

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 background shows a laboratory environment with acoustic foam panels and bright lights. The text is overlaid on a teal rectangular background.

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

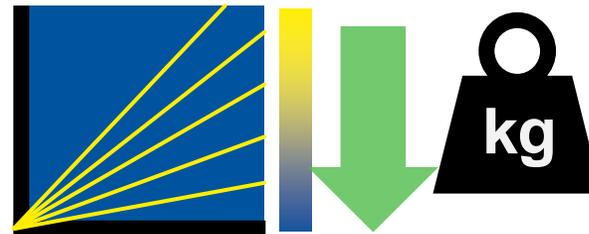
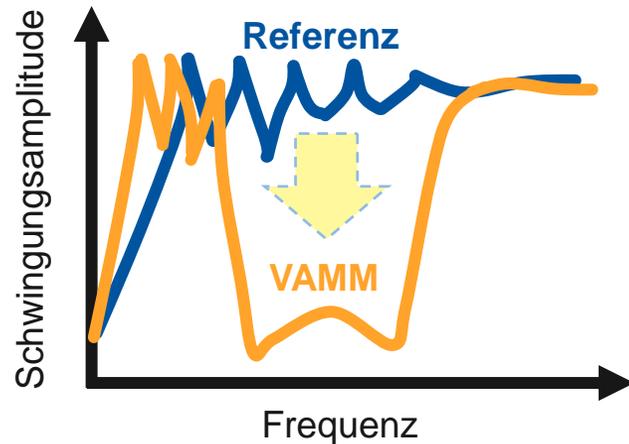
# Motivation der experimentellen Validierung



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

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

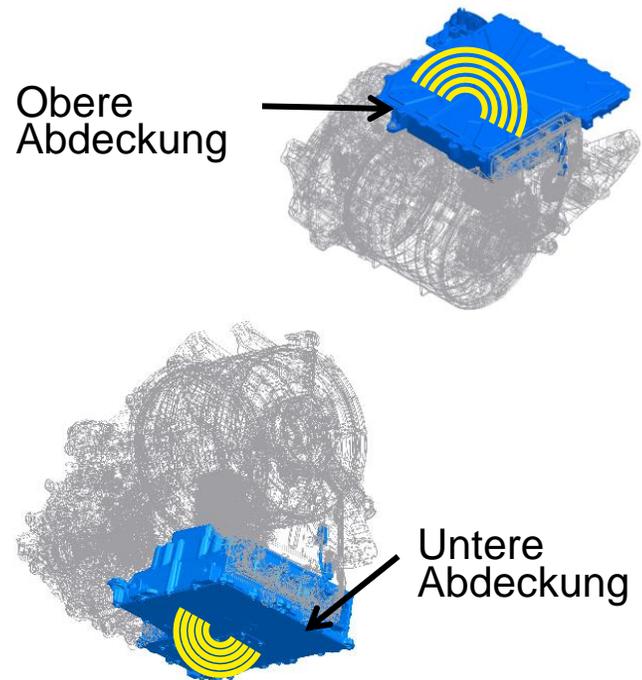
Können VAMM den **NVH-Komfort im Fahrzeuginnenraum** erhöhen?



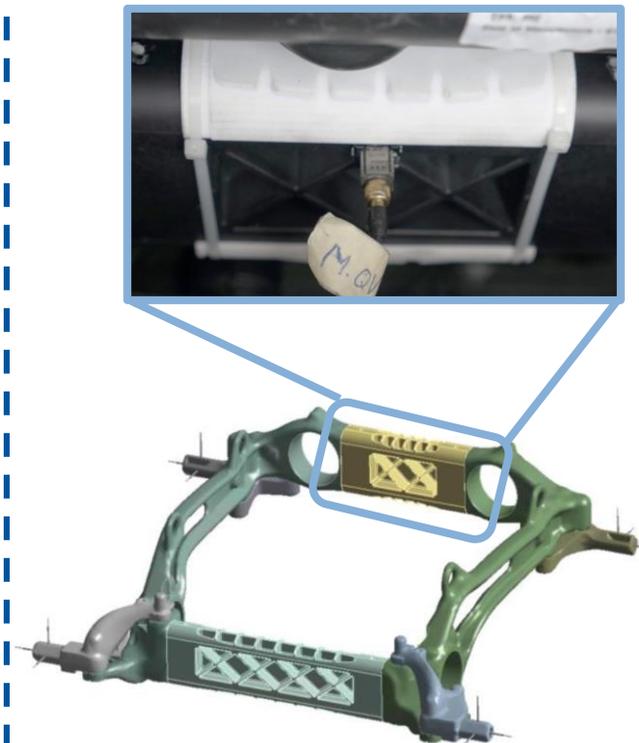
# Überblick modifizierter Komponenten



Abdeckungen der Leistungselektronik



Entkopplungsträger einer elektrischen Antriebseinheit



Lager von Tragrahmen zur Karosserie



# Exemplarische Untersuchungen



	Abdeckungen	Entkopplungsträger	Lager
Komponente			
Subsystem			
Fahrzeug			

# Exemplarische Untersuchungen

## Komponentenebene

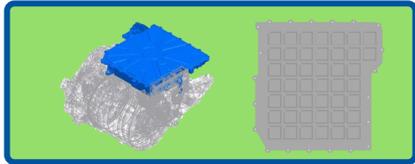


	Abdeckungen	Entkopplungsträger	Lager
Komponente			
Subsystem			
Fahrzeug			



# Untersuchungen Komponentenebene

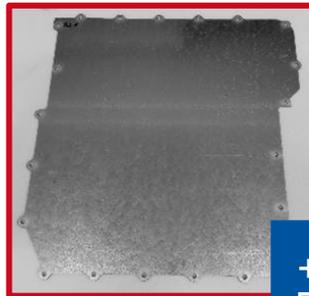
## Untersuchte Varianten



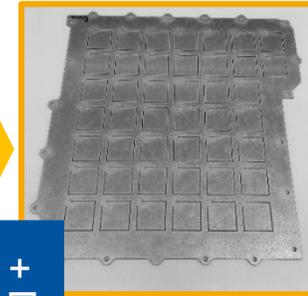
**Ziel 1:** Stopband bei  $f \approx 500$  Hz  
**Ziel 2:** Verringerung der Masse

Komponentenebene

**Referenz**  
Ausgangsmasse



+ VAMM



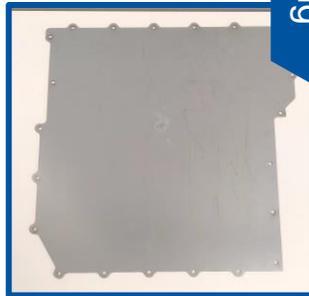
**Integriertes VAMM**  
–3 % Masse

+ Dämpfung

+ VAMM & Dämpfung

+ Dämpfung

**Bondal® CB40**  
–2 % Masse



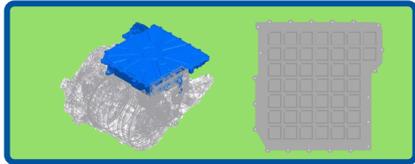
+ VAMM



**Bondal® CB40**  
**+ Integriertes VAMM**  
–5 % Masse

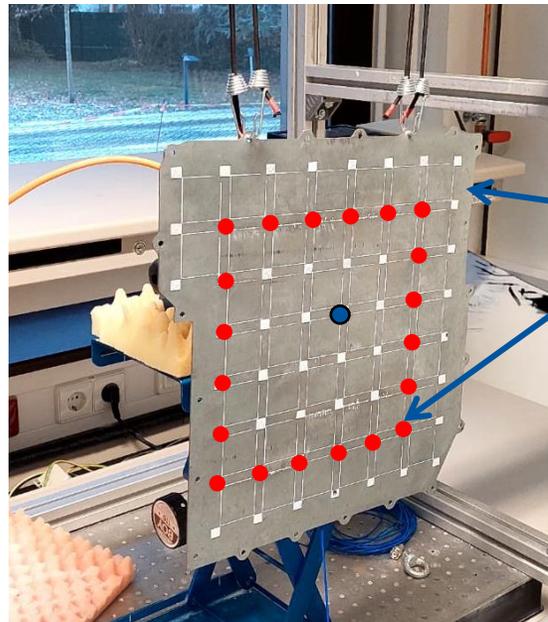
# Untersuchungen Komponentenebene

## Aufbau strukturdynamischer Untersuchungen

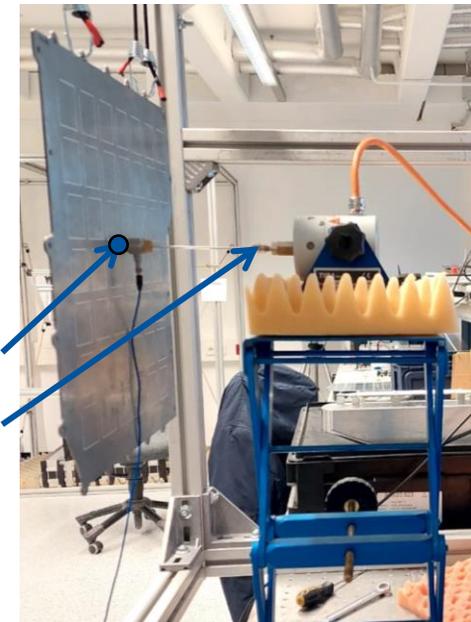


**Ziel 1:** Stopband bei  $f \approx 500$  Hz  
**Ziel 2:** Verringerung der Masse

Komponentenebene



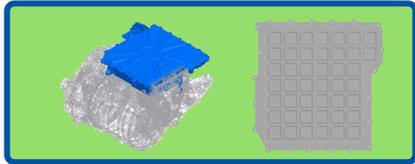
Abdeckung  
Messpunkte



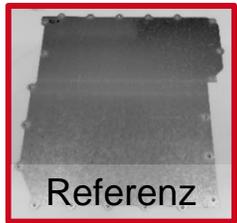
Impedanzsensor  
Shaker

# Untersuchungen Komponentenebene

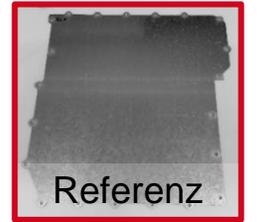
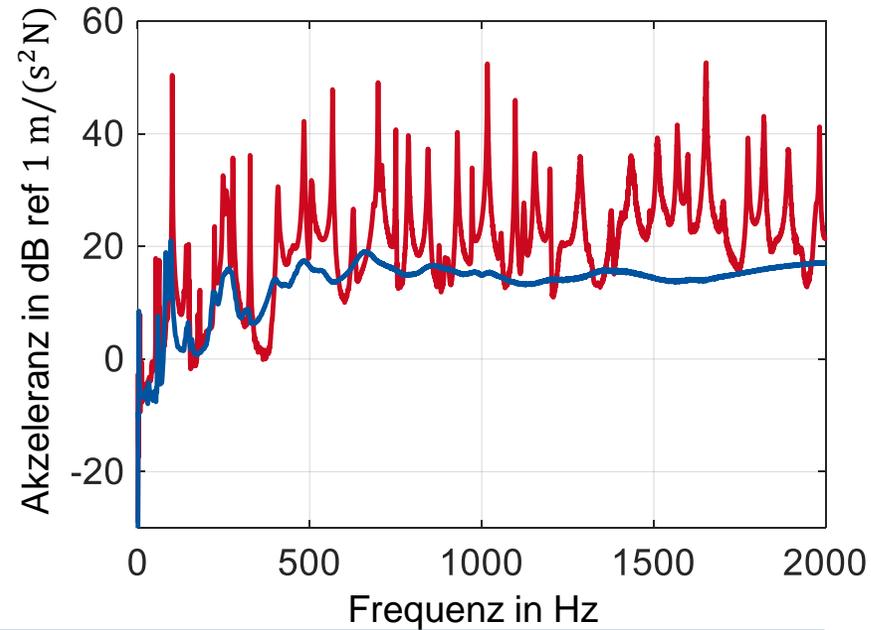
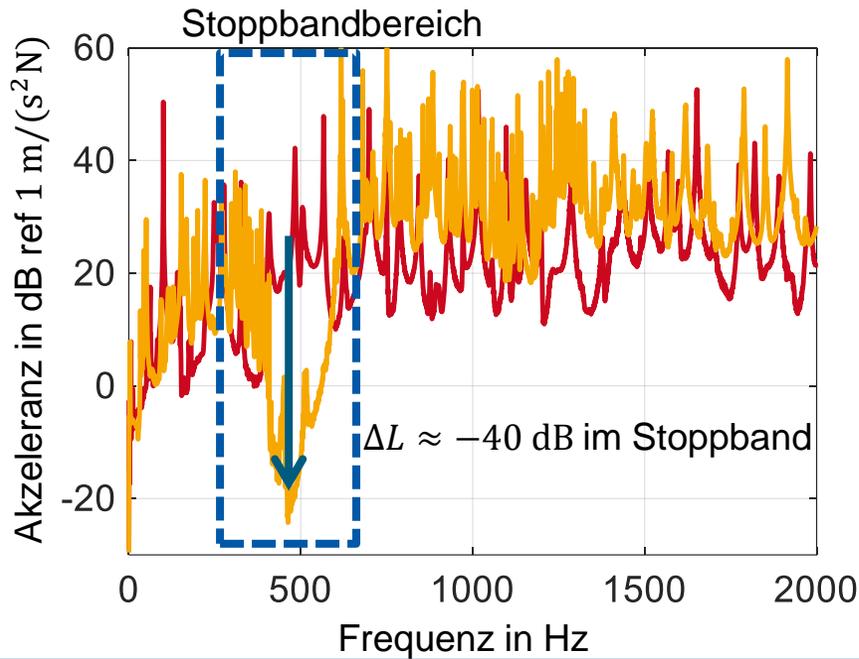
## Ergebnisse strukturdynamischer Untersuchungen



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



+ VAMM  
 -3 % Masse



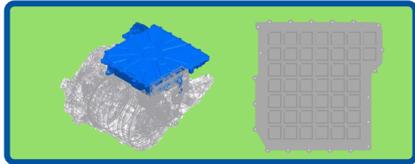
+ Dämpfung  
 -2 % Masse



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

# Untersuchungen Komponentenebene

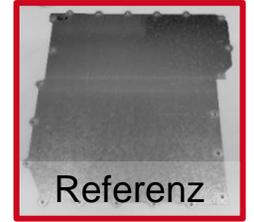
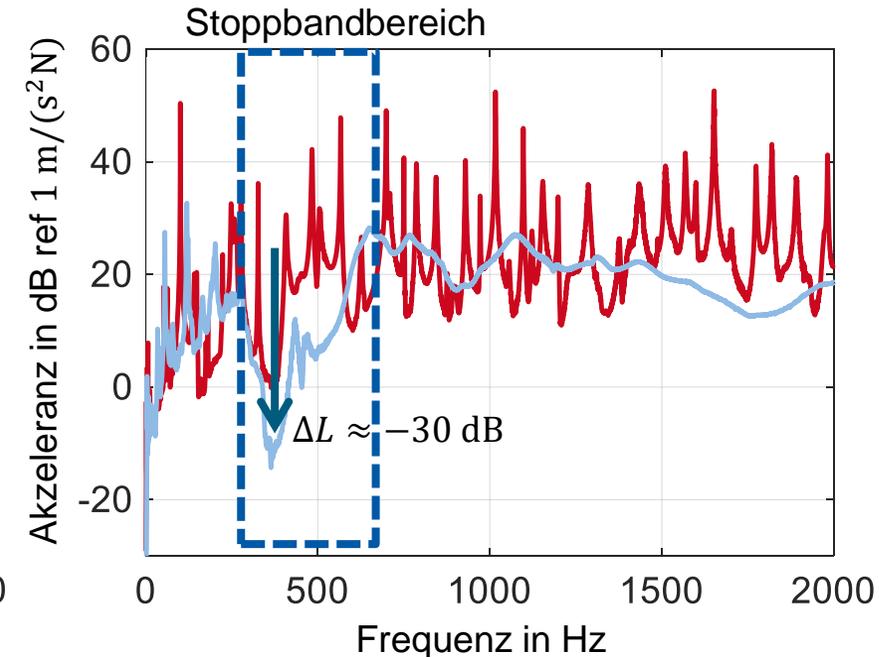
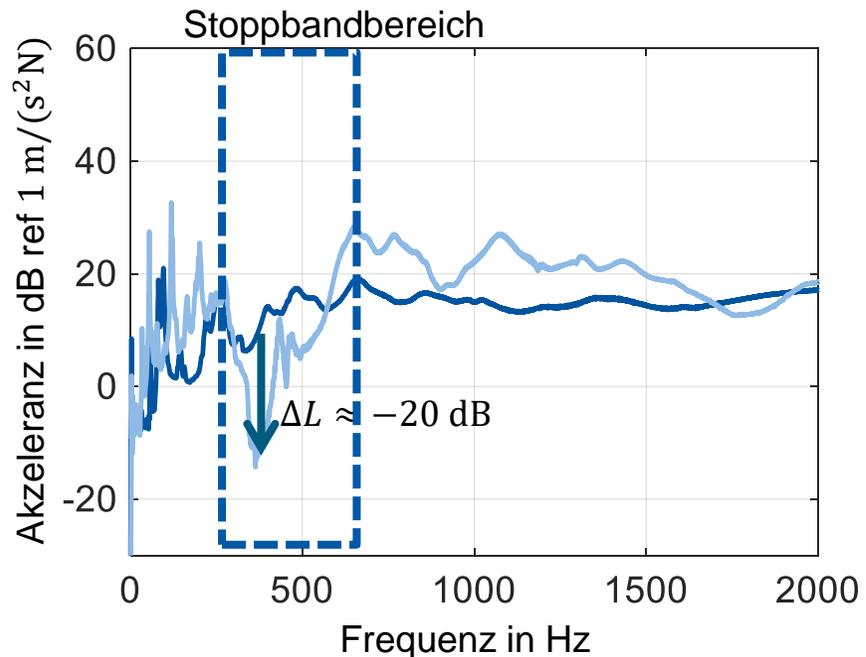
## Ergebnisse strukturdynamischer Untersuchungen



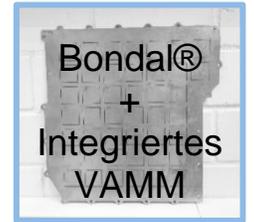
- Ziel 1: Stopband bei  $f \approx 500$  Hz ✓
- Ziel 2: Verringerung der Masse ✓



- + VAMM
- 3 % Masse



- + VAMM
- + Dämpfung
- 5 % Masse



**Ergebnis:** Kombination mit weiteren Maßnahmen möglich

# Exemplarische Untersuchungen

## Subsystemebene



	Abdeckungen	Entkopplungsträger	Lager
Komponente			
Subsystem			
Fahrzeug			

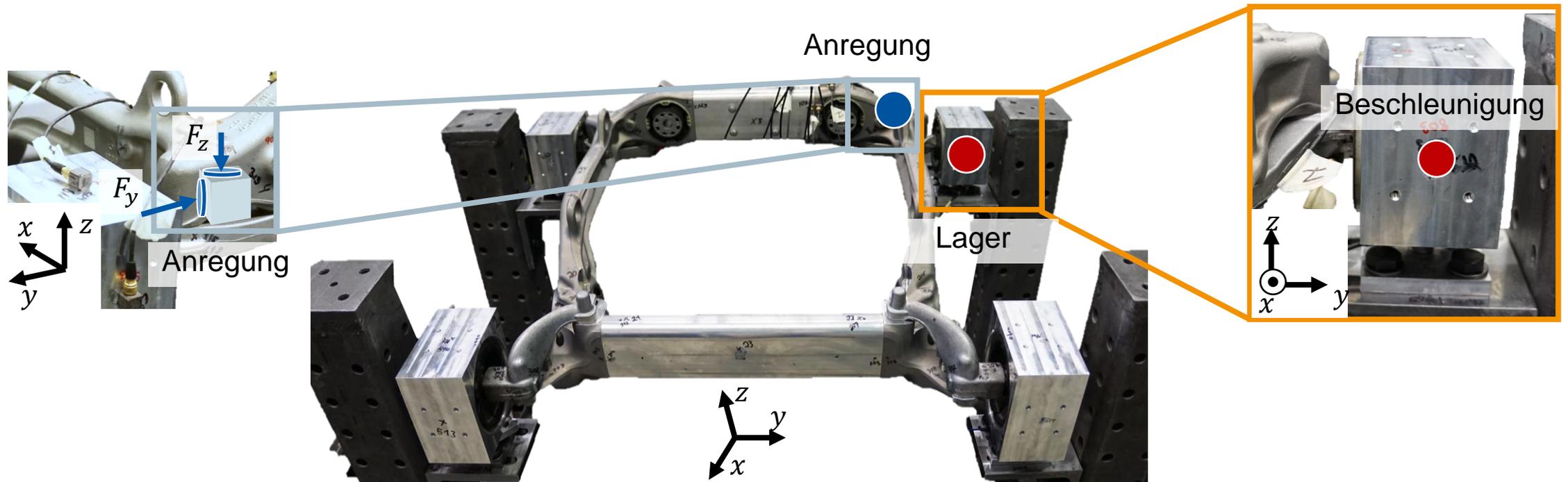


# Untersuchungen Subsystemebene

## 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

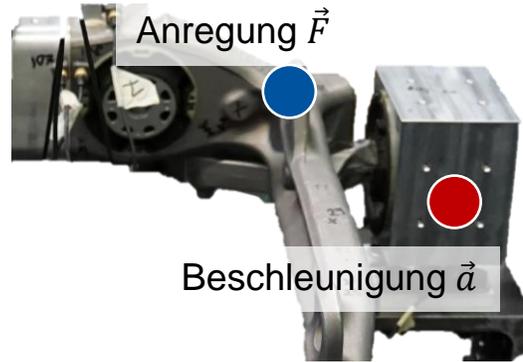
## Ergebnis Untersuchung Einfluss VAMM-Lager



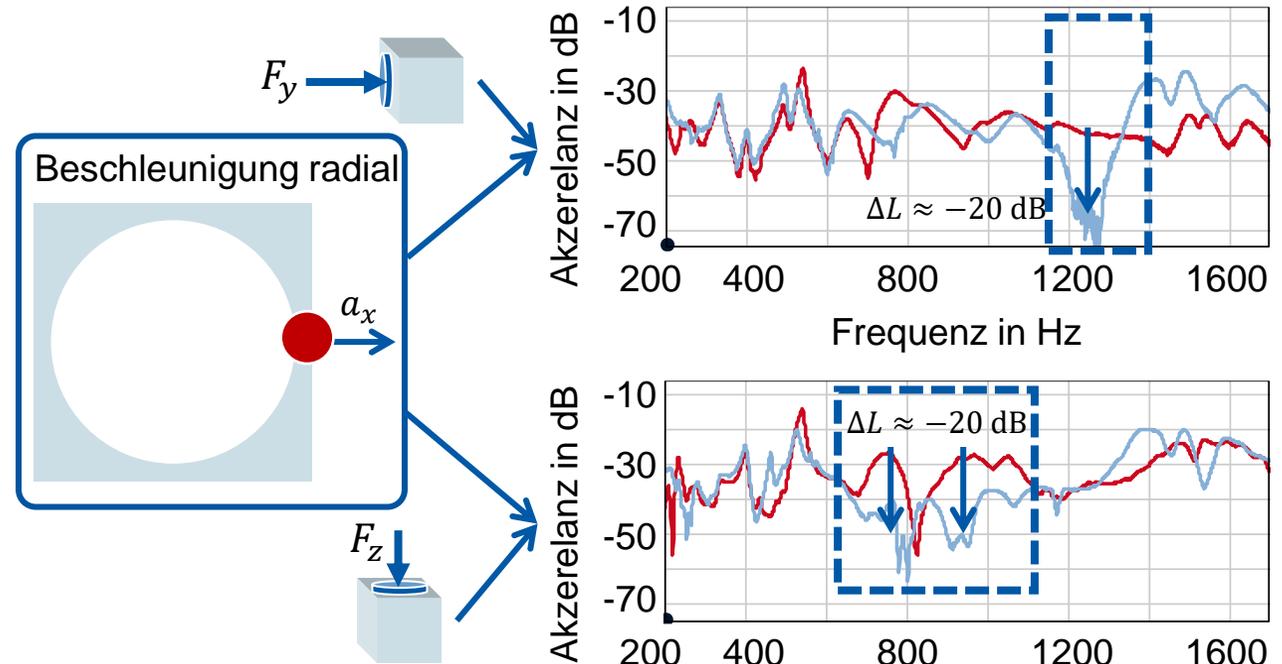
- Ziel 1: Stopband bei  $f \approx 1.2$  kHz ✓
- Ziel 2: Breitbandige Reduktion bei  $f \approx 800$  Hz – 1 kHz ✓



Referenz



VAMM



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

# Exemplarische Untersuchungen

## Fahrzeugebene



	Abdeckungen	Entkopplungsträger	Lager
Komponente	VAMM 		
Subsystem			VAMM 
Fahrzeug	VAMM 	VAMM 	VAMM 



# Untersuchungen Fahrzeugebene

## Übersicht Betriebsmessungen



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

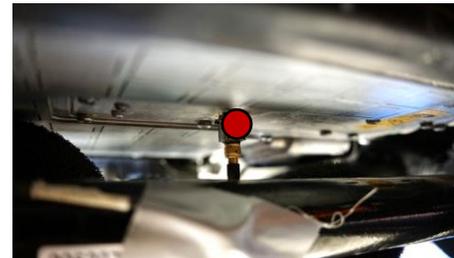
Fahrzeugebene

### Betriebsmessungen



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

### Beschleunigungen an Komponenten



Abdeckung

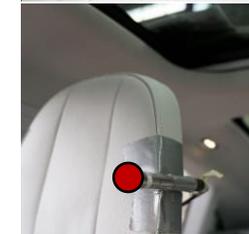


Entkopplungsträger

### Schalldruckpegel im Innenraum



Fahrer:  
Rechtes Ohr



Beifahrer:  
Linkes Ohr

# Untersuchungen Fahrzeugebene

## Beschleunigte Fahrt – Schalldruckpegel im Innenraum



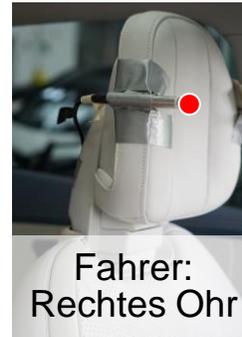
**Ziel 1:** Stoppbänder bei  $f \approx 1.2$  kHz an Komponenten  
**Ziel 2:** Optimierung des Innenraumgeräusch

Betriebsmessungen



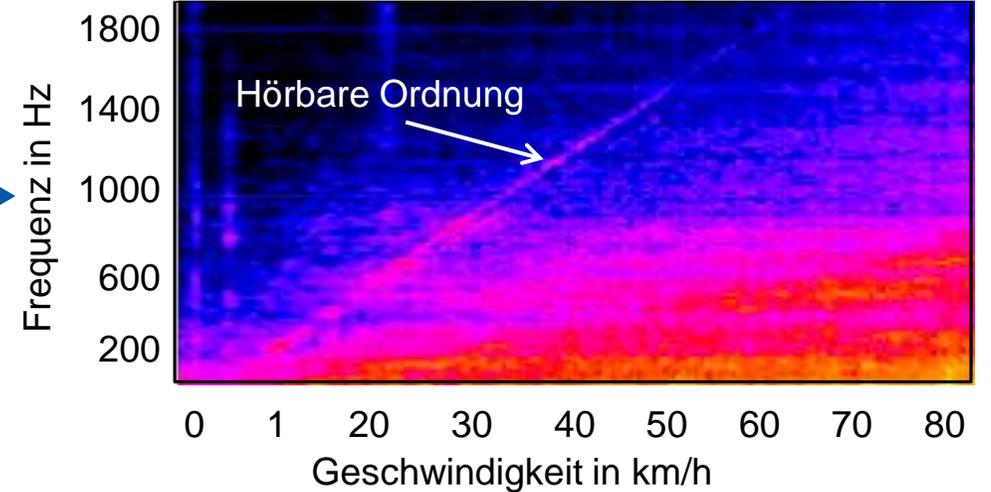
Beschleunigte Fahrt

Schalldruckpegel



Fahrer:  
Rechtes Ohr

FFT vs. Geschwindigkeit der Referenz



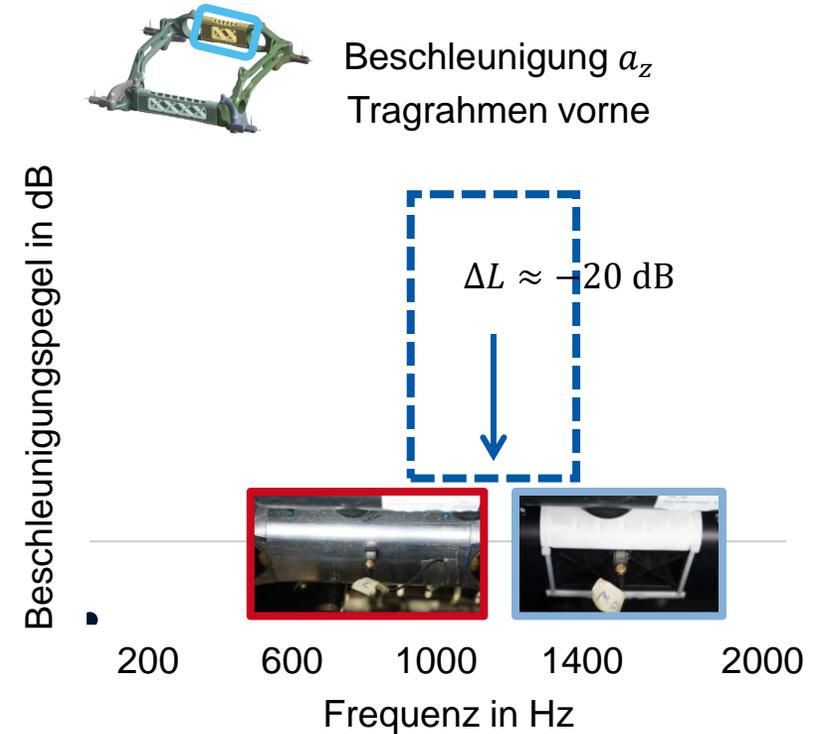
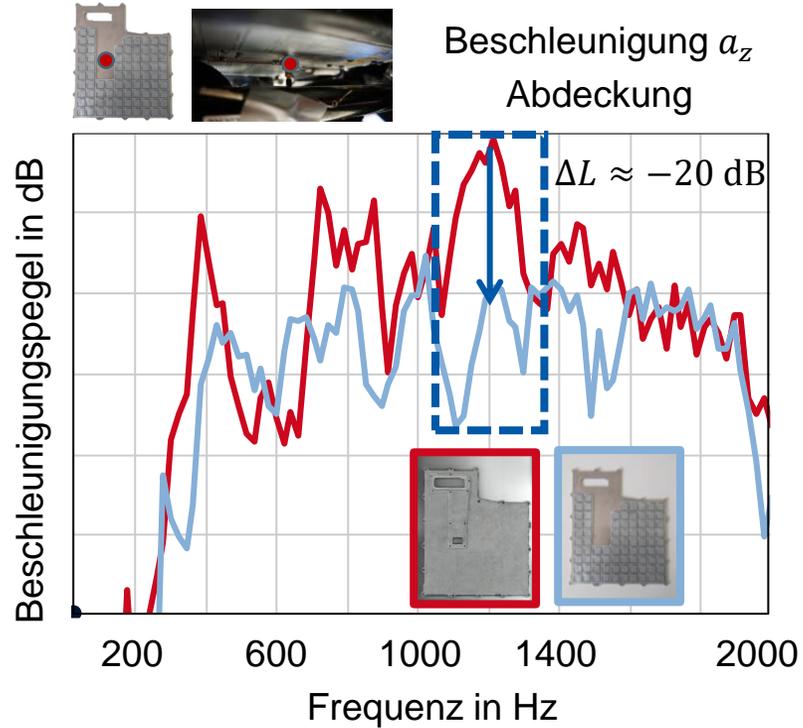
Nächster Schritt: Ordnungsschnitt der hörbaren Ordnung

# Untersuchungen Fahrzeugebene

## Beschleunigte Fahrt – Dynamische Beschleunigungen an Komponenten



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

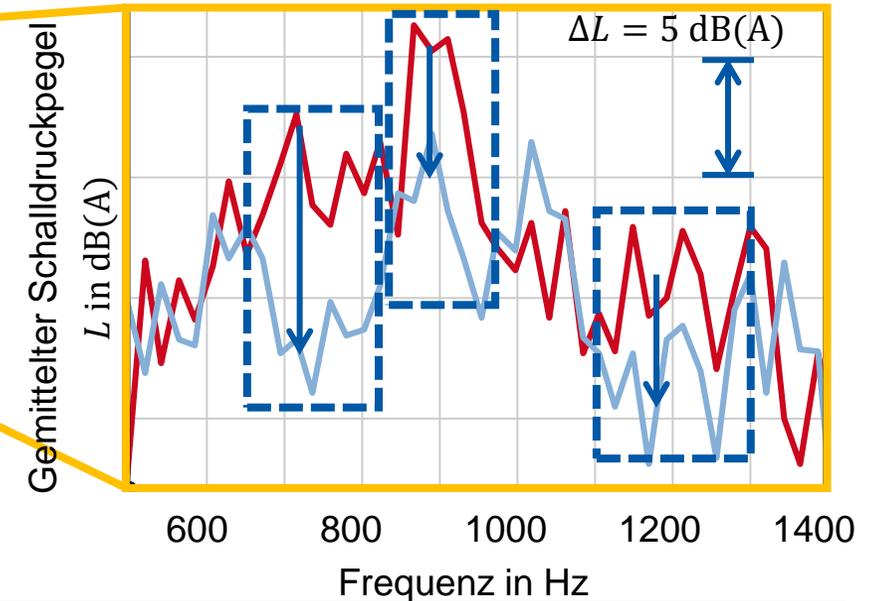
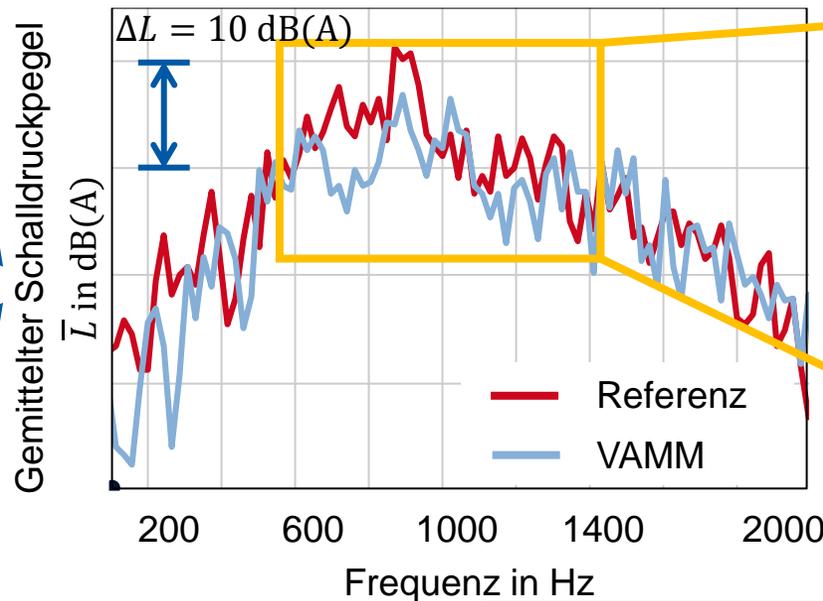
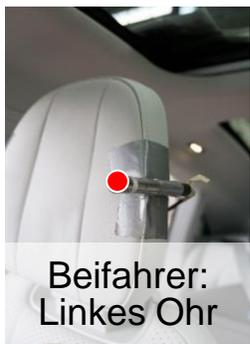
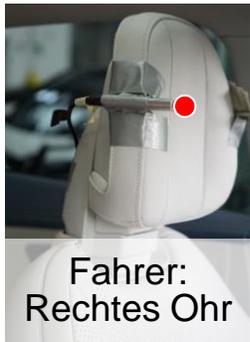


# Untersuchungen Fahrzeugebene

## 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

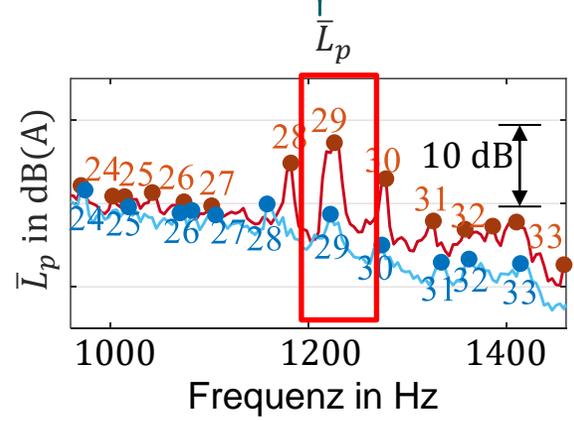
# Untersuchungen Fahrzeugebene

## 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  $n$

Color scale for  $\Delta L_p$  in dB: 20 (red), 0 (yellow), -20 (blue). White box indicates 'kein Peak'.

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

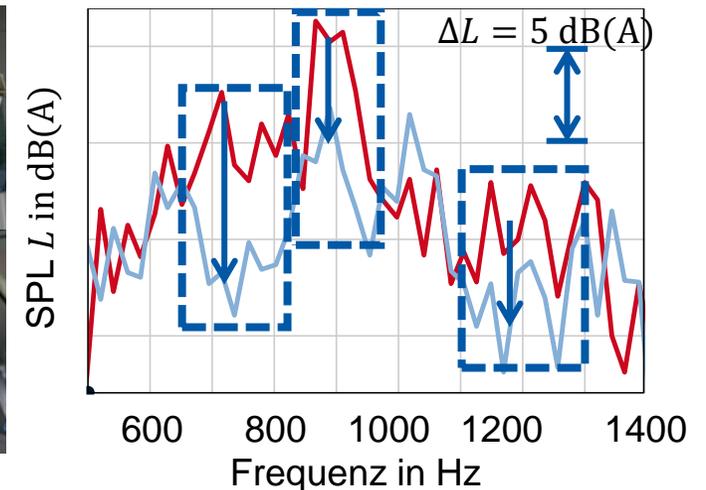
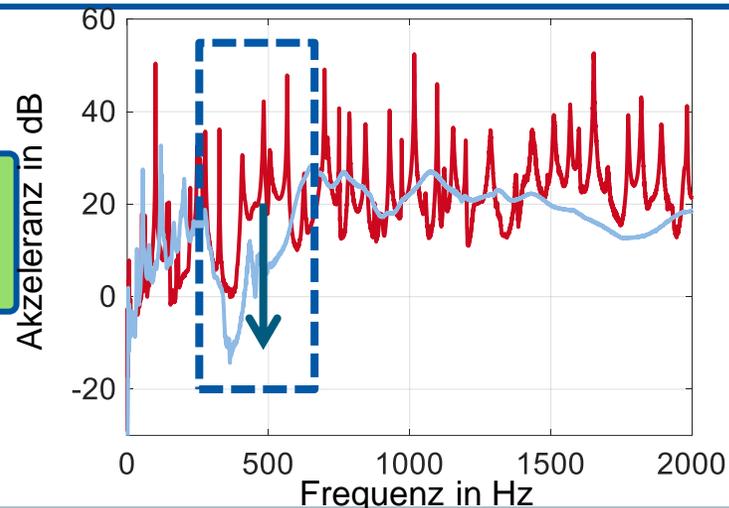
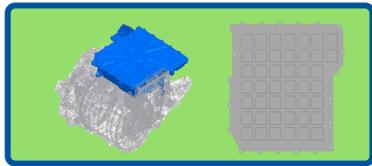
# Experimentelle Validierung vibroakustischer Metamaterialien

## 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](http://www.ika.rwth-aachen.de)



Mercedes-Benz



Finanziert von der  
Europäischen Union  
NextGenerationEU

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages