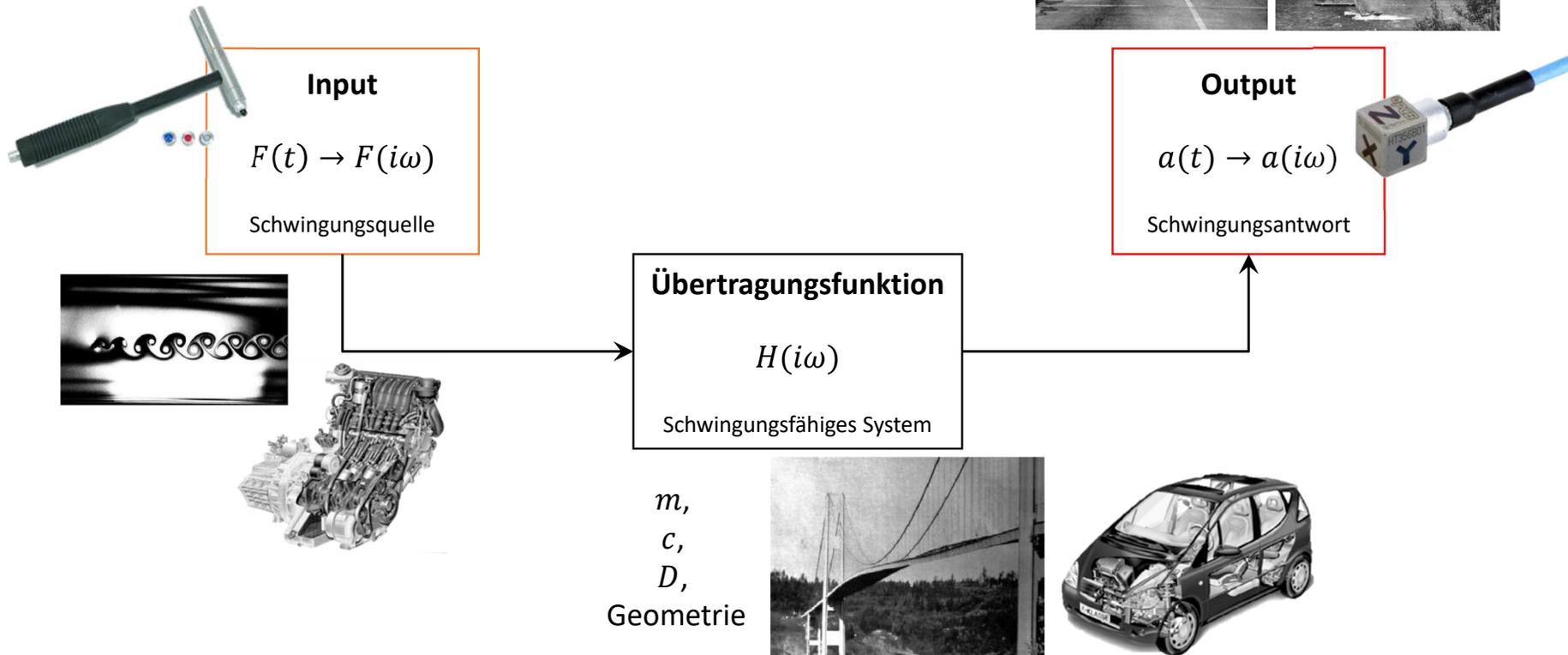


# Visualisierung von Schwingformen

Ausblick Modalanalyse

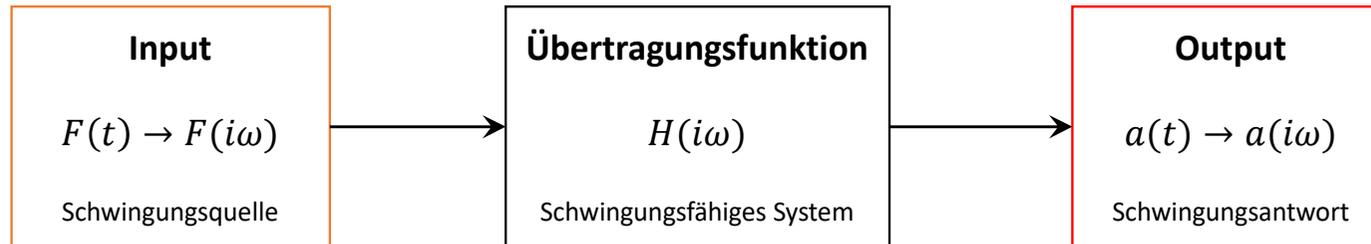
Beschreibung eines schwingungsfähigen Systems:



# Visualisierung von Schwingformen

Ausblick Modalanalyse

Beschreibung eines schwingungsfähigen Systems:



$$H_{11}(i\omega) = \frac{a_1(i\omega)}{F_1(i\omega)}$$

$$\begin{pmatrix} F_1(i\omega) \\ \vdots \\ F_n(i\omega) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} H_{11}(i\omega) & \cdots & H_{1n}(i\omega) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{n1}(i\omega) & \cdots & H_{nn}(i\omega) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1(i\omega) \\ \vdots \\ a_n(i\omega) \end{pmatrix}$$

# Visualisierung von Schwingformen

Ausblick Modalanalyse

Gängige Methoden:

- Experimentelle Modalanalyse:
  - Messung an der fertigen Struktur
    - z.B. für Bauwerke erst nach Fertigstellung möglich
  - je nach Struktur aufwändige Durchführung
- Numerische Modalanalyse (FEM):
  - Berechnung anhand des CAD-Modells der Struktur
  - entwicklungsbegleitende Analysen möglich
  - grobe Abschätzung der Eingabeparameter (Einspannungen und Dämpfung)
    - führt unter Umständen zu wenig verlässlichen Ergebnissen

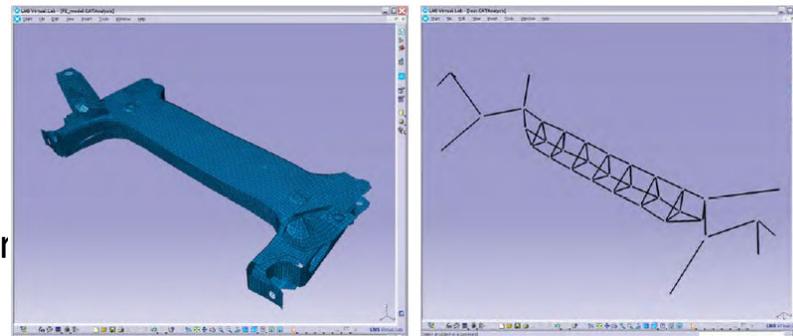


Quelle: Siemens Industry Software GmbH

# Visualisierung von Schwingformen

Ausblick Modalanalyse  
Gängiger Ansatz:

1. Numerische Modalanalyse mittels FEM
  - Festlegung der Messpunkte und Anregungspunkte für Experimentelle Modalanalyse
2. Experimentelle Modalanalyse
  - Ermittlung der Eingabeparameter für Numerische Modalanalyse mittels FEM
3. Model Updating
  - iterative Verbesserung des Berechnungsmodells
  - Ziel: Bessere Ausgangsmodelle für zukünftige Berechnungen



Quelle: Seminarunterlagen „Strukturdynamik und Lebensdauer“; LMS International

# Visualisierung von Schwingformen

Ausblick Modalanalyse

Vorgehensweise und Zielsetzung:

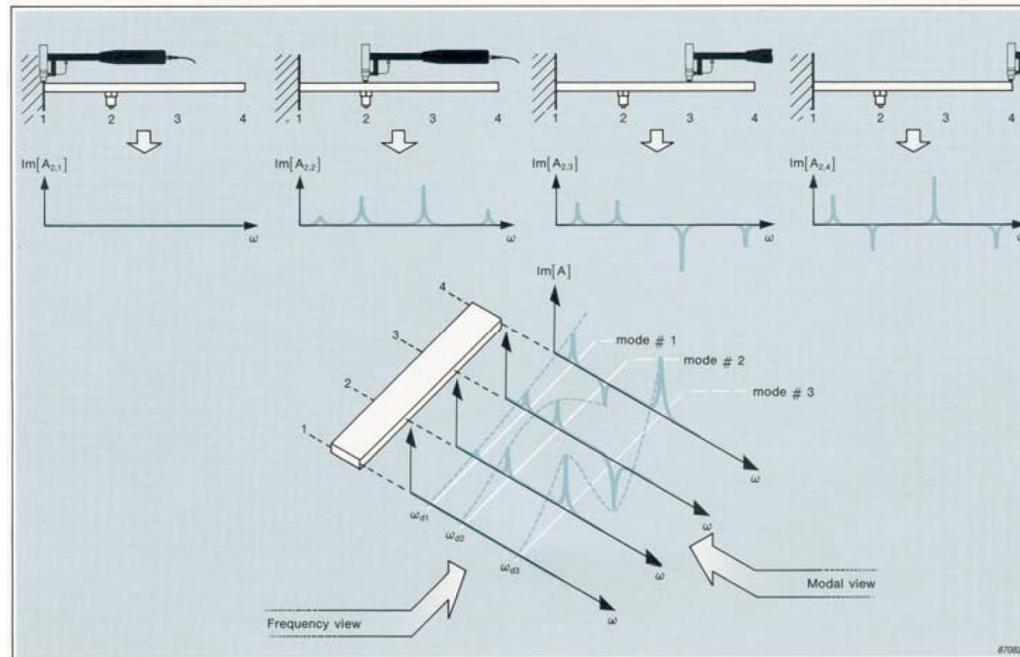
- Vorgehensweise zur Bestimmung der Systemeigenschaften:
  - Anregung der Struktur:
    - Messung der anregenden Kraft  $F(t) \rightarrow F(i\omega)$
    - Messung der Antwortbeschleunigungen an der Struktur  $a(t) \rightarrow a(i\omega)$
  - Bestimmung der Übertragungsfunktionen  $H(i\omega)$  für jeden der  $n$  Strukturfreiheitsgrade
  - Erzeugen eines Modalen Ersatzsystems:
    - Annäherung der gemessenen Übertragungsfunktionen durch mathematische Funktionen ("Curve Fitting")
    - Erzeugung einer Übertragungsmatrix ( $n \times n$ )

# Visualisierung von Schwingformen

Ausblick Modalanalyse

Vorgehensweise und Zielsetzung:

- Vorgehensweise zur Bestimmung der Systemeigenschaften:



Quelle: „Structural Testing – Part2 – Modal Analysis and Simulation“; Brüel & Kjaer

# Visualisierung von Schwingformen

## Ausblick Modalanalyse

Ergebnisse der Modalanalyse und deren Verwendung:

- Modale Frequenzen (Eigenfrequenzen):
  - Identifikation von Resonanzen, Vergleich mit Betriebsdrehzahlen
- Modale Dämpfung (Dämpfungsgrade):
  - Eingabeparameter für FEM-Simulationsmodell
- Modale Vektoren / Mode Shapes (Eigenvektoren / Eigenformen):
  - gezielte Abhilfemaßnahmen an Stellen starker Verformung
- Modales Ersatzmodell:
  - Simulative Überprüfung der Wirksamkeit von Abhilfemaßnahmen
    - erzwungene Anregung variieren
    - Strukturmodifikationen testen
      - Änderung der Übertragungsmatrix

# Visualisierung von Schwingformen

Ausblick Modalanalyse

Strukturmodifikation:

- Voraussetzung für Strukturmodifikationen:
  - Eigenformen dürfen sich nicht verändern, da sonst das Modale Ersatzsystem verändert wird
  - Masse: Hinzufügen / Wegnehmen einer Masse an einem Freiheitsgrad
    - Bohrungen u. Taschen zur Gewichtsreduktion;  
Zusatzmassen
  - Versteifung: Steifigkeiten zwischen Freiheitsgraden
    - Rippen, Sicken, steifere Querschnitte
  - Dämpfer: Dämpfungen zwischen Freiheitsgraden
    - Dämpfungsmatten, viskose Dämpfer