



Entzerrung von schallfeldbasierten Bauakustik-Auralisationen durch Filterung im Zeit- und im Frequenzbereich

Agenda

- (Bauakustik-) Auralisation bei gae
- Auralisations-System
- Entzerrung und Kalibrierung vom System

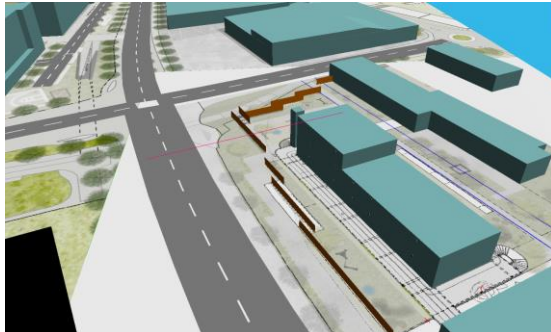
Agenda

- (Bauakustik-) Auralisation bei gae

Gartenmann Engineering

Akustik

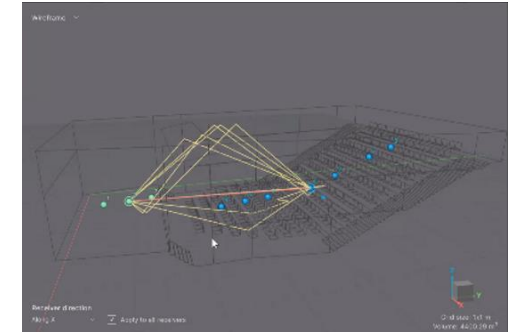
Lärmschutz



Bauakustik



Raumakustik



(Bauakustik-) Auralisation bei gae

Lärmschutz

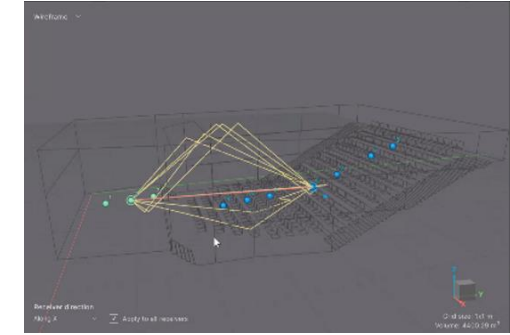


Auralisation der
Aussenräume
Klangraumgestaltung
Bisher erste Anfragen zu
diesem Thema

Bauakustik



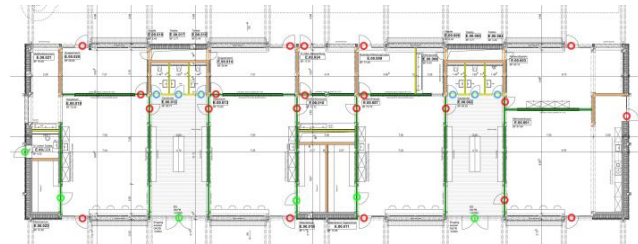
Raumakustik



Raumakustische
Auralisationen
Immer häufiger
Mit raumakustischen
Simulationsprogrammen wie
CATT oder Treble.tech

(Bauakustik-) Auralisation bei gae

Bauakustik



Warum bauakustische Auralisationen?

Grösste Nachfrage, bzw. grosses Potential
für Erkenntnisgewinne unserer Kunden
bei der Planung von Gebäuden

(Bauakustik-) Auralisation bei gae

Bauakustik

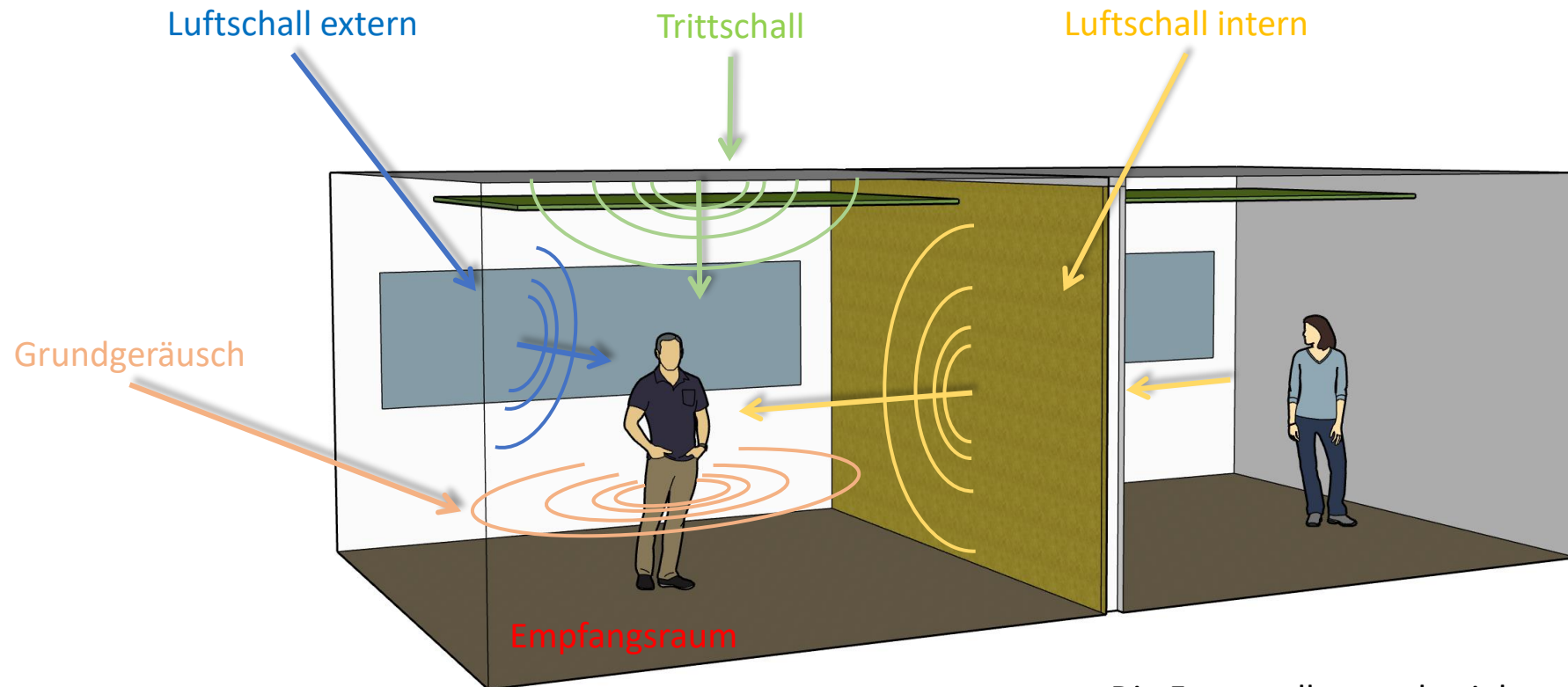
Warum bauakustische Auralisationen?

Grosser Mehrwert zu Fragen wie:



- *Wie hören sich 35 dB(A) Lüftungsgeräusch an, wie eine doppelte Anzahl von Lärmquellen?*
 - *Was bedeutet eine Luftschalldämmung von 35 dB, 40 dB oder 45 dB?*
 - *Was bedeutet akustische Diskretion?*
- *Wie hören sich die unterschiedlichen Aufbauten an, Leichtbau, Mauerwerk, Massivbau?*
 - *Was bedeutet Trittschall, und wie hören sich unterschiedliche Aufbauten an?*

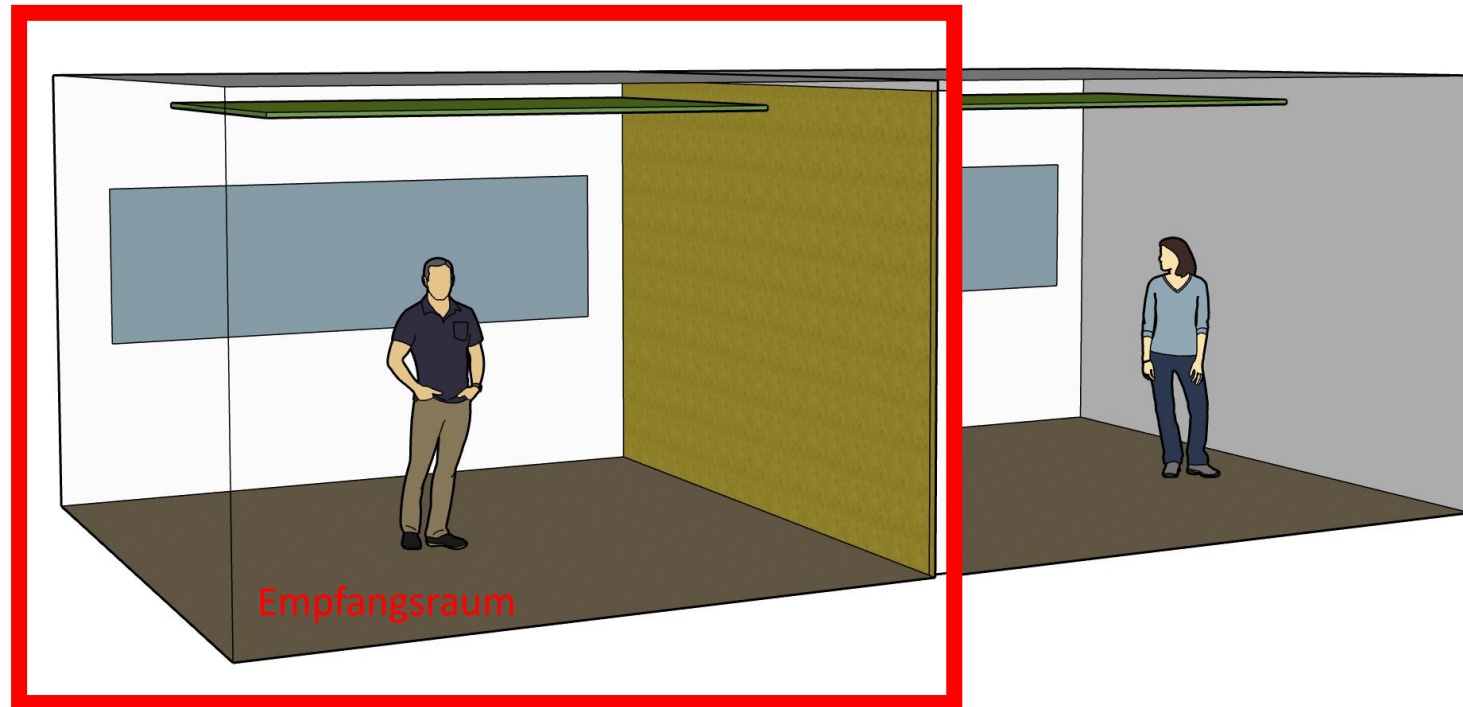
(Bauakustik-) Auralisation bei gae



Die Fragestellungen beziehen sich auf einen Empfangsraum in einem Gebäude

(Bauakustik-) Auralisation bei gae

Auralisation im Empfangsraum



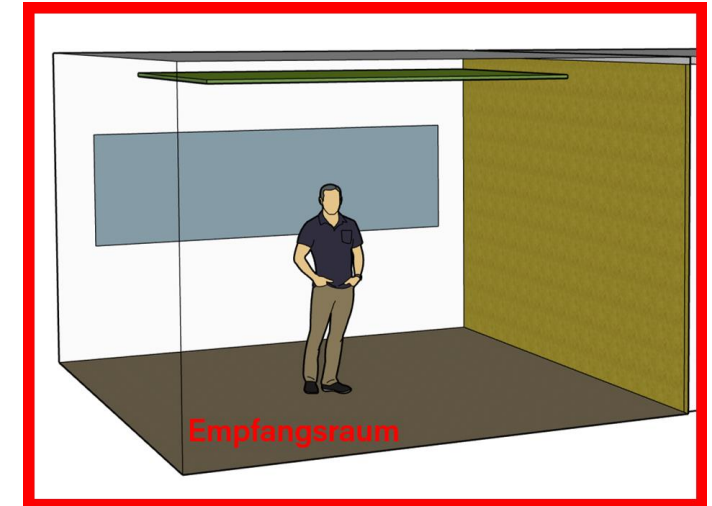
Agenda

- (Bauakustik-) Auralisation bei gae
- Auralisations-System

Auralisations-System

Anforderungen System Raum:

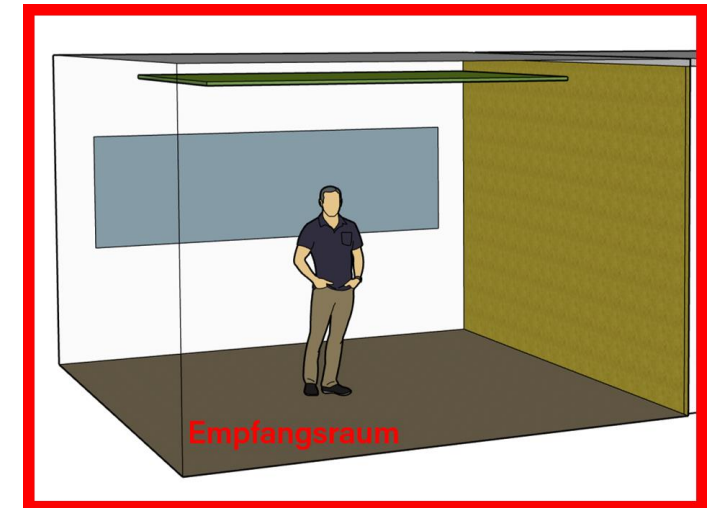
- realitätsnah, auch visuell, ein «üblicher Büro-Raum»
- lieber nicht in einem «Tonstudio»
- lieber nicht über Kopfhörer
- gemeinsames Diskutieren soll möglich sein



Auralisations-System

Anforderungen System Raum:

- realitätsnah, auch visuell, ein «üblicher Büro-Raum»
- lieber nicht in einem «Tonstudio»
- lieber nicht über Kopfhörer
- gemeinsames Diskutieren soll möglich sein



Auralisations-System

Flächenlautsprecher, die die Wand anregen
hinter ungefüllten Stereo Paneles von Acoutech

Lautsprecher für die Wiedergabe der Anregungs-Signale wie im Senderaum (als Vergleich)

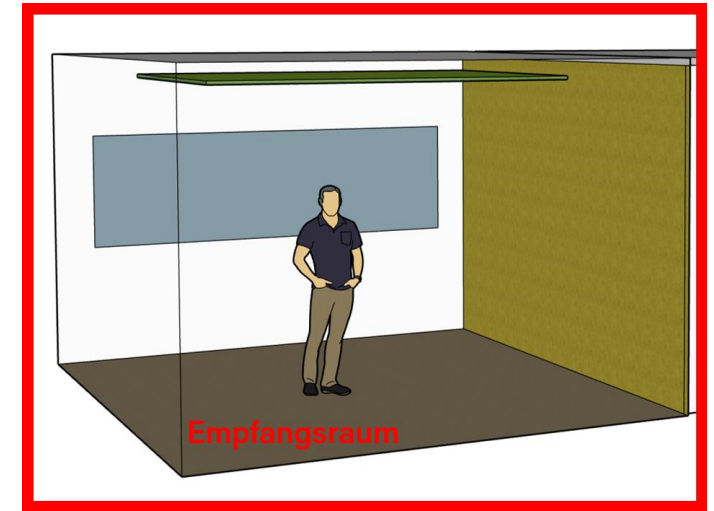
Mit diesem Setup wird eine schallfeldbasierte Auralisation ermöglicht



Auralisations-System

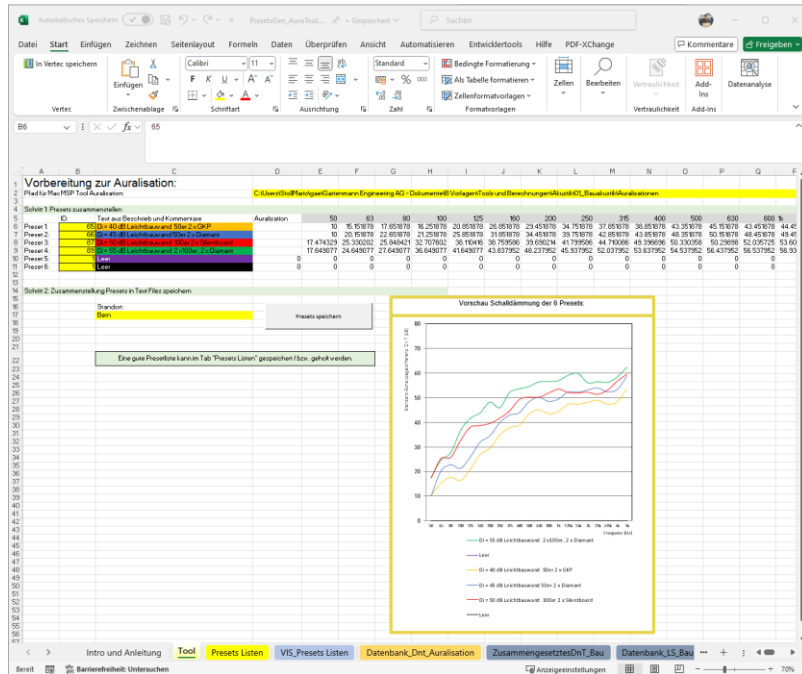
Anforderungen System Tool:

- Auralisationen von Luftschalldämmungen in erster Priorität
- Datenbank mit unterschiedlichen Aufbauten von Trennwänden:
 - aus gae Messungen am Bau
 - von Labor-Messungen der Hersteller
- Grundgeräusch im Empfangsraum einstellbar
- Unterschiedliche Szenarien im Senderraum
- Echtzeitfähig, flexibel während den Auralisation-Sessions



Auralisations-System

Excel zur Vorbereitung



D_{nT} Werte spektral,
Einzahlwert D_i

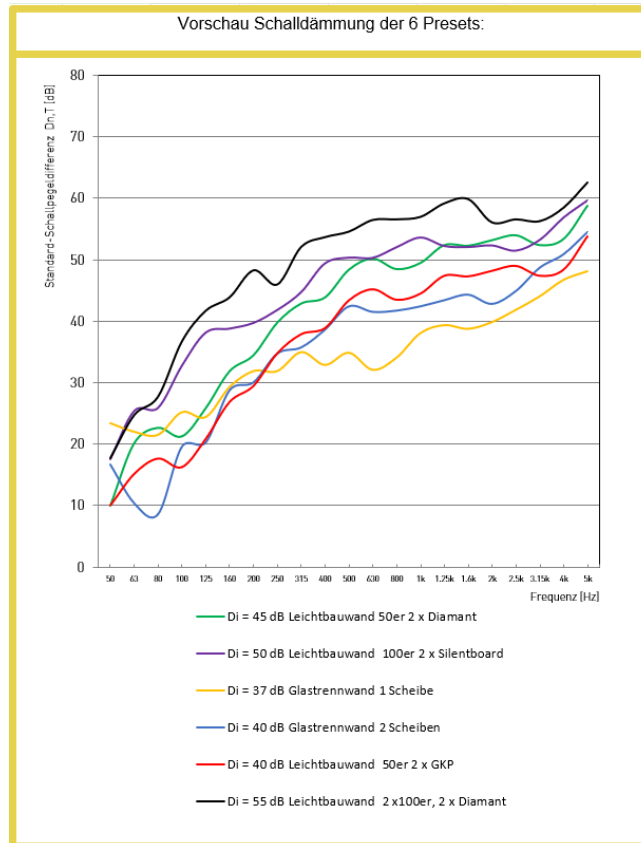


Wiedergabe Tool

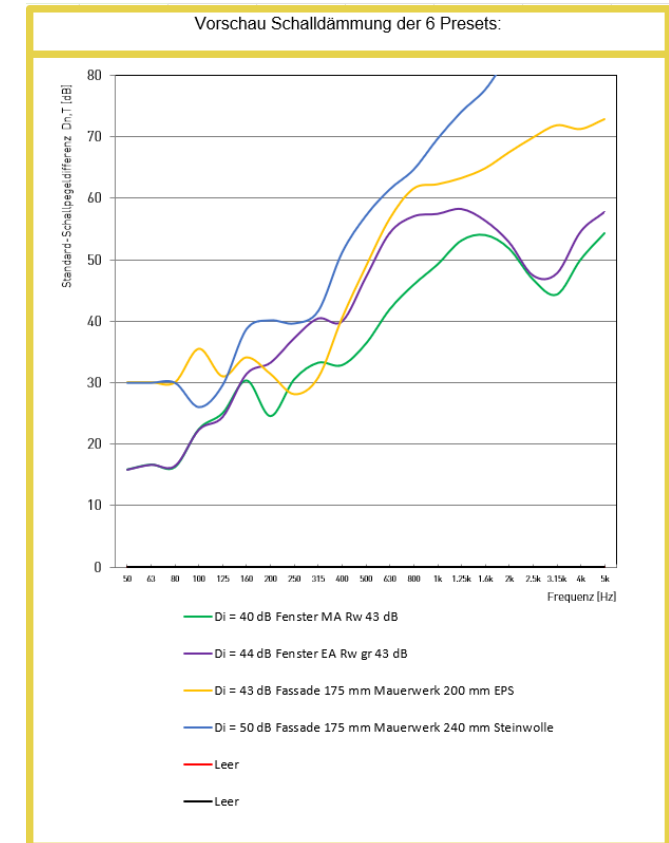
- Auralisation Luftschall intern und extern
- Unterschiedliche Grundgeräuschpegel
- Trittschall (in Entwicklung)

Auralisations-System

Szenarium:
unterschiedliche
Trennwände

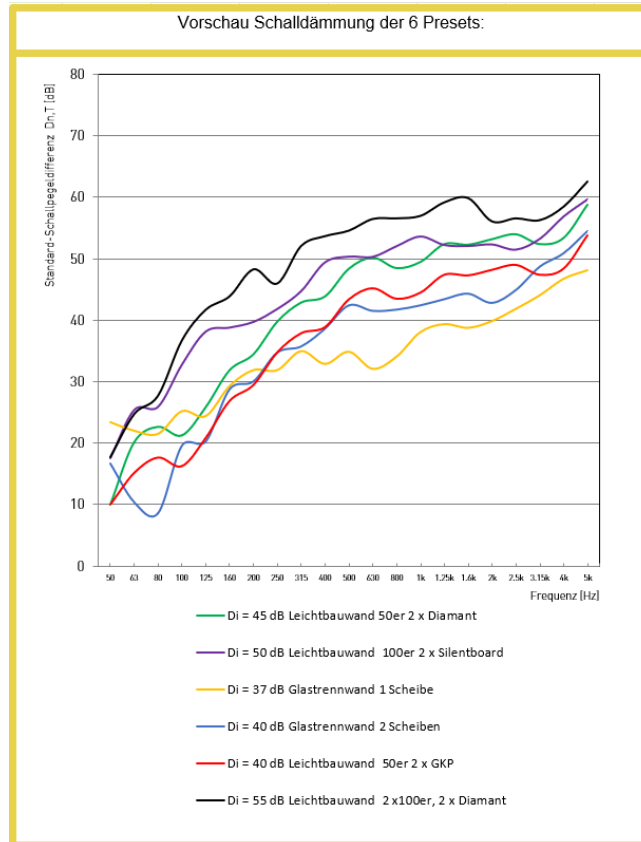


Szenarium: Fassade
(Anforderungen, Aufbau)

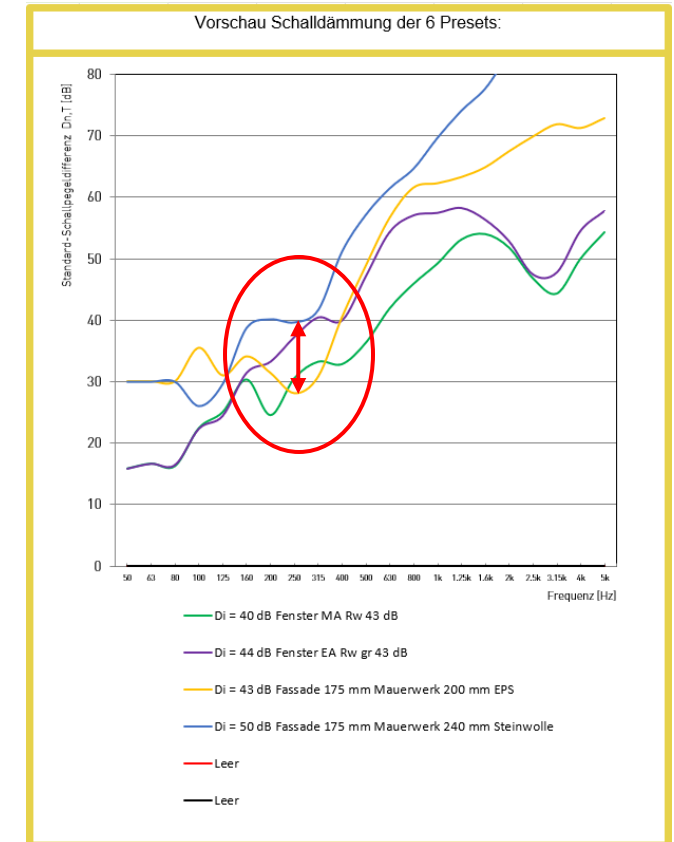


Auralisations-System

Szenarium:
unterschiedliche
Trennwände



Szenarium: Fassade
(Anforderungen, Aufbau)

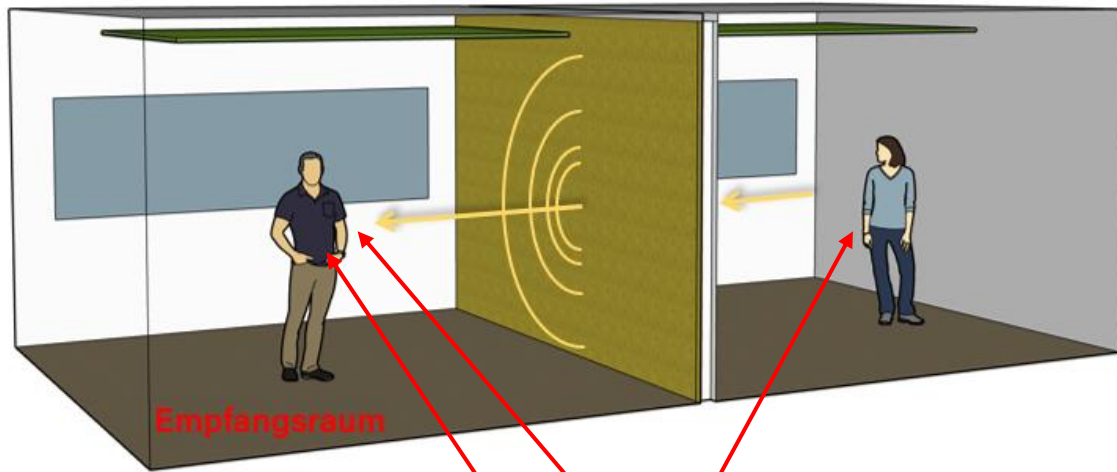


Agenda

- (Bauakustik-) Auralisation bei gae
- Auralisations-System
- Entzerrung und Kalibrierung vom System

Entzerrung und Kalibrierung vom System

Reale Situation:



L : Schalldruckpegel im Diffusfeld

Auszug SIA 181
1.1.1.15 Mittlerer Schalldruck-
pegel
 L
dB

Räumlicher Mittelwert der Schalldruckpegel in einem Raum.
Bei kontinuierlicher Abtastung des Schallfeldes:

$$L = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2}{p_0^2} dt \right]$$

T Mittelungszeit, in s

Auszug SIA 181
1.1.2.14 Standard-Schallpegel-
differenz
 D_{nT}
dB

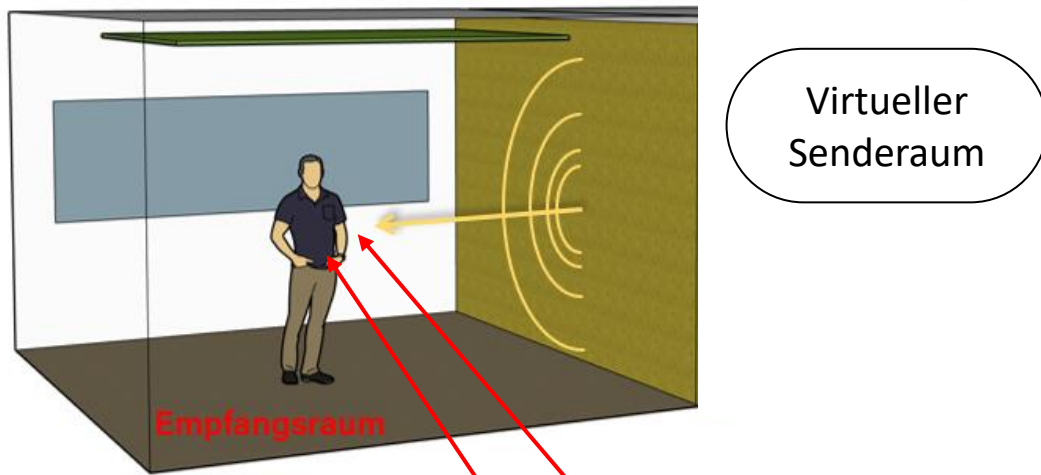
Am Bau gemäss SN EN ISO 16283-1 gemessen.

$$D_{nT} = D + 10 \lg (T/T_0)$$

$D = L_1 - L_2$ Schallpegeldifferenz, in dB
 L_1 mittlerer Schalldruckpegel im Senderaum, in dB
 L_2 mittlerer Schalldruckpegel im Empfangsraum, in dB
 T Nachhallzeit im Empfangsraum, in s
 T_0 Bezugsnachhallzeit (0,5 s)
 D_{nT} wird pro Terzband angegeben.

Entzerrung und Kalibrierung vom System

Auralisation:



Auszug SIA 181

1.1.2.14 Standard-Schallpegel-
differenz

D_{nT}
dB

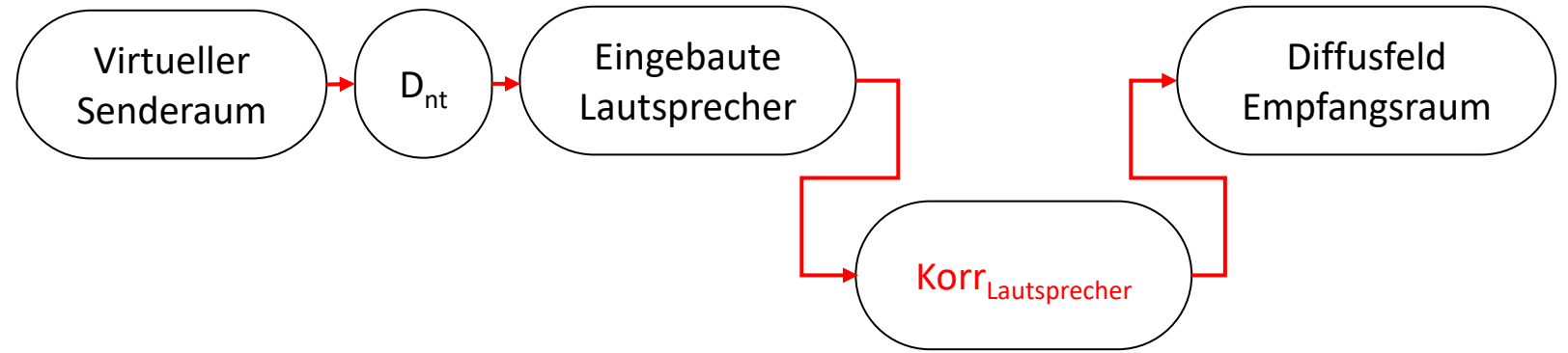
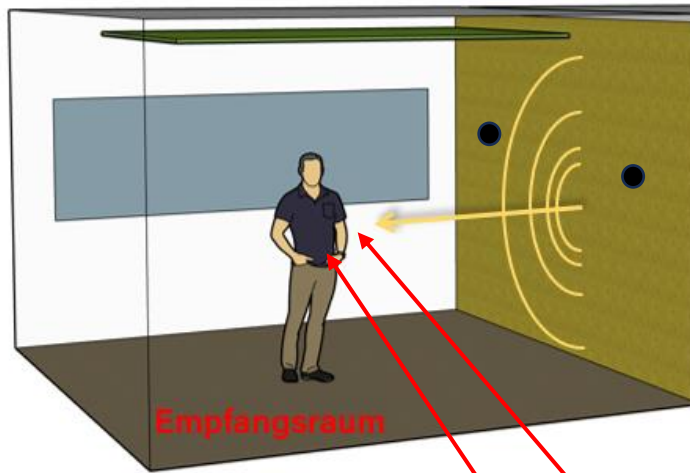
Am Bau gemäss SN EN ISO 16283-1 gemessen.

$$D_{nT} = D + 10 \lg (T/T_0)$$

$D = L_1 - L_2$ Schallpegeldifferenz, in dB
 L_1 mittlerer Schalldruckpegel im Senderaum, in dB
 L_2 mittlerer Schalldruckpegel im Empfangsraum, in dB
 T Nachhallzeit im Empfangsraum, in s
 T_0 Bezugsnachhallzeit (0,5 s)
 D_{nT} wird pro Terzband angegeben.

Entzerrung und Kalibrierung vom System

Auralisation:



$$L_2 = L_1 - D_{nt} + 10 \cdot \log_{10}(T/T_0) + \text{Korr}_{\text{Lautsprecher}}$$

Auszug SIA 181

1.1.2.14 Standard-Schallpegel-
differenz

D_{nT}
dB

Am Bau gemäss SN EN ISO 16283-1 gemessen.

$$D_{nT} = D + 10 \lg(T/T_0)$$

- $D = L_1 - L_2$ Schallpegeldifferenz, in dB
- L_1 mittlerer Schalldruckpegel im Senderaum, in dB
- L_2 mittlerer Schalldruckpegel im Empfangsraum, in dB
- T Nachhallzeit im Empfangsraum, in s
- T_0 Bezugsnachhallzeit (0,5 s)
- D_{nT} wird pro Terzband angegeben.

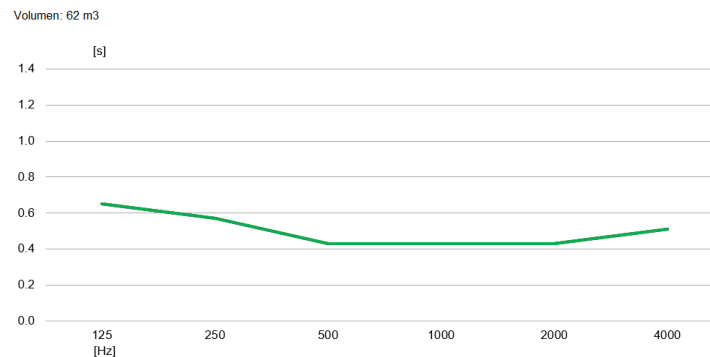
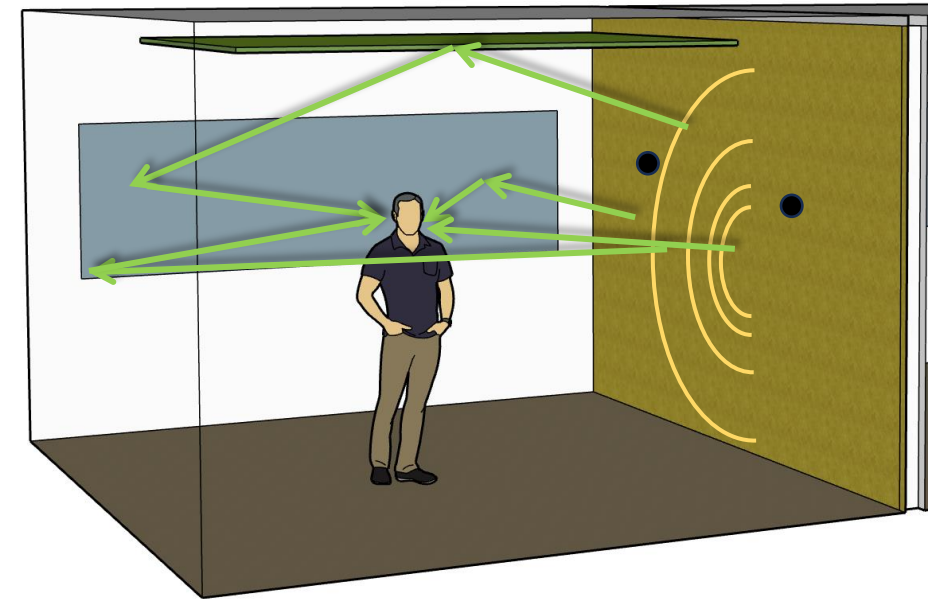
Entzerrung und Kalibrierung vom System

Entzerrung Lautsprecher ($Korr_{\text{Lautsprecher}}$):

Korrigiert werden soll die Abstrahlung der mit Lautsprechern angeregten Wand → **gelb**.

Die Ausbreitung im Schallfeld, die Raumakustik, soll nicht korrigiert werden → **grün**.

Es handelt sich um eine akustische Augmented Reality in einem typischen Büro-Raum.



Entzerrung und Kalibrierung vom System

Entzerrung Lautsprecher ($Korr_{\text{Lautsprecher}}$):

Ziel im relevanten Frequenzbereich:

- flacher Frequenzgang
- gutes Impulsverhalten

Filter für die Entzerrung sind im Wiedergabe Tool implementiert (FIR-Filter)

Optimal wäre, die Abstrahlung der Wand im Halb-Freifeld zu messen:
- ohne den raumakustischen Einfluss vom Empfangsraum (Moden, Reflexionen)

Da dies offensichtlich nicht möglich ist, musste ein Weg gefunden werden, die Abstrahlung der Wand messtechnisch zu erfassen.



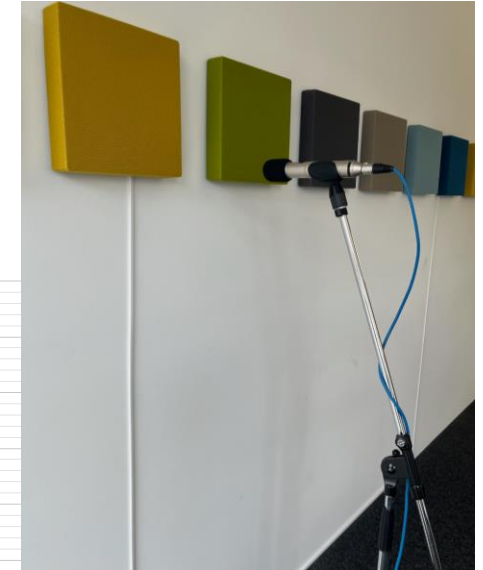
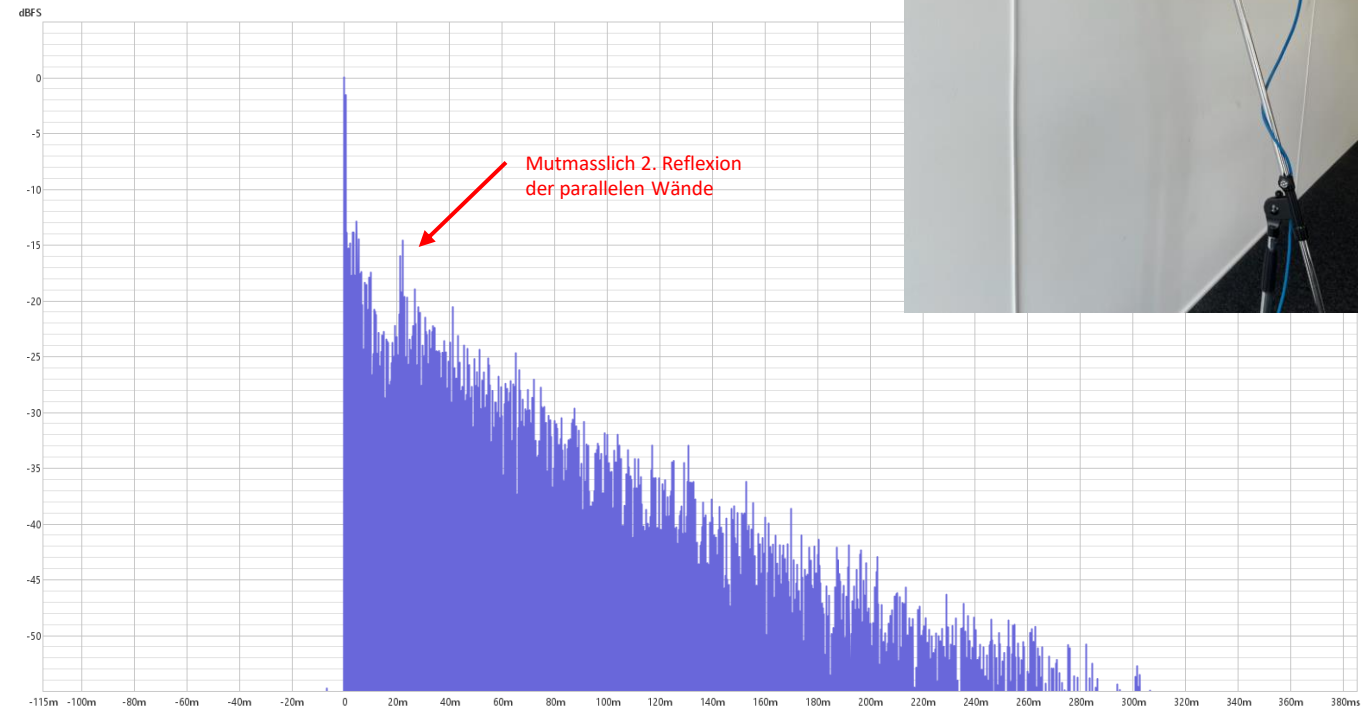
Entzerrung und Kalibrierung vom System

Gemessen wurde die Impulsantwort (Sinus Sweep) im Nahfeld über eine Vielzahl von Messpunkten über die ganze Wand mit einem direktionalen Mikrofon (Hyperniere).

Erwartungsgemäss zeigen die Messdaten einen Einfluss der Raumakustik.

Die Entzerrung soll dies nicht korrigieren, da die raumakustische Situation im Empfangsraum beibehalten werden soll.

Aus diesem Grund wurde für die Generierung der Korrektur Filter ein möglichst kurzes zeitliches Fenster angewandt.



Entzerrung und Kalibrierung vom System

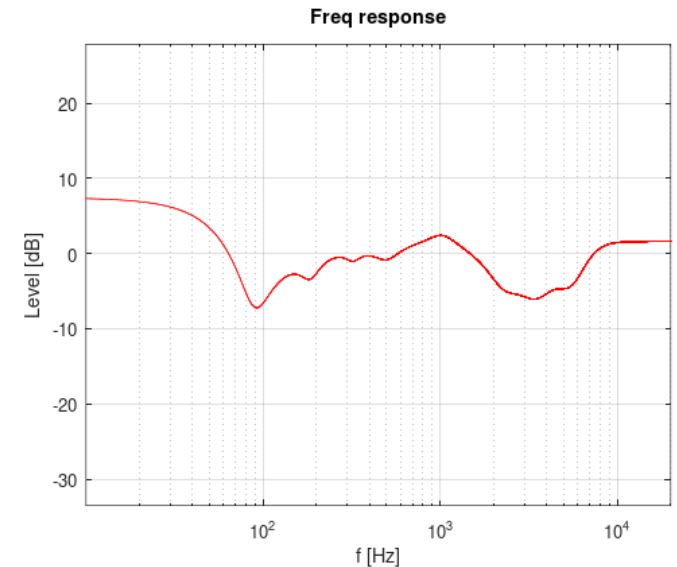
Der Frequenzbereich in der Bauakustik liegt von 50 Hz ... 5 kHz.

Dies ist der spektrale Zielbereich der Entzerrung $Korr_{Lautsprecher}$

Hörversuche zeigten, dass insbesondere der Frequenzbereich der tiefen Mitten von ca. 80 Hz bis 500 Hz wichtig und kritisch ist.

In diesem Bereich liegt häufig die bauteilabhängige Schwächung der Wand sowie ein grosser Energieanteil der üblichen, für die Auralisation verwendeten Anregungssignale wie Sprache oder Verkehrslärm.

Aufgrund der Art der Bauweise des Lautsprechers zeigt sich in der Abstrahlung eine gewisse Streuung der Amplitudengänge. Für die Entzerrung wurde eine spektrale Mittelung berechnet und daraus das Korrektur-Filter generiert.



Entzerrung und Kalibrierung vom System

Für Trittschall-Auralisationen ist es eine Herausforderung, tiefe Frequenzen mit einer hohen Impulstreue abzustrahlen. Übliche Subwoofer sind neigen zu langem Ausschwingen. Exemplarische Darstellung der Impulsantwort einer Freifeld-Messung:



Entzerrung und Kalibrierung vom System

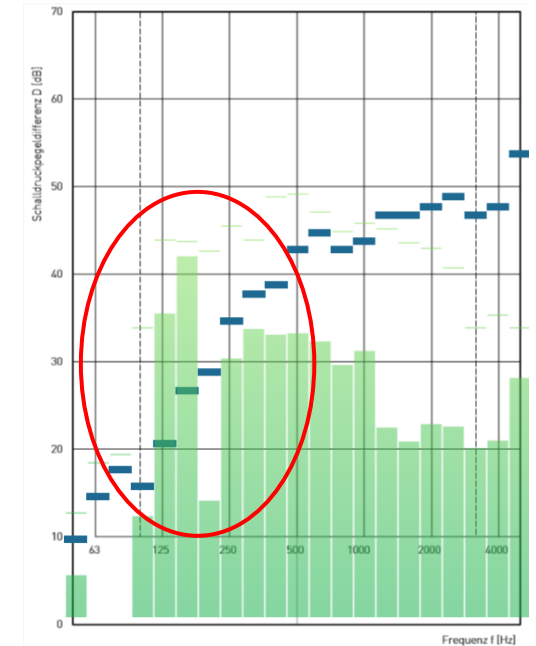
Mit dem System wurden bereits viele Hörversuche und Auralisationen durchgeführt.
Es zeigen sich folgenden Erkenntnisse:

- Für die plausible und natürlich klingende Auralisation von bauakustischen Situationen ist eine korrekte Entzerrung im Frequenzbereich und vor allem auch im Zeitbereich zwingend notwendig (inkl. Filterung)
- Im Empfangsraum wurde ein Bereich definiert, in dem die Pegel-Abweichungen der Auralisation gering sind (Hörzone für die Augmented Reality)

Entzerrung und Kalibrierung vom System

Mit dem System wurden bereits viele Hörversuche und Auralisationen durchgeführt. Es zeigen sich folgenden Erkenntnisse:

- Für die plausible und natürlich klingende Auralisation von bauakustischen Situationen ist eine korrekte Entzerrung im Frequenzbereich und vor allem auch im Zeitbereich zwingend notwendig (inkl. Filterung)
- Im Empfangsraum wurde ein Bereich definiert, in dem die Pegel-Abweichungen der Auralisation gering sind (Hörzone für die Augmented Reality)
- Auralisationen für uns Akustik-Fachleute spannend und für Akustik-Laien sehr erkenntnisreich
- Das System einer schallfeldbasierten Auralisation in einem Empfangsraum erlaubt, gehörte Situationen direkt untereinander zu besprechen, was für das Verständnis sehr wertvoll sein kann



Fragen..?

Kontakt: Gartenmann Engineering, Mario Stoll, m.stoll @ gae.ch