Fraunhofer IBP

Prof. Dr. Gunnar Grün

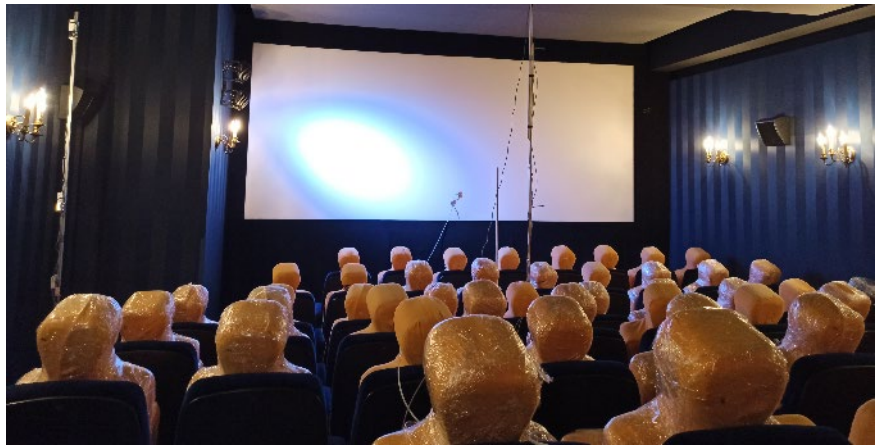
Gehört! Lüftung bei minimierter akustischer Belastung des Menschen

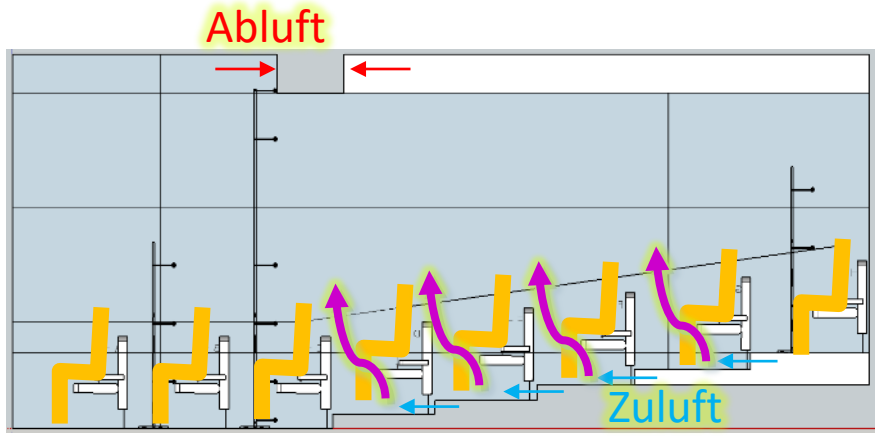
Wirkung von Räumen auf den Menschen

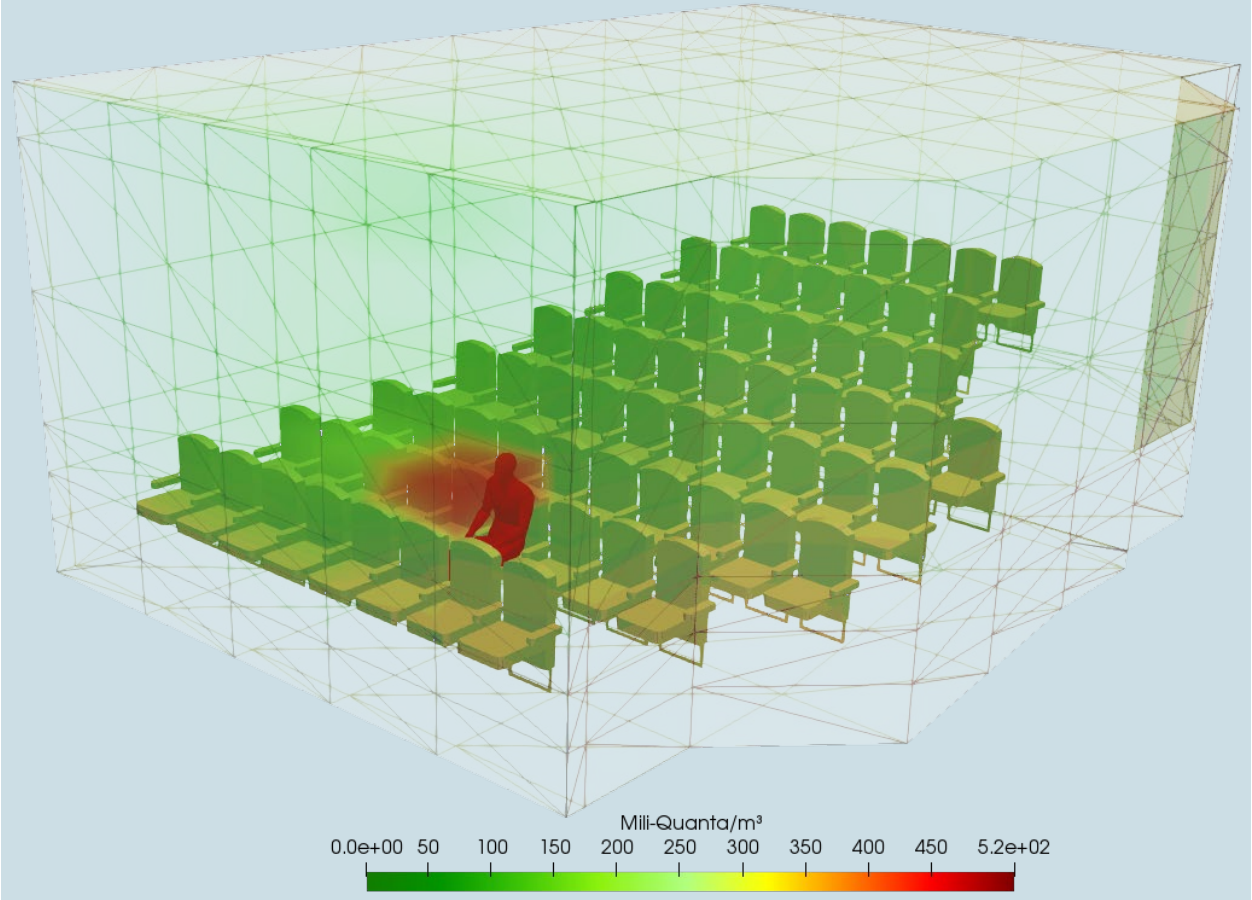
 © Fraunhofer IBP

Gute Luft auch in der Pandemie

CineCov – NEUES REX München: Ausbreitungsanalyse bei Quelllüftung







 © Fraunhofer IBP

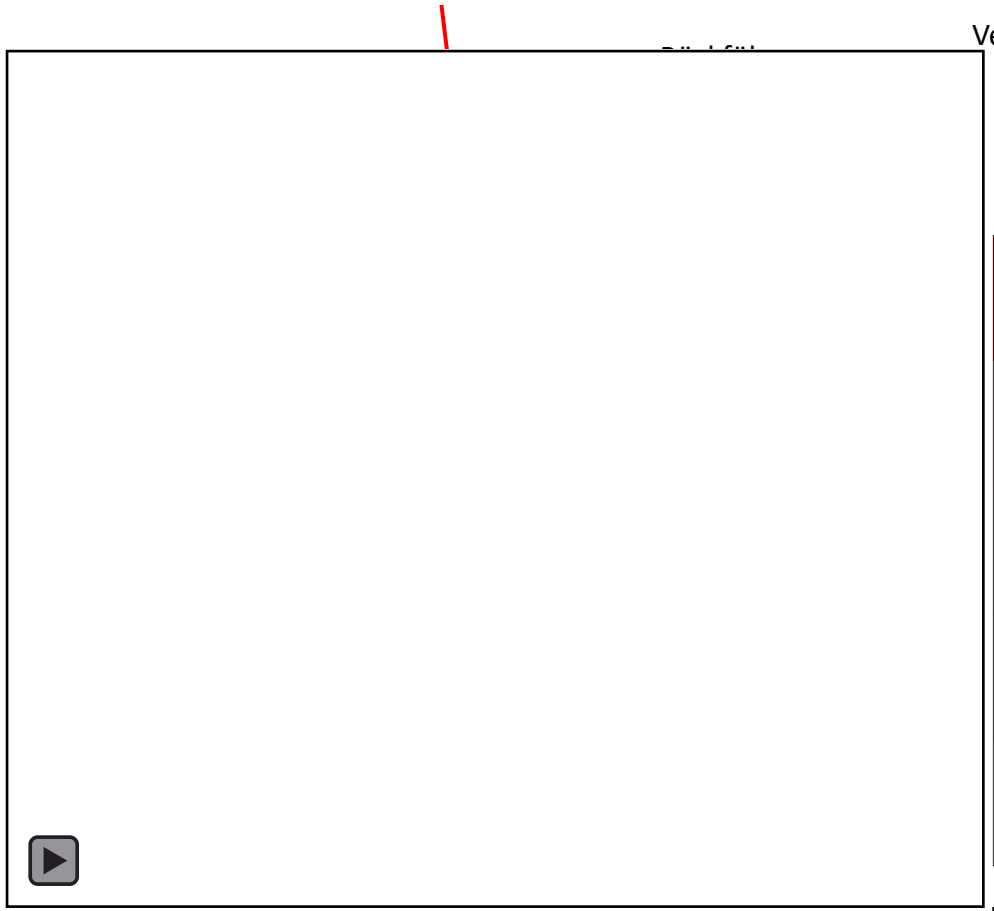
Die Beauftragte der Bundesregierung für Kultur und Medien

Fraunhofer IBP

AVATOR – Simulation der Aerosolausbreitung

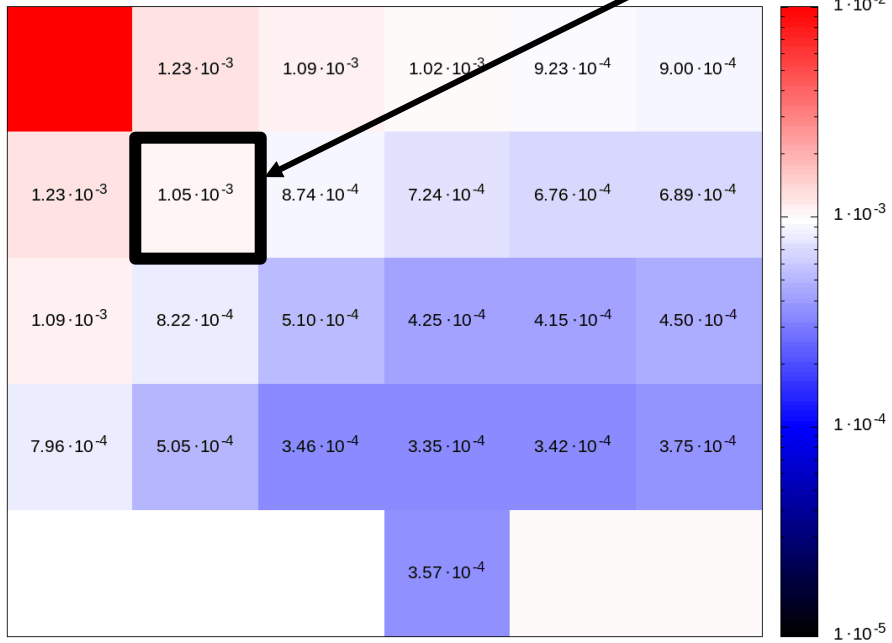
Klassenzimmer mit Raumluftreiniger (RLR)

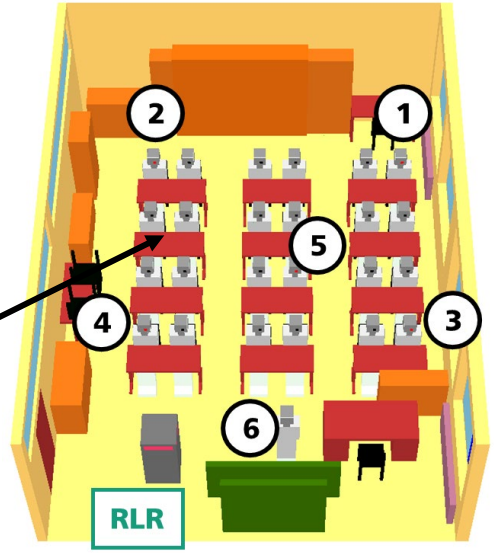
Konzentration virenbeladenes Aerosol



Verhältnis R = $\frac{\text{Eingeatmete Aerosolmenge einer Person}}{\text{Abgegebene Aerosolmenge des Infizierten}}$

~ 1 ‰





Hier: Zeitraum von 45 Minuten

Benjamin Schaufelberger, Pascal Matura

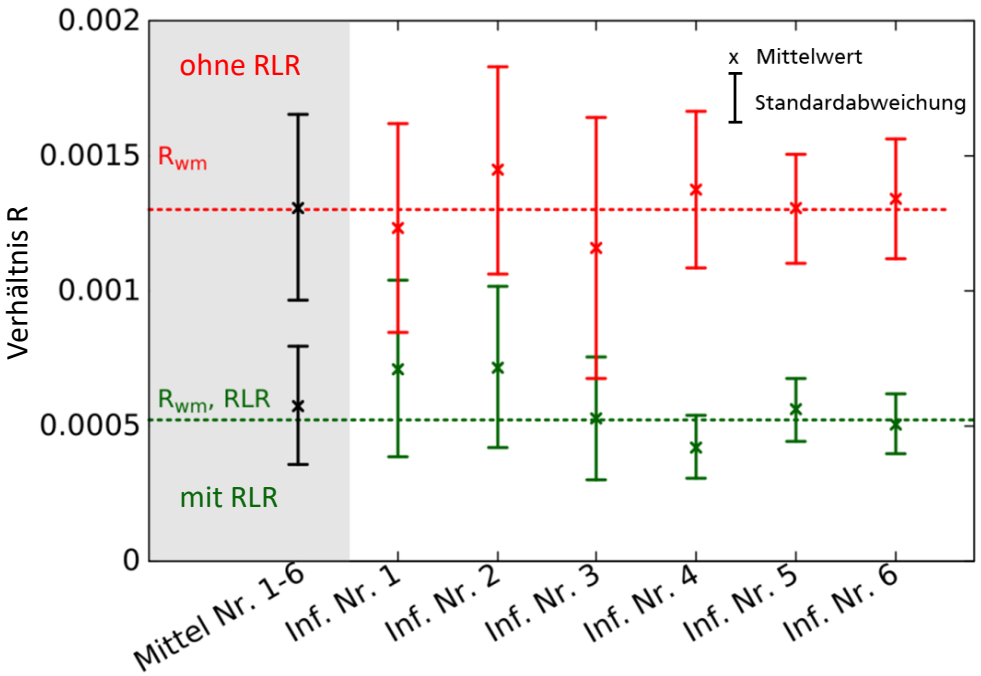
 © Fraunhofer EMI

AVATOR – Simulation der Aerosolausbreitung

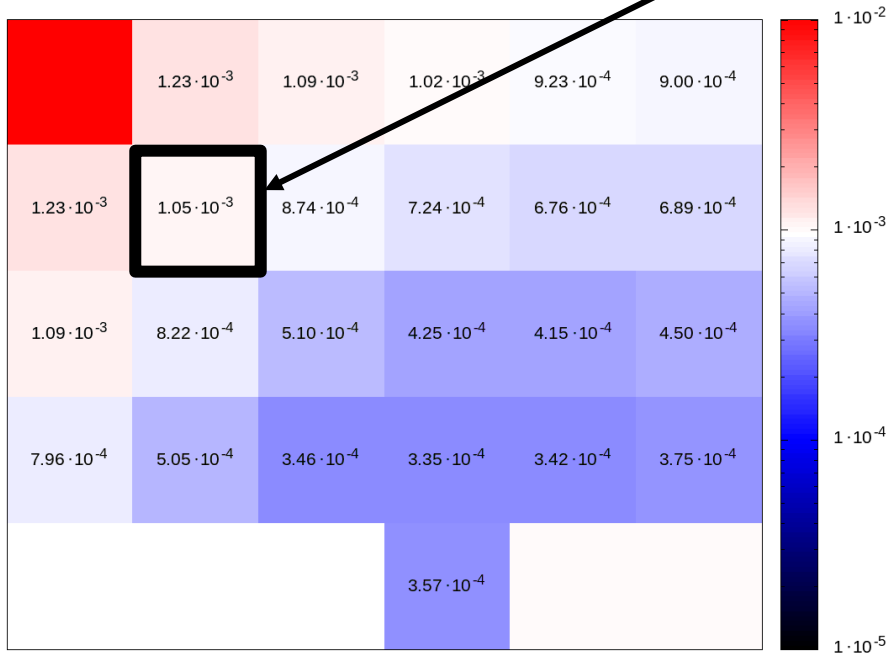
Klassenzimmer mit Raumluftreiniger (RLR)

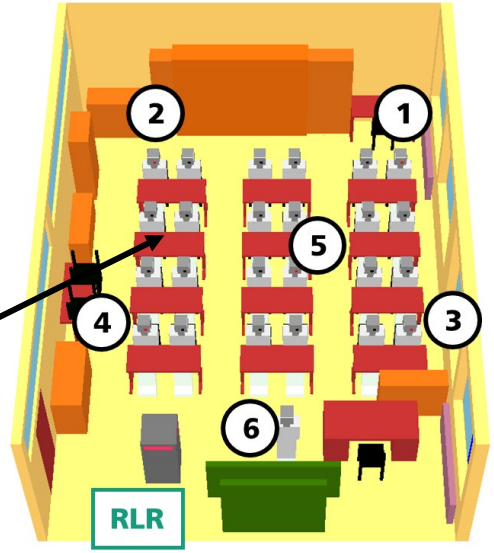
Verhältnis R = $\frac{\text{Eingeatmete Aerosolmenge einer Person}}{\text{Abgegebene Aerosolmenge des Infizierten}}$

Statistische Auswertung



~ 1 ‰





Hier: Zeitraum von 45 Minuten

R_{wm}-Ergebnisse für perfekt durchmischten Raum

Benjamin Schaufelberger, Pascal Matura

 © Fraunhofer EMI

Fraunhofer EMI

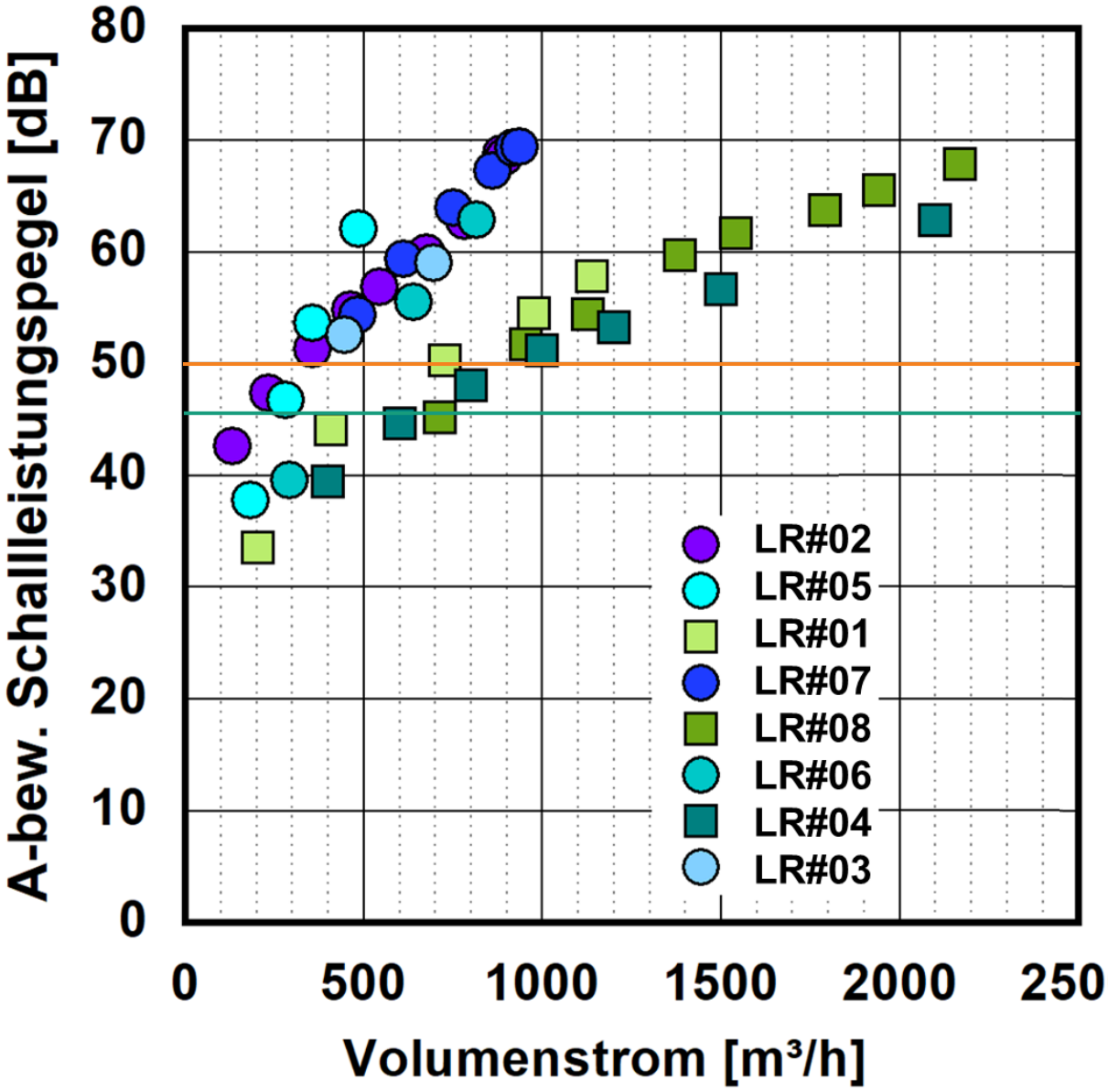
Akustische Charakterisierung von Lüftungsgeräten

- Messung der **Schallleistung** in Abhängigkeit der verschiedenen Betriebsstufen der Lüftungsgeräte.
- Akustische Optimierung der Lüftungsgeräte z. B. mittels einer »akustischen Kamera« oder einem Laservibrometer.

 © Fraunhofer IBP

Akustische Charakterisierung von Raumluftreinigern

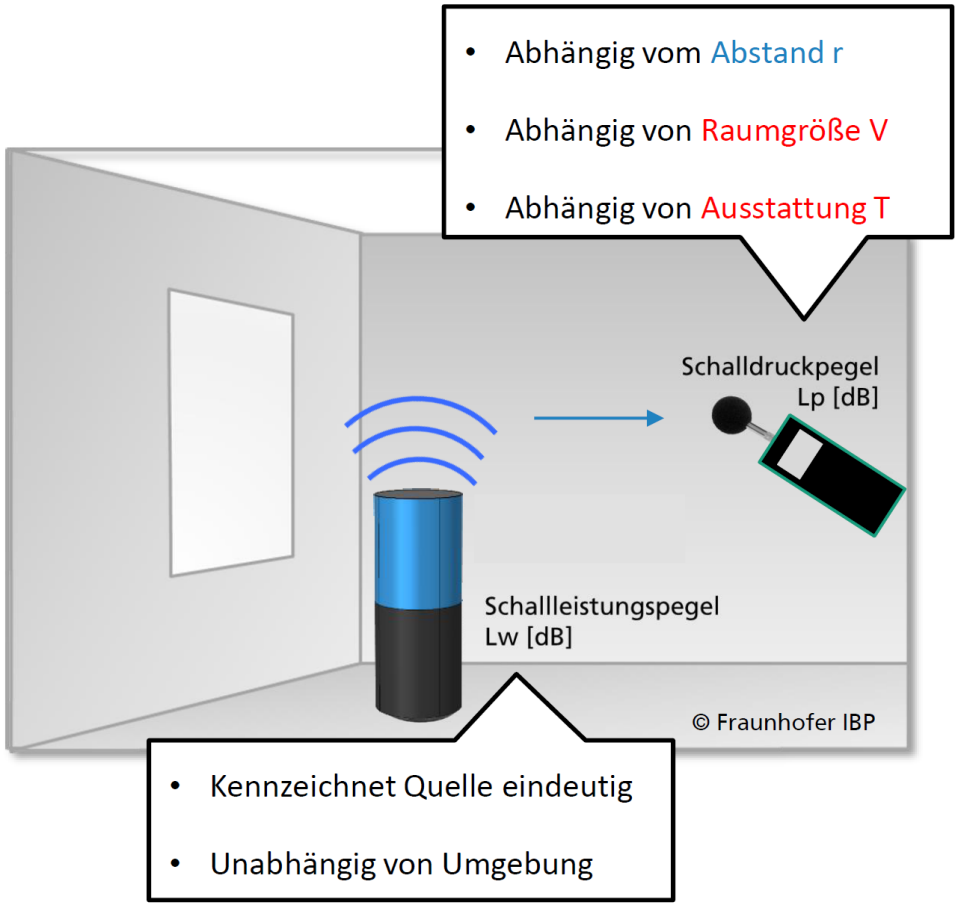
- Messung der **Schallleistung** in Abhängigkeit der verschiedenen Betriebsstufen der Raumluftreiniger.
  - **Schallleistungspegel** bei vielen Geräten über 55 dB(A)
  - Empfehlung Fraunhofer IBP:
    - **L_w ≤ 50 dB(A)** – für Großraumbüros, Gaststätten, Verkaufsräume, Umgebungen mit entsprechend höheren Hintergrundgeräuschen und Raumvolumina > 200 m³
    - **L_w ≤ 45 dB(A)** - Für Einzelbüros, Klassenzimmer, Konferenzräume, …



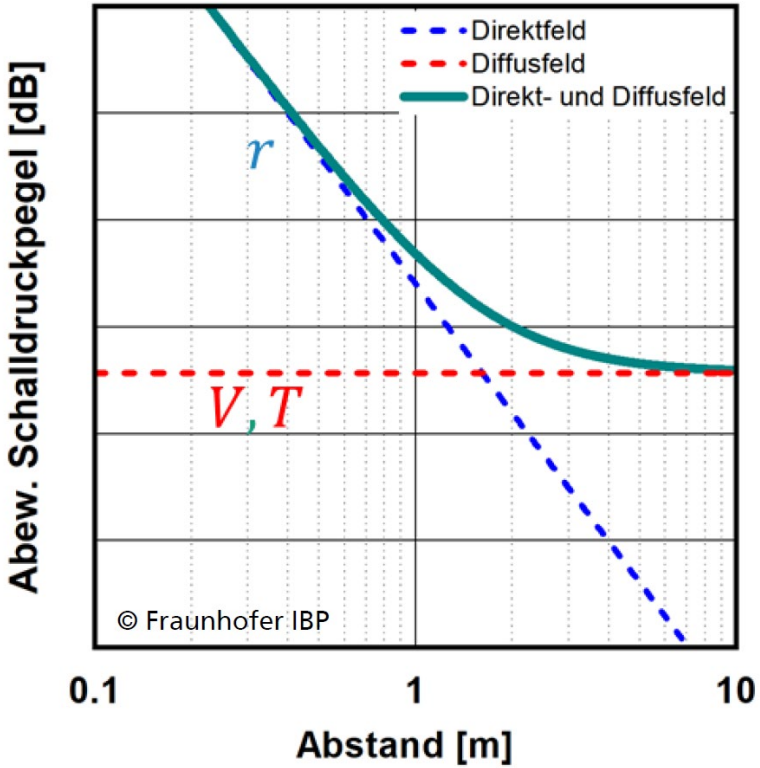
 © Fraunhofer IBP

Fraunhofer IBP

Schallleistungspegel und Schalldruck im Raum



$$L_{p,Raum} = L_w + kor(r, V, T)$$



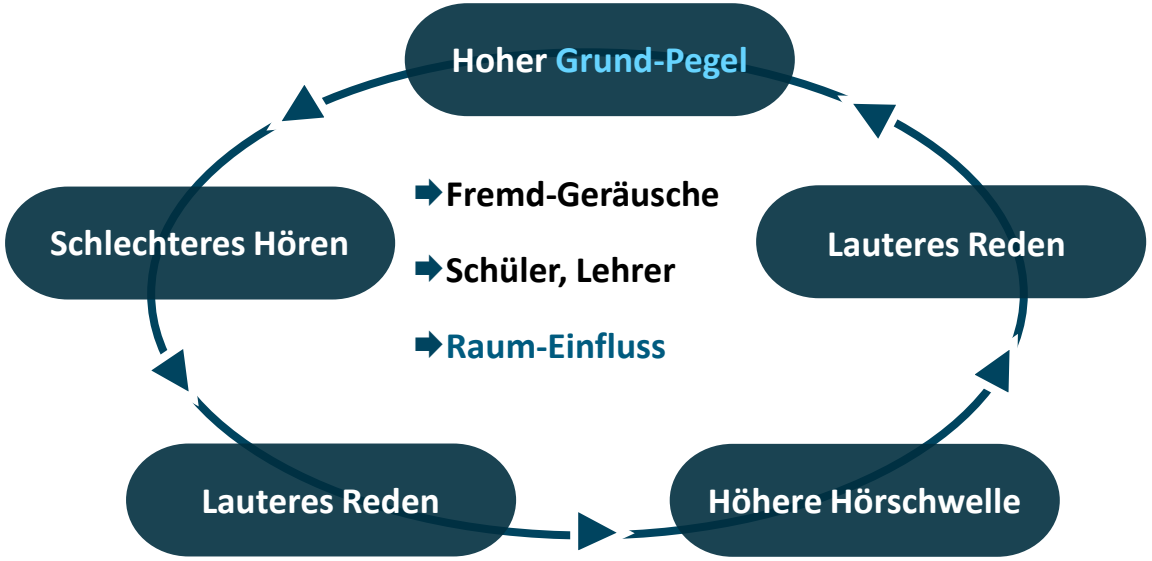
Dilemma bei schlechter Raumakustik

Beispiel Schule

Problem: ➔ Schallharte Flächen

Folge: ➔ Sprachverständlichkeit zu gering
➔ Nachhallzeit zu groß

➡ **Ursache / Wirkungs-Spirale, + 10 dB (A)**



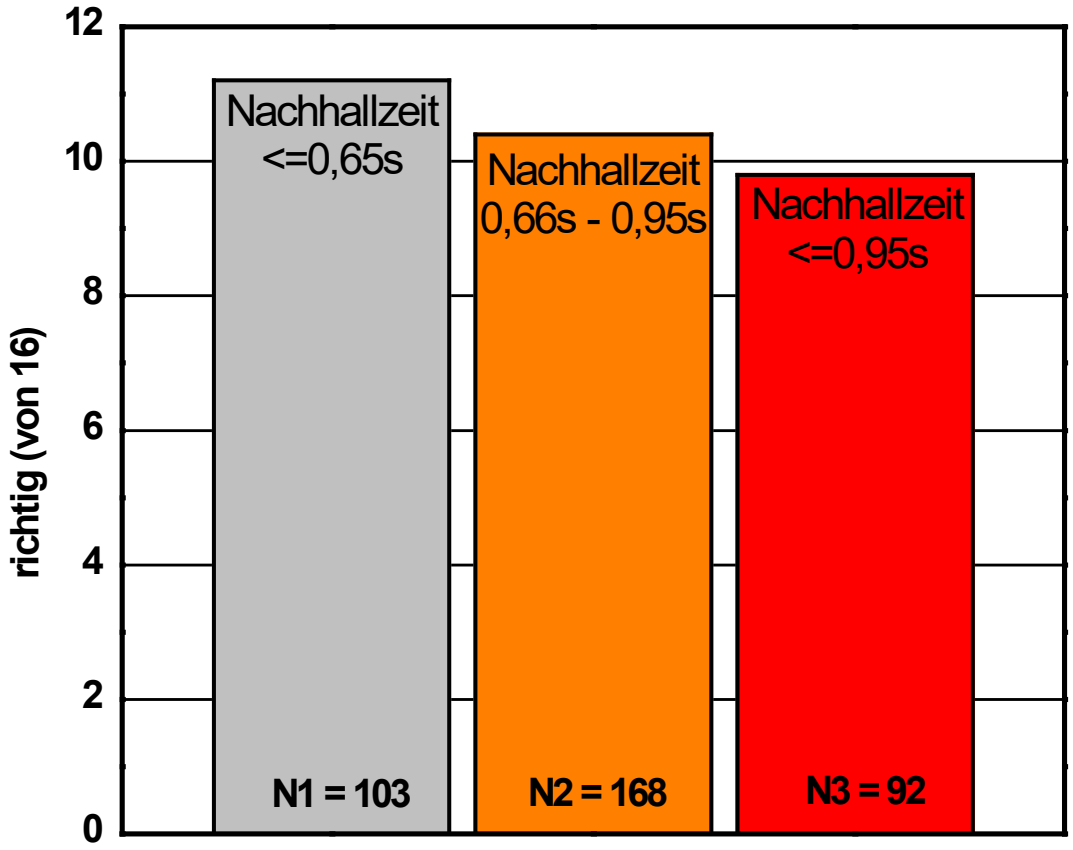
 © Fraunhofer IBP

Auswirkung der Nachhallzeiten in Klassenräumen

Chronische Wirkungen unterschiedlich langer Nachhallzeiten auf kognitive Grundfunktionen

Leistung von Zweitklässlern beim Kategorisieren von Lauten.

(Test unter gleichen Nachhallbedingungen)



 © Fraunhofer IBP

Raumakustik

Die Nachhallzeit (Nhz) ist einer der wichtigsten raumakustischen Parameter

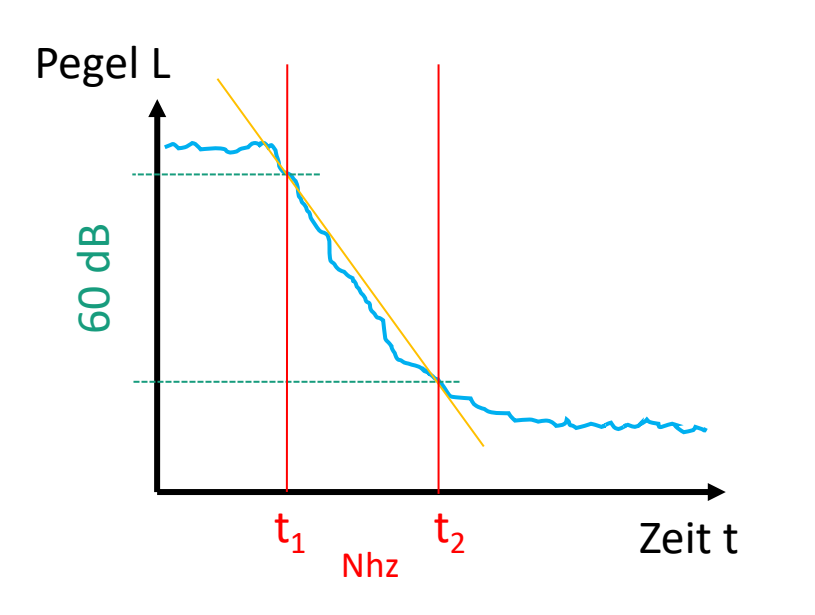
Übliche Berechnung: Sabine'sche Nachhallzeit

$$T_{60} = 0.163 \frac{V}{S \cdot \bar{\alpha}} = 0.163 \frac{V}{A}$$

- Raumvolumen
- Äquivalente Absorptionsfläche (A) aus
- Raumoberfläche (S) und
- Absorptionsgrad (α) der Oberflächen
- Absorptionsfläche (A) von weiteren Objekten

Voraussetzungen

- Diffuses Schallfeld
- Zwischen längster und kürzester Raumseite darf der Faktor 5 nicht überschritten werden
- Die Absorption muss auf alle Raumoberflächen nahezu gleichmäßig verteilt sein d.h. der mittlere Absorptionsgrad soll sich in allen Raumrichtungen weniger als der Faktor 3 unterscheiden (DIN 18041:16)
- **Bei nicht-diffusem Schallfeld verlängert sich die gemessene Nachhallzeit.**
  Dies kann das Rechenmodell nach Sabine nicht abbilden.



 © Fraunhofer IBP

Neues Berechnungsverfahren für die Nachhallzeit und Vergleich mit den akustischen Anforderungen nach DIN 18041 Hörsamkeit in Räumen

Das Problem: Ungenaue Ergebnisse bei der Berechnung der Nachhallzeit mit herkömmlicher Methode nach »Sabine« und zu hohe Kosten für Simulationen. Dadurch werden Raumakustik-Produkte wie Absorber nicht effektiv eingesetzt und nicht an der richtigen Stelle angebracht.

Existieret das Problem überhaupt? Hersteller und Fachplaner (n = 86) haben uns berichtet, dass sich die bisherige Methode für eine »gute« Raumplanung nicht eignet.

Aufgabe der Kunden: Planung der Absorptionsmaßnahmen und Berechnung der Nachhallzeit nach den Vorgaben der einschlägigen Normen.

Was macht der Kunde mit dem Problem aktuell? Er akzeptiert die ungenauen Berechnungsergebnisse, da eine umfangreiche Simulation für Büroräume etc. zu aufwändig und teuer ist.

Predicting the reverberation time in rectangular rooms with non-uniform absorption distribution

Xiaoru Zhou [a], Moritz Späh [a,*], Klaudius Hengst [b], Ting Zhang [a]

Applied Acoustics 171 (2021) 107539

Contents lists available at ScienceDirect

Applied Acoustics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/apacoust

Predicting the reverberation time in rectangular rooms with non-uniform absorption distribution

Xiaoru Zhou [a], Moritz Späh [a,*], Klaudius Hengst [b], Ting Zhang [a]

[a] Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, Nobelstrasse 12, 70569 Stuttgart, Germany
[b] Knauf Gips KG, Am Bahnhof 7, 97346 Iphofen, Germany

ARTICLE INFO

Article history:
Received 12 December 2019
Received in revised form 10 June 2020
Accepted 14 July 2020

Keywords:
Reverberation time
Non-uniform absorption distribution
Absorption coefficients
Scattering coefficients
Lateral sound absorption
Initial level of decay curves
1D-decay
Rectangular room
Classroom

ABSTRACT

This paper proposes a new approach for modelling and predicting the reverberation time in rectangular rooms with non-uniform absorption distribution. The model considers three separate decays for the three room dimensions and a fourth decay for the diffuse field. The sum of the four decays' RMS-sound pressure values lead to a total decay curve, from which the reverberation time is obtained. Moreover, the model takes into account the absorption coefficients, empirical scattering coefficients at each room surface and lateral sound absorption from side walls. In rooms with a uniform absorption distribution, the calculated reverberation times are similar to those computed by the Eyring's formula (C.F. Eyring: Reverberation Time in "Dead" Rooms. The Journal of the Acoustical Society of America Volume 1 (1930), p 168). In rooms with a non-uniform distribution, the modeled reverberation times are lengthened, consistent with measurements in previous studies over the whole frequency range. The paper discusses the comparison of calculation and measurement of decay curves and reverberation time, including other well-known simple prediction models.
© 2020 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Since the pioneering work of Sabine (1900) [1], researchers have proposed various theories for predicting the reverberation time in enclosures. Eyring [2] extended Sabine's formula to "dead rooms," which are characterized by high absorption within the enclosure. However, in rooms (especially rectangular rooms) with non-uniform distribution of the sound absorption, for example rooms with low-absorption and low-scattering parallel walls, combined with other highly absorbing surfaces such as suspended ceilings, the measured reverberation times can be much longer than those predicted by Sabine's and Eyring's formulae. To formulate reverberation characteristics in rooms with non-uniform absorption distribution, Fitzroy [3], Arau-Puchades [4] and EN 12354-6 [5] explicitly considered the absorption in the three dimensions of the room. Further more, EN 12354-6 introduces a crossing frequency with different formulation of the reverberation time below and above this frequency. All mentioned prediction methods estimate the reverberation time by a single assumed decay. In rooms with non-uniform absorption distribution nevertheless, non-linear decay curves can be observed. These non-linear decay curves can cause a large difference between the calculation models and the measurements.

The present article proposes a new calculation method of the reverberation time in rectangular rooms with non-uniform absorption distribution. The method calculates the total decay in the room by the summation of four decay lines: the individual one-dimensional (1D) decays in x, y, and z-dimensions and a decay line of the diffuse 3D sound field. Depending on the room geometry, the distribution of the sound absorbing material and the scattering properties of the walls and furniture, the added four energy-decay lines lead to a nonlinear decay curve, consistent with typically measured decay curves in such rooms. From the total decay curve, the reverberation time is subsequently estimated. In diffuse sound fields with uniform absorption distribution, the calculation model gives values that are similar to results of the Eyring model [2]. The method is tested by comparing the calculated and measured reverberation times in three rectangular rooms of different size and different absorption distribution. The relative error of 43 measured and calculated reverberation times shows that the proposed method gives lower relative errors than the existing models [1–5]. Still, the model is simple enough to use it in a spreadsheet calculation.

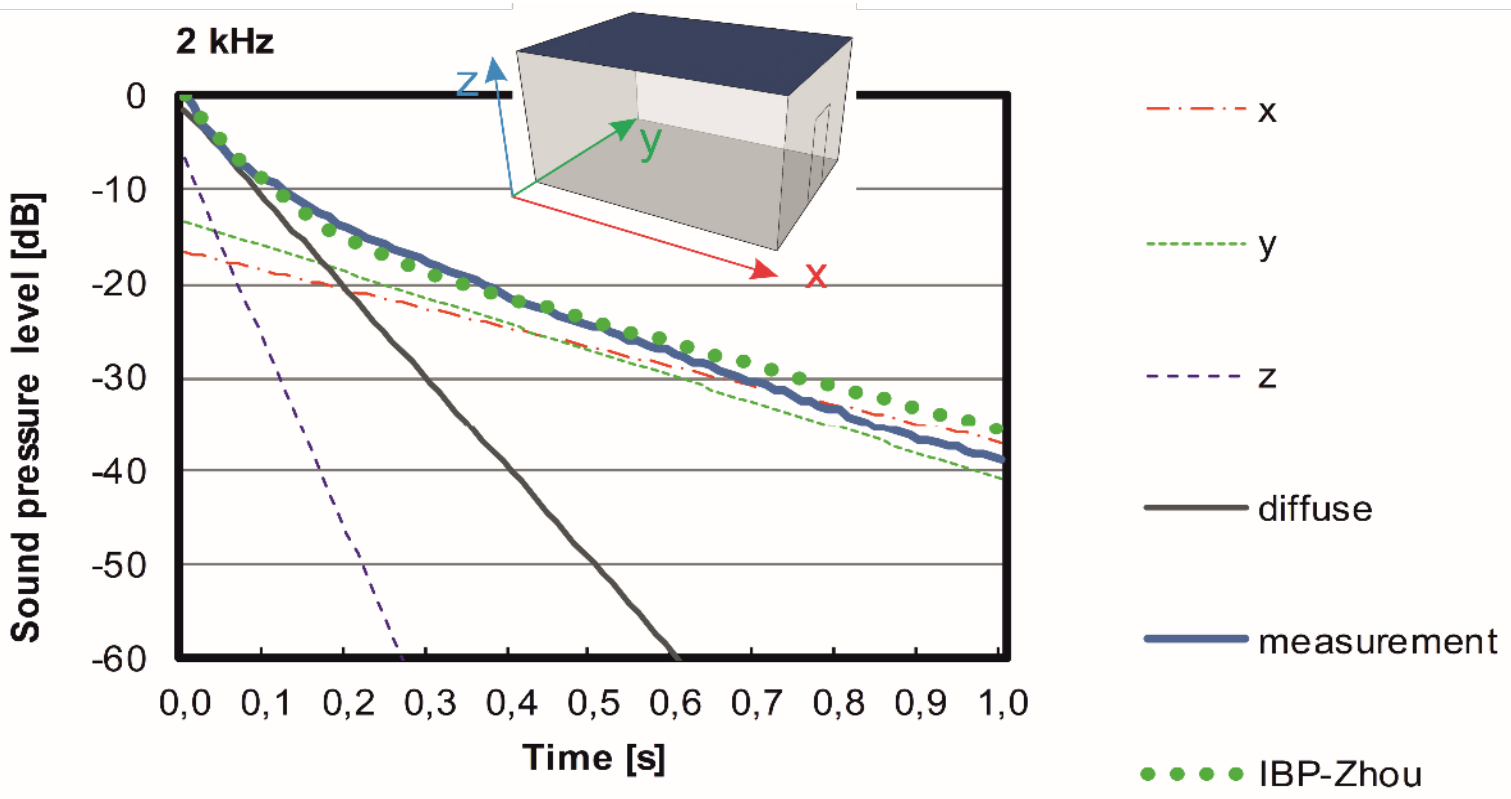
* Corresponding author.
E-mail addresses: Xiaoru.zhou@ibp.fraunhofer.de (X. Zhou), moritz.spaeh@ibp.fraunhofer.de (M. Späh), Hengst.klaudius@knauf.de (K. Hengst), ting.zhang@ibp.fraunhofer.de (T. Zhang).

https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107539
0003-682X/© 2020 The Authors. Published by Elsevier Ltd.
This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Fraunhofer IBP

Beispiel Klassenraum

- Decke absorbierend
- Keine weiteren absorbierenden Oberflächen
- Abklingkurve in z-Richtung kurz,
- in x- und y-Richtung lang
- Diffusfeld liegt dazwischen
- Nhz- Kurve durchhängend
- Nhz deutlich länger als bei diffusem Schallfeld
- Vergleich zu Messung gut

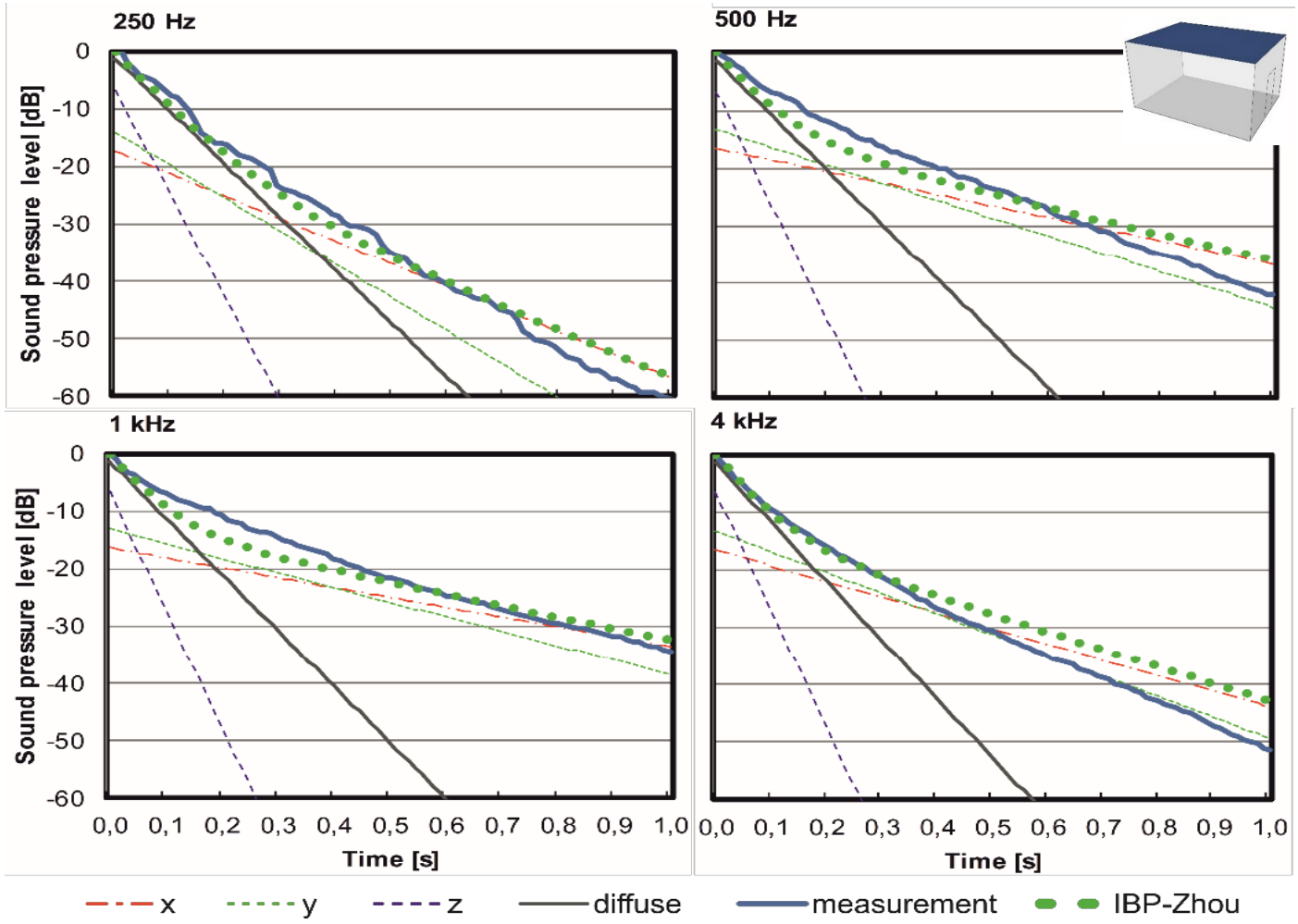


© Fraunhofer IBP

Fraunhofer IBP

Beispiel Klassenraum

- Durchhängende Nachhallzeit-Kurven vor allem bei mittleren Frequenzen
- (gemessen und berechnet)

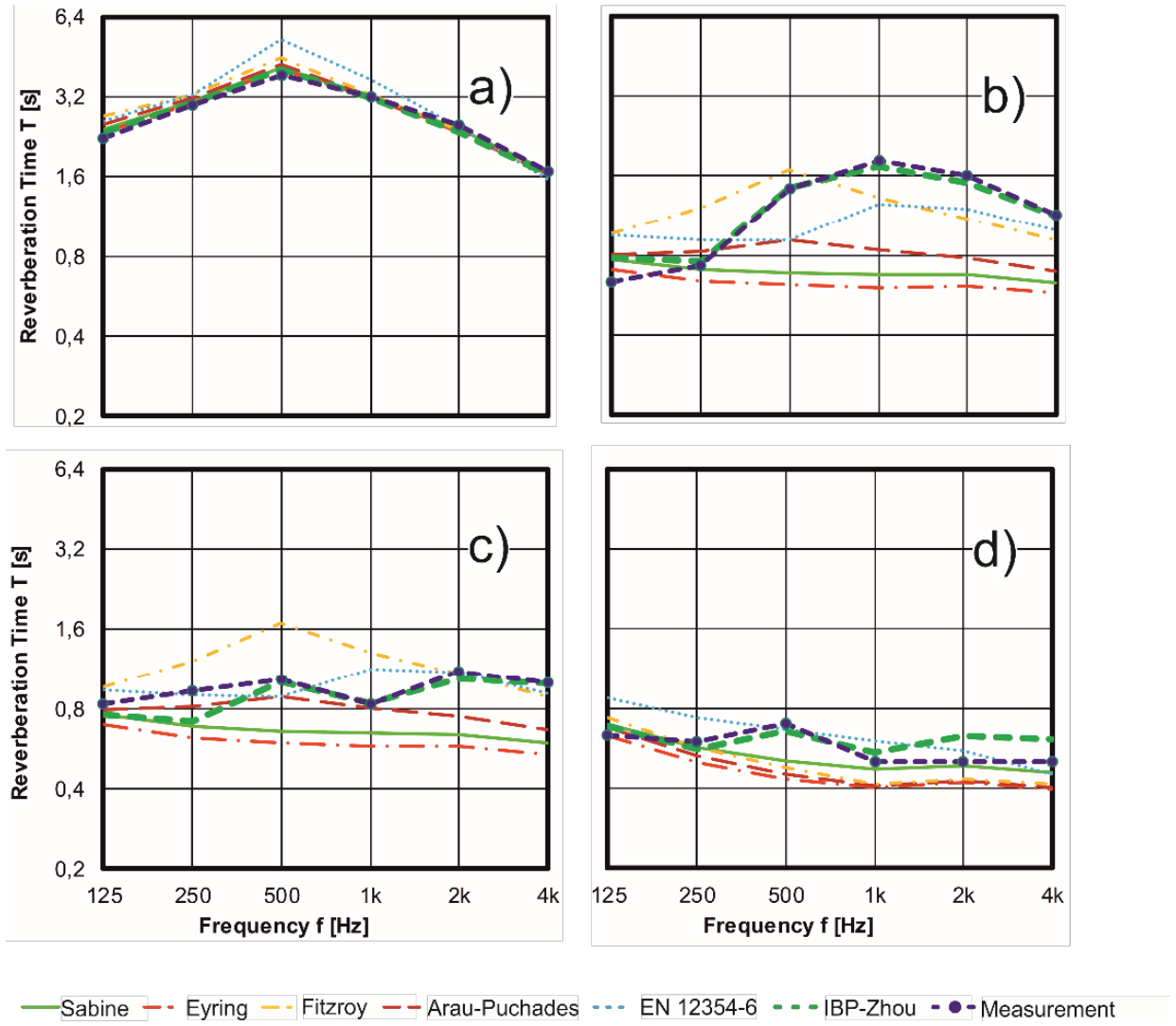


© Fraunhofer IBP

Fraunhofer IBP

Beispiel Klassenraum

- Vergleich verschiedener Berechnungsmodelle
- Vergleich verschiedener Raumausstattungen
- Neues Modell IBP-Zhou mit bester Übereinstimmung zu Messungen



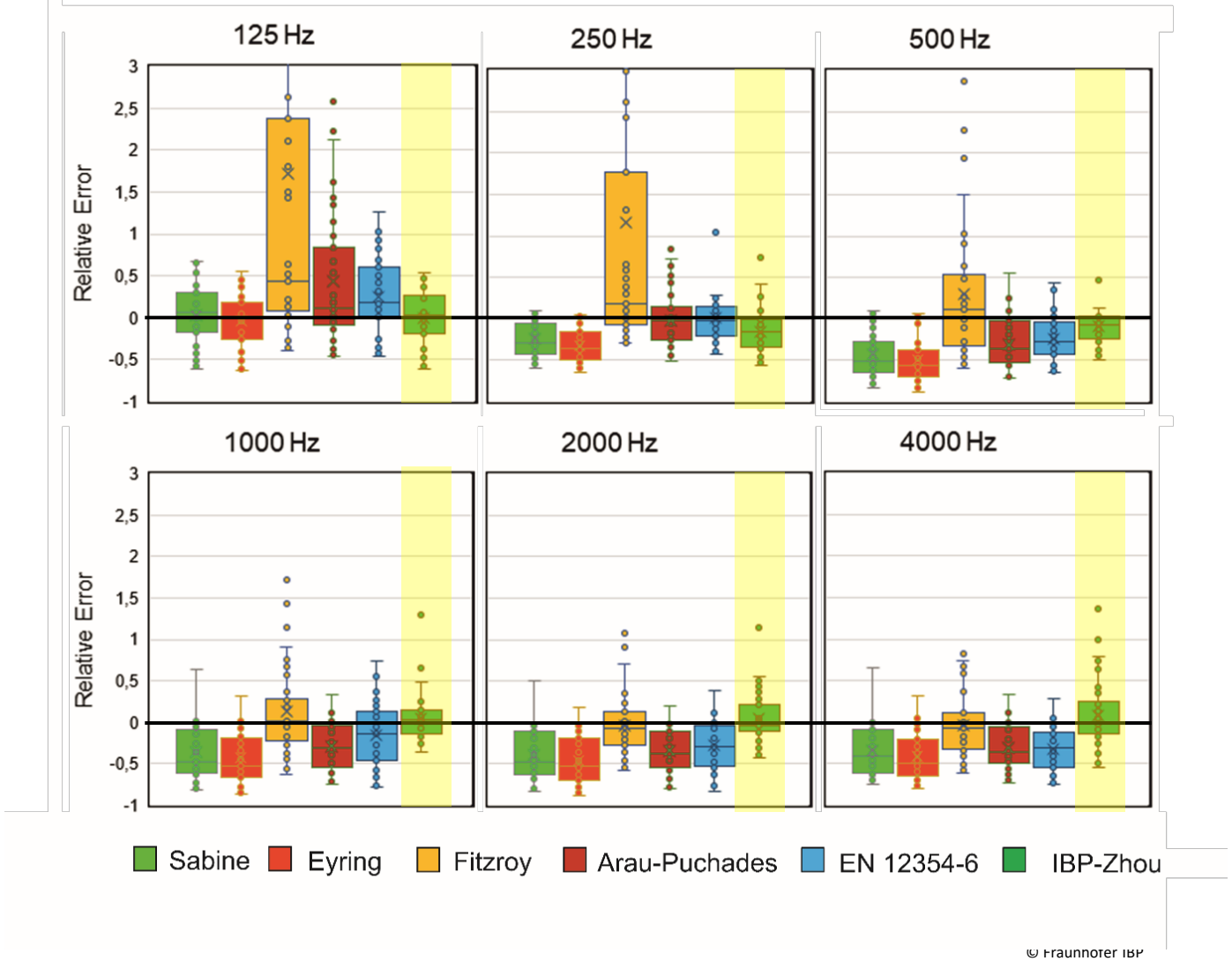
© Fraunhofer IBP

Fraunhofer IBP

Vergleich Messung – Rechnung in drei Räumen

- Verschiedene Berechnungsmodelle
- Vergleich Messung – Rechnung von 43 Raumsituationen mit verschiedener Ausstattung in drei verschiedenen Laborräumen von IBP und Knauf
- Sabine und weitere Berechnungen liefern zu kurze Nachhallzeiten (mittlerer Fehler negativ)
- Fitzroy liefert tief-frequent zu lange Nachhallzeiten mit großem Fehler
- **Neues Modell IBP-Zhou mit bester Übereinstimmung zu Messungen**
  (Mittelwerte bei 0, geringe Streuung des rel. Fehlers)

= Neuer Stand des Wissens!



© Fraunhofer IBP

Fraunhofer IBP

Berechnung und Bewertung von Nachhallzeiten

Kostenfrei zur Pro-Beta anmelden unter pro.reverberate.de

Web-App https://pro.reverberate.de/

- **Web-Applikation** zur Berechnung der Nachhallzeit in Räumen auf Grundlage des neuen, am Fraunhofer IBP entwickelten Berechnungsmodells
- Flexible **Raumgeometrie** sowie Anordnung absorbierender Oberflächen im Raum
- Berücksichtigung der **Absorptionsverteilung** im Raum sowie weitere Vorteile im Gegensatz zu klassischen raumakustischen Berechnungen nach Sabine
- Einordnung der **frequenzabhängigen Nachhallzeiten** entsprechend der akustischen Anforderungen nach DIN 18041
- Export der berechneten Nachhallzeiten und Abklingkurven sowie der normativen **Bewertung als PDF-Dokument**

 © Fraunhofer IBP

Fraunhofer IBP

Berechnung und Bewertung von Nachhallzeiten – reverberate.de

How it works...

Configure your room

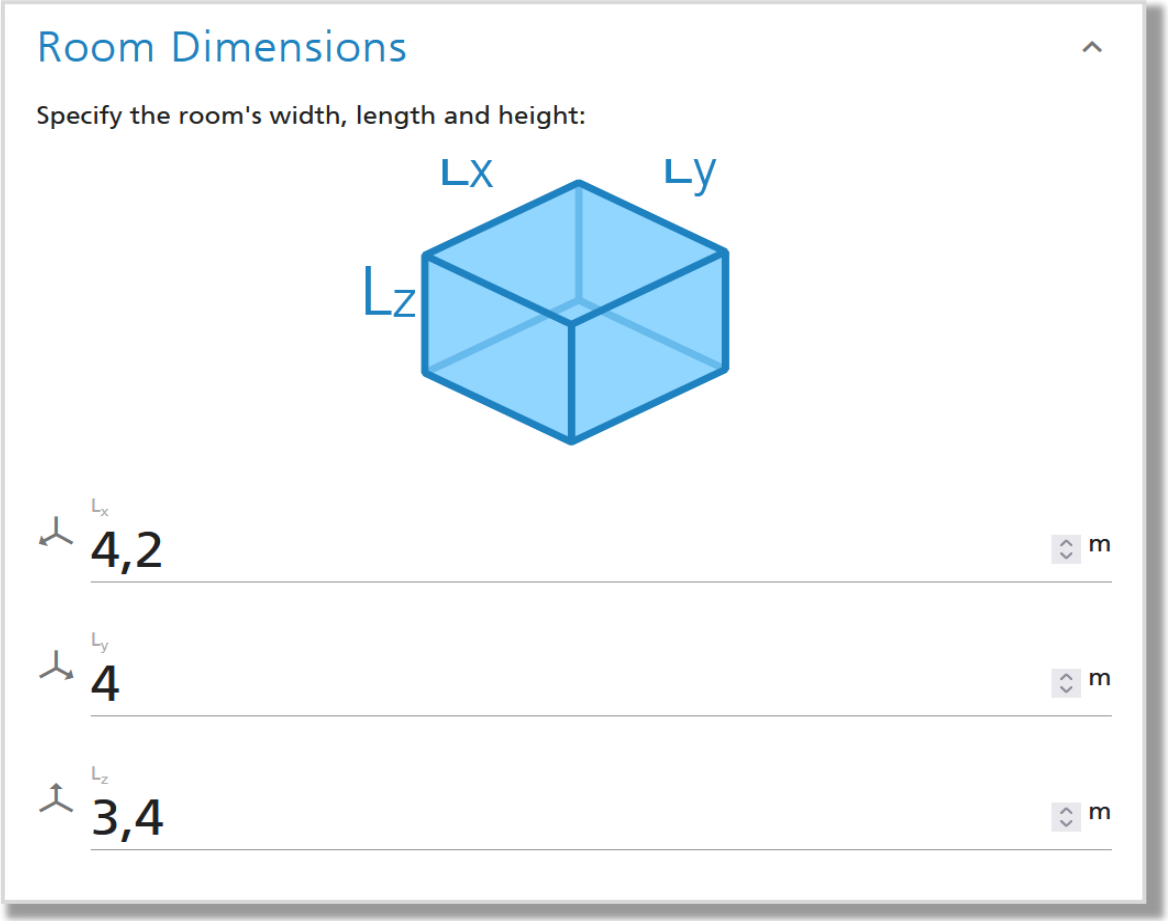
- Specify the size, atmosphere of your room and specify absorption and scattering materials using our wall partition editor.

Inspect the results

- Compare the reverberation time calculated for multiple frequencies and check your room against different DIN 18041 usage scenarios.

Share your calculation

- Download the results as PDF or create a bookmark link to share or edit your calculation later.



 © Fraunhofer IBP

Berechnung und Bewertung von Nachhallzeiten – reverberate.de

How it works...

Configure your room

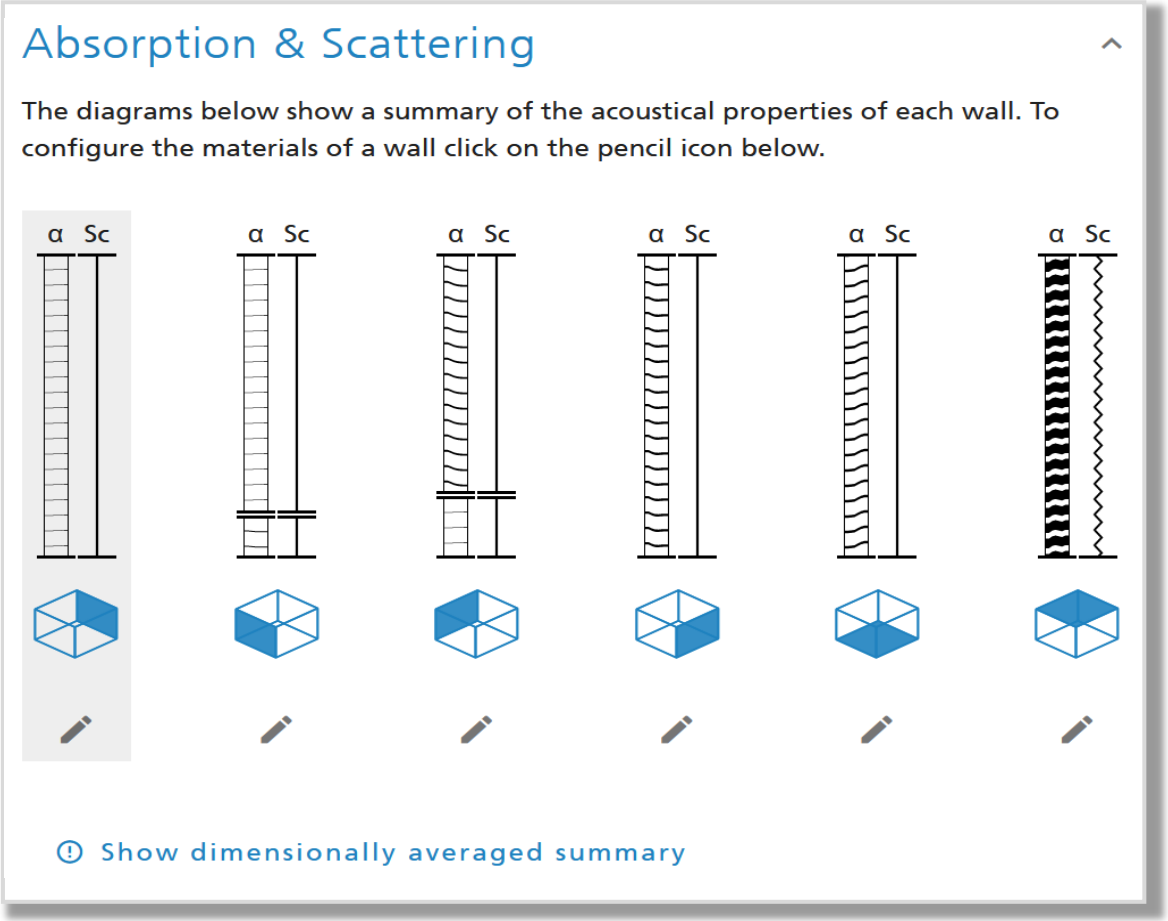
- Specify the size, atmosphere of your room and specify absorption and scattering materials using our wall partition editor.

Inspect the results

- Compare the reverberation time calculated for multiple frequencies and check your room against different DIN 18041 usage scenarios.

Share your calculation

- Download the results as PDF or create a bookmark link to share or edit your calculation later.



 © Fraunhofer IBP

Berechnung und Bewertung von Nachhallzeiten – reverberate.de

How it works...

Configure your room

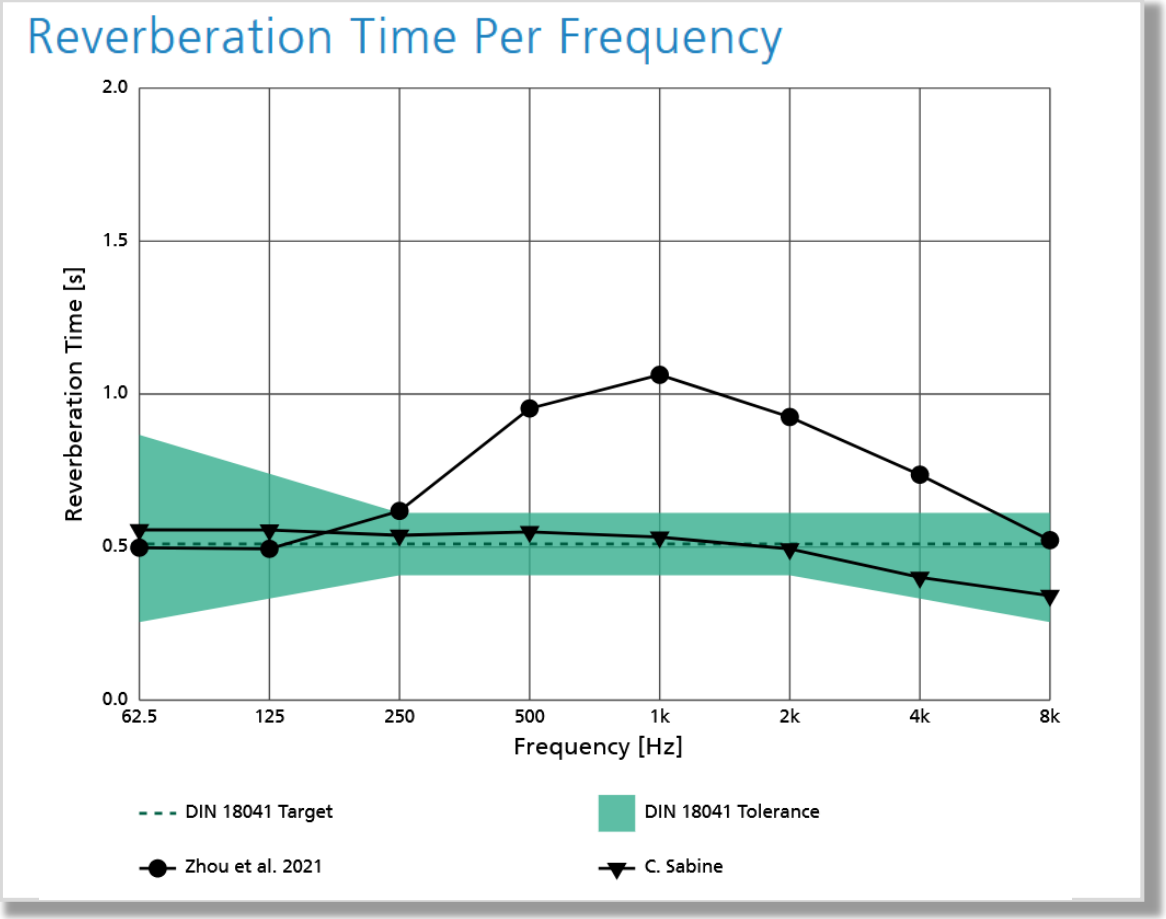
- Specify the size, atmosphere of your room and specify absorption and scattering materials using our wall partition editor.

Inspect the results

- Compare the reverberation time calculated for multiple frequencies and check your room against different DIN 18041 usage scenarios.

Share your calculation

- Download the results as PDF or create a bookmark link to share or edit your calculation later.



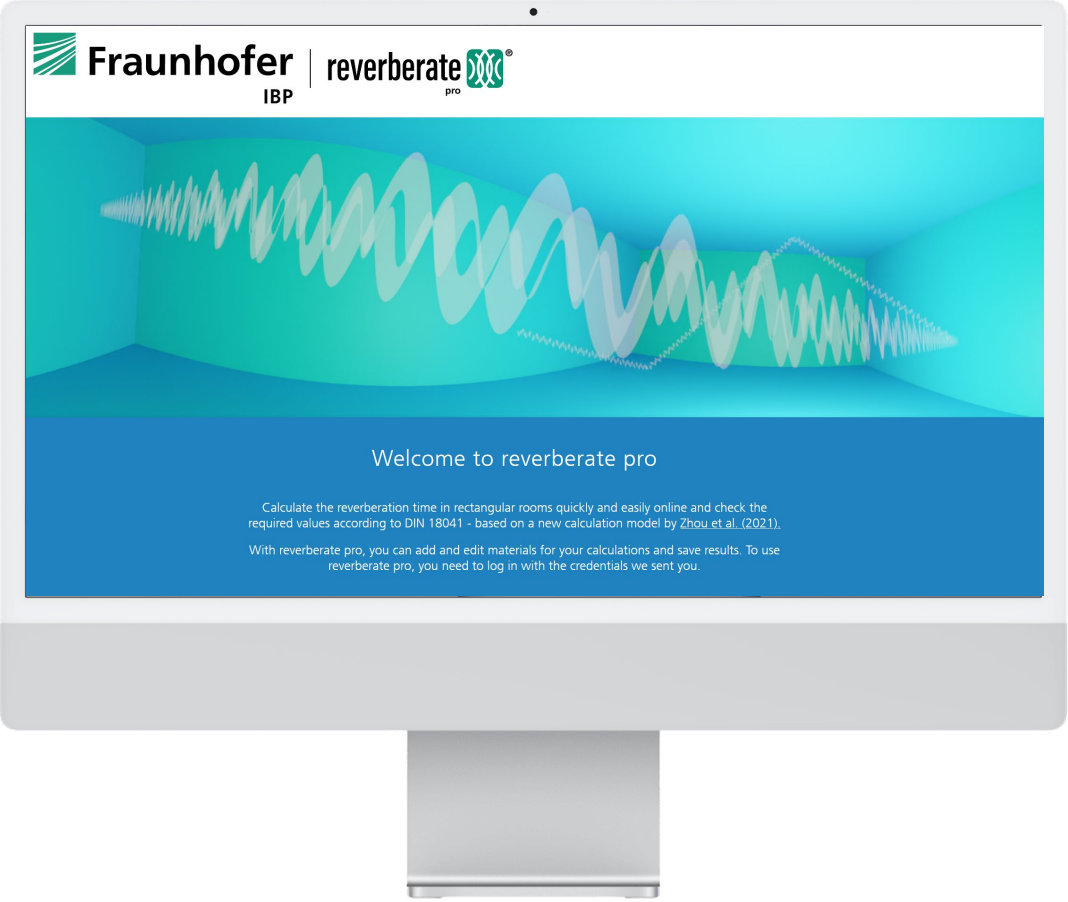
 © Fraunhofer IBP

Berechnung und Bewertung von Nachhallzeiten – reverberate.de

Lösung: Browser- bzw. Online-basiertes Softwaretool für eine einfache Berechnung der Nachhallzeit in verschiedenen lizenzierten Produktvarianten (reverberate®pro, pro+, proexpert, procompany)

Werte: mit Messung validierte Ergebnisse, Genauigkeit, Zuverlässigkeit, einfache Bedienung, umfangreiche Datenbasis

Woher haben wir das Wissen?
Rechenkernel entstand in einem Forschungsprojekt. Befragung zur Software in der Betaphase ergab eine positive Rückmeldung bzgl. Ergebnisse und Bedienung.



 © Fraunhofer IBP

Berechnung der Schallpegel im Raum aus der Quellenleistung

Xiaoru Zhou, Moritz Späh, Karlheinz Bay, Ting Zhang – Fraunhofer-Institut für Bauphysik

DAGA 2022 STUTTGART

Fraunhofer IBP

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Einleitung

Zur genaueren Prognose der Schallpegel L_p von Luftreinigergeräten in einem Raum wurde ein neues Berechnungsverfahren entwickelt. Es berücksichtigt die Absorberverteilung im Raum und ist es einfacher als die Verwendung von Spiegelschallquellenverfahren, wie in [1] empfohlen. Die Berechnung kann mit einem Tabellenkalkulationsprogramm erfolgen.

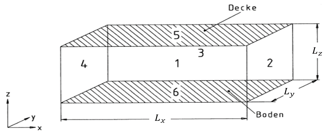


Bild 1. Skizze und Wandnummerierung des Raumes

Klassische Berechnung nach VDI 3760

Der Schalldruckpegel L_p wird nach VDI 3760 [1] aus der Schallleistung L_w berechnet nach:

$$L_p = L_w + 10\lg(N) + Kor \quad (1)$$

Hier ist N die Anzahl gleicher Quellen und Kor ist ein Korrekturterm. Dieser ist nach [1]:

$$Kor_{Klassik} = 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4T}{0.161V}\right) \quad (2)$$

mit dem Abstand zur Quelle r in [m], der Sabine-Nachhallzeit T in [s], dem Volumen $V = L_x L_y L_z$ in [m³], siehe (Bild 1). Gleichung (2) ist ausreichend genau für würfelförmige bzw. kleine Räume mit gleichmäßig verteilter Absorption. Bei größeren flachen Räumen mit ungleichmäßiger Verteilung der Absorption, z.B. Räumen mit hochabsorbierenden Seitenwänden oder Decke, ergibt Gleichung (2) eine größere Abweichung zu Messwerten bzw. ODEON-Simulationen.

Neues Rechenmodell

Der Korrekturterm Kor_{NeuM} wurde für o.g. Situationen modifiziert:

$$Kor_{NeuM} = 10\lg\left(\frac{1}{\pi(2r)^{Ma}} + \frac{4T_a(1-\alpha_a)(1-\alpha_{wa})}{0.161V}\right) \quad (3)$$

Der Parameter M_a beschreibt dabei die Schallausbreitung im Raum, und berechnet sich zu:

$$M_a = (1+\alpha_{za}) + (1-\alpha_{za})(1-\alpha_a)G_g^{\,G_F} \quad (4)$$

mit α_{za} dem mittleren Absorptionsgrad der Oberflächen in der Z-Dimension, der mittleren wirksamen Absorption im Raum α_a ,einem „Gleichmäßigkeitsindikator" der Raumgeometrie G_g und einem Nahfeldindikator G_F. Die Größe G_g beschreibt den Einfluss der Raumform und ist abhängig von der Raumhöhe L_z und α_a:

$$G_g = e^{(1-\alpha_a)\ln\left(\frac{L_z}{L}\right)} \quad (5)$$

Dabei ist $L = \sqrt[3]{V}$. Die Wert G_g liegt zwischen 0 und 1. Der Nahfeld- Indikator G_F in Gleichung (4) gibt den Freifeldbereich mit einer Kugelwellenausbreitung von der Quelle an:

$$G_F = 1 - e^{-\left(\frac{2r}{L_z}\right)} \quad (6)$$

Die wirksame Nachhallzeit $T_a = \frac{0.16V}{A_{ea}}$ ist die Eyring-Nachhallzeit [3], berechnet aus der wirksamen Absorptionsfläche $A_{ea} = S\ln(1-\alpha_a)$, mit $S = 2L_xL_y + 2L_yL_z + 2L_zL_x$ der gesamten Oberflächen des Raumes. Der mittlere wirksame Absorptionsgrad des Raums α_a ist

$$\alpha_a = \frac{2L_xL_y\alpha_{za} + 2L_yL_z\alpha_{xa} + 2L_zL_x\alpha_{ya}}{S} \quad (7)$$

Der mittlere wirksame Absorptionsgrad der drei Raumrichtungen berechnet sich nach:

$$\alpha_{ia} = \alpha_{max} + (\alpha_i - \alpha_{max})\beta_i \quad (8)$$

mit $i = x, y, z$, wenn $\alpha_i > \alpha_{max}$ und $\alpha_i > \alpha$ ist, sonst $\alpha_{ia} = \alpha_i$,wobei α_{max}=0.65. Die Werte α_{ia} sind gleich wie die Werte α_i ,wenn α_i kleiner als α_{max} oder kleiner als die mittlere Absorption α im Raum ist. Die Größen β_x ,β_y , β_z sind die mittleren seitlichen Absorptionsgrade in den entsprechenden Dimensionen:

$$\beta_x = \frac{L_xL_y\alpha_z + L_zL_x\alpha_y}{L_xL_y + L_zL_x}$$

$$\beta_y = \frac{L_xL_y\alpha_z + L_yL_z\alpha_x}{L_xL_y + L_yL_z} \quad (9)$$

$$\beta_z = \frac{L_yL_z\alpha_x + L_zL_x\alpha_y}{L_yL_z + L_zL_x}$$

Verifizierung

Um Gleichung (3) zu verifizieren, wurde die Korrektur Kor_{NeuM} mit Simulationsergebnissen abgeglichen. Für zwei virtuelle Räume ($V = 3375\ m^3$), einem „Quader" (15 m x 15 m x 15 m) und einem „Flachraum" (33.5 m x 33.5 m x 3 m), mit unterschiedlichen Absorptionsgraden und Absorberverteilungen, ist die Berechnung von Kor_{NeuM} mit $Kor_{Klassik}$ nach Gleichung (2) und mit Simulationsergebnissen aus ODEON [2] in Bild 2 verglichen. Die Legenden in den Abbildungen sind einheitlich mit „*Simulation*" aus ODEON, „*Klassik*" nach Gleichung (2), „*NeuM*" nach Gleichung (3) und als Referenz eine „*Freifeld*" Ausbreitung mit -6 dB bei Abstandsverdoppelung bezeichnet.

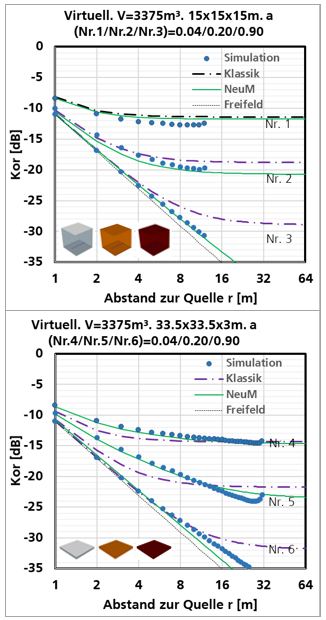


Bild 2. Quader (oben) und Flachraum (unten) mit gleichmäßiger Verteilung der Absorption (a bezeichnet α).

Für die Berechnung in Bild 2 wurden für den Quader (oben) und dem Flachraum (unten) mittlere Absorptionsgrade von *α=0.04* (Nr. 1, grau dargestellter Raum), mittlere Absorptionsgrade *α=0.20* (Nr. 2, hellbrauner Raum) und hohe Absorptionsgrade *α=0.90* (Nr. 3, dunkel-brauner Raum), die gleichmäßig im Raum verteilt waren, angenommen. Für den Quader mit geringer mittlerer Absorption sind die Korrekturgrößen ähnlich, mit steigender Absorption und im Flachraum (Nr. 4, 5 und 6) ergibt $Kor_{Klassik}$ größere Abweichungen zur Simulation und zu Kor_{NeuM}.

In Bild 3 sind die Korrekturen für einen Quader und einen Flachraum mit hoch absorbierenden Wänden (α = 0,9) und geringer Absorption von Boden und Decke (α = 0,04) gezeigt. Hier ist die Abweichung von $Kor_{Klassik}$ mit der *Simulation* zum Teil erheblich. In allen Fällen ergibt Kor_{NeuM} eine deutlich bessere Übereinstimmung mit den Simulationen.

Um das Rechenmodell vollständig zu validieren, muss es in einem weiteren Schritt mit Messungen abgeglichen werden.

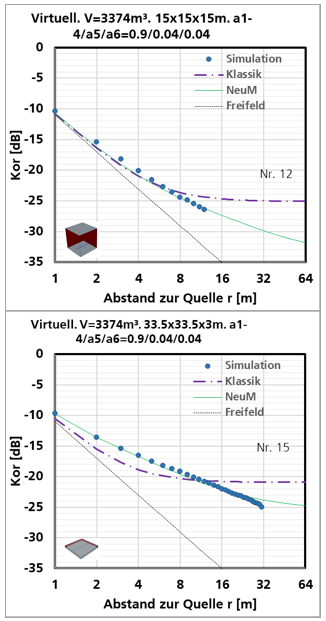


Bild 3. Quader (oben) und Flachraum (unten) mit ungleichmäßiger Verteilung der Absorption (a bezeichnet α).

Fazit

Die Ergebnisse des neuen Berechnungsmodells wurden mit Simulationen verglichen und liefern eine gute Übereinstimmung. Das neue Rechenmodell muss durch Messungen verifiziert werden.

[1] VDI 3760: 3760 Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen. Verein Deutscher Ingenieure, 1996, Beuth Verlag, Berlin
[2] ODEON: https://odeon.dk/

 © Fraunhofer IBP

Berechnung der Schallpegel im Raum aus der Quellenleistung

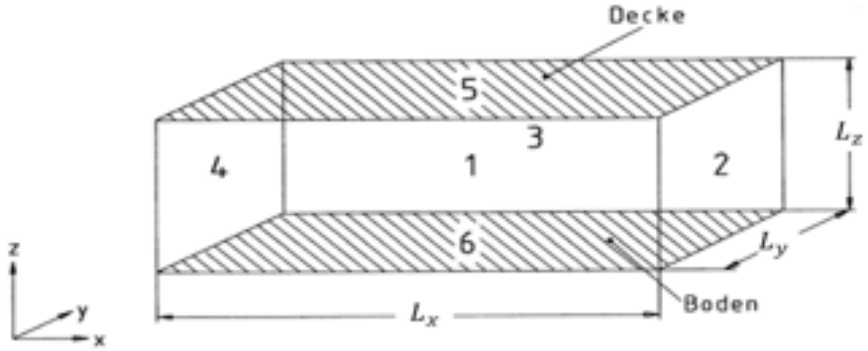
Xiaoru Zhou, Moritz Späh, Karlheinz Bay, Ting Zhang – Fraunhofer-Institut für Bauphysik

DAGA 2022 STUTTGART

Fraunhofer IBP

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Zur genaueren Prognose der Schallpegel L_p von Luftreinigergeräten in einem Raum wurde ein neues Berechnungsverfahren entwickelt. Es berücksichtigt die Absorberverteilung im Raum und ist es einfacher als die Verwendung von Spiegelschallquellenverfahren, wie in [1] empfohlen. Die Berechnung kann mit einem Tabellenkalkulationsprogramm erfolgen.



Einleitung

Zur genaueren Prognose der Schallpegel L_p von Luftreinigergeräten in einem Raum wurde ein neues Berechnungsverfahren entwickelt. Es berücksichtigt die Absorberverteilung im Raum und ist es einfacher als die Verwendung von Spiegelschallquellenverfahren, wie in [1] empfohlen. Die Berechnung kann mit einem Tabellenkalkulationsprogramm erfolgen.

Bild 1. Skizze und Wandnummerierung des Raumes

Klassische Berechnung nach VDI 3760

Der Schalldruckpegel L_p wird nach VDI 3760 [1] aus der Schallleistung L_w berechnet nach:

$$L_p = L_w + 10\lg(N) + Kor \quad (1)$$

Hier ist N die Anzahl gleichartiger Quellen und Kor ist ein Korrekturterm. Dieser ist nach [1]:

$$Kor_{Klassik} = 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4T}{0.161V}\right) \quad (2)$$

mit dem Abstand zur Quelle r in [m], der Sabine-Nachhallzeit T in [s], dem Volumen $V = L_x L_y L_z$ in [m³], siehe (Bild 1). Gleichung (2) ist ausreichend genau für würfelförmige bzw. kleine Räume mit gleichmäßig verteilter Absorption. Bei größeren flachen Räumen mit ungleichmäßiger Verteilung der Absorption, z.B. Räumen mit hochabsorb… Seitenwänden oder Decke, e… (2) eine größere Abweichung… bzw. ODEON-Simulationen.

Neues Rechenmodell

Der Korrekturterm Kor_{NeuM} … Situationen modifiziert:

$$Kor_{NeuM} = 10\lg\left(\frac{1}{\pi(2r)^{M_a}} + \frac{4T_a(1-\alpha_a)(1-\alpha_{za})}{0.161V}\right)$$

Der Parameter M_a beschreib… Schallausbreitung im Raum, … berechnet sich zu:

$$M_a = (1+\alpha_{za}) + (1-\alpha_{za})(1-\alpha_a)G_g^{G_F}$$

mit α_{za} dem mittleren Absor… Oberflächen in der Z-Dimens… wirksamen Absorption im Ra… „Gleichmäßigkeitsindikator" … Raumgeometrie G_g und eine… Nahfeldindikator G_F. Die Grö… den Einfluss der Raumform u… von der Raumhöhe L_z und α…

$$G_g = e^{(1-\alpha_a)\ln\left(\frac{L_z}{L}\right)}$$

Dabei ist $L = \sqrt[3]{V}$. Die Wert… 0 und 1. Der Nahfeld- Indika… Gleichung (4) gibt den Freife… einer Kugelwellenausbreitun… an:

[1] VDI 3760: 3760 Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen. Verein Deutscher Ingenieure, 1996, Berlin
[2] ODEON: https://odeon.dk/

„Simulation" aus ODEON, „Klassik" nach Gleichung (2), „NeuM" nach Gleichung (3) und als Referenz eine „Freifeld" Ausbreitung mit -6 dB bei Abstandsverdoppelung bezeichnet.

Für die Berechnung in Bild 2 wurden für den Quader (oben) und dem Flachraum (unten) mittlere Absorptionsgrade von α=0.04 (Nr. 1, grau dargestellter Raum), mittlere Absorptionsgrade α=0.20 (Nr. 2, hellbrauner Raum) und hohe Absorptionsgrade α=0.90 (Nr. 3, dunkel-brauner Raum), die gleichmäßig im Raum verteilt waren, angenommen. Für den Quader mit geringer mittlerer Absorption sind die Korrekturgrößen ähnlich, mit steigender Absorption und im Flachraum (Nr. 4, 5 und 6) ergibt $Kor_{Klassik}$ größere Abweichungen zur Simulation und zu Kor_{NeuM}.

In Bild 3 sind die Korrekturen für einen Quader und einen Flachraum mit hoch absorbierenden Wänden (α = 0,9) und geringer Absorption von Boden und Decke (α = 0,04) gezeigt. Hier ist die Abweichung von $Kor_{Klassik}$ mit der Simulation zum Teil erheblich. In allen Fällen ergibt Kor_{NeuM} eine deutlich bessere Übereinstimmung mit den Simulationen.

Um das Rechenmodell vollständig zu validieren, muss es in einem weiteren Schritt mit Messungen abgeglichen werden.

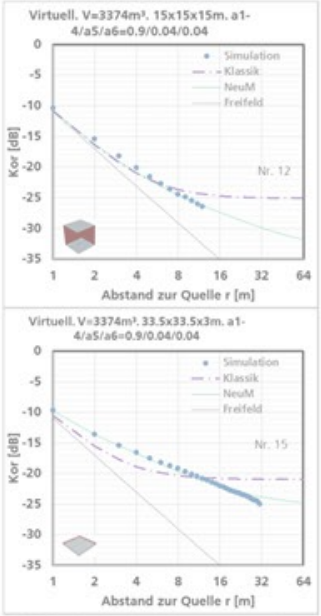


Bild 3. Quader (oben) und Flachraum (unten) mit ungleichmäßiger Verteilung der Absorption (a bezeichnet α)

Fazit

Die Ergebnisse des neuen Berechnungsmodells wurden mit Simulationen verglichen und liefern eine gute Übereinstimmung. Das neue Rechenmodell muss durch Messungen verifiziert werden.

 © Fraunhofer IBP

Fraunhofer IBP

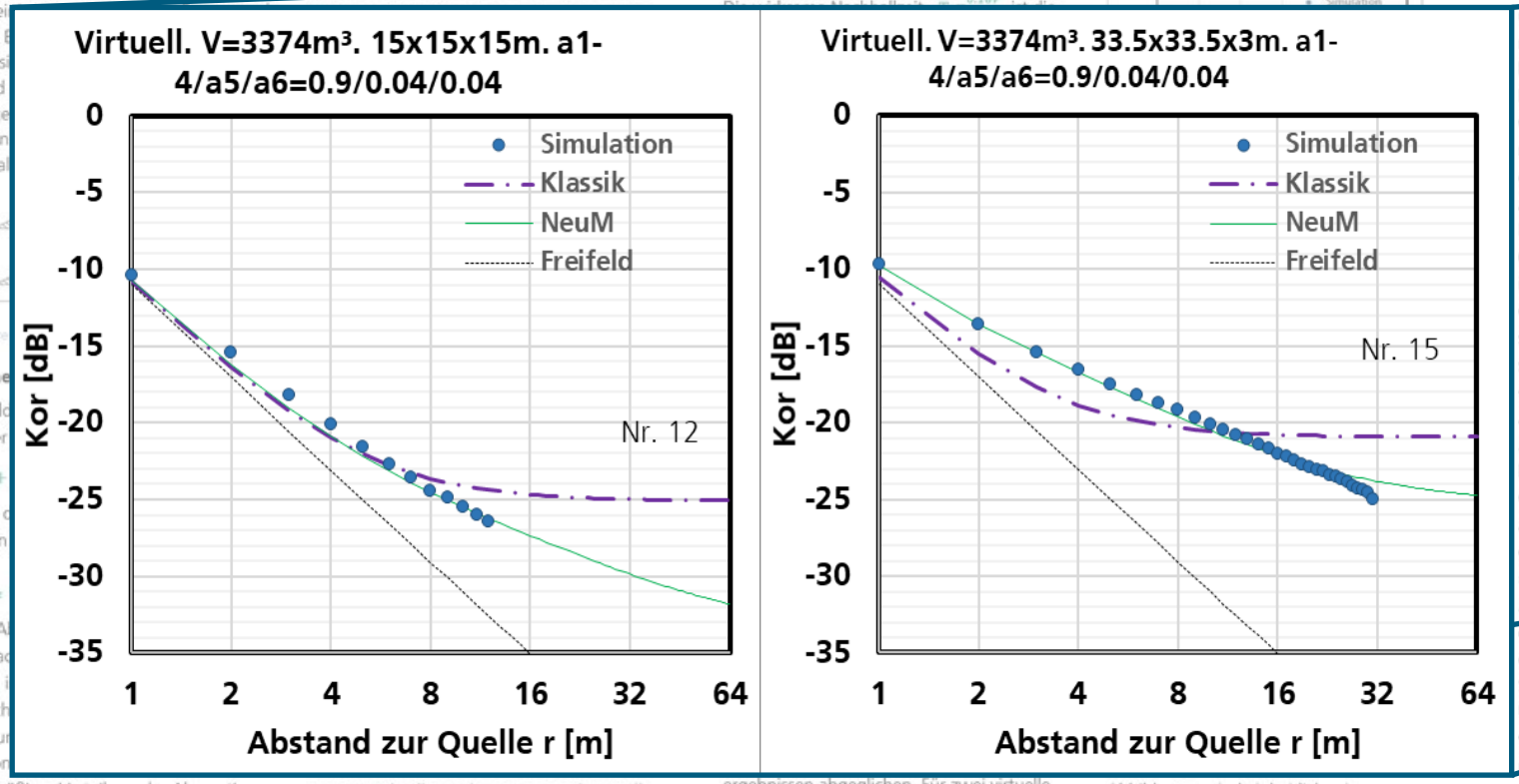
Berechnung der Schallpegel im Raum aus der Quellenleistung

Xiaoru Zhou, Moritz Späh, Karlheinz Bay, Ting Zhang – Fraunhofer-Institut für Bauphysik

DAGA 2022 STUTTGART

Fraunhofer IBP

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

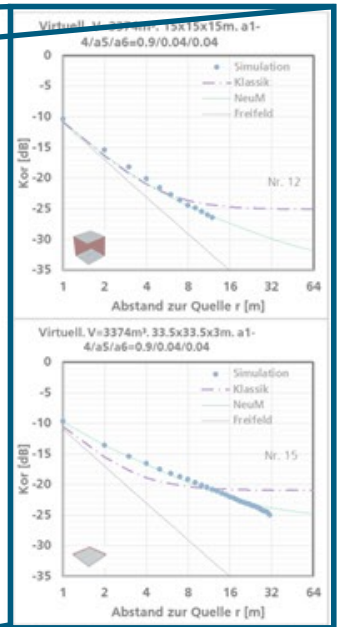


„Simulation" aus ODEON, „Klassik" nach Gleichung (2), „NeuM" nach Gleichung (3) und als Referenz eine „Freifeld" Ausbreitung mit -6 dB bei Abstandsverdoppelung bezeichnet.

Für die Berechnung in Bild 2 wurden für den Quader (oben) und dem Flachraum (unten) mittlere Absorptionsgrade von $\alpha=0.04$ (Nr. 1, grau dargestellter Raum), mittlere Absorptionsgrade $\alpha=0.20$ (Nr. 2, hellbrauner Raum) und hohe Absorptionsgrade $\alpha=0.90$ (Nr. 3, dunkel-brauner Raum), die gleichmäßig im Raum verteilt waren, angenommen. Für den Quader mit geringer mittlerer Absorption sind die Korrekturgrößen ähnlich, mit steigender Absorption und im Flachraum (Nr. 4, 5 und 6) ergibt $Kor_{Klassik}$ größere Abweichungen zur Simulation und zu Kor_{NeuM}.

In Bild 3 sind die Korrekturen für einen Quader und einen Flachraum mit hoch absorbierenden Wänden (α = 0,9) und geringer Absorption von Boden und Decke (α = 0,04) gezeigt. Hier ist die Abweichung von $Kor_{Klassik}$ mit der Simulation zum Teil erheblich. In allen Fällen ergibt Kor_{NeuM} eine deutlich bessere Übereinstimmung mit den Simulationen.

Um das Rechenmodell vollständig zu validieren, muss es in einem weiteren Schritt mit Messungen abgeglichen werden.



Fazit

Die Ergebnisse des neuen Berechnungsmodells wurden mit Simulationen verglichen und liefern eine gute Übereinstimmung. Das neue Rechenmodell muss durch Messungen verifiziert werden.

 © Fraunhofer IBP

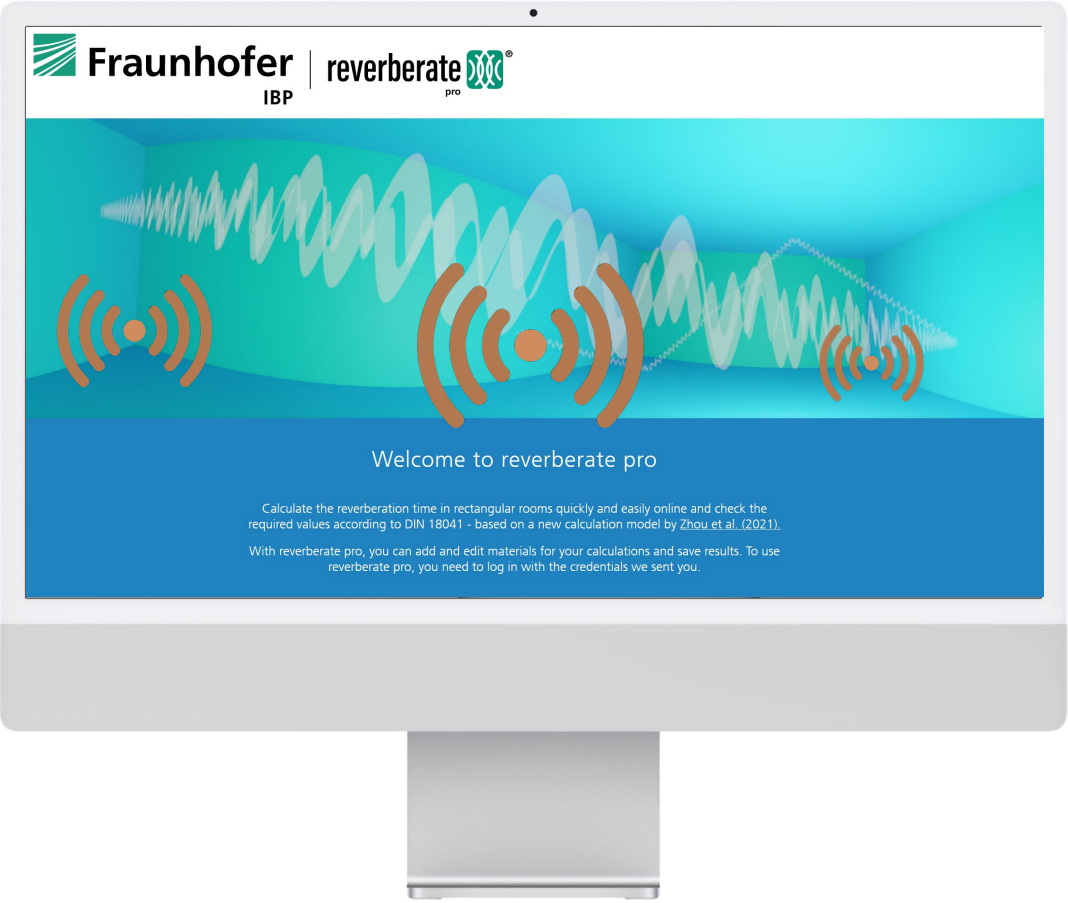
Fraunhofer IBP

Ausblick: Integration Quellenleistung in Auslegungs-Tool

Idee: Integration von Schallquellen in reverberate.

Berücksichtigung der konkreten Schallleistungspegel von Geräten

Interesse?
Bitte kommen Sie auf uns zu.



 © Fraunhofer IBP

Vielen Dank!

Prof. Dr. Gunnar Grün
Stv. Institutsleiter
Tel. +49 8024 643-228
gunnar.gruen@ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Fraunhofer Str. 10
83626 Valley
www.ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer IBP

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP