Mechanische Hochfrequenzanregung schwingungssensitiver Prüflinge

Dr. Martin Brucke

Leiter Technik

Inhaltsverzeichnis

Kurzvorstellung SPEKTRA

Motivation: warum Hochfrequenzanregung?

Lösungsweg

Ausblick / Diskussion

Kurzvorstellung SPEKTRA

Gegründet 1994 in Dresden, 50 Mitarbeiter,

Standorte: Dresden, Kalifornien (USA)

Kalibriersysteme und Dienstleistungen

- Schwingung, Akustik, dynamische Kraft, dynamischer Druck
- Kunden: Nationale Metrologie Institute (z.B. PTB, NIST, …), Sensorhersteller, Kalibrierlaboratorien

Device Testing

- Anregungsarten: linear- und Drehbeschleunigung, Schock, Temperatur, Magnetfeld, Akustik
- Kunden: MEMS Hersteller und Anwender

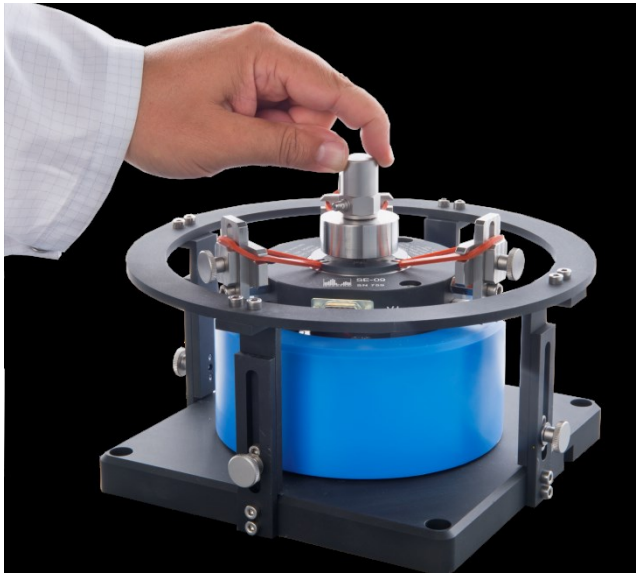
Motivation- MEMS Charakterisierung

2008 – erste Anfrage eines MEMS Herstellers für ein Testsystem für den Frequenzbereich > 20 kHz

- Unerwartetes Verhalten eines MEMS Drehratensensors bei Hochfrequenzanregung im Fahrzeug (Magnetventile, Steinschläge, …)
- Funktionsprinzip des MEMS Sensors: Coriolis Kraft wirkt auf HF-Schwingsystem (f > 20 kHz)
- Störung durch Schwingungseinleitung

Messaufgabe: Einleitung von HF Schwingungen in 3 Raumachsen

→ **SE-09 Hochfrequenz Erreger mit VCS 403 Schwingregelsystem für den Frequenzbereich 5 Hz bis 50 kHz**



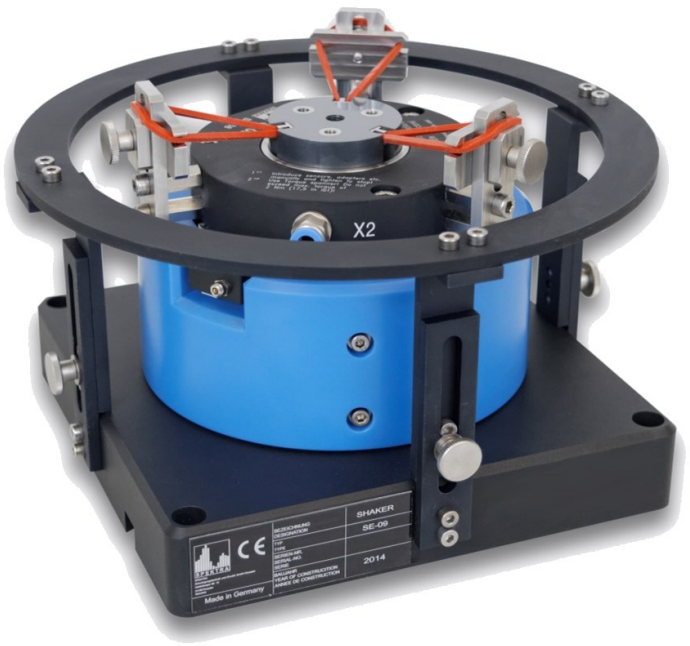
SE-09 Hochfrequenz-Erreger (5 Hz bis 50 kHz)

HF – Anregung mit SPEKTRA SE-09

SPEKTRA SE-09

- HF-Anregung bis 50 kHz
- 1. Armatur Resonanz > 52 kHz
- Beschleunigungsamplituden bis 400 m/s²
- Armatur aus Hochleistungskeramik mit Montagegewinden

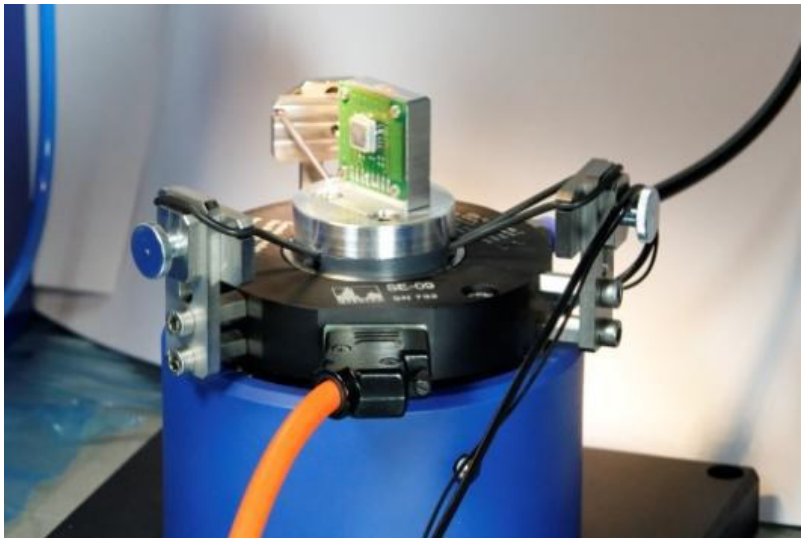
→ **Einsatzzweck: Kalibrierung von Beschleunigungssensoren**

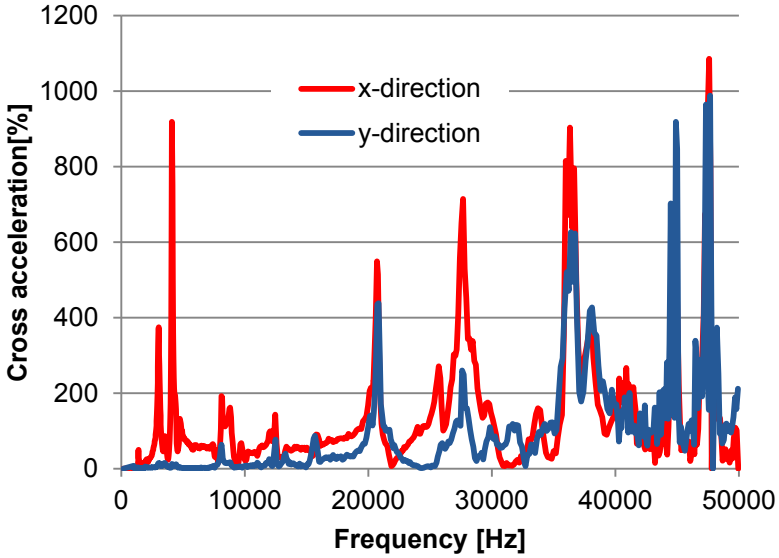


HF – Anregung mit SPEKTRA SE-09

SPEKTRA SE-09 zur Anregung von MEMS Sensoren (Drehratensensor) in **3 Raumrichtungen**

Erster Lösungsansatz: **Aluminium Adapter**

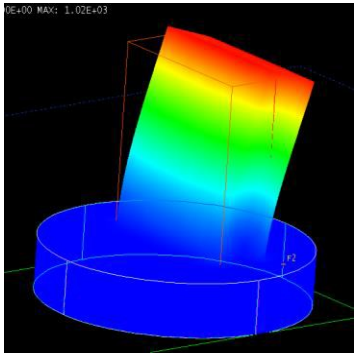




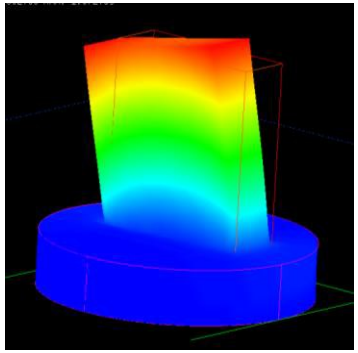
HF – Anregung mit SPEKTRA SE-09

SPEKTRA SE-09 zur Anregung von MEMS Sensoren (Drehratensensor) in 3 Raumrichtungen

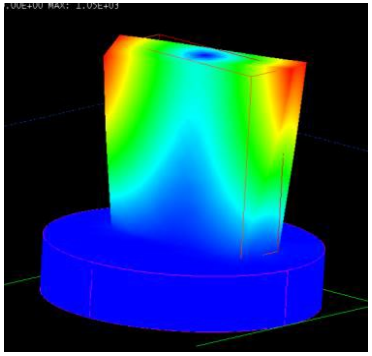
→ **Resonanzen im Aluminium-Adapter führen zu sehr hohen Querbeschleunigungen (> 1000% der Hauptanregung)**



Mode 1: 6.35 kHz



Mode 2: 13.26 kHz



Mode 3: 14.30 kHz

→ **Aluminium-Adapter = No-Go !!!**

Vom SE-09 zum SE-11

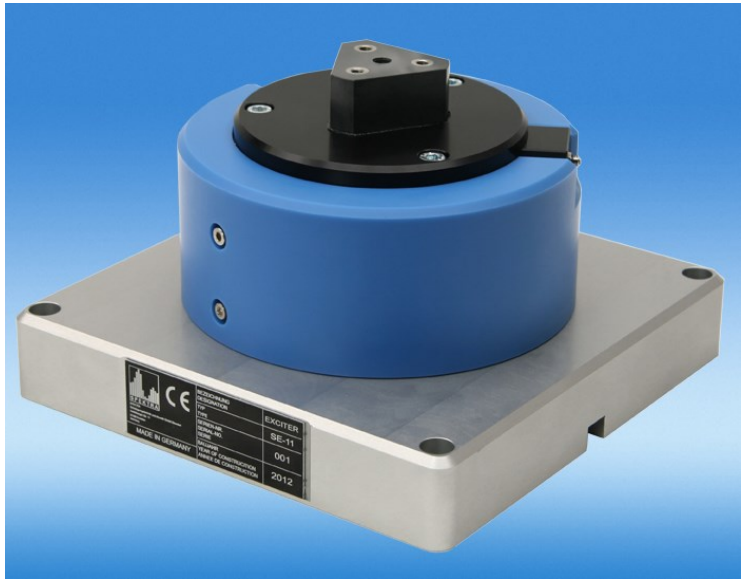
Entwicklung des SE-11 A

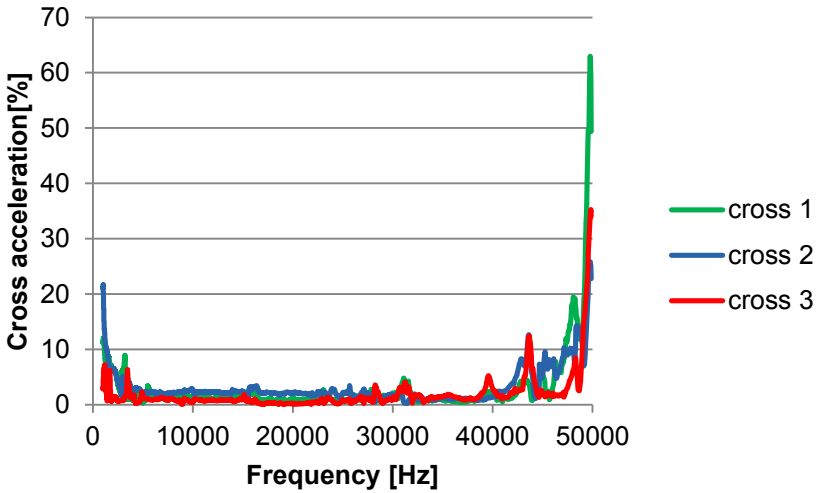
Nutzung einer **Standard SE-09 Armatur**

Abschleifen der seitlichen Flächen als Montagefläche für den Prüfling

→ 3 Klebeflächen (32 x 20 mm)

→ **Sehr geringe Querschwingung bis 45 kHz**





Vom SE-11 A zum SE-11 B

Entwicklungsziele:

- Montagefläche in vertikaler Richtung um **10 mm vergrößern**
- **Bessere Modaleigenschaften** – Querresonanz bei höheren Frequenzen
- Weglassen der Gewinde
- Bessere Abdichtung gegen Kleber und Lösungsmittel

Randbedingungen

- Geometrische Änderungen beeinflussen die Modaleigenschaften

→ Herausforderung: **größere Abmessungen mit besseren Modaleigenschaften**

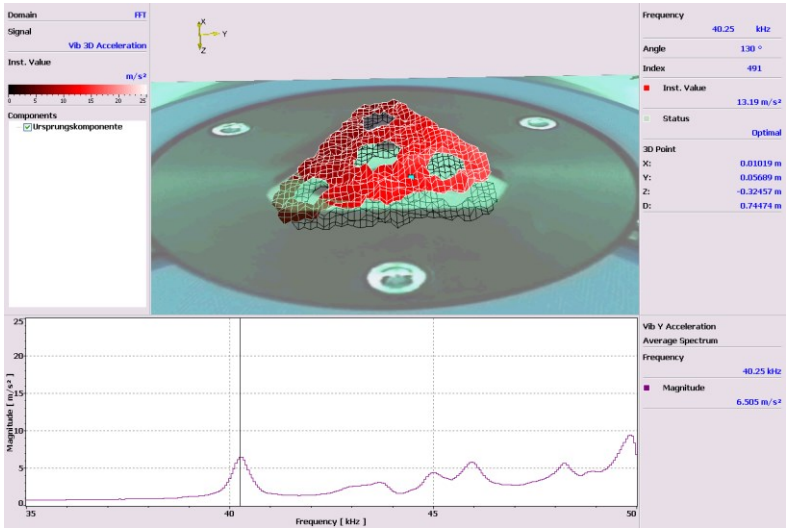
- Abschätzung der Auswirkungen von Änderungen: **FEM Simulation** (Modalanalyse)
- **Mehrkörper Simulationsproblem** (Keramik, Epoxidharz, Kupferlackdraht) macht “Kalibrierung” des Models notwendig

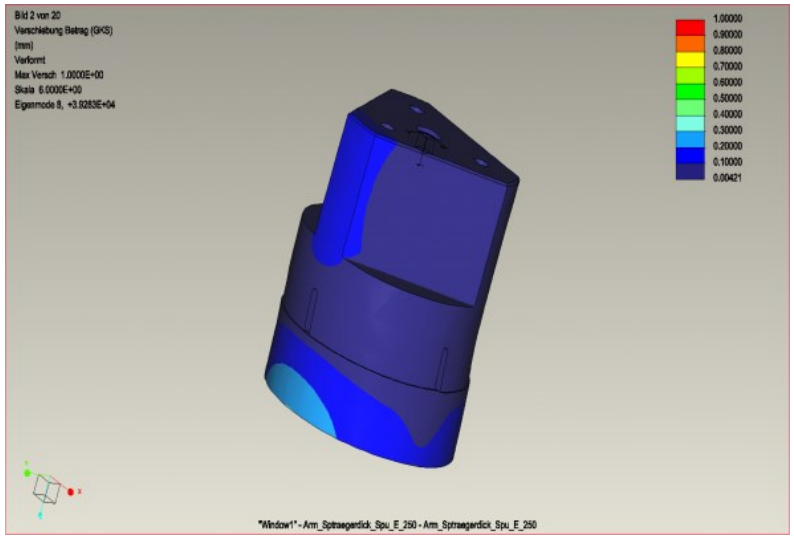
Vom SE-11 A zum SE-11 B

Simulation vs. Messung

- Messung mit 3-D Laser Scanning zeigt Biegemode bei 40 kHz
- Simulation der zeigt die gleiche Eigenform bei einer anderen Frequenz
- Frequenz der Mode durch Änderung der Materialparameter verstimmen
- Identisches Vorgehen für weitere Moden
- Gute Korrelation von Messung und Simulation (Simulation rechnet 2 – 3 kHz zu “weich”)

→ Grundlage für die Entwicklung eines neuen Armaturdesigns

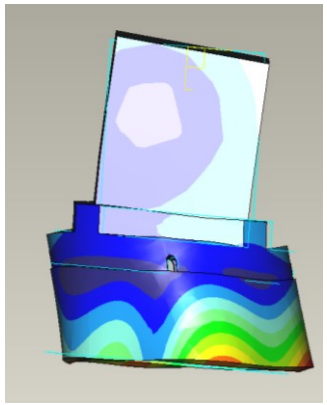




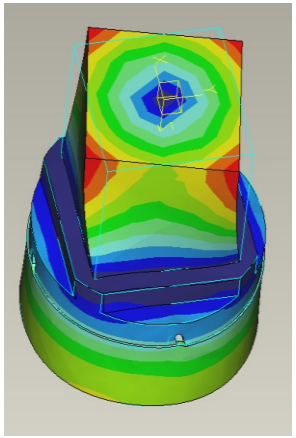
Vom SE-11 A zum SE-11 B

Eigenschaften der Armatur

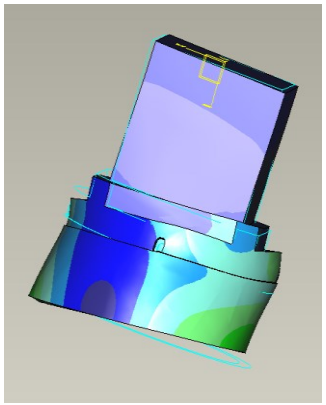
- **Größere Armatur** mit 4 seitlichen Flächen (30 x 30 mm)
- Optimierung mit FEM führt zu leicht **verbesserten Modaleigenschaften**



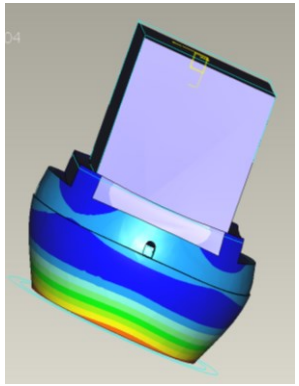
1. Biege Mode: 42 kHz



1. Torsions Mode: 46,8 kHz



2. Biege Mode: 53,2 kHz

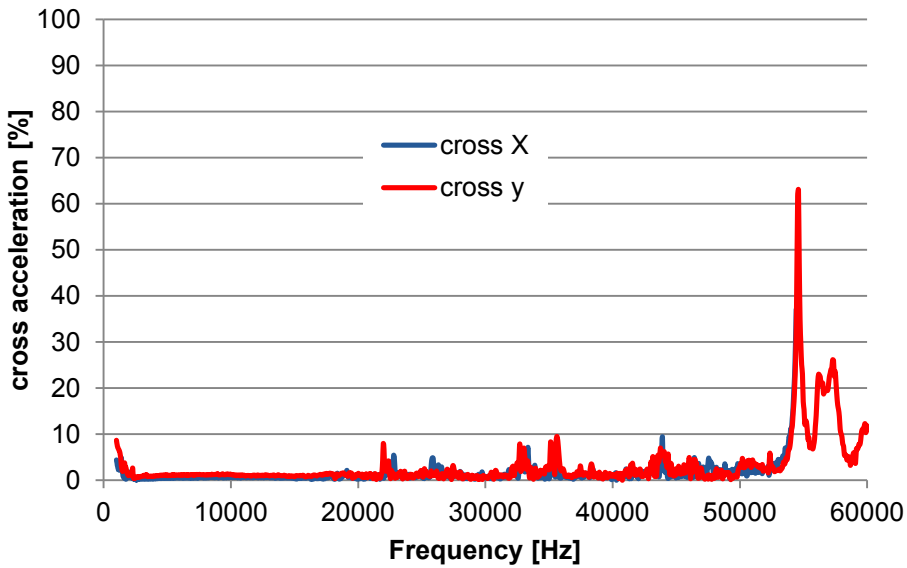


1. Axial Resonanz: 54,3 kHz

Vom SE-11 A zum SE-11 B

SE-11 B

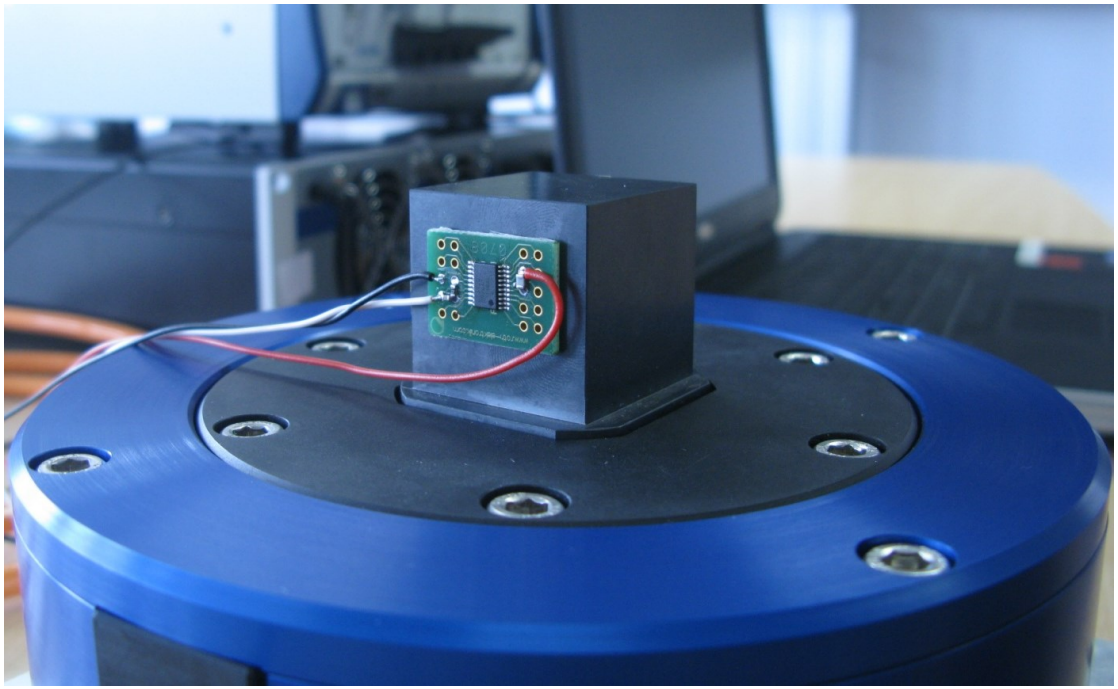
- Max. Beschleunigung: 400 m/s²
- Frequenzbereich: 1 kHz bis 50 kHz
- Querbeschleunigung < 10 %



SE-11 B Anwendungsbeispiel

Anwendungsbeispiel

- Leiterplatte mit Prüfling
- Montage der Leiterplatte?



- Mögliche Klebetechnik: Montagewachs, schnell aushärtender Klebstoff (Cyanoacrylat, HBM X60)
- Unterschiedliche Eigenschaften bzgl.: Verbindungssteifigkeit vs. Entfernbarkeit

→ Experimente und Erfahrung nötig

Vibration Control System

VCS 401

- Frequenzbereich 0.01 Hz bis 98 kHz
- Festsinus / Gleitsinus (Sweep)
- Rauschen
- Schock
- Road Simulation
- Mehrachsige Anregung (max. 8 Kanäle)
- Zusätzliche analoge Schnittstellen Beschleunigung/Vibrometer/Spannung zur Regelung oder Messung
- Digitale Schnittstellen (SPI, I²C, LIN, CAN, …)
- Individuelle Hard- und Softwareerweiterungen möglich

Ausblick und Diskussion

Roadmap

→ Erweiterung des Frequenzbereichs, Ziel: 200 kHz

→ simultane mehrachsige Anregung

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!