

Einführung zu vibroakustischen Metamaterialien

Heiko Atzrodt, Fraunhofer LBF

Einführung zu vibroakustischen Metamaterialien (VAMM)

Geschichte

- **Erfolgreiche Erforschung** der unnatürlichen Materialeigenschaften im Bereich **Elektromagnetismus** (später auch Optik) – Metamaterial als Struktur, deren Durchlässigkeit für elektrische und magnetische Felder (Permittivität und Permeabilität) von **der in der Natur üblichen abweicht**.
- Analogien im Wellenverhalten wurden auf die Forschung zu **vibroakustischen Metamaterialien** übertragen **Stoppband: Frequenzbereiche**, in denen keine freie Wellenausbreitung möglich ist



Seit 1968 (aktiv seit ca. 1995) –
Elektromagnetische,
optische
Metamaterialien

Seit ca. 2005

Vibroakustische
Metamaterialien

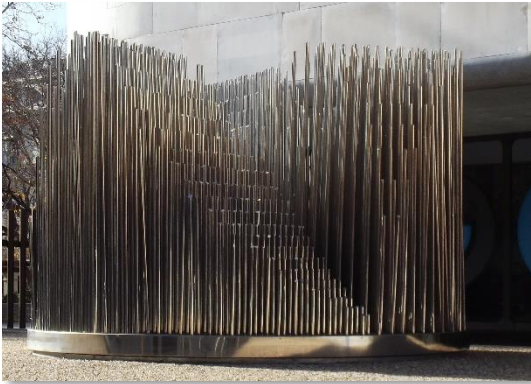
[1] Marnett, L. (2008). Biochemistry: Divergence from the superfamily. Nature, 455

[2] Duke University: <https://stories.duke.edu/beyond-materials-from-invisibility-cloaks-to-satellite-communications>

Einführung zu vibroakustischen Metamaterialien (VAMM)

Vergleich: Bragg-Effekt vs. Lokaler Resonanzeffekt

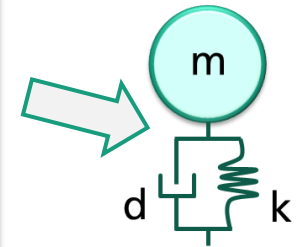
Bragg-Effekt (Phononic crystals)



Quelle: [5]

- Effekt: Stoppbänder durch destruktive Interferenz
- Problem: Gitterkonstante direkt mit der Frequenz der zu beeinflussenden Wellen gekoppelt
- Für niederfrequent Stoppband wird die Gitterkonstante groß
- Aufwändige Auslegung bei komplexen Strukturen

Lokaler Resonanzeffekt



- Effekt: Stoppbänder durch Absorption aufgrund lokaler Resonatoren
- Platzierung von Resonanzstrukturen auf der Skala **kleiner** der zu beeinflussenden Wellen
- Stoppbandbreite gut durch Dämpfung der Resonatoren einstellbar

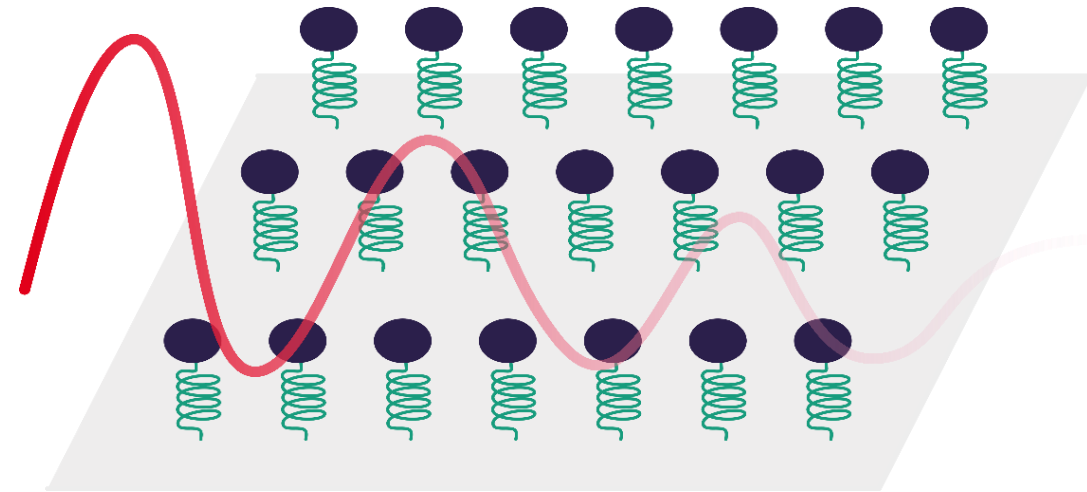
Einführung zu vibroakustischen Metamaterialien (VAMM)

Definition

Vibroakustische Metamaterialien: künstlich hergestellte Strukturen, die durch das spezielle Design **von periodisch angeordneten Einheitszellen** leistungsfähigere Eigenschaften in Bezug auf das dynamische Verhalten aufweisen als konventionelle Materialien. Jede Einheitszelle stellt einen akustischen oder strukturdynamischen Resonator (Feder-Masse-System) dar.

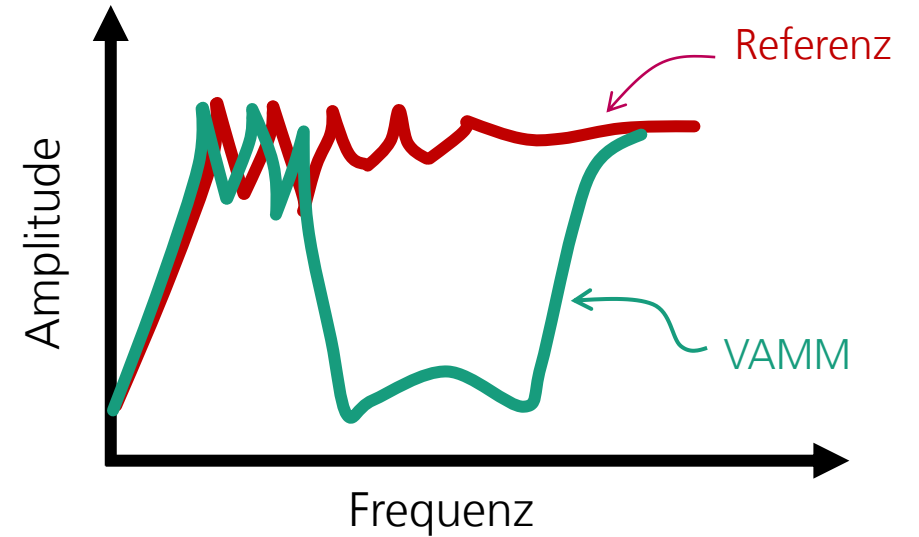
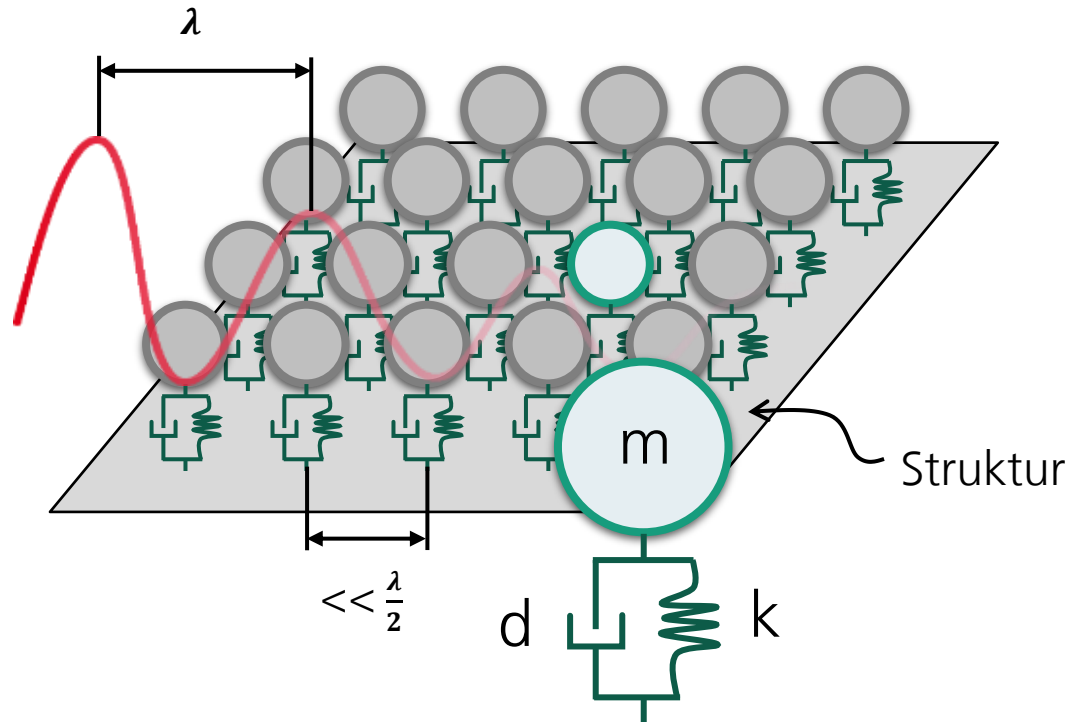
Vorteile:

- ✓ Flexibles und kompaktes Design
- ✓ Hohes Leichtbaupotenzial
- ✓ Breitbandige Wirkung



Einführung zu vibroakustischen Metamaterialien (VAMM)

Definition

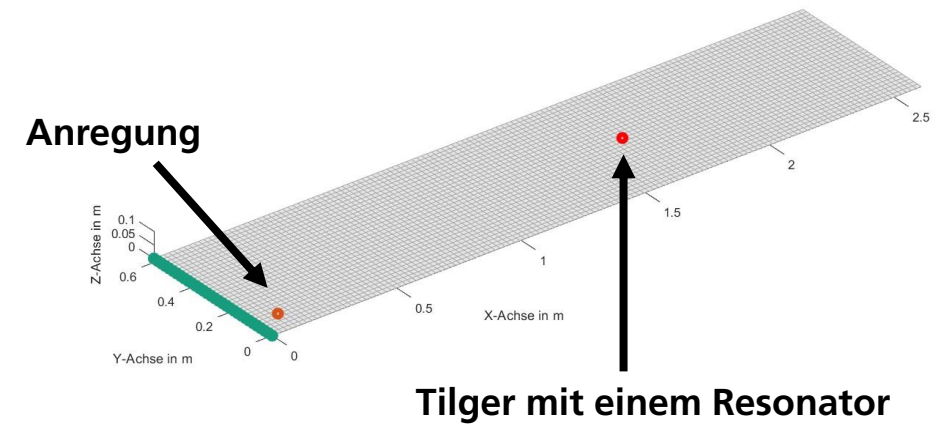
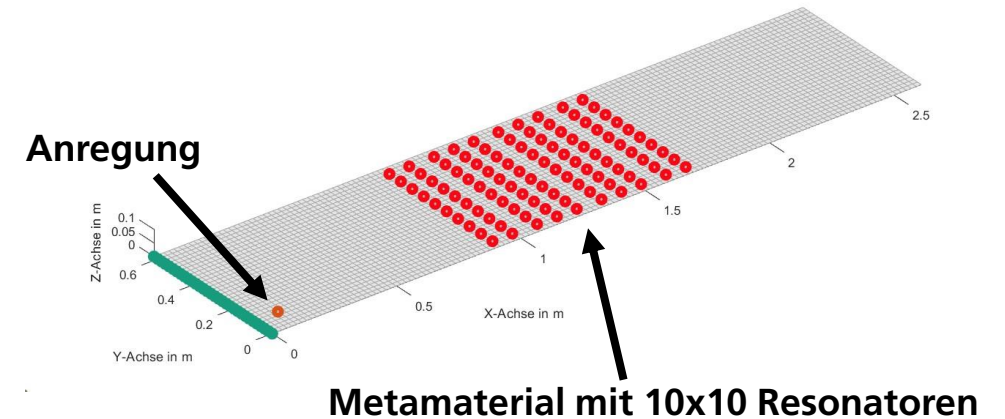


Die VAMM-Struktur ergibt sich aus der Kombination der Grundstruktur und gezielt platzierten Resonatoren. Dadurch entstehen Stoppbänder – **Bereiche mit stark abgeschwächter Wellenausbreitung**.

Einführung zu vibroakustischen Metamaterialien (VAMM)

VAMM-Platte - Grundstruktur

- Rechteckplatte
 - 2.610mm x 620 mm x 5 mm
 - Stahl
 - Einseitig eingespannt
- Harmonische Analyse
 - Lokale Kraftanregung
 - Auswertung an verschiedenen Punkten
- Ziel:
 - Vergleich Metamaterialien mit einem einzelnen Tilger
 - Zusätzliche Gesamtmasse des einzelnen Tilgers und der 10x10 Resonatoren zusammen sind identisch



Einführung zu VAMM

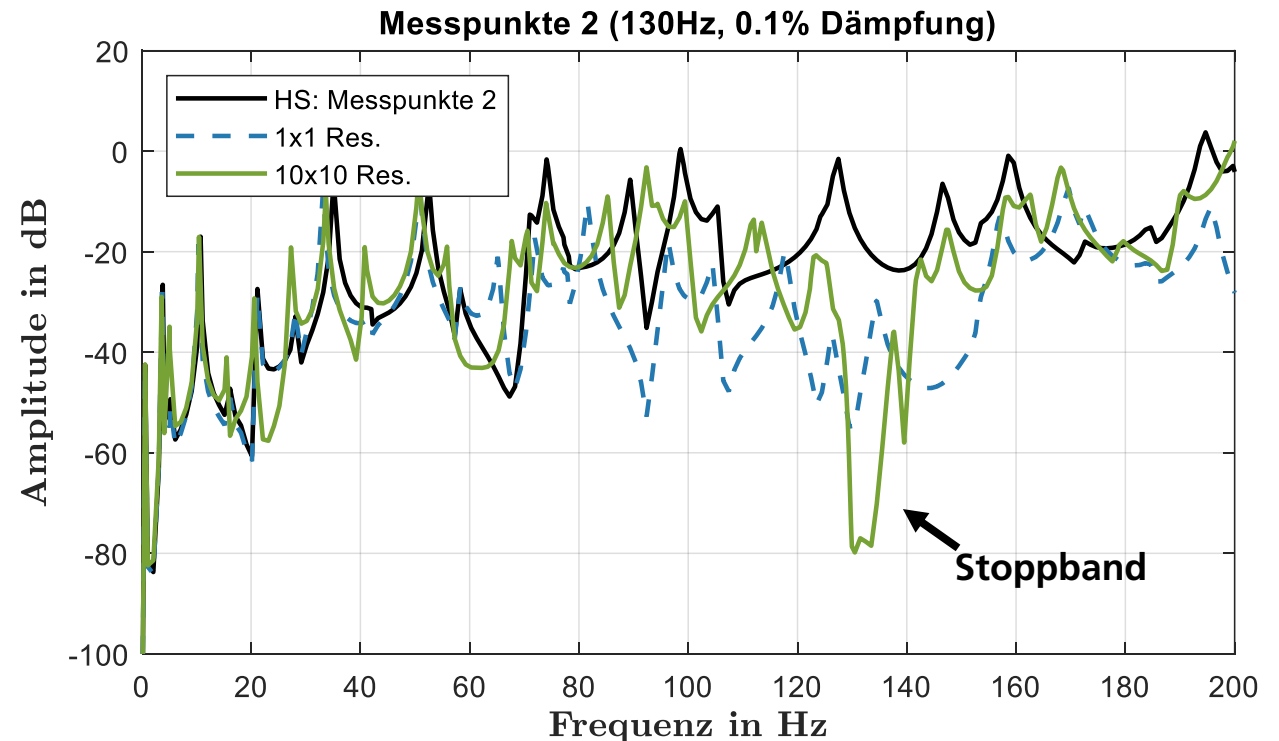
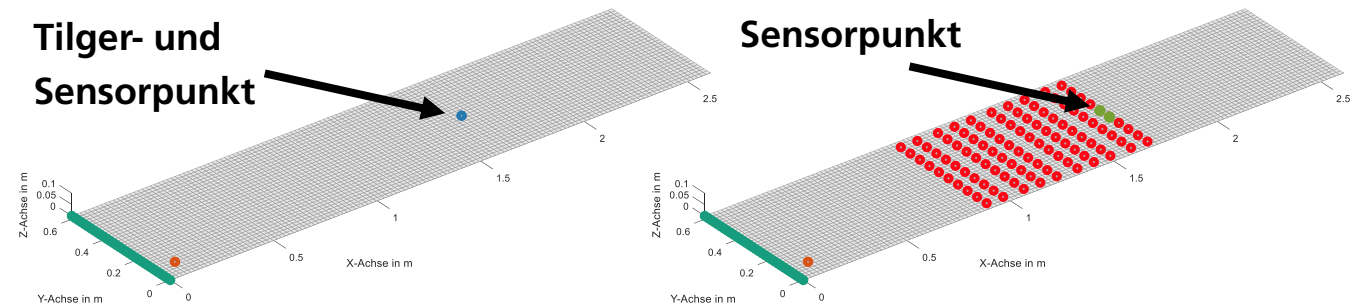
VAMM vs. Tilger

■ Randbedingungen Resonatoren:

- Frequenz: 130 Hz
- Zusätzliche Masse: 7 %
- Dämpfungsgrad: 0,1 %
- Auswertung: am Tilgerpunkt

■ Ergebnis:

- Tilger: Nullstelle bei 130 Hz
- VAMM: Stopband ab 130 Hz



➔ tiefere und breitbandigere Reduktion durch VAMM

Einführung zu VAMM

VAMM vs. Tilger

■ Randbedingungen Resonatoren:

■ Frequenz: 130 Hz

■ **Zusätzliche Masse: 14 %**

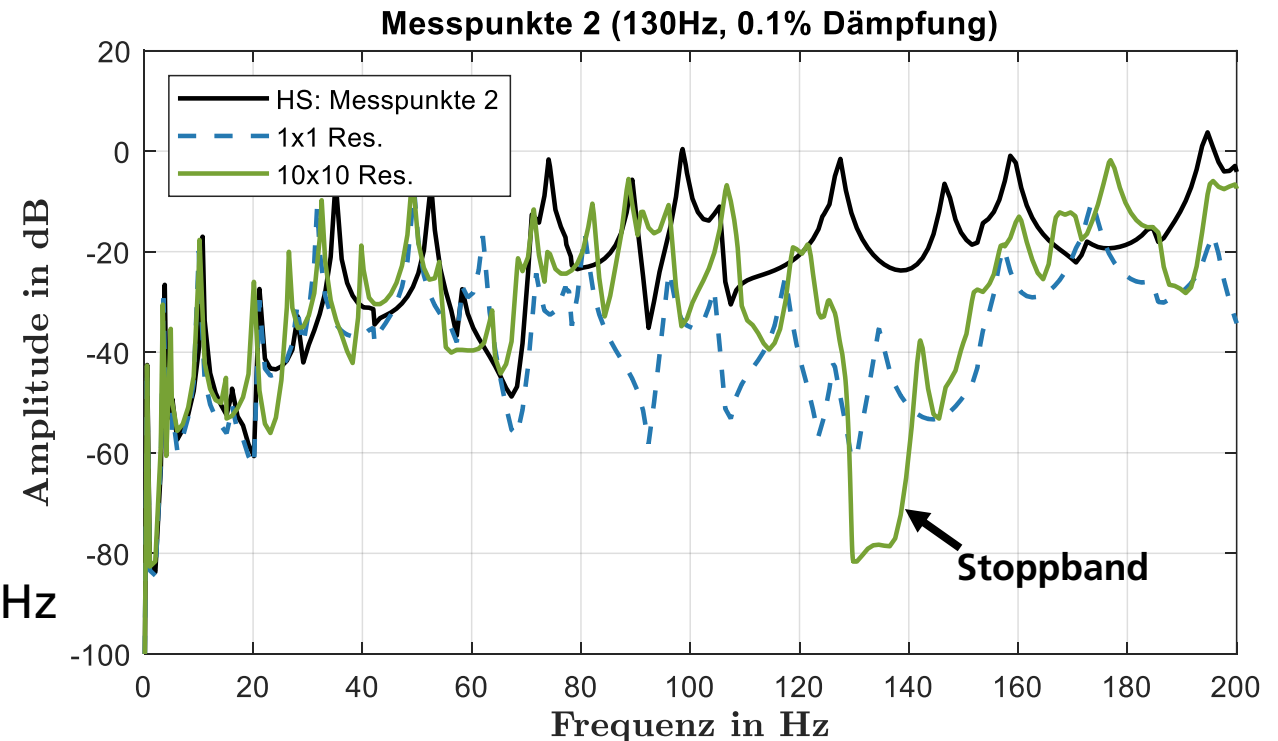
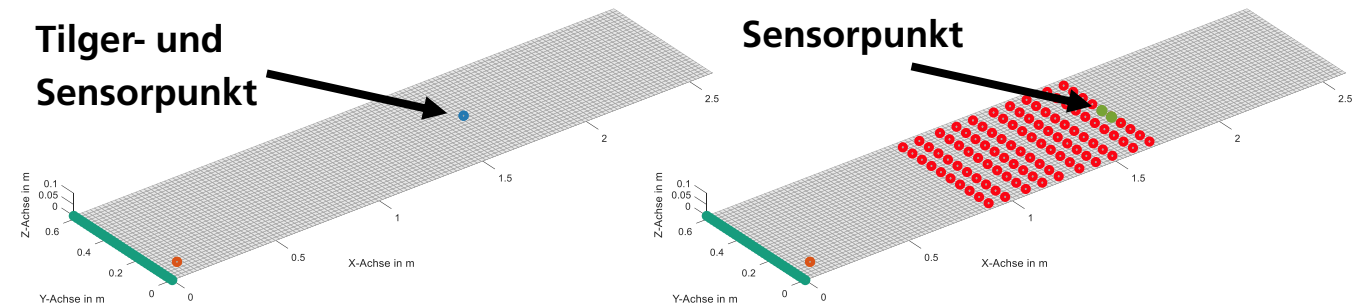
■ Dämpfungsgrad: 0,1 %

■ Auswertung: am Tilgerpunkt

■ Ergebnis:

➤ Tilger: Nullstelle bei 130 Hz

➤ VAMM: breiteres Stoppband ab 130 Hz



➔ Breite des Stoppbandes ist abhängig von der Höhe der zusätzlichen Masse

Einführung zu VAMM

VAMM vs. Tilger

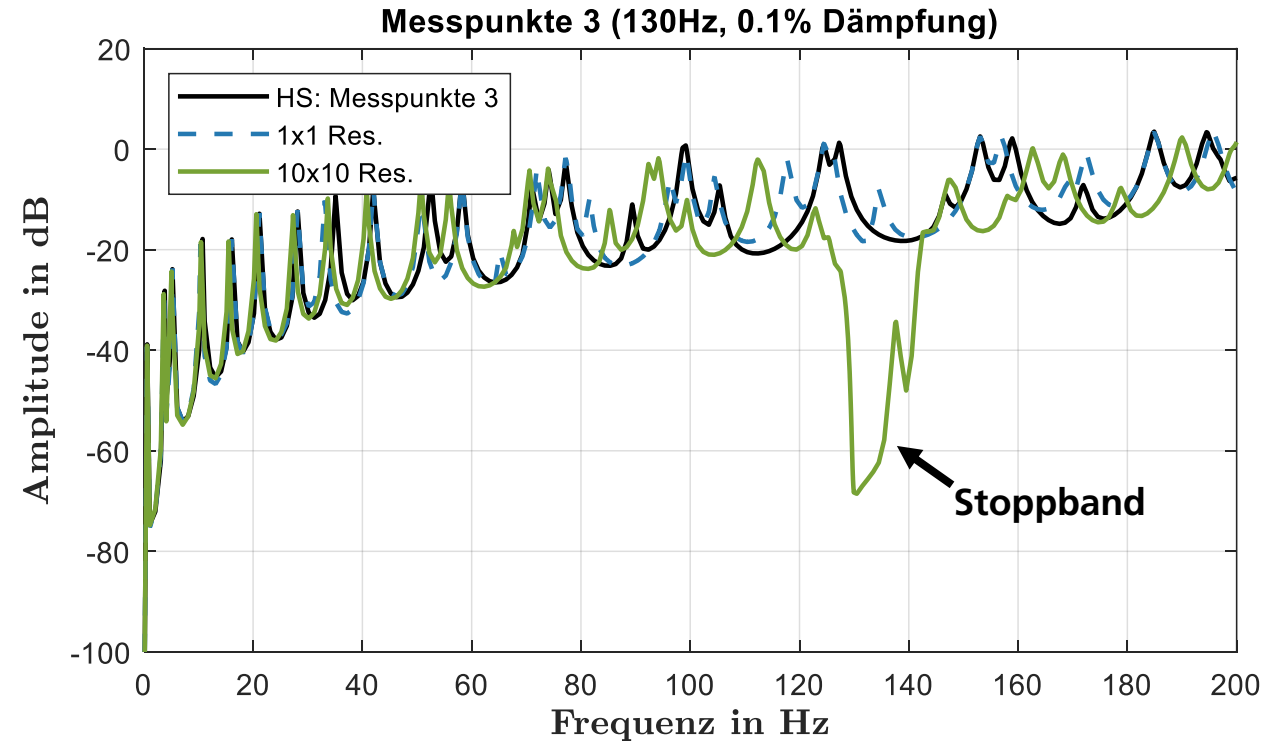
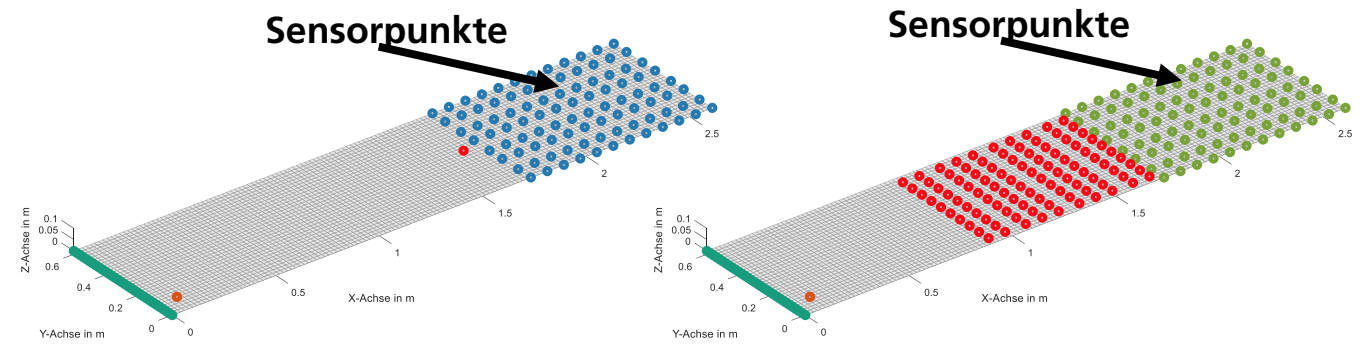
■ Randbedingungen Resonatoren:

- Frequenz: 130 Hz
- Zusätzliche Masse: 7 %
- Dämpfungsgrad: 0,1 %

■ Auswertung: nach den VAMM

■ Ergebnis:

- Tilger: keine Reduktion
- VAMM: Stopband ab 130 Hz



➔ VAMM erzeugen Stopband auch nach den Resonatoren

Einführung zu VAMM

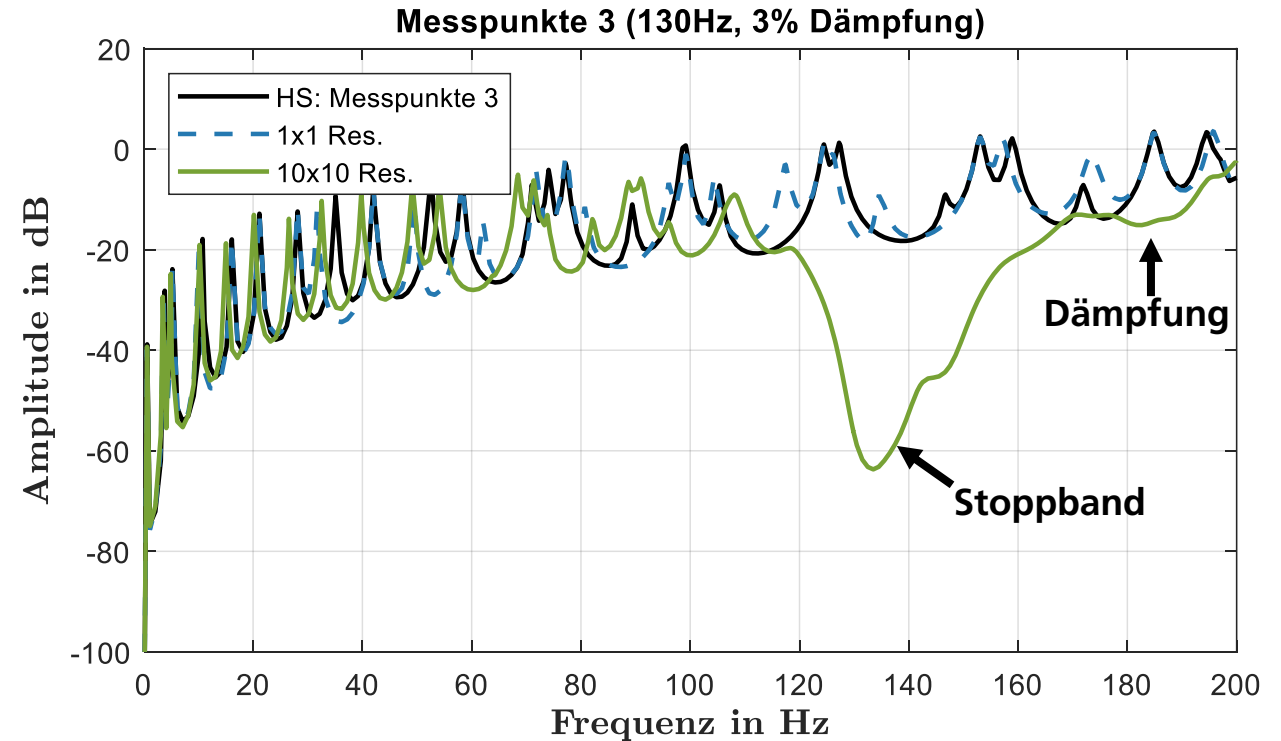
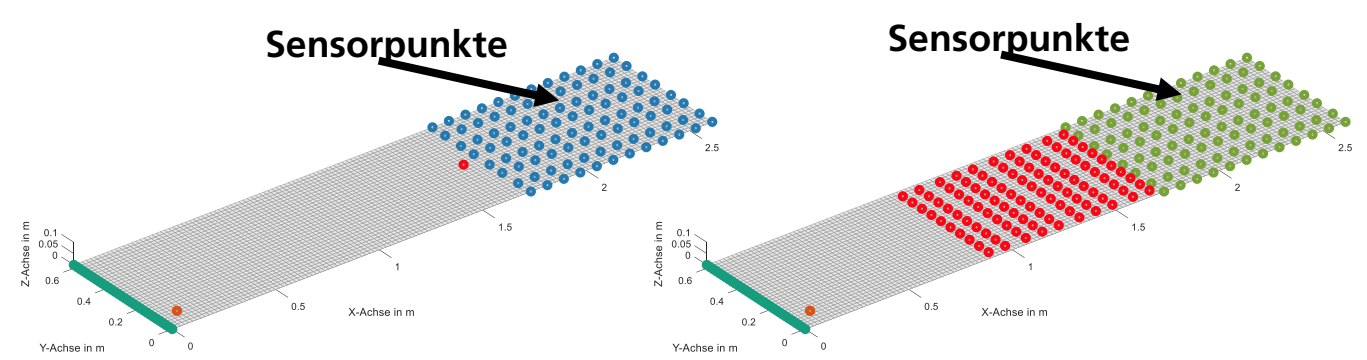
VAMM vs. Tilger

■ Randbedingungen Resonatoren:

- Frequenz: 130 Hz
- Zusätzliche Masse: 7 %
- Dämpfungsgrad: 3 %
- Auswertung: nach den VAMM

■ Ergebnis:

- Tilger: keine Reduktion
- VAMM: Stopband breiter und oberhalb Dämpfung



➔ Dämpfung in den Resonatoren wirken ab der Resonanzfrequenz

Einführung zu VAMM

VAMM vs. Tilger

■ Randbedingungen Resonatoren:

■ Frequenz: 130 Hz und 150 Hz

■ Zusätzliche Masse: 7 %

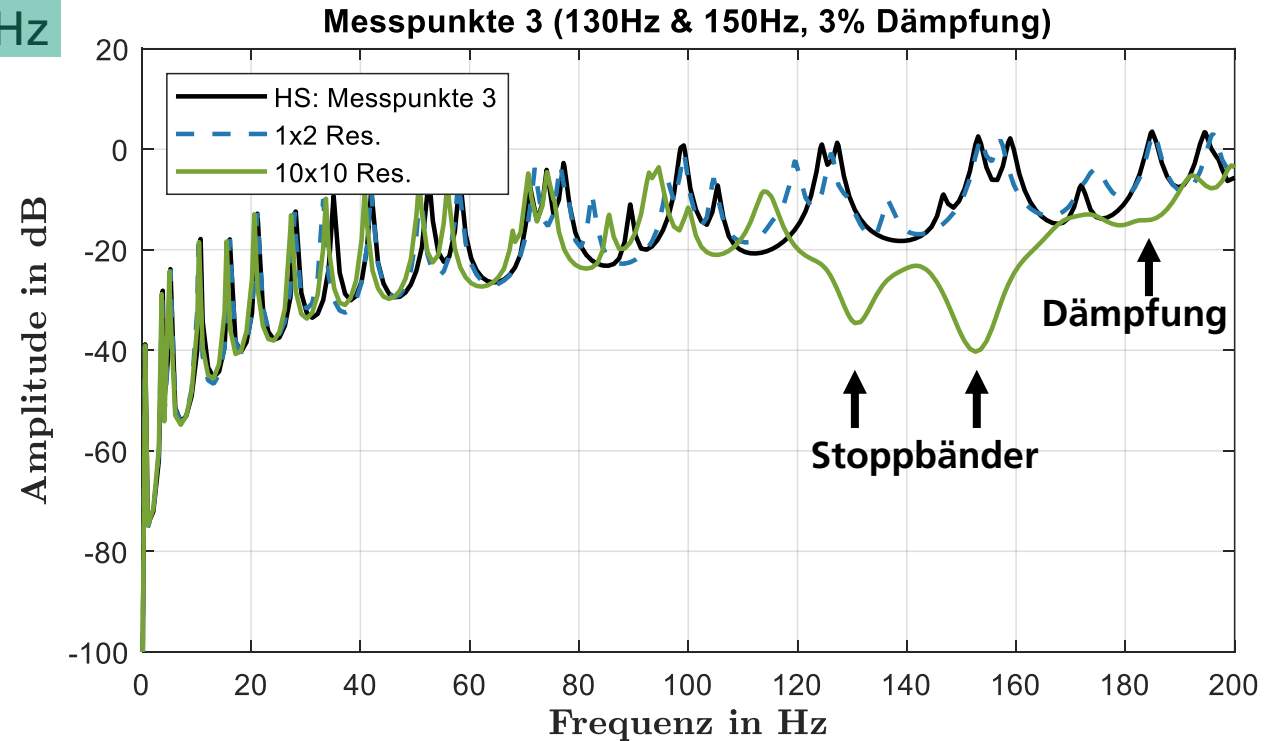
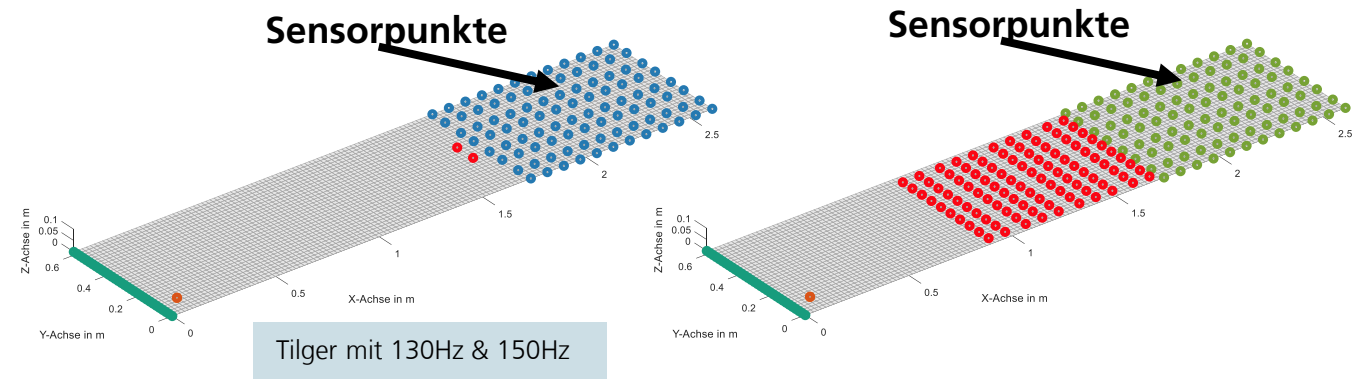
■ Dämpfungsgrad: 3 %

■ Auswertung: nach den VAMM

■ Ergebnis:

➤ Tilger: keine Reduktion

➤ VAMM: zwei Stoppbänder



➔ Mehrere Stoppbänder mit VAMM kombinierbar

Einführung zu VAMM

VAMM vs. Tilger

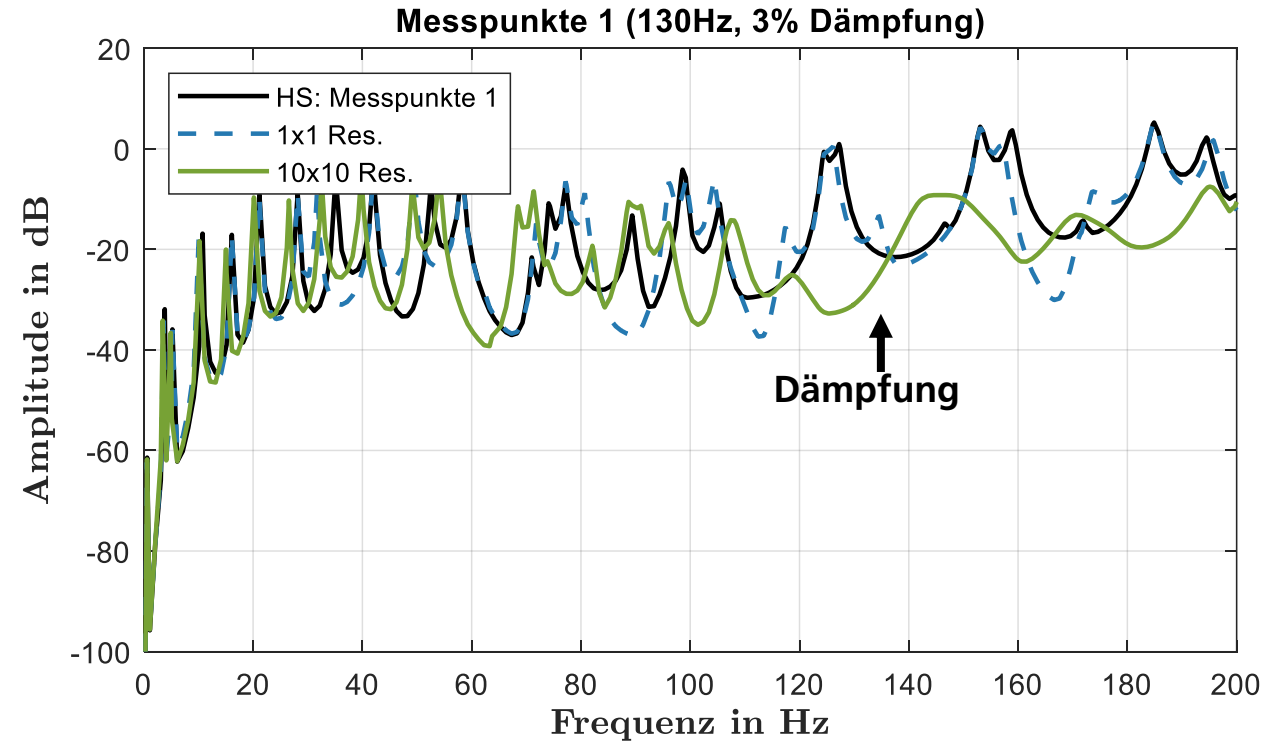
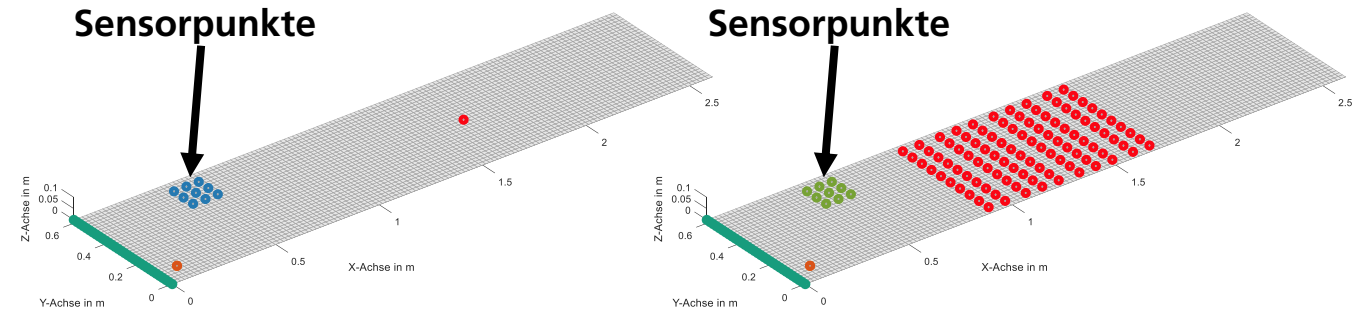
■ Randbedingungen Resonatoren:

- Frequenz: 130 Hz
- Zusätzliche Masse: 7 %
- Dämpfungsgrad: 3 %

■ Auswertung: vor den VAMM

■ Ergebnis:

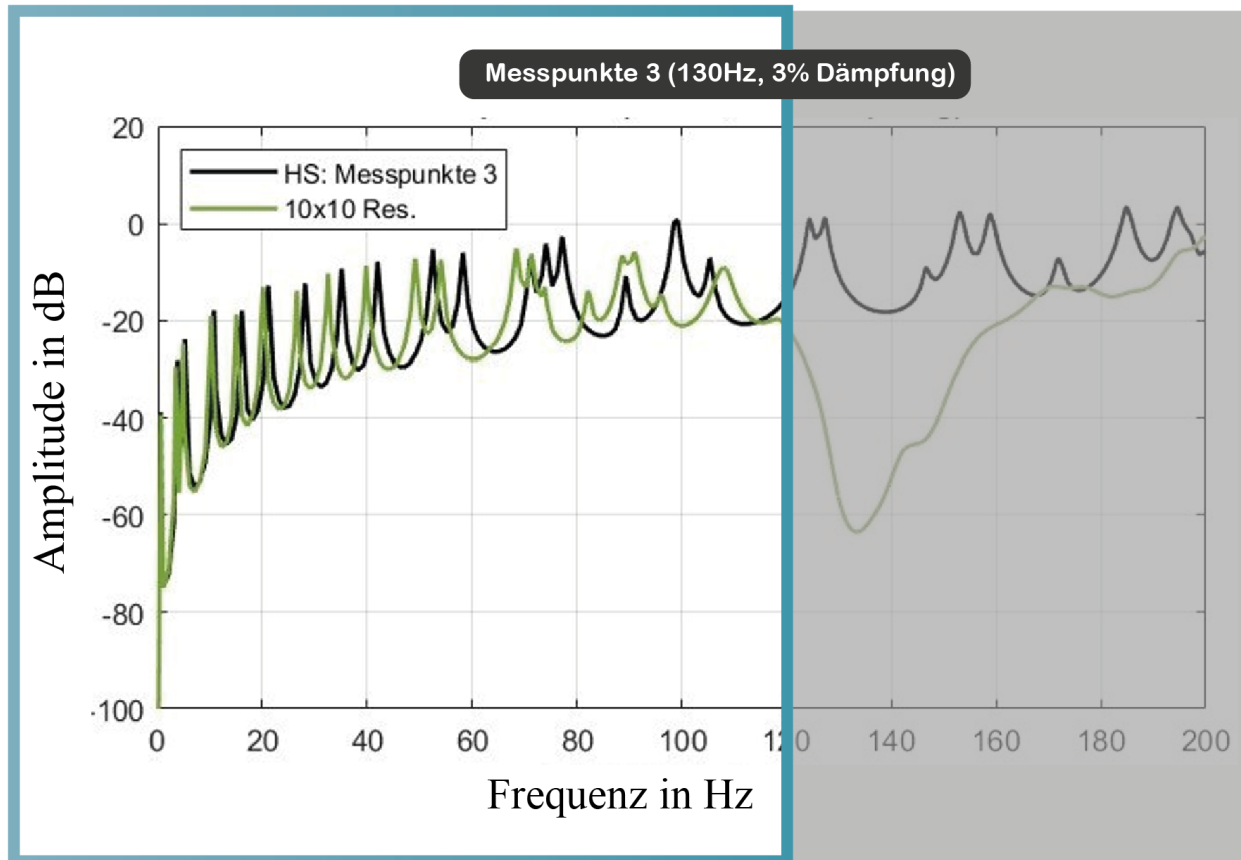
- Tilger: keine Reduktion
- VAMM: Dämpfung ab Resonanzfrequenz



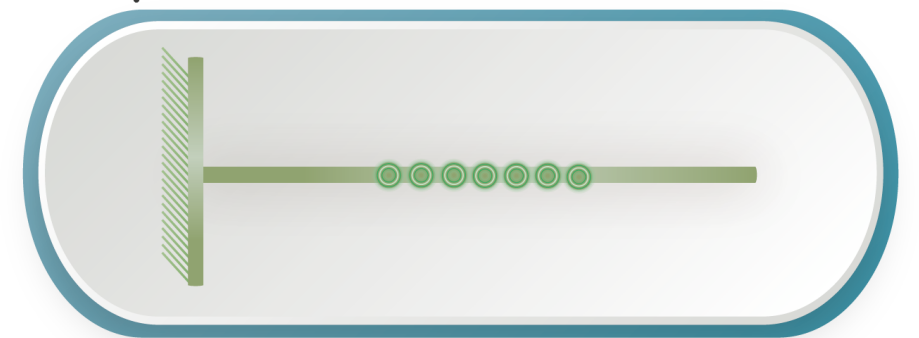
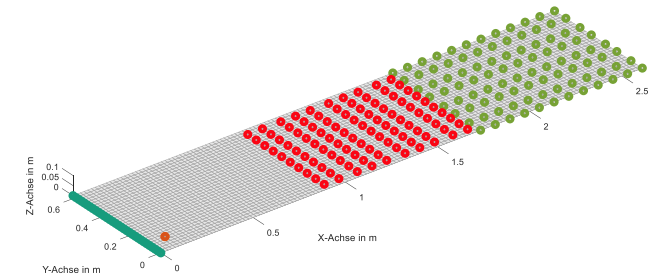
➔ Dämpfung in den Resonatoren dämpft die Schwingungen schon vor den VAMM

Einführung zu VAMM

Wirkweise

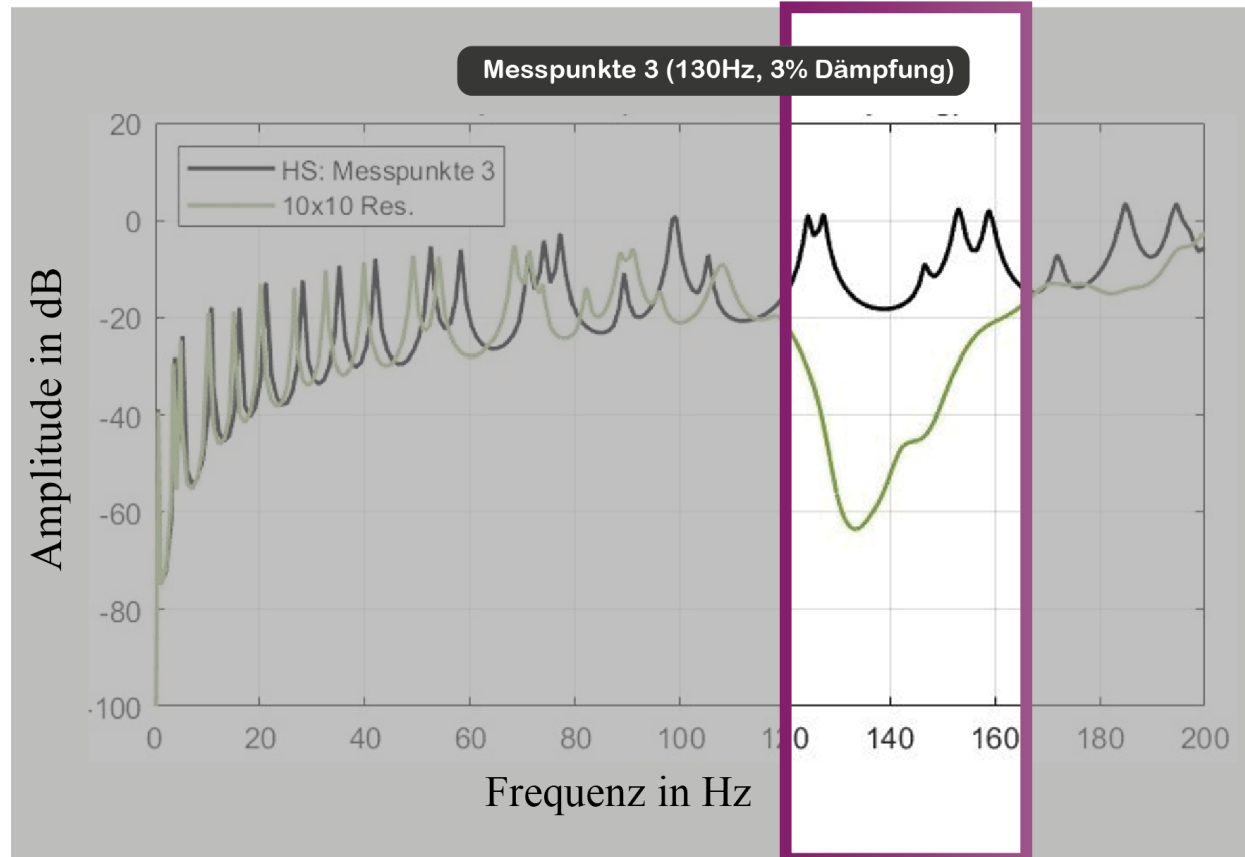


vereinfachtes
und
idealisiertes
Wirkprinzip

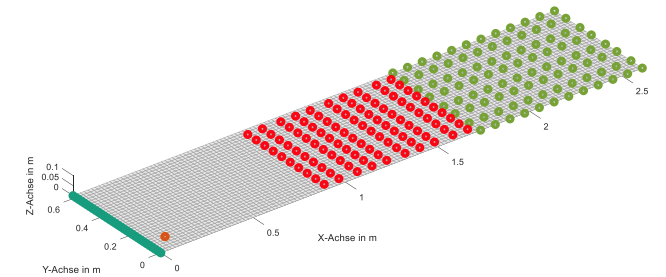


Einführung zu VAMM

Wirkweise

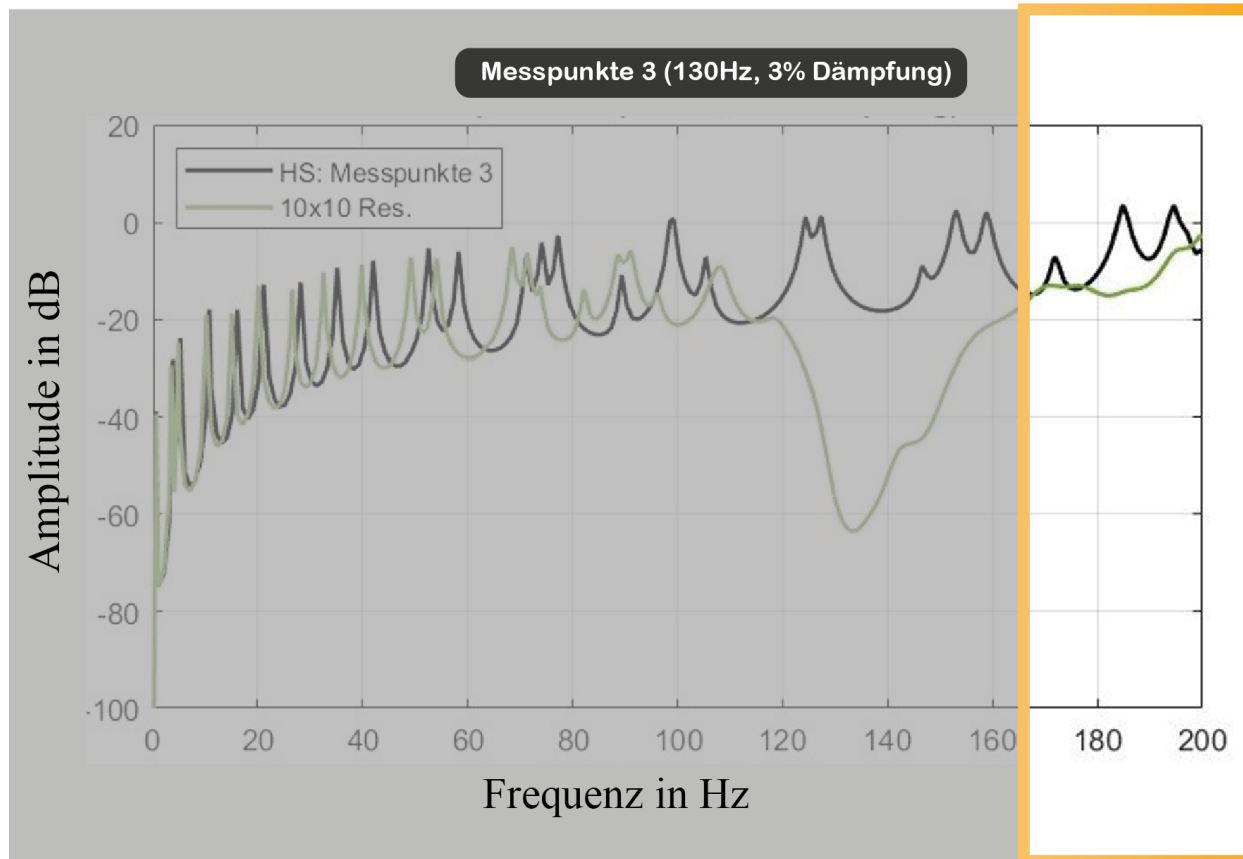


vereinfachtes
und
idealisiertes
Wirkprinzip

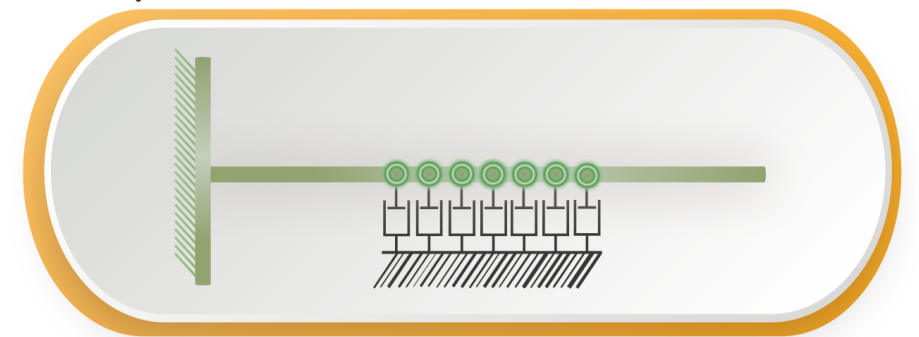
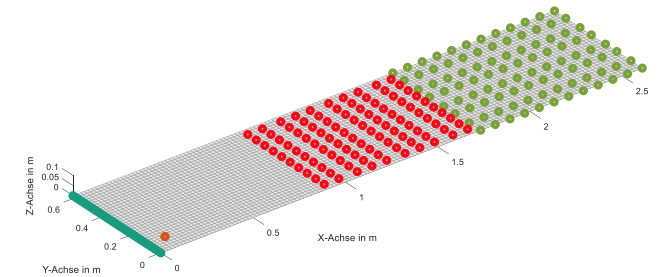


Einführung zu VAMM

Wirkweise

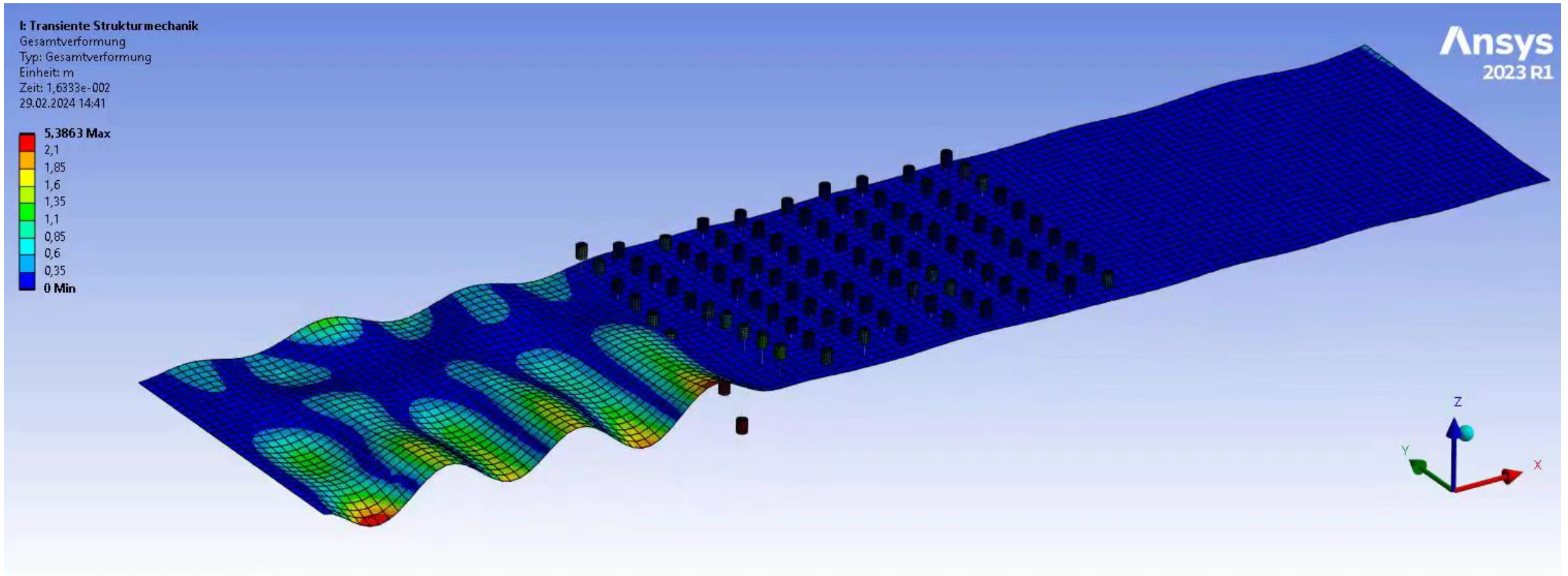


vereinfachtes
und
idealisiertes
Wirkprinzip



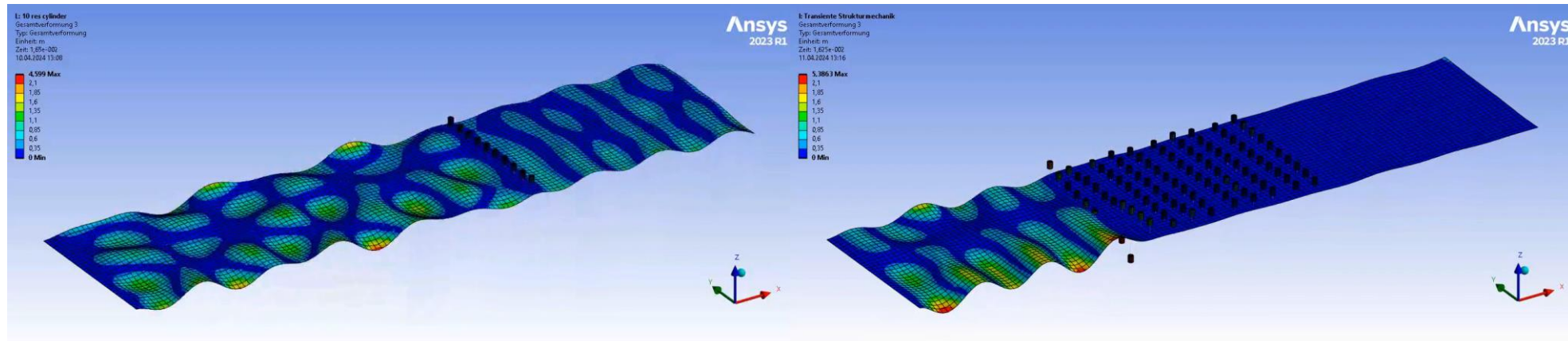
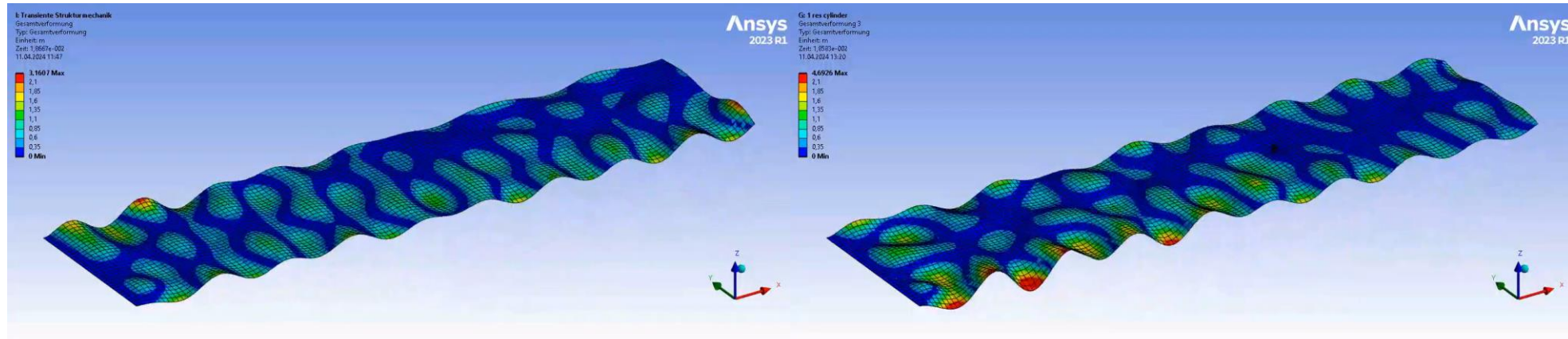
Einführung zu VAMM

Wellenausbreitung im Stoppband der VAMM



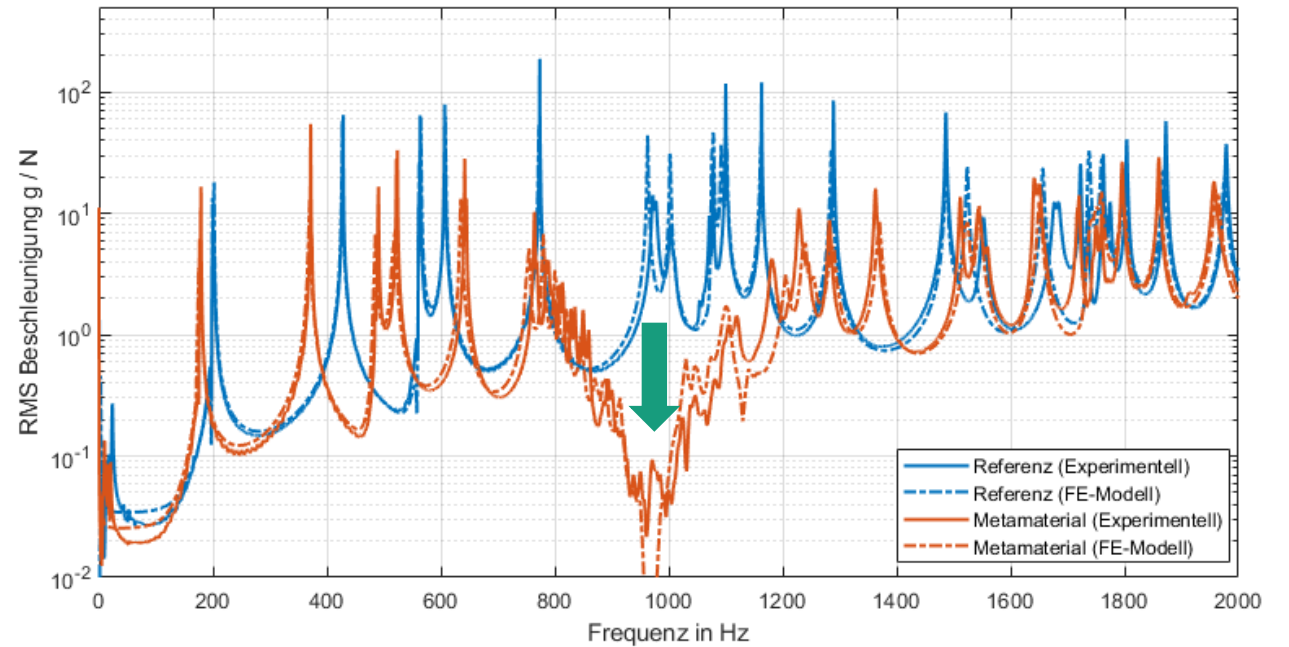
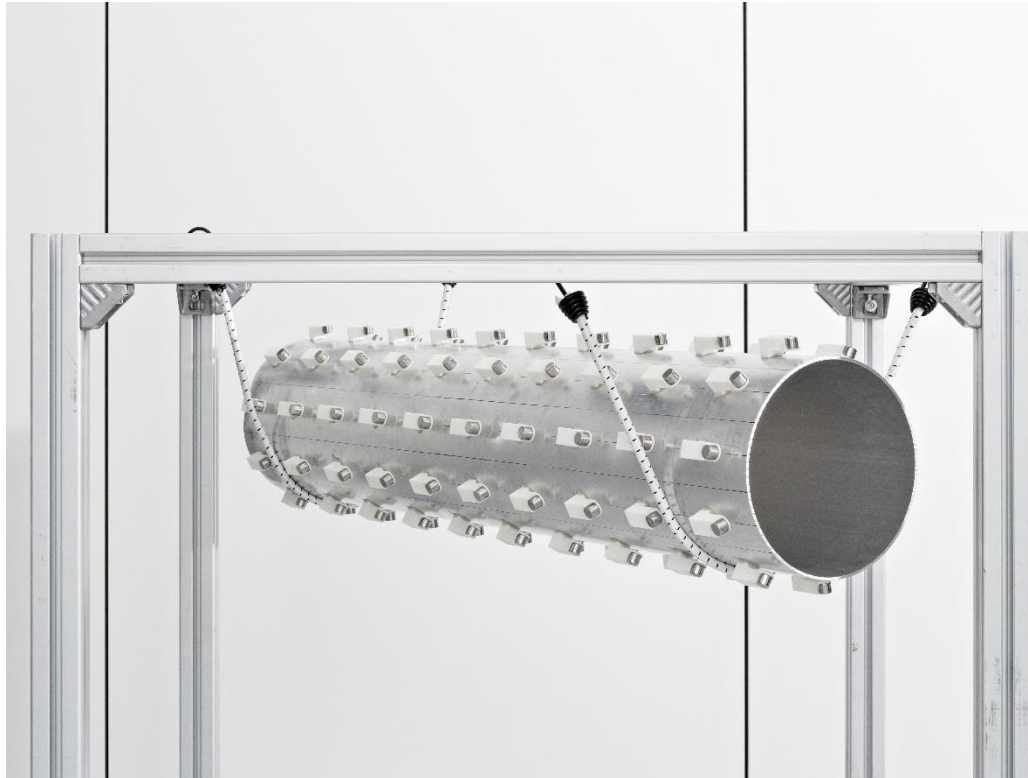
Einführung zu VAMM

Wellenausbreitung bei verschiedenen Resonator-Verteilungen



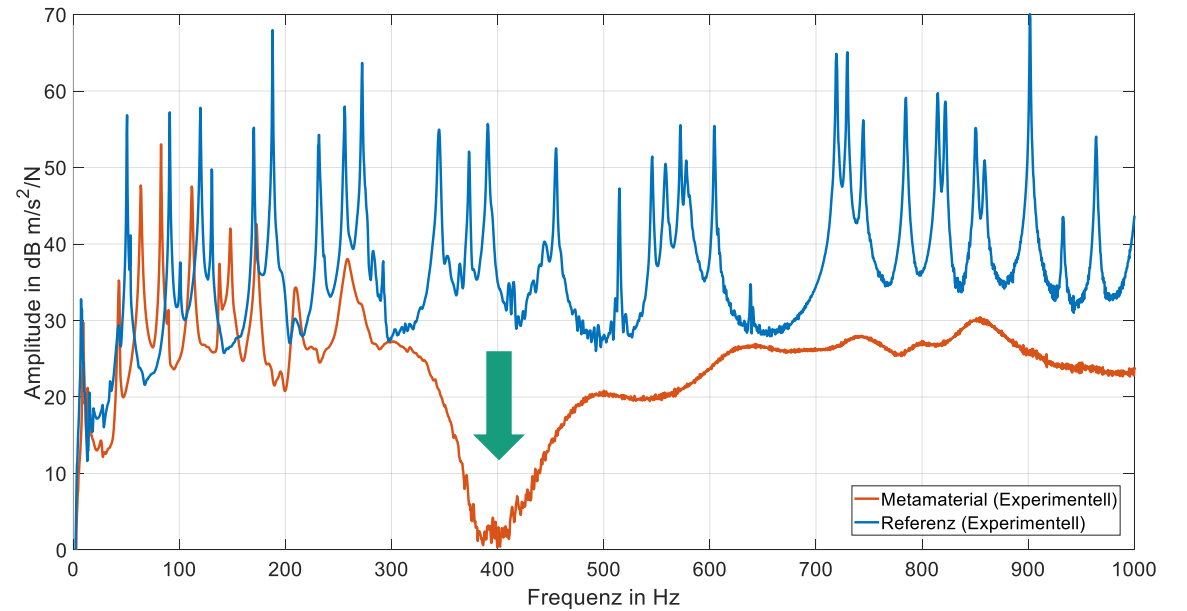
Einführung zu VAMM

Demonstrator: Aluminiumrohr mit VAMM



Einführung zu VAMM

Demonstrator: Aluminium-Platte mit hochgedämpftem VAMM



Einführung zu VAMM

Fazit

■ Höchste Performanz

- Größere Lärm- und Schwingungsminderung als Bondal® und Bitumen
- Dämpfungseigenschaften oberhalb des Stoppbandes ähnlich konventioneller Lösungen

■ Leichter als konventionelle Maßnahmen

■ Flexibel einstellbare dynamische Bauteileigenschaften

- Werkstoffauswahl für Resonatoren können individuell an die Randbedingungen der Anwendung angepasst werden
- Stoppband kann verschoben, verbreitert oder vertieft werden
- Integration mehrerer Stoppbänder in ein Bauteil

■ Preiswerte Herstellung

- Kleinserie: Nutzung von Normteilen und Halbzeugen, 3D Druck
- Großserienfertigung: Stanzen, Umformen, Gießen, Spritzguss
- Robustes Verhalten gegenüber Fertigungstoleranzen



Projekt viaMeta

VAMM für die Fahrzeugindustrie



■ Projekt

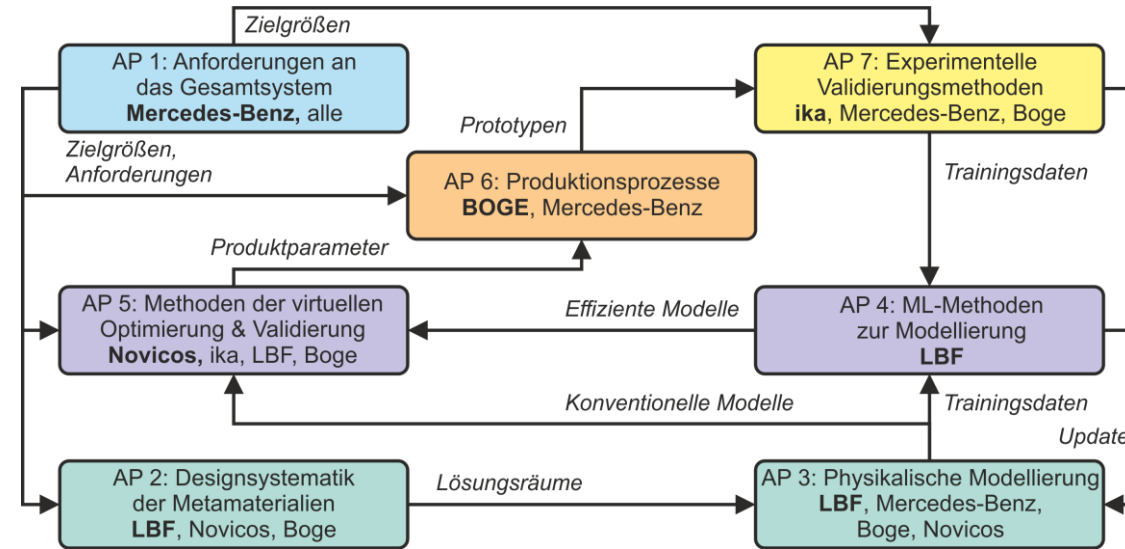
- Förderung: BMWK Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien
- Laufzeit: 01.05.2021-30.04.2024

■ Projektpartner

- Mercedes-Benz AG
- BOGE Elastmetall GmbH
- Novicos GmbH
- RWTH Aachen University - IKA
- Fraunhofer LBF

■ Ziel

- Ziel des Vorhabens viaMeta ist, Leichtbaupotentiale zukünftiger Fahrzeuge zu erschließen.
- Den daraus resultierenden, strukturdynamischen Herausforderungen wird mit vibro-akustischen Metamaterialien begegnet.



■ Demonstratoren

- Motorlager
- Motortragrahmen
- Deckel des Inverters



Dipl.-Ing. Heiko Atzrodt

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

heiko.atzrodt@lbf.fraunhofer.de, www.lbf.fraunhofer.de



Mercedes-Benz



Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Mercedes-Benz



LBF