

A person in a dark blue jacket is holding a rectangular, grid-like metamaterial sample next to the front of a white car. The car's hood is open, and the interior is visible. The background shows a laboratory setting with acoustic foam panels and bright lights. The text is overlaid on a teal background in the lower right corner.

Experimentelle Validierung von
Metamaterialien zur Optimierung der
Geräuschemission von E-Antrieben

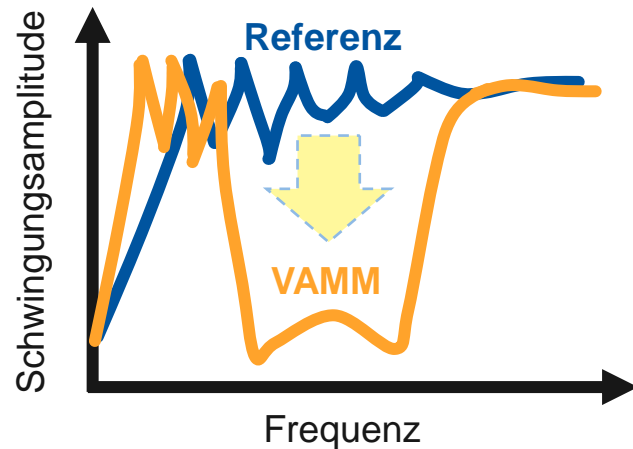
Motivation der experimentellen Validierung



Kann das berechnete **Stoppbandverhalten** vibroakustischer Metamaterialien (VAMM) mess-technisch reproduziert werden?

Können eine **Verbesserung der Struktur**dynamik und ein **verringertes Komponentengewicht** kombiniert werden?

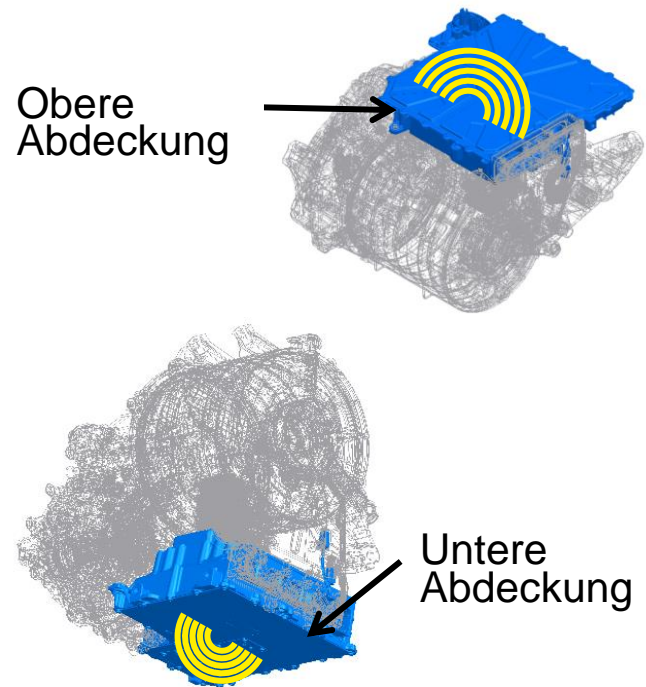
Können VAMM den **NVH-Komfort im Fahrzeuginnenraum** erhöhen?



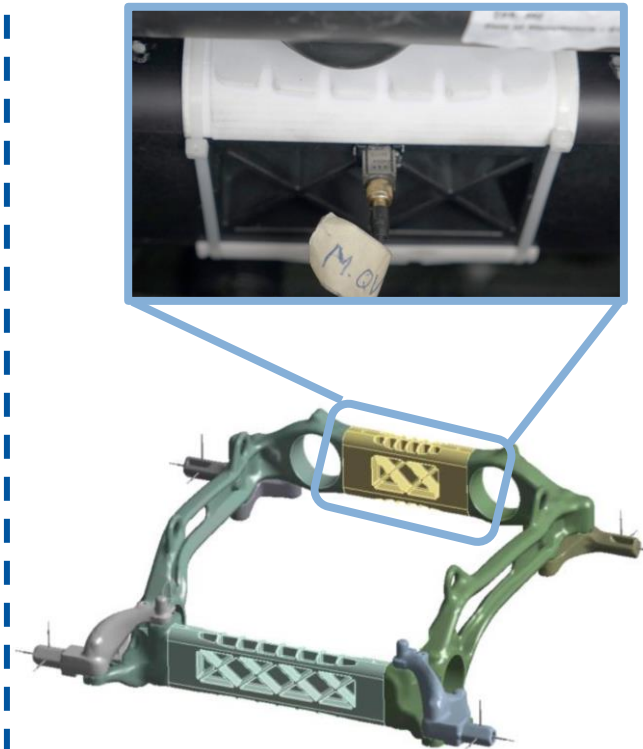
Überblick modifizierter Komponenten



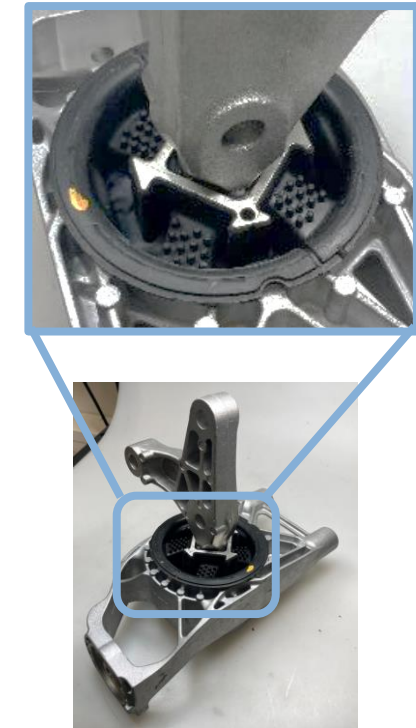
Abdeckungen der Leistungselektronik



Entkopplungsträger einer elektrischen Antriebseinheit



Lager von Tragrahmen zur Karosserie



Exemplarische Untersuchungen



	Abdeckungen	Entkopplungsträger	Lager
Komponente			
Subsystem			
Fahrzeug			

Exemplarische Untersuchungen

Komponentenebene

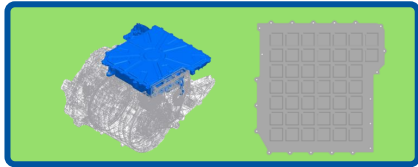


	Abdeckungen	Entkopplungsträger	Lager
Komponente			
Subsystem			
Fahrzeug			



Untersuchungen Komponentenebene

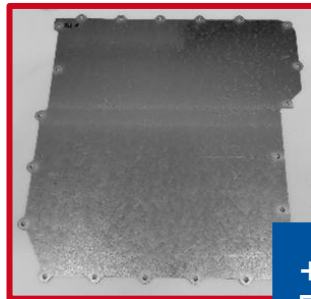
Untersuchte Varianten



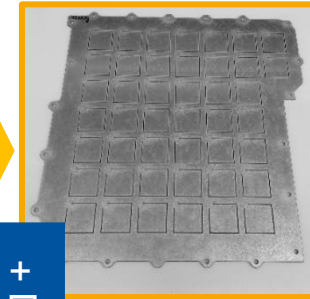
Ziel 1: Stopband bei $f \approx 500$ Hz
Ziel 2: Verringerung der Masse

Komponentenebene

Referenz
Ausgangsmasse



+ VAMM



Integriertes VAMM
–3 % Masse

+ Dämpfung

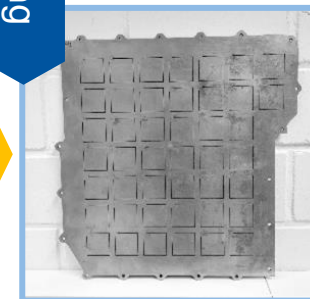
+ VAMM & Dämpfung

+ Dämpfung

Bondal® CB40
–2 % Masse



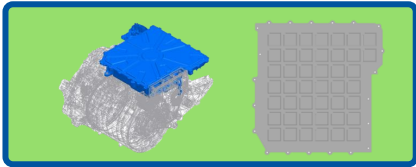
+ VAMM



Bondal® CB40
+ Integriertes VAMM
–5 % Masse

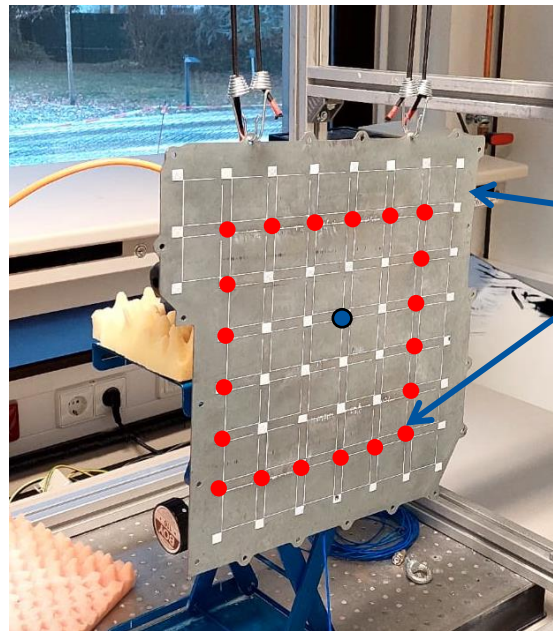
Untersuchungen Komponentenebene

Aufbau strukturdynamischer Untersuchungen

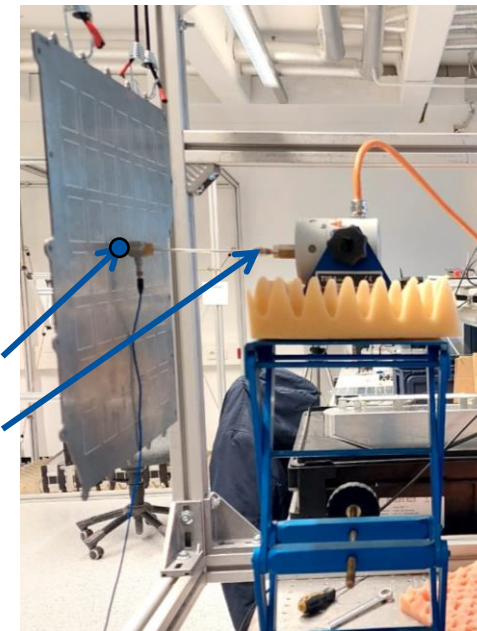


Ziel 1: Stopband bei $f \approx 500$ Hz
Ziel 2: Verringerung der Masse

Komponentenebene



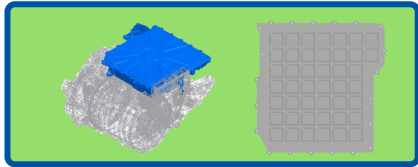
Abdeckung
Messpunkte



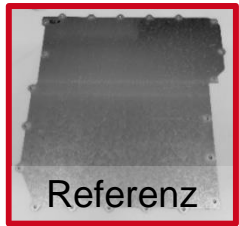
Impedanzsensor
Shaker

Untersuchungen Komponentenebene

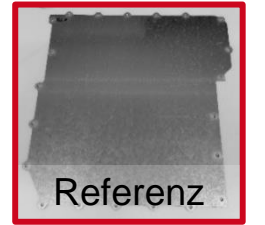
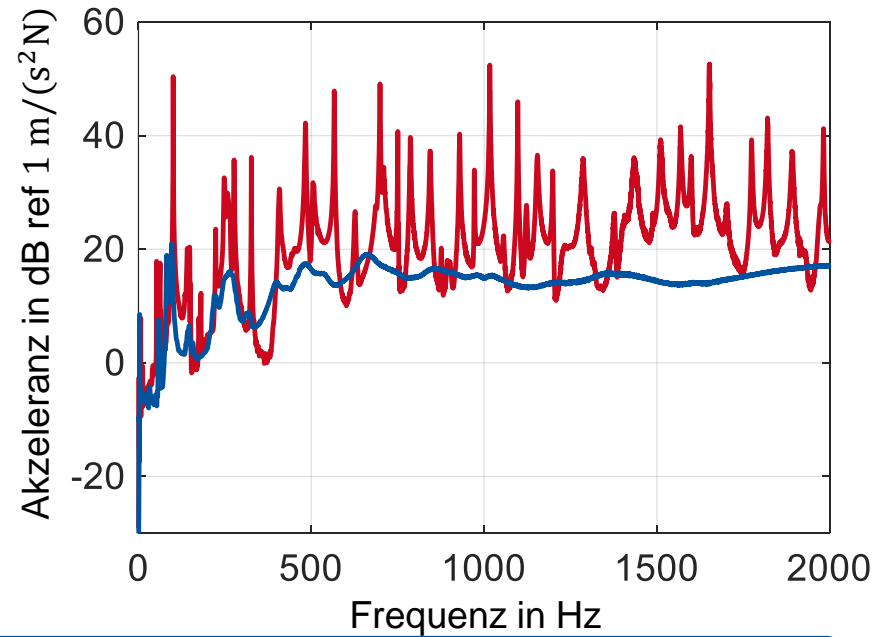
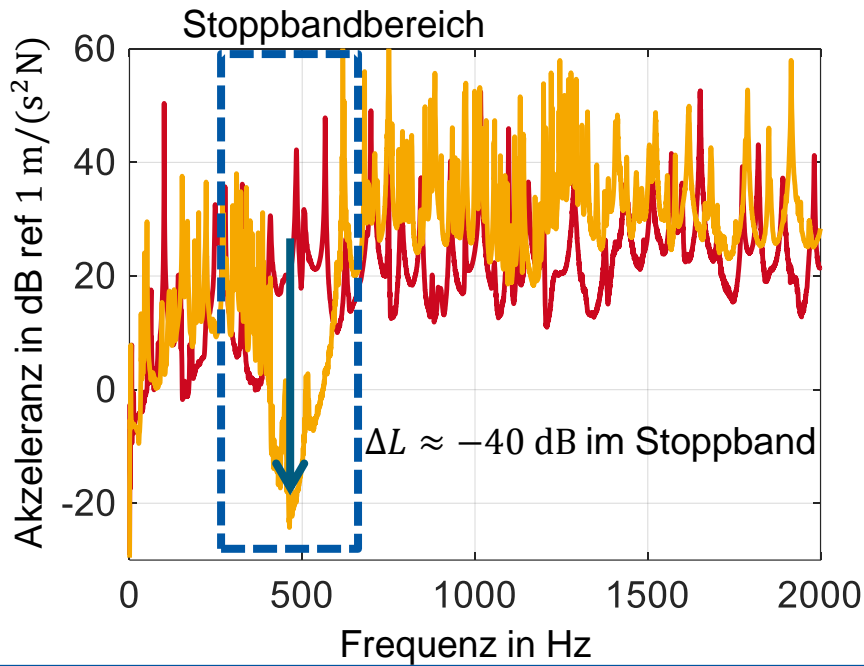
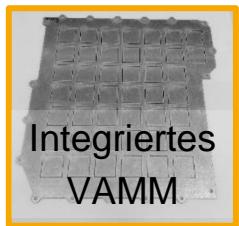
Ergebnisse strukturdynamischer Untersuchungen



Ziel 1: Stopband bei $f \approx 500$ Hz ✓
Ziel 2: Verringerung der Masse ✓



+ VAMM
 -3 % Masse



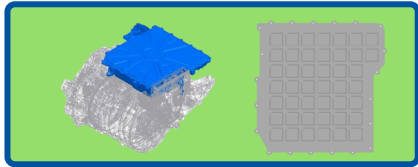
+ Dämpfung
 -2 % Masse



Ergebnis: Signifikante Verringerung der Akzeleranz durch VAMM im Stopband und verringerte Masse

Untersuchungen Komponentenebene

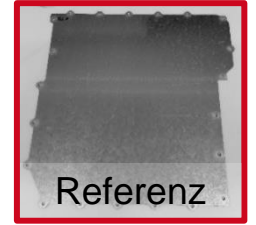
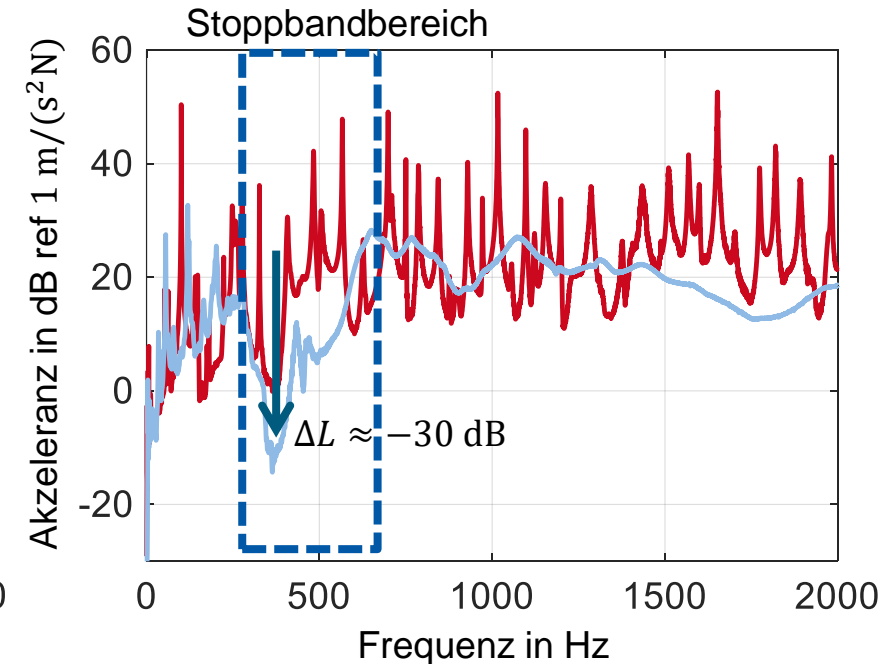
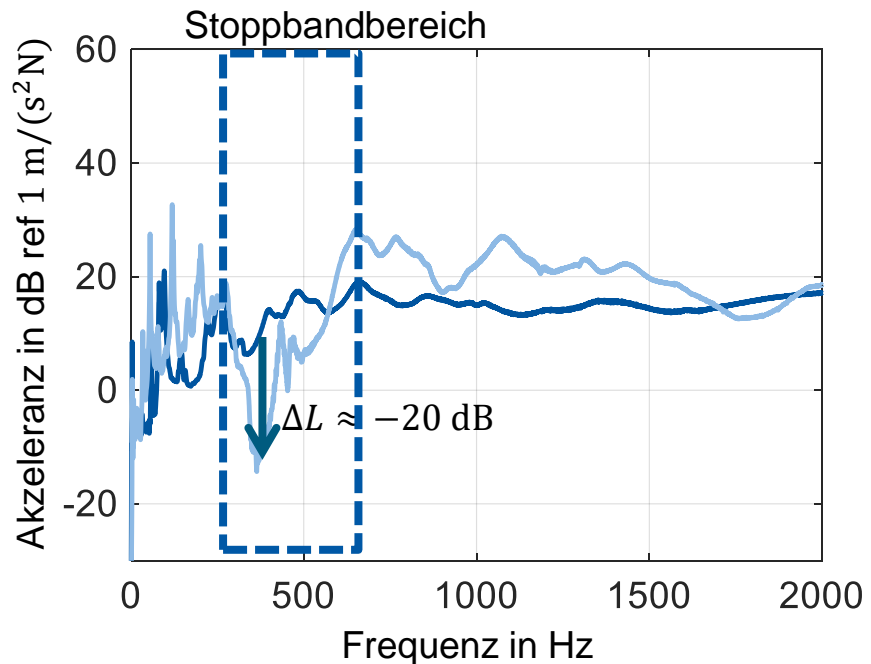
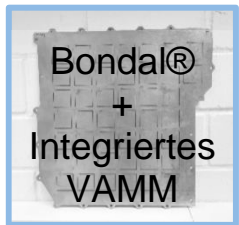
Ergebnisse strukturdynamischer Untersuchungen



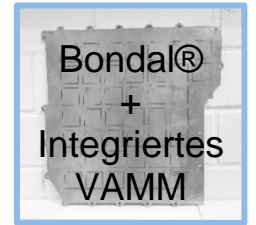
- Ziel 1: Stopband bei $f \approx 500$ Hz ✓
- Ziel 2: Verringerung der Masse ✓



+ VAMM
-3 % Masse



+ VAMM
+ Dämpfung
-5 % Masse



Ergebnis: Kombination mit weiteren Maßnahmen möglich

Exemplarische Untersuchungen

Subsystemebene



	Abdeckungen	Entkopplungsträger	Lager
Komponente			
Subsystem			
Fahrzeug			

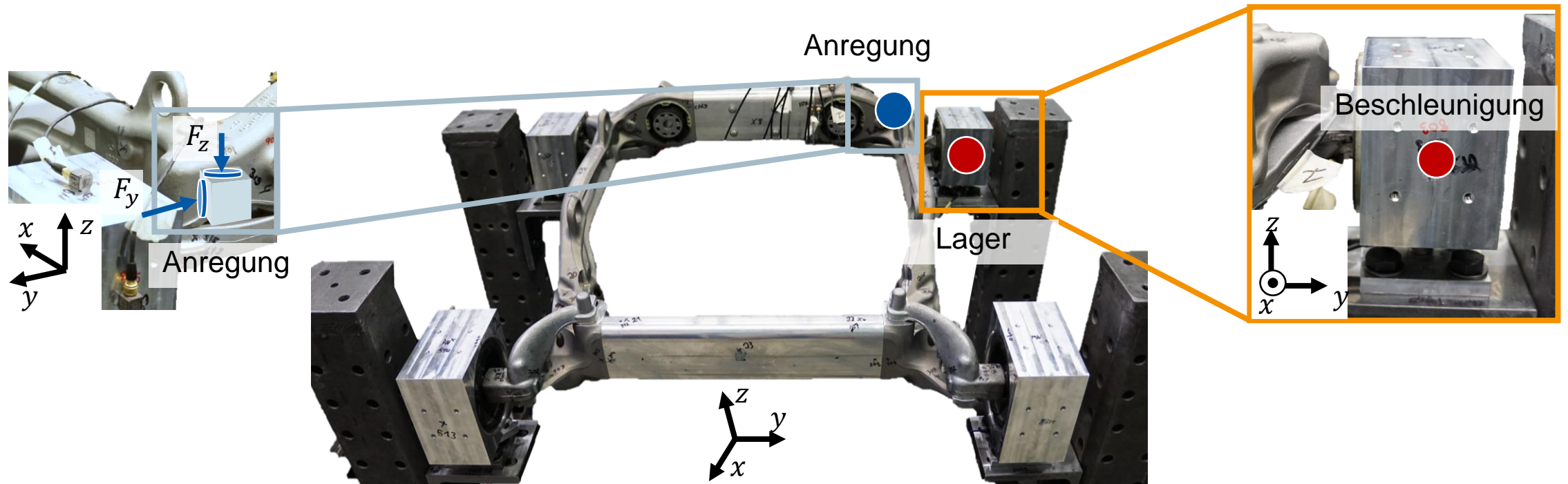


Untersuchungen Subsystemebene

Aufbau Untersuchung Einfluss VAMM-Lager



Ziel 1: Stopband bei $f \approx 1.2$ kHz
Ziel 2: Breitbandige Reduktion bei $f \approx 800$ Hz – 1 kHz



Untersuchungen Subsystemebene

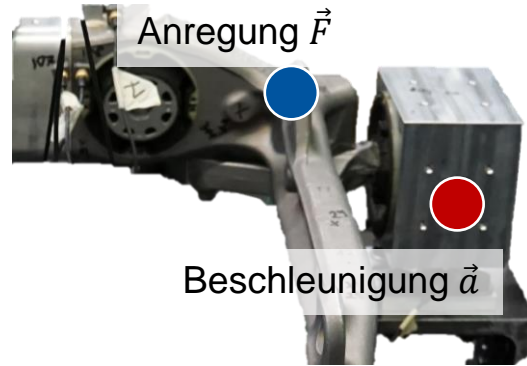
Ergebnis Untersuchung Einfluss VAMM-Lager



- Ziel 1: Stopband bei $f \approx 1.2$ kHz ✓
- Ziel 2: Breitbandige Reduktion bei $f \approx 800$ Hz – 1 kHz ✓



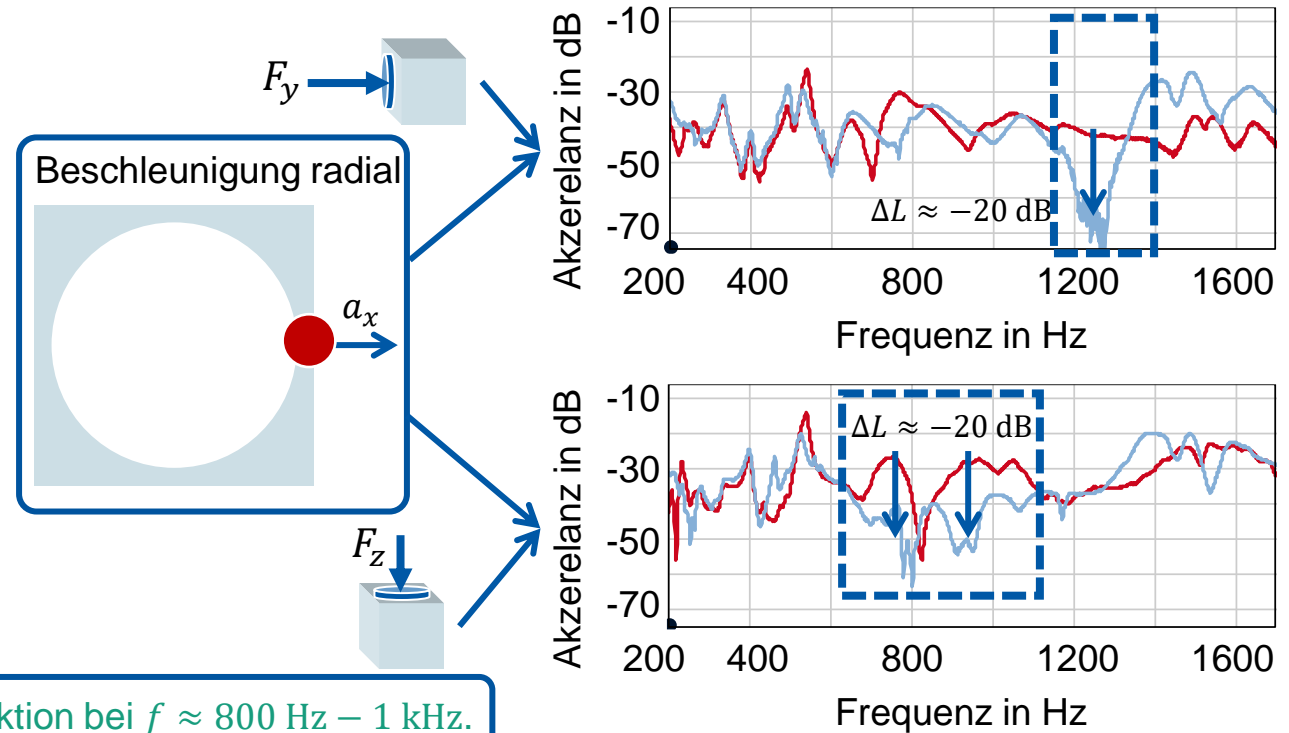
Referenz



Beschleunigung \vec{a}



VAMM



Ergebnis: Stopband bei 1.2 kHz sowie breitbandige Reduktion bei $f \approx 800$ Hz – 1 kHz.

Exemplarische Untersuchungen

Fahrzeugebene

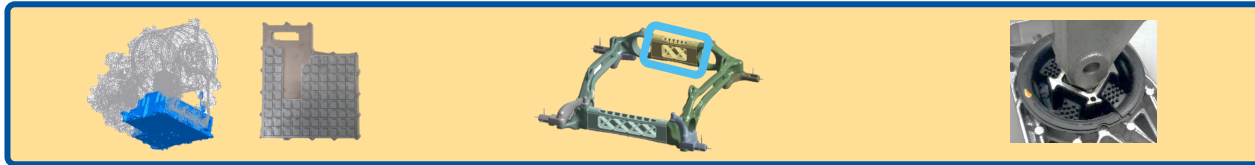


	Abdeckungen	Entkopplungsträger	Lager
Komponente			
Subsystem			
Fahrzeug			



Untersuchungen Fahrzeugebene

Übersicht Betriebsmessungen



Ziel 1: Stoppbänder bei $f \approx 1.2$ kHz an Komponenten
Ziel 2: Optimierung des Innenraumgeräusch

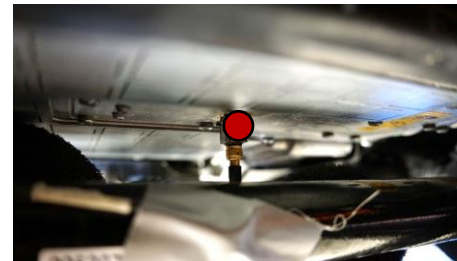
Fahrzeugebene

Betriebsmessungen

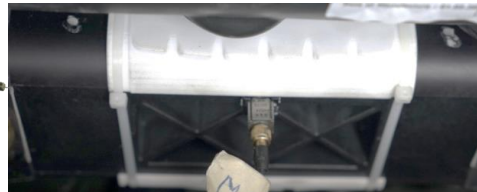


Beschleunigte Fahrt & Fahrt konstanter Geschwindigkeit
 $v_{const} = 38$ km/h

Beschleunigungen an Komponenten

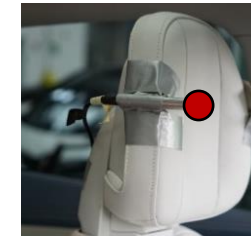


Abdeckung

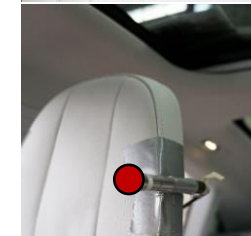


Entkopplungsträger

Schalldruckpegel im Innenraum



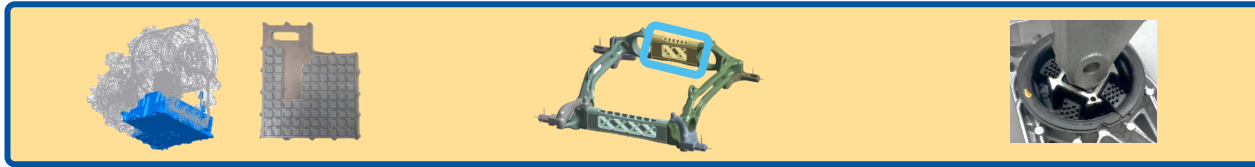
Fahrer:
Rechtes Ohr



Beifahrer:
Linkes Ohr

Untersuchungen Fahrzeugebene

Beschleunigte Fahrt – Schalldruckpegel im Innenraum



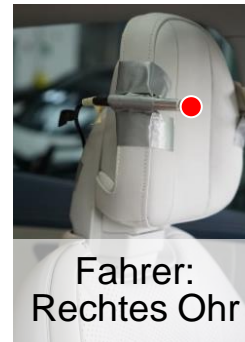
Ziel 1: Stoppbänder bei $f \approx 1.2$ kHz an Komponenten
Ziel 2: Optimierung des Innenraumgeräusch

Betriebsmessungen



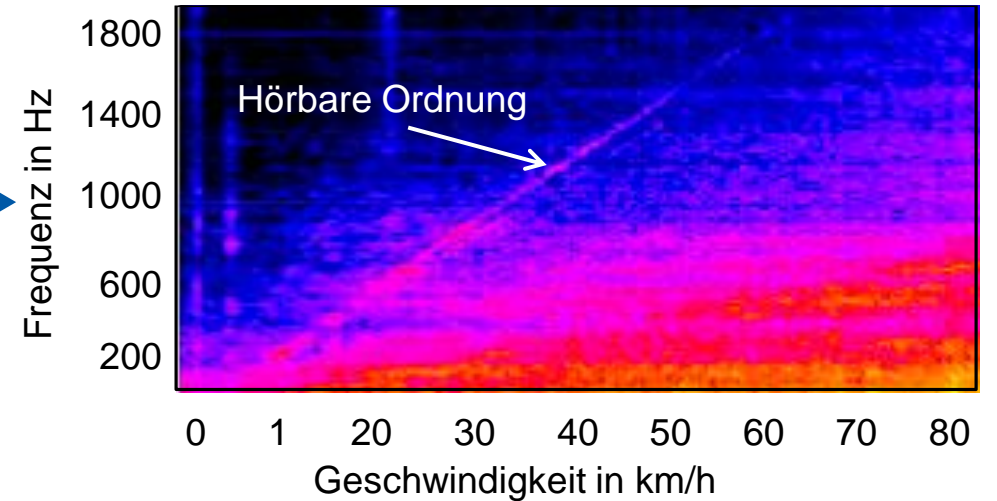
Beschleunigte Fahrt

Schalldruckpegel



Fahrer:
Rechtes Ohr

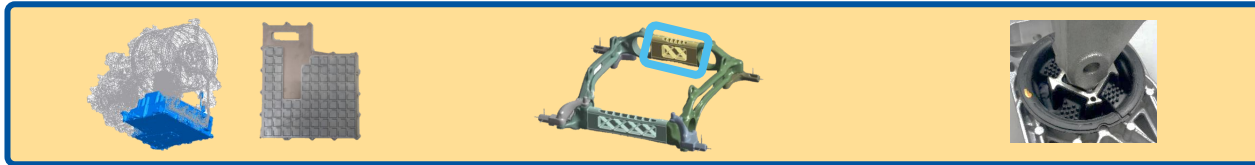
FFT vs. Geschwindigkeit der Referenz



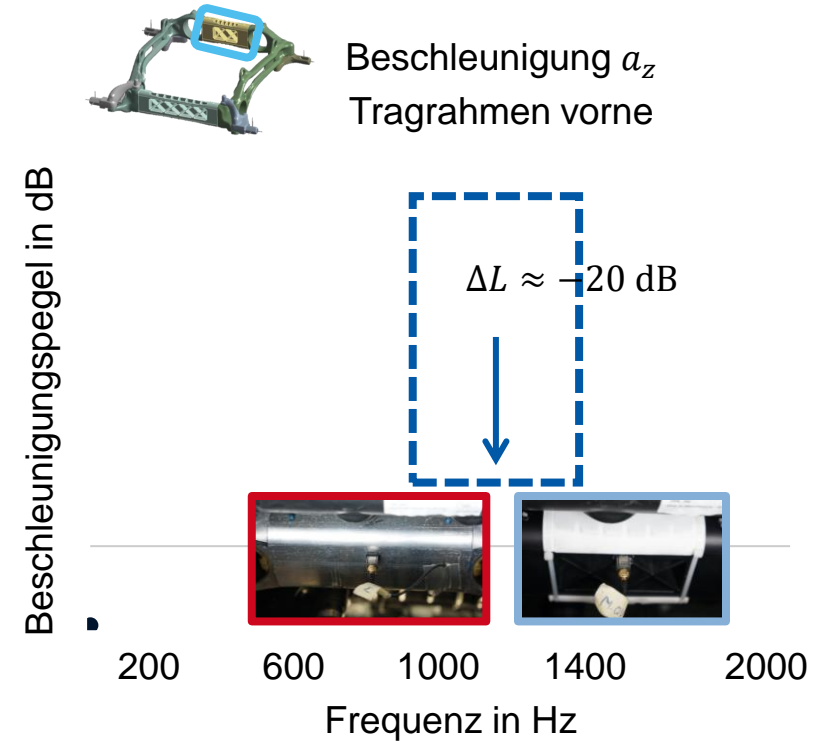
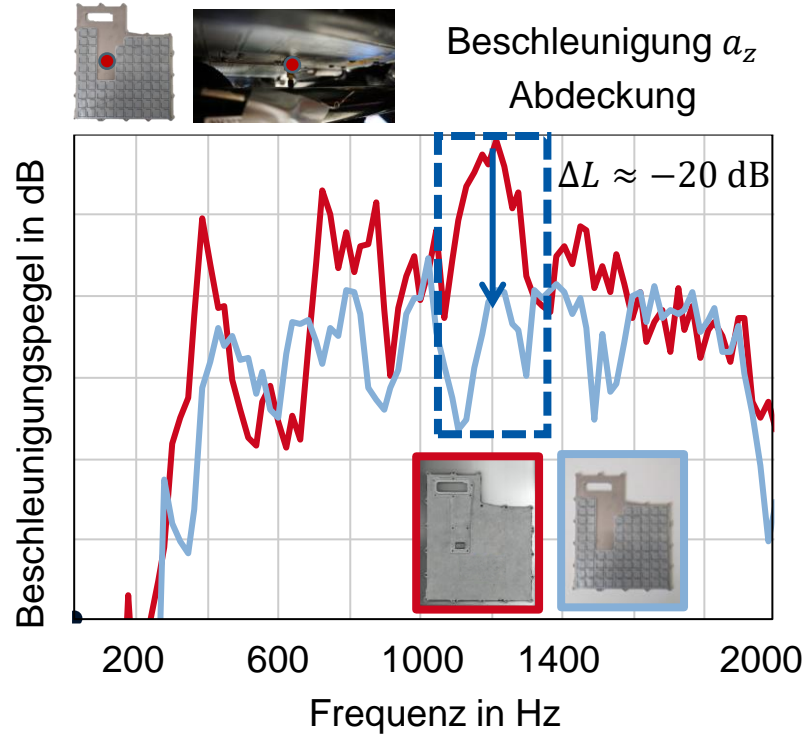
Nächster Schritt: Ordnungsschnitt der hörbaren Ordnung

Untersuchungen Fahrzeugebene

Beschleunigte Fahrt – Dynamische Beschleunigungen an Komponenten

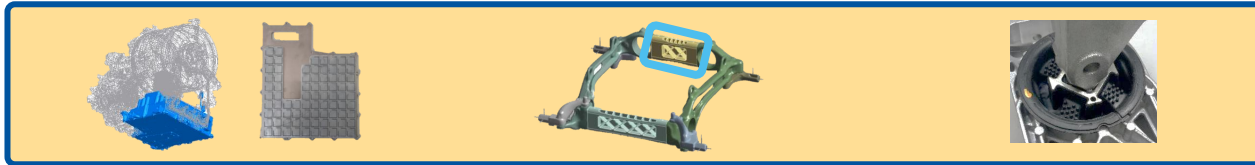


Ziel 1: Stoppbänder bei $f \approx 1.2$ kHz an Komponenten ✓
Ziel 2: Optimierung des Innenraumgeräusch

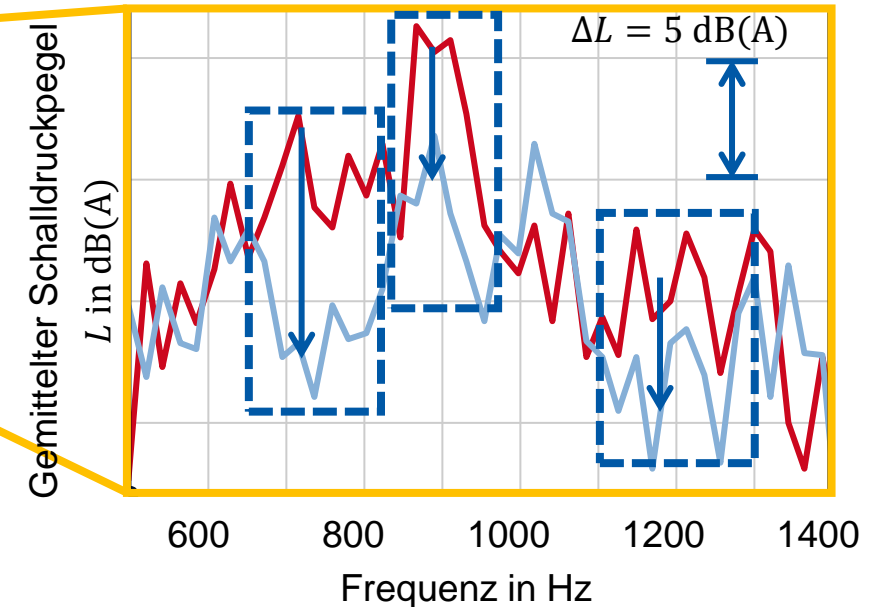
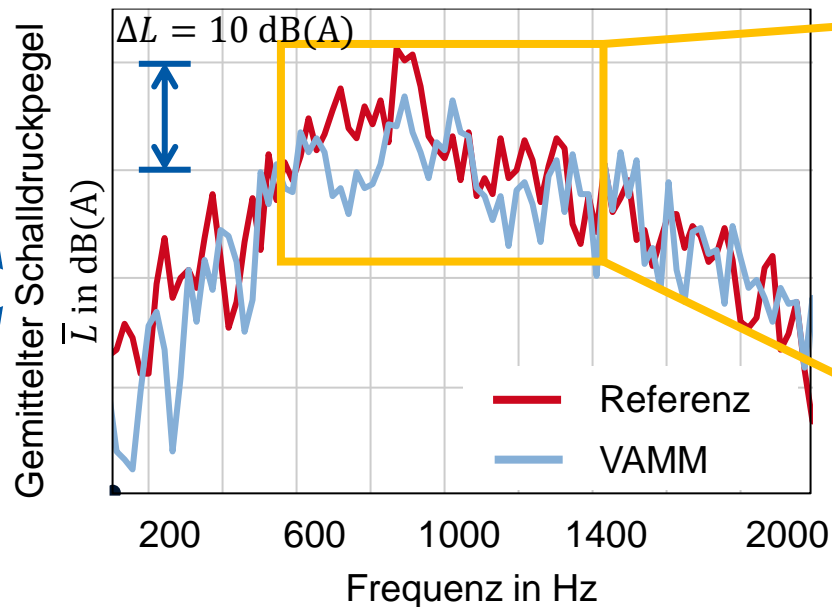
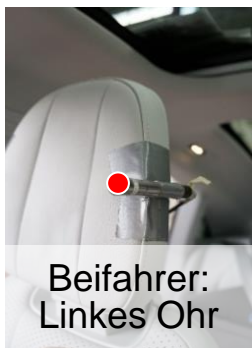
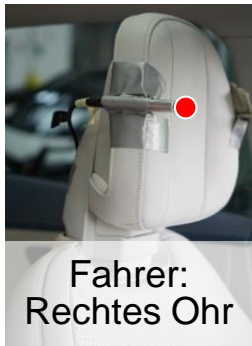


Untersuchungen Fahrzeugebene

Beschleunigte Fahrt – Ordnungsschnitt im Fahrzeuginnenraum

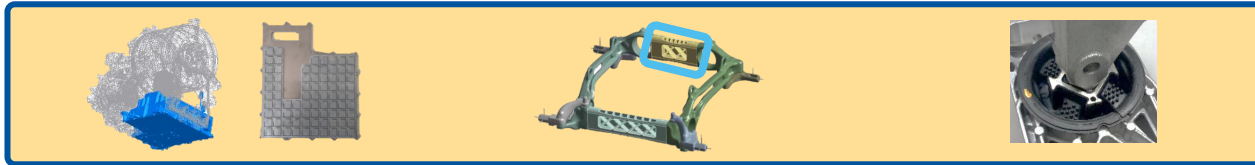


Ziel 1: Stoppbänder bei $f \approx 1.2$ kHz an Komponenten ✓
Ziel 2: Optimierung des Innenraumgeräusch ✓



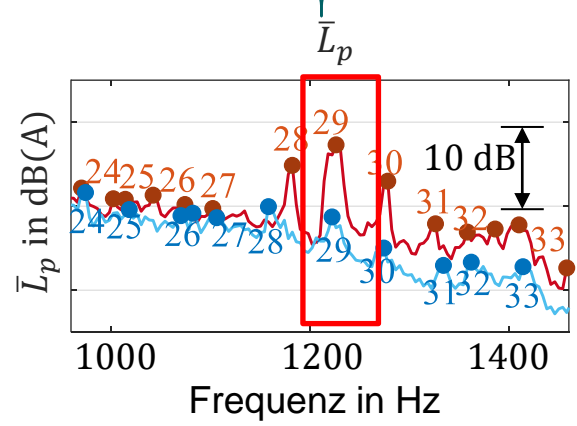
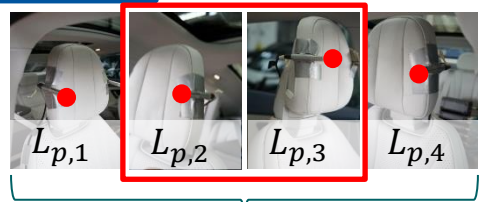
Ergebnis: VAMM trägt zur Verbesserung des NVH-Komforts im Fahrzeug bei

Untersuchungen Fahrzeugebene Fahrt konstanter Geschwindigkeit



Ziel 1: Stoppbänder bei $f \approx 1.2$ kHz an Komponenten ✓
Ziel 2: Optimierung des Innenraumgeräusch ✓

Fahrt konstanter Geschwindigkeit
 $v_{const} = 38$ km/h



Reduktion des SPL

$\Delta \bar{L}_p(n)$	0.8	-1.6	-1.3	-1.1	-4.9	-8.6	-8.0	-3.9	-3.9	0.2
$\Delta L_{p,1}(n)$	2.5	-1.9	-1.4	-0.7	-5.2	-4.6	-4.5			2.6
$\Delta L_{p,2}(n)$		-0.6	-2.2	-2.4	-6.0	-10.2	-7.7	-2.4	-4.1	0.4
$\Delta L_{p,3}(n)$		0.2	1.5	-2.5	1.5	-11.3	-7.9	-3.5	-5.2	-0.3
$\Delta L_{p,4}(n)$	-0.4	0.3	-3.7	-0.8	-3.1	-6.2		-7.1	-3.6	3.4
	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
	Peakzuordnung n									

ΔL_p in dB

kein Peak

Ergebnis: Reduktion des Schalldruckpegels um bis zu 11 dB(A)

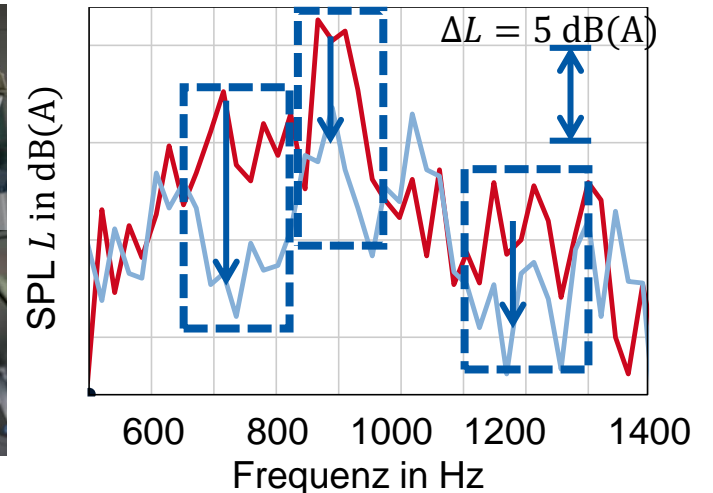
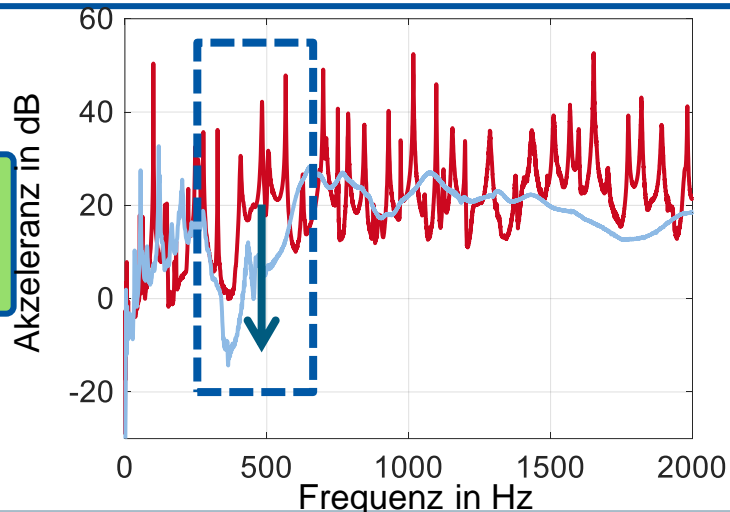
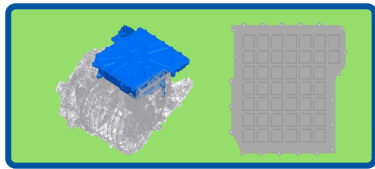
Experimentelle Validierung vibroakustischer Metamaterialien

Zusammenfassung



Ergebnis: Es wurde eine signifikante Erhöhung des NVH-Komforts im Fahrzeug durch VAMM erreicht

- Verifizierung des Einflusses von VAMM auf Komponentenebene, Subsystemebene und Fahrzeugebene:
 - ➔ Reduktion der Strukturodynamik und Akustik im jeweiligen **Stoppbandbereich**,
 - ➔ Reduktion des SPLs um bis zu $\Delta L \approx 11 \text{ dB(A)}$ an den **Vordersitzpositionen**,
 - ➔ Durch frühzeitige Anbindung in der Produktentwicklung sowohl **Verbesserung des NVH-Komforts als auch Verringerung der Komponentenmasse** möglich.



Kontakt

Armin Weber, M.Sc.

Tel. +49 241 80 25700

armin.weber@ika.rwth-aachen.de

Institut für Kraftfahrzeuge (ika)

RWTH Aachen University

Steinbachstraße 7

52074 Aachen

www.ika.rwth-aachen.de



Mercedes-Benz



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages