PTC user

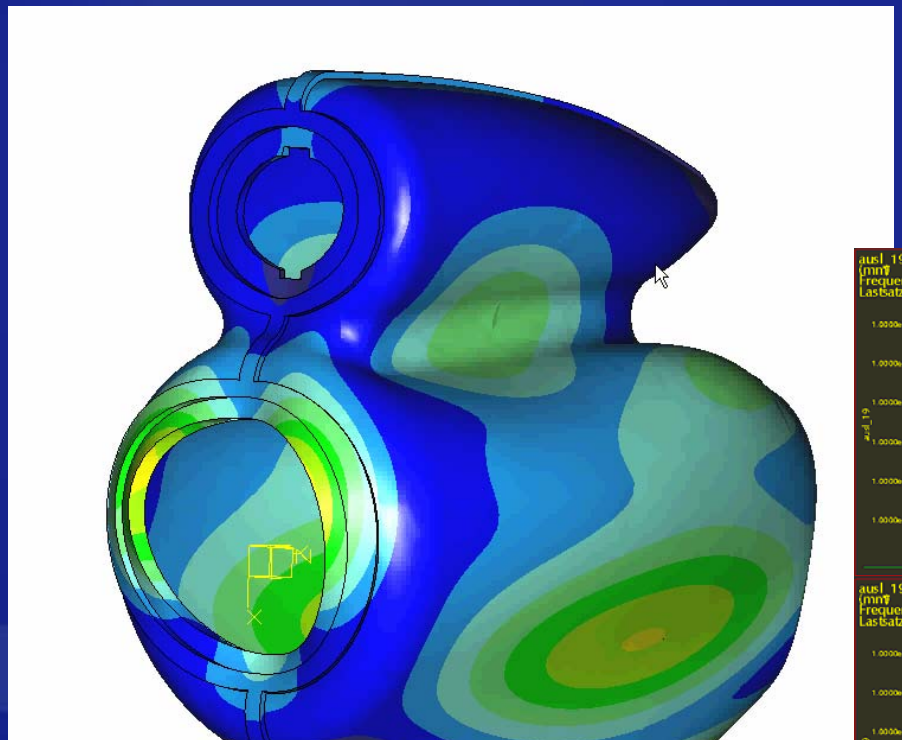
WORLD EVENT 2005

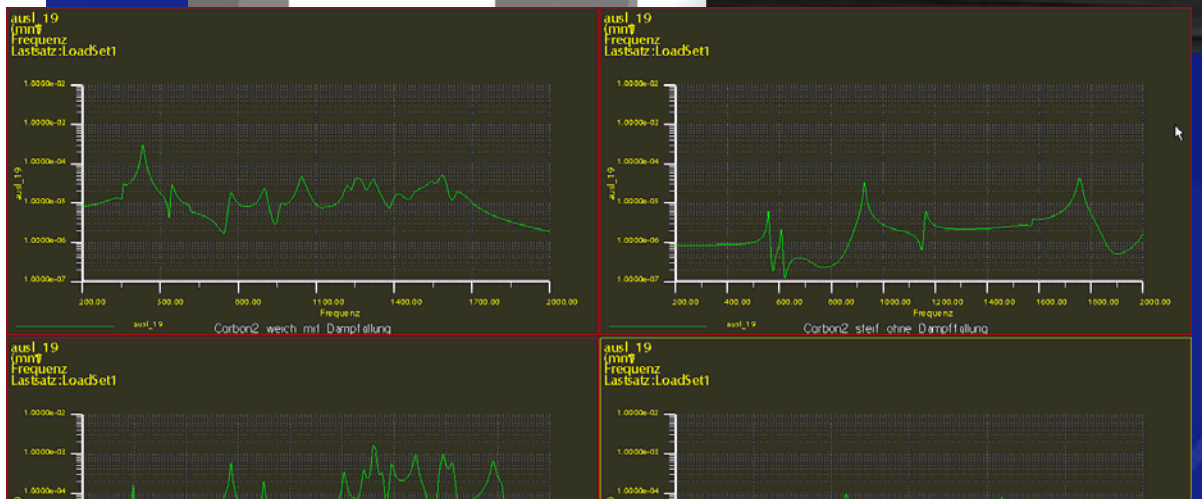
# Lautsprecherprojekt Carbon2

Jan-Christoph Reul
Alexander Reul
Pretech GmbH

# Lautsprecherprojekt Carbon2

## Möglichkeiten der FEM zur Analyse und Optimierung eines Lautsprechergehäuses





# Inhalt

- Motivation
- Allgemeine Einführung
- Entwicklung
- Simulation

# Motivation

- Entwicklung von Leichtgewichtslautsprechern für Aircraft Interiors
- Benchmarking
- Persönliche Interessen

# Inhalt

- Motivation
- Allgemeine Einführung
- Entwicklung
- Simulation

# Allgemein

- Idealerweise sind Lautsprechergehäuse starr
- Reale Gehäuse vibrieren (Anregung von Treiber&Schall)
- Vom Gehäuse abgestrahlter Schall beeinflusst signifikant den Klang

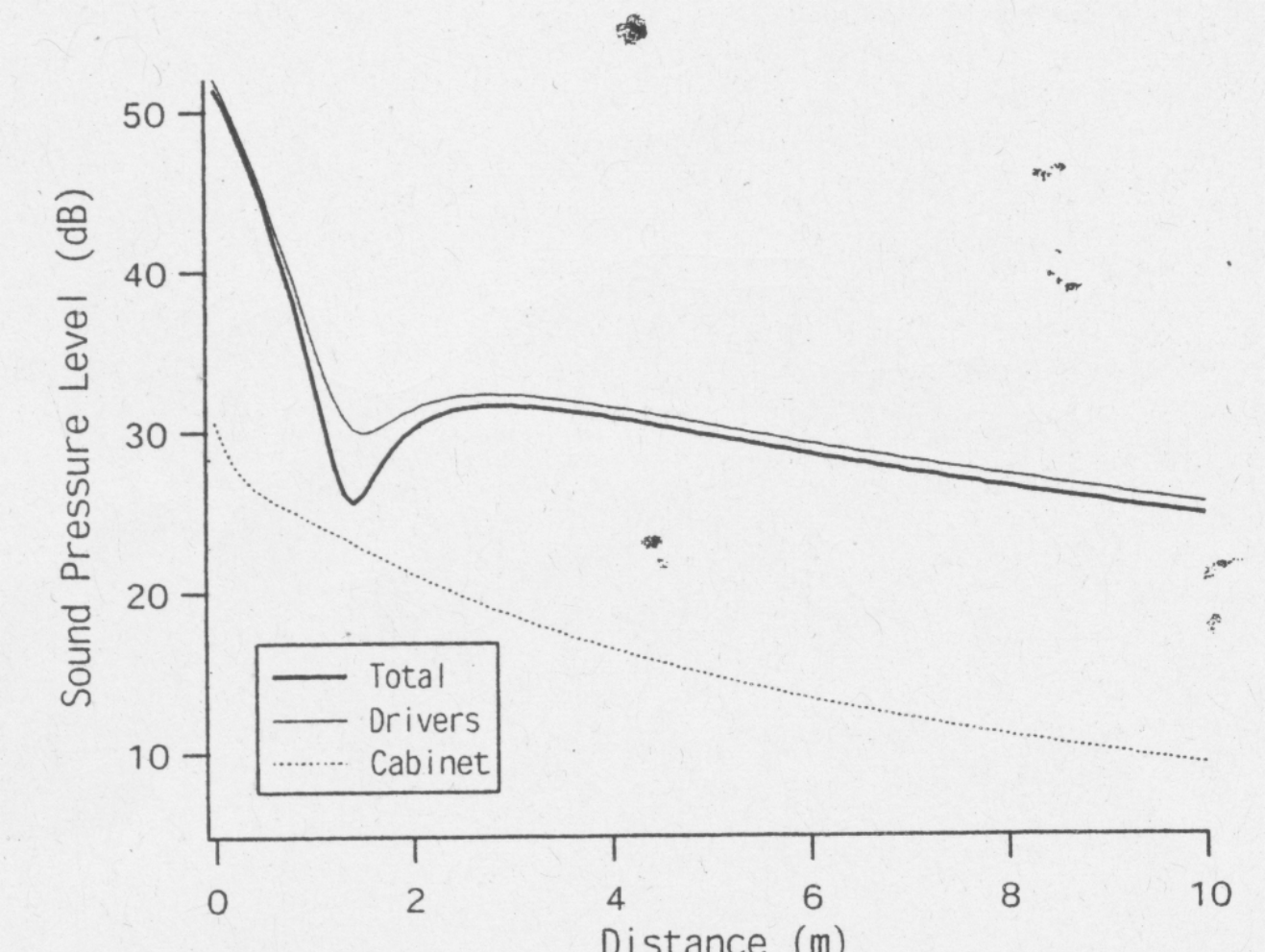
# Allgemein

- Kevin J. Bastyr & Dean E. Capone haben dieses Phänomen näher untersucht:
  - Untersuchungsgegenstand: NHT 2.9
  - Schwierigkeit: Vermischung des Schalls von Treibern & Gehäuse
  - Lösung: Messung der Beschleunigungen & Berechnung der Abstrahlung
  - Ergebnis: Schalldruck in Abhängigkeit von Frequenz & Position

# Allgemein

- Effekt 1:

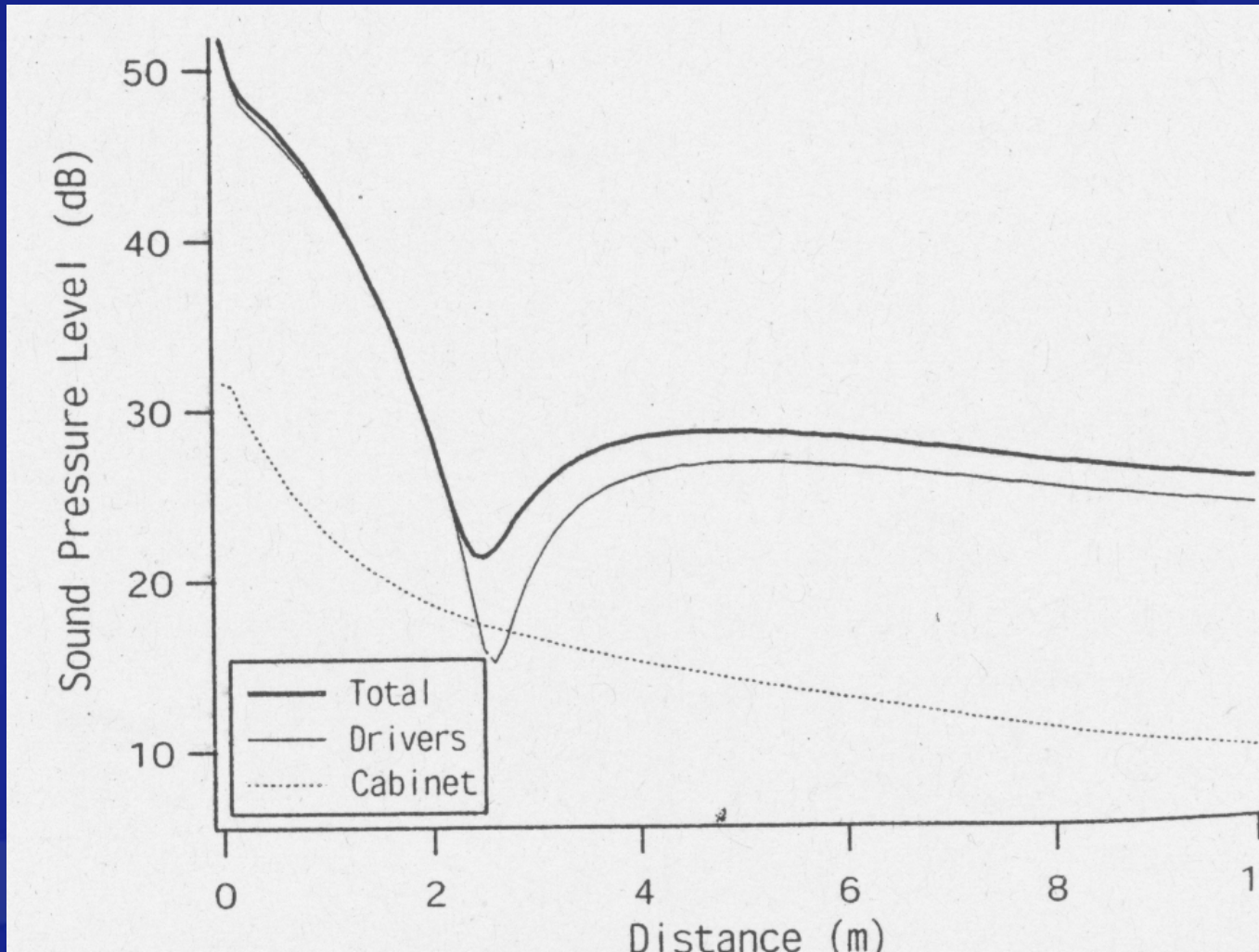
  Gegenphasige Schwingungen reduzieren Gesamtpegel



# Allgemein

- Effekt 2:

  Schalldruckpegel von Gehäuse übersteigt den der Treiber

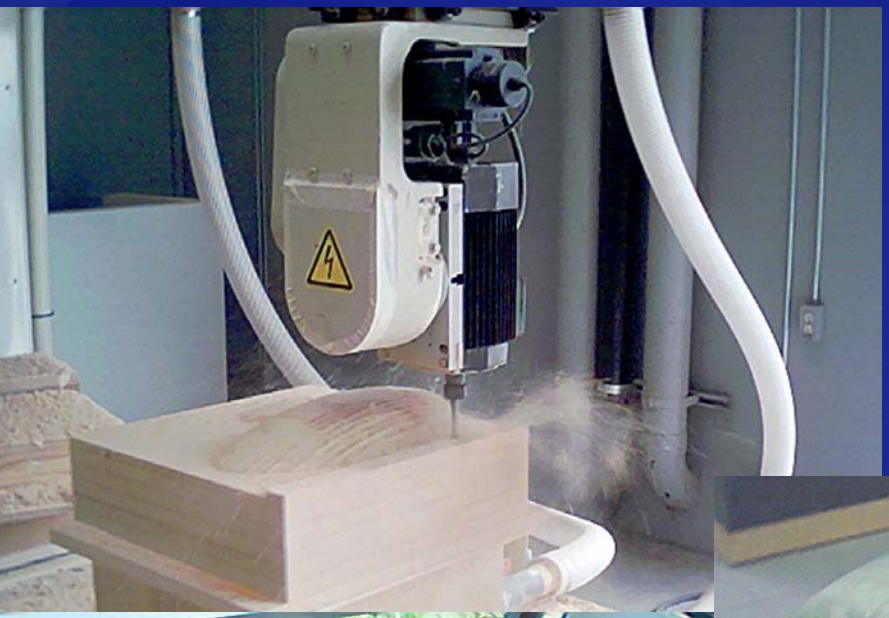


# Inhalt

- Motivation
- Allgemeine Einführung
- Entwicklung
- Simulation

# Carbon2 Entwicklung

- Design in Pro/E
- Bau eines Prototypen

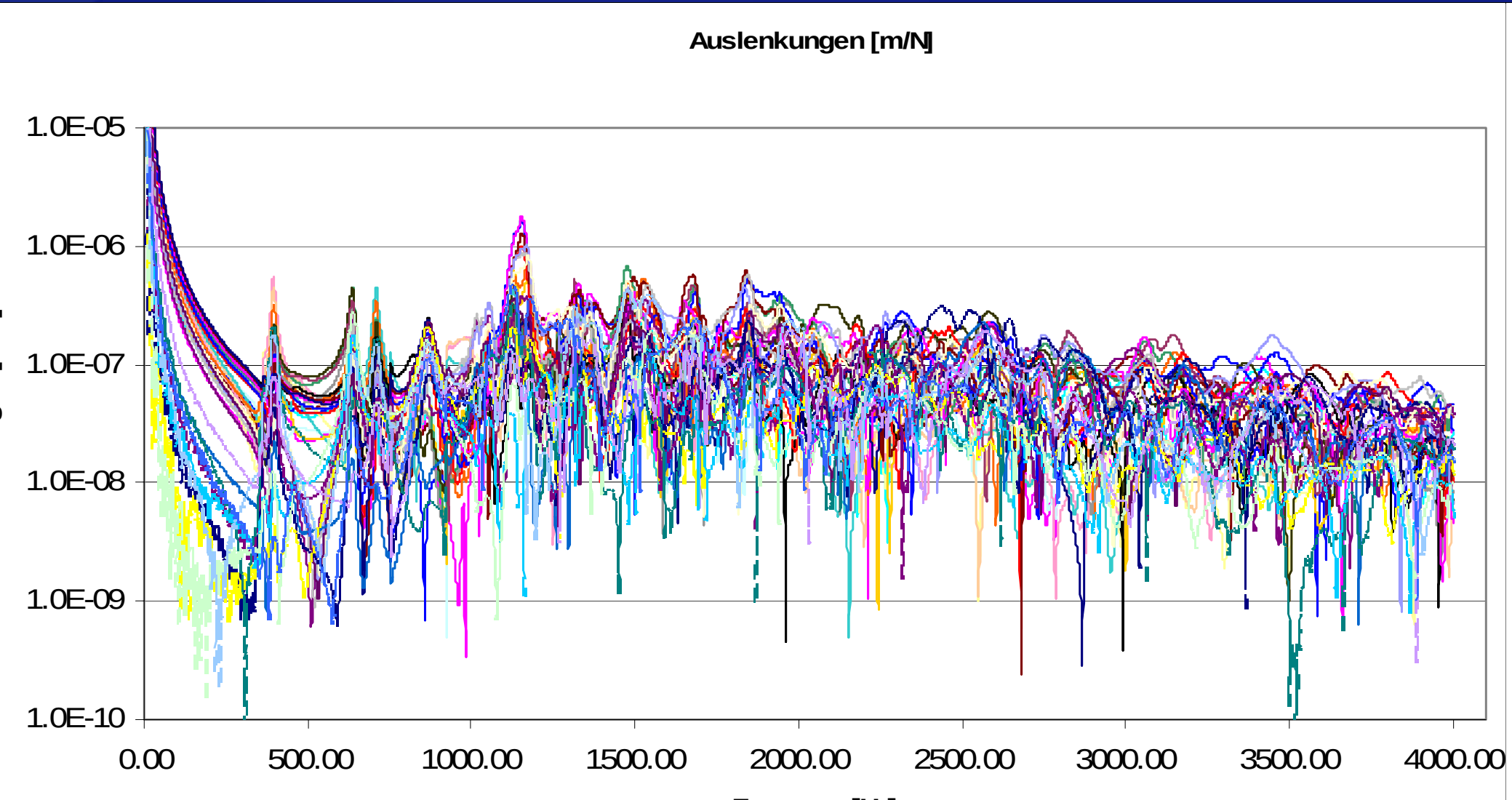


# Carbon2 Entwicklung

- Modalanalysen am Prototypen
  - Anregung mit Shaker
  - Messung der Beschleunigung an verschiedenen Punkten
  - Auswertung: Übertragungsfunktion

# Carbon2 Entwicklung

- Ergebnis

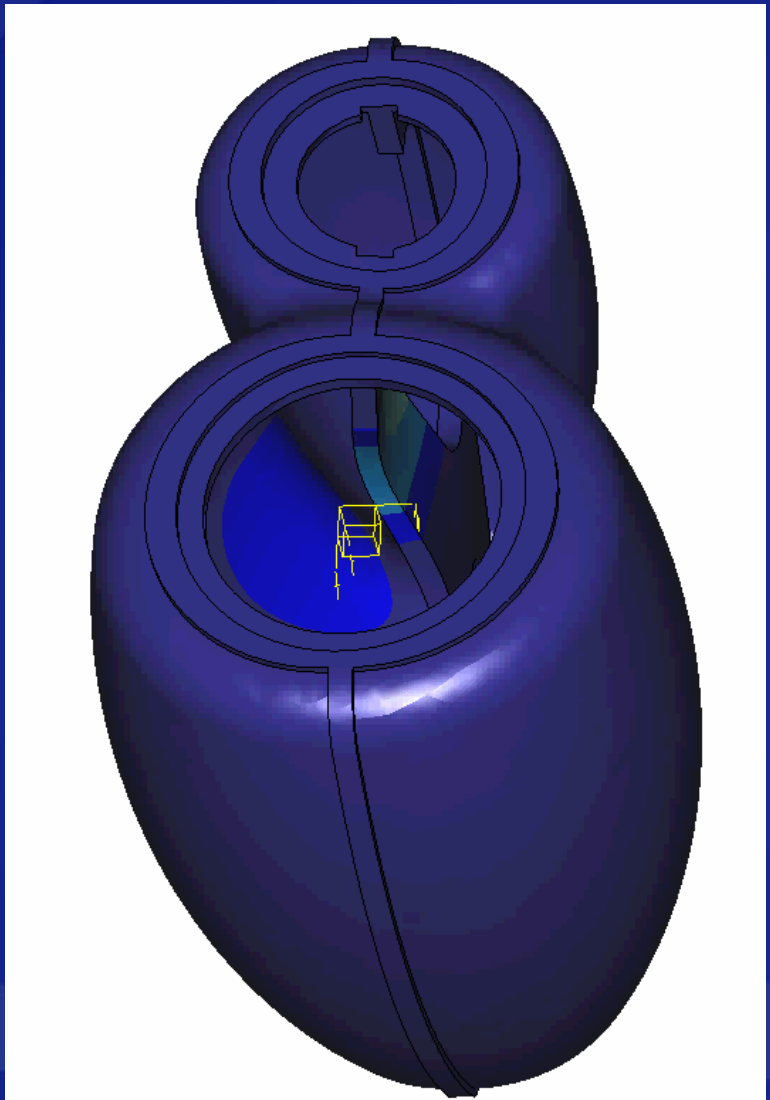


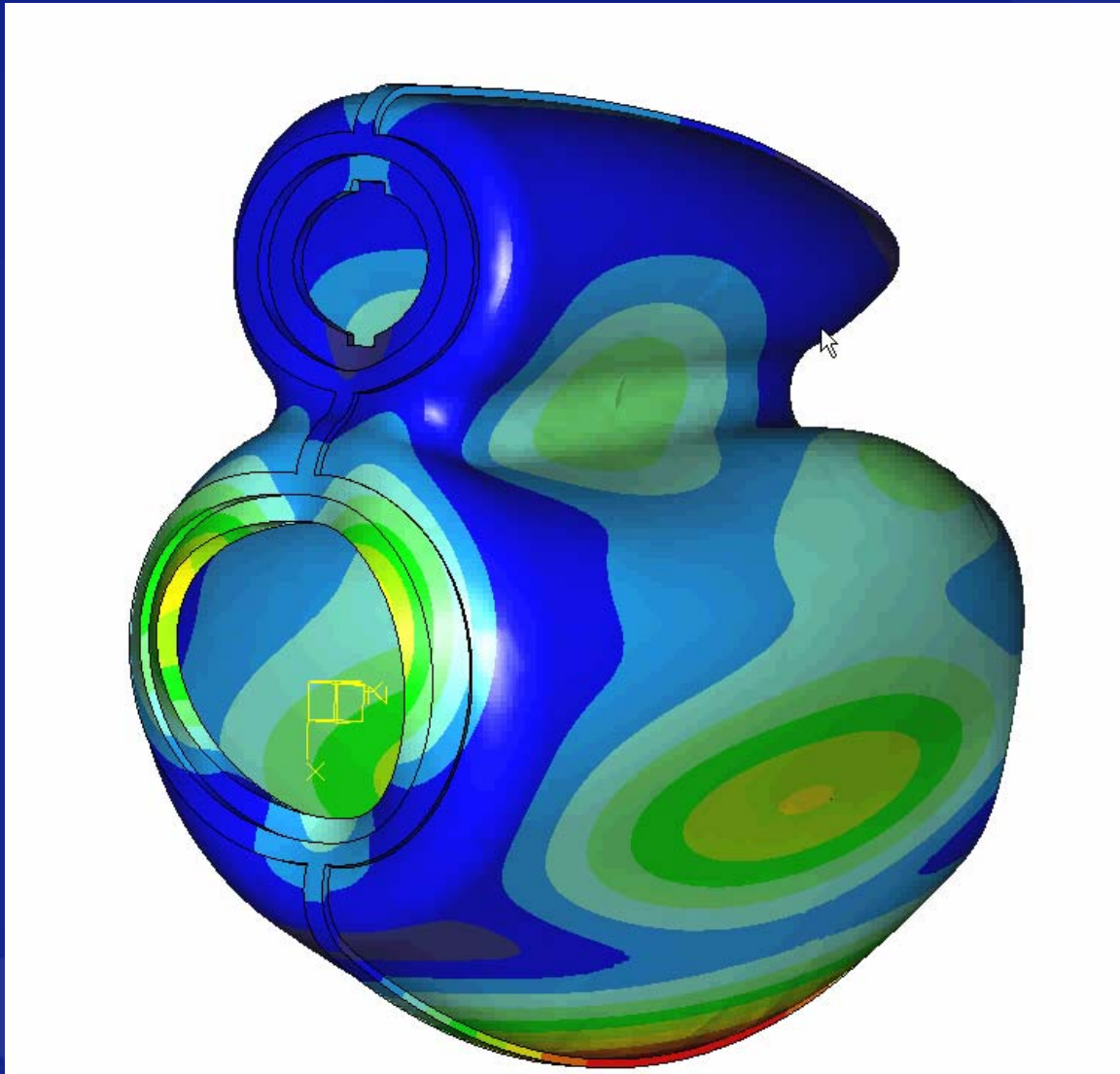
# Inhalt

- Motivation
- Allgemeine Einführung
- Entwicklung
- Simulation

# Carbon2 Simulation

- Erster Schritt: Modalanalysen



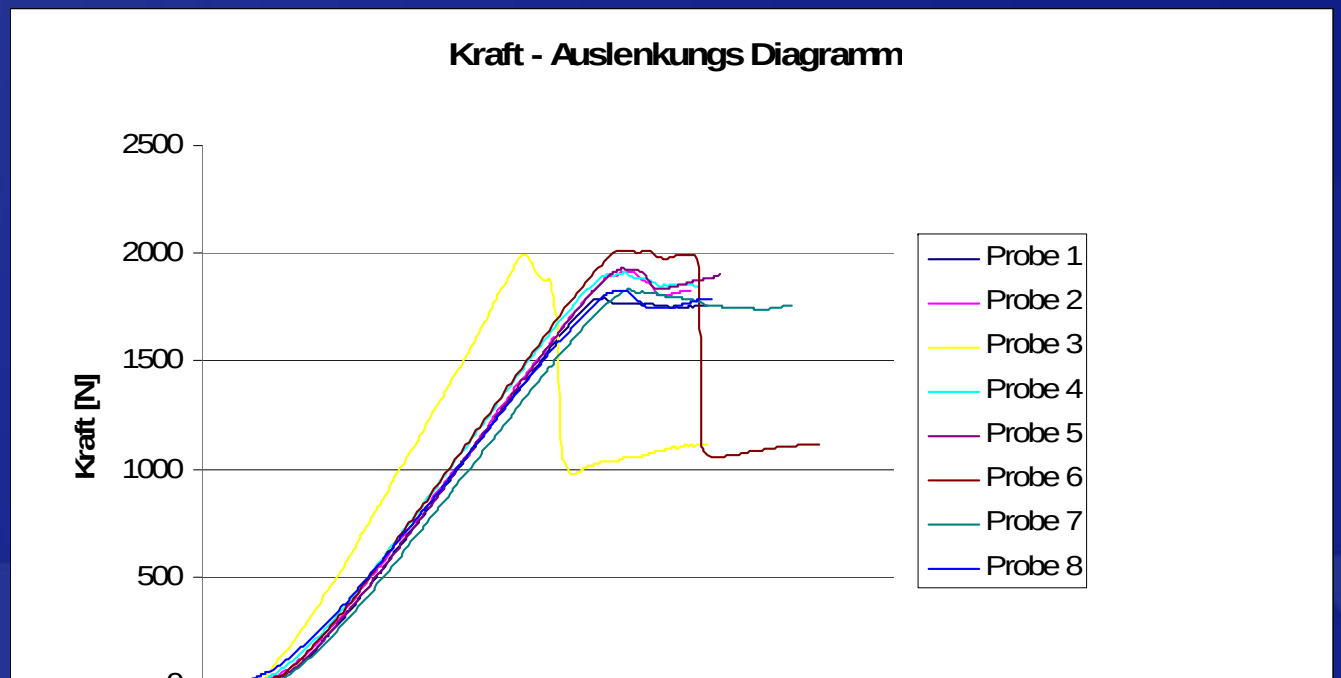


# Carbon2 Simulation

- Problem:
  Eigenfrequenzen der Simulation stimmen nicht mit Messungen überein
- Gründe:
  - Materialdaten nicht ausreichend bekannt
  - Spannungen im Prototyp
  - exakte Modellierung nicht (ohne grossen Aufwand) möglich
  - reale Aufhängung in Pro/MECHANICA nur annähernd modellierbar

# Carbon2 Simulation

- Materialdaten Faserverbund aus Messungen bekannt: 25,1 GPa
- Daten anderes Material (hier: Birke Multiplex) müssen aus Optimierungstudien näher bestimmt werden

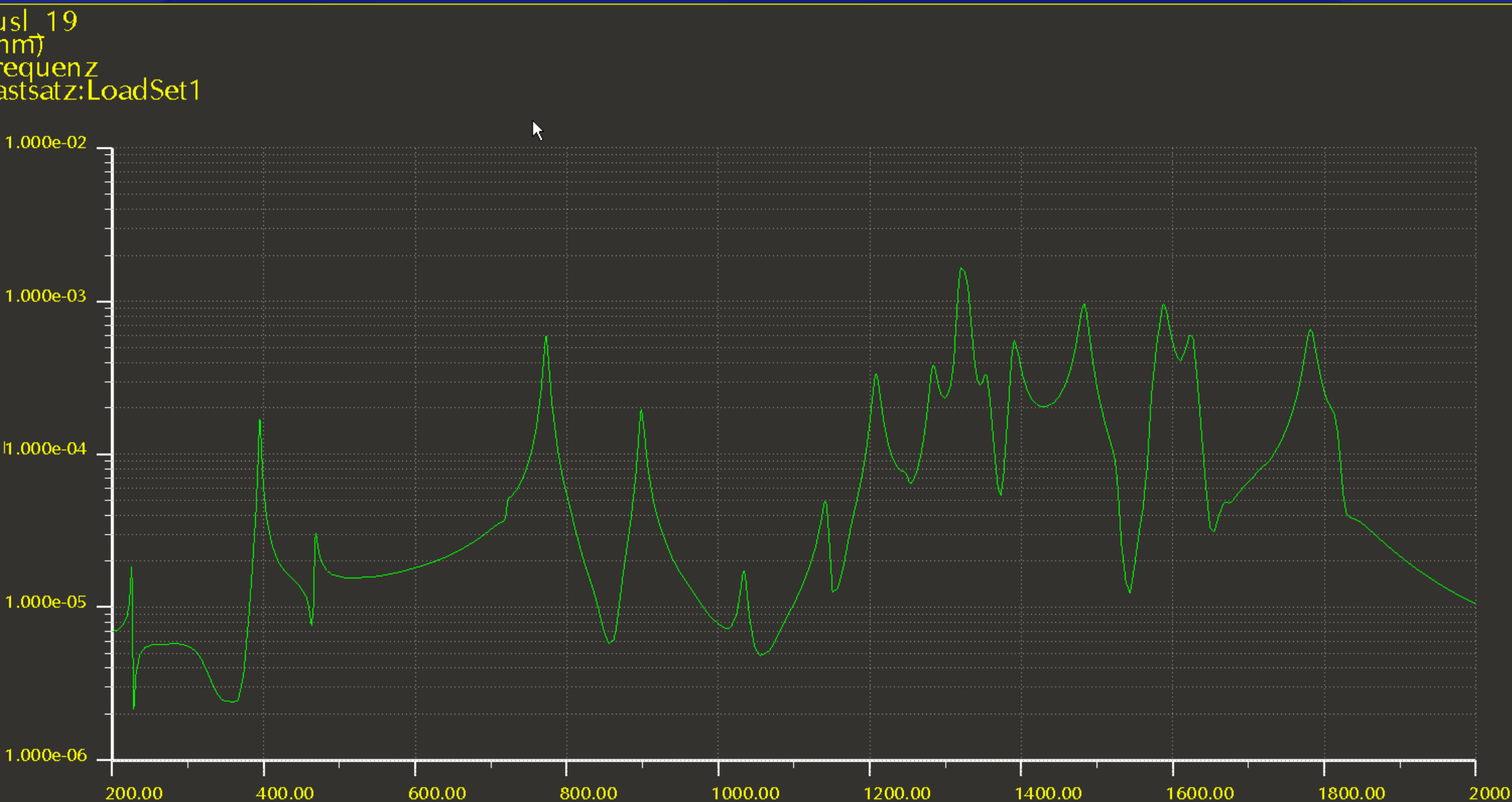


# Carbon2 Simulation

- Optimierungsstudien liefern E-Modul Birke: 4,9 GPa
- Nächster Schritt: Frequenzanalysen
- Dämpfung kann aus Messungen abgelesen werden

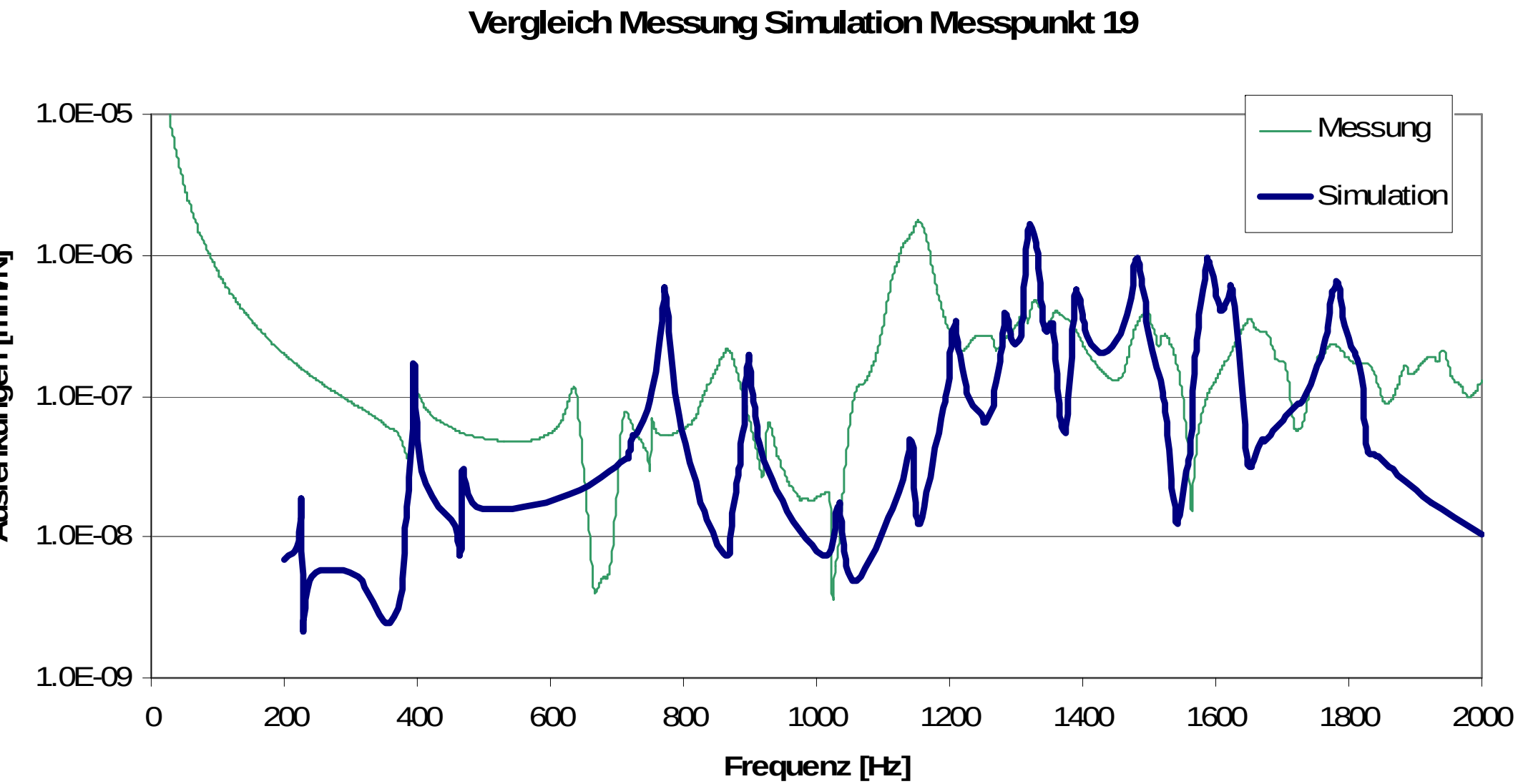
# Carbon2 Simulation

- Ergebnis Frequenzsimulation:



# Carbon2 Simulation

## Abgleich mit Messungen:



# Carbon2 Simulation

- Nachdem Rechenmodell mit Messungen abgeglichen, können Optimierungen vorgenommen werden
- Ziel war:
  - Reduktion der Vibrationen
- Maßnahmen zum Erreichen:

a) Einbringen einer Dämpfenden Schicht

b) Erhöhung der Steifigkeit

c) beides

# Carbon2 Simulation

- Maßnahme 1: Dämpfende Schicht
- Idee: gleichzeitig Dämpfen und Einbringen von Gewicht (als Gegenmasse zu Impuls des Treibers)
- Realisierung durch Compound aus:
  - 22,5% Metallpulver (Gewicht)
  - 22,5% Gummipulver (Dämpfung)
  - 55% Epoxid (Matrix)
- Materialdaten: E=5 GPa; $\rho$=3,5 g/cm³; $\mu$=0,3; Dämpfung=4%

# Carbon2 Simulation

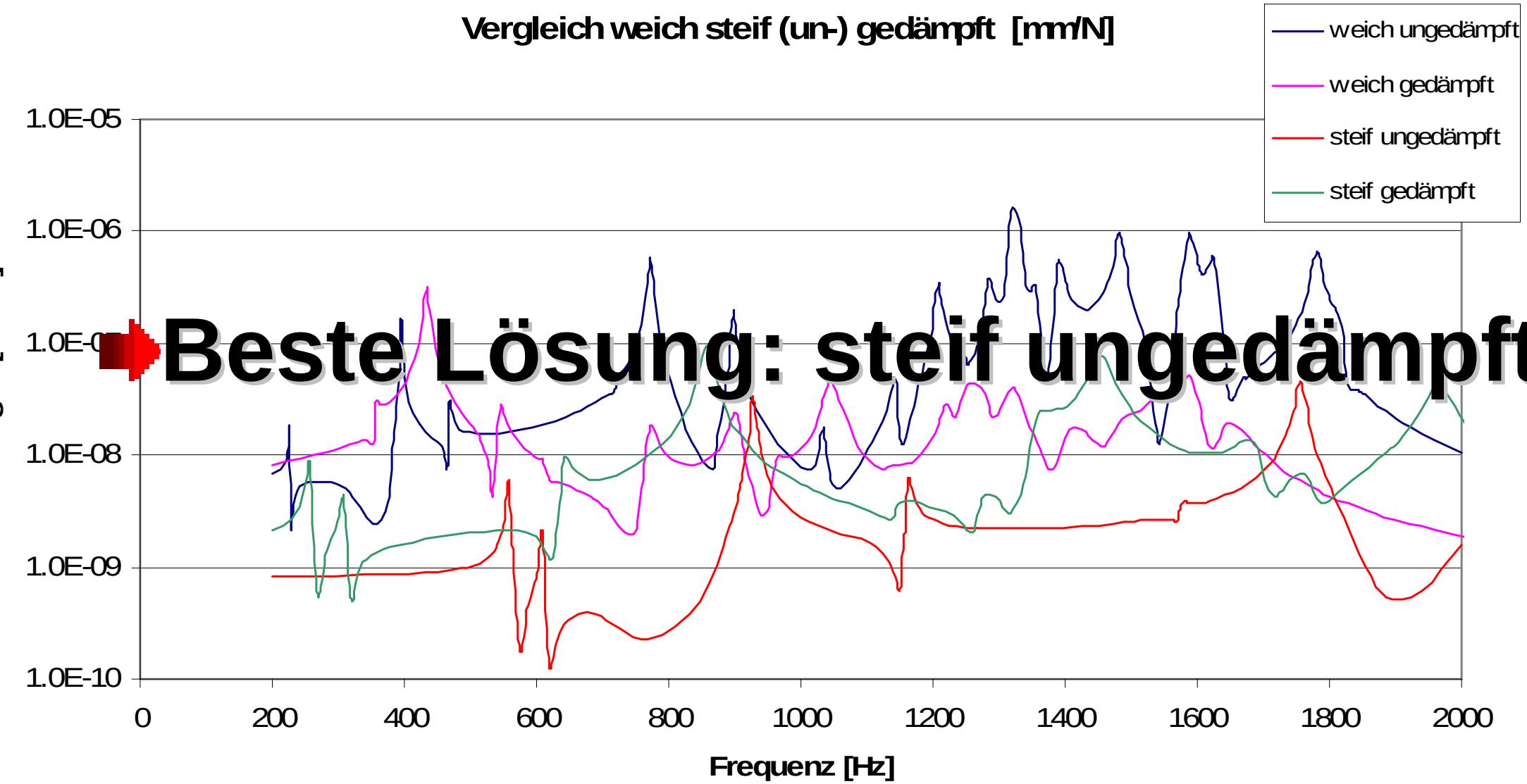
- Maßnahme 2: Erhöhung der Steifigkeit
- Idee: Reduktion der Auslenkungen
- Realisierung durch Nutzung von unidirektionalem Kohlenstoffaser – Compound in Schale & Aluminium in Versteifung
- Materialdaten: E=140 GPa; $\rho$=1,3 g/cm³; $\mu$=0,3; Dämpfung=1,3%

# Carbon2 Simulation

- Maßnahme 3: Erhöhung der Steifigkeit, Einbringung von Dämpfungsschicht
- Idee: Profitieren von beiden Verbesserungsmethoden
- Realisierung durch Nutzung von unidirektionalem Kohlenstoffaser – Compound in Schale & Aluminium in Versteifung, sowie Gummi-Metall-Dämpfungscompound

# Carbon2 Simulation

- Vergleich der drei Maßnahmen:



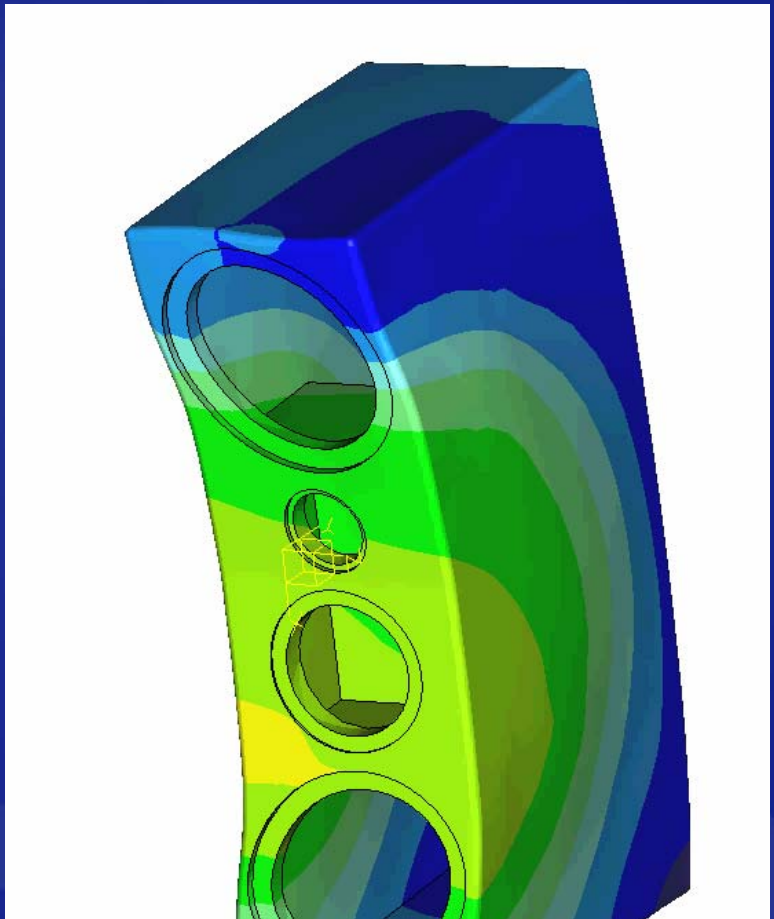

**Beste Lösung: steif ungedämpft**

# Carbon2 Simulation

Aber wieviel besser ist diese Lösung als ein Lautsprecher konventioneller Bauweise?

# Carbon2 Simulation

- Zum Vergleich wurde zusätzlich eine konventionelle Box untersucht:

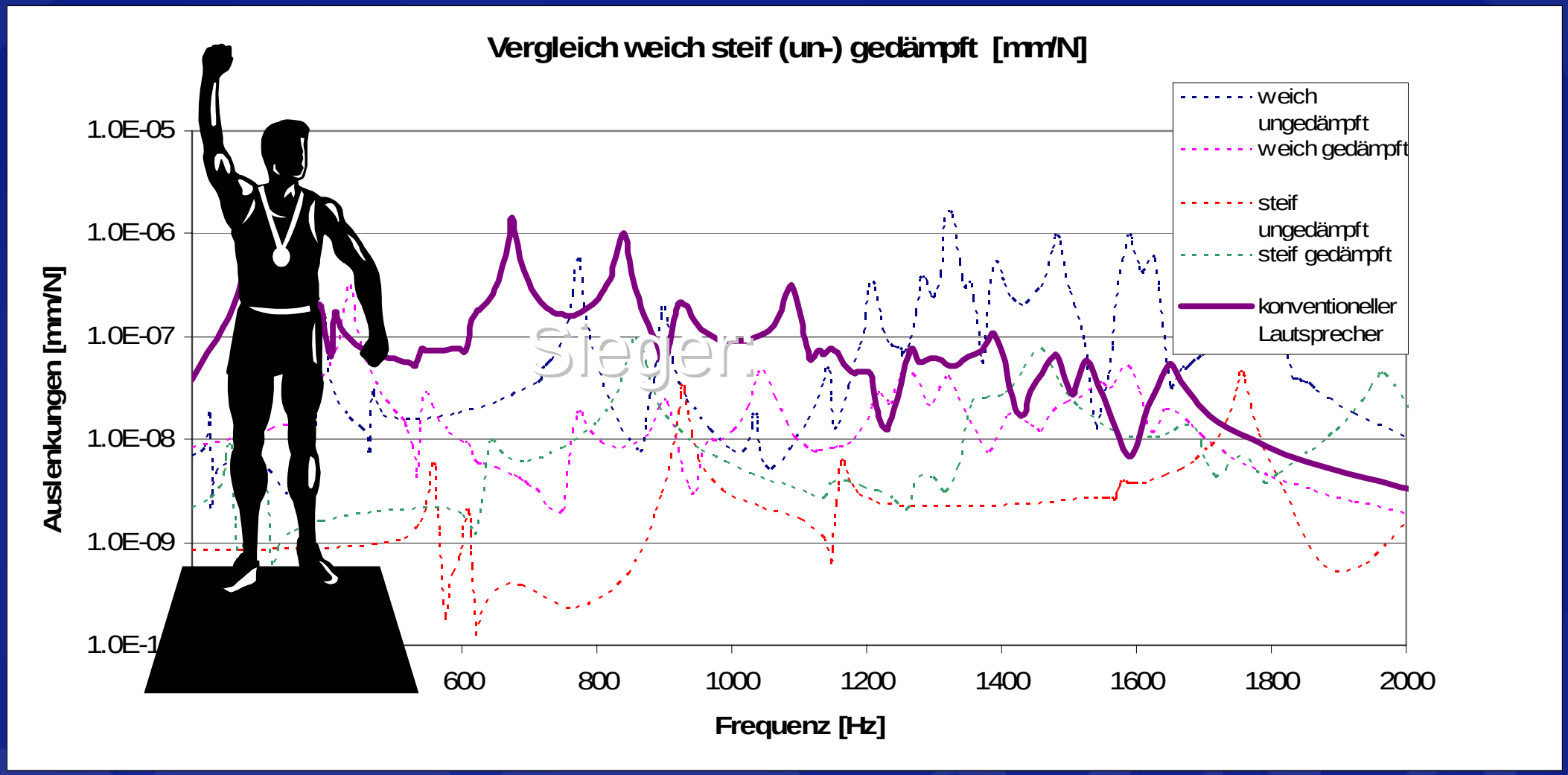


# Carbon2 Simulation

- Hier ergab die Frequenzanalyse folgendes Ergebnis:

# Carbon2 Simulation

- Vergleich konventionelle Box mit steifer Carbon2 Box:




- Ergebnis: Durchschnittliche Auslenkungen

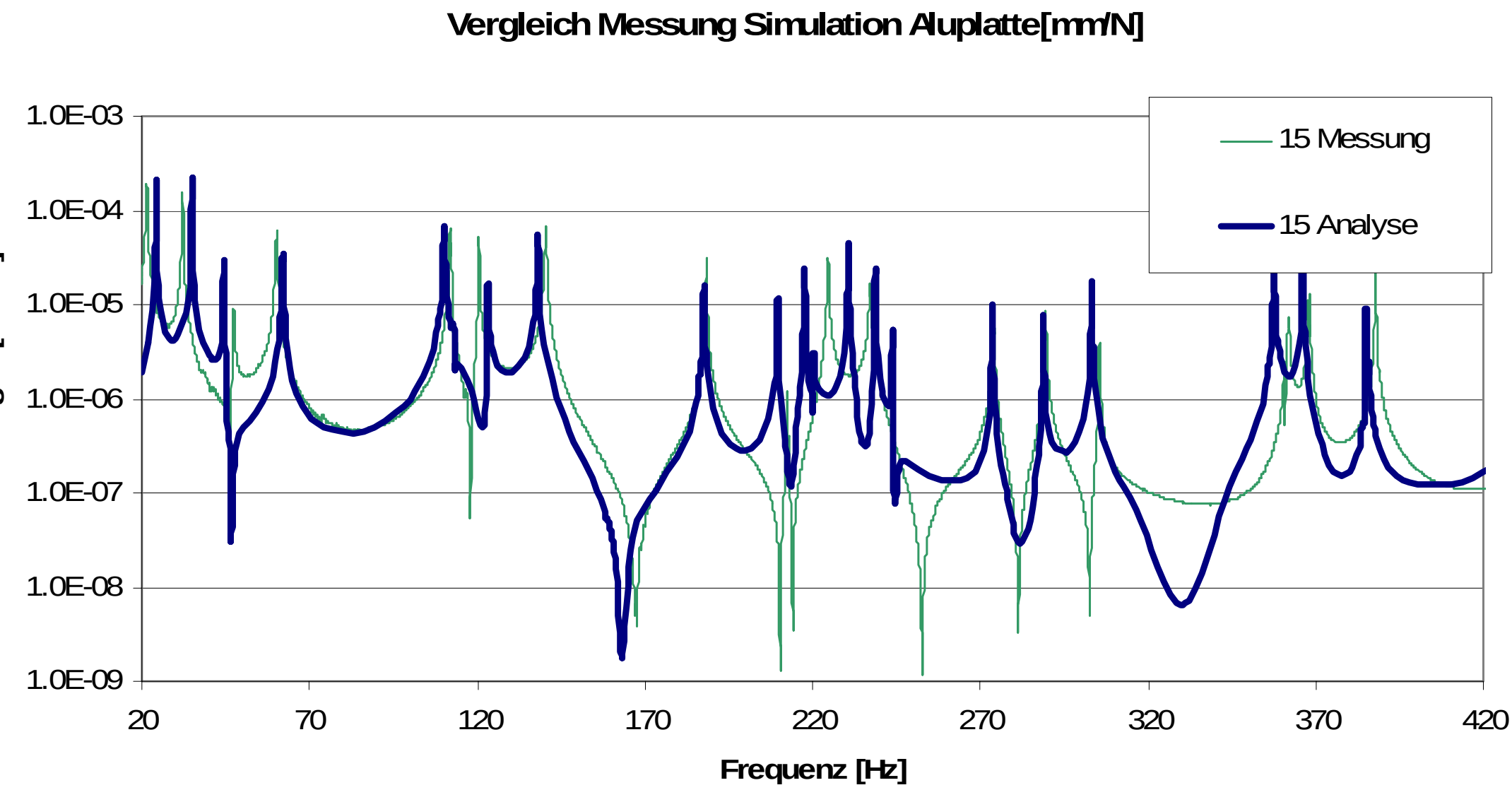
PTC user

WORLD EVENT 2005

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !**

# Benchmark Aluplatte

# Benchmark Aluplatte

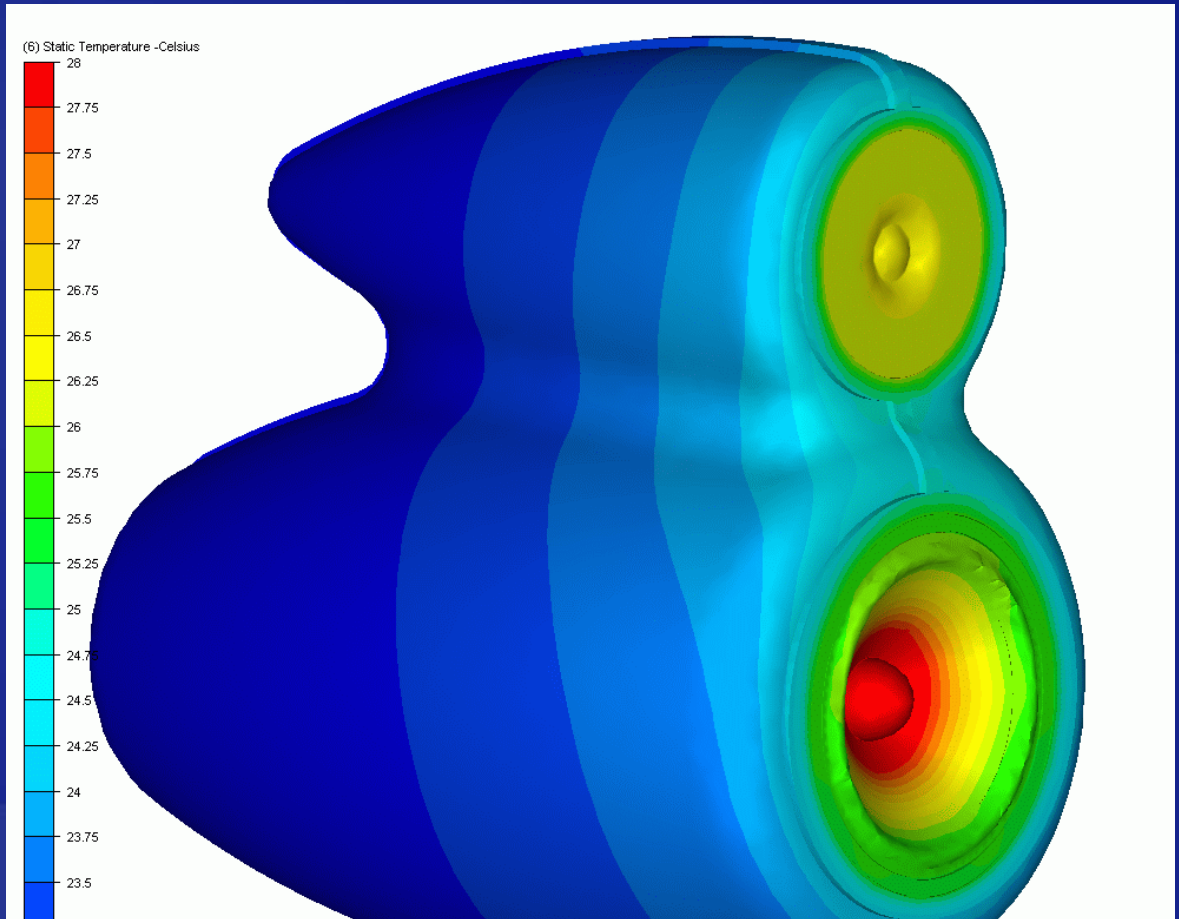


# Carbon2 Simulation

Welche Möglichkeiten bietet CFD für die Optimierung eines Lautsprechers?

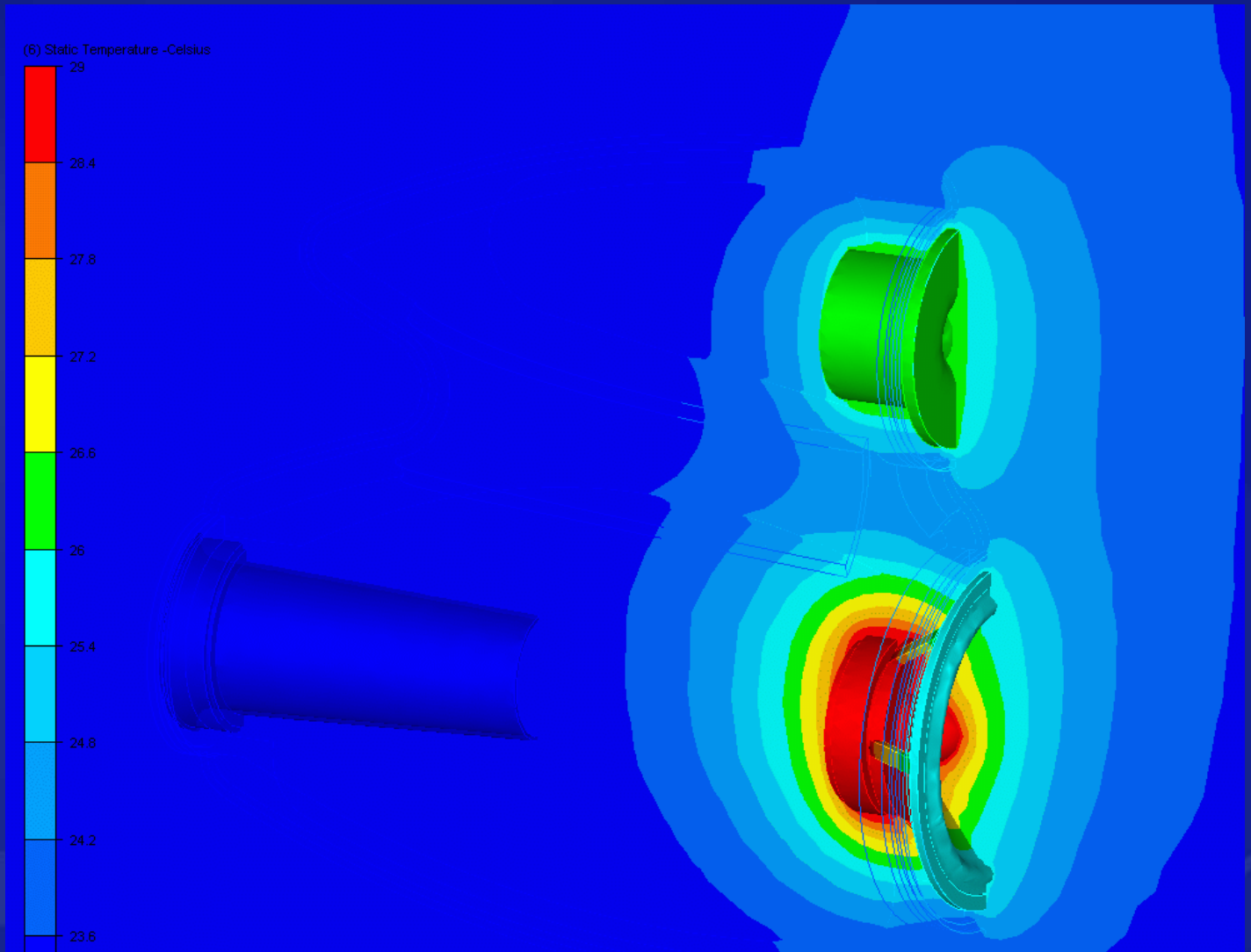
# Carbon2 Simulation

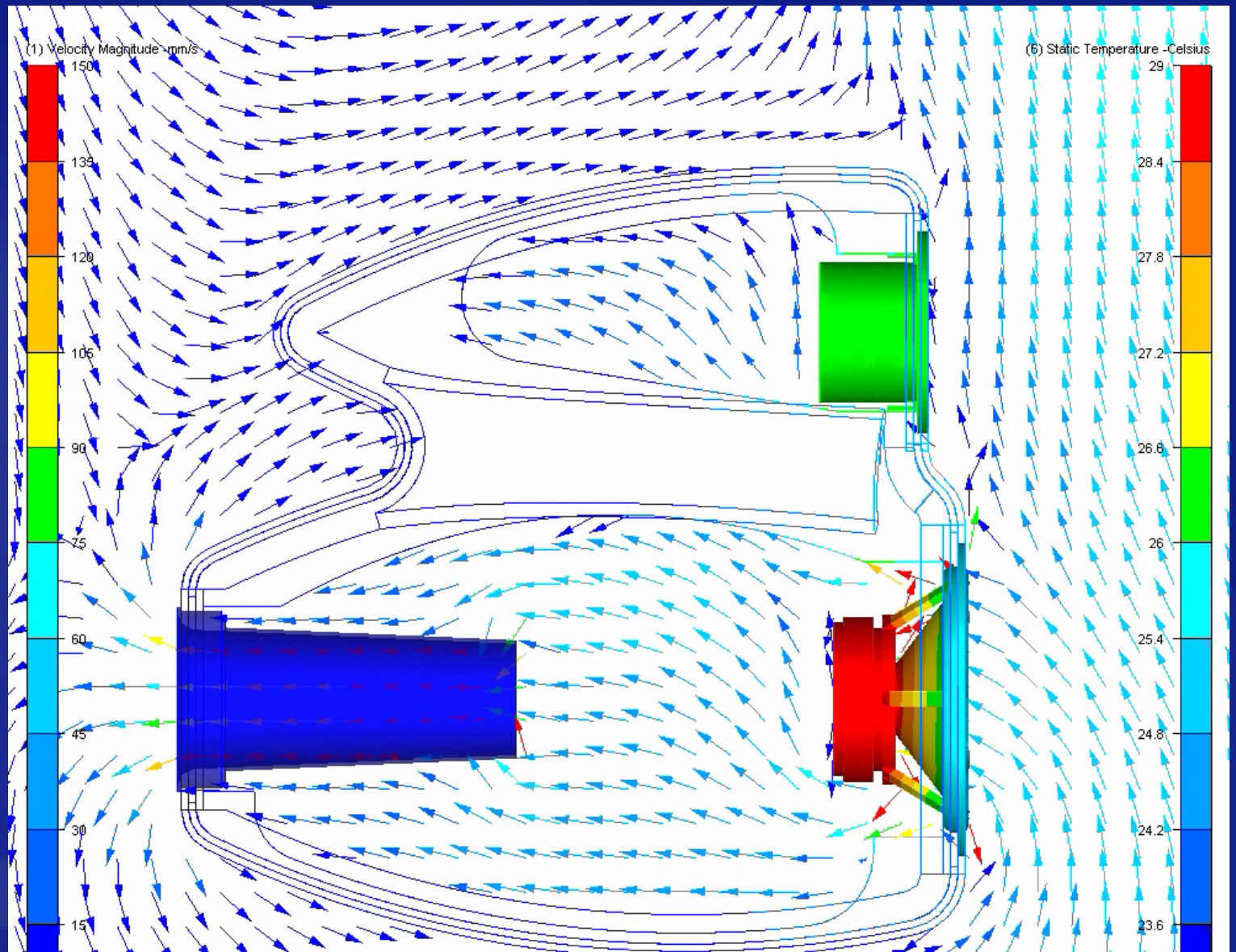
- Temperaturermittlung und Bassreflexoptimierung durch eine CFD-Analyse (Cfdesign)



# Carbon2 Simulation

- Temperaturverteilung im Inneren des Gehäuses



# Carbon2 Simulation

- Strömung im Inneren