

ViaMeta Abschlussveranstaltung

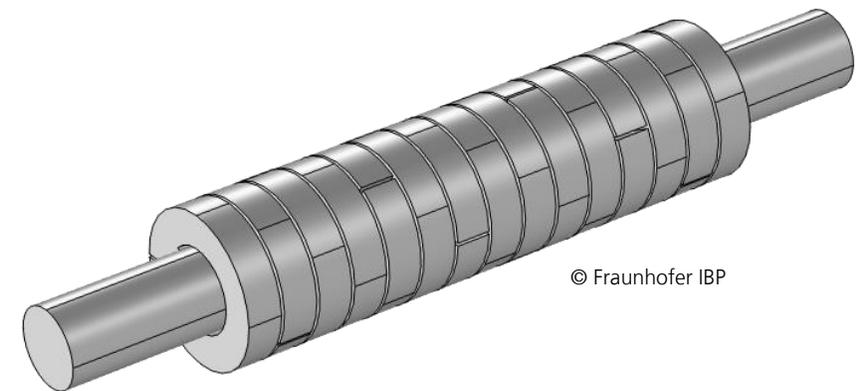
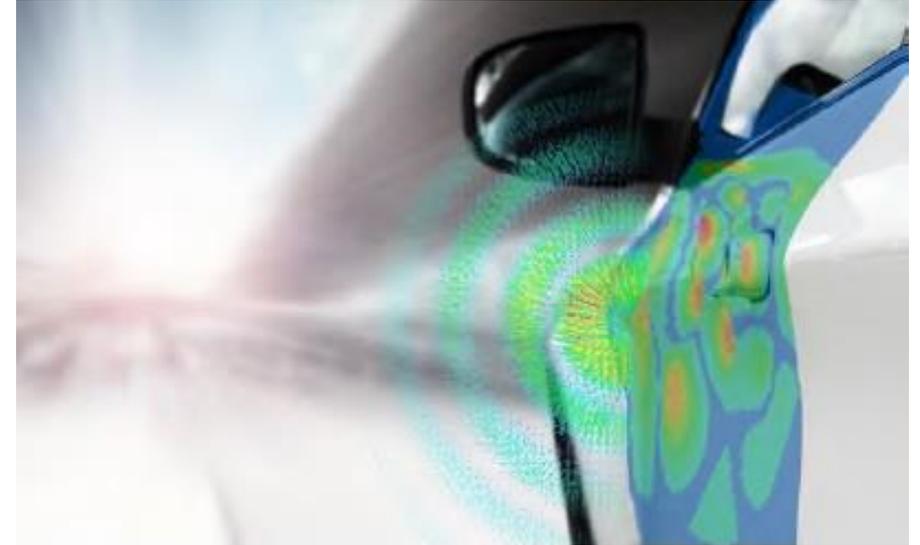
MetaVib: Metamaterialien zur Beeinflussung von Vibroakustik mittels Resonatoreffekt

Jan Troge – 17.04.2024 – Darmstadt

MetaVib - Metamaterialien zur Beeinflussung von Vibroakustik mittels Resonatoreffekt

Agenda

- Kurzvorstellung Projekt MetaVib
- Demonstrator VAMM Fahrzeugtür
- Demonstrator VAMM Schalldämpfer

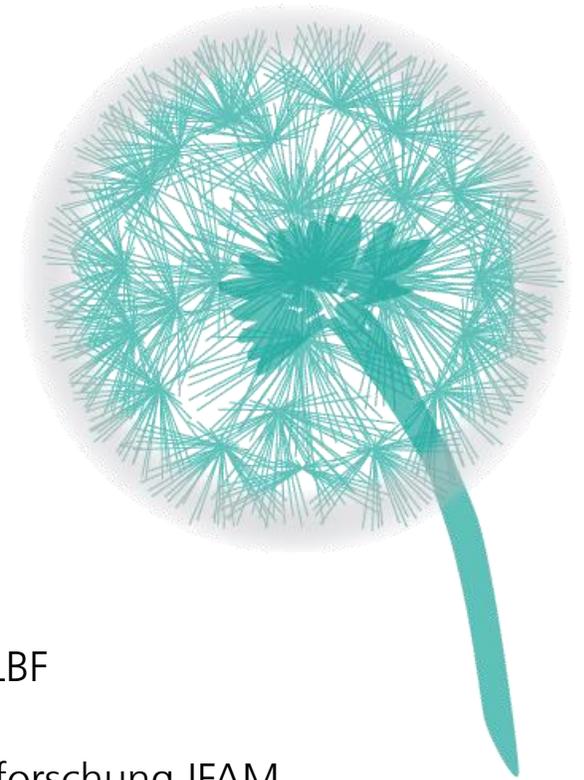


© Fraunhofer IBP

Projekt MetaVib

Kurzvorstellung

MetaVib



Projektlaufzeit:

01.01.2020 – 31.12.2022

Projektfinanzierung:

Fraunhofer-interne Vorlaufforschung „PREPARE“

Projektpartner:

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM

Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT

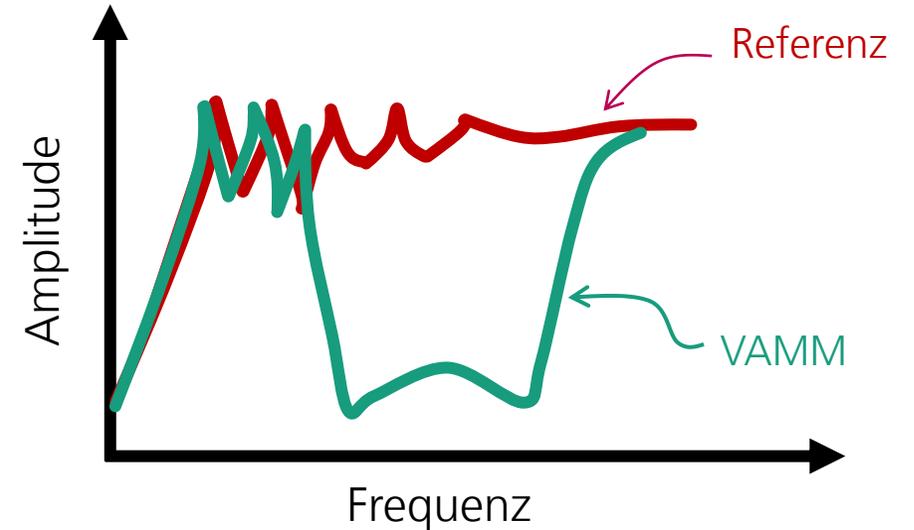
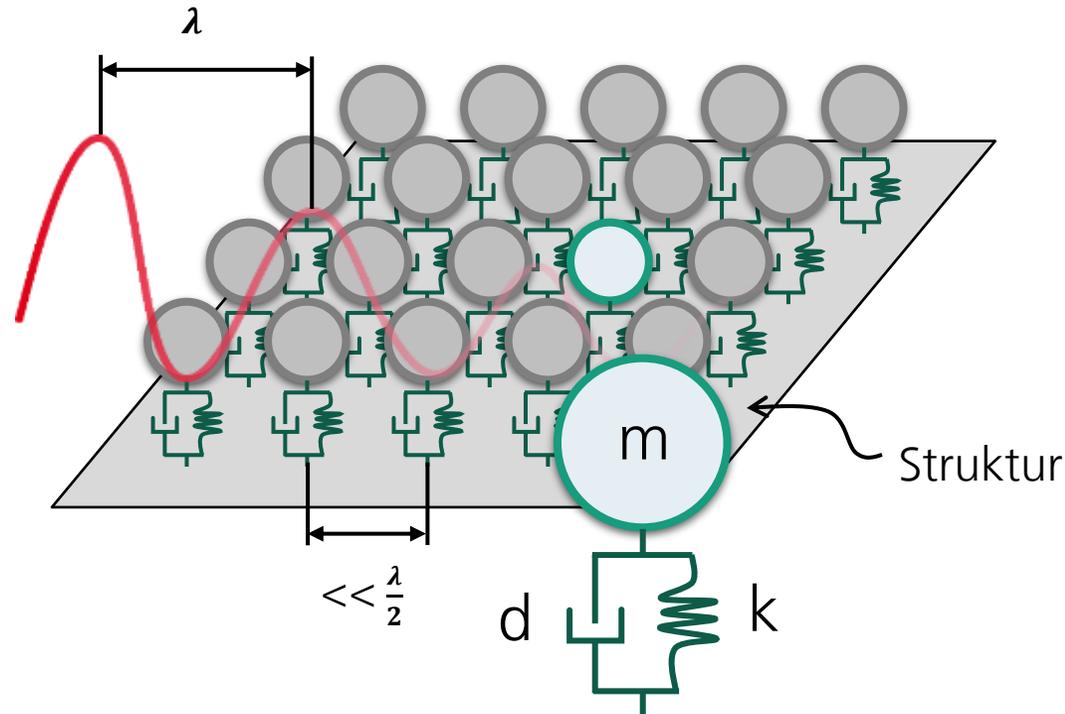
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Projektziel:

Umsetzung der wissenschaftlich notwendigen Arbeiten für die industrielle Nutzbarmachung von vibroakustischen Metamaterialien (VAMM).

Projekt MetaVib

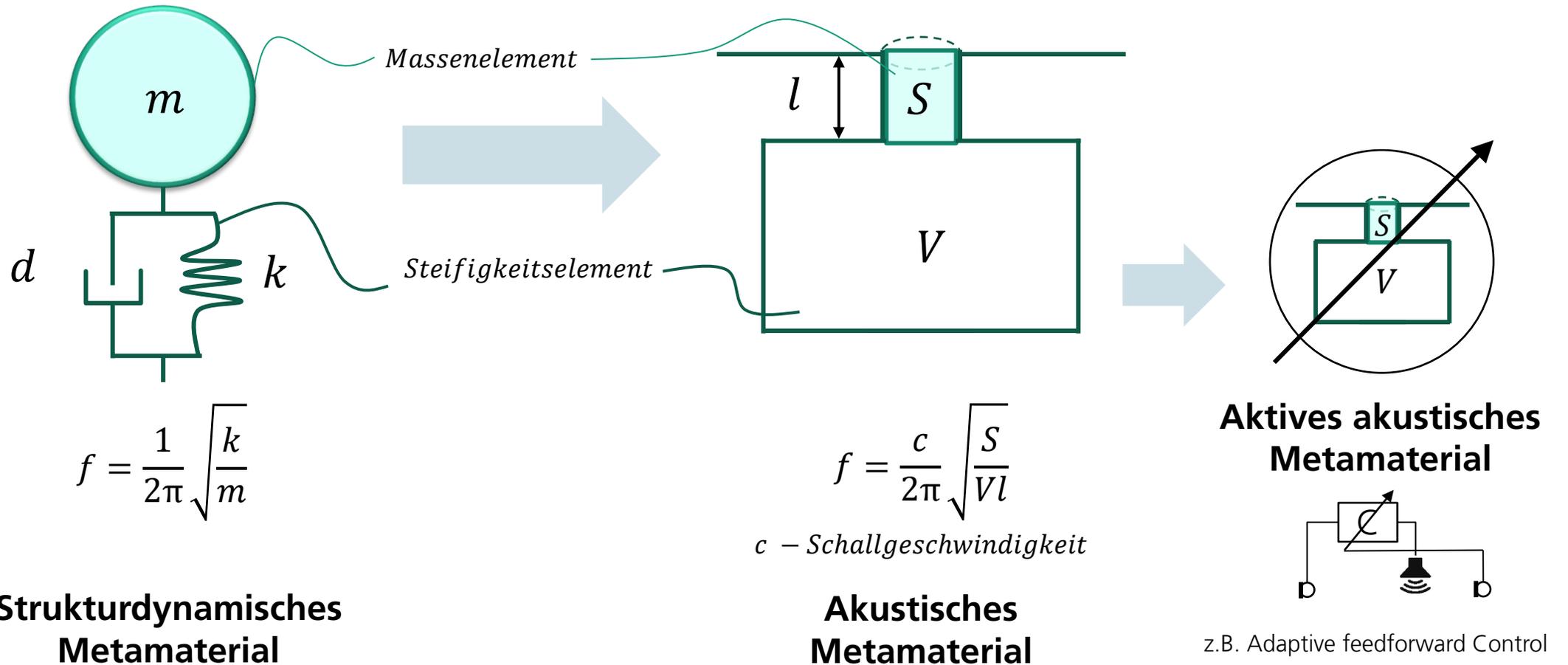
Definition Vibroakustische Metamaterialien (VAMM)



- Jede Einheitszelle stellt einen akustischen oder strukturdynamischen Resonator (Feder-Masse-System) dar.
- Die VAMM-Struktur ergibt sich aus der Kombination der Grundstruktur und gezielt platzierten Resonatoren. Dadurch entstehen Stoppbänder – Bereiche mit stark abgeschwächter Wellenausbreitung.

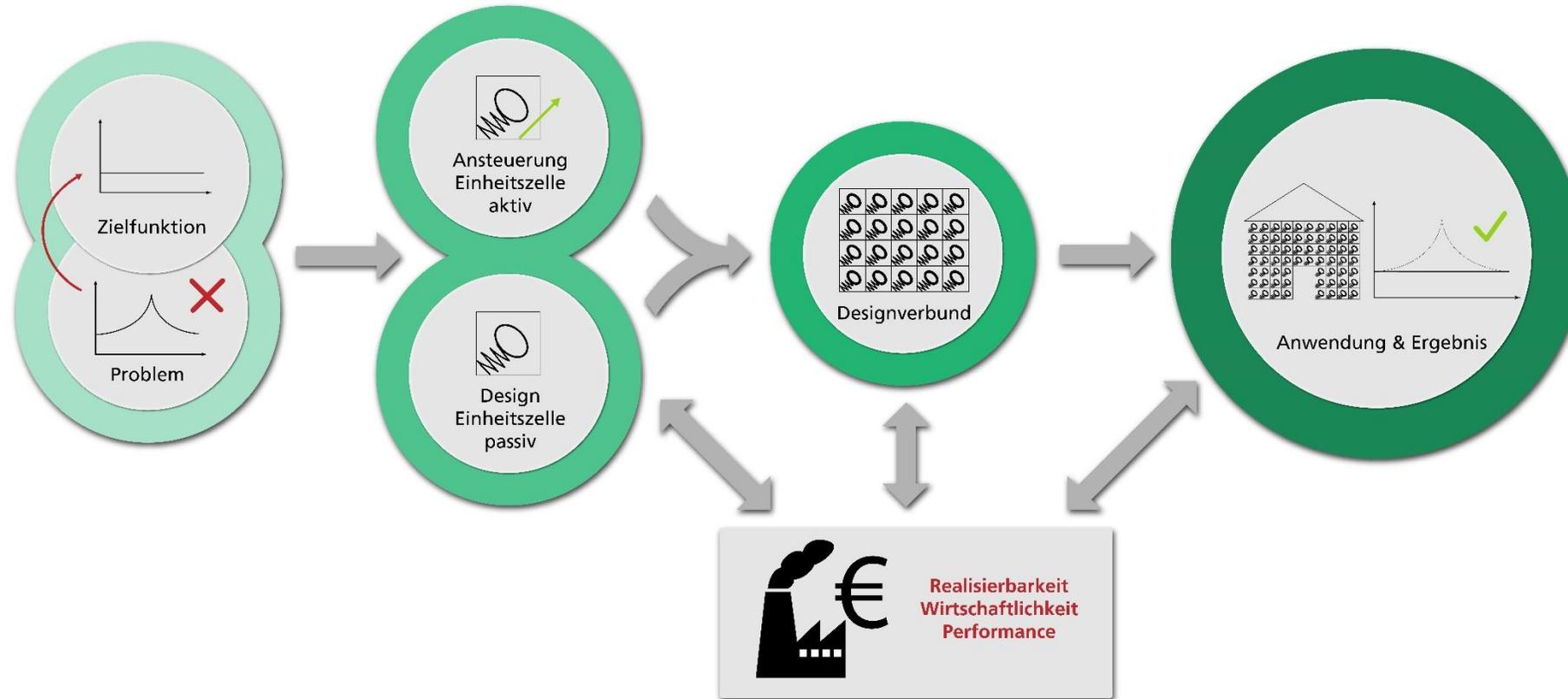
Projekt MetaVib

Übergang von strukturdynamischen Metamaterialien zu akustischen Metamaterialien



Projekt MetaVib

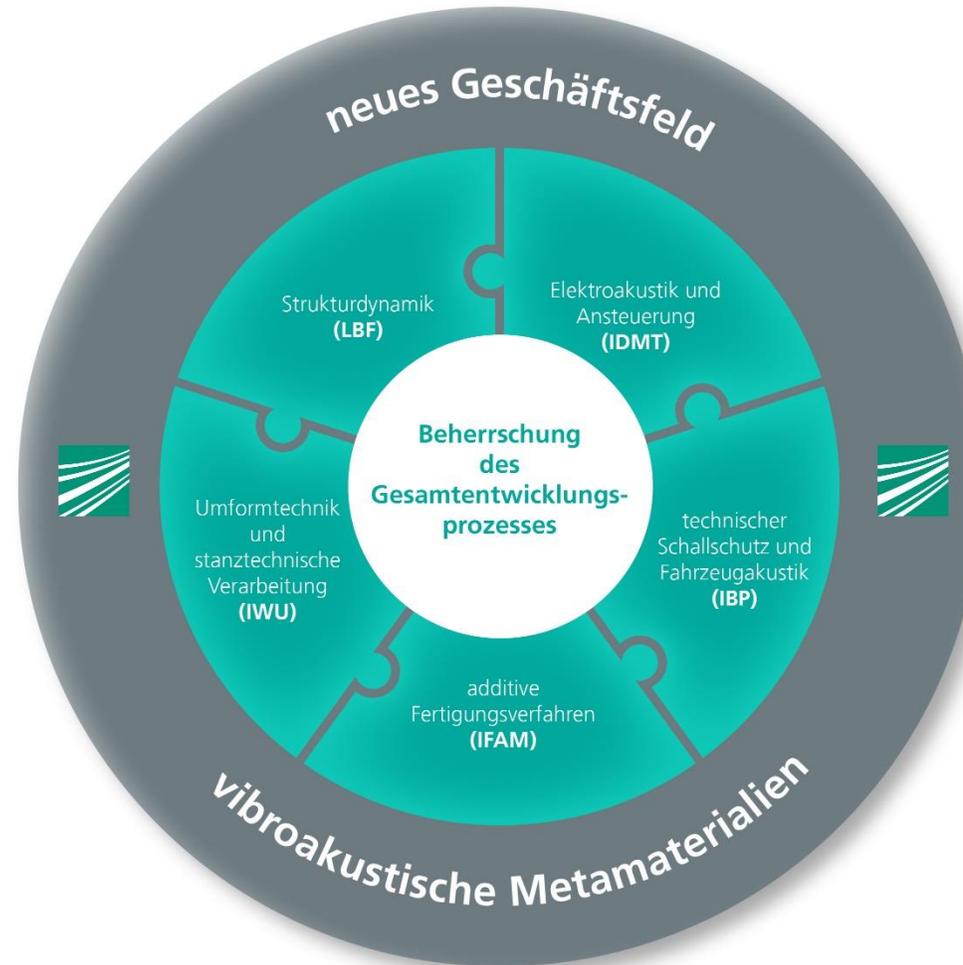
Projektziel



Ziel des PREPARE-Projekts »MetaVib« ist die Umsetzung der wissenschaftlich notwendigen Arbeiten für die industrielle Nutzarmachung von vibroakustischen Metamaterialien.

Projekt MetaVib

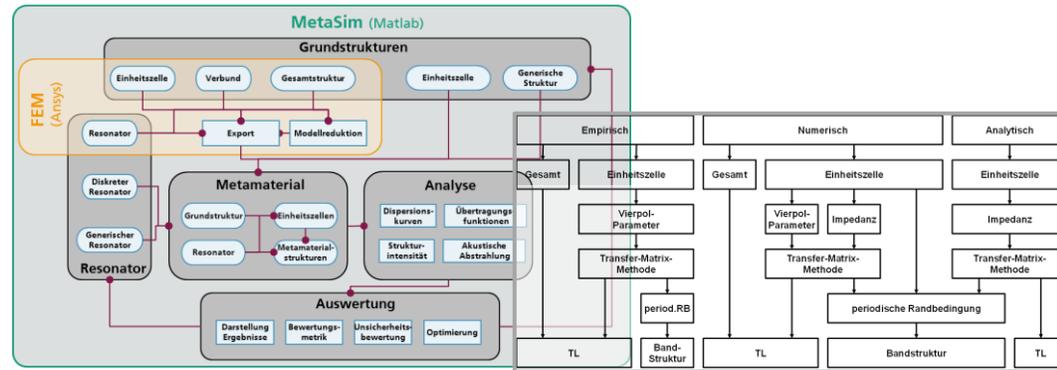
Konsortium



Projekt MetaVib

Projektergebnisse

Auslegungsmethodik und Auslegetools für strukturdynamische und akustische VAMM



Fertigungsverfahren in Metall (Stanzen, Biegen, Tiefziehen)



Fertigungsverfahren in Kunststoff (z.B. additive Fertigung, Spritzguss)

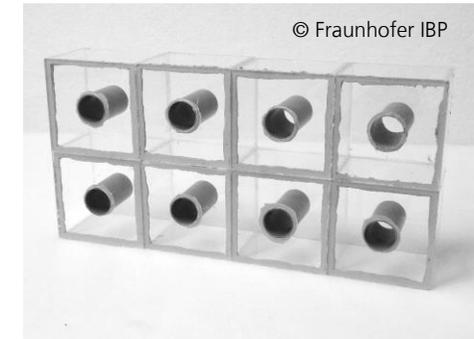
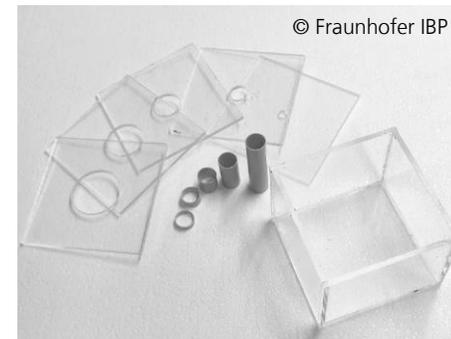


Projekt MetaVib

Demonstratoren



Anwendungsstudie „Fahrzeugtür“



Anwendungsstudie „Schalldämpfer“

ViaMeta Abschlussveranstaltung

MetaVib Demonstrator VAMM Fahrzeugtür

Jan Troge – 17.04.2024 – Darmstadt

MetaVib - Anwendungsstudie VAMM Fahrzeugtür

Fahrzeigtüren – Stand der Technik

Aktuell eingesetzte Akustikmaßnahmen im Fahrzeug

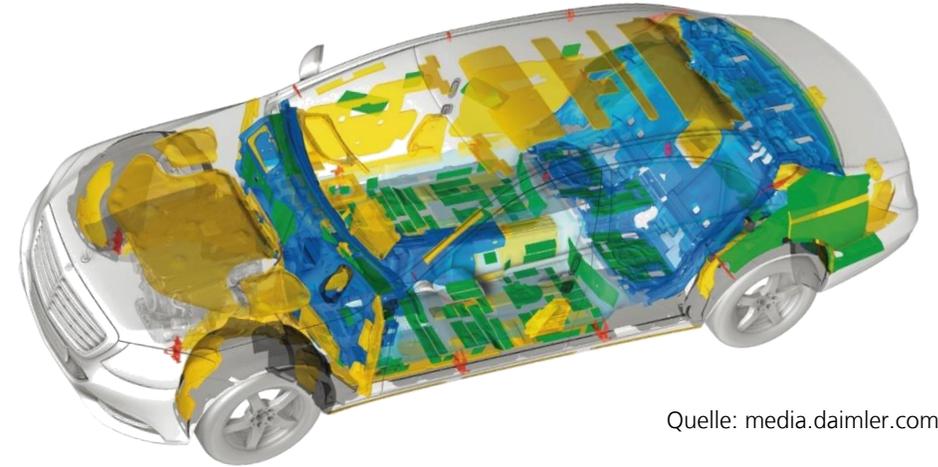
- **Einschichtige Materialien**
 - Antidröhnmatte (Schwerschichtbeläge)
 - Schäume, Vliese
- **Mehrschichtige Materialaufbauten**

Typische Anregungsfrequenzbereiche Fahrzeigtür

- **Türzuschlag (Sound Design): 30 Hz - 60 Hz**
- **Türantriebe (z.B. Fensterheber):**
 - Unwucht/1. Ordnung: 70 Hz - 100 Hz
 - E-Motor: ca. 500 Hz – 800 Hz
 - Verzahnung: ca. 1 kHz – 2,6 kHz

Aufbau moderner Fahrzeigtüren

- **Hauptkomponenten:**
 - Türaußenschale
 - Türmodul
 - Türinnenschale



Quelle: media.daimler.com



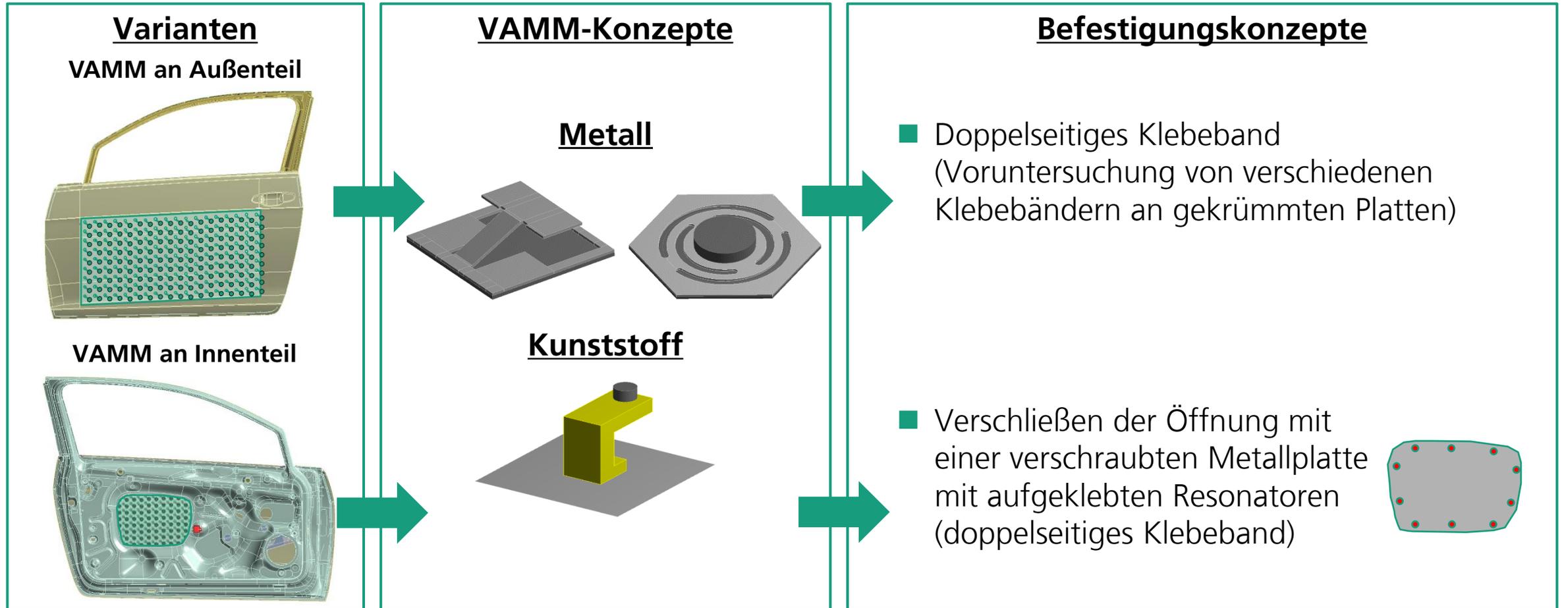
Türmodulträgerkonzept
© Brose



Türsystem mit Aggregateträger aus Kunststoff
© Brose

MetaVib - Anwendungsstudie VAMM Fahrzeugtür

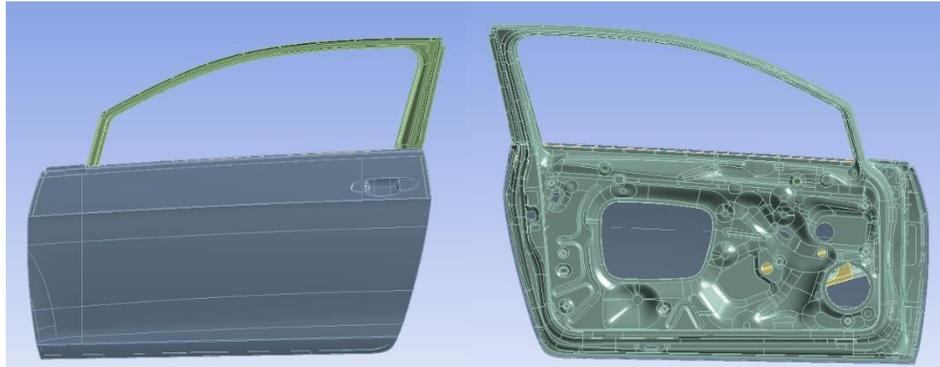
Demonstrator-Varianten



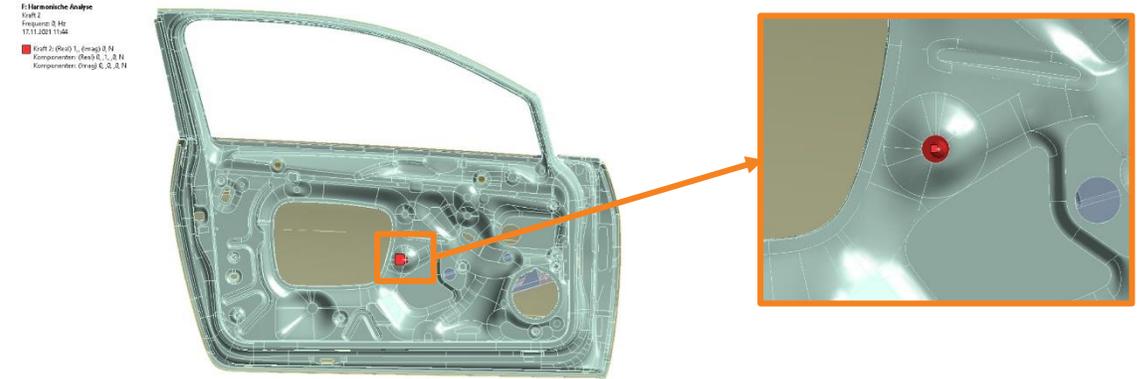
MetaVib - Anwendungsstudie VAMM Fahrzeugtür

Simulation Fahrzeugtür

Finite Elemente Simulationsmodell



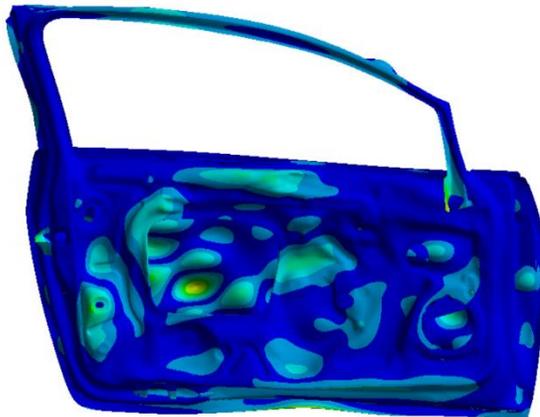
Kraftanregung



Harmonische Analyse

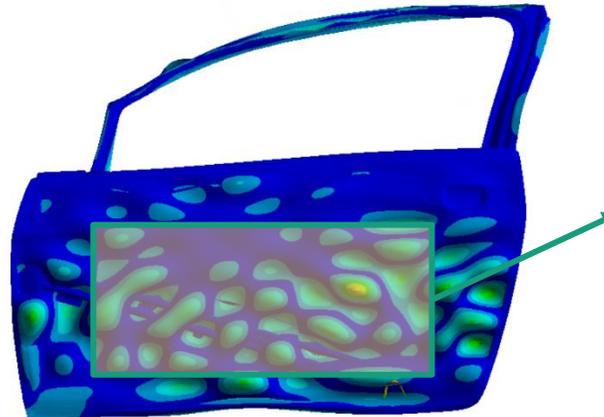
F: Harmonische Analyse
 Gesamtverformung
 Typ: Gesamtverformung
 Frequenz: 500, Hz
 Phase sweepen: 0, °
 Einheit: m
 17.11.2021 11:46

4,3578e-6 Max
 3,5454e-6
 3,0991e-6
 2,5329e-6
 2,0266e-6
 1,5204e-6
 1,0142e-6
 5,0794e-7
 1,7032e-9 Min

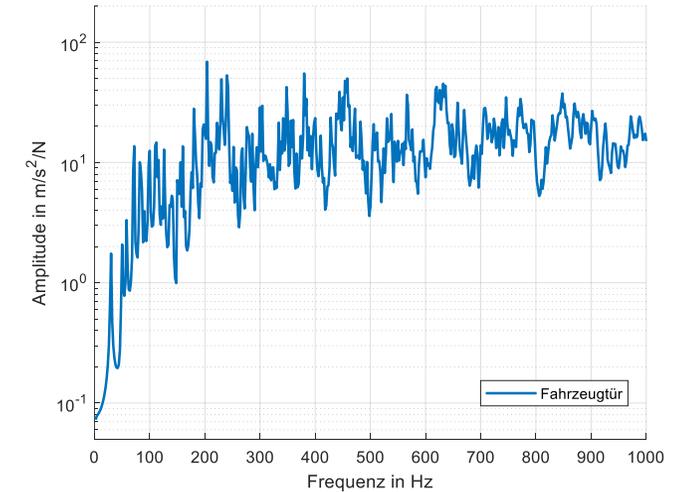


F: Harmonische Analyse
 Gesamtverformung
 Typ: Gesamtverformung
 Frequenz: 500, Hz
 Phase sweepen: 0, °
 Einheit: m
 17.11.2021 11:46

4,5578e-6 Max
 3,5454e-6
 3,0991e-6
 2,5329e-6
 2,0266e-6
 1,5204e-6
 1,0142e-6
 5,0794e-7
 1,7032e-9 Min



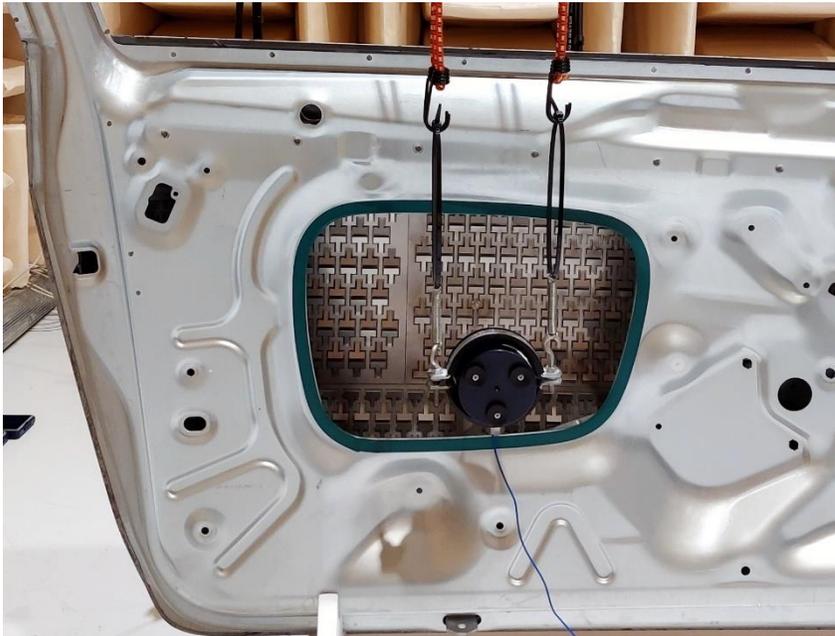
Summenfrequenzgang



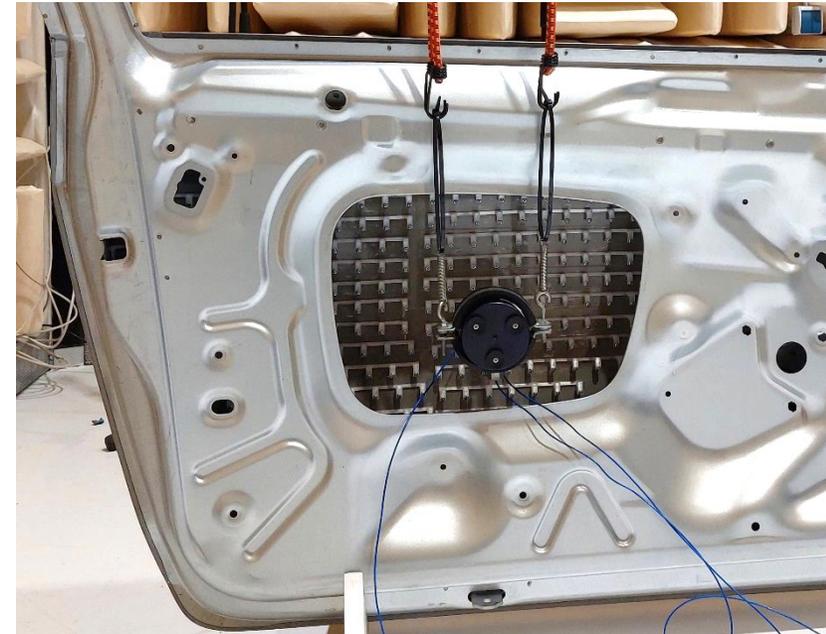
MetaVib - Anwendungsstudie VAMM Fahrzeugtür

Demonstrator-Varianten

VAMM aus Metall

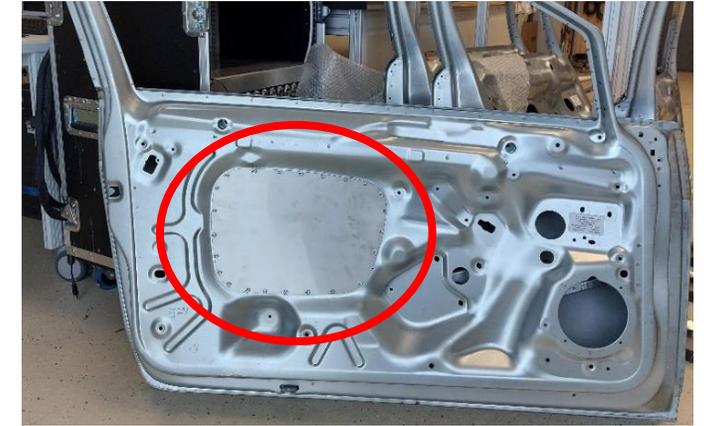


VAMM aus Kunststoff



MetaVib - Anwendungsstudie VAMM Fahrzeugtür

Demonstrator-Varianten



VAMM Variante 1 aus Metall



VAMM Gewicht: 195 g (+0,9 %)

VAMM Variante 2 aus Metall



VAMM Gewicht: 265 g (+1,3 %)

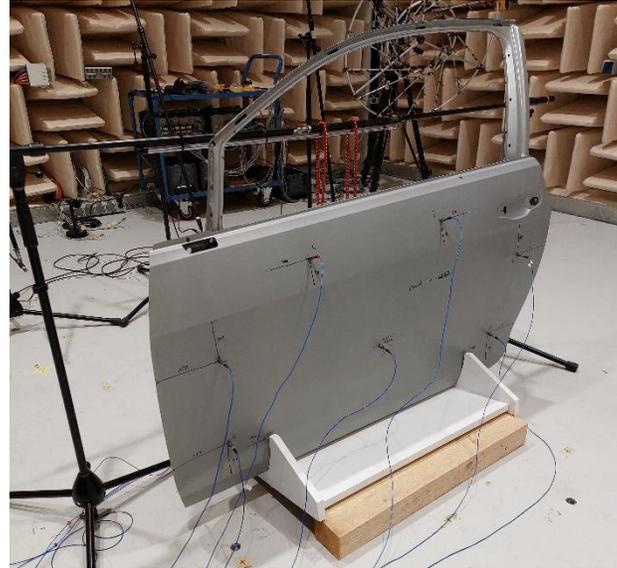
MetaVib - Anwendungsstudie VAMM Fahrzeugtür

Messtechnische Charakterisierung der Demonstratoren



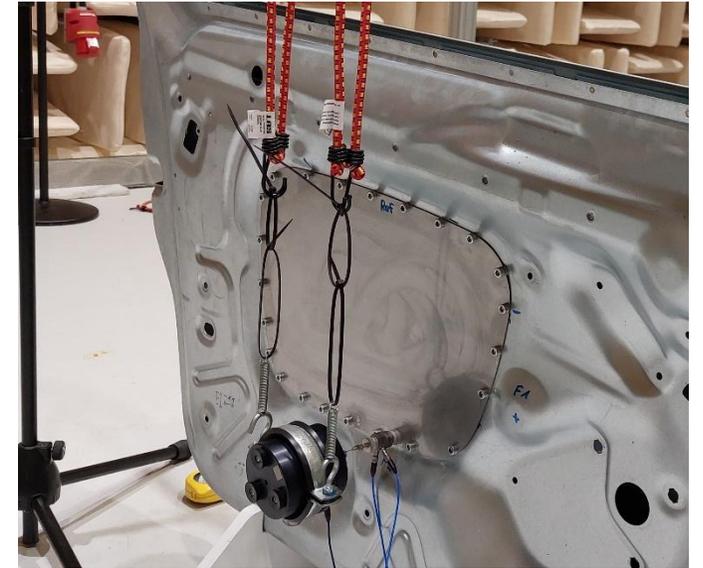
Luftschall

je 3 Freifeldmikrofone auf Innen- und Außenseite



Körperschall

7 Beschleunigungsaufnehmer auf Außenblech

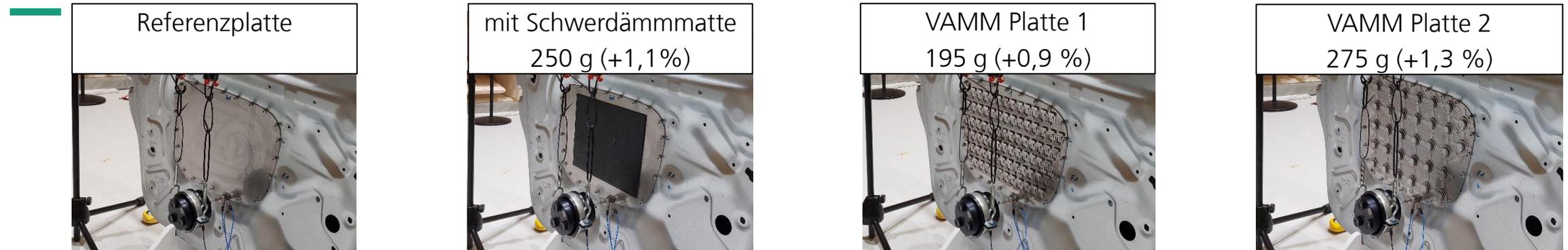


Anregung

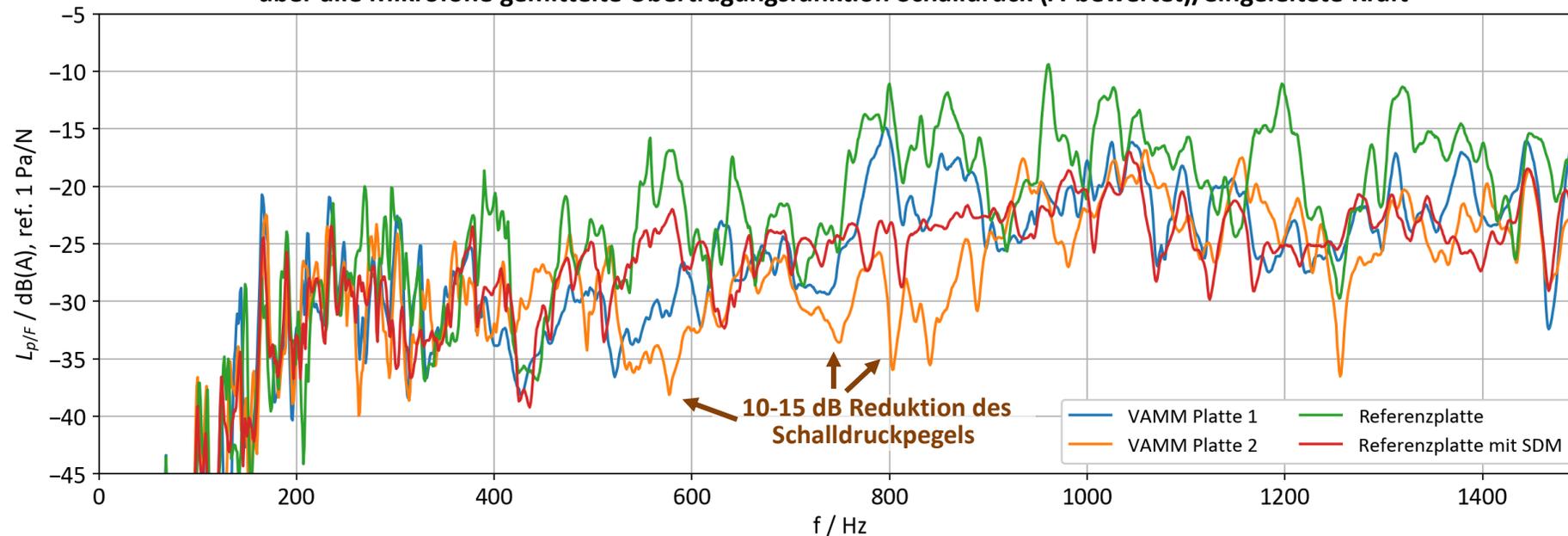
Shakeranregung

MetaVib - Anwendungsstudie VAMM Fahrzeugtür

Messtechnische Charakterisierung der Demonstratoren (VAMM Innenteil)

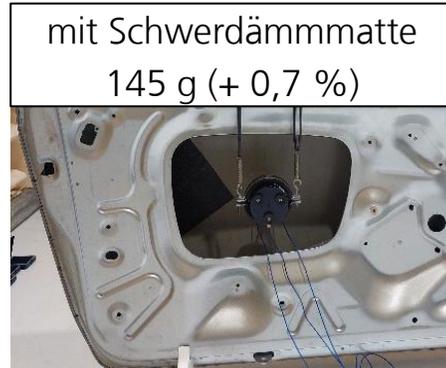


über alle Mikrofone gemittelte Übertragungsfunktion Schalldruck (A-bewertet)/eingeleitete Kraft

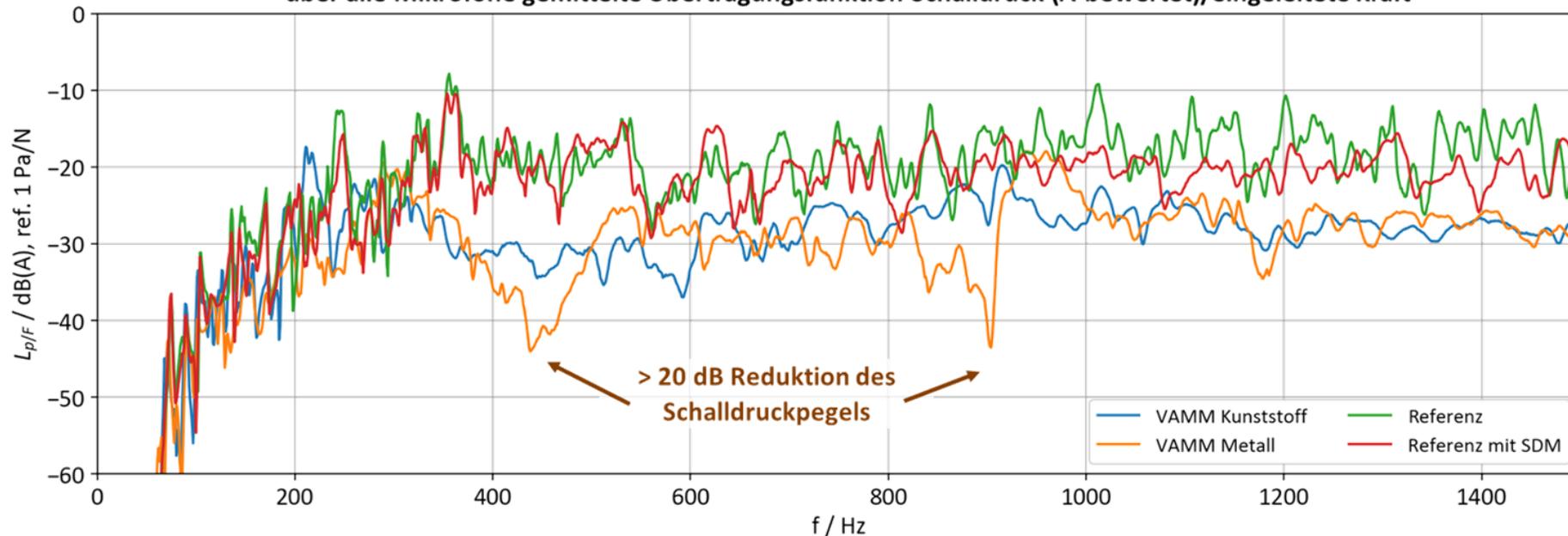


MetaVib - Anwendungsstudie VAMM Fahrzeugtür

Messtechnische Charakterisierung der Demonstratoren (VAMM Außenteil)



über alle Mikrofone gemittelte Übertragungsfunktion Schalldruck (A-bewertet)/eingeleitete Kraft



MetaVib - Anwendungsstudie VAMM Fahrzeugtür

Zusammenfassung

- Großserienfähige Konzepte für vibroakustische Metamaterialien aus Metall und Kunststoff zur Anwendung an einer Fahrzeugtür entwickelt
- Wirksamkeit der vibroakustischen Metamaterialien an verschiedenen Demonstratorbauteilen nachgewiesen (bis zu 30 dB Reduktion der Schwingungen in definierten Frequenzbereichen)
- Umsetzung verschiedener VAMM-Varianten an mehreren Fahrzeugtüren
- Potential von vibroakustischen Metamaterialien zur Schall- und Schwingungsreduktion konnte am Beispiel der Fahrzeugtür aufgezeigt werden
- VAMM-Konzepte sind auf verschiedenste Branchen, Anwendungen und Frequenzbereiche übertragbar



Kontakt

Jan Troge
Abteilungsleitung Technische Akustik
Tel. +49 351 4772 2322
jan.troge@iwu.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Nöthnitzer Straße 44
01187 Dresden
www.iwu.fraunhofer.de

ViaMeta Abschlussveranstaltung

MetaVib Demonstrator

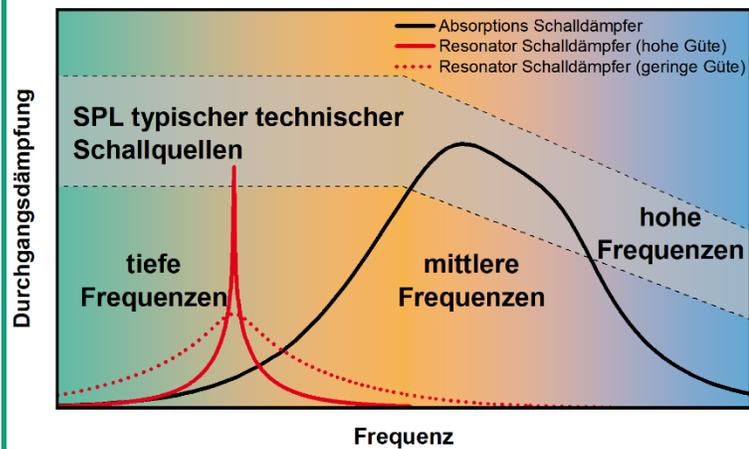
Vibro-Akustische Meta-Material Schalldämpfer

Dr. Peter Brandstätt – 17.04.2024 – Darmstadt

PREPARE »MetaVib« - Konzepte für VAMM-Schalldämpfer

Motivation

Anforderungen



Herkömmliche Schalldämpfer



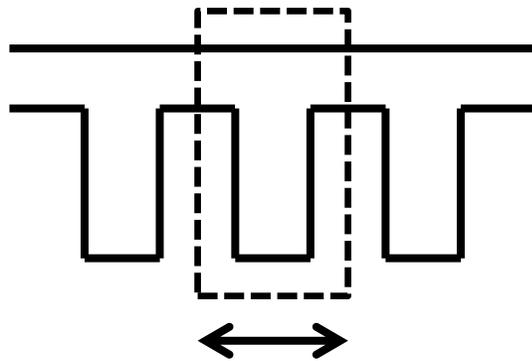
Beispiele für Resonator-Schalldämpfer



PREPARE »MetaVib« - Konzepte für VAMM-Schalldämpfer

Literaturrecherche – Eigene Klassifizierung aus Literaturrecherche

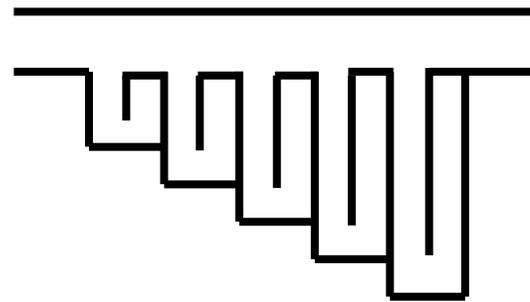
Periodische Strukturen



Einheitszelle

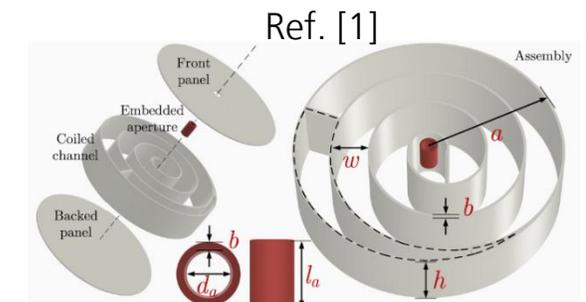
Maximale bandbegrenzte Dämpfung
Bragg-Effekt (Sonic Crystals)

Optimierte Anordnung



Breitbandige Dämpfung mit vielen
verschiedenen Resonatoren

Kompakte Resonator-Konzepte

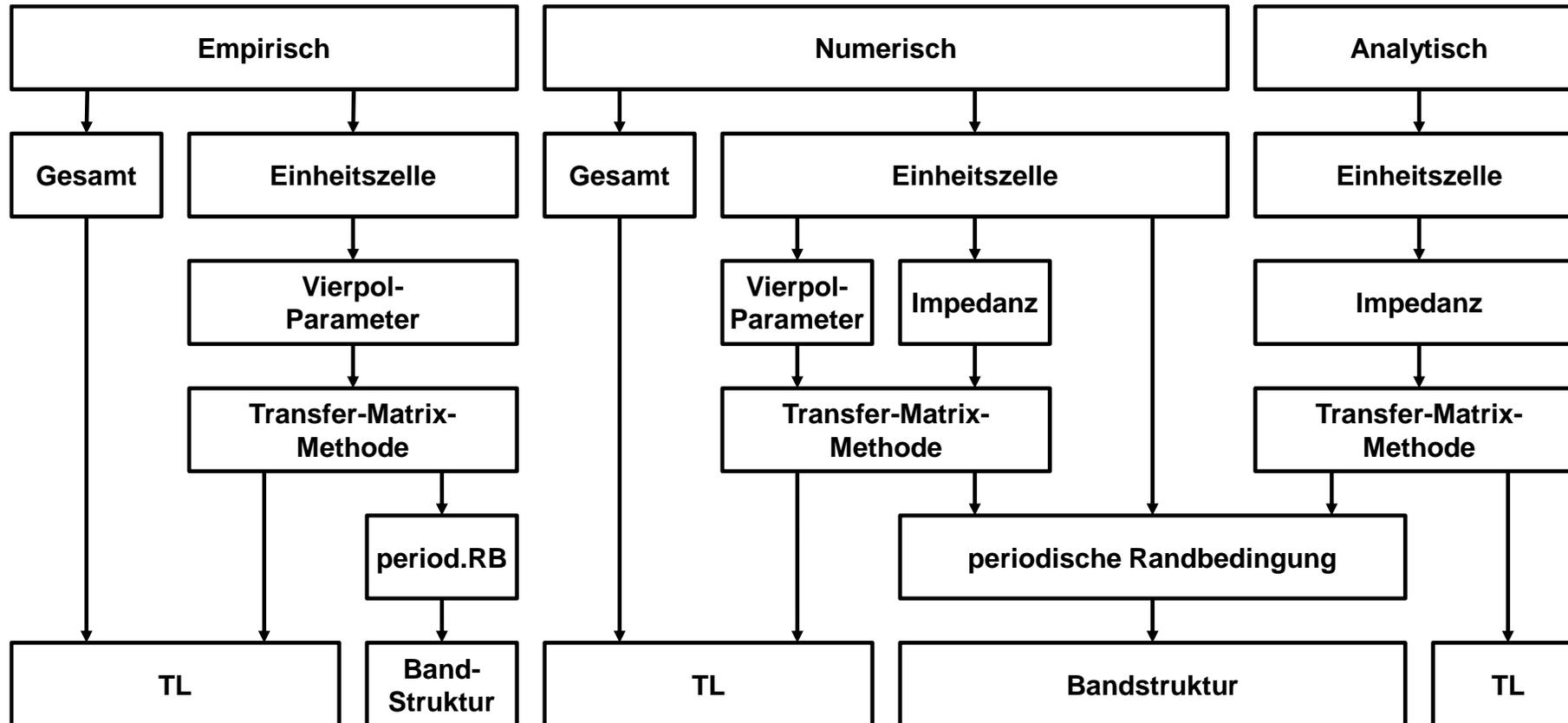


Gezielte Wirkung bei einer oder
mehreren Frequenzen

[1] S. Huang, X. Fang, X. Wang, B. Assouar, Q. Cheng, and Y. Li, "Acoustic perfect absorbers via spiral metasurfaces with embedded apertures," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 113, no. 23, p. 233501, 2018, doi: 10.1063/1.5063289.

Auslegungsmethodik und Auslegetools

Akustik-Toolbox (akustische VAMM)

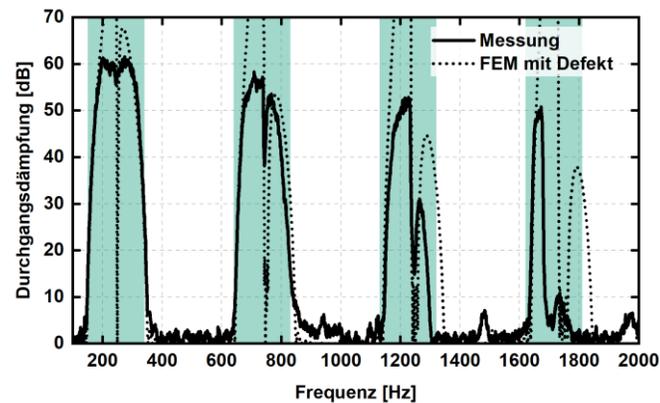
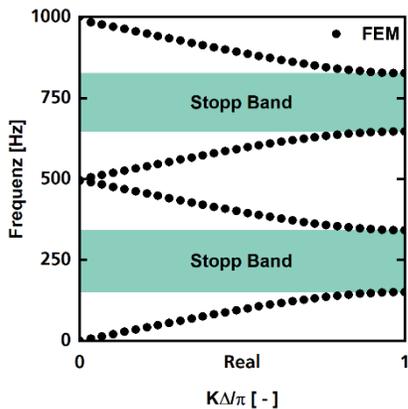


Auslegungsmethodik und Auslegetools

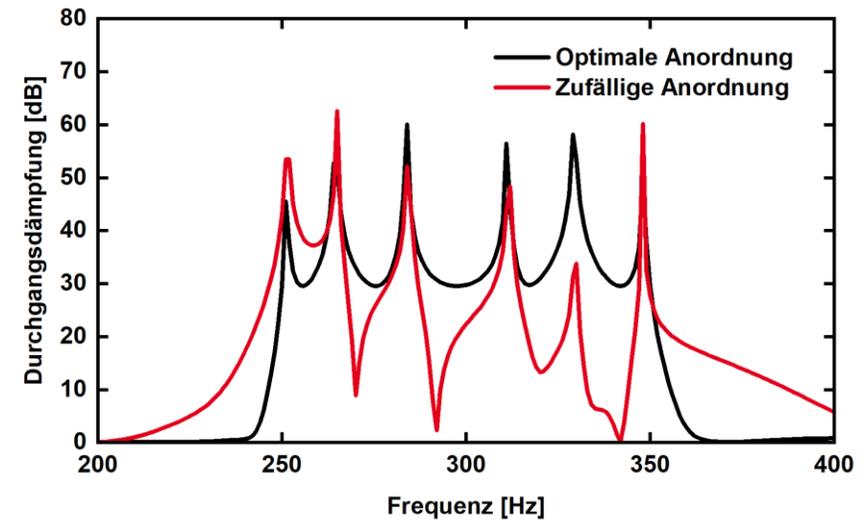
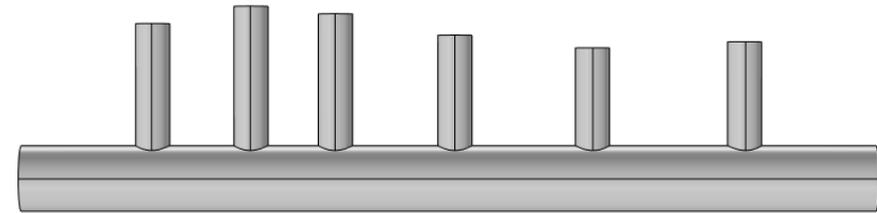
Auslegungsprozess (akustische VAMM)

Realisierung und Optimierung

Periodischer Verbund, Stopp-Bänder und Dämpfung

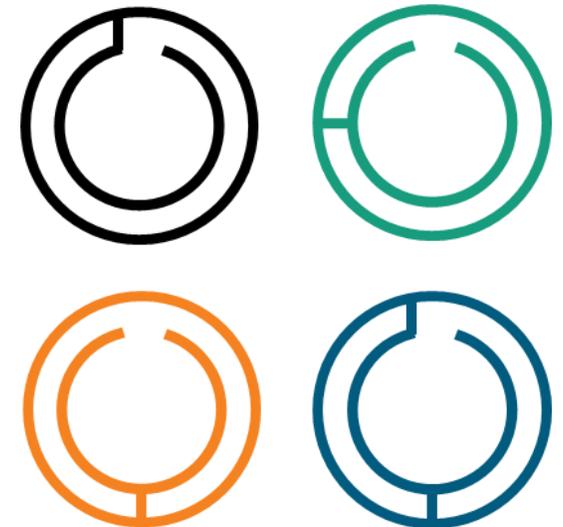
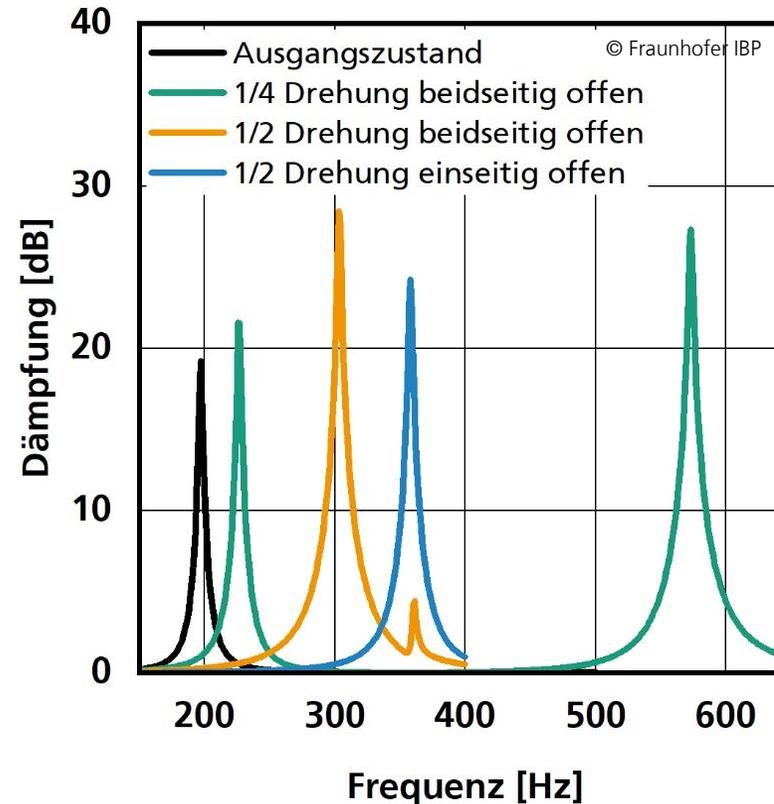
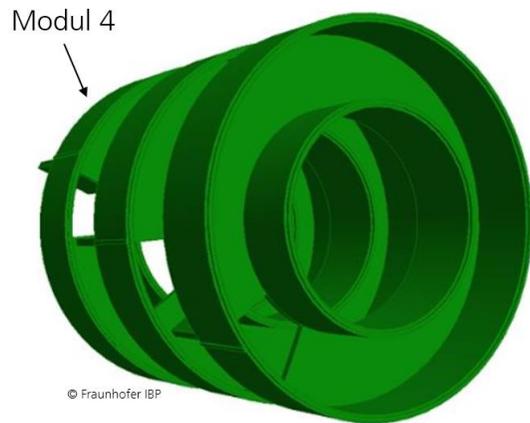
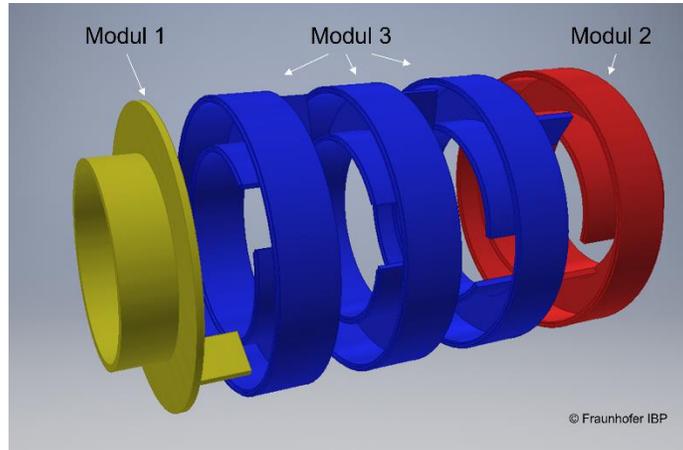


Aperiodischer Verbund mit abgestimmter Dämpfung



PREPARE »MetaVib« - Konzepte für VAMM-Schalldämpfer

Lösungskonzepte – Modularer einstellbarer Rohrschalldämpfer



Herstellungsverfahren

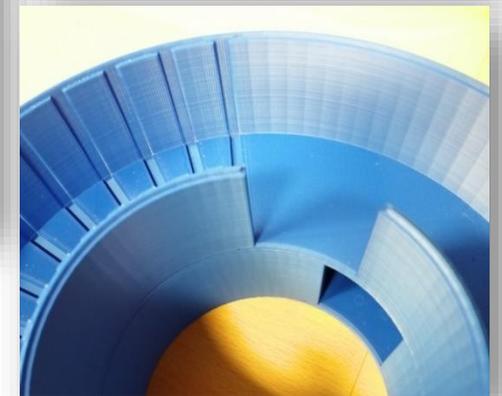
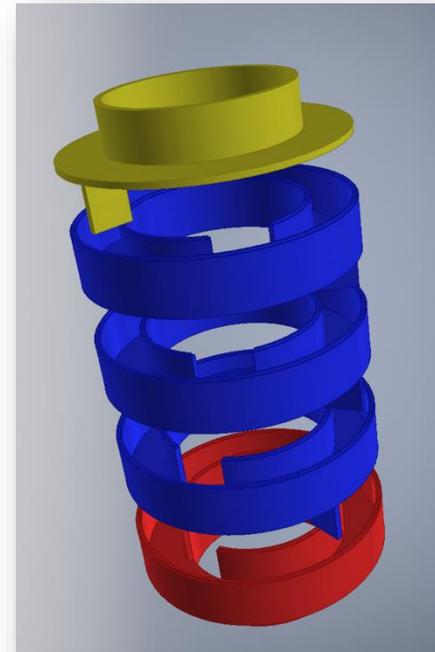
Additive Fertigung – FDM-Druck

Eigenschaften des Modulare Rohrschalldämpfers

- Modulares System zur Realisierung von einstellbaren Resonatoren
- Nut und Feder-Verbindungen wurden zur Verbesserung der Dichtigkeit Integriert.
- Um mehrere Resonatoren hintereinander zu erzeugen, können die Module zusammengesteckt werden.
- Durch verdrehen der Module zueinander können unterschiedliche Resonatorlängen bzw. Frequenzbereiche realisiert werden.

Herstellung des Modulare Rohrschalldämpfers

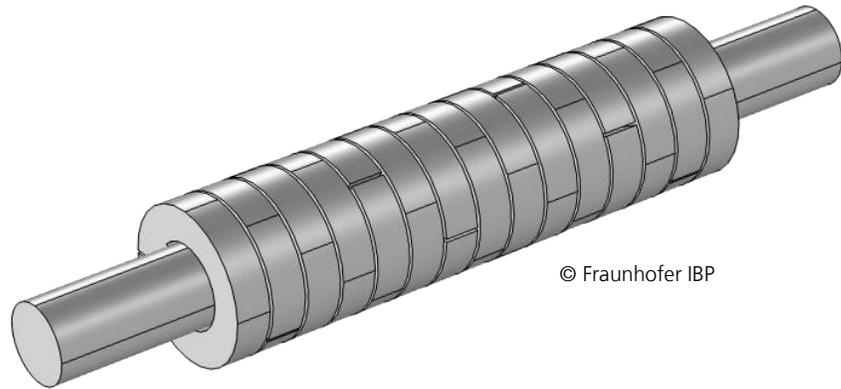
- Additive Fertigungsverfahren sind für den Prototypenbau und für Kleinserien mit geringen Stückzahlen geeignet.
- Für eine Serienfertigung wäre eine Herstellung im Spritzguss oder mit metallischen Gießverfahren (Druckguss) möglich.



PREPARE »MetaVib« - Konzepte für VAMM-Schalldämpfer

Lösungskonzepte – Modularer einstellbarer Rohrschalldämpfer

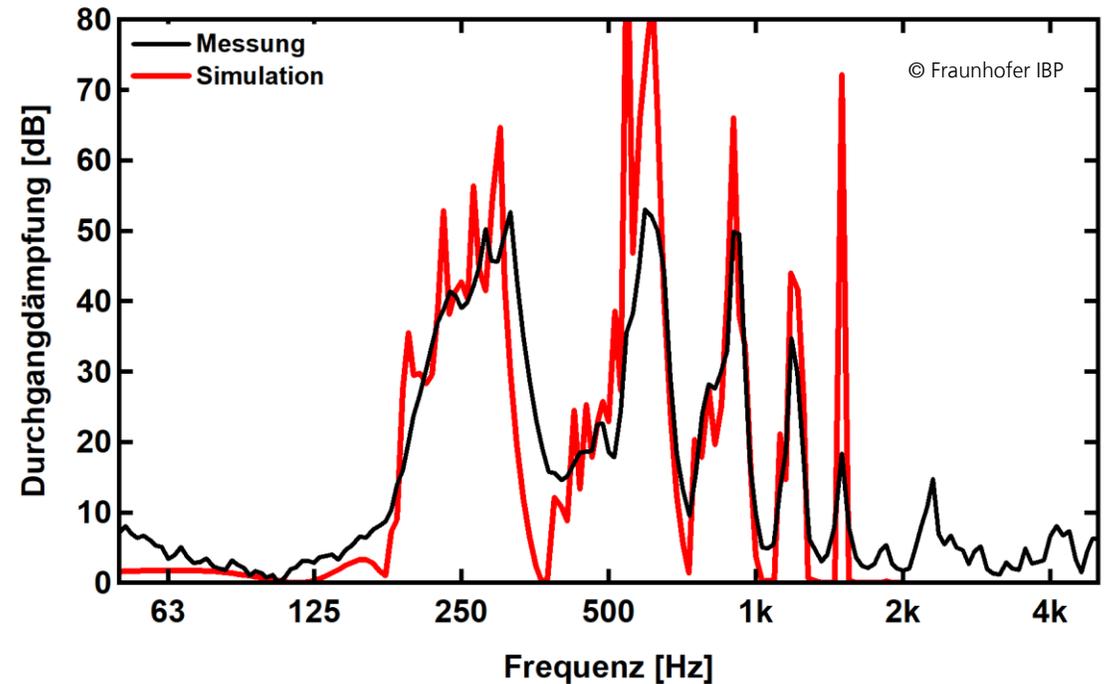
Auslegung und Validierung eines modularen Rohrschalldämpfers mit 15 Modulen



© Fraunhofer IBP



© Fraunhofer IBP

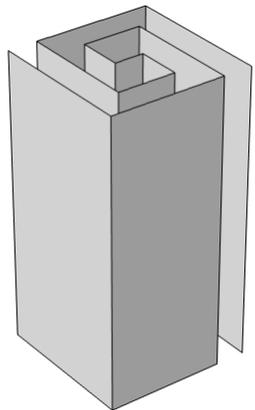


© Fraunhofer IBP

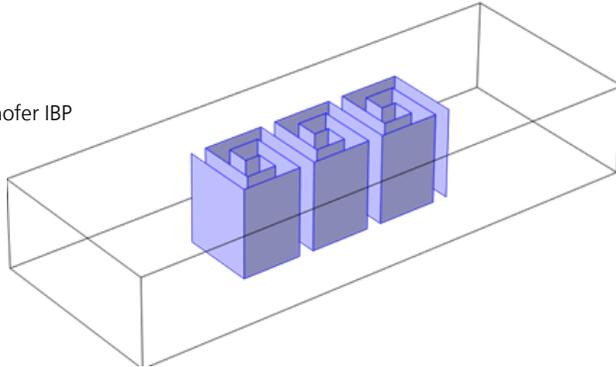
PREPARE »MetaVib« - Konzepte für VAMM-Schalldämpfer

Lösungskonzepte – Kulissenschalldämpfer Spiral-Resonatoren

- Zwei ineinander verwundene $\lambda/4$ -Resonatoren wirken symmetrisch auf beide Spalte
- Industrietaugliches Blech-Biegeverfahren / Abkanten



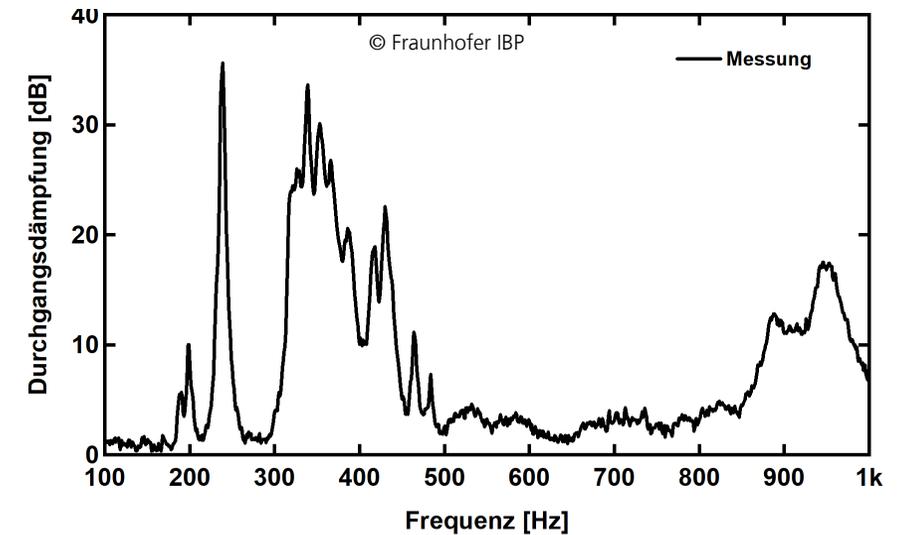
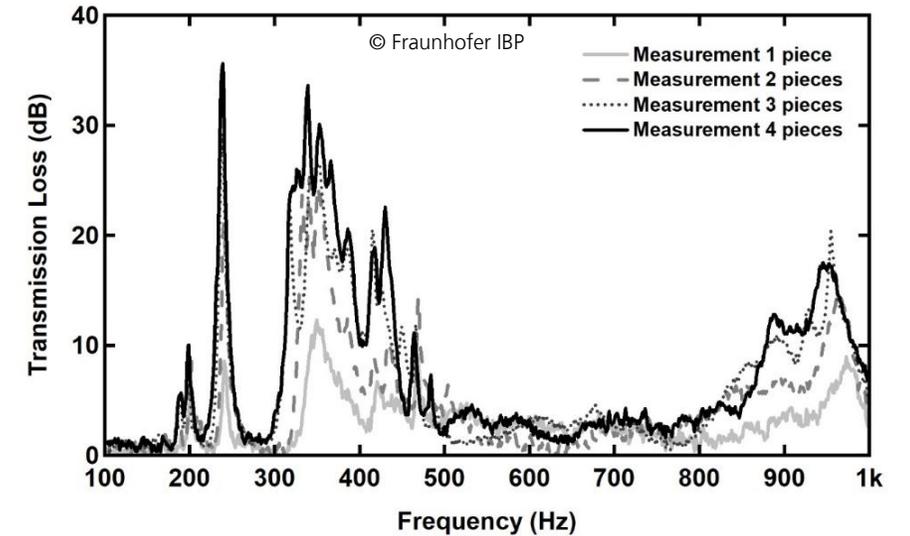
© Fraunhofer IBP



© Fraunhofer IBP



© Fraunhofer IBP

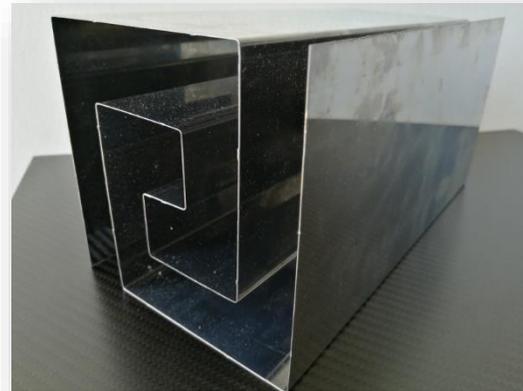
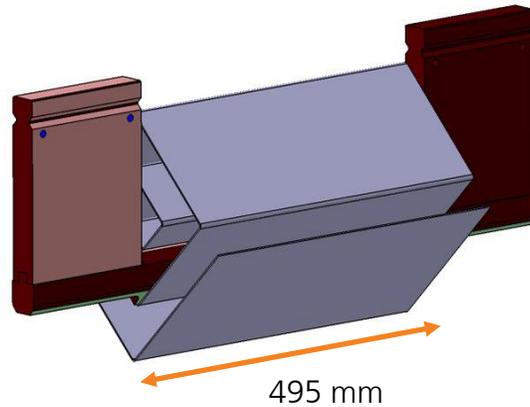
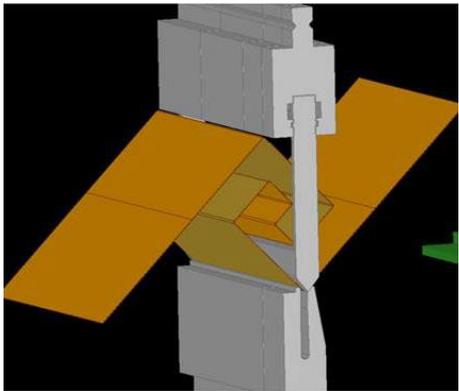


Herstellungsverfahren

Umformen

$\lambda/4$ -Resonator für Kulissenschalldämpfer

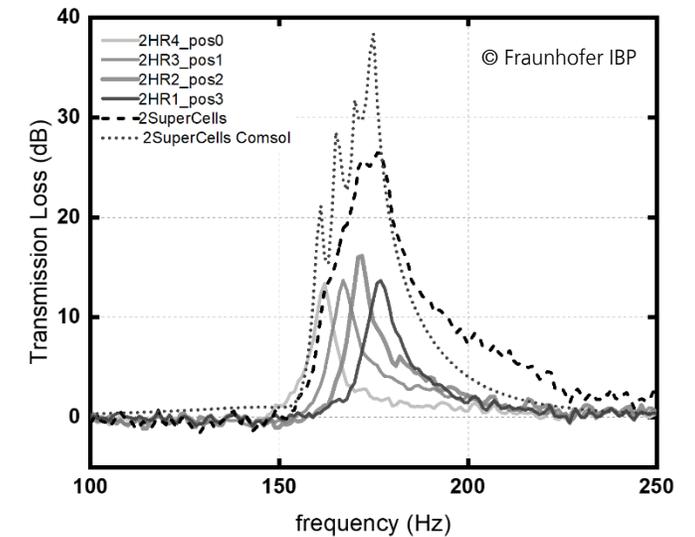
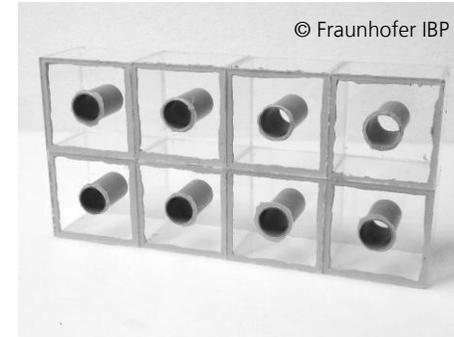
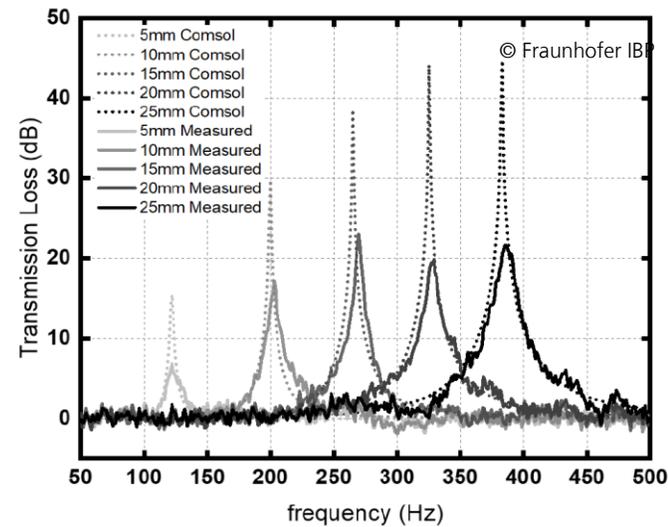
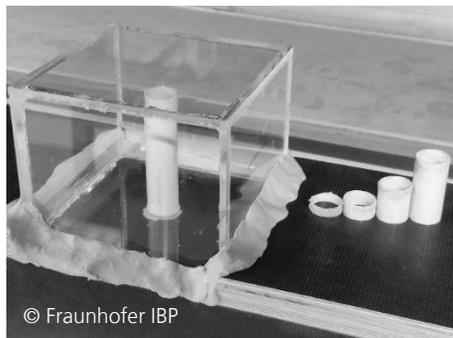
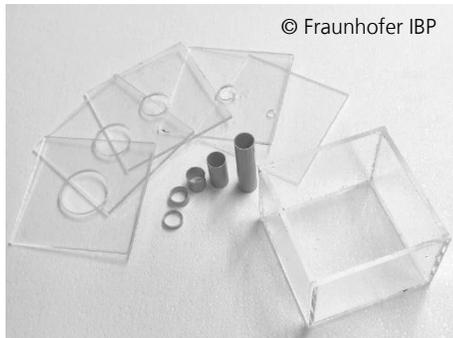
- Für den Einsatz in einem Kulissenschalldämpfer wurden $\lambda/4$ -Resonatoren aus Blech gefertigt.
- Für den Fertigungsprozess wurde ein spezielles Biegewerkzeug hergestellt.
- Mit einer Abkantpresse wurden Edelstahlbleche zu Doppelschnecken umgeformt.



PREPARE »MetaVib« - Konzepte für VAMM-Schalldämpfer

Lösungskonzepte – Kulissenschalldämpfer Kompakte Resonator-Arrays

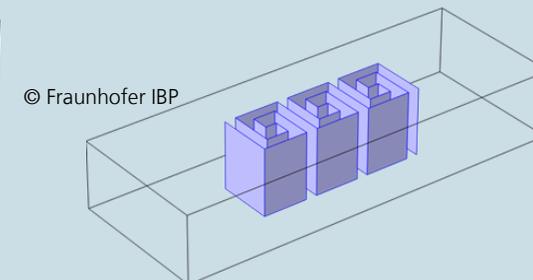
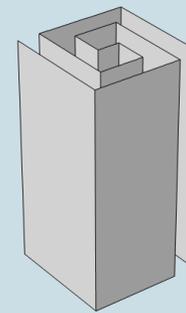
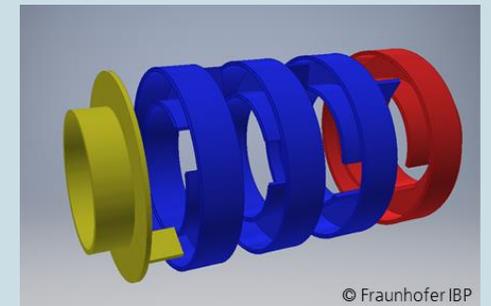
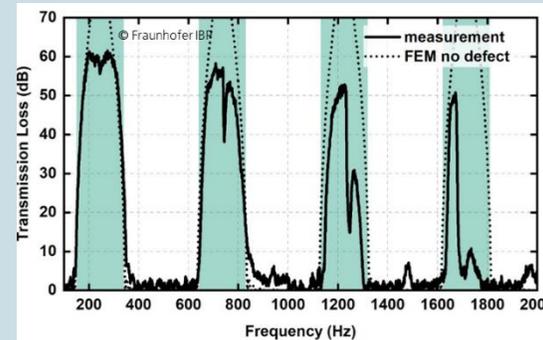
- Resonatorblech wird ersetzt durch einzelne Resonatoren mit speziell designer Anordnung, um Performance bei tiefen Frequenzen zu erhöhen
- Alle Resonatoren haben das gleiche Volumen, Abstimmung alleine über die Geometrie der Resonatoröffnung



PREPARE »MetaVib« - Konzepte für VAMM-Schalldämpfer

Fazit

- **Großes Potenzial verteilter Resonator-Anordnungen**
 - Hohe Dämpfung bei tiefen Frequenzen
 - Optimierte Anpassung an akustische Anforderungen
 - Neue Auslegungs- und Planungstools verfügbar
- **Kompakter einstellbarer Rohrschalldämpfer**
 - Variabel, modularen Konzept
 - Einstellbare Dämpfung nach dem Baukastenprinzip
- **Akustische Resonatoren für Kulissenschalldämpfer**
 - Symmetrische Gestaltung mit neuem Fertigungsverfahren
 - Tieffrequent abstimmbare Dämpfung
 - Variable Abstimmung



Kontakt

Dr. Peter Brandstätt
Abteilungsleitung Akustik
Tel. +49 711 970 3392
peter.brandstaett@ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.ibp.fraunhofer.de