

---

# INFOVERANSTALTUNG »AKUSTIK VON LUFTREINIGUNGSGERÄTEN«

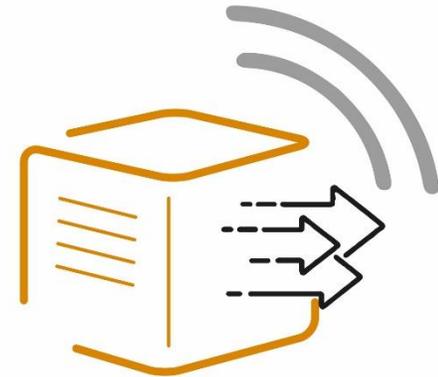
## KMU-akut »ReinluftAkustik«

27. Januar 2022

---



Reinluft  
AKUSTIK



# KMU-akut-Programm

## »Forschung für den Mittelstand«

### Grundidee:

- Stärkung der Innovationskraft der KMU
- Reduzierung negativer wirtschaftlicher Auswirkungen der Corona-Pandemie auf Forschungstätigkeiten der KMU



Dr. Markus Motz-Edel  
Interne Forschungsprogramme  
+49 89 1205-1224  
[markus.motz-edel@zv.fraunhofer.de](mailto:markus.motz-edel@zv.fraunhofer.de)

## »ReinluftAkustik«

- **Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart**
  - Technischer Schallschutz
- **Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Dresden**
  - Technische Akustik Strukturodynamik / Aktive Ventilatoransteuerung
- **Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Darmstadt**
  - Regelungstechnik / Adaptronik / Aktiver Schallschutz ANC
- **Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT, Ilmenau**
  - Elektroakustik / Auralisation



© Fraunhofer

# Agenda

## ■ Anforderungen und Problemstellung

- Normen, Richtlinien und Empfehlungen
- Messverfahren

## ■ Maßnahmen:

- Beeinflussung von Quellen
- Passiver Schallschutz
- Aktiver Schallschutz

## ■ Auralisation

# Anforderungen und Problemstellung

# Mobile elektrische Luftreinigungsgeräte

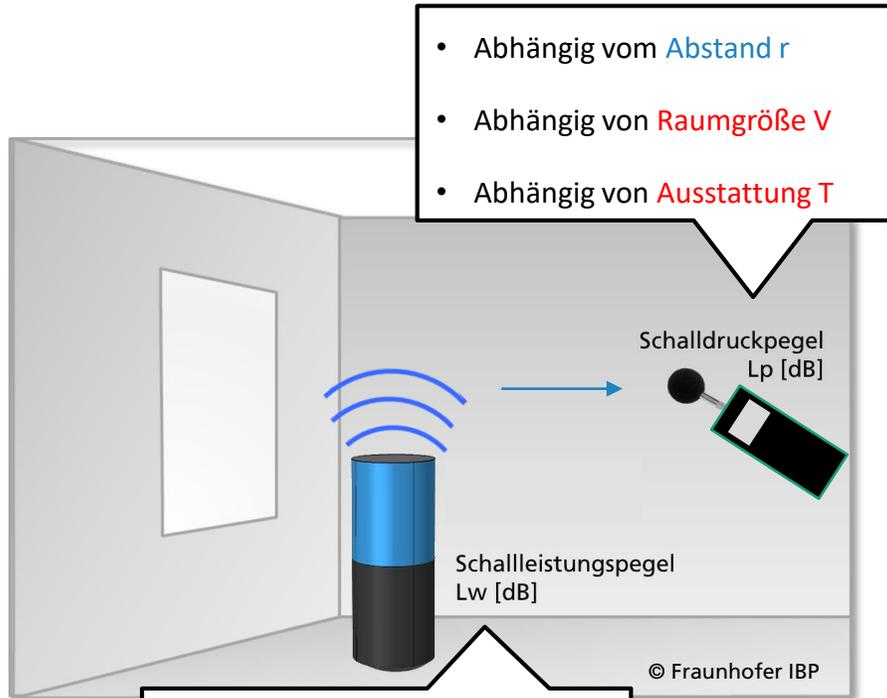
## Wie laut dürfen Luftreinigungsgeräte sein ?

Die Grenzwerte sind abhängig von der Raumnutzung

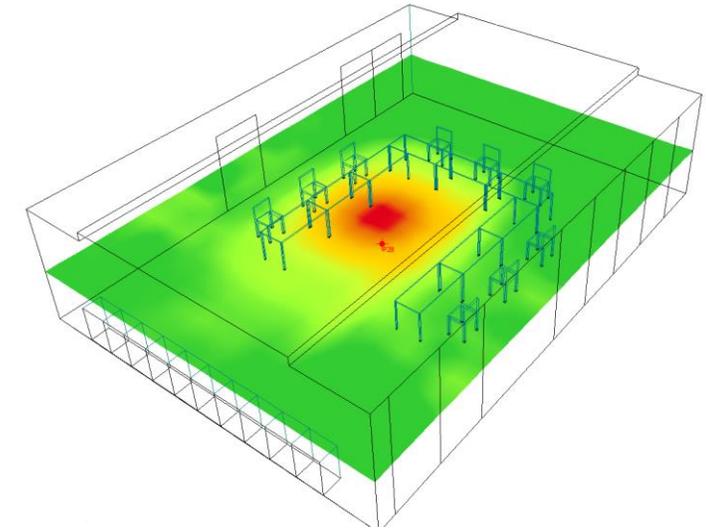
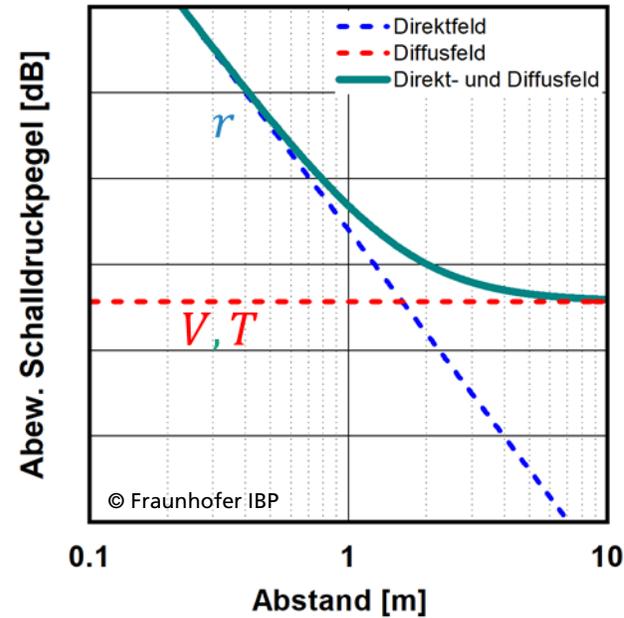
### Empfehlungen für A-bew. Schalldruckpegel in Klassenräumen

VDI 2081	RLT-Anlagen, Klassenraum $\leq 35$ dB(A), ....
VDI 2569	Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro, Klasse A $\leq 30$ dB(A), Klasse B $\leq 35$ dB(A), Klasse C $\leq 40$ dB(A)
ASR A3.7	Techn. Regeln für Arbeitsstätten, Klassenraum $\leq 35$ dB(A), Zweipersonenbüro $\leq 40$ dB(A), Großraumbüro $\leq 45$ dB(A)
VDI-EE 4300 Blatt 14	<b>EXPERTENEMPFEHLUNG</b> , Messen von Innenraumluftverunreinigungen Anforderungen an mobile Luftreiniger zur Reduktion der aerosolgebundenen Übertragung von Infektionskrankheiten  ASR A3.7 einhalten und „mindestens eine Leistungsstufe muss einen Wert $\leq 35$ dB(A) aufweisen“  VDI-EE 4300 ... vierfacher Luftwechsel empfohlen ....

# Schalleistungspegel und Schalldruckpegel im Raum



- Kennzeichnet Quelle eindeutig
- Unabhängig von Umgebung



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

## Praxisgerechte Abschätzung der Korrekturwerte Position frei im Raum

Nachhallzeit [s]	Raumvolumen [m <sup>3</sup> ]	Diffusfeld 1 m Abstand [dB]	Diffusfeld 2 m Abstand [dB]	Diffusfeld [dB]
0.5	50	-4	-5	-6
	100	-6	-8	-9
	200	-7	-10	-12

# Empfehlung für A-bew. Schalldruckpegel durch RLT-Anlagen

Raumart	Beispiel	A-bewerteter Schalldruckpegel $L_{pA}$ in dB(A) Anforderungen		Richtwert in dB(A) <sup>g)</sup>	Mittlere Nachhallzeit in s
		hoch	niedrig		
Arbeitsräume	Einzelbüro	30	35	35	0,5
	Großraumbüro	35	45	45	0,5
	Werkstatt	50	b)	b)	1,5
	Labor	35	52 <sup>e)</sup>	50	2,0
Versammlungs- räume	Konzertsaal, Opern- haus	25 <sup>f)</sup>	30 <sup>f)</sup>	h)	1,8
	Theater, Kino	30	35	35	0,8
	Konferenzraum	30	40	35	1,0
Wohnräume	Hotelzimmer	30 <sup>d)</sup>	35 <sup>d)</sup>	35 <sup>d)</sup>	0,5
Sozialräume	Ruheraum, Pausen- raum	30	35	35	1,0
	Wasch-, WC-Raum	40	50	45	2,0
Unterrichtsräume	Lesesaal, Bibliothek	30	35	30	1,3
	Klassen-, Seminarraum	30	35	35	0,5
	Hörsaal	30	35	35	1,3
Krankenhäuser (gemäß DIN 1946-6)	Flure	35	45	40	1,0
	Operationssäle <sup>a)</sup>	48	48	48	2,0
	Stationen	25	35	35	1,5
	Bettenraum	25	35	30	1,0
Räume mit Publikumsverkehr	Museum	30	35	30	1,5
	Restaurant, Gaststätte	35	50	45	1,0
	Verkaufsraum	40	50	45	1,0
Sportstätten	Turn- und Sporthalle	45	50	45	1,3
	Schwimmhalle	45	50	45	1,3
Sonstige Räume	Rundfunkstudio	15 <sup>e)</sup>	25 <sup>e)</sup>	i)	0,5
	Fernsehstudio	25 <sup>e)</sup>	30 <sup>e)</sup>	i)	0,8
	Schutzraum	45	55	55	2,0
	EDV-Raum	45	60	50	1,0
	Reiner Raum	45	65	55	1,5
	Küche	50	60	55	1,5

Beispiel	Parameter
<b>Klassenraum</b> Mittlere Nachhallzeit Raumvolumen Abstand <b>Empfehlung</b> A-bew. Schalldruckpegel	$0.5 \text{ s}$ $200 \text{ m}^3$ $2 \text{ m}$
<b>Empfehlung Luftaustausch</b> Innenraumlufthygiene Kommission	4-faches Raumvolumen
<b>Mobiler Luftreiniger</b> bei einem Volumenstrom  maximaler <b>A-bew. Schalleistungspegel</b>	$800 \text{ m}^3/\text{h}$  $35 + 10 = 45 \text{ dB(A)}$

VDI 2081 Blatt 1, März 2019 Raumluftechnik - Geräuscherzeugung und Lärminderung. Tabelle 5.

VDI-EE 4300 Blatt 14 Messen von Innenraumluftverunreinigungen Anforderungen an mobile Luftreiniger zur Reduktion der aerosolgebundenen Übertragung von Infektionskrankheiten. September 2021

# Mobile elektrische Luftreiniger

Interpretation  
Schallleistungsgrößen  
in eckiger Klammer

Anforderung an mobile Luftreinigungsgeräte für Förderung  
Verweis auf Räume Kategorie 2 (UBA) und VDI-EE 4300 September 2021\*

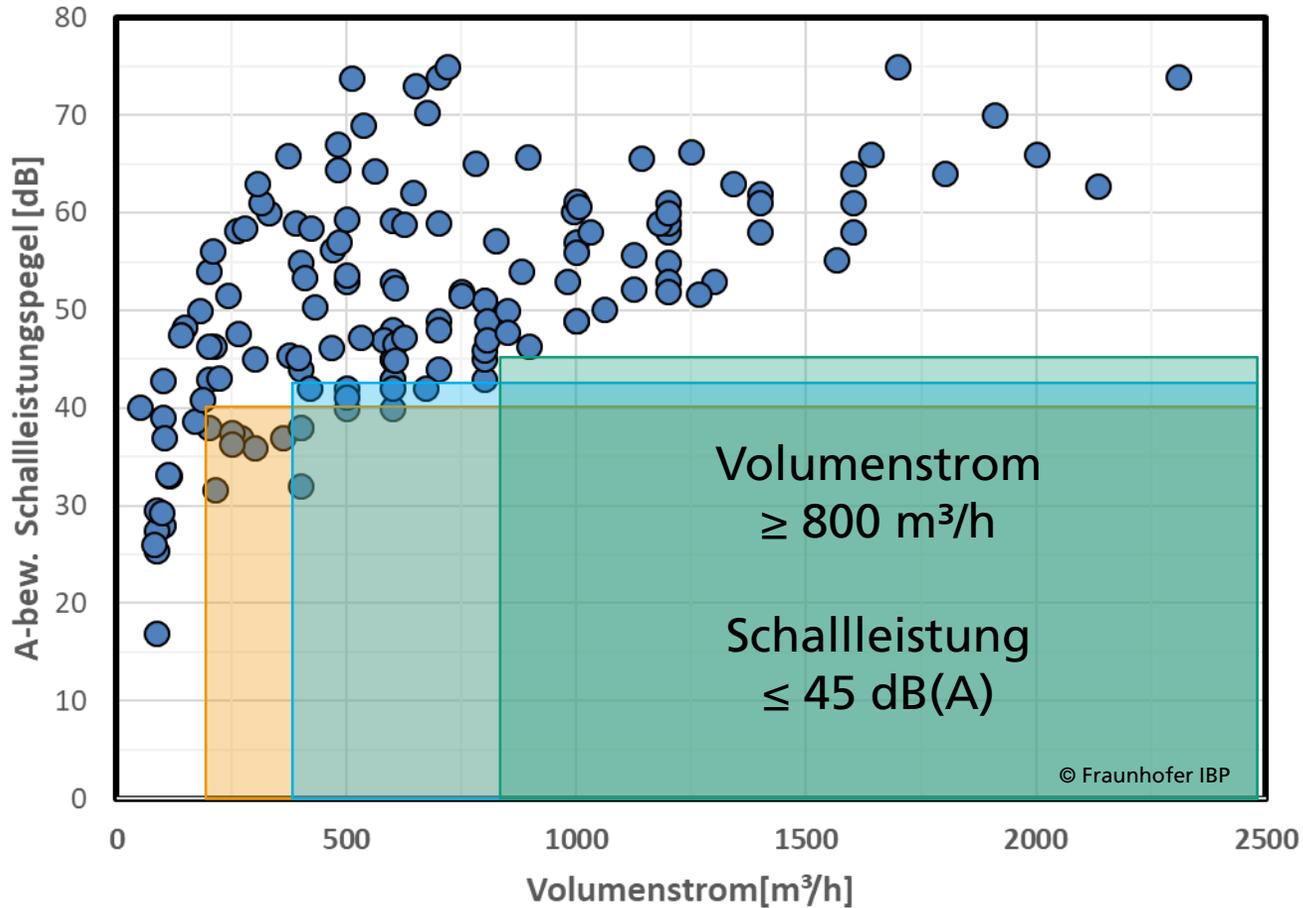
Bundesland	Schalldruckpegel	Abstand vom Gerät	Schallleistung	Volumenstrom Raumvolumen	Anmerkung
Bayern	$\leq 40 \text{ dB(A)}$		$[\leq 50 \text{ dB(A)}]$	5-fach (bis 6-fach)	Stand 14. Juli 2021
Baden-Württemberg	$\leq 35 \text{ dB(A)}$	2.5 m	$\leq 45 \text{ dB(A)}$ $\leq 43 \text{ dB(A)**}$	min. 5-fach (bis 6-fach)	Stand 29. Juli 2021 ** bei mäßiger Raumakustik
Schleswig-Holstein	$\leq 35 \text{ dB(A)}$		$[\leq 45 \text{ dB(A)}]$	4-fach	Stand 25. August 2021
Rheinland-Pfalz	$\leq 35 \text{ dB(A)*}$		$[\leq 45 \text{ dB(A)}]$	4-fach*	Stand 27. August 2021
Niedersachsen	$\leq 35 \text{ dB(A)}$		$[\leq 45 \text{ dB(A)}]$	4-fach*	Stand 30. August 2021
Sachsen ...	$\leq 35 \text{ dB(A)}$		$[\leq 45 \text{ dB(A)}]$	4-fach*	Stand 25. Oktober 2021

## VDI-EE 4300

- 4.3 ... für Schulen beträgt der zulässige **Schalldruckpegel 35 dB(A) an jeder Stelle des Raums** (Abw. 2 dB)
- 5.6 ... **Schalleistungspegel** der Luftreiniger in **Abhängigkeit des Luftvolumenstrom** angeben  
... **die Umrechnung der Schalleistung in den Schalldruckpegel ergibt sich nach VDI 2081 Blatt 1**
- 5.8 ... **mindestens eine Leistungsstufe muss einen Wert  $\leq 35 \text{ dB(A)}$  aufweisen**  
... der bzw. die Luftreiniger... **4-fache Raumvolumen an von Keimen gereinigter Luft**

# Punktwolke und Anforderungen – Klassenraum

VDI-EE 4300



## 4-facher 'Luftwechsel'

### Einzelgerät:

Volumenstrom  $\geq 800 \text{ m}^3/\text{h}$   
Schalleistung  $\leq 45 \text{ dB(A)}$

### Alternative: 2 Geräte

Volumenstrom je Gerät  $\geq 400 \text{ m}^3/\text{h}$   
Schalleistung je Gerät  $\leq 42 \text{ dB(A)}$

### Alternative: 3 Geräte

Volumenstrom je Gerät  $\geq 266 \text{ m}^3/\text{h}$   
Schalleistung je Gerät  $\leq 40 \text{ dB(A)}$

Für einen Klassenraum mit  $200 \text{ m}^3$  Volumen (4-facher 'Luftwechsel') und einem Schalldruckpegel von  $\leq 35 \text{ dB(A)}$

# Messverfahren

# Akustische Charakterisierung von Luftreinigungsgeräten

## Normen für Luftreinigungsgeräte

### DIN EN 63086-1: 2021-06

Elektrische Luftreiniger für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Messung der Gebrauchseigenschaften - Teil 1: Allgemeine Anforderungen

### DIN EN 60704-1:2010-12

Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke - Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission – Teil 1: Allgemeine Anforderungen

### VDI-EE 4300 Blatt 14:2021-09 (EXPERTENEMPFEHLUNG)

Messen von Innenraumluftverunreinigungen  
Anforderungen an mobile Luftreiniger zur Reduktion der aerosolgebundenen Übertragung von Infektionskrankheiten



## Normierte Messverfahren zur Bestimmung der Schalleistung

### DIN EN ISO 3740:2019-08

Akustik - Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen - Leitlinien zur Anwendung der Grundnormen

### DIN EN ISO 3741:2011-01

Akustik - Bestimmung der Schalleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Hallraumverfahren der Genauigkeitsklasse 1

IBP

### DIN EN ISO 3743-1:2011-01

Akustik - Bestimmung der Schalleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 für kleine, transportable Quellen in Hallfeldern - Teil 1: Vergleichsverfahren in einem Prüfraum mit schallharten Wänden

### DIN EN ISO 3745:2017-10

Akustik - Bestimmung der Schalleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Verfahren der Genauigkeitsklasse 1 für reflexionsarme Räume und Halbräume

### DIN EN ISO 3744:2011-02

Akustik - Bestimmung der Schalleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene

# Akustische Charakterisierung von Luftreinigungsgeräten

## Anfragen zur Messung der Schalldruckpegel in 1m Abstand

### Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz

#### DIN EN ISO 11201

Akustik - Geräuschabstrahlung von Maschinen und Geräten - Bestimmung von Emissions-Schalldruckpegeln am Arbeitsplatz und an anderen festgelegten Orten in einem im Wesentlichen freien Schallfeld über einer reflektierenden Ebene mit vernachlässigbaren Umgebungskorrekturen

#### DIN EN ISO 11203

Akustik - Geräuschabstrahlung von Maschinen und Geräten - Bestimmung von Emissions-Schalldruckpegeln am Arbeitsplatz und an anderen festgelegten Orten aus dem Schalleistungspegel

### DIN EN ISO 11203

Bestimmung der Emissions-Schalldruckpegel an Arbeitsplätzen und anderen, sich in der Nähe befindenden, festgelegten Orten von Maschinen und Geräten durch Berechnung aus dem Schalleistungspegel fest.

### DIN EN ISO 11201 - Einleitung

... Beim Betreiben einer Maschine in einem Raum sind zur Bestimmung des Schalldruckpegels am Ort der Bedienungsperson sowohl der Schalleistungspegel als auch der Schalldruckpegel erforderlich ...

# Volumenstrom

## Messverfahren zur Bestimmung des Volumenstroms

**DIN EN 16211** Lüftung von Gebäuden – Luftvolumenstrommessung in Lüftungssystemen – Verfahren unter anderen **Messungen mit Strömungshaube -> Luftdurchlässe**

**DIN EN 12599** Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumlüfttechnischer Anlagen

**DIN EN ISO 5801** Ventilatoren – Leistungsmessung auf genormten Prüfständen (Kompensationsverfahren)



# Akustische Charakterisierung von Luftreinigungsgeräten

[www.ibp.fraunhofer.de/de/kompetenzen/akustik/technischer-schallschutz-fahrzeugakustik.html](http://www.ibp.fraunhofer.de/de/kompetenzen/akustik/technischer-schallschutz-fahrzeugakustik.html)

## Highlightprojekte

- [Healthy Air Initiative](#)
- [Fraunhofer IBP vs. Corona](#)
- [Projekt »ReinluftAkustik«](#)

## Weitere Informationen

- [Virtueller Laborrundgang Stuttgart: Akustische Labore](#)  (hoki.ibp.fraunhofer.de)
- [Forschungs- und Beratungsprogramm für gesunde Raumluft](#) 



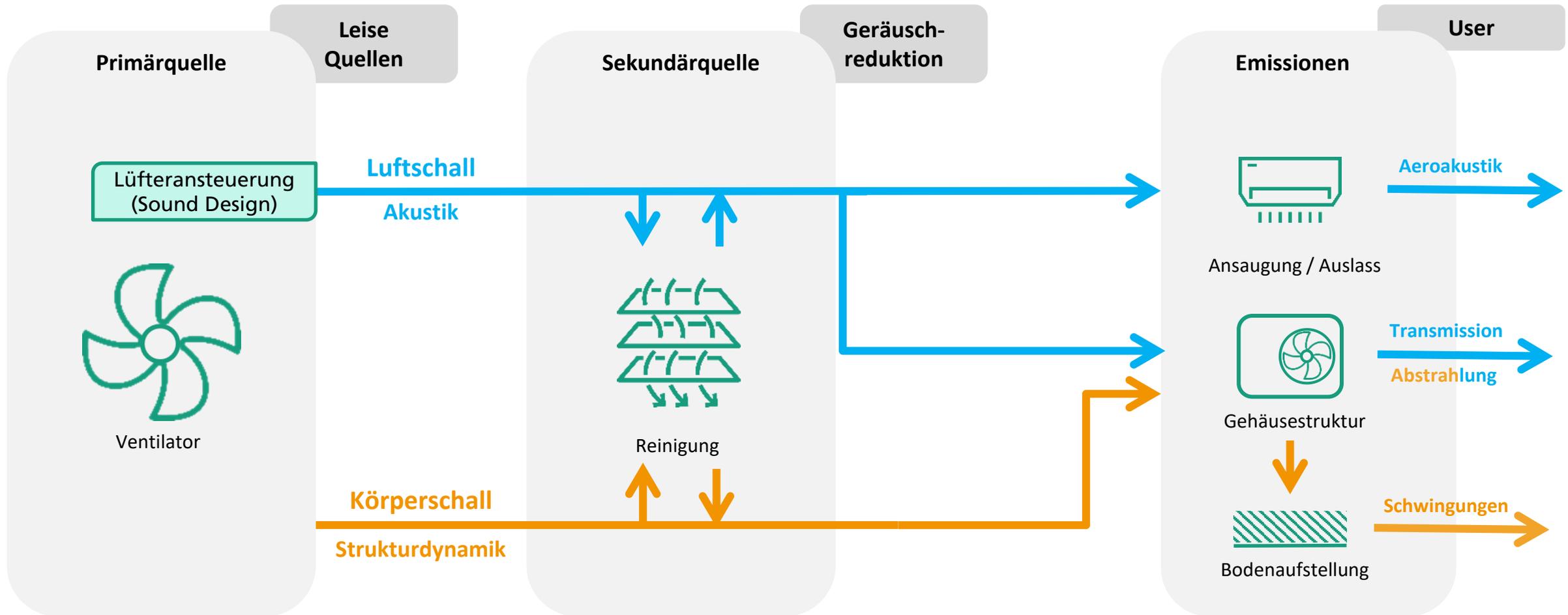
© Fraunhofer IBP

## Akustische Charakterisierung von Luftreinigungsgeräten

- [Video »Akustische Charakterisierung von Luftreinigungsgeräten«](#) 

# Maßnahmen

# Quellen und Transferpfade in Lüftungs- und Luftreinigungsgeräten



# Gegenmaßnahmen an der Quelle

## Lüfteransteuerung (Schallreduktion, Sound Design)

### ■ Ausgangspunkt

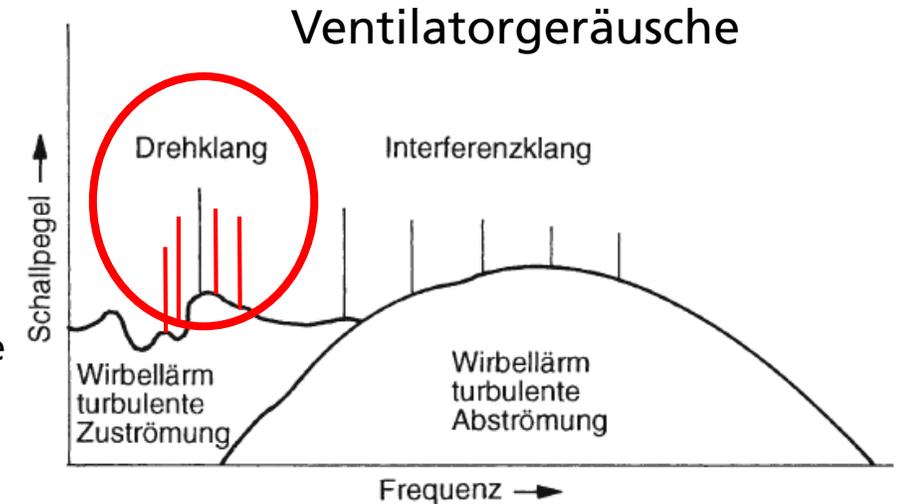
- Drehklang eines Ventilators ist meist der Hauptschallbeitrag
- Schmalbandiger, tonaler Geräuschcharakter entsteht durch die periodische Rotation der Ventilatorschaufeln

### ■ Lösungsansatz

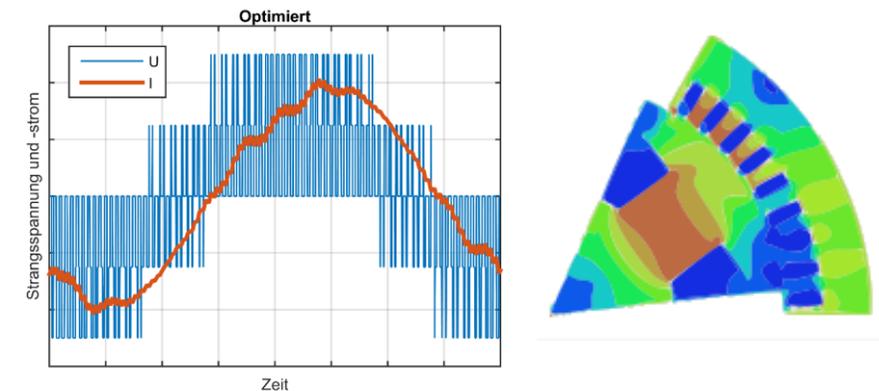
- Reduktion des Drehklangs und der magnetischen Geräusche durch optimierte Lüfteransteuerung
- Erzeugung eines angenehmen Klangs mit Hilfe von Sounddesign des Lüftergeräusches durch zusätzliches Einspeisen von Stromoberwellen respektive abgestrahlten Geräuschanteilen des Lüfters

### ■ Wirkung

- Wirkfrequenzbereich: mittel
- Effizienz: mittel-hoch (zusätzlich eingespeiste Stromoberwellen können Einfluss auf Wirkungsgrad haben)
- Kosten: hoch (höherwertige Leistungselektronik notwendig)
- Nachrüstlösung: ja

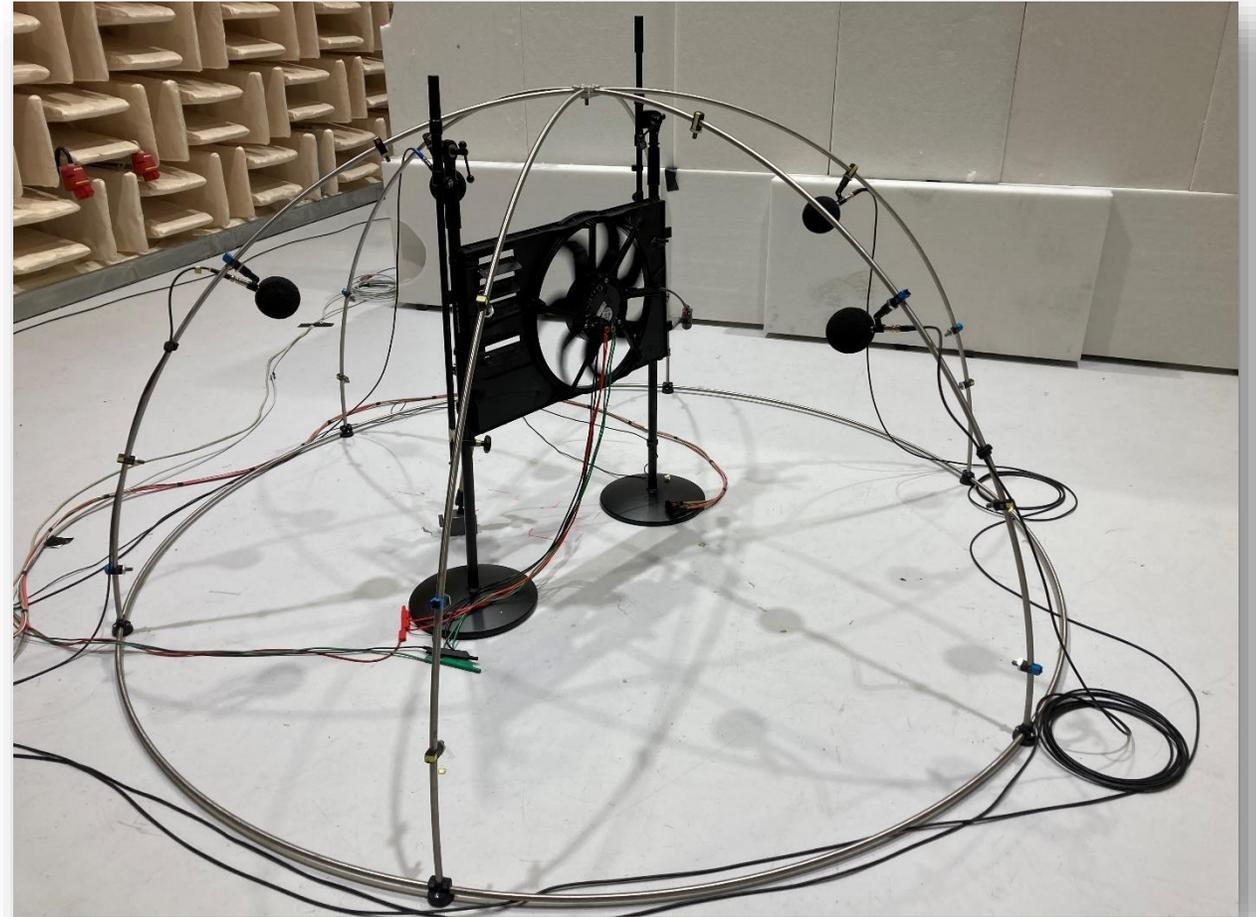


Quelle: W. Schirmer: Technischer Lärmschutz



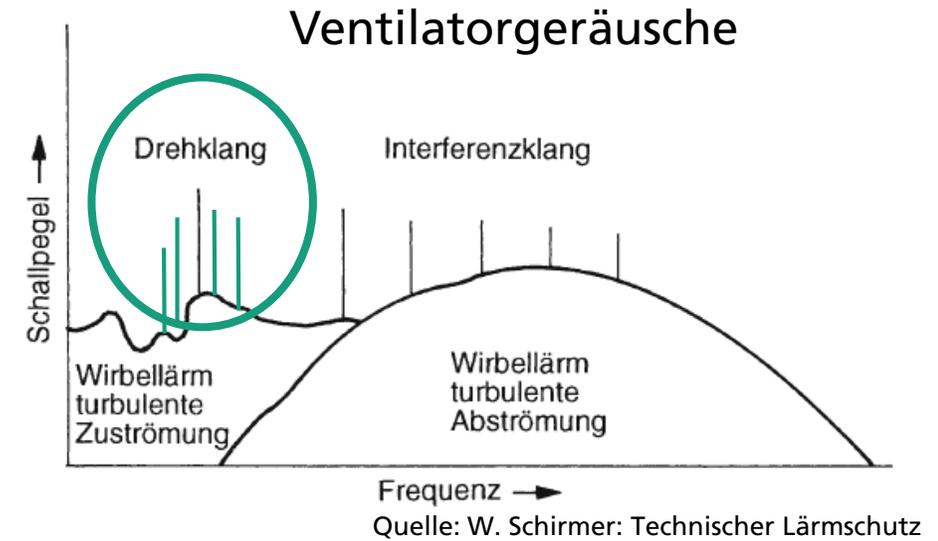
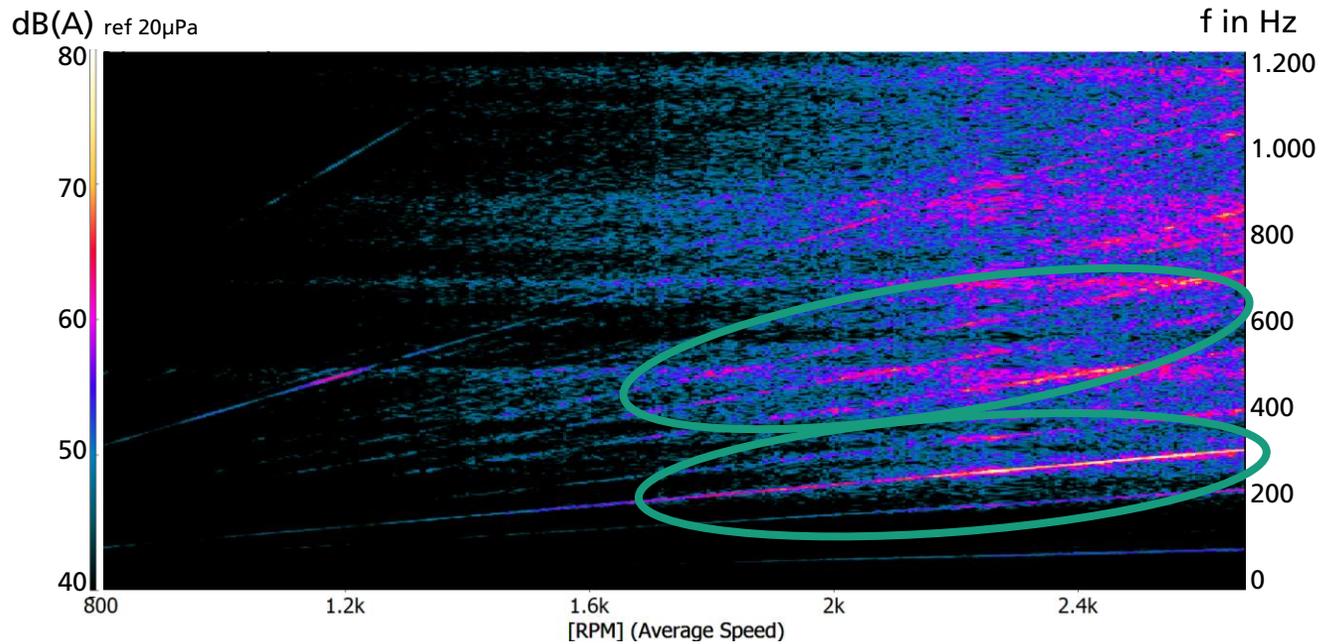
# Gegenmaßnahmen an der Quelle Lüfteransteuerung (Schallreduktion, Sound Design)

- Versuchsaufbau am Fraunhofer IWU
  - Kühlerlüfter-Modul aus Pkw
  - 7 Lüfterblätter, asymmetrisch verteilt
  - Ansteuerung über PWM-Signal
  - Lüftermotor und Lüfterrad in reflexionsarmen Raum
  - 4 Mikrofone auf Halbkugelfläche



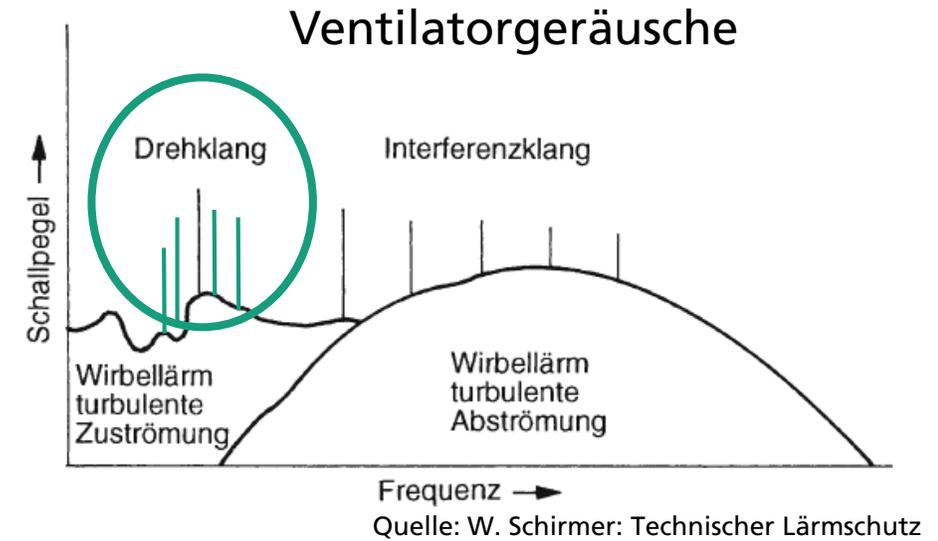
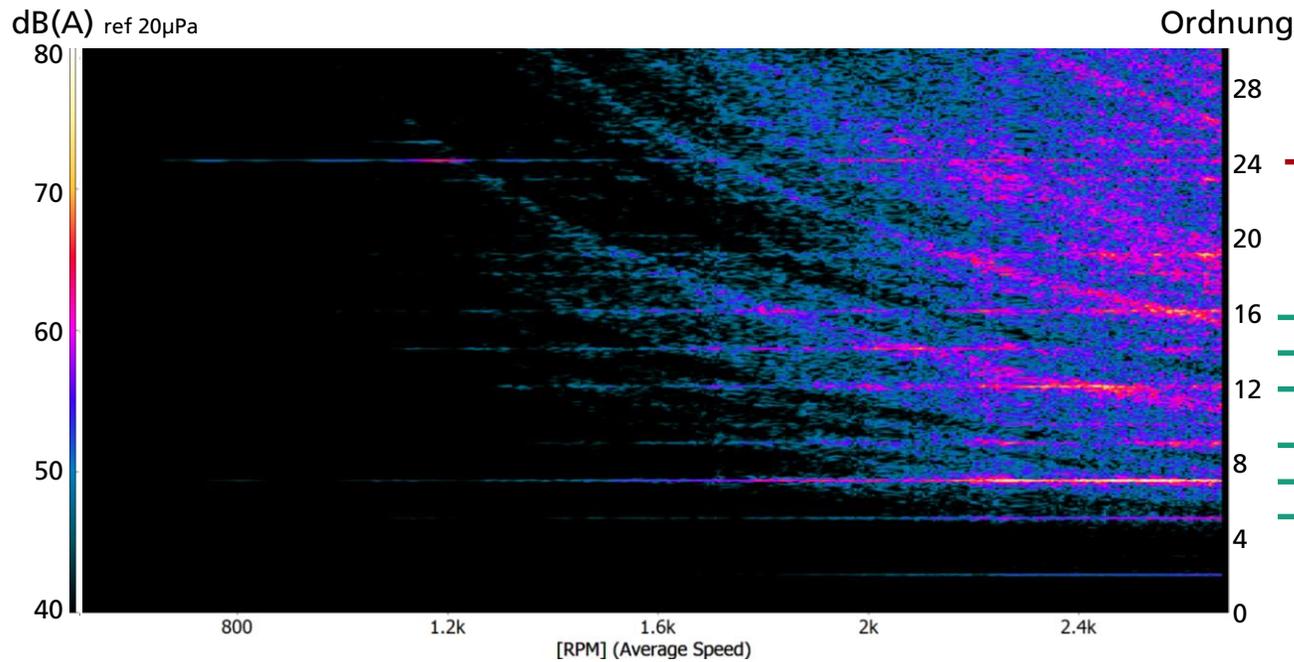
# Gegenmaßnahmen an der Quelle Lüfteransteuerung (Schallreduktion, Sound Design) Ausgangsmessung

- Mikrofonposition Motorachse, Saugseite

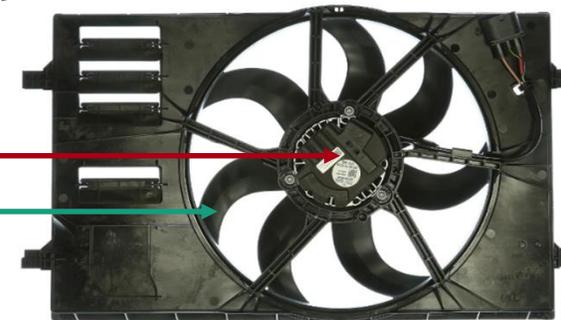


# Gegenmaßnahmen an der Quelle Lüfteransteuerung (Schallreduktion, Sound Design) Ausgangsmessung

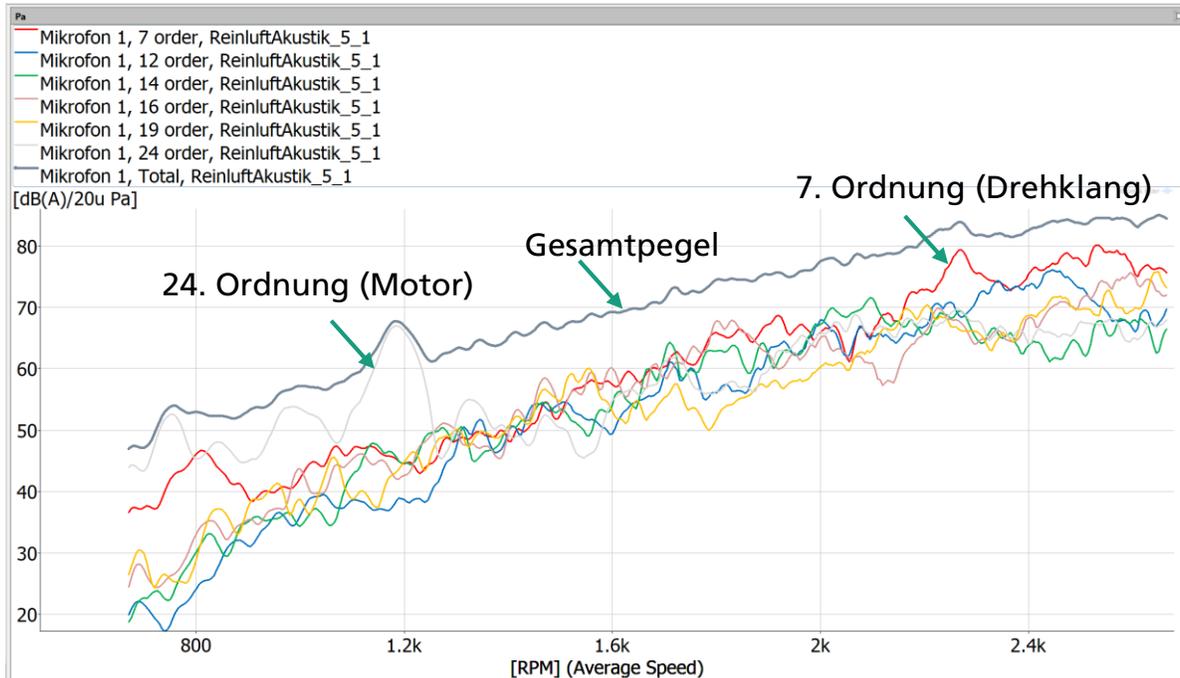
- Mikrofonposition Motorachse, Saugseite



Magnetische Geräusche  
Drehklang



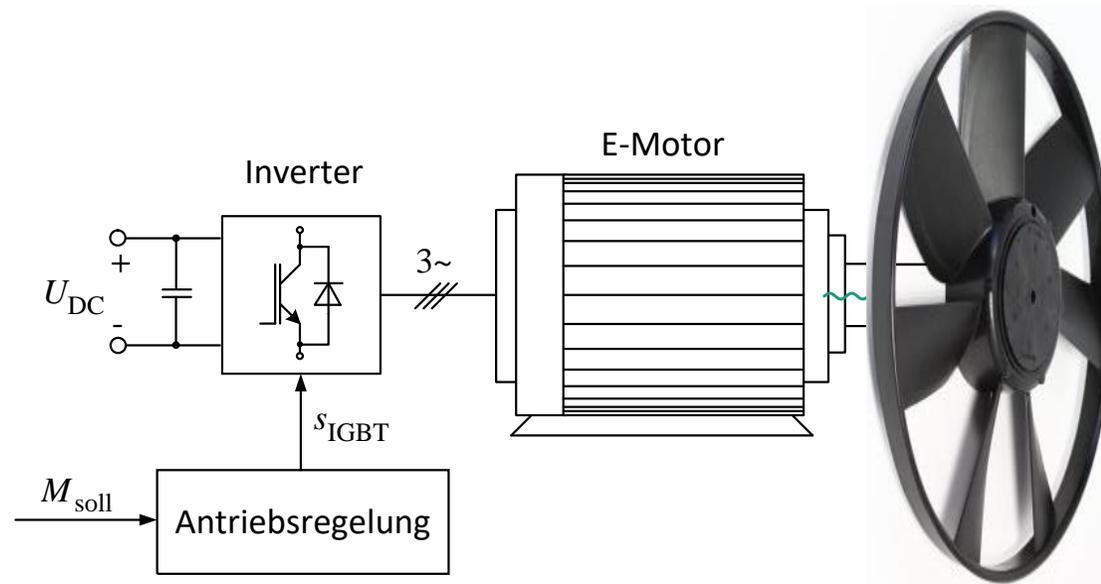
# Gegenmaßnahmen an der Quelle Lüfteransteuerung (Schallreduktion, Sound Design) Ausgangsmessung



- Drehklang und Harmonische Motor
- bei niedrigen Drehzahlen:
  - 24. Ordnung dominant und pegelrelevant
  - Resonanzüberhöhung bei 1200 rpm
- bei mittleren und hohen Drehzahlen:
  - 7. Ordnung dominant und tlw. pegelrelevant
  - weitere markante Ordnungen
- Drehklang breitbandig verteilt durch asymmetrische Schaufelverteilung

# Gegenmaßnahmen an der Quelle Lüfteransteuerung (Schallreduktion, Sound Design)

- Kompensation von Ordnungen angekoppelter Systeme (z. B. Drehklang Lüfter) mit Hilfe des E-Motors

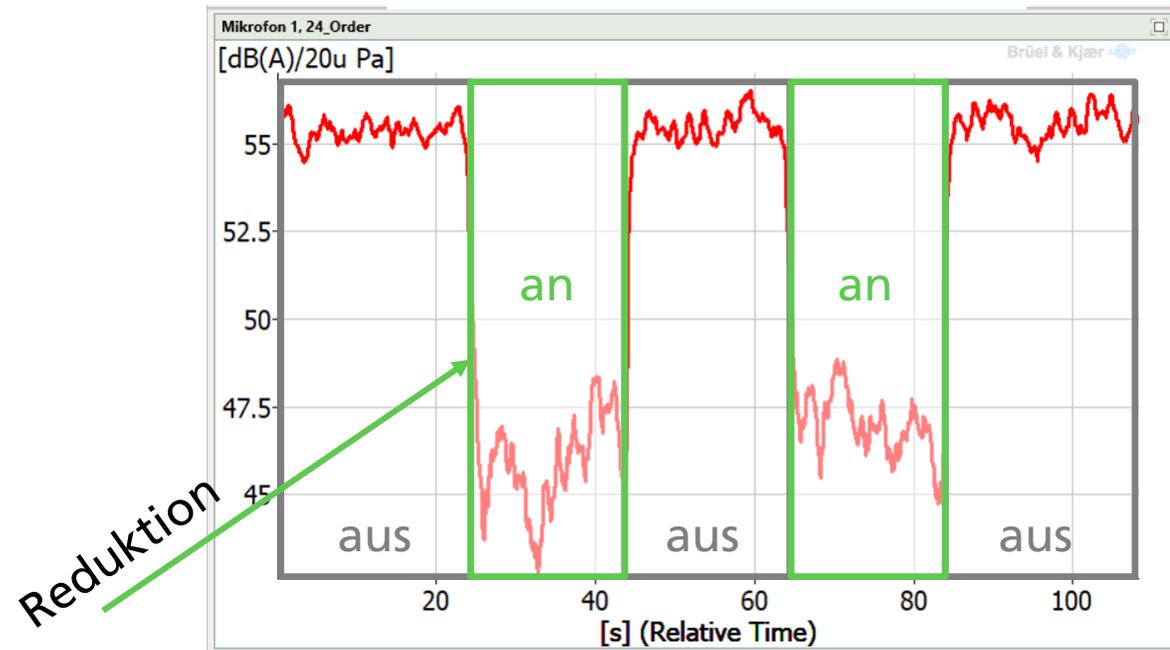


- Eingriff in die Antriebsregelung zur Generierung eines oszillierenden Drehmoments
- Gesteuerter oder geregelter Betrieb der aktiven Schwingungskompensation

# Gegenmaßnahmen an der Quelle Lüfteransteuerung (Schallreduktion, Sound Design) Optimierte Ansteuerung



## Regelung auf 24. Ordnung

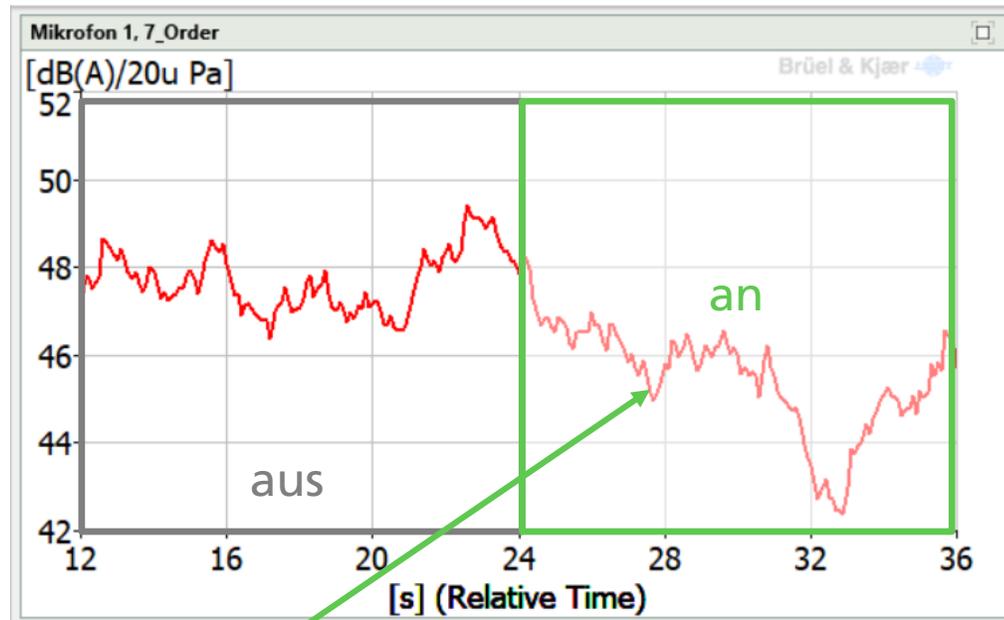


- Motorordnung (24)
- Einspeisen eines gegenphasigen Wechselmoments
- Einspeisen von Stromoberwellen
  - Optimierung für 24. Ordnung bei 1.180rpm
- Mit Optimierung:
  - Reduktion Ordnungspegel um bis zu 15 dB (abhängig vom Betriebspunkt)
  - Reduktion Gesamtpegel um bis zu 6 dB

# Gegenmaßnahmen an der Quelle Lüfteransteuerung (Schallreduktion, Sound Design) Optimierte Ansteuerung



Regelung auf 7. Ordnung



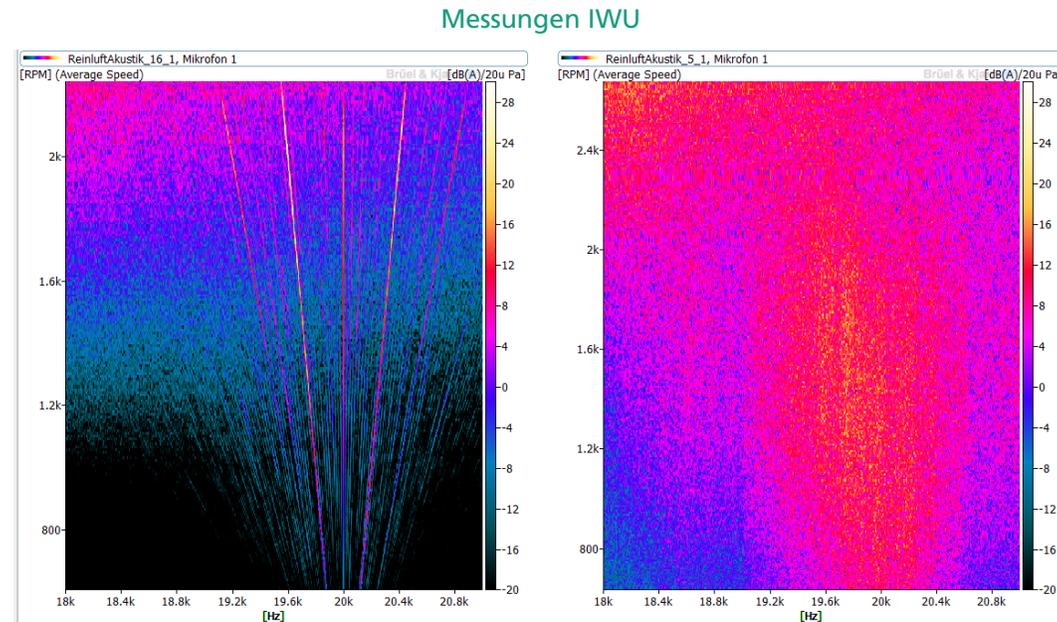
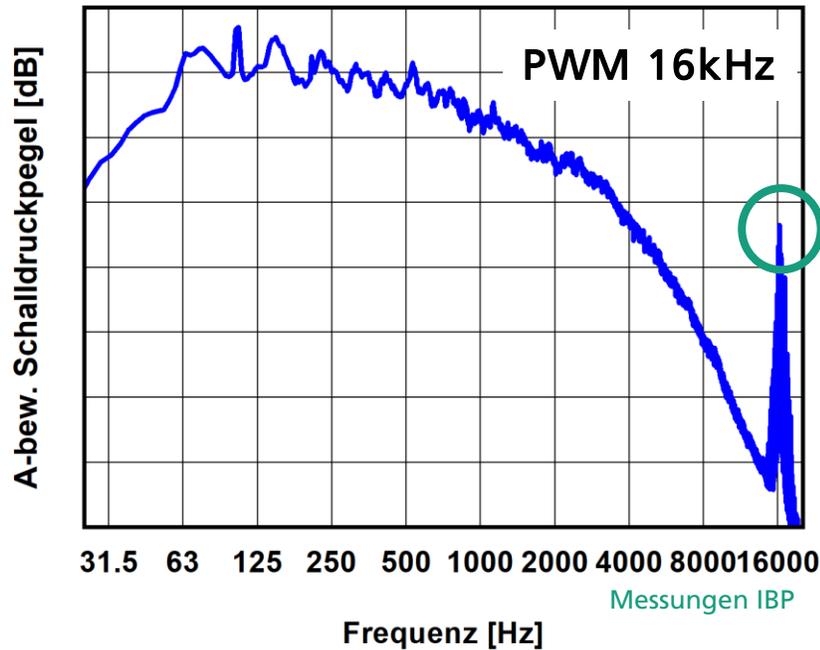
Reduktion

- Schaufelordnung (7)
- Einspeisen eines gegenphasigen Wechsellmoments
- Einspeisen von Stromoberwellen
  - Optimierung für 7. Ordnung bei 1.180rpm
- Mit Optimierung:
  - Reduktion Ordnungspegel um bis zu 5 dB

# Gegenmaßnahmen an der Quelle

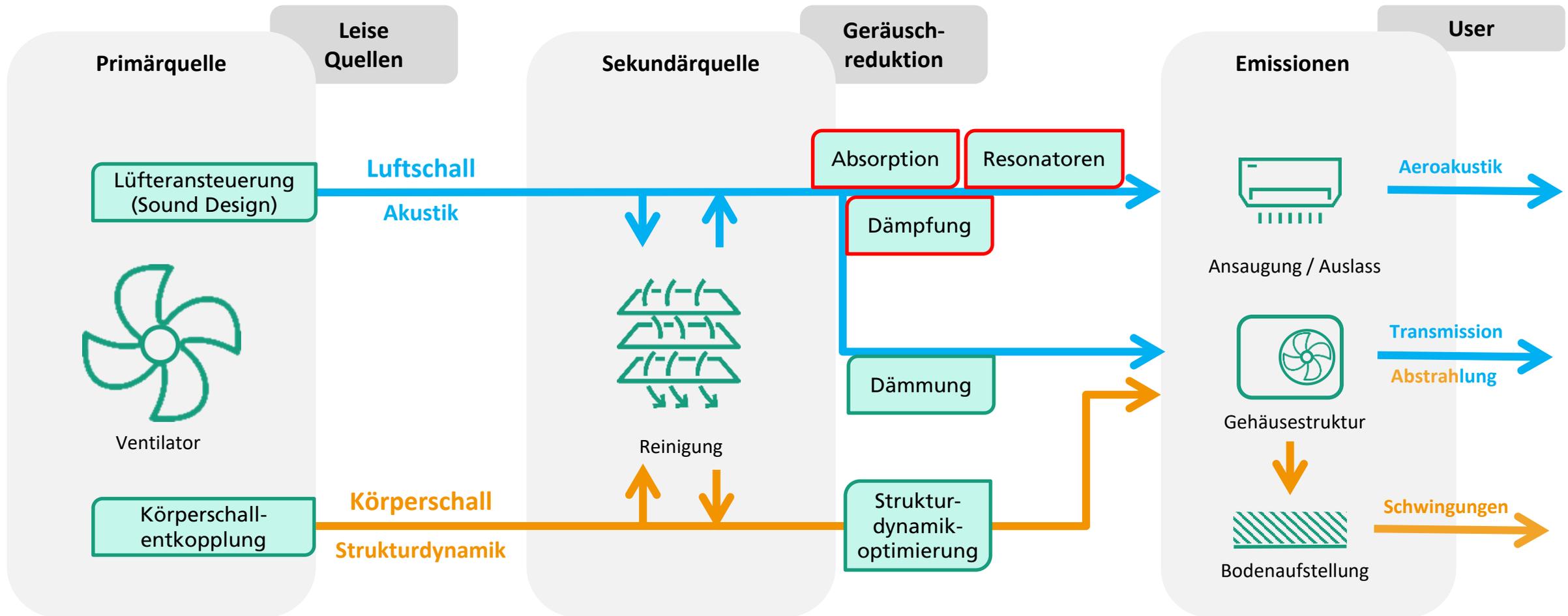
## PWM-Frequenz

- Hochfrequente PWM-Frequenzen können bei 16kHz noch hörbare Anteile enthalten



- Abhilfe möglich z.B. durch
  - Erhöhung der PWM-Frequenz in nicht-hörbaren Bereich
  - randomisierte PWM-Frequenz, bei der tonales Verhalten verändert wird

# Quellen und Transferpfade in Lüftungs- und Luftreinigungsgeräten



# Maßnahme Schalldämpfung Ansaug- und Ausströmöffnungen

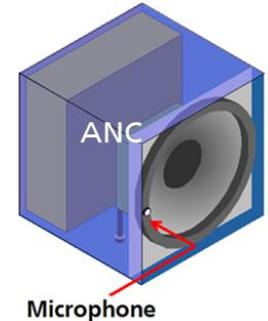
## ■ Absorber

- Wirkfrequenzbereich: breitbandig
- Effizienz: abhängig vom Durchmesser, Absorberdicke und Länge
- Kosten: gering
- Nachrüstlösung: ja

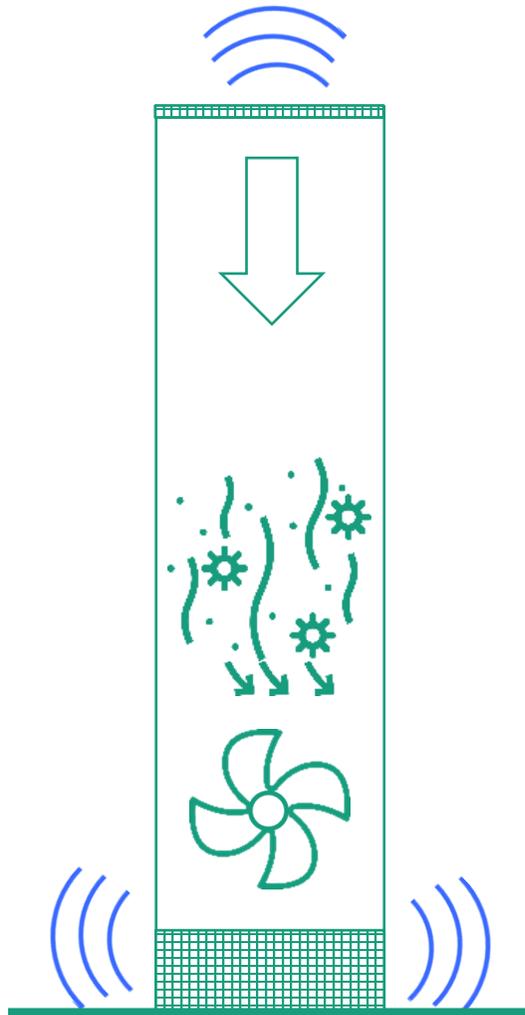


## ■ Resonatoren

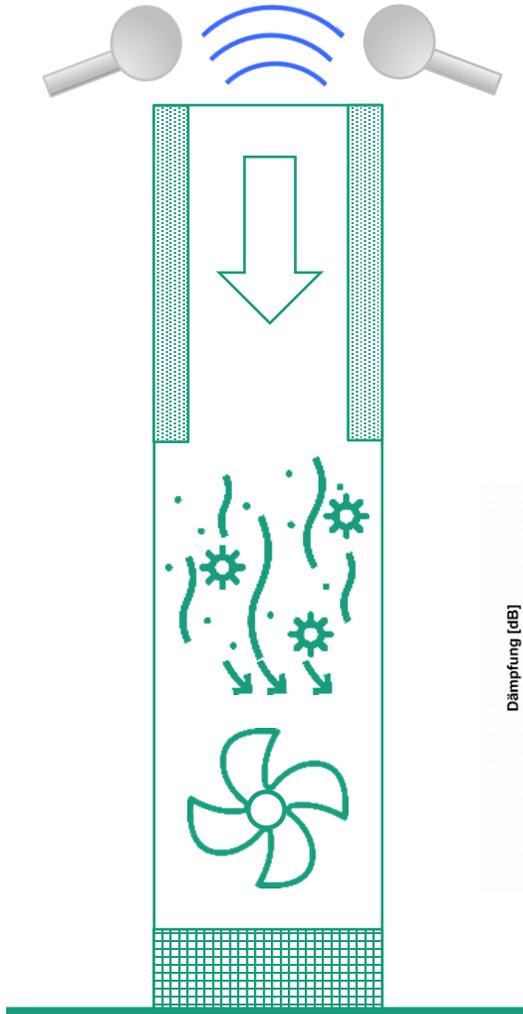
- Wirkfrequenzbereich: schmal bis mittel
- Effizienz: hoch
- Kosten: mittel/hoch
- Nachrüstlösung: ja



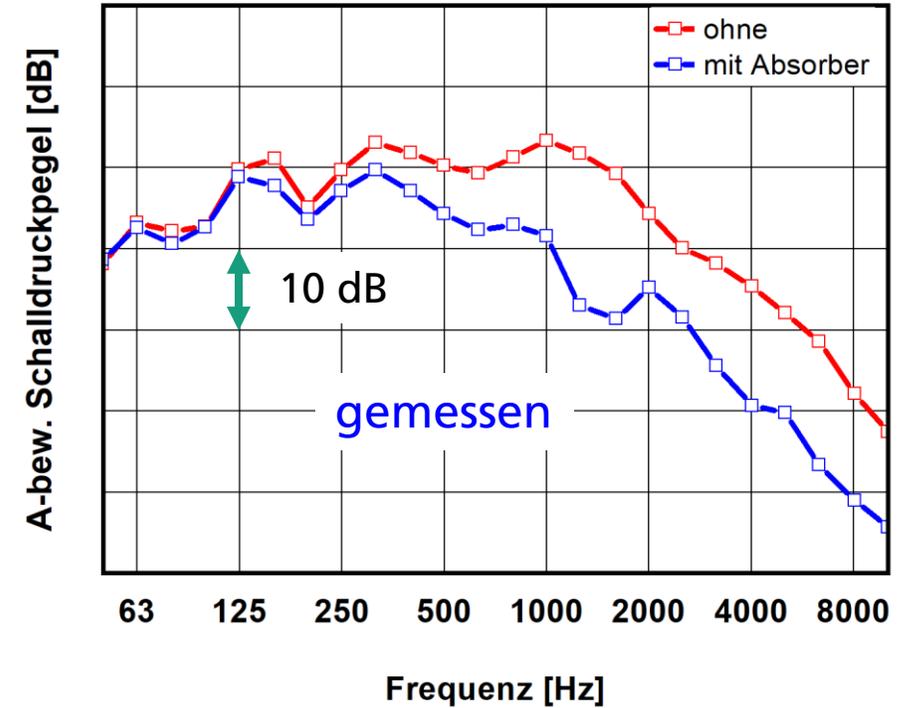
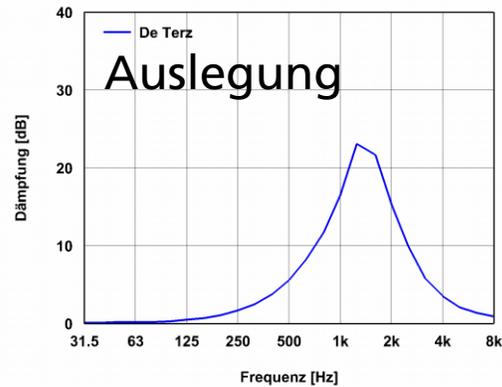
# Luftreiniger Inaktivierendes Gerätesysteme – UV-C



# Saugseitige Pegelminderung Poröser Absorber – Anregung Ventilator

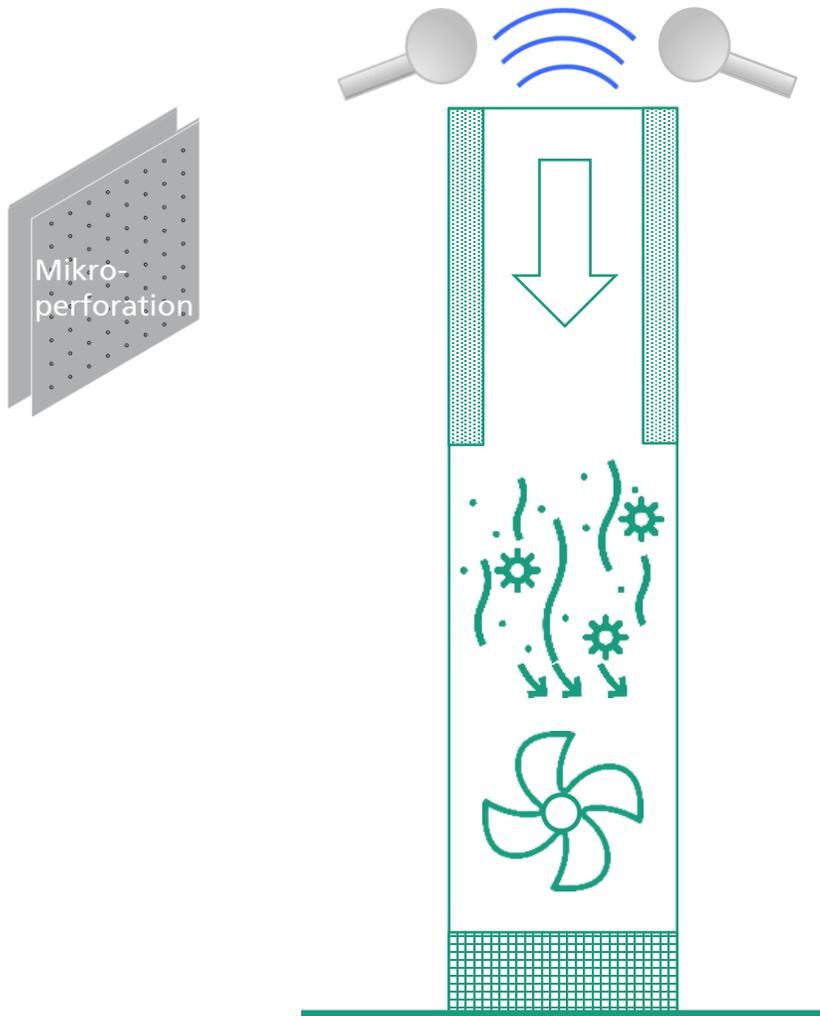


Absorber  
Dicke 20 mm  
Länge 900 mm

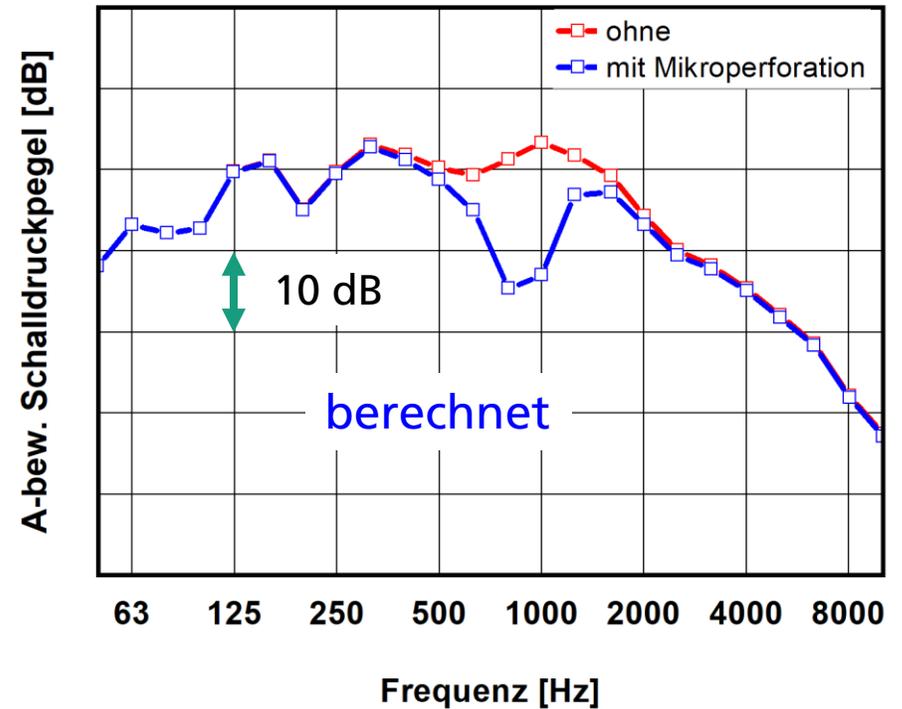
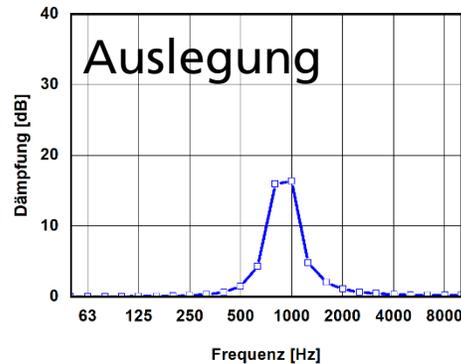


Pegelreduktion 5 dB(A)

# Saugseitige Pegelminderung (Auslegung) Mikroperforation



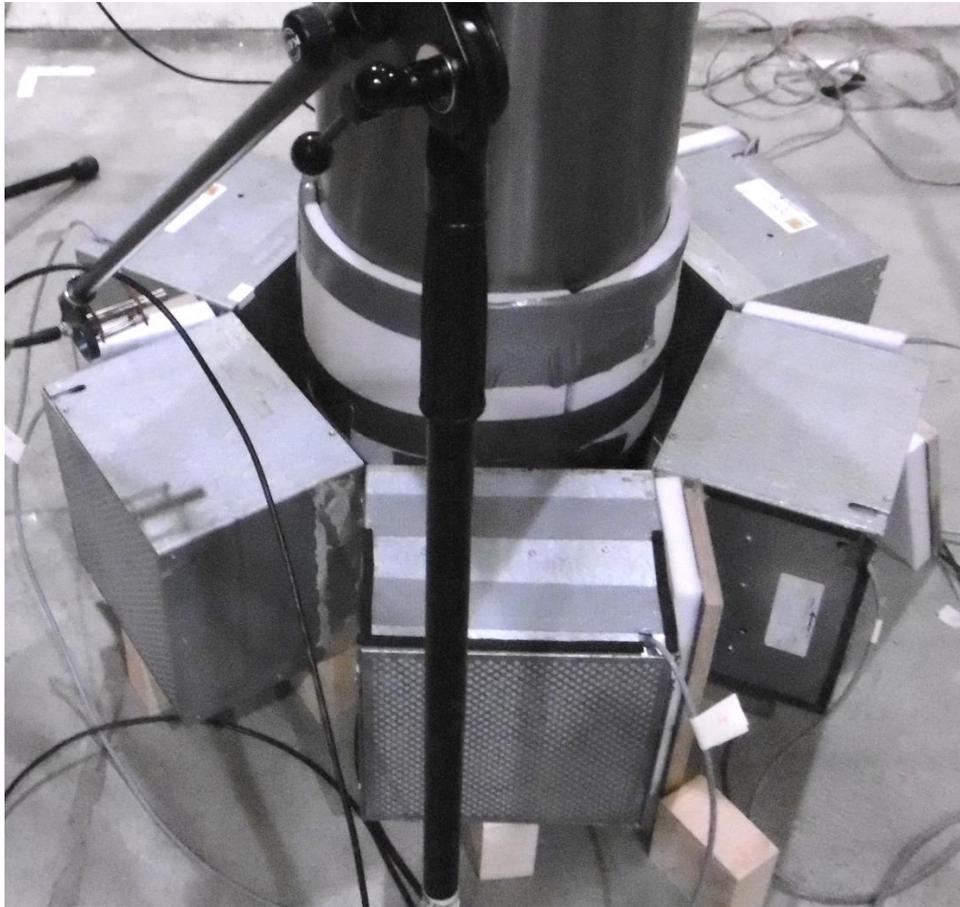
Mikroperforation  
Abstand 20 mm  
Länge 900 mm



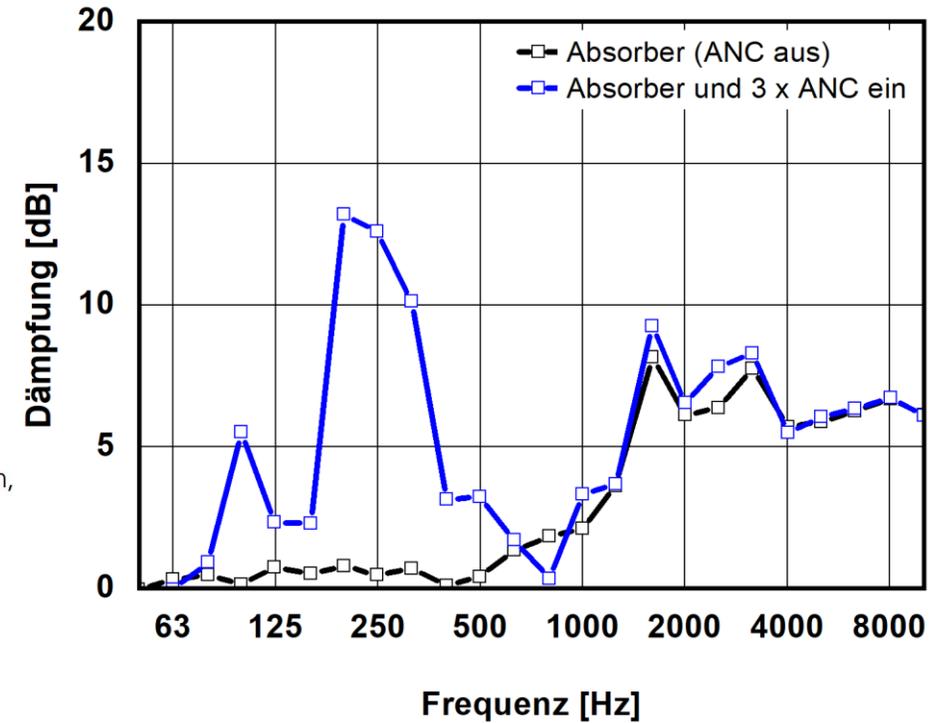
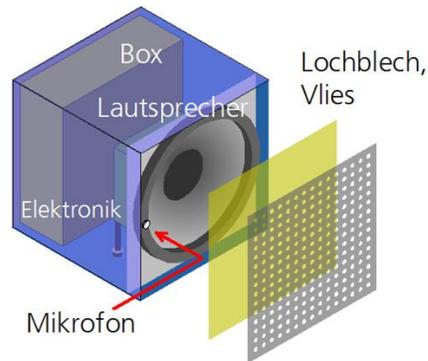
Pegelreduktion 2 dB(A)

# Dämpfung bei Lautsprecheranregung

## Aktive Resonator Schalldämpfer



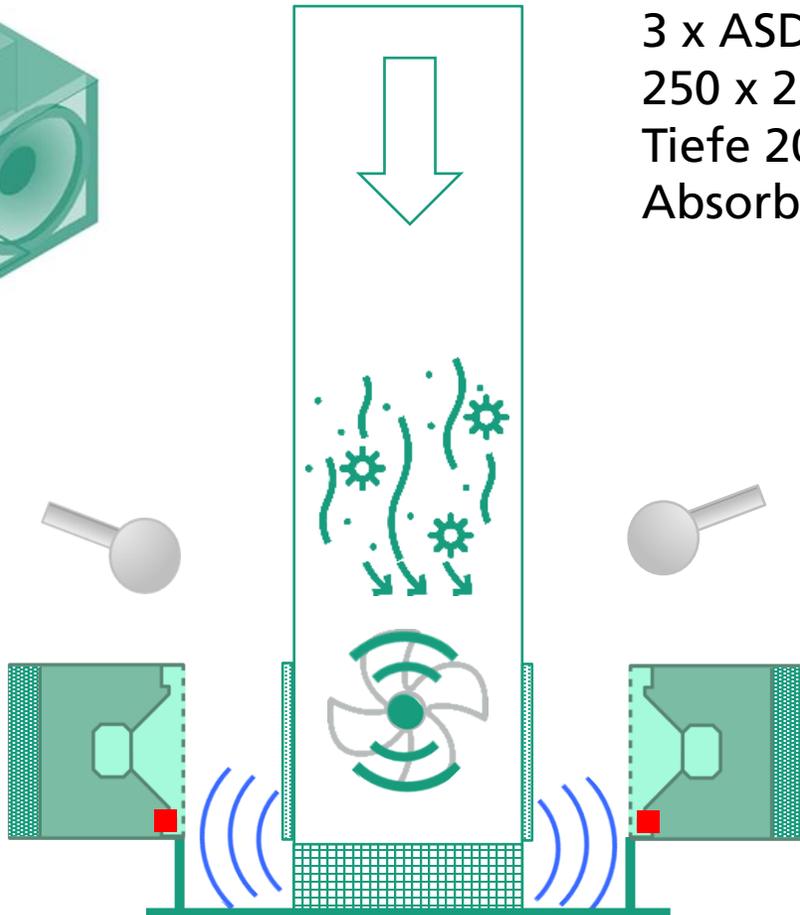
ASD-Kassette  
250 x 250 mm  
Tiefe 200 mm  
Absorber 20 mm



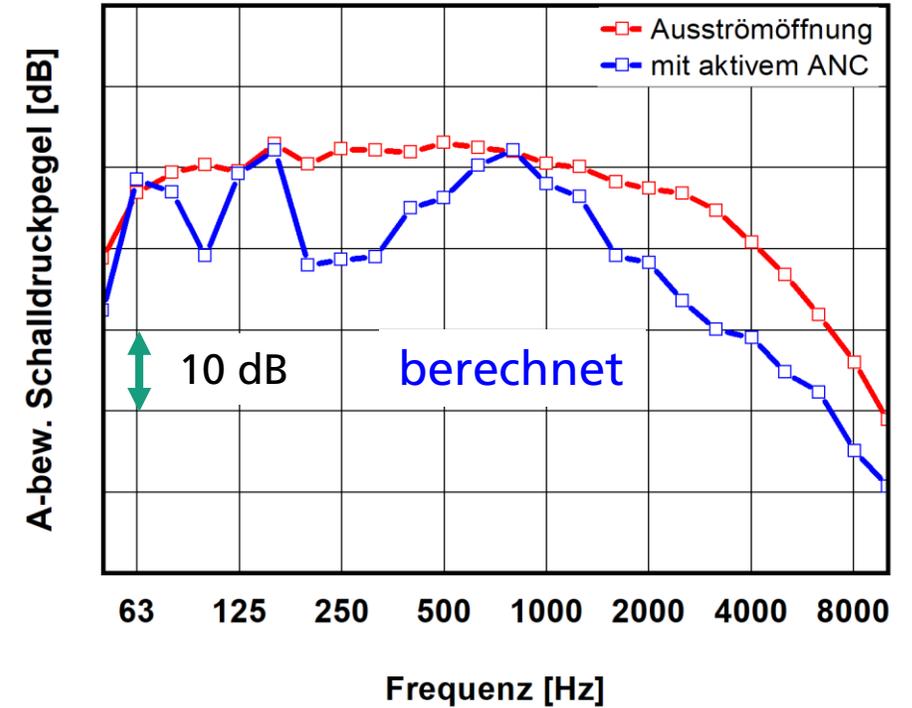
Auf Grund starker Strömungsgeräusche am Mikrofon  
Messung mit Lautsprecheranregung (ohne Strömung)

# Aktive Resonator Schalldämpfer

## Rechnerische Abschätzung der Pegelminderung

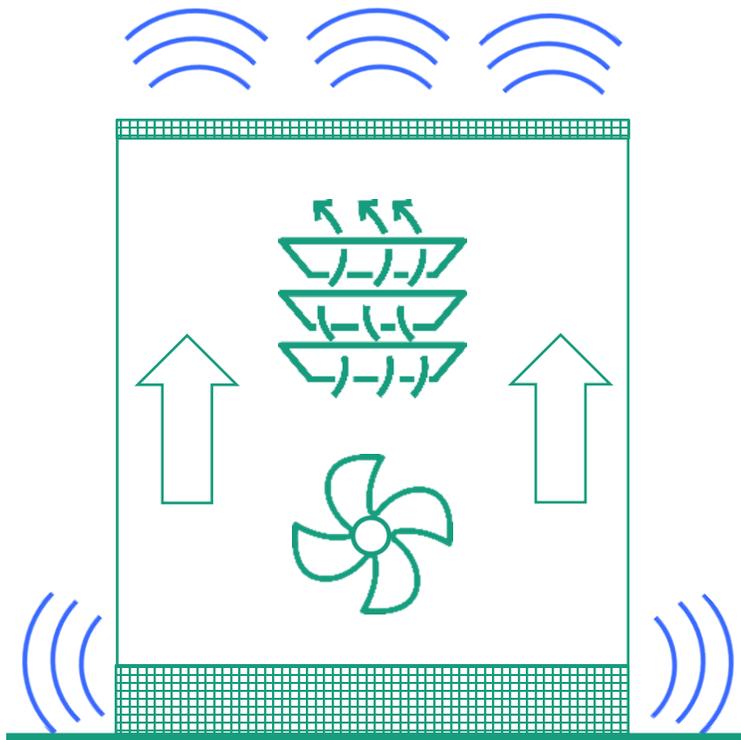


3 x ASD-Kassette  
250 x 250 mm  
Tiefe 200 mm  
Absorber 20 mm

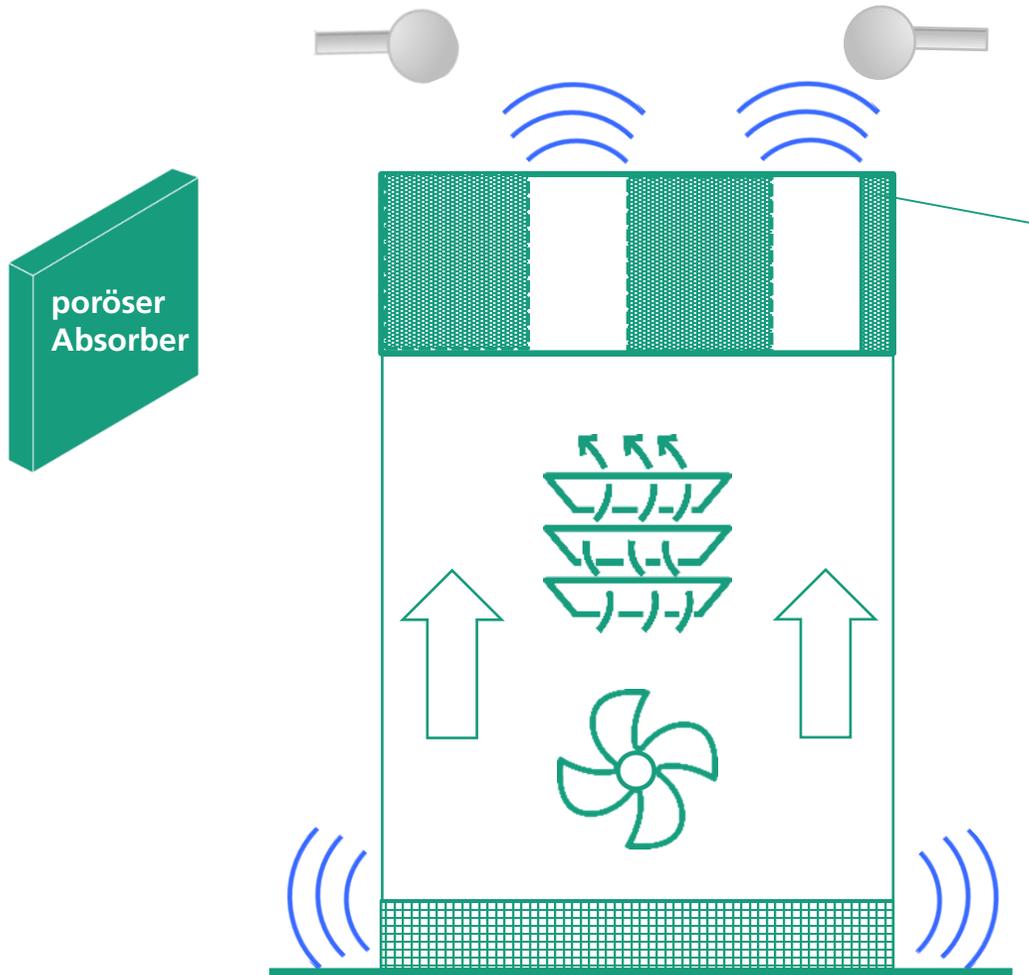


Pegelreduktion ca. 3 dB(A)

# Filterbasierter Luftreiniger Pegelminderung Auslassöffnung



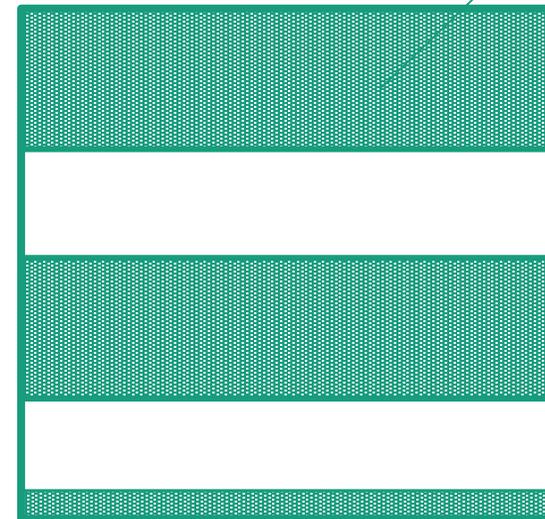
# Druckseitige Pegelminderung Aufsatz mit porösem Absorber



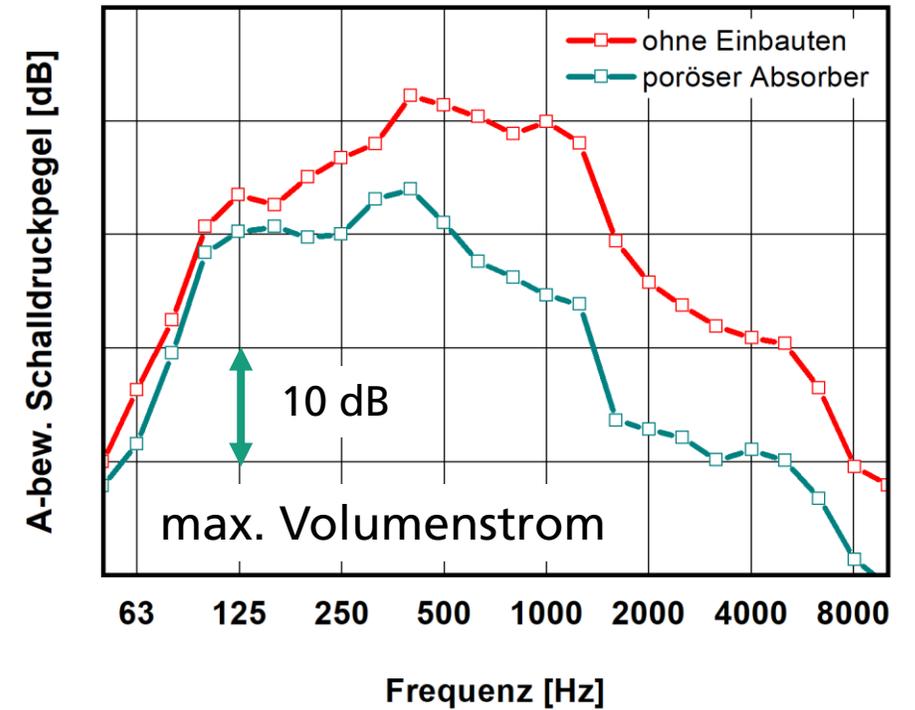
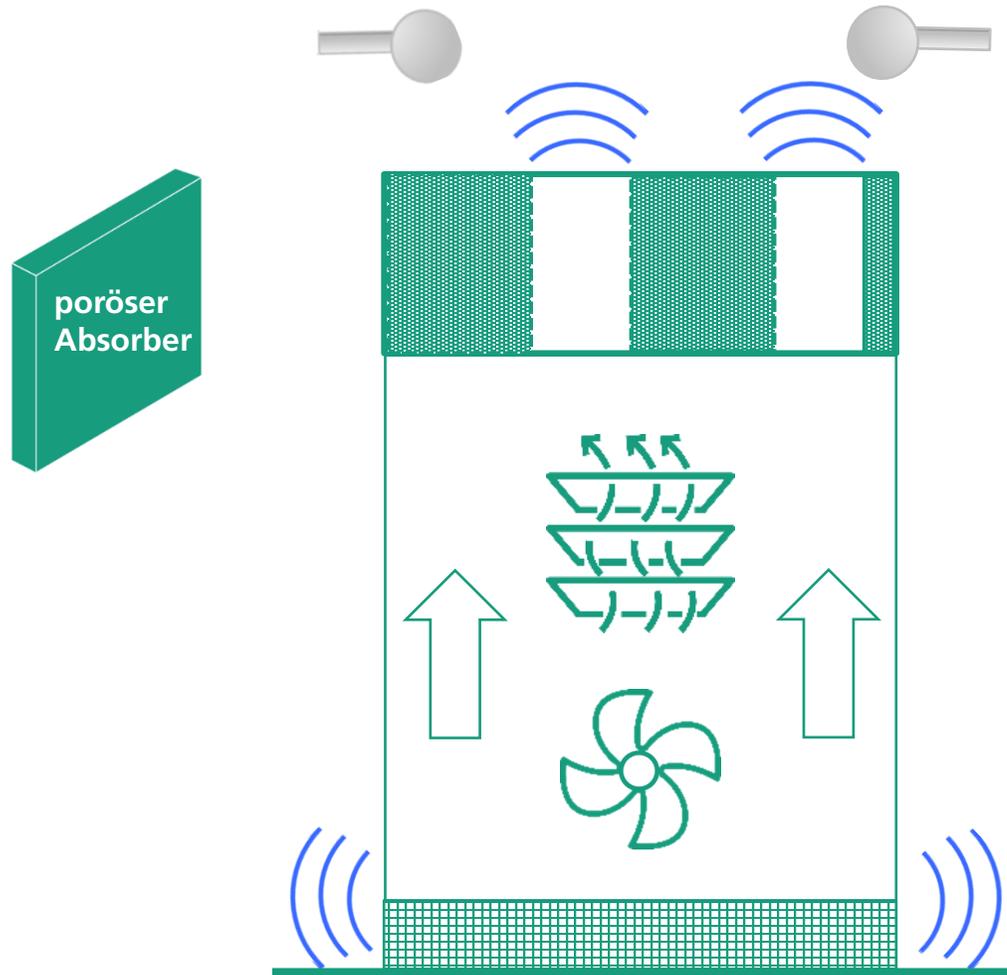
Rahmenaufsatz mit  
porösem Absorber  
(Schalldämpferkulisse)

Schalldämpfer  
Länge 250 mm  
Tiefe 200 mm  
Breite 600 mm

Draufsicht

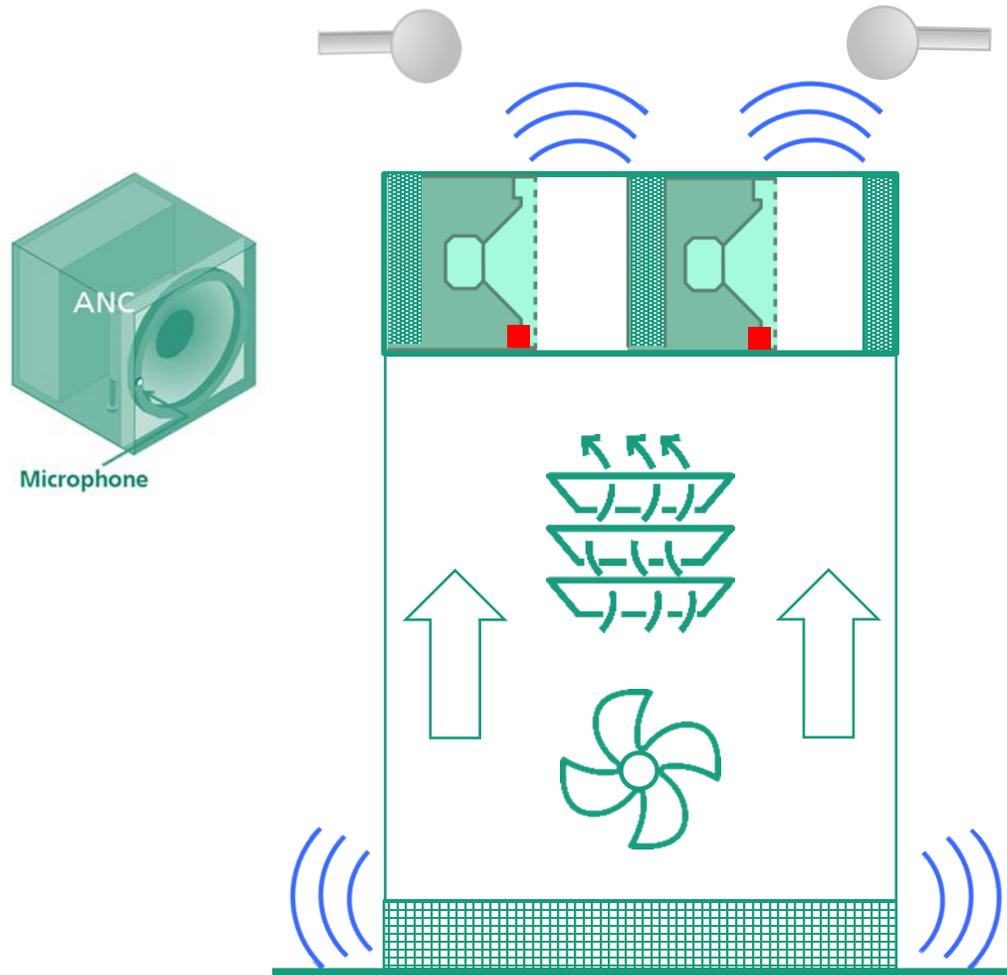


# Pegelminderung Poröse Absorber – Anregung Ventilator



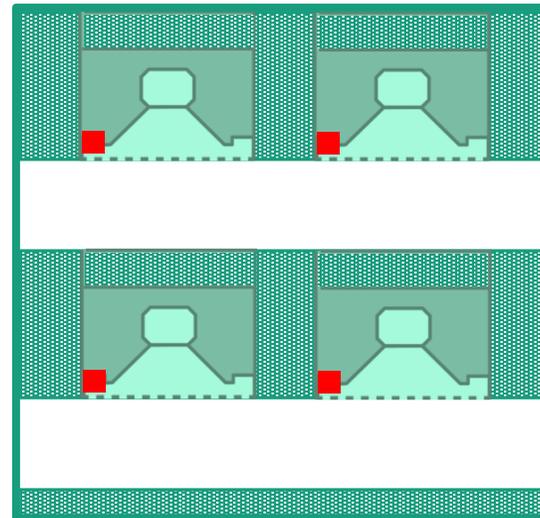
Pegelreduktion ca. 8 dB(A)

# Pegelminderung Aktive Resonatoren

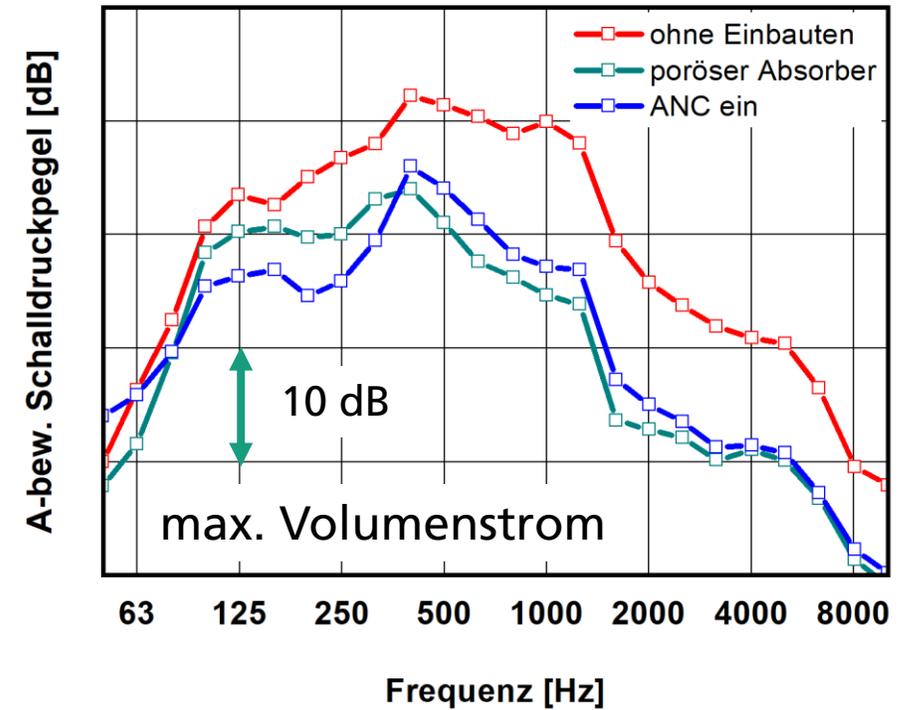
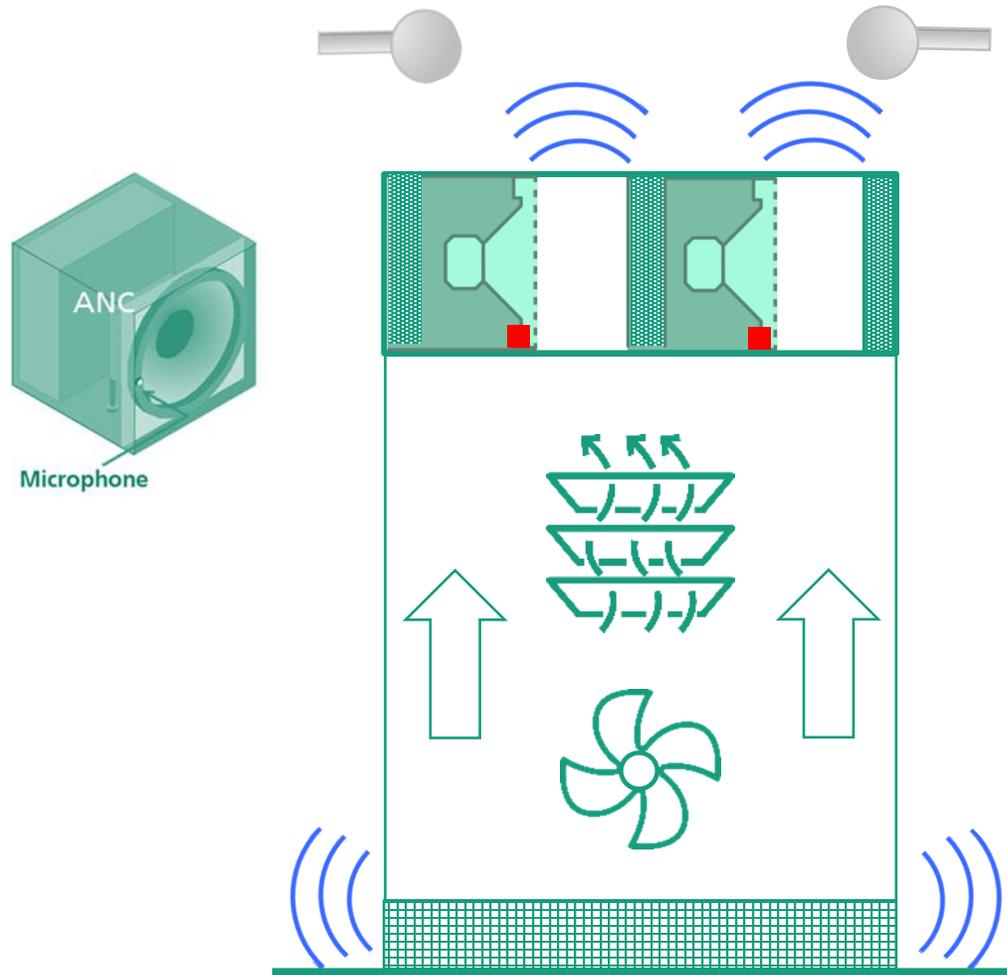


4 x ASD-Kassette  
250 x 250 mm  
Tiefe 200 mm  
40 mm Absorber

Draufsicht



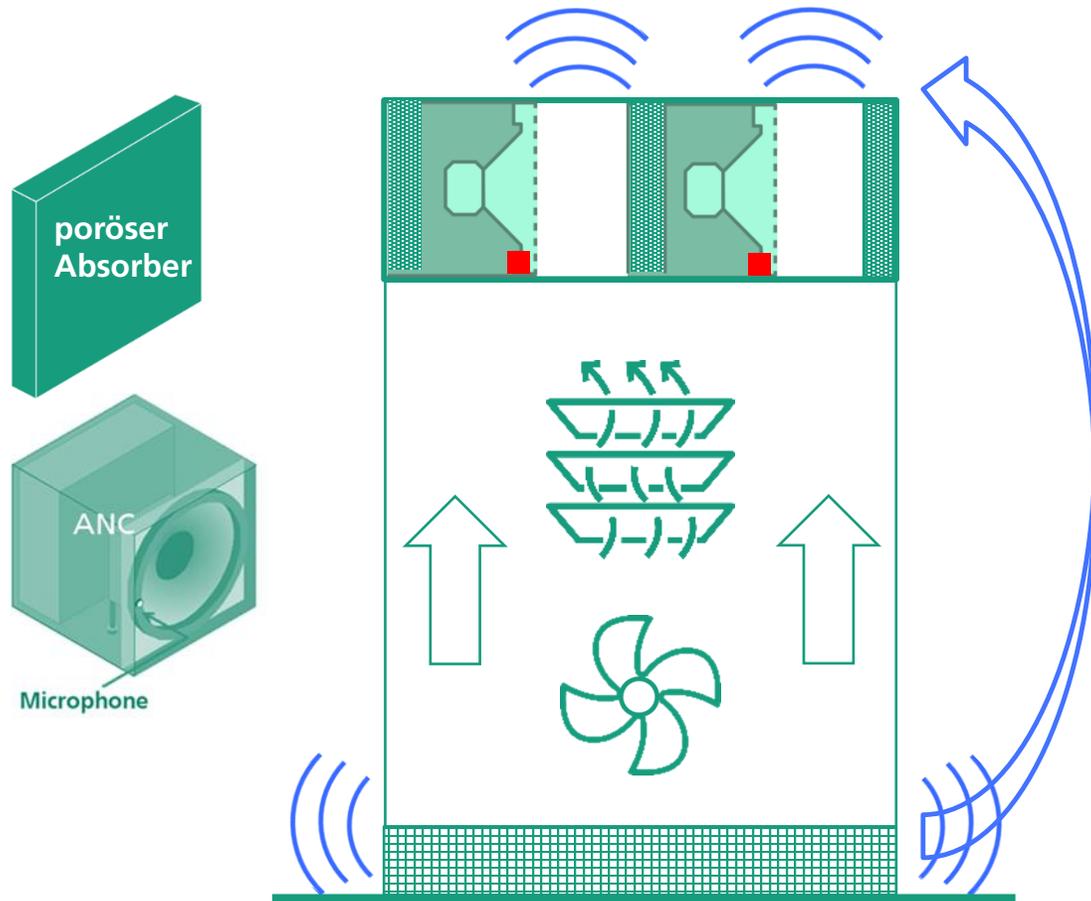
# Pegelminderung Aktive Resonatoren – Anregung Ventilator



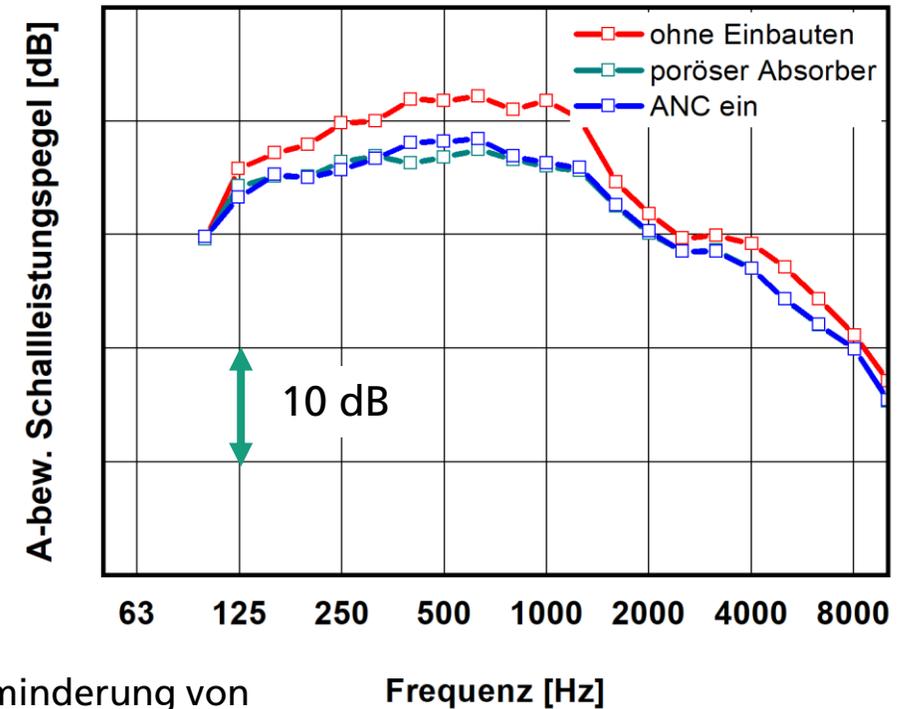
Pegelreduktion ca. 8 dB(A)

# Geräteschalleistung im Hallraum

## Poröser Absorber - Aktive Resonatoren

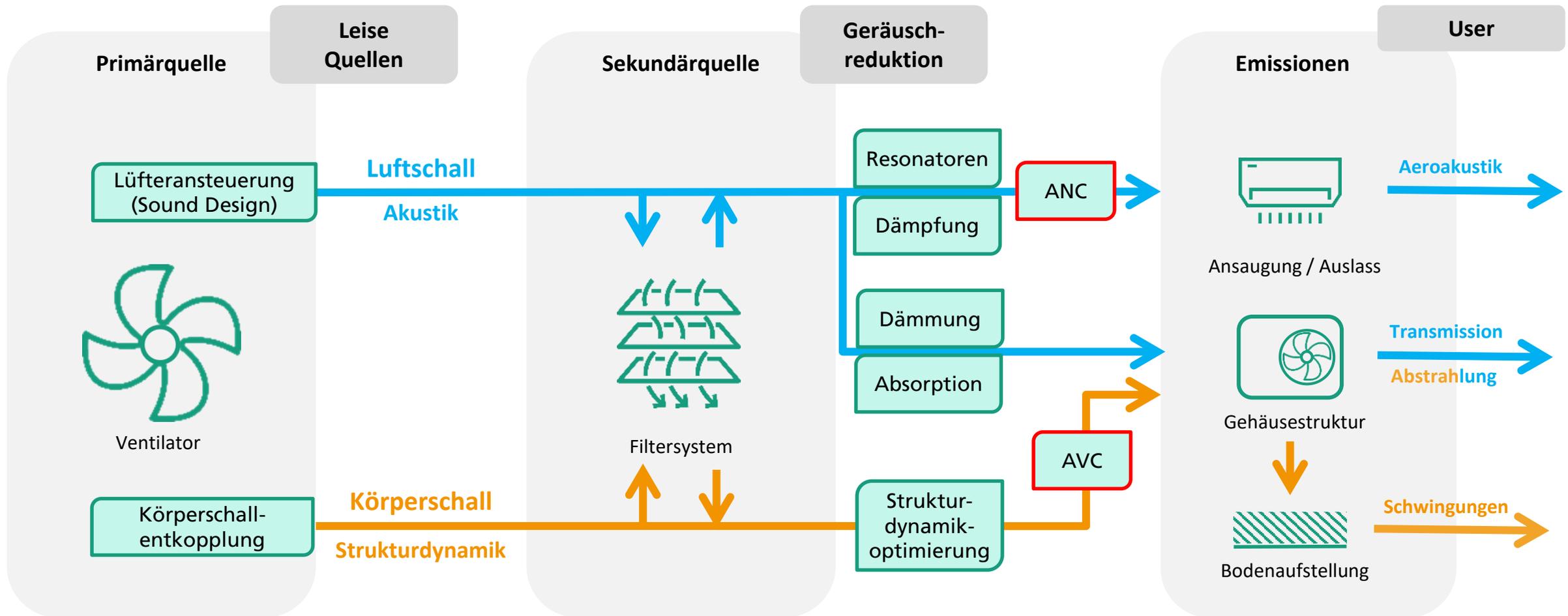


Damit eine Pegelminderung von 8 dB umgesetzt werden kann muss auch die Saugseite bedämpft werden



Pegelreduktion ca. 4 dB(A)

# Quellen und Transferpfade in Lüftungs- und Luftreinigungsgeräten

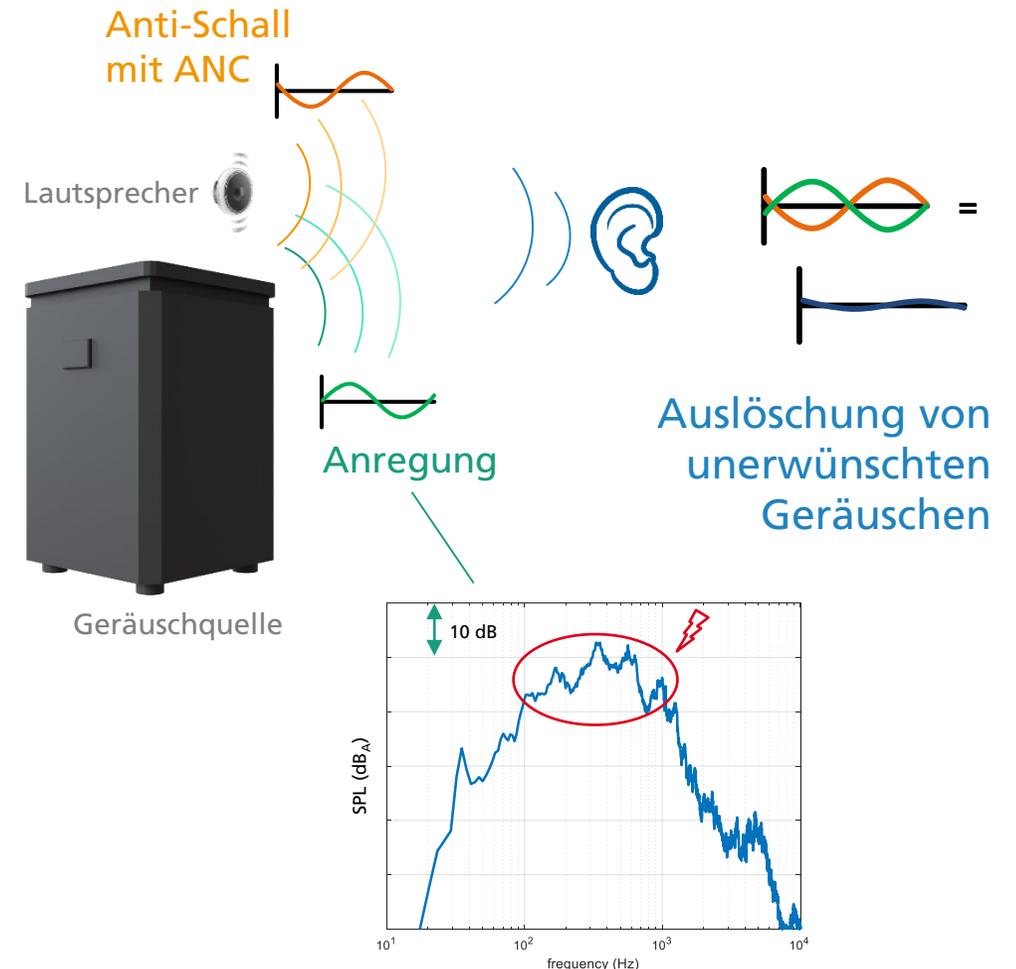


# Gegenmaßnahmen auf Transferpfaden

## Active Noise Control / Active Vibration Control

- Ausgangspunkt
  - Strömungs- und Ventilatorgeräusche verändern sich je nach Ausgestaltung und Betriebszustands des Luftreinigungssystems.
- Lösungsansatz
  - Durch aktive Schallschutzmaßnahmen (engl. Active Noise Control) wird ein *autonome Anpassung* auf veränderliche Betriebsbedingungen ermöglicht
- Wirkung
  - Wirkfrequenzbereich: breit- und schmalbandig
  - Effizienz: abhängig vom Durchmesser und Schallentstehungsmechanismen
  - Kosten: mittel
  - Nachrüstlösung: ja

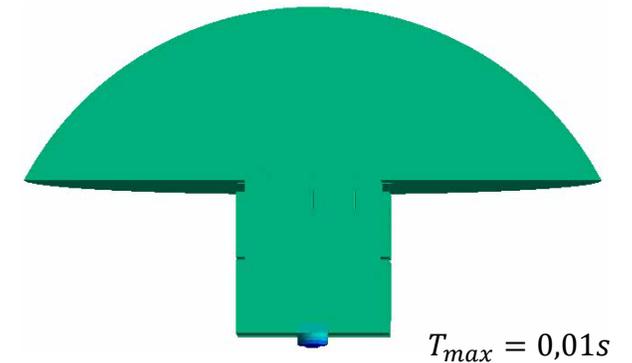
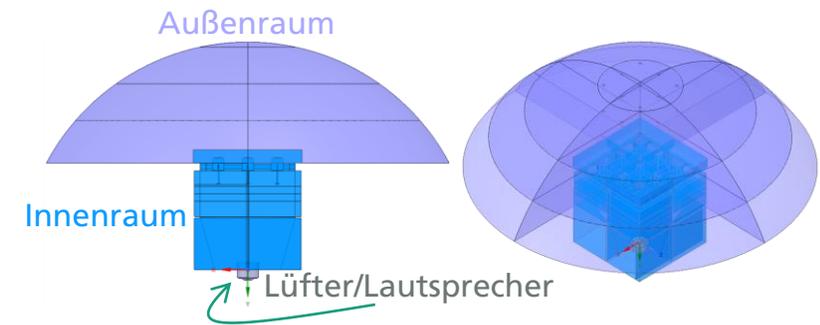
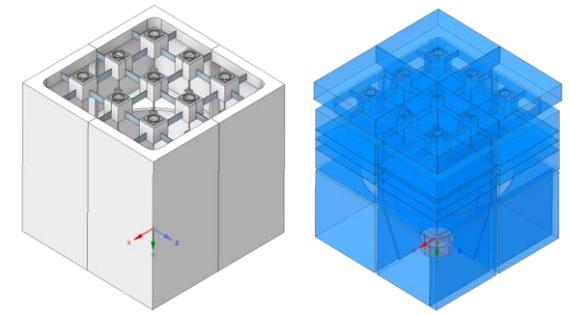
## Aktiver Schallschutz mit ANC



# Active Noise Control Demonstrator

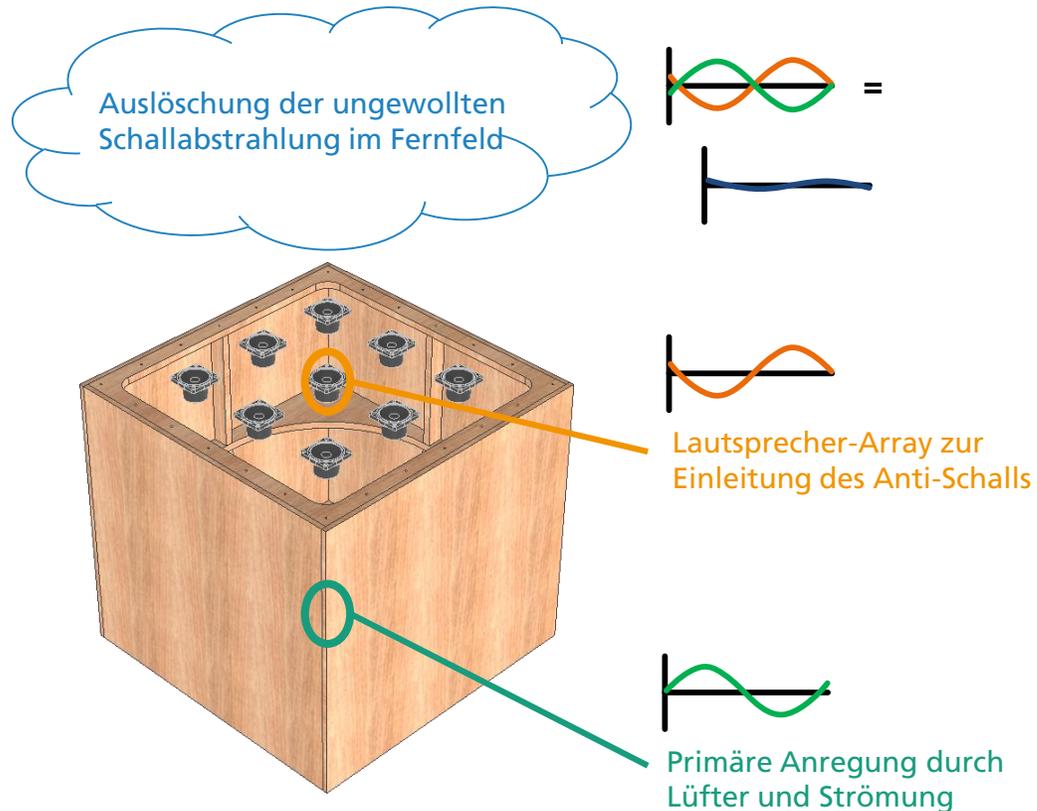
## Akustische Simulation

- Vereinfachung der CAD Baugruppe und Ableitung des inneren Luftvolumens
  - Simulationen nur mit Luftvolumen
  - Definition der Lautsprechermembranen als Anregungsflächen
    - Einheitsamplitude
  - Berücksichtigung der Abstrahlung  $\pm 90^\circ$
- Freifeld Abstrahlungsbereich von 800mm
  - Absorbierende Elemente auf der Oberfläche (~Infinite Elemente)
  - Konvergenz hinsichtlich Reflexionsbedingungen
- *Nutzen der akustischen Simulation*
  - Vorhersage der Schallausbreitung im Gehäuse und der Abstrahlung in die Umgebung



# Active Noise Control

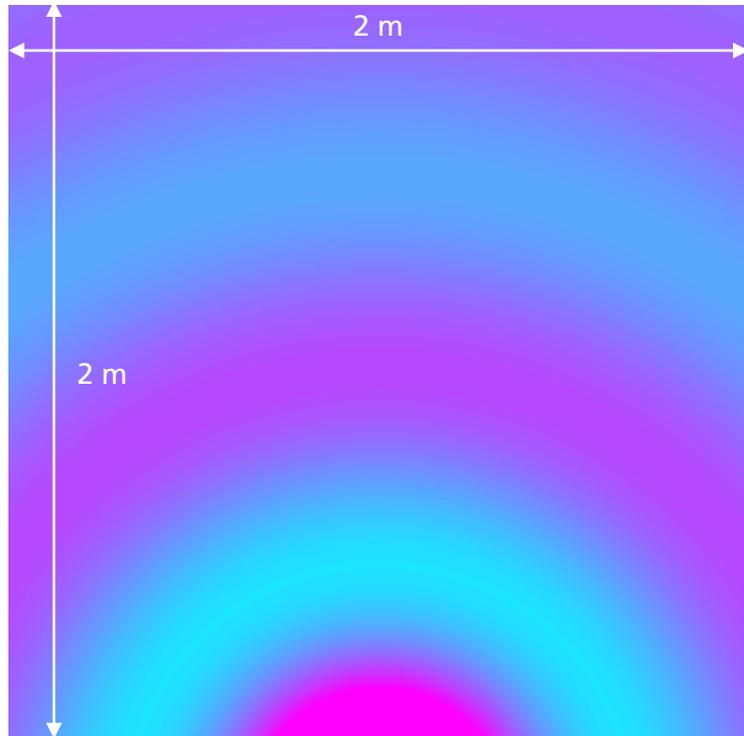
## Active Noise Control – Konzept zur aktiven Schallreduktion



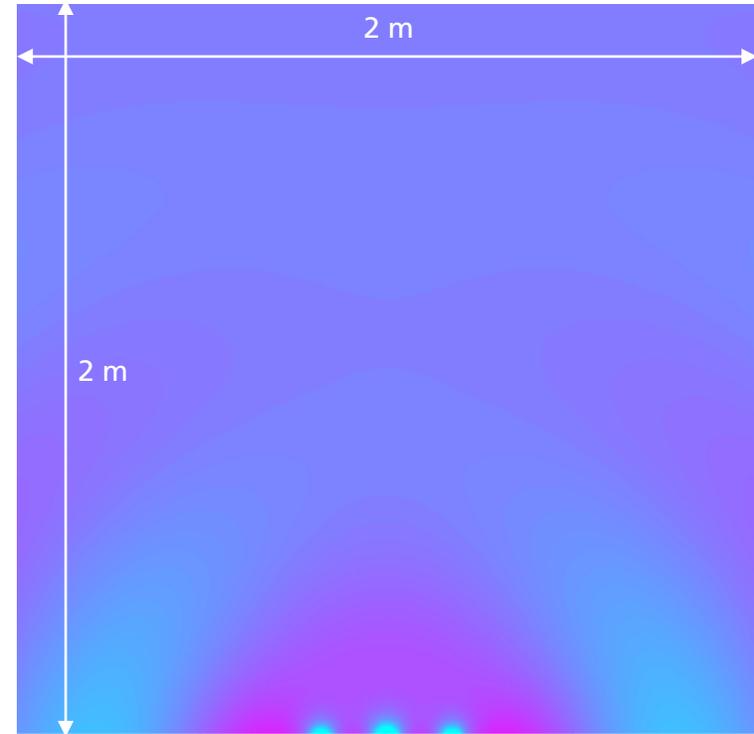
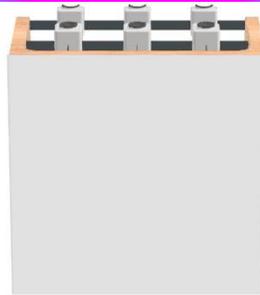
- Untersuchung der Schallabstrahlung
  - Störender und pegelbestimmende Schallabstrahlung im Frequenzbereich zwischen 100 und 1000 Hz
- Konzept zur Reduktion des störenden Schalls
  1. Messung der primären Schallanregung
  2. Berechnung des Anti-Schalls mit Hilfe eines adaptiven Reglers
  3. Einleitung des Anti-Schalls mittels Lautsprecher-Array
  4. Auslöschung des abgestrahlten Schalls im akustischen Fernfeld

# Gegenmaßnahmen auf Transferpfaden

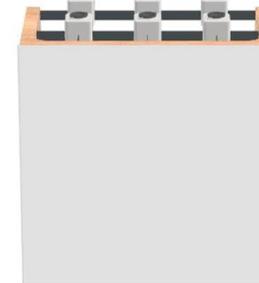
Active Noise Control – Konzept zur aktiven Schallreduktion



**Ausgangssituation**  
Primäre Anregung bei  
336 Hz



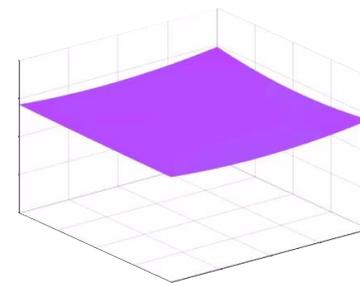
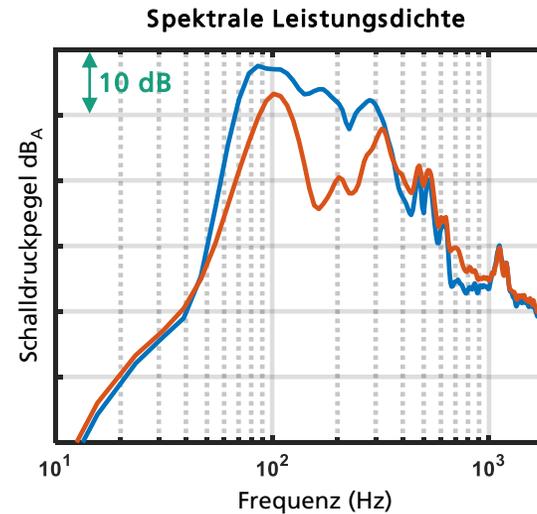
**Anti-Schall-System**  
Auslöschung des  
abgestrahlten Schalls



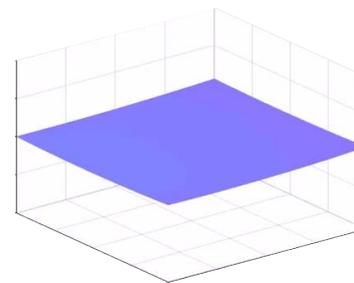
# Gegenmaßnahmen auf Transferpfaden

## Active Noise Control – Demonstrator aktive Schallreduktion

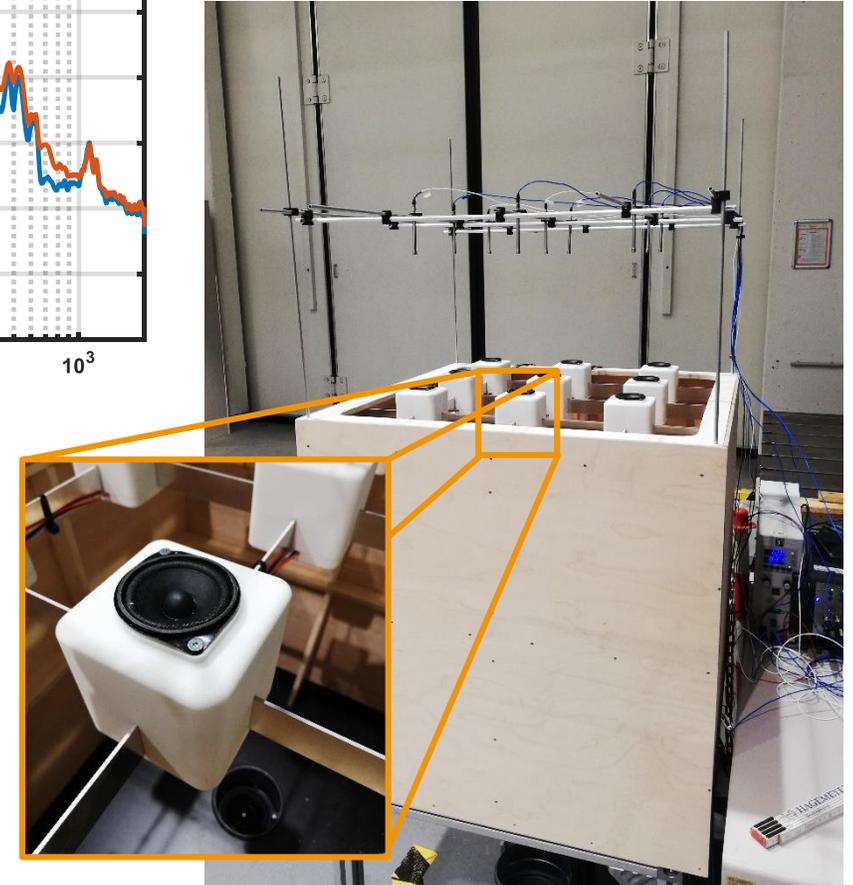
- Variabler Testaufbau zum Testen unterschiedlicher Anwendungsfälle
  - 9 Lautsprecher Visaton FRS5X
  - Variable Anregung durch Lautsprecher oder Lüfter
- Testfall mit Lautsprecheranregung
  - Störung entspricht gemessenem Schalldruck eines Luftreinigers
  - Breitbandige Reduktion zwischen 70..300 Hz



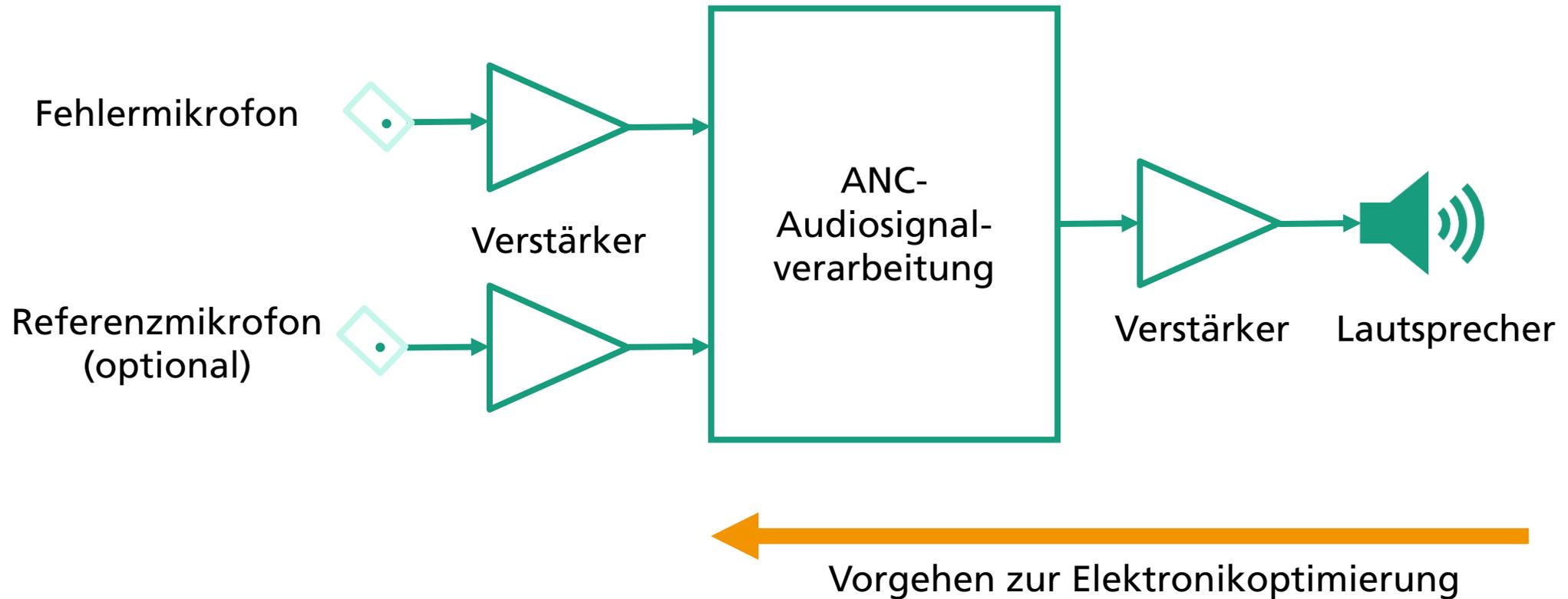
Schalldruck @170 Hz (initial)



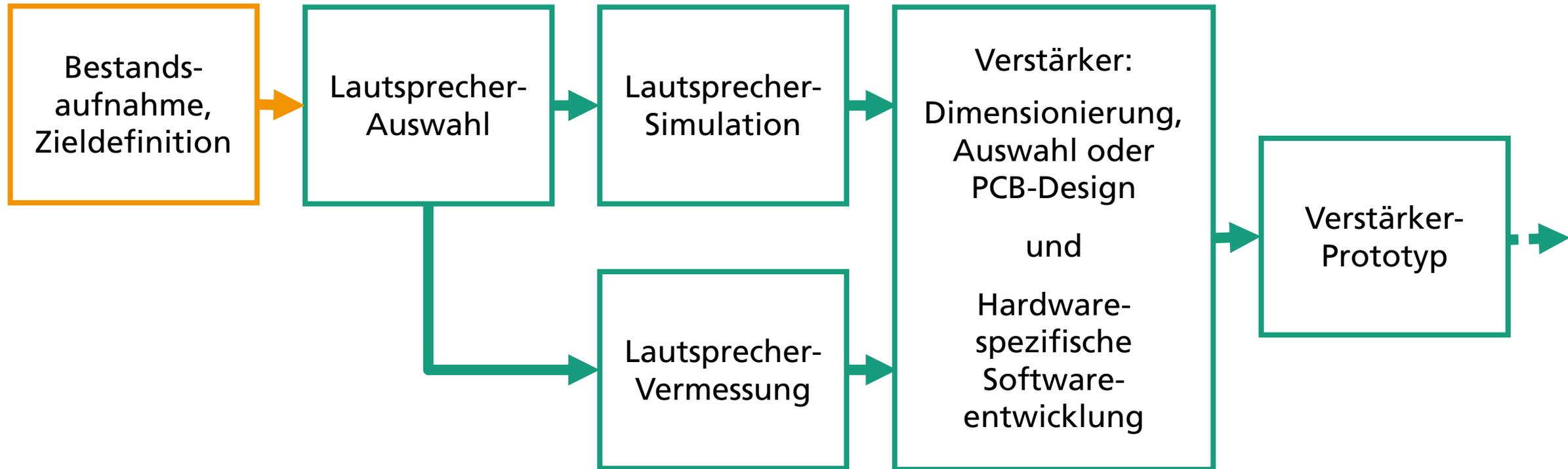
Schalldruck @170 Hz (mit ANC)



# Active Noise Cancellation (ANC) Blockdiagramm (vereinfacht)



# Lösungsansatz Verstärkerprototyp für die ANC-Integration



- ähnliches Vorgehen für die Integration der Mikrofone und der ANC-Algorithmen

# Lautsprecherauswahl

- „closed box“-System
- Chassis am LBF: Visaton **FRS 8M** und **FRS 5X**
- Vorgabe Gehäusevolumen 0,5 L und 0,2 L



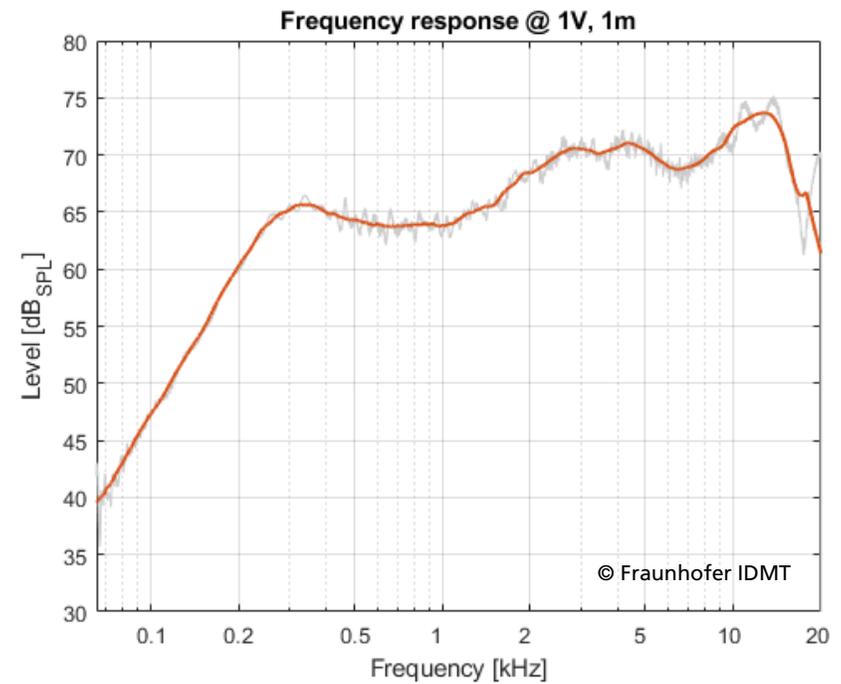
Bildnachweis:  
<https://www.visaton.de/de/produkte/chassis/breitband-systeme/frs-8-m-8-ohm>



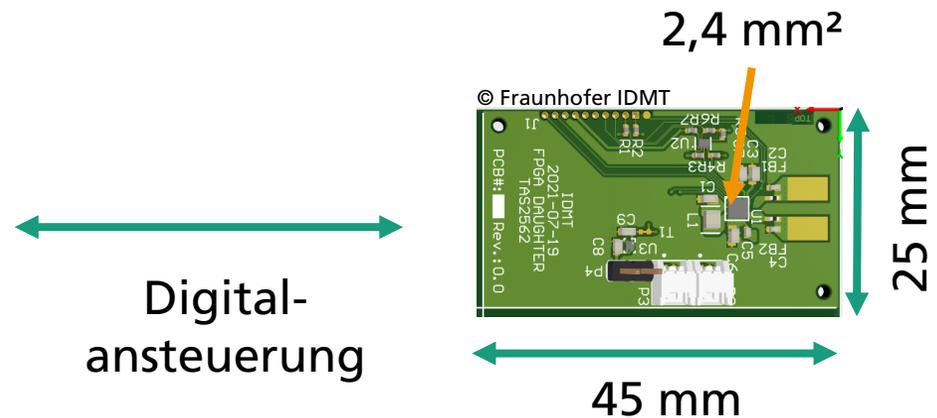
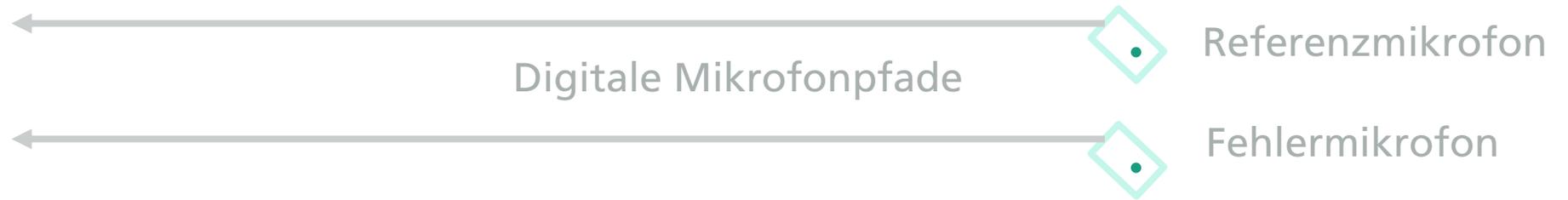
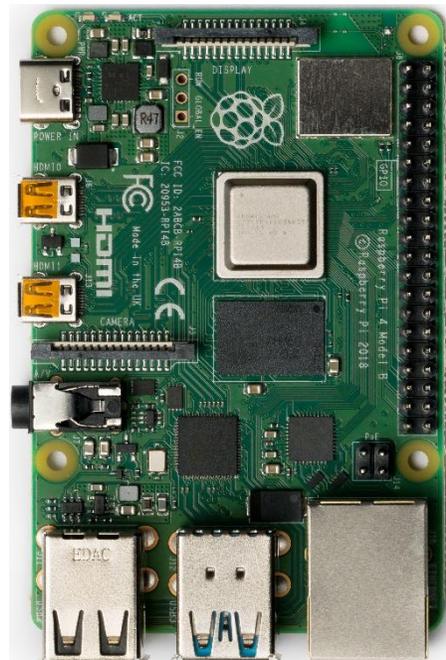
Bildnachweis:  
<https://www.visaton.de/de/produkte/chassis/breitband-systeme/frs-5-x-8-ohm>

Chassis	Gehäusevolumen	SPLmax/100 Hz/0,1 m	Pmax
FRS 8M	0,5 L	110 dB	30 W
FRS 8M	0,2 L	105 dB	30 W
FRS 5	0,5 L	92 dB	5 W
FRS 5	0,2 L	89 dB	5 W
FRS 5X	0,5 L	99 dB	5 W
FRS 5X	0,2 L	95 dB	5 W

# Lautsprechervermessung Visaton FRS 5X



# Lautsprecherverstärker 5 W

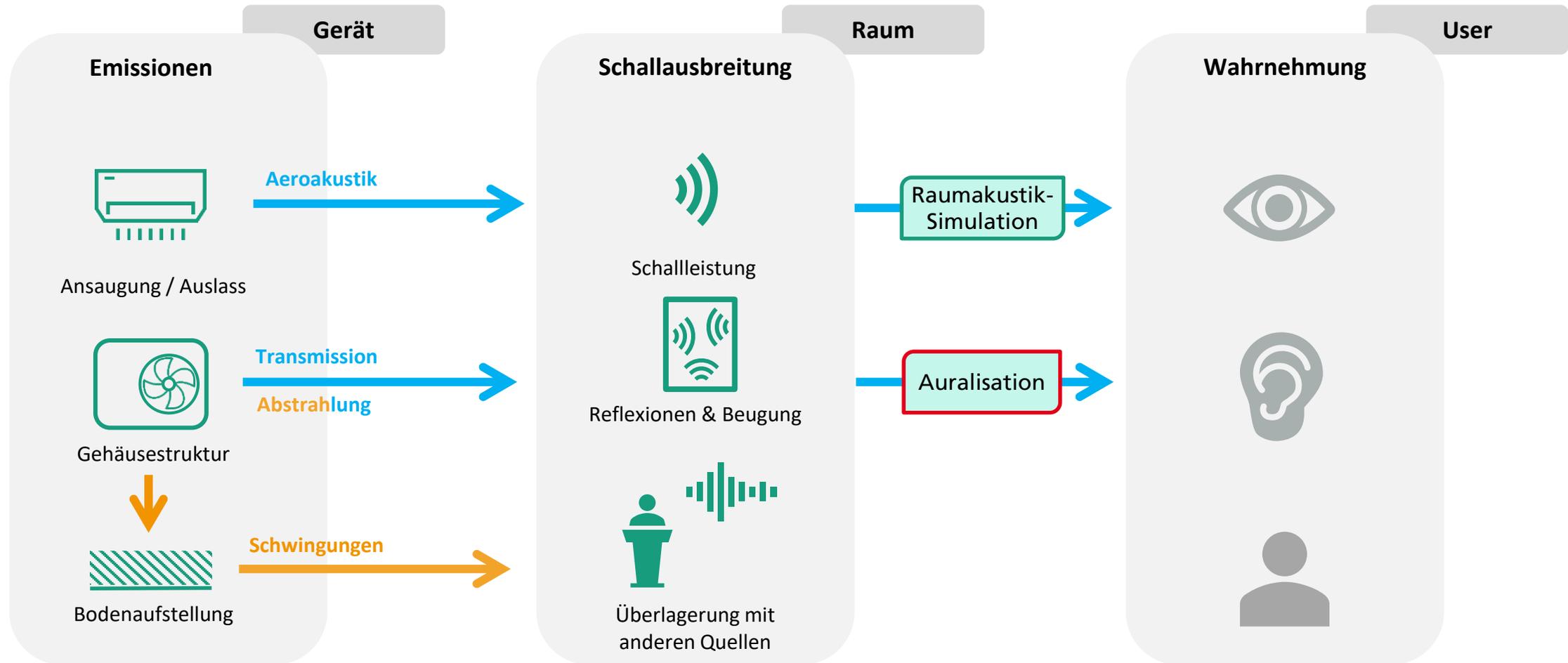


Bildnachweis:  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/Raspberry\\_Pi\\_4\\_Model\\_B\\_-\\_Top.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/Raspberry_Pi_4_Model_B_-_Top.jpg)

Bildnachweis:  
<https://www.visaton.de/de/produkte/chassis/breitband-systeme/frs-5-x-8-ohm>

# Wahrnehmung und Bewertung

# Transferpfade von Lüftungs- und Luftreinigungsgeräten zum Menschen



# Virtuelle Qualitätsbewertung – Auralisation



**AKUSTISCHE  
MESSDATEN**

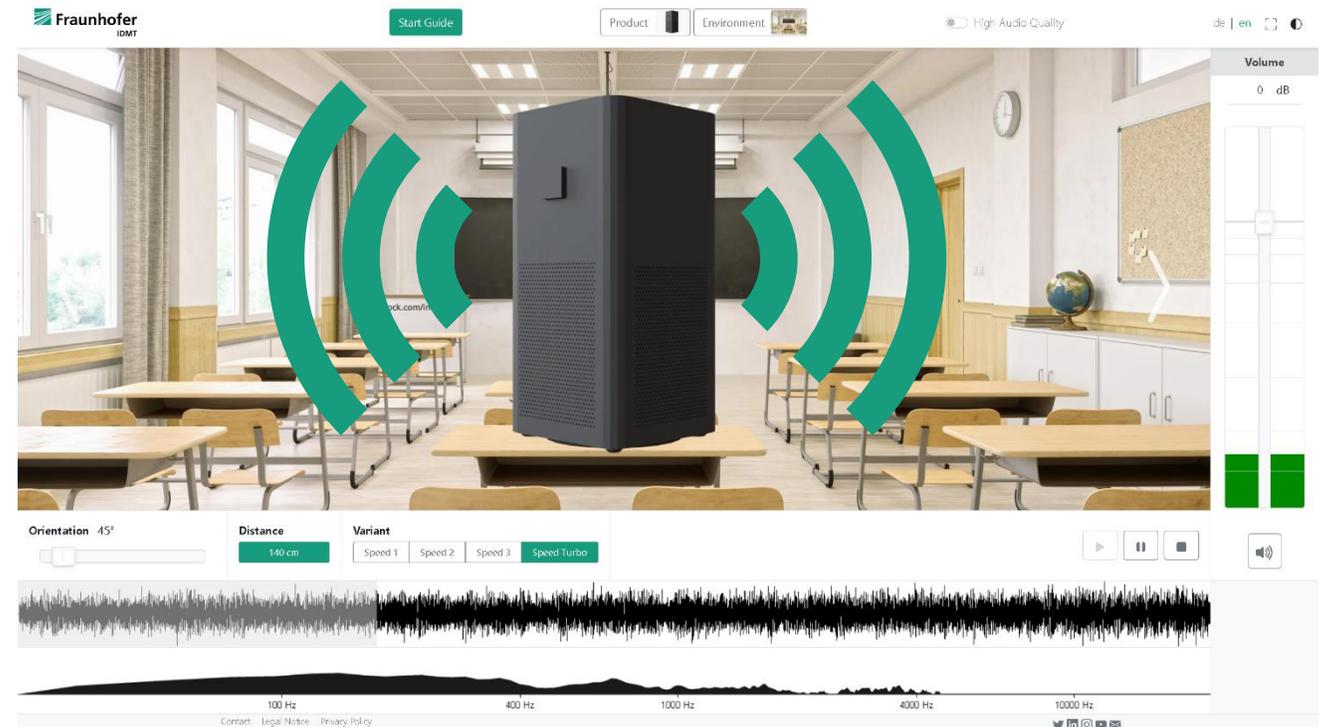
**VIRTUELLE  
RAUMAKUSTIK**

**3D-AUDIOSIGNAL-  
VERARBEITUNGSLGORITHMEN**

Bildnachweis: istock.com/imaginima

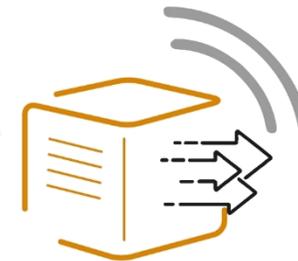
# Virtuelle Qualitätsbewertung – Auralisation

- anstatt Visualisierungen zu interpretieren, können Produktklang und Schallemissionen einfach verständlich bewertet werden
- ⇒ Risikominimierung in der Planung
- ⇒ erfolgreicher Auftritt im Online-Markt



Fotomontage © Fraunhofer IDMT, mit Inhalten von istock.com/imaginima

<https://auralisation.idmt.fraunhofer.de/>



## Jens Rohlfing

Fraunhofer IBP  
Gruppenleiter  
Technischer Schallschutz  
+49 711 970 3306  
[jens.rohlfing@ibp.fraunhofer.de](mailto:jens.rohlfing@ibp.fraunhofer.de)

**Projektleitung**

## Jan Troge

Fraunhofer IWU  
Abteilungsleiter  
Technische Akustik  
+49 351 4772 2322  
[Jan.Troge@iwu.fraunhofer.de](mailto:Jan.Troge@iwu.fraunhofer.de)

## Jonathan Millitzer

Fraunhofer LBF  
Gruppenleiter  
Regelungstechnik  
+49 6151 705 8218  
[jonathan.millitzer@lbf.fraunhofer.de](mailto:jonathan.millitzer@lbf.fraunhofer.de)

## Daniel Beer

Fraunhofer IDMT  
Gruppenleiter  
Elektroakustik  
+49 3677 467-385  
[daniel.beer@idmt.fraunhofer.de](mailto:daniel.beer@idmt.fraunhofer.de)

