



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
BERLIN

Kurs: Python und Akustik

Datum der Abgabe: XX.XX.2023

Projekt Raumakustik

User guide

*Autor*innen:*

Malte COHRT (473643)

Flora HENNING (463764)

Noah JENS (467614)

Moritz THÖMEN (383306)

Dozent:

Prof. Dr.-Ing. Ennes SARRADJ

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	1
2	Berechnungen	1
2.1	Äquivalente Absorptionsfläche	1
2.2	Nachhallzeit	2
2.3	Sprachverständlichkeit	2
3	Graphical User Interface (GUI) und Programmfunktionen	3
3.1	Nachhallzeitenanalyse	5
3.2	Datenbank	5
3.3	Vorauslegung	6
3.4	User guide	6
3.5	Dokumentation code	6
4	Eingabeparameter und Beispiel	6
4.1	Eingabeparameter	6
4.2	Schritt für Schritt Beispiel zur Nachhallzeitanalyse	8
5	Fragen und Anmerkungen	9
	Literatur	11

1 Allgemeines

Die Software ermöglicht eine Abschätzung der Nachhallzeit **in Anlehnung an DIN EN 12354-6 [1]** und eine Bewertung der Sprachverständlichkeit für Räume der Gruppe A nach DIN 18041 [2] (siehe Abschnitt 2.3).

Dabei werden Methoden der statistischen Akustik genutzt, um eine Approximation der vorherrschenden raumakustischen Eigenschaften zu erlangen.

2 Berechnungen

Im folgenden werden Annahmen, Formeln und Limitationen der zugrundeliegenden Berechnungen aufgeführt und diskutiert.

2.1 Äquivalente Absorptionsfläche

Die Äquivalente Absorptionsfläche A bildet die Absorptionsflächen des Raumes auf eine vollständig absorbierende Fläche ab und wird nach folgender Formel berechnet:

$$A = \sum_j \alpha_{d,j} S_j + A_{luft} \quad (1)$$

Dabei ist α_d der diffuse Absorptionsgrad¹ (im Folgenden nur noch Absorptionsgrad genannt) einer Oberfläche und S der zugehörige Flächeninhalt. A_{luft} gibt die Dämpfung in Luft als zusätzliche äquivalente Absorptionsfläche an und wird nach Gleichung (2) in der DIN EN 12354-6 [1] berechnet. Der Dämpfungskoeffizient ist dafür der Tabelle 1 aus [1] entnommen und konstant für 20°C und einer Luftfeuchtigkeit von 30% bis 50% approximiert, der Objektanteil wird gemäß Abschnitt 4.5 in [1] für leer stehende Räume zu 0,05 approximiert.

Die Gleichung (1) entspricht damit der Gleichung (1) in der DIN EN 12354-6 [1] bei Vernachlässigung von Objektabhängiger Absorption. Damit wird die Nachhallzeit für unmöblierte Räume berechnet, dies entspricht in der Regel einer worst case Approximation, da tatsächliche Bedingungen zu kürzeren Nachhallzeiten tendieren, die pure Sprachverständlichkeit nicht beeinträchtigen.

Die Absorptionsgrade sind Frequenzabhängig und werden in Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz und 4 kHz angegeben.

Zusätzlich zu der Asorption der raumbegrenzenden Flächen wird der Einfluss von Personen im Raum auf die Äquivalente Absorptionsfläche berücksichtigt (siehe Abschnitt 4.1).

¹Über Einfallswinkel gemittelt.

Das Modell der äquivalenten Absorptionsfläche ist nach Kapitel 4.6 der DIN EN 12354-6 [1] begrenzt auf Räume mit:

- “regelmäßig ausgebildeten Volumina: keine Dimension sollte mehr als das 5fache jede[r] andere[n] Dimension betragen”
- “gleichmäßig verteilter Absorption: der Absorptionsgrad sollte zwischen Paaren gegenüberliegender Oberflächen um nicht mehr als um einen Faktor 3 abweichen, außer wenn einige Schallstreuende Objekte vorhanden sind”
- “nicht zu vielen Objekten”

2.2 Nachhallzeit

Die Nachhallzeit T wird gemäß der Formel (5) in DIN EN 12354-6 [1] berechnet, wobei der Objektanteil - äquivalent zu Abschnitt 2.1 - vernachlässigt und der Faktor $55,3/c_0$ zu 0,161 approximiert wird. Daraus ergibt sich folgende Berechnung:

$$T = \frac{V}{A} \cdot 0,161 \text{ s m}^{-1} \quad (2)$$

Dabei ist V das Volumen des Raumes.

Da die äquivalente Absorptionsfläche frequenzabhängig ist wird auch die Nachhallzeit in den oben genannten Oktavbändern berechnet.

2.3 Sprachverständlichkeit

Eine Evaluation der Sprachverständlichkeit greift üblicherweise auf Größen zurück, die zeitabhängig sind und eine Art Vergleich von Direktschall und frühen Reflexionen zum gesamten einfallenden Schall beinhalten. In diesem Fall soll jedoch eine Bewertung mithilfe von stationären Größen eines diffusen Schallfeldes vorgenommen werden.

Dazu sollen, entsprechend Abschnitt 4.2.3 in DIN 18041 [2], die Anforderungen an die Nachhallzeit erfüllt werden. Dies kommt keiner Evaluation von zeitabhängigen Parametern der Raumakustik zur Bewertung der Sprachverständlichkeit gleich, gibt jedoch einen groben Überblick bei der Planung und Auslegung von Räumen.

Die Räume der Gruppe A werden in verschiedene Nutzungsarten gegliedert (siehe Tabelle 1), welche ein minimales und maximales Raumvolumen für typische Nutzung aufweisen² und deren volumenabhängige, nutzungsspezifische Nachhallzeiten nach den Formeln (1) bis (6) in DIN 18041 [2] berechnet werden.

²Alle Raumvolumina außerhalb dieser Grenzen werden nicht berücksichtigt - Werte in Abschnitt 4.2.3 der DIN 18041 [2].

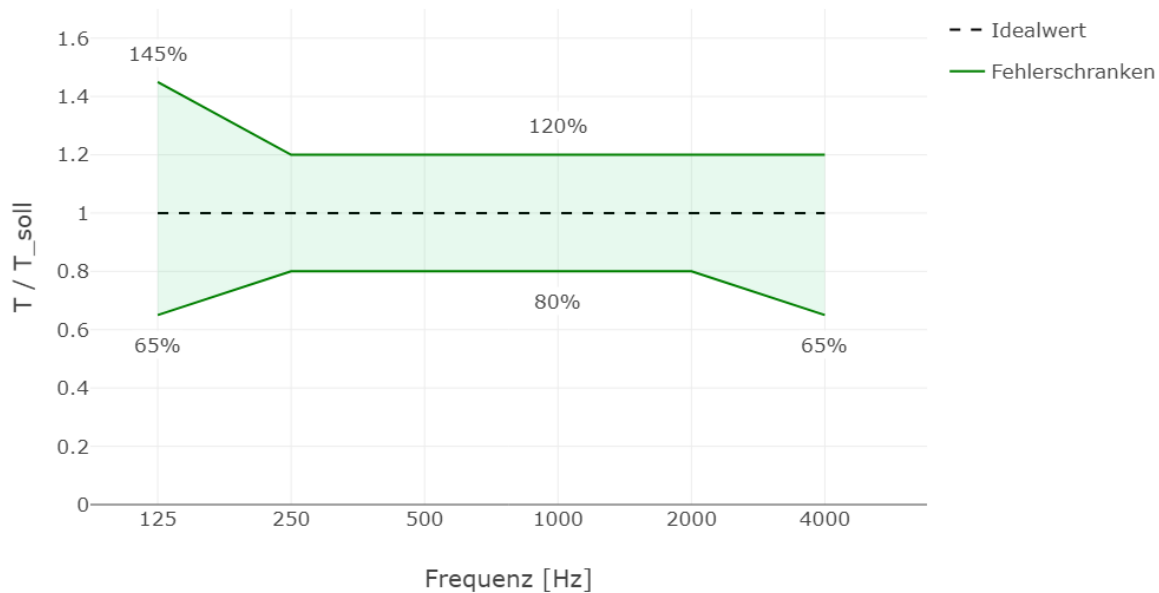


Abbildung 1: Fehlerschranken des Vergleichs von Nachhallzeit T zu Soll-Nachhallzeit T_{soll} nach DIN 18041 [2]

Diese Soll-Nachhallzeit wird anschließend mit der nach Gleichung (2) abgeschätzten Nachhallzeit verglichen. Wenn der Wert dieses Nachhallzeitenvergleichs in den frequenzabhängigen Fehlerschranken der Abbildung 1 liegt gelten die Anforderungen an die Nachhallzeit als erfüllt und in diesem Sinne die Sprachverständlichkeit im Maße der “Subjektiven Wahrnehmung” in Tabelle 1 als gegeben.

Hallradius

- Vergleich von direktem und diffusem Schalldruckpegel, Hallradius in der Quelle-Empfänger-Entfernung in der direkter und reflektierter Schalldruck gleich [empty citation] **Quelle fehlt**
- Für Vergleich wird der diffuse Schalldruckpegel über alle Oktavbänder von 125 Hz bis 4 kHz gemittelt
- Abtastinkremente von 0.01m

3 Graphical User Interface (GUI) und Programmfunktionen

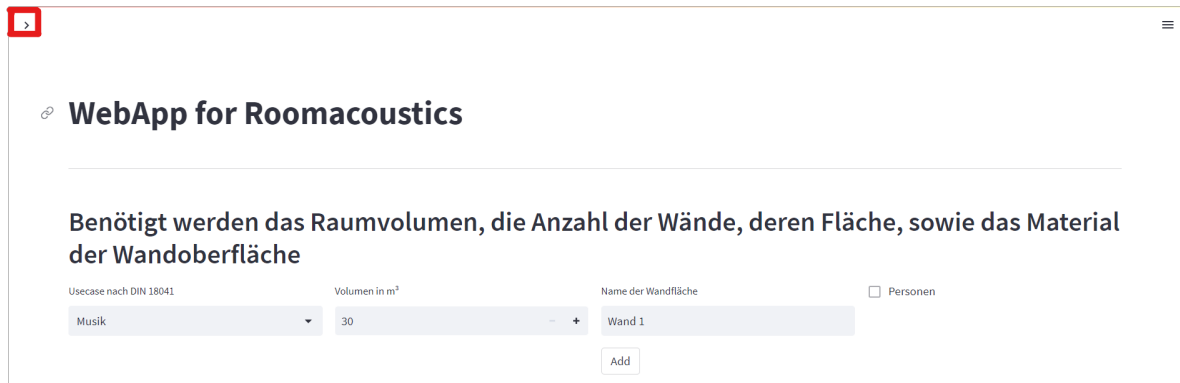
Im folgenden Abschnitt wird die grafische Schnittstelle zwischen user und Programm (GUI: Graphical-User-Interface) vorgestellt und anhand dessen die Funktionen des Programms er-

läutert.

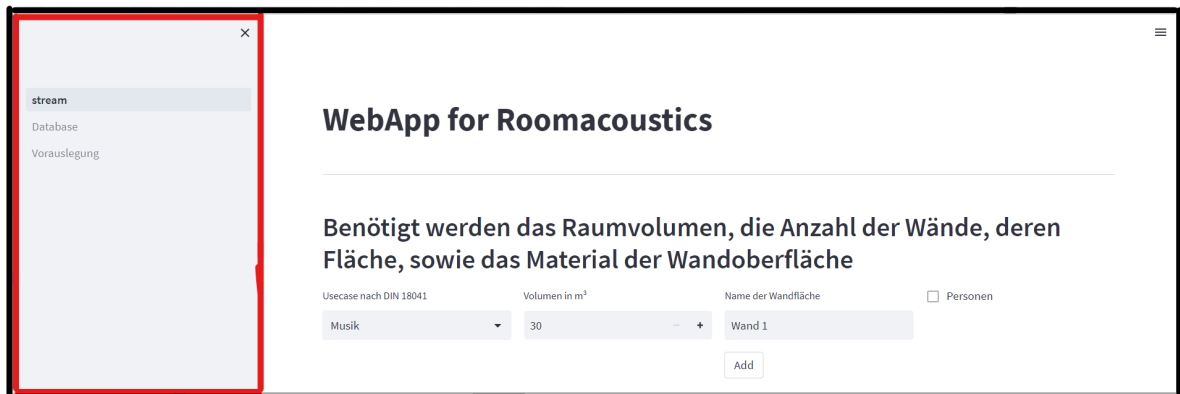
Die GUI wurde als web-app gestaltet, da diese online Geräte- und Benutzeroberflächenübergreifend abrufbar ist.

Die web-app basiert auf der Python Bibliothek Streamlit, welche keine vertieften Kenntnisse in der Frontend Entwicklung voraussetzt und eine einfache Implementierung der gewünschten features ermöglicht.

Das Programm hat mehrere Seiten (Nachhallzeitenanalyse, Datenbank, **Vorauslegung**, User guide), die über einen Pfeil in der linken oberen Ecke der Startseite abrufbar sind (siehe Abbildung 2) und im folgenden näher erläutert werden.



(a) In rot markierter Pfeil öffnet Liste der Seiten



(b) Liste der Seiten

Abbildung 2: Anleitung zum Abrufen der Seiten

3.1 Nachhallzeitenanalyse

Auf der Startseite findet die Nachhallzeitenanalyse statt. Nach Eingabe der nötigen Parameter (Erläuterung der Parameter in Abschnitt 4.1 und Beispiel in Abschnitt 4.2) kann im Bereich Ergebnisse die Nachhallzeit sowie der Nachhallzeitenvergleich (Erklärung in Abschnitt 2.3) in Oktavbändern grafisch ausgegeben werden. Dies geschieht durch Auswahl des jeweiligen Reiters und Betätigen der Schaltflächen “Nachhallzeit berechnen” bzw. “Nachhallzeitenvergleich berechnen” (siehe Abbildung 3).

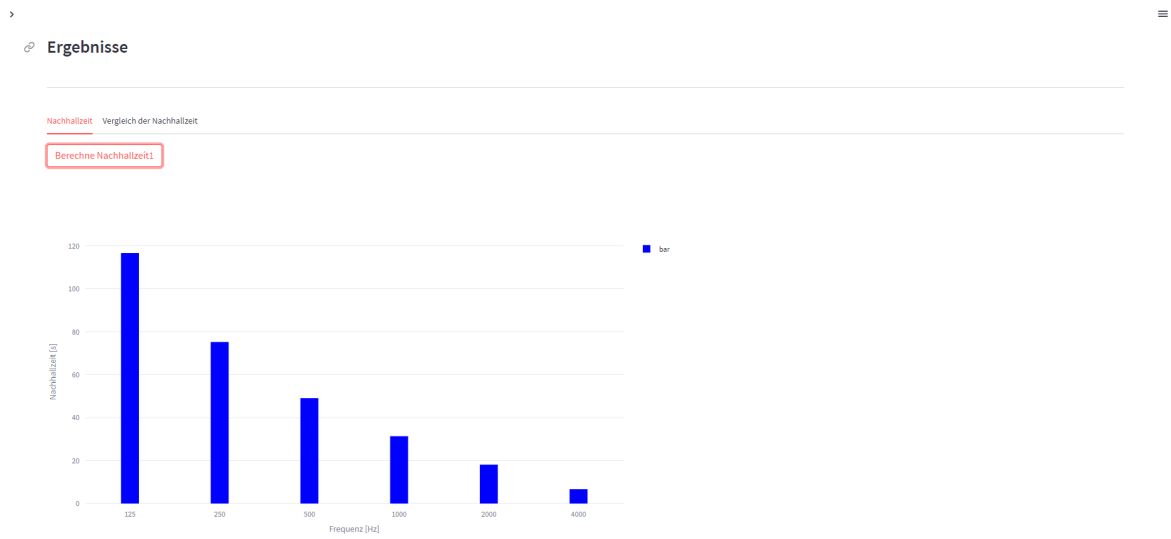


Abbildung 3: Plot der Nachhallzeit im Abschnitt “Ergebnisse” der web-app

3.2 Datenbank

Die Inhalte der Datenbank sind ausführlich auf der Seite “Datenbank” zu finden (für seiten-Navigation siehe Abbildung 2).

Sie beinhaltet die frequenzabhängigen Absorptionsgrade, welche in Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz und 4 kHz angegeben werden. Als Quelle der Datenbank dienen dabei die Tabelle G.1 der DIN 18041 [2] und Teile einer Datenbank der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt [3].

Die Datenbank ist standardmäßig in 5 Kategorien eingeteilt:

- Wand
- Boden
- Decke

- Absorber
- User

Unter der Kategorie “user” können individuelle Materialien hinzugefügt werden. Außerdem kann die Datenbank nach Kategorien oder Frequenzen gefiltert werden, um für ein Frequenzband das Material mit dem maximalen Absorptionsgrad zu finden.

3.3 Vorauslegung

Wenn der gegebene Raum die Anforderung an die Nachhallzeit nicht erfüllt kann mit dem tool **Vorauslegung** eine Anpassung vorgenommen werden.

Dabei wird eine der Grundflächen der zuvor erstellten Nachhallzeitenanalyse ausgewählt auf der, ähnlich zu einer Subfläche, ein Material (z.B. Absorber im Falle einer zu hohen Nachhallzeit) aufgebracht werden soll. Anschließend kann die Größe der neu eingebrachten Fläche mit einem Slider skaliert und die Auswirkungen auf die Nachhallzeit bzw. den Nachhallzeitenvergleich in einem Graph direkt abgelesen werden.

Im Falle von Absorbermaterial sollte die Position im Raum nach Abschnitt 5.4 in DIN 18041 [2] ausgewählt werden.

Für die Sprachverständlichkeit ist eine zu lange Nachhallzeit bei der Feinauslegung kritischer zu betrachten als eine zu kurze. Es ist ein “linearer frequenzabhängiger Verlauf der Nachhallzeit anzustreben, [...] [j]edoch beeinträchtigt ein moderater Anstieg der Nachhallzeit zu tiefen Frequenzen die Hörsamkeit nicht” [2].

3.4 User guide

Auf der Seite “**User guide**” ist dieses Dokument direkt in der web-app abrufbar.

3.5 Dokumentation code

4 Eingabeparameter und Beispiel

Im folgenden Abschnitt werden die Eingabeparameter des Programms und die Programmfunktionen vorgestellt.

4.1 Eingabeparameter

Für die Berechnung der Nachhallzeit und dem Vergleich zur Soll-Nachhallzeit sind folgende Parameter nötig:

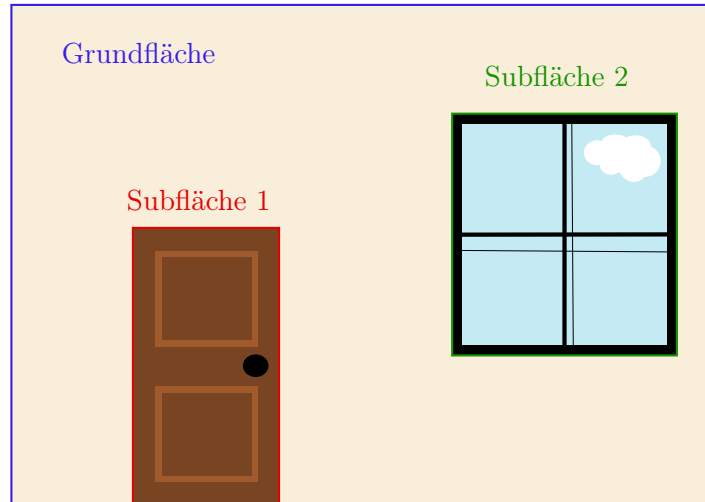


Abbildung 4: Schematische Darstellung von Grund- und Subflächen

Nutzungsart

Festlegung der Nutzungsart nach DIN 18041 [2], entsprechend der Tabelle 1.

Raumvolumen

Es wird das Volumen des leeren Raumes in Kubikmetern angegeben werden.

Anzahl und Namen der Grundflächen

Eine Grundfläche bezeichnet die Fläche der gesamten raumbegrenzenden Fläche. Schallabsorbierende Elemente, Türen, Fenster oder ähnliche Elemente an der Wand, die einen anderen Absorptionsgrad haben werden als Subflächen bezeichnet (vergleiche Abbildung 4). Diese Kategorisierung soll eine übersichtlichere Auflistung der Wandelemente ermöglichen.

Flächeninhalt der Wände

Die Flächeninhalte von Grundflächen und Subflächen werden getrennt, jeweils in Quadratmetern, angegeben. Während der Berechnung der äquivalenten Absorptionsfläche werden Flächeninhalte der Subflächen mit denen der Grundfläche verrechnet, um die Nachhallzeit zu ermitteln.

Material der Wände

Das Material der Wände ist frequenzabhängigen Absorptionsgraden zugeordnet und wird für Grundflächen und Subflächen festgelegt.

Die Materialien und zugehörige Absorptionsgrade sind in der Datenbank abgelegt (siehe Abschnitt 3.2).

Personen im Raum

Um die Nachhallzeit an die Personen im Raum anzupassen wird ein Wert zur Äquivalenten Absorptionsfläche addiert, welcher von zwei Parametern abhängt.

Aus einer Datenbank, welche mit den Einträgen aus Tabelle A.1 in DIN 18041 [2] gefüllt ist, wird eine der gegebenen Personenbeschreibungen ausgewählt. Diese korrespondiert mit einer frequenzabhängigen Schallabsorptionsfläche je Person, welche durch Multiplikation mit der Personenanzahl die zu addierende äquivalente Absorptionsfläche ergibt.

4.2 Schritt für Schritt Beispiel zur Nachhallzeitanalyse

HIER BILDER UND VERWEISE EINFÜGEN, WENN GUI FERTIG IST

Im folgenden Abschnitt wird eine Schritt für Schritt Anleitung zum Aufbau einer Nachhallzeitanalyse vorgestellt. Informationen zu den Parametern, Auswahlmöglichkeiten in dropdown Menüs und deren Quelle sind in Abschnitt 4.1 besprochen.

1. Nutzungsart

Es wird die Kurzbeschreibung der Nutzungsart aus einem dropdown Menü ausgewählt.

2. Volumen

Im Eingabefeld wird das Volumen des leeren Raumes angegeben.

3. Name der Grundfläche

Mithilfe des Eingabefeldes kann jede Grundfläche individuell benannt werden. Nach dem Eingeben des Namens wird die Grundfläche durch drücken der Schaltfläche “Hinzufügen” in den Reiter aufgenommen.

Eine Grundfläche kann wieder entfernt werden, indem der exakte Name in das Textfeld eingegeben wird und die Schaltfläche “Entfernen” betätigt wird.

4. Personen

Bei Auswahl der checkbox “Personen” erscheint ein neuer Reiter.

Im linken Feld wird in einem dropdown Menü die Beschreibung der Personen abgefragt. Anschließend wird in einem Textfeld auf der rechten Seite die Anzahl der Personen mit dieser Beschreibung eingetragen.

Falls sich mehrere Personengruppen mit verschiedenen Beschreibungen im Raum befinden kann über die Schaltfläche “Add Personen” eine Gruppe hinzugefügt werden. Die Eingabe erfolgt äquivalent zur ersten.

Mit der “Remove Personen” Schaltfläche kann die unterste Personengruppe entfernt werden.

5. Grund- und Subflächen

Jede Grundfläche hat einen eigenen Reiter.

Im linken Eingabefeld wird der Flächeninhalt der entsprechenden Grundfläche angegeben. Im mittleren Eingabefeld wird die Kategorie des Wandmaterials aus einem dropdown Menü ausgewählt. Im rechten Eingabefeld wird das Wandmaterial aus der entsprechenden Kategorie mithilfe eines dropdown Menüs gewählt.

Darunter befindet sich die Schaltfläche “Add **Subfläche**”, über welche eine Subwand auf der korrespondierenden Grundfläche erzeugt wird. Äquivalent zu der Eingabe der Grundflächenparameter wird hier die Subfläche charakterisiert.

6. Ergebnisse

Im unteren Teil der web-app werden die Ergebnisse grafisch dargestellt. Dabei kann im Reiter “Nachhallzeit” die Nachhallzeit geplottet werden und im Reiter “Nachhallzeitenvergleich” die Abweichung zur Soll-Nachhallzeit nach Abbildung 1 angezeigt werden.

Die Graphen können zudem als “.png” Datei heruntergeladen werden.

7. Anpassung mit Absorbermaterial

Über die Seite **Vorauslegung**(für seiten-Navigation siehe Abbildung 2) kann zusätzliches Absorbermaterial

5 Fragen und Anmerkungen

- Was ist mit dem Hallradius
- Bei absorbieren im Raum soll 5.4 der DIN 18041 berücksichtigt werden
- Speichern der Graphen möglich
- Datenbankanbindung genau erklären
- wäre ein anderer Zitierstil möglich, der einen Kurztitel direkt vor Ort angibt, sodass man sich nicht die Nummern merken muss?
- Parameter direkt zur Nachhallzeit? (wollte direkt runterscrollen)

Tabelle 1: Kurzbezeichnung und Beschreibung der Nutzungsarten von Räumen der Gruppe A
- Verändert auf Grundlage von Tabelle 1 in [2]

Kurzbeschreibung in Interface	Beschreibung	Subjektive Wahrnehmung
Musik	Vorwiegend musikalische Darbietungen	Gute Hörsamkeit für unverstärkte Musik. Sprachliche Darbietungen sind nur mit gewissen Einschränkungen der Sprachverständlichkeit möglich.
Sprache/ Vortrag	Sprachliche Darbietungen stehen im Vordergrund, in der Regel von einer (frontalen) Position. Gleichzeitige Kommunikation zwischen mehreren Personen an verschiedenen Stellen im Raum wird selten durchgeführt.	Sprachliche Darbietungen einzelner Sprecher erzielen eine hohe Sprachverständlichkeit. Musikalische Darbietungen werden in der Regel als zu transparent und klar empfunden, jedoch günstig für musikalische Probenarbeit.
Sprache/ Vortrag inklusiv	Räume der Nutzungsart "Sprache/ Vortrag" für Personen, die in besonderer Weise auf gutes Sprachverstehen angewiesen sind	Sprachliche Darbietungen einzelner Sprecher erzielen eine hohe Sprachverständlichkeit, auch für Personen mit Höreinschränkungen oder bei z. B. fremdsprachlicher Nutzung.
Unterricht/ Kommunikation	Kommunikationsintensive Nutzungen mit mehreren gleichzeitigen Sprechern verteilt im Raum	Sprachliche Kommunikation ist mit mehreren (teilweise gleichzeitigen) Sprechern möglich.
Unterricht/ Kommunikation inklusiv	Kommunikationsintensive Nutzungen mit mehreren gleichzeitigen Sprechern verteilt im Raum entsprechend Nutzungsart "Sprache/ Vortrag inklusiv" bzw. "Unterricht/ Kommunikation", jedoch für Personen, die in besonderer Weise auf gutes Sprachverstehen angewiesen sind. Für Räume größer als 500 m ³ und für musikalische Nutzungen ist diese Nutzungsart nicht geeignet.	Sprachliche Kommunikation ist mit mehreren (teilweise gleichzeitigen) Sprechern möglich, auch für Personen mit Höreinschränkungen oder bei z. B. fremdsprachlicher Nutzung.
Sport	In Sport- und Schwimmhallen kommunizieren mehrere Gruppen (auch gleichzeitig) mit unterschiedlichen Inhalten	Sprachliche Kommunikation über kurze Entfernungen ist im Allgemeinen gut möglich.

Literatur

- [1] DIN EN 12354-6:2004-04. *Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 6: Schallabsorption in Räumen; Deutsche Fassung EN 12354-6:2003*. Beuth Verlag GmbH.
- [2] DIN 18041:2016-03. *Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung*. Beuth Verlag GmbH.
- [3] Physikalisch-Technische Bundesanstalt. *THE ROOM ACOUSTICS ABSORPTION CO-EFFICIENT DATABASE*. <https://www.ptb.de/cms/ptb/fachabteilungen/abt1/fb-16/ag-163/absorption-coefficient-database.html>. Accessed: 27.06.2023.