

# Musik trifft Technik – Die Akustik der Bagno Konzertgalerie

VDI Münsterländer Bezirksverein e.V.

25.03.2019



Motivation des Projekts



Beste Kritiken der Akustik:

*“... überwältigende  
Klangfülle der Solisten”*

*“... hervorragende Akustik  
bis in die letzten Reihen”*

Bagno Konzertgalerie



## Musik trifft Technik

- ... Grundlagen Raumakustik
- ... Die Akustik im Bagno

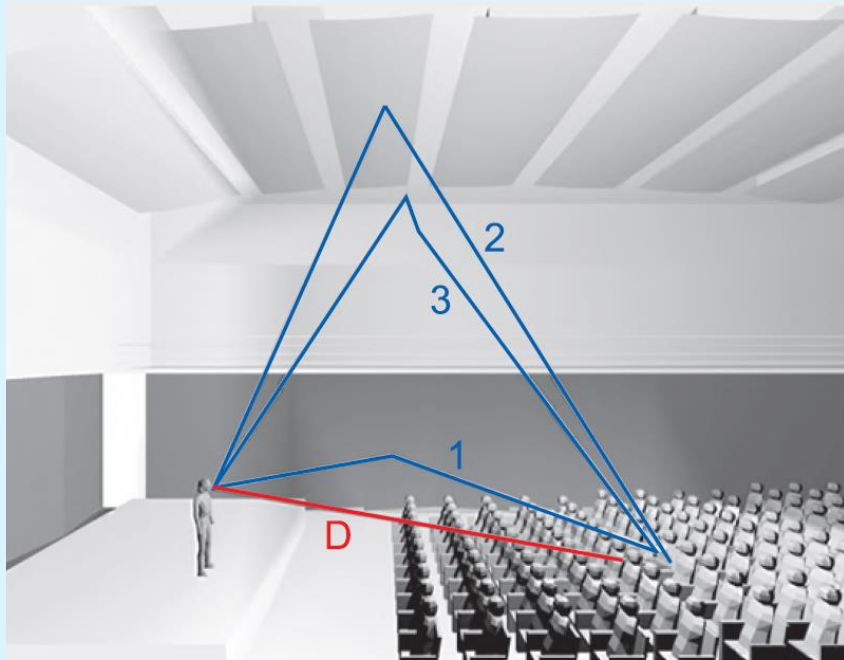
# Grundlagen der Raumakustik

Objektiv:

*Beeinflussung der  
**Ausbreitung** von  
Schallwellen durch einen  
umhüllenden Raum*

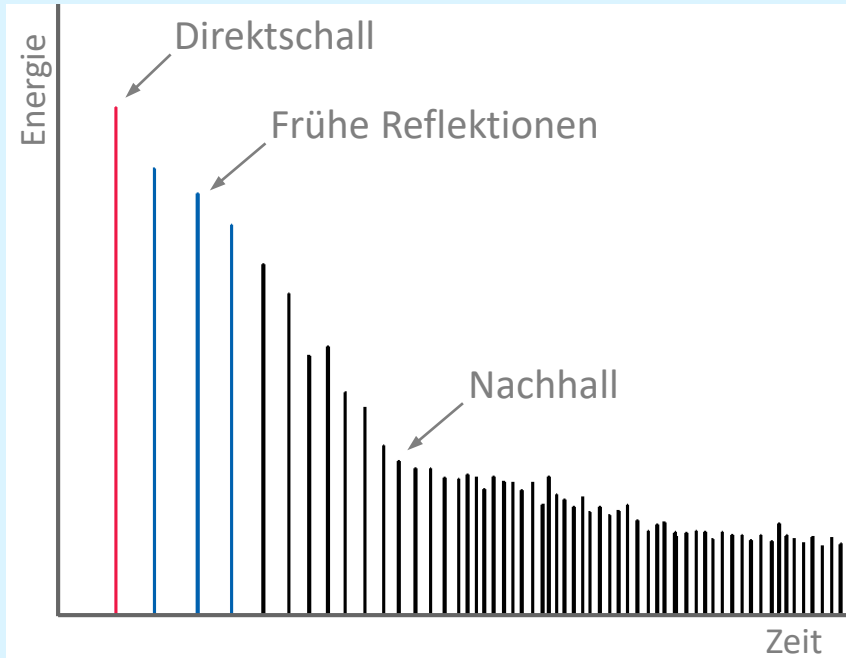
Subjektiv:

*Beeinflussung der  
**Wahrnehmung** von  
Schallereignissen in einem  
umhüllenden Raum*



Raumakustik:

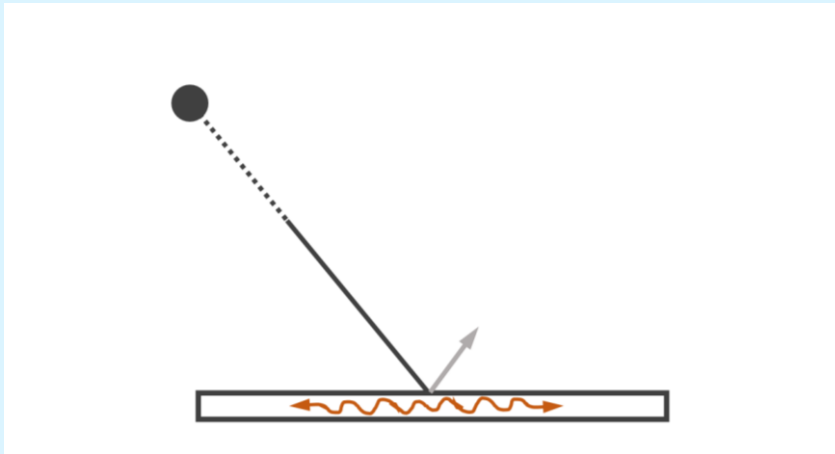
... Schallausbreitung durch Reflexionen



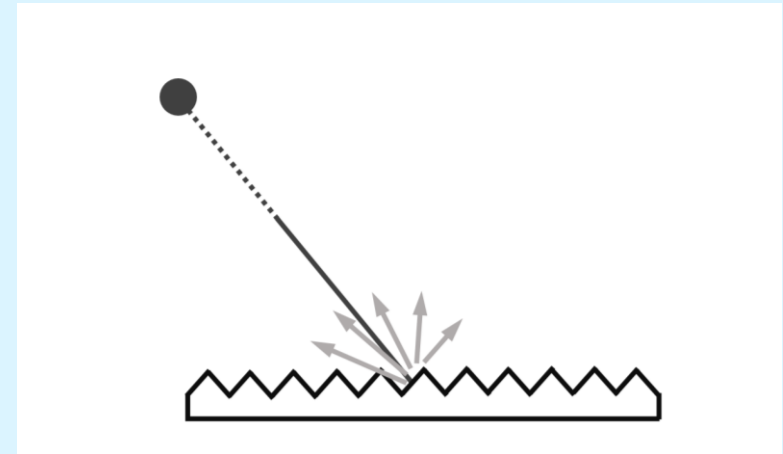
## Abklingkurve:

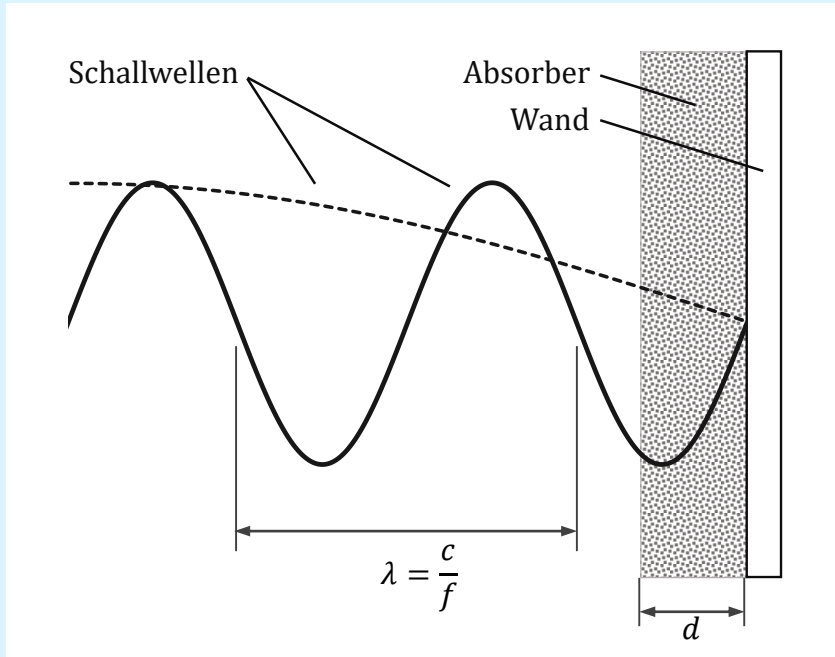
... vollständige Abbildung  
der akustischen  
Eigenschaften des Raums

## Energieverlust durch Absorption



## Energieverlust durch Diffusion





## Eigenschaften:

... Wellenlänge  $\lambda$

$$\lambda = c / f$$

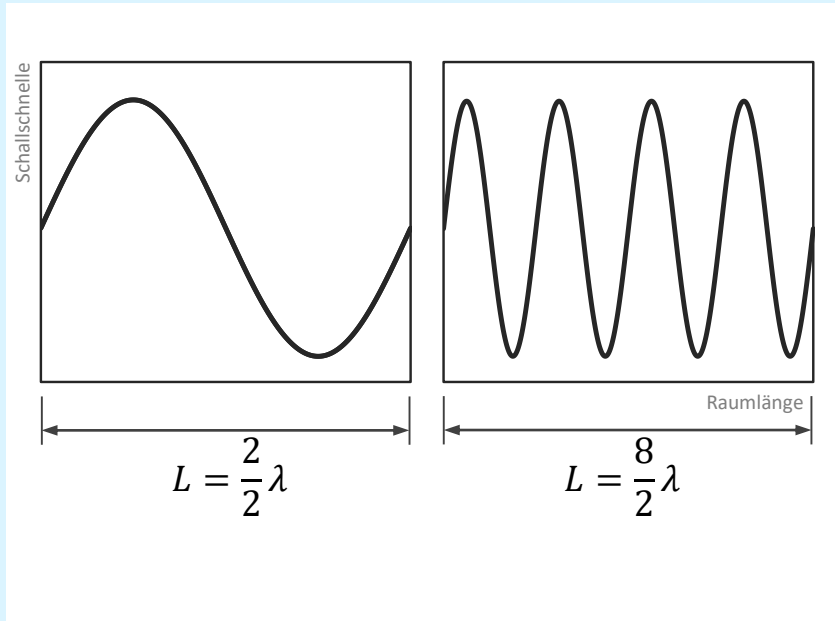
$c$  .. Schallgeschwindigkeit

$f$  .. Frequenz

... Absorption ab

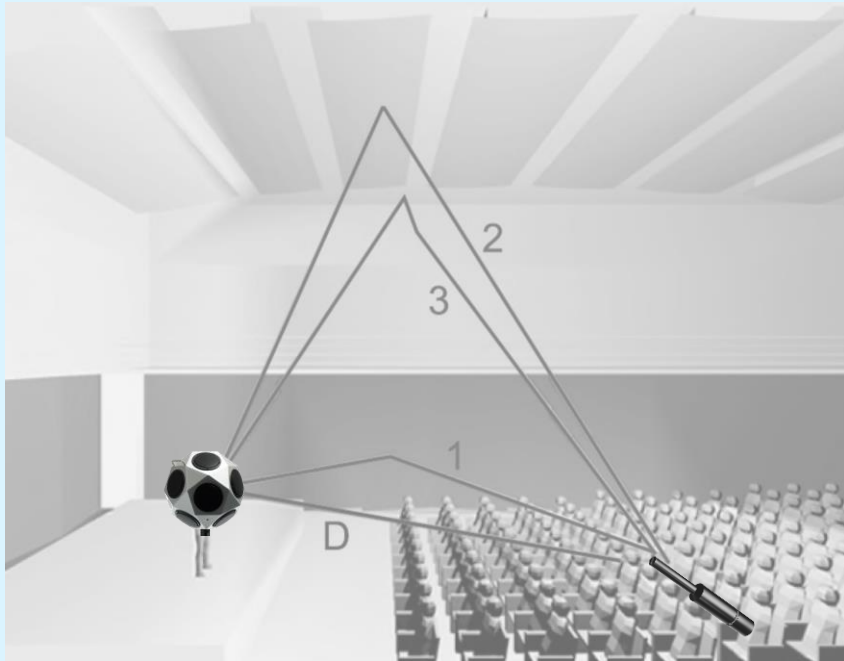
$$d \geq \lambda / 4 \text{ (effektiv)}$$





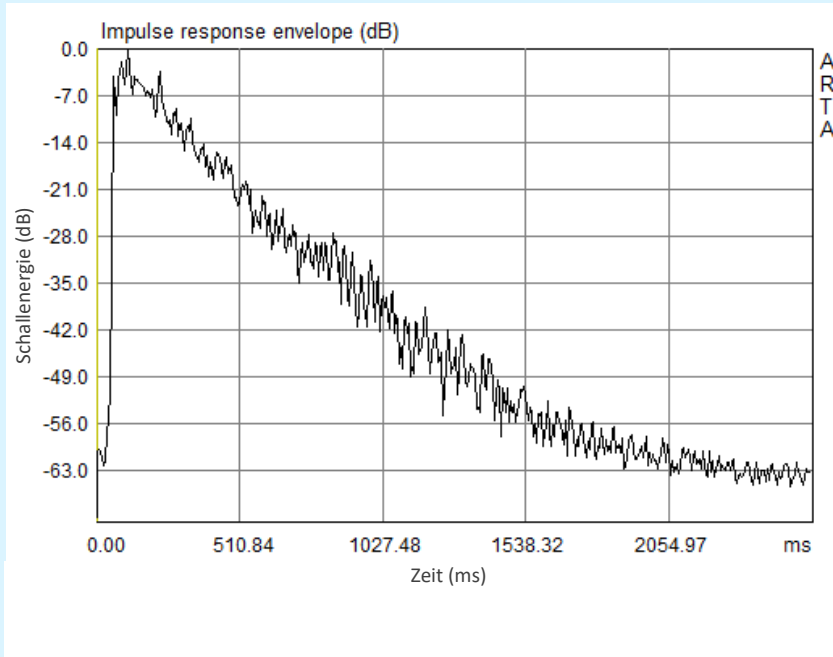
Akustische Raumresonanzen:  
... stehende Wellen entstehen  
wenn Wellenlänge ein  
Vielfaches der Raumgröße  
ist:

$$L = \frac{N\lambda}{2}$$



Messung der Abklingkurve:

- ... Wiedergabe eines kurzen Impulses über den Lautsprecher
- ... Ausbreitung des Schalls vom Lautsprecher zu Mikrofon



## Abklingkurve:

- ... enthält alle akustischen Informationen
- ... kein Rückschluss auf subjektive Wahrnehmung

## Subjektive Eigenschaften:

- ... Halligkeit des Raumes
- ... Fülle tiefer Frequenzen
- ... Transparenz, Deutlichkeit

## Objektive Parameter:

- ... Nachhallzeit  $T_{30}$
- ... Bassverhältnis BR
- ... Klarheitsmaß  $C_{80}$

Messergebnisse – Die Akustik im Bagno



Die Akustik der Bagno  
Konzertgalerie in Steinfurt

Durchführung der Messungen

... im leeren Zustand

... mit Bestuhlung

... mit Publikum

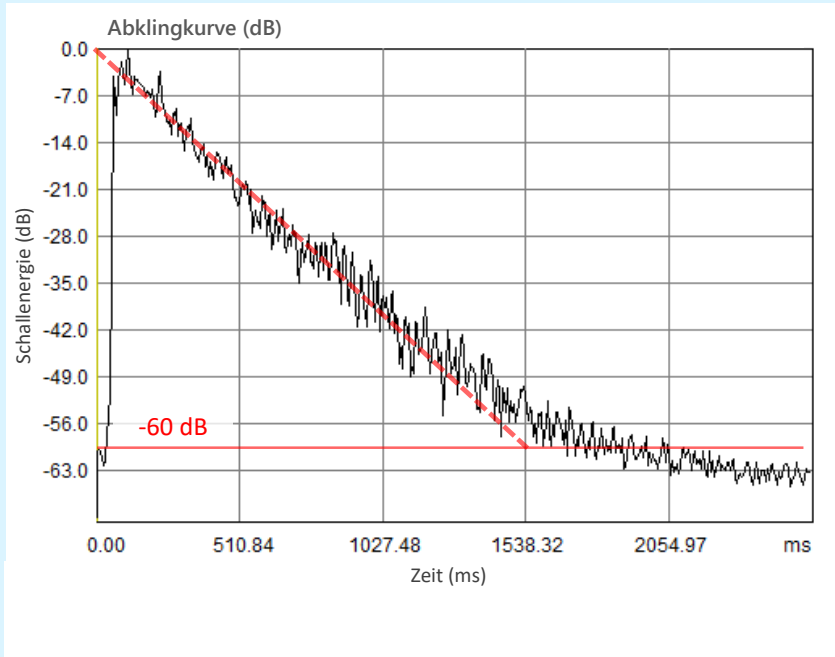
Messergebnisse – Die Akustik im Bagno



Referenzveröffentlichung  
zur Akustik von  
Kammermusiksälen:

*“Objective evaluation of  
chamber-music halls in  
Europe and Japan”*  
Takayuki Hidaka, JASA

Messergebnisse – Die Akustik im Bagno

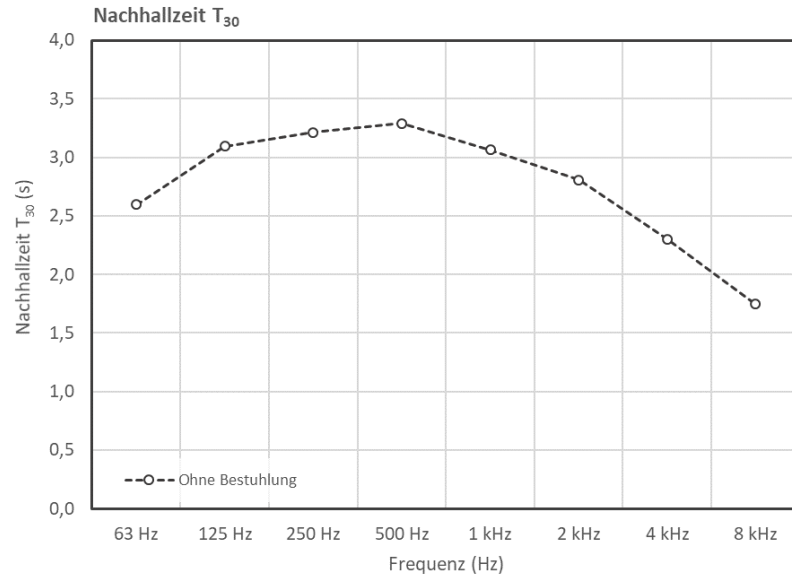


## Nachhallzeit T

... Zeitdauer bis  
Schallenergie um 60dB  
abgeklungen ist



Messergebnisse – Die Akustik im Bagno

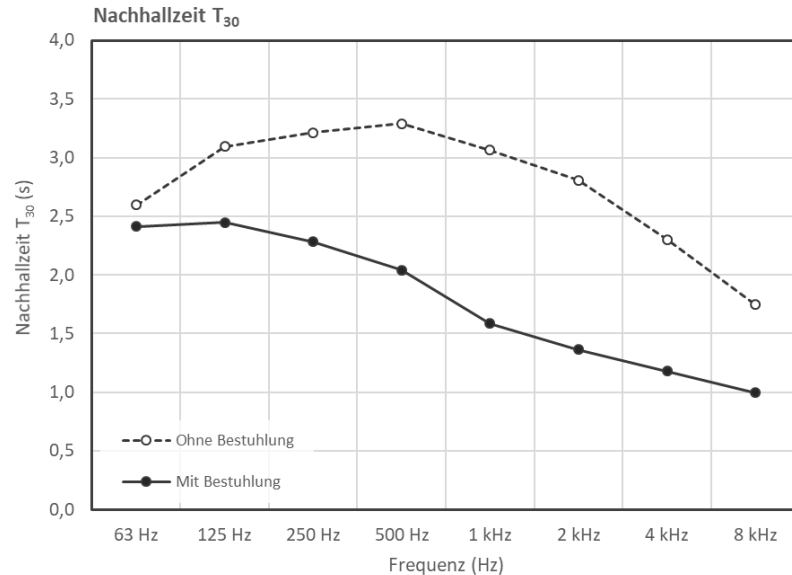


## Nachhallzeit T

... sehr lange Nachhallzeit  
im leeren Zustand



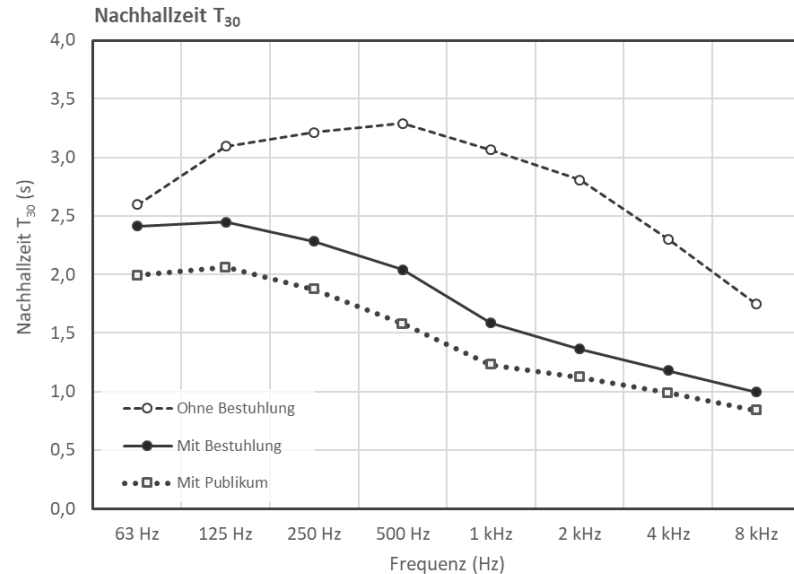
Messergebnisse – Die Akustik im Bagno



## Nachhallzeit T

... stark von der gewählten Bestuhlung abhängig

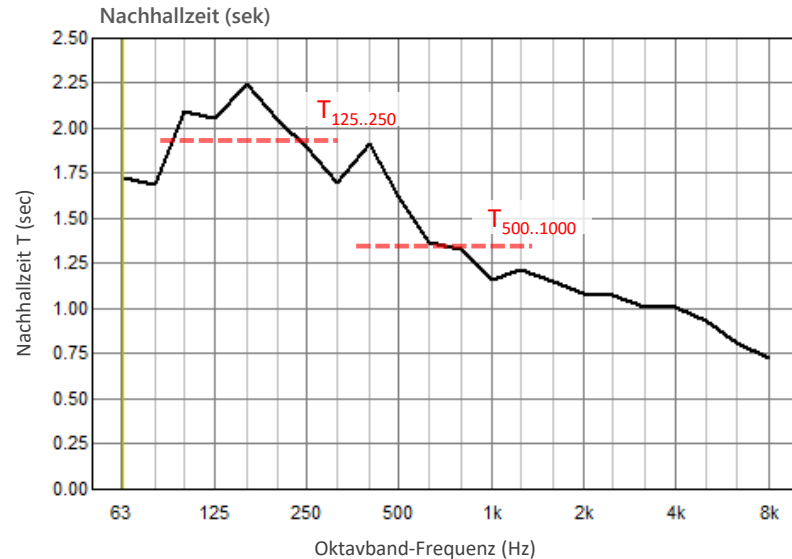
Messergebnisse – Die Akustik im Bagno



## Nachhallzeit T

- ... Publikum hat geringen Einfluss auf Nachhall
- ... Nachhallzeit geringer als “Richtwert” von 1,6 s für Kammermusik

## Messergebnisse – Die Akustik im Bagno



## Bassverhältnis BR

... Verhältnis Nachhallzeiten  
bei tiefen und mittleren  
Frequenzen

$$BR = \frac{T_{125..250}}{T_{500..1000}}$$



Sprache\_BR\_lo.wav



Sprache\_BR\_hi.wav

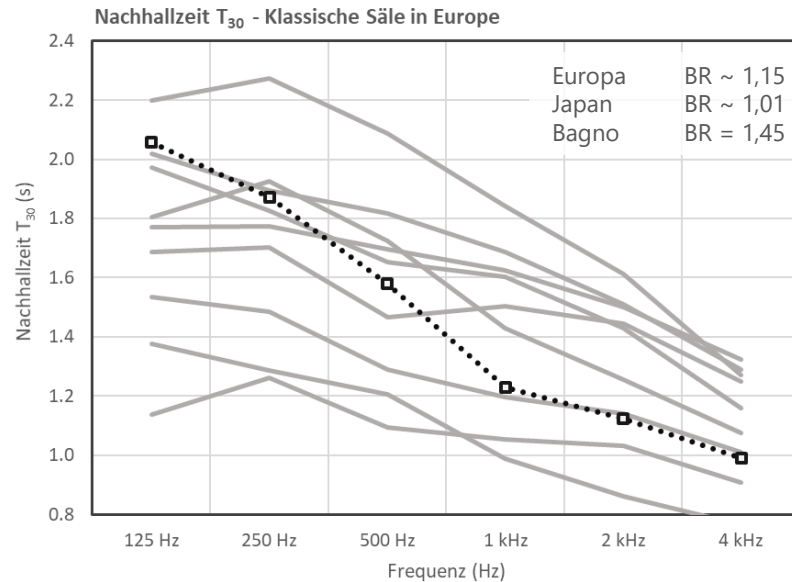


Beethoven\_BR\_lo.wav



Beethoven\_BR\_hi.wav

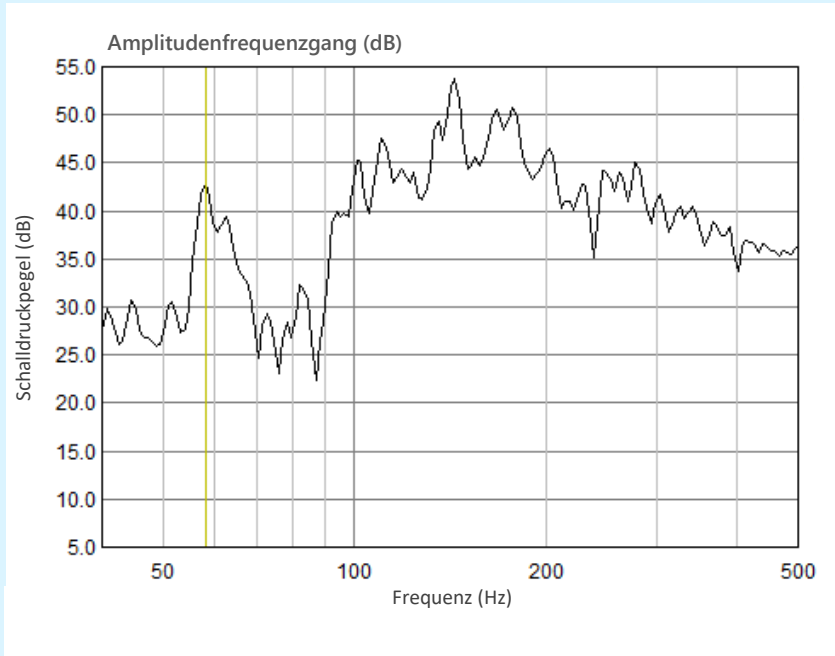
Messergebnisse – Die Akustik im Bagno



## Bassverhältnis BR

- ... Bagno zeigt ausgeprägten Anstieg des Nachhalls bei tiefen Frequenzen
- ... dies erklärt die viel gelobte Fülle von Solisten

Messergebnisse – Die Akustik im Bagno



Akustische Raumresonanzen:

- ... ausgeprägte stehende Wellen bei 58 Hz und 63 Hz
- ... führen zu starker Überbetonung einzelner tiefer Töne



Sprache\_BR\_lo.wav



Sprache\_Reso\_156.wav

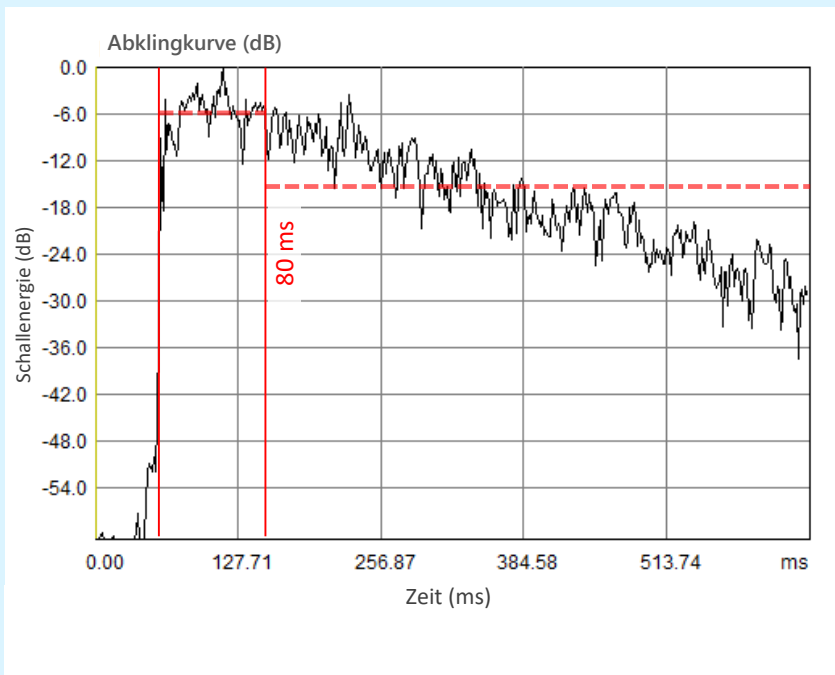


Beethoven\_BR\_lo.wav



Beethoven\_Reso\_148.wav

## Messergebnisse – Die Akustik im Bagno



## Klarheitsmaß $C_{80}$

... Verhältnis früher zu  
später Schallenergie

$$C_{80} = 10 \log_{10} \frac{\int_0^{80} p^2(t) dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt}$$



Sprache\_C80\_lo.wav



Sprache\_C80\_hi.wav

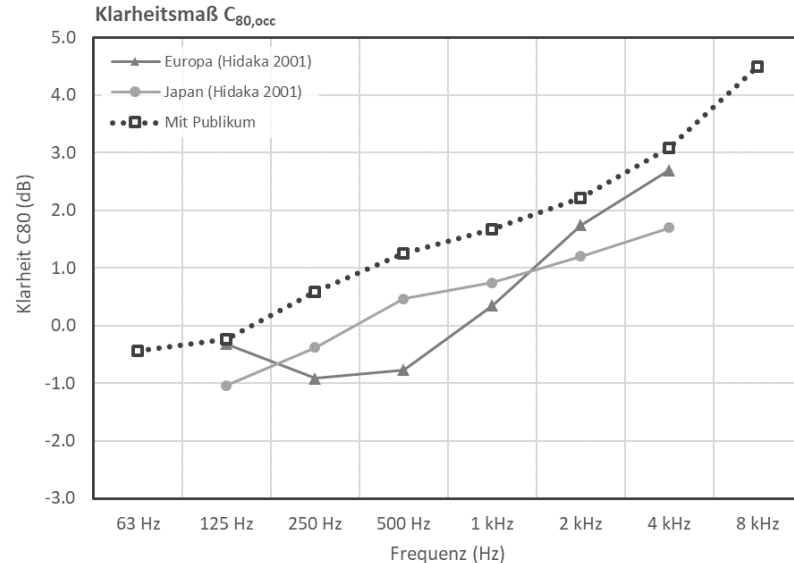


Beethoven\_C80\_lo.wav



Beethoven\_C80\_hi.wav

Messergebnisse – Die Akustik im Bagno



## Klarheitsmaß $C_{80}$

... im Bagno herrscht sehr hohe Klarheit bis in die hintersten Reihen

... dies erlaubt hervorragende Darbietung auf allen Plätzen

Messergebnisse – Die Akustik im Bagno



Die Ergebnisse belegen, dass die Bagno Konzertgalerie auch im internationalen Vergleich herausragende Akustik bietet.



Ausblick – Bessere Säle?



Lässt sich auf Grundlage des Bagno ein noch besserer Saal für Kammermusik entwerfen?

Hauptproblem sind die Resonanzen bei tiefen Frequenzen!

## Möglichkeit 1:

- ... mehr Absorption bei tiefen Frequenzen notwendig
- ... Klangfülle bei tiefen Frequenzen nimmt ab

## Möglichkeit 2:

- ... größeres Raumvolumen bei gleicher Nachhallzeit
- ... Klarheit und Transparenz nehmen deutlich ab

Messergebnisse – Die Akustik im Bagno



Die Überlegungen zeigen,  
dass die Stärken und  
Schwächen des Saals  
physikalisch eng  
miteinander verknüpft sind.

<https://koetter-consulting.com>

