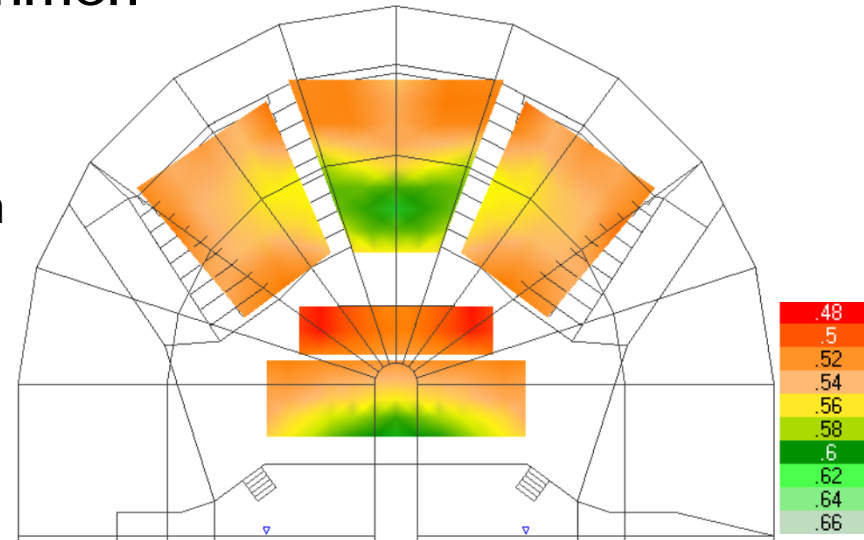
Verbesserungsmaßnahmen

- Prognose Deutlichkeitsmaß
 - Besetzung 0 %: $C_{50} = -3,1 \text{ dB} \rightarrow -1,6 \text{ dB}$
 - Besetzung 100 %: $C_{50} = -2,7 \text{ dB} \rightarrow -1,3 \text{ dB}$
- Prognose Sprachübertragungsindex
 - Besetzung 0 %: $STI = 0,54 \rightarrow 0,57$
 - Besetzung 100 %: $STI = 0,55 \rightarrow 0,58$

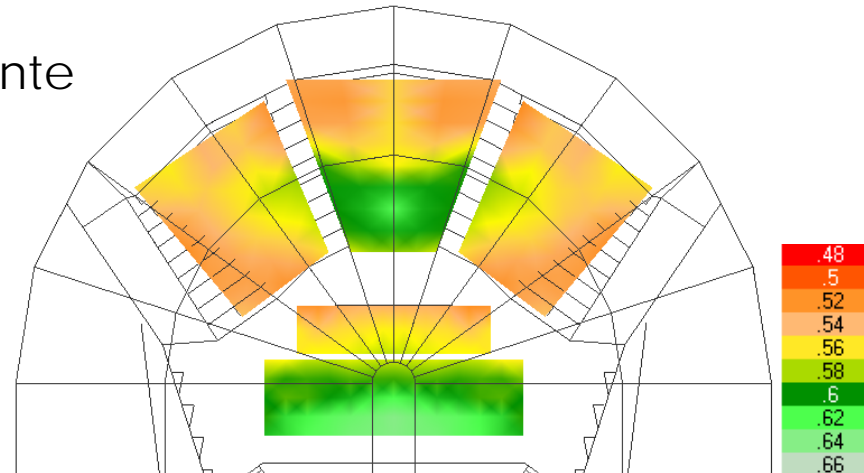


Verbesserungsmaßnahmen

- Prognose STI
 - Ausgangssituation



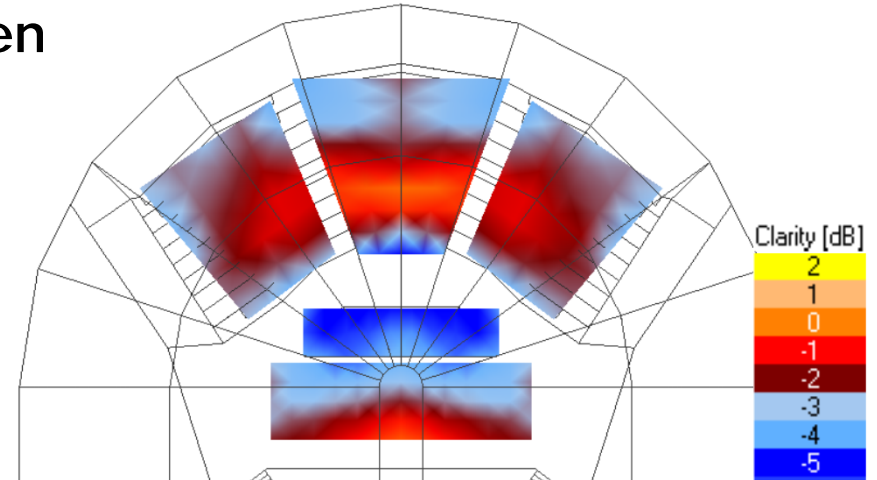
- Empfehlungsvariante



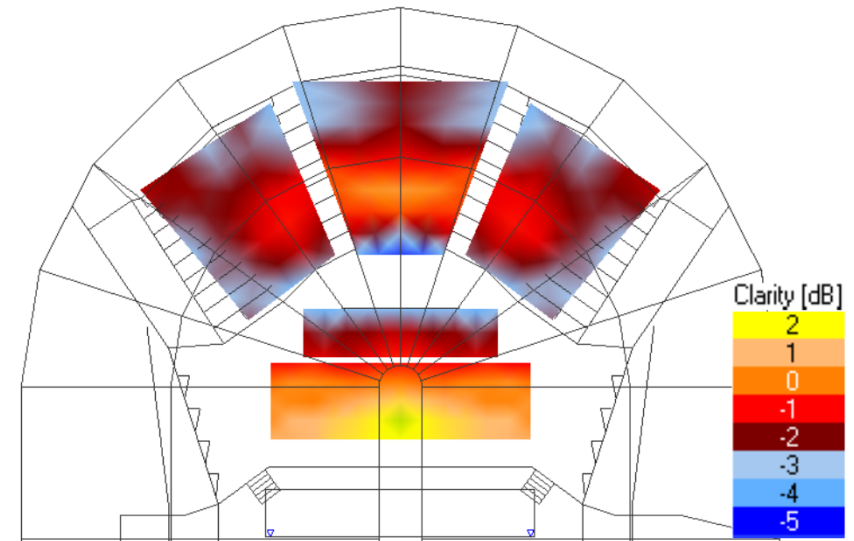


Verbesserungsmaßnahmen

- Prognose C_{50} / 1 kHz
 - Ausgangssituation



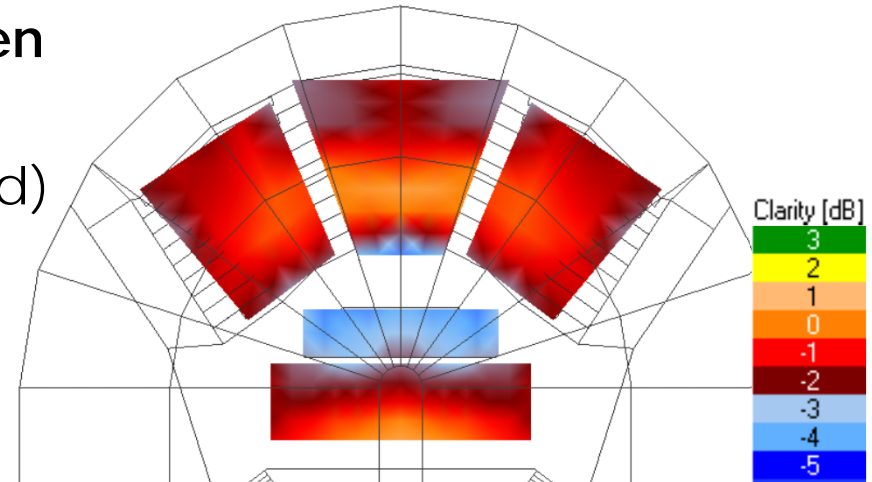
- Empfehlungsvariante



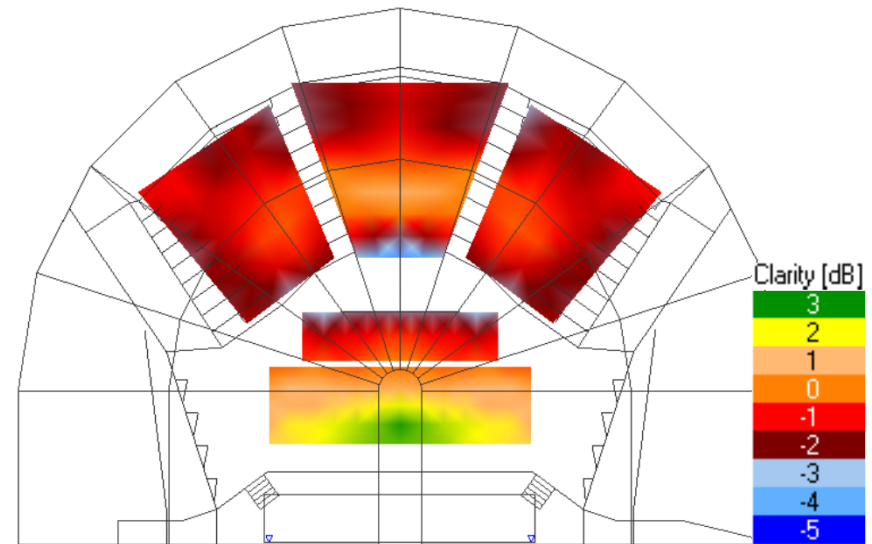


Verbesserungsmaßnahmen

- Prognose C_{50} (Breitband)
 - Ausgangssituation



- Empfehlungsvariante





Verbesserungsmaßnahmen

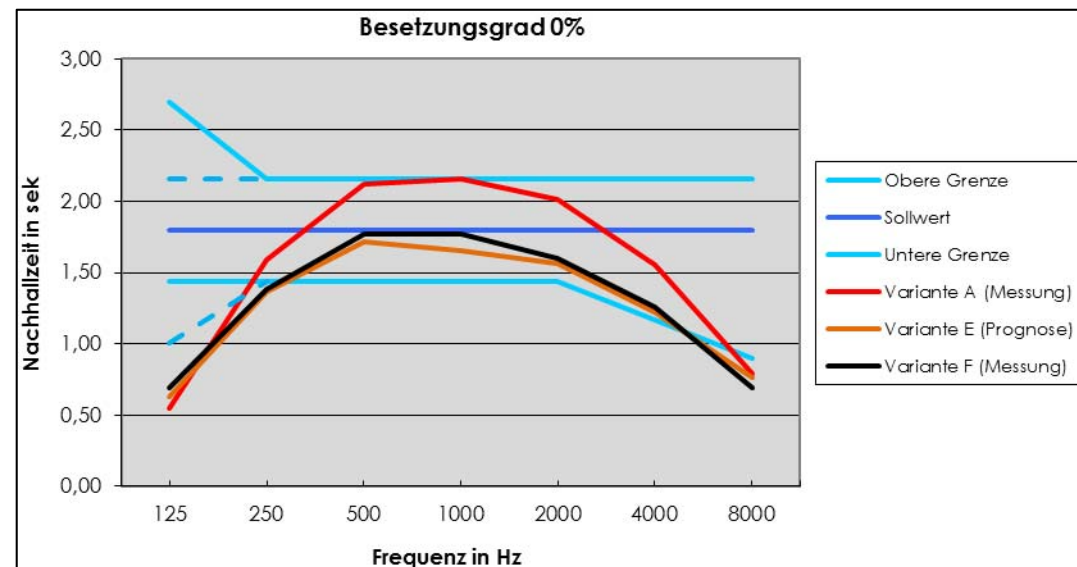
- Umgesetzte Maßnahmen
 - Zusätzliche Vorhänge
 - Seitliche Reflektoren zur Schalllenkung
- Nicht umgesetzt
 - Reflektor über Orchestergraben
 - Weitere Vorhänge bzw. Absorber, primär wegen Statik






Messtechnische Validierung

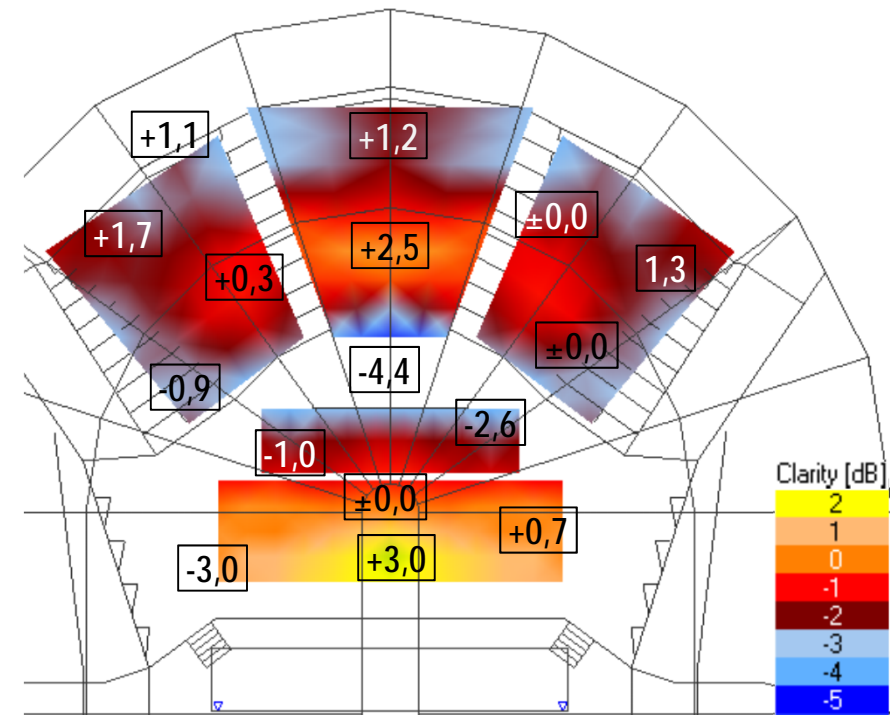
- Messung der Nachhallzeit nach DIN EN ISO 3382-1
 - $T_{30} = 1,77$ sek
 - Parkett: 1,74 sek / Tribüne: 1,79 sek
(vorher: 2,06 sek / 2,21 sek)
 - Parkett und Tribüne je 8 Messpunkte, 32 Einzelmessungen





Messtechnische Validierung

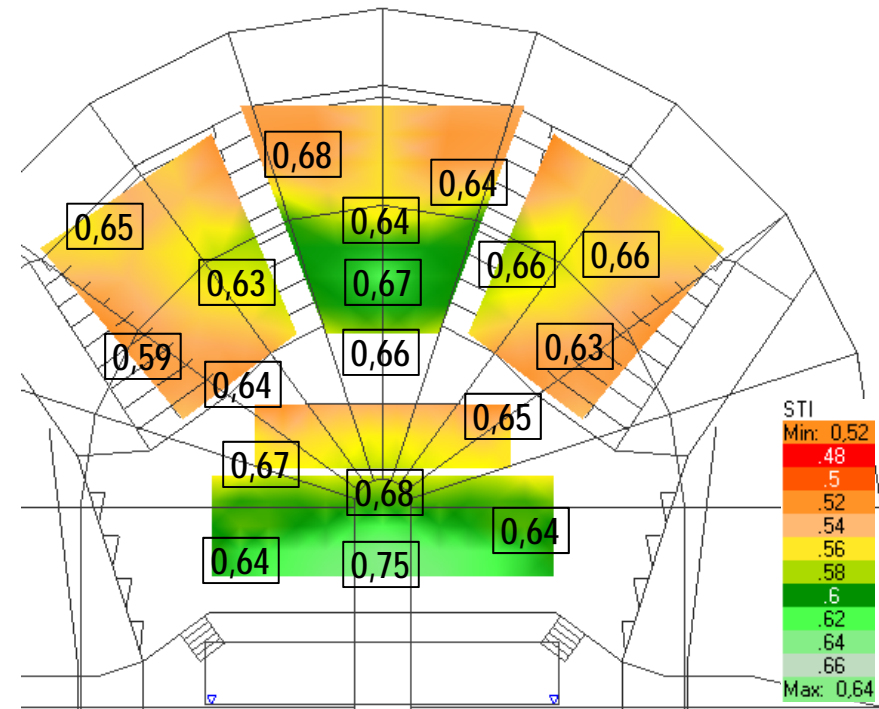
- Messung C_{50} / 1kHz
 - Messwerte ($+1,7$)
 - Vergleich mit Prognose ()
 - Besetzung 0%
 - Parkett: gute Übereinstimmung
 - Tribüne: Messwerte höher als Prognose





Messtechnische Validierung

- Messung STI
 - Messwerte (0,65)
 - Vergleich mit Prognose (0,52 bis 0,66)
 - Besetzung 0%
 - Messwerte mit geringer Streuung
 - nur Randbereich der Tribüne < 0,60





Zusammenfassung

- Raumakustische Untersuchung im Theaterzelt Landshut
 - Nachhallzeit verbesserungswürdig für Theaterbetrieb (Schauspiel, Musiktheater)
 - Zeltplane mit hoher Absorption < 250 Hz
 - Sprachverständlichkeit im Parkett nicht optimal
- Verbesserungsmaßnahmen
 - Absorber zur Reduktion der Nachhallzeit
 - Reflektoren für Schallenkung im Parkett
 - Begrenzte Möglichkeiten durch bauliche und statische Rahmenbedingungen
- Weiterer Handlungsbedarf
 - Hohe Geräuschbelastung von außen



**Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit**

