

Vibroakustische Metamaterialien als lärmindernde Maßnahme im Binnenhafen

Nikolai Kleinfeller

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und
Systemzuverlässigkeit LBF
Abteilung Strukturdynamik und Schwingungstechnik



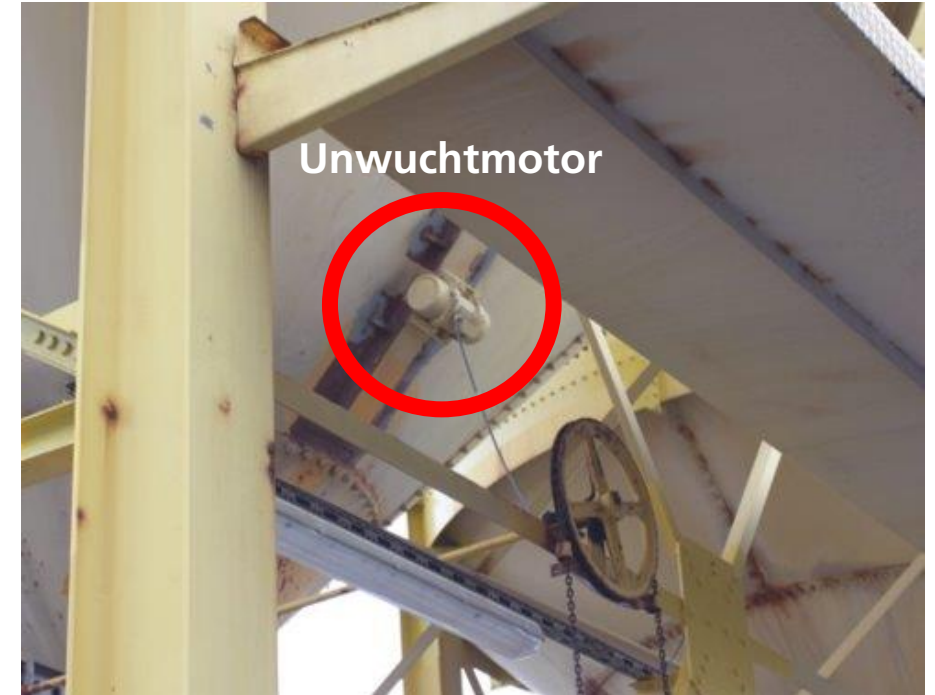
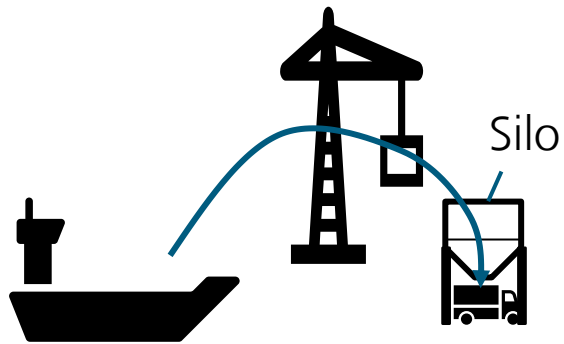
Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

Motivation

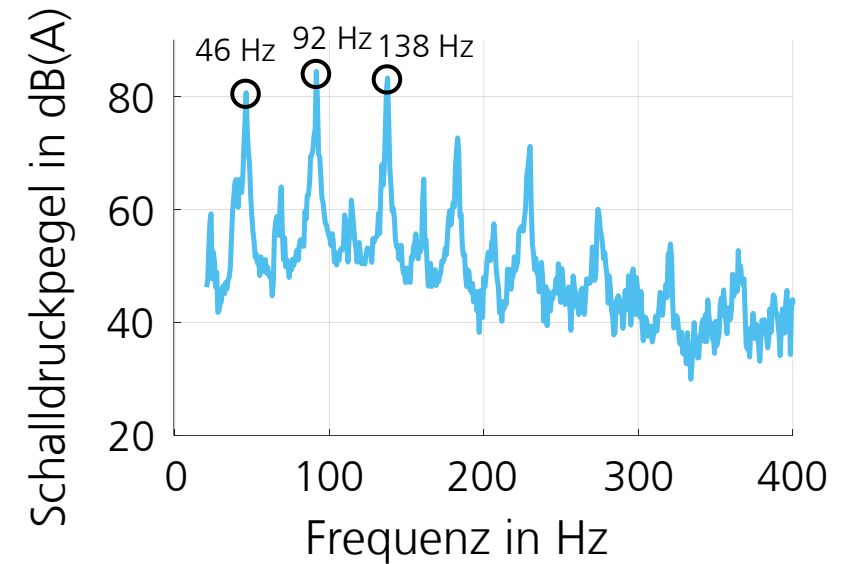
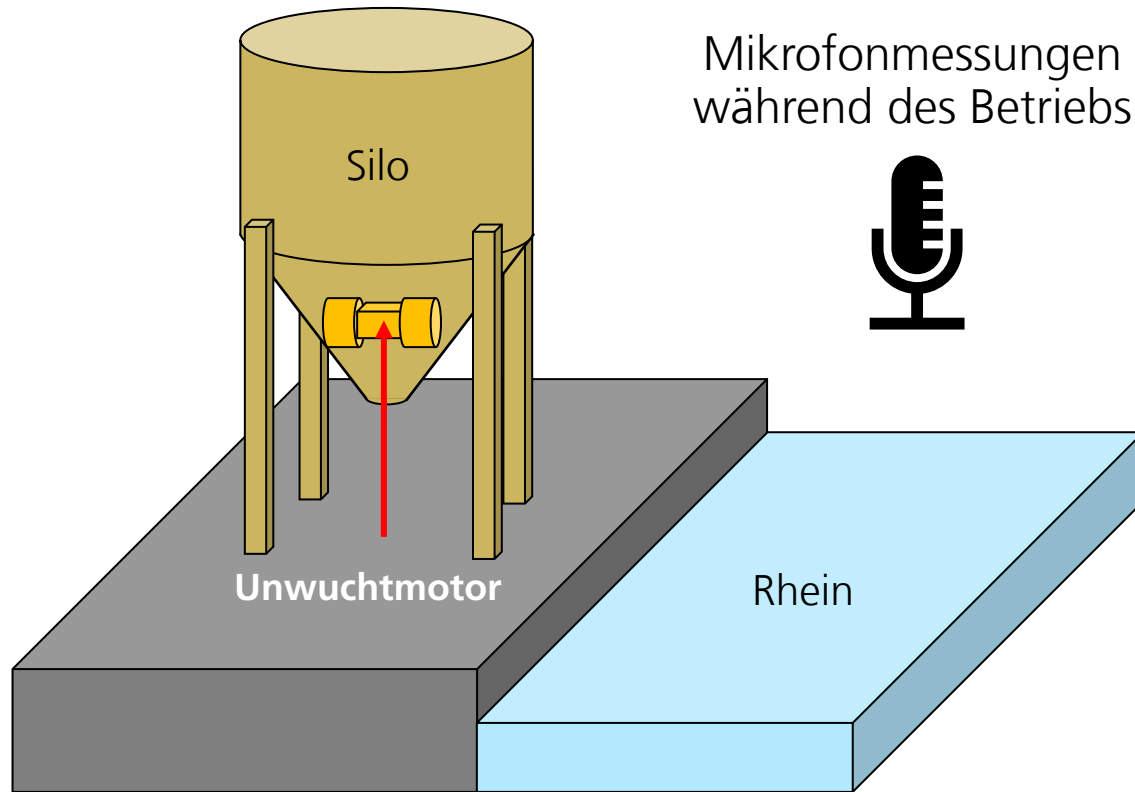
Usecase Schüttgutsilo



- Der Feldspat verhakt sich und fließt nicht aus dem Silo.
- Das Silo wird aus diesem Grund mit einem Unwuchtmotor (Grundfrequenz: 50 Hz) angeregt.
- Die Verladung des Schüttguts auf die Lkw kann bis zu 9 h dauern.

Problemstellung

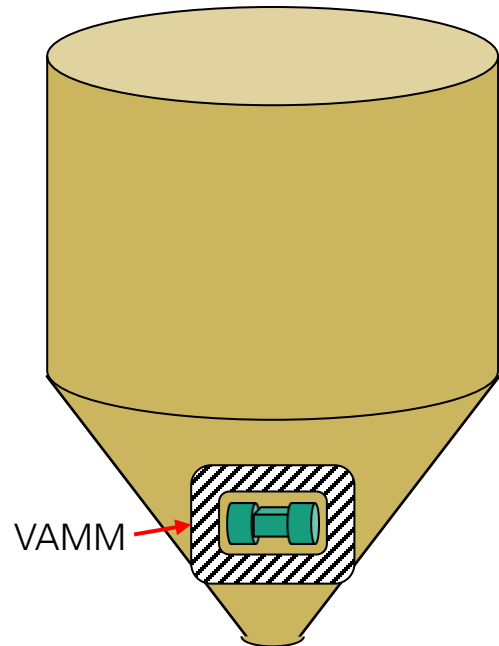
Analyse und messtechnische Untersuchung



→ Die dominierende Schallabstrahlung des Silos ist in den Frequenzen 46 Hz, 92 Hz und 138 Hz.

Problemstellung

Anforderungen und Zielsetzung



Definition von Anforderungen

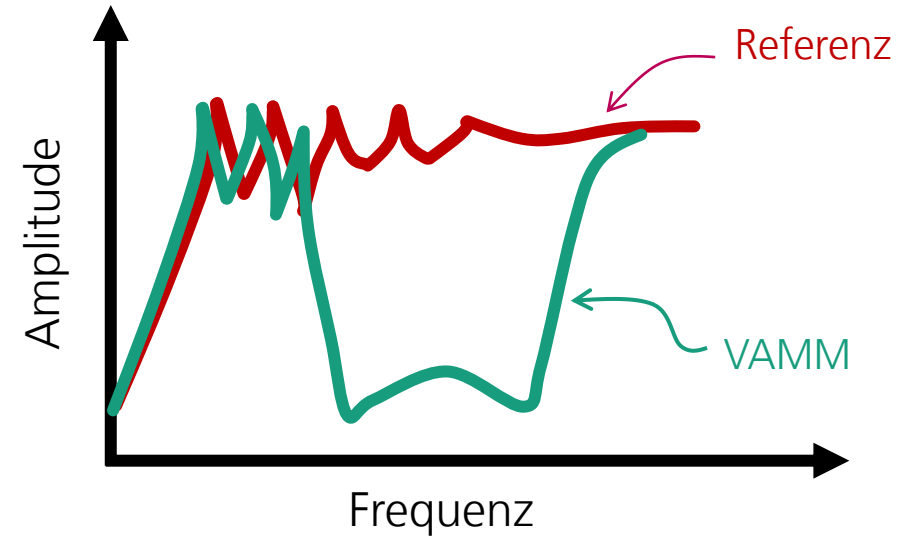
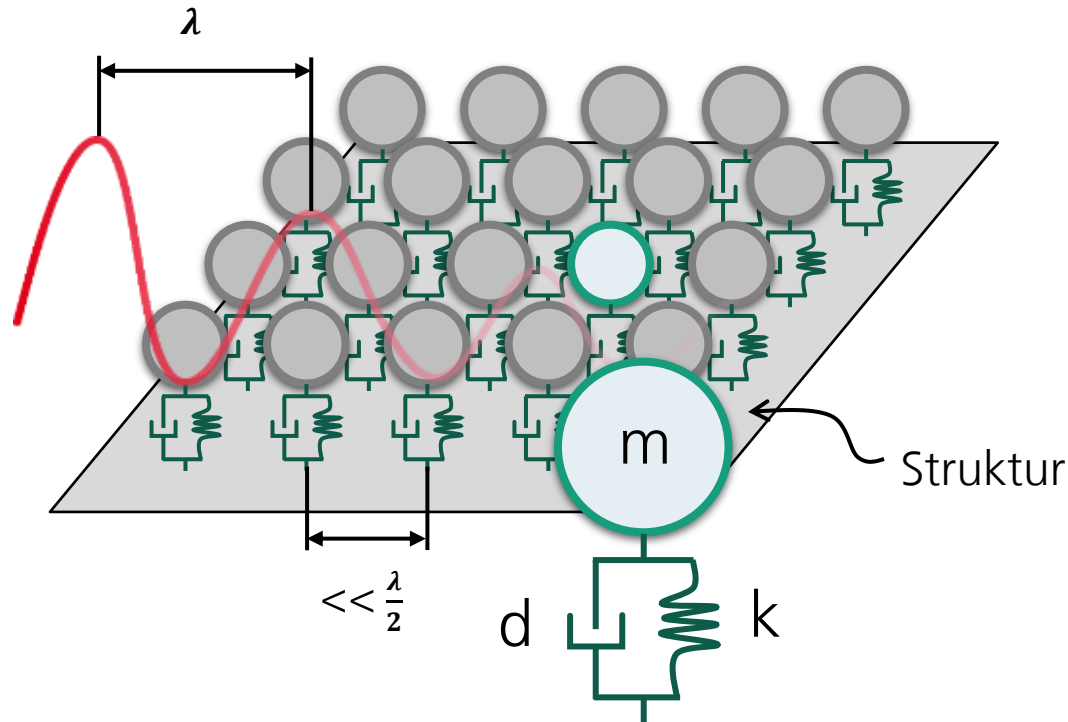
- geringe Modifikation des Silos
- Die Robustheit ggü. Umgebungsbedingungen ist notwendig.
- Der Verladeprozess mit Bagger darf nicht behindert werden.
- Der Rüttelprozess des Silos muss noch funktionieren.

Zielsetzung

- Konzept „**VAMM Abschirmung**“
- Ziel: Stoppband für höher harmonische Anteile der Anregung (SB: 80 Hz bis 100 Hz + Dämpfungseffekt)
- Begrenzung des VAMM um die Anregungsstelle
- TRL6 („Prototyp in Einsatzumgebung“) soll innerhalb des Projektes LOLA erreicht werden.

Vibroakustische Metamaterialien (VAMM)

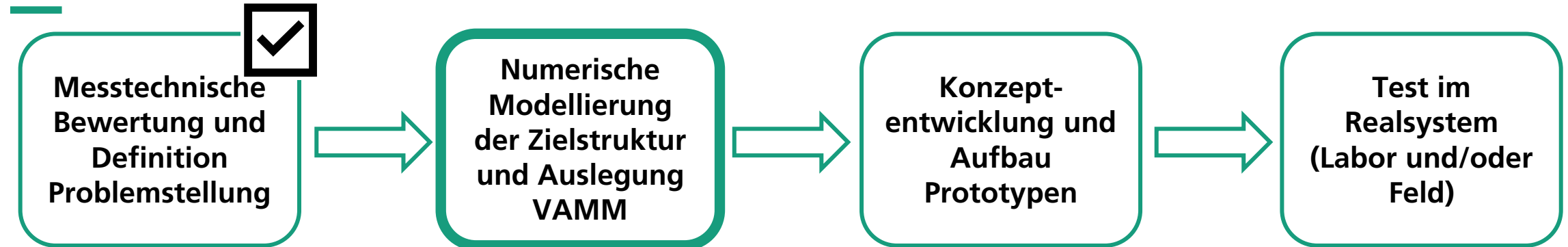
grundlegendes Prinzip



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

Vibroakustische Metamaterialien (VAMM)

methodische Auslegung

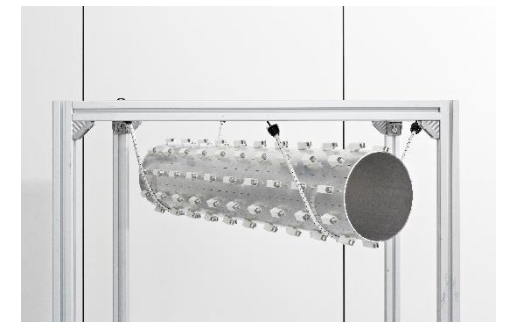
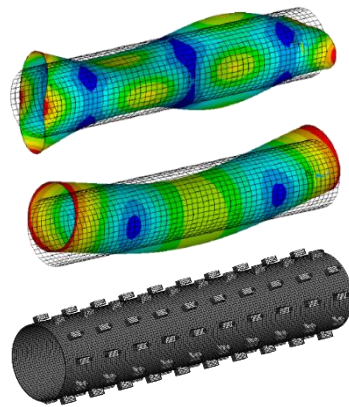
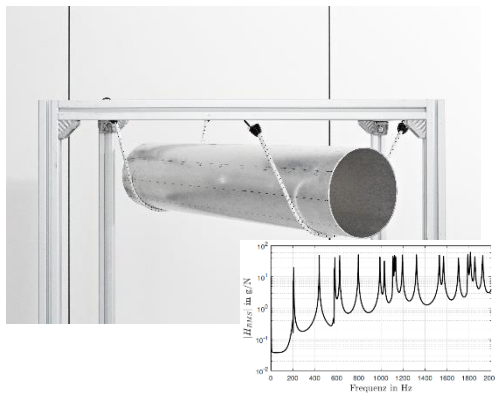


- Welcher Frequenzbereich soll adressiert werden?
- Welche Bauteile emittieren den störenden Schall?

- Abstimmung VAMM auf Struktur
- Auslegung VAMM-Parameter
- Evaluation der Wirksamkeit

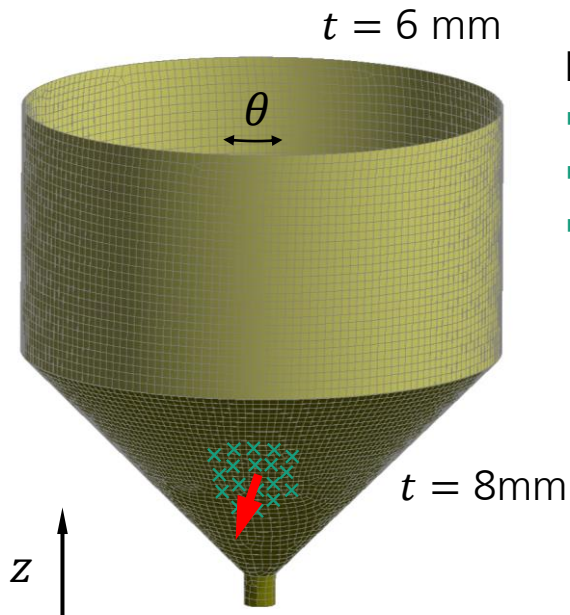
- Entwicklung von VAMM-Konzepten
- Herstellung von Prototypen und Validierung im Labor

- Validierung der Funktion



Konzeptentwicklung und Konzeptumsetzung

Finite Elemente Analyse der Silostruktur



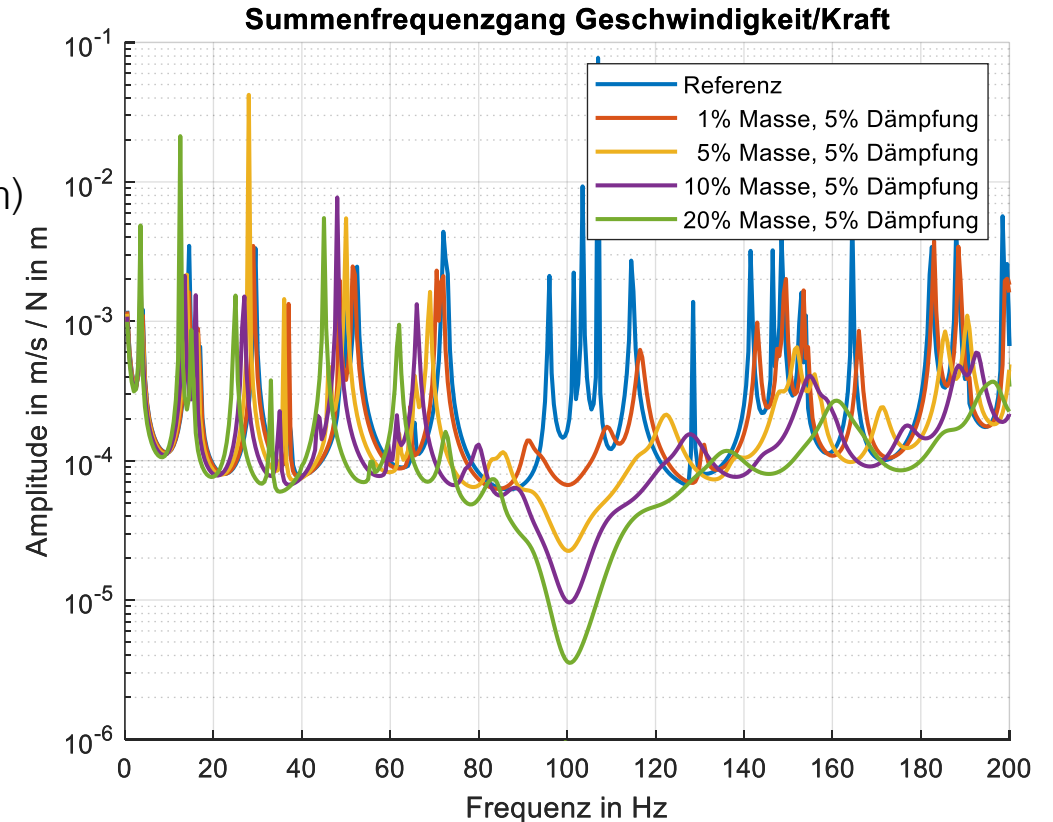
Werkstoff: Stahl

Modell der Silostruktur

- quadratische Schalenelemente
- Analyse bis 300 Hz ($\lambda_B = 450\text{mm}$)
- 5 Elemente pro λ_B (~100mm)
 - 17.000 Elemente,
 - 50.000 Knoten

VAMM-Parameter

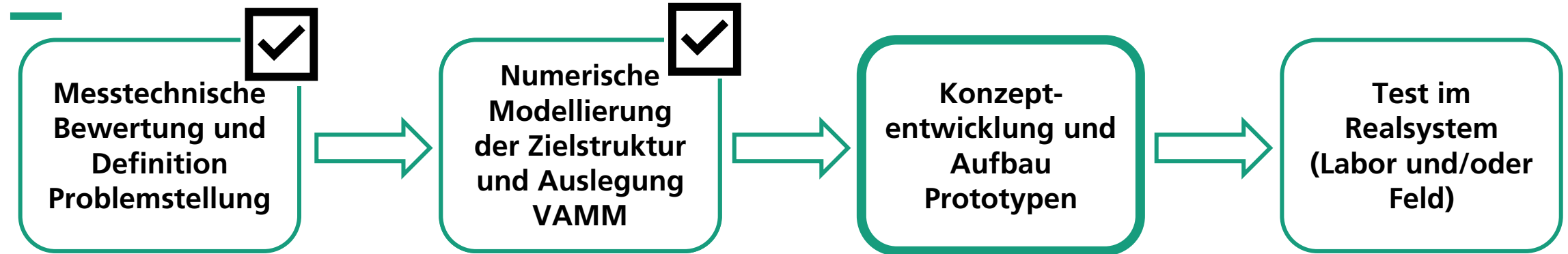
- Anzahl: $n_\theta = 19, n_z = 7$
- Resonanz: 100 Hz
- Masse: 1% $\hat{=} 33\text{g}$



→ VAMM-Array mit 10 % Masse und 5 % Dämpfung wird angestrebt.

Vibroakustische Metamaterialien (VAMM)

methodische Auslegung

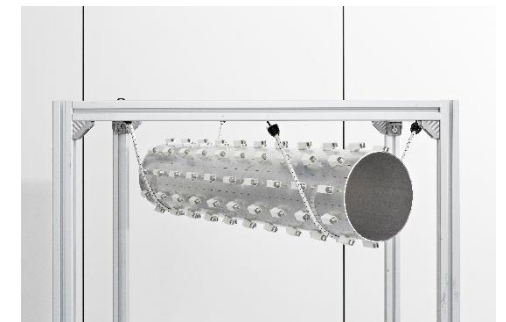
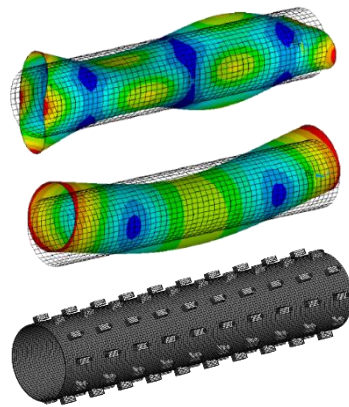
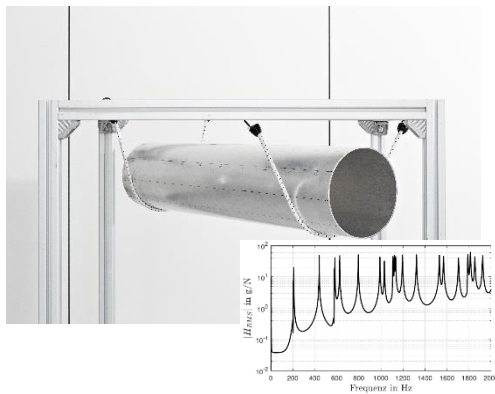


- Welcher Frequenzbereich soll adressiert werden?
- Welche Bauteile emittieren den störenden Schall?

- Abstimmung VAMM auf Struktur
- Auslegung VAMM-Parameter
- Evaluation der Wirksamkeit

- Entwicklung von VAMM-Konzepten
- Herstellung von Prototypen und Validierung im Labor

- Validierung der Funktion



Konzeptentwicklung und Konzeptumsetzung

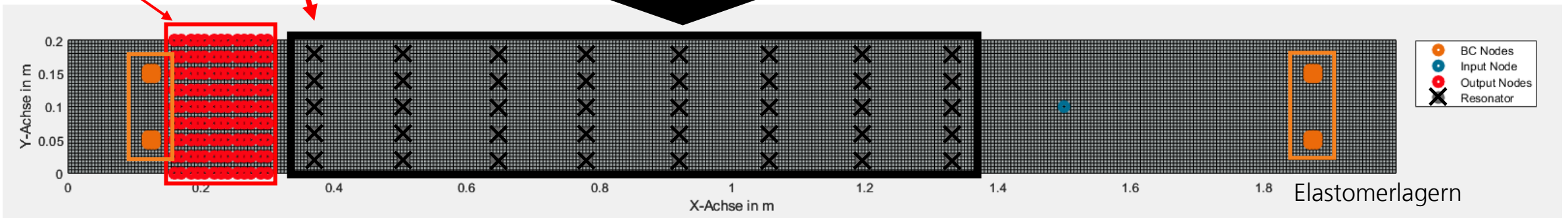
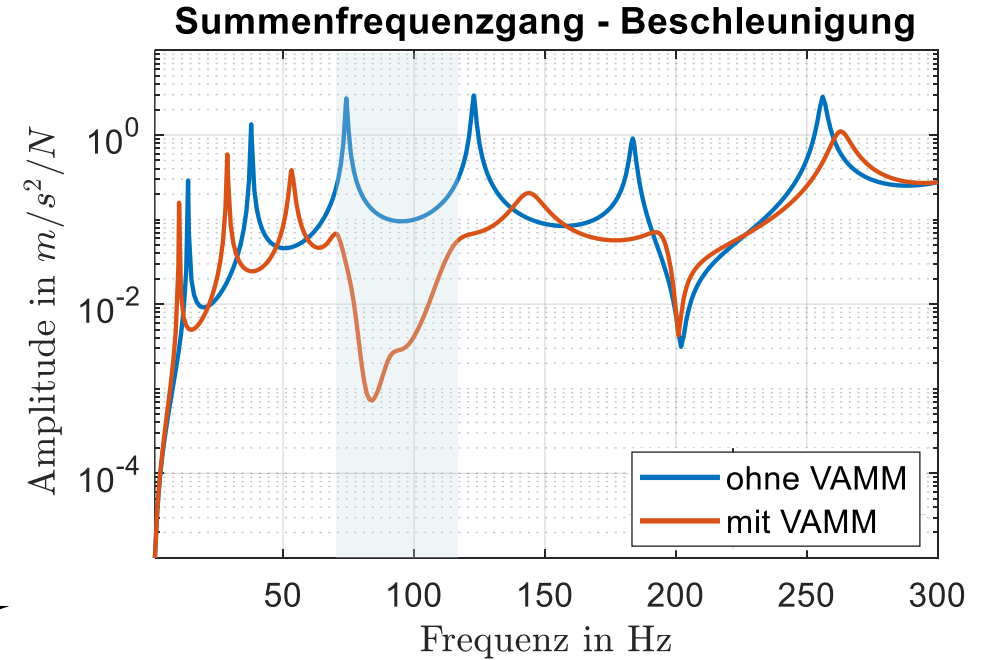
Prinzipdemonstrator zur Auslegung eines Resonators für die Einsatzumgebung



Grundstruktur: Balken mit 8 mm

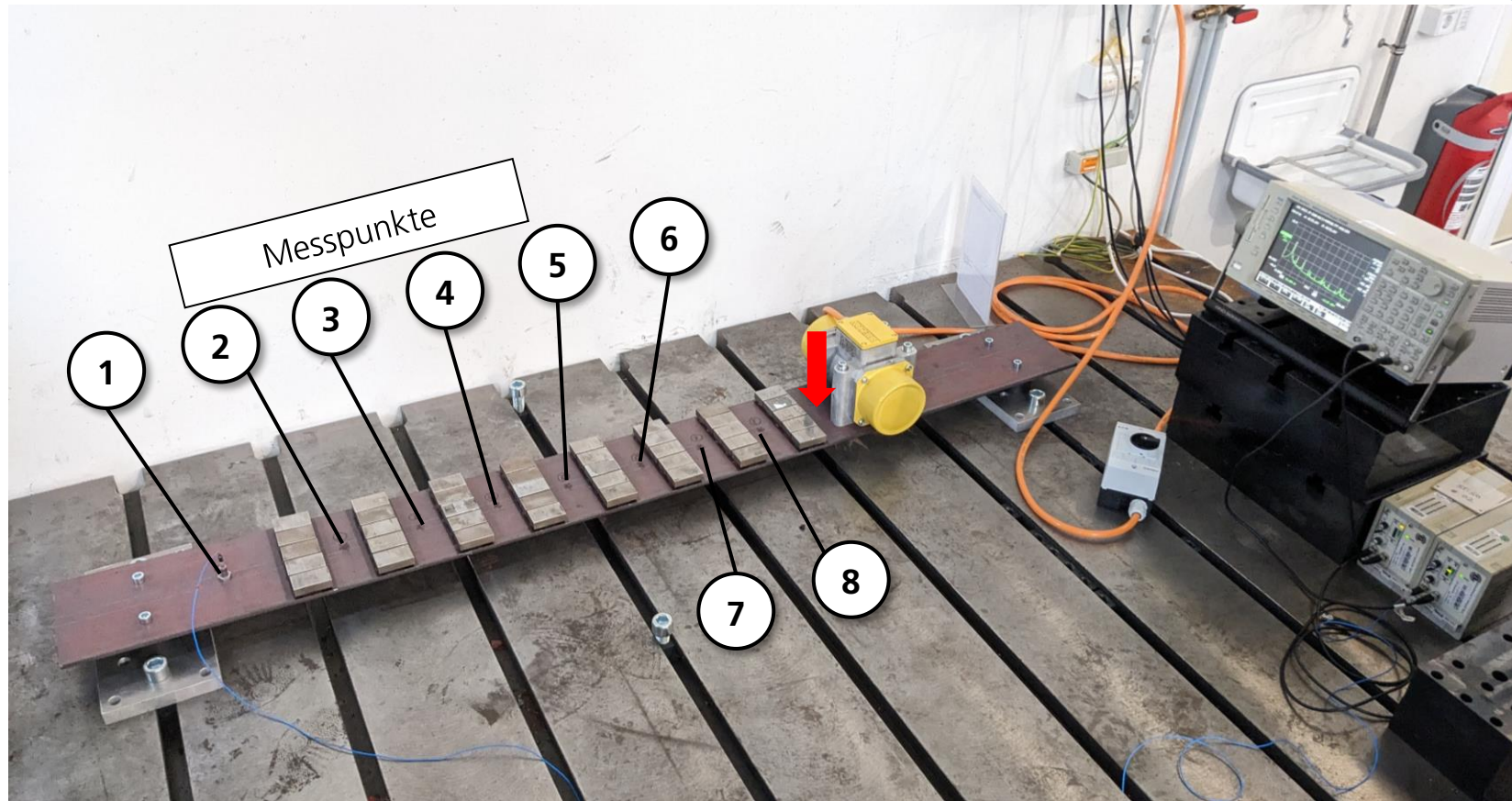
Resonator-Array:

- Masse pro Resonator: 0,283 kg
- Resonatorfrequenz: 80 Hz
- Dämpfung: 5%
- Anzahl Resonatoren
 - N_x : 8
 - N_y : 5



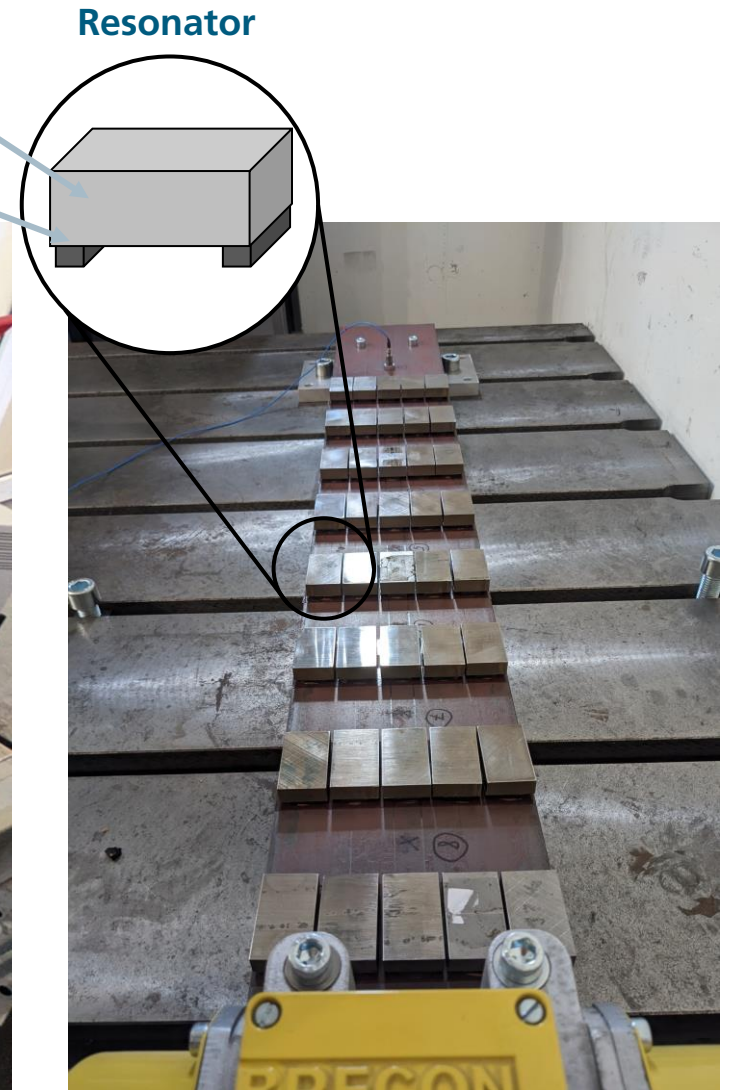
Konzeptentwicklung und Konzeptumsetzung

Prinzipdemonstrator im Labor



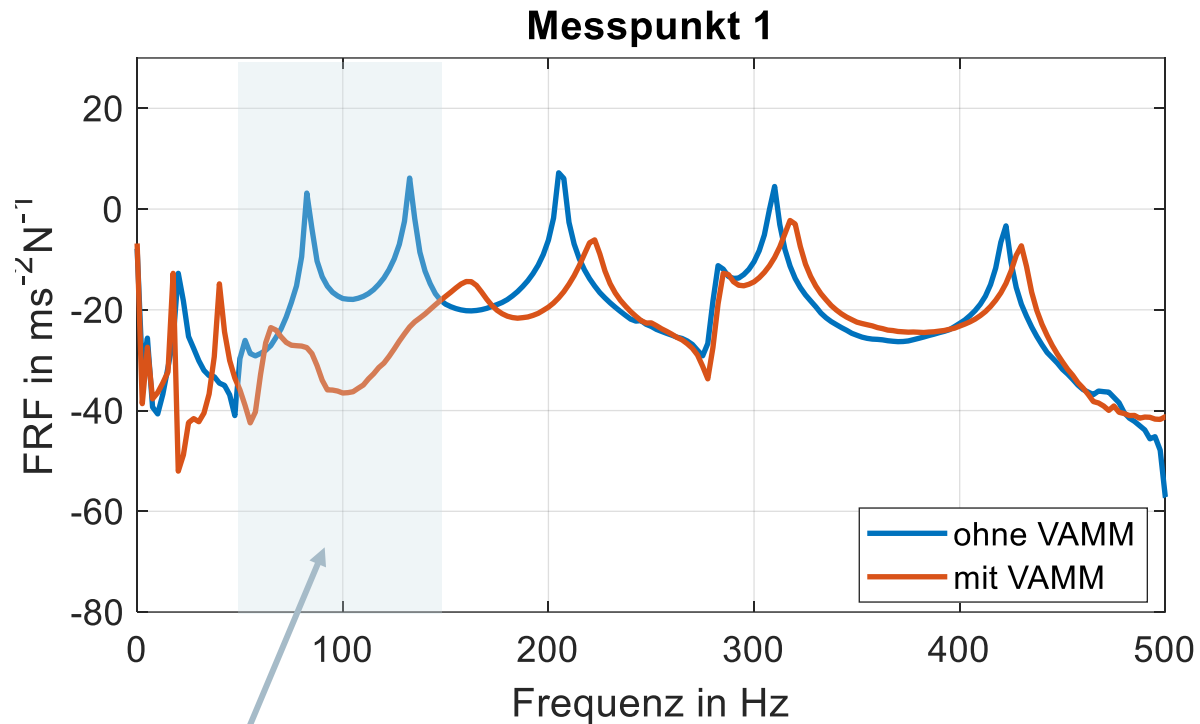
Stahlmasse (283 g)

Schaumstoff



Konzeptentwicklung und Konzeptumsetzung

Auswertung der Übertragungsfunktionen am Prinzipdemonstrator



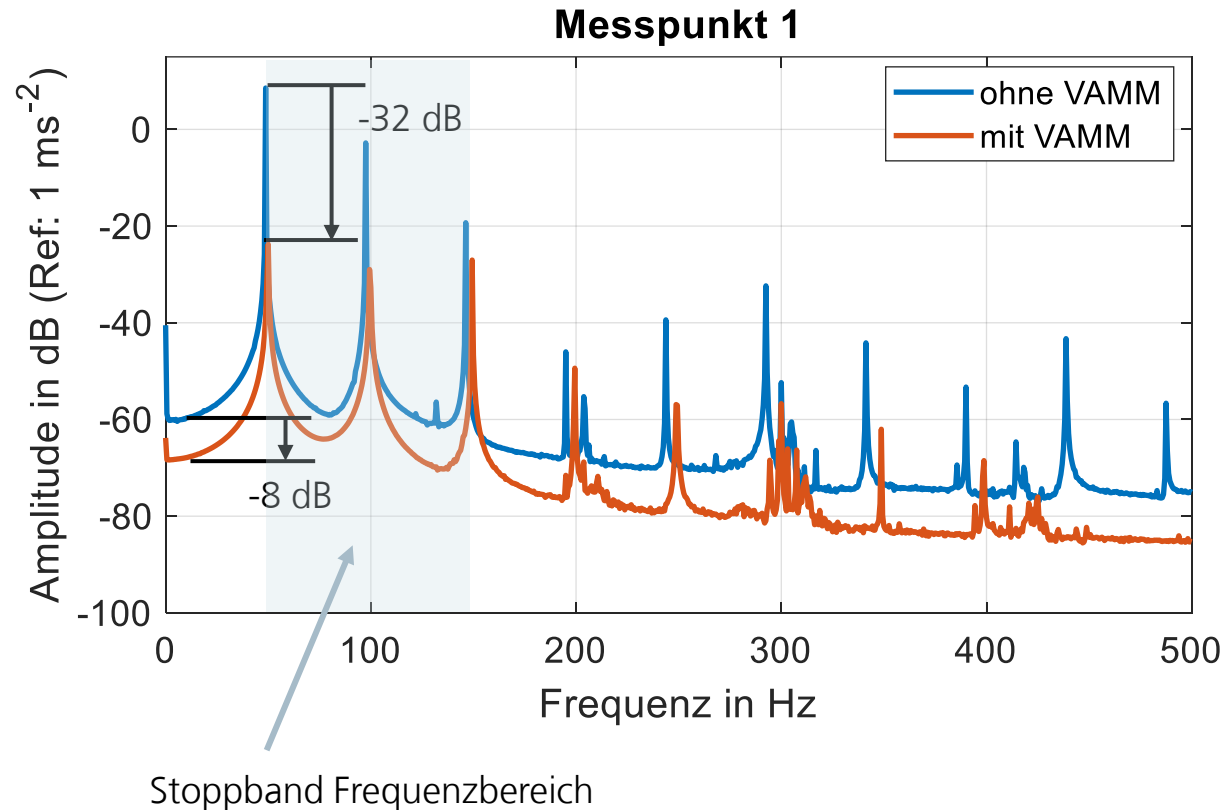
Stoppband Frequenzbereich



→ gewünschtes Stoppband im Frequenzbereich (ca. 50 Hz bis 150 Hz) ist gestaltet.

Konzeptentwicklung und Konzeptumsetzung

Auswertung einer Betriebsschwingungsanalyse am Prinzipdemonstrator



- Reduktion bei 50 Hz um 24 dB
- Reduktion bei 100 Hz um 18 dB

→ Resonator-Konzept der „VAMM-Abschirmung“ ist im Labor erprobt.

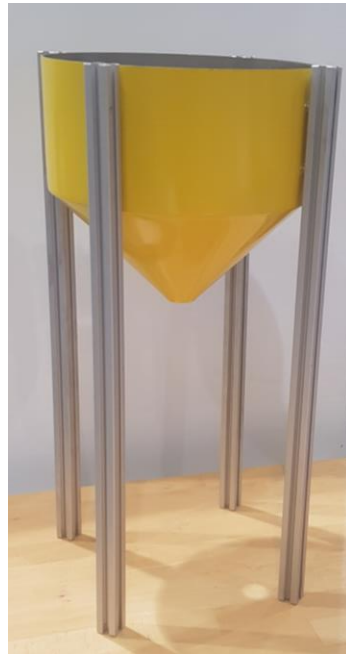
Ausblick

Demonstration und Umsetzung des Konzepts

Sommer
2024



verbessertes
Resonatorkonzept



Erprobung an maßstäblich
verkleinertem Demonstrator



Umsetzung am
realen Silo

Schlussfolgerungen

- Auslegung eines vibroakustischen Metamaterials (VAMM) zur Reduktion der Schallabstrahlung für ein Schüttgutsilo
- Das VAMM eignet sich, um die störenden höherharmonischen Frequenzen herauszufiltern.
- TRL4 („Prototyp im Labor“) ist für den gezeigten Usecase erreicht.
- geplante Umsetzung der Maßnahme am Hafen in Andernach im Sommer 2024

Vielen Dank



- Contargo GmbH & Co. KG
- Müller-BBM GmbH
- Fraunhofer LBF
- Fraunhofer IML

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

Kontakt

Nikolai Kleinfeller, M.Sc.
Gruppe Numerische Methoden und Analysen
Abteilung Strukturtechnik und Schwingungstechnik
Bereich Adaptronik
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit
und Systemzuverlässigkeit LBF
Tel. +49 6151 705 471
nikolai.kleinfeller@lbf.fraunhofer.de