



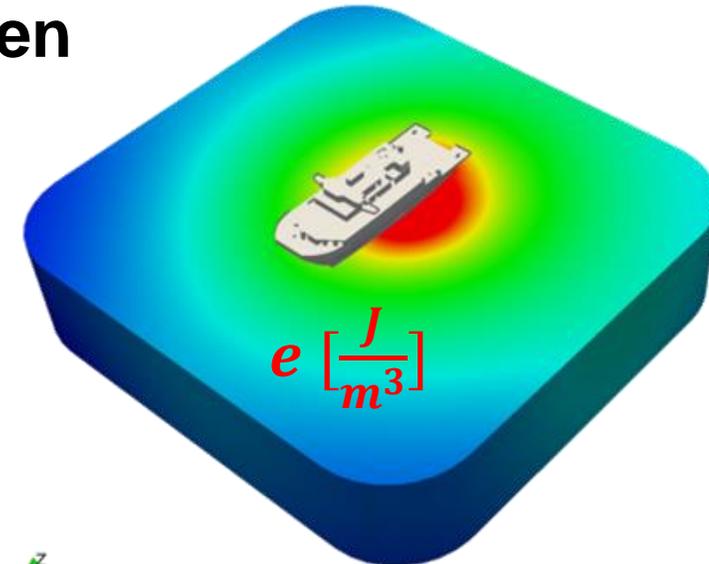
Anwendung der **energiebasierten Finite-Elemente-Methode**
im Bereich der **Fahrzeugakustik**
zur **Prognose akustischer Größen**

Leichtbau und NVH-Optimierung im Fahrzeugbau 23. Oktober 2019

- Simulation **hoher Frequenzbereich / große Strukturen**

- Klassische Methoden (FEM, BEM) limitiert
- Große **Rechenzeit** / Großer **Speicherbedarf**

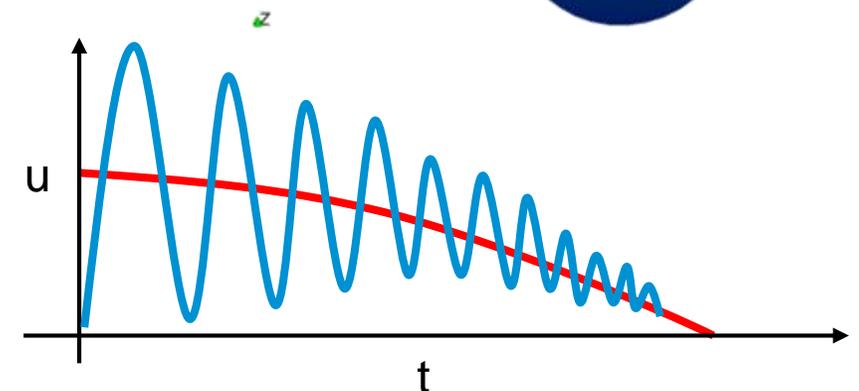
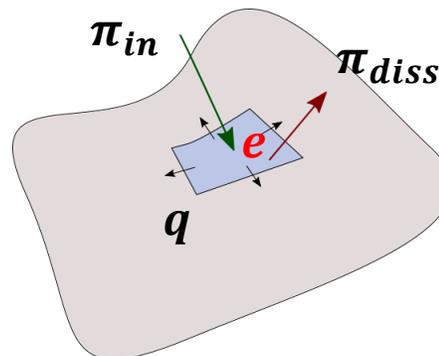
$$\frac{\lambda}{L} \ll 1$$



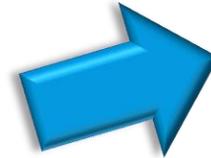
- energiebasierte Finite-Elemente-Methode (**EFEM**)

- **Energiedichte** statt **Verschiebungen**
- Grobe Diskretisierung
- Reduzierte Anzahl an Freiheitsgraden

$$\pi_{in} = \nabla \cdot \vec{q} + \pi_{diss}$$



FEM-Modell



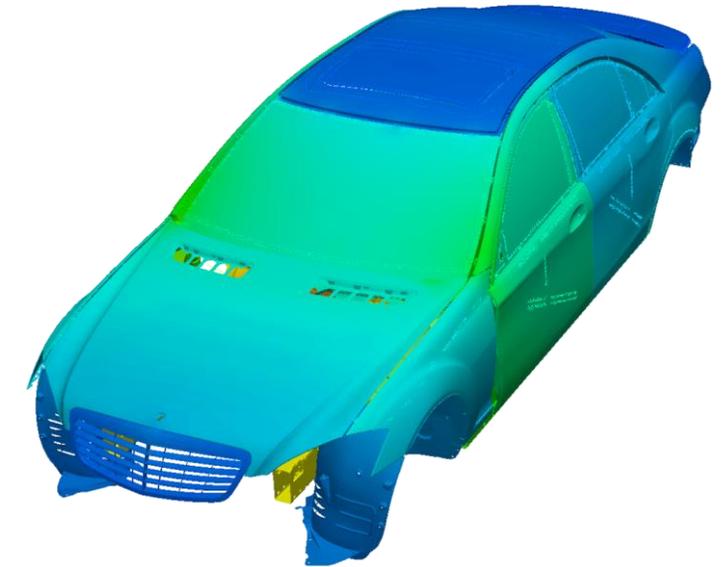
Netzaufbereiter

- Erkennt Plattenstöße
- Fügt Koppellemente ein
- Hinterlegt Eigenschaften



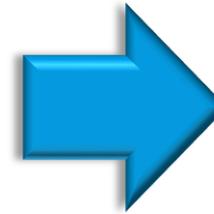
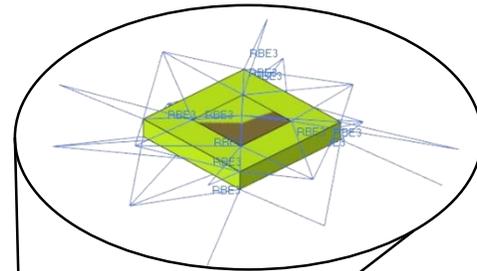
EFEM-Programm

- Berechnung physikalischer, geometrischer Größen
- gekoppeltes Gleichungssystem
- Lösung



EFEM Ergebnis
Energiedichteverteilung

Schweißpunkte



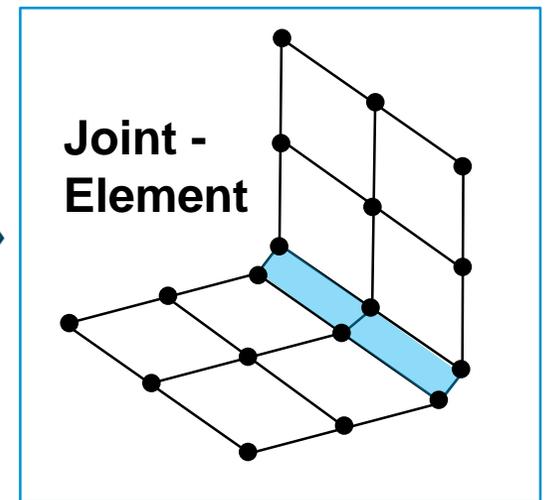
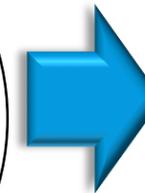
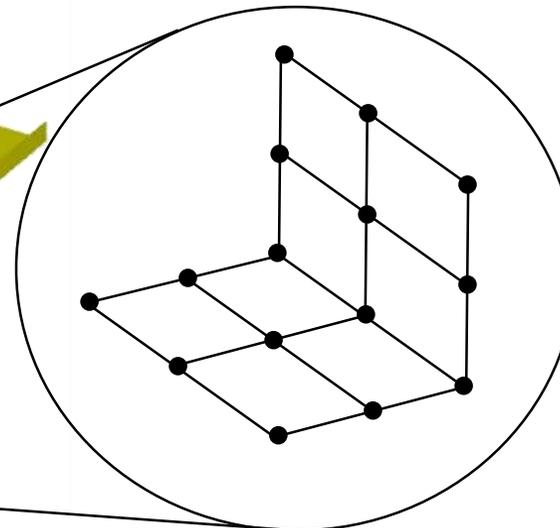
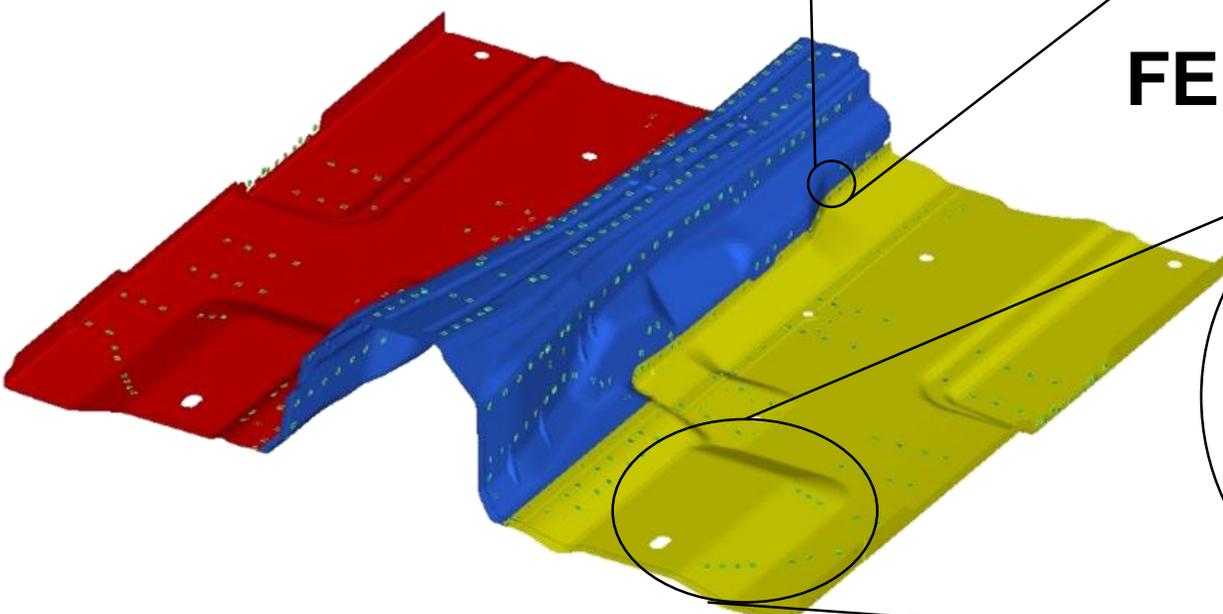
Beam Element

- Ersetzt den Schweißpunkt
- Dämpfungseigenschaften



FEM

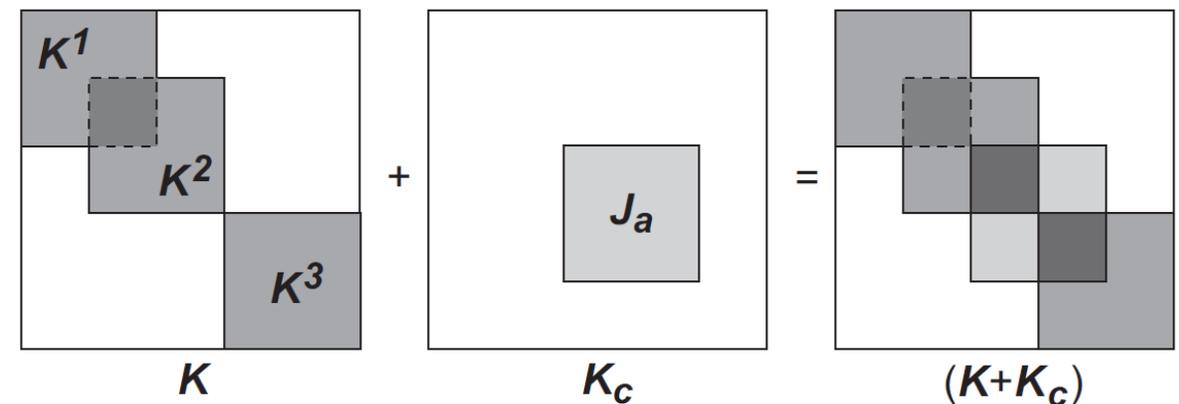
EFEM



Stoßstellen

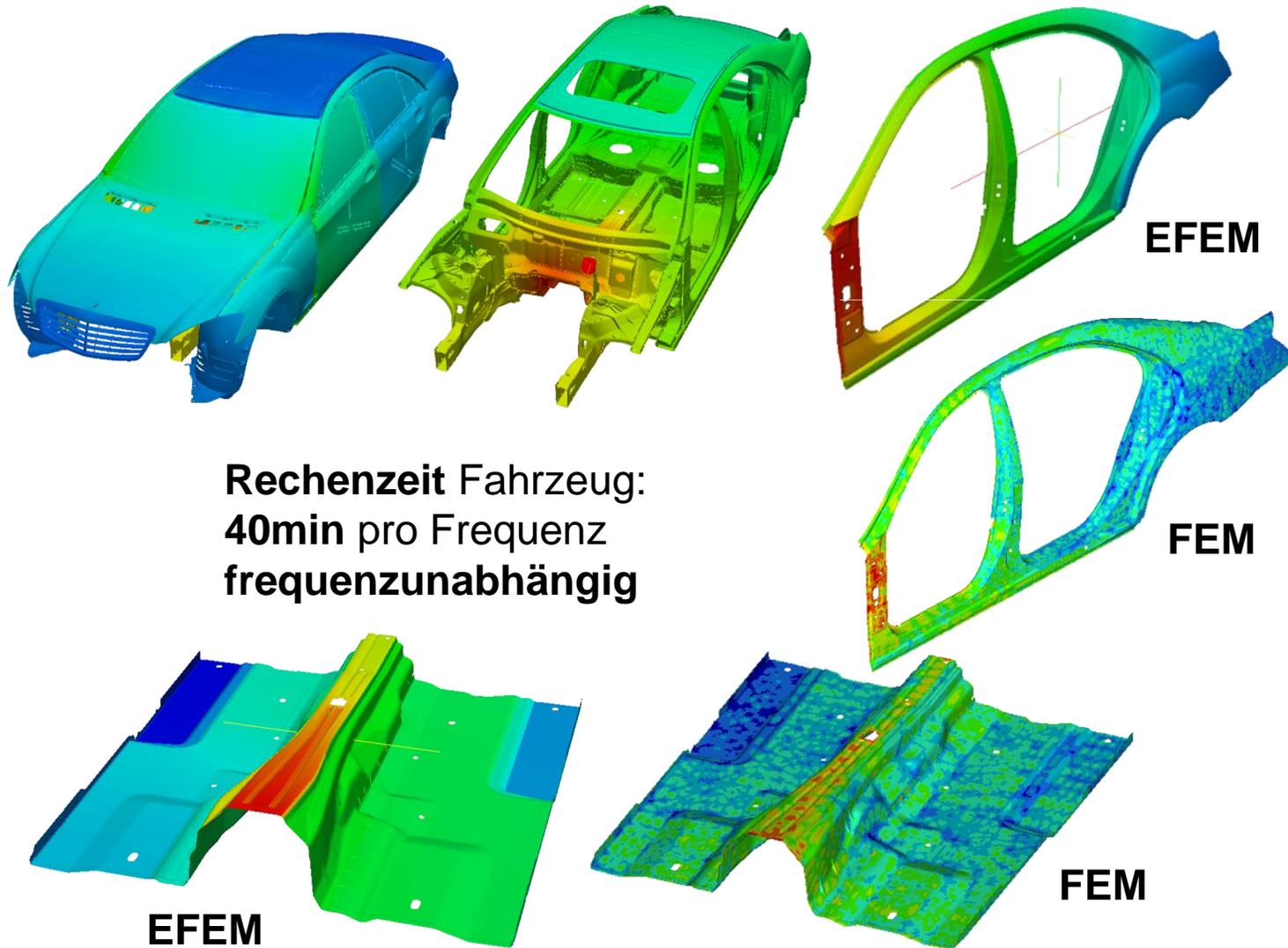
1. Berechnung **physikalischer Eigenschaften**
 - Gruppengeschwindigkeiten (Energieausbreitung)
 - Transmissionskoeffizienten (Energietransfer)
2. Assemblierung **ungekoppelte Systemmatrix**
3. Assemblierung **Kopplungsmatrix**
4. **Lösung** mit **SparseLU**

$$(K + K_c)e = Q + F$$



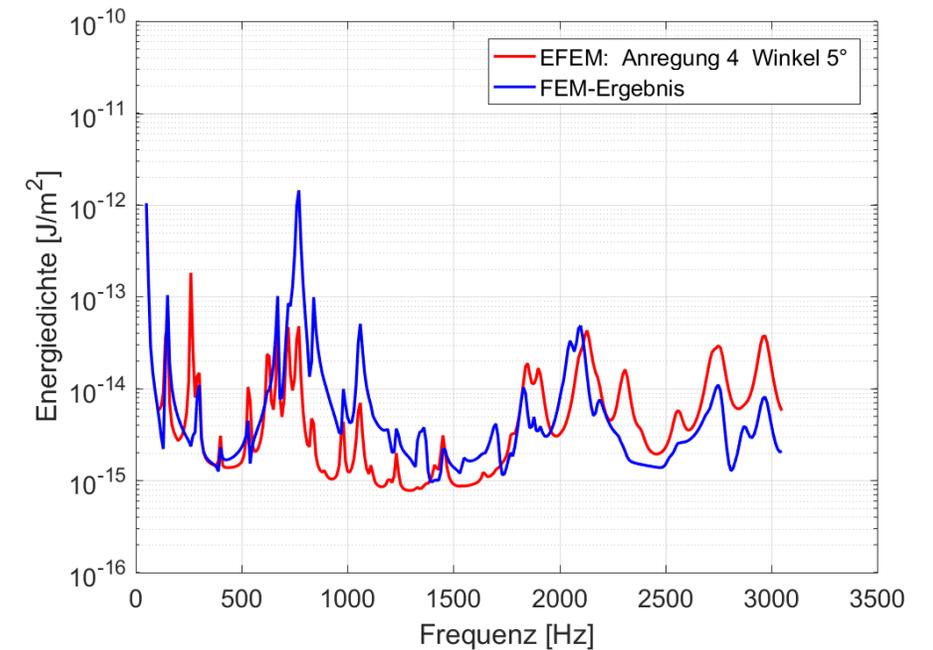
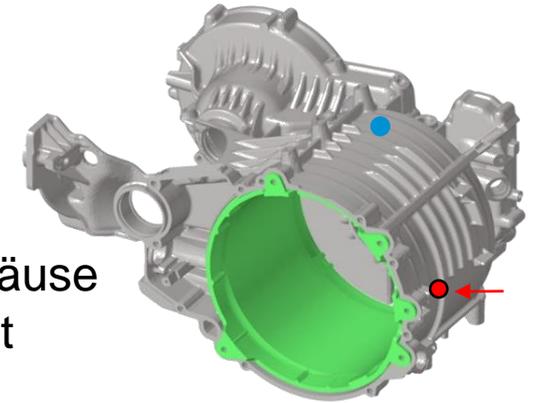
Verifikationsbeispiele

EFEM - Fahrzeug und Komponenten



Rechenzeit Fahrzeug:
40min pro Frequenz
frequenzunabhängig

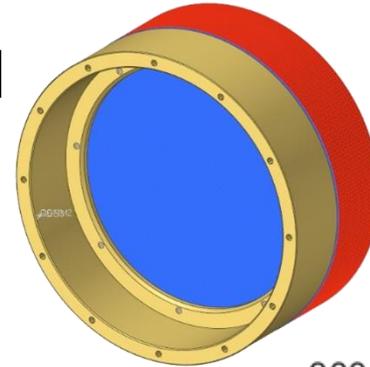
Getriebegehäuse
mit Fluidspalt



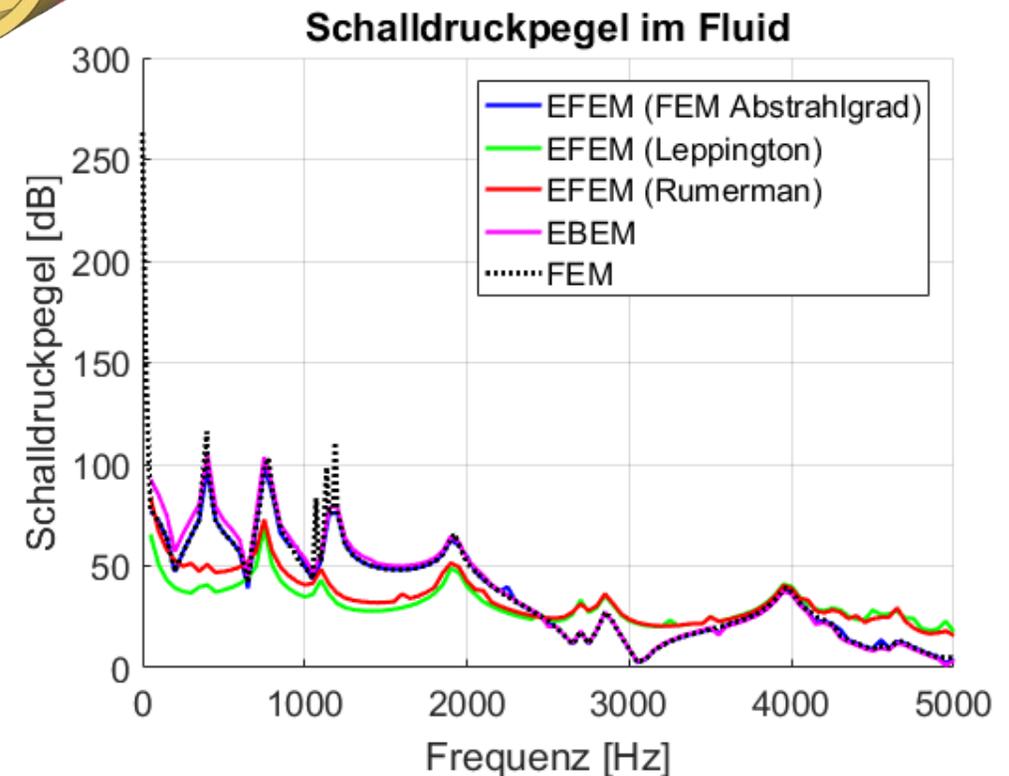
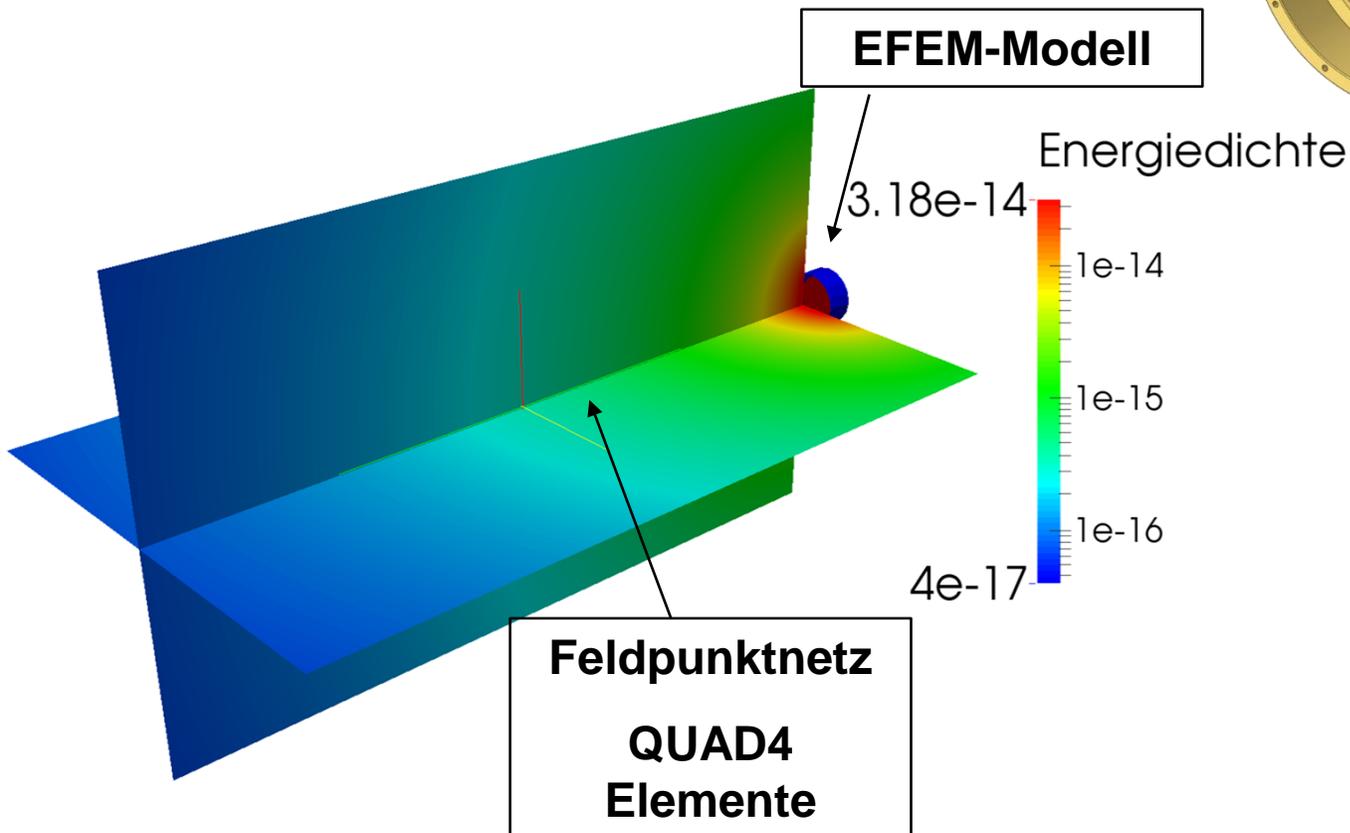
Verifikationsbeispiel

EFEM / EBEM - Abstrahlende kreisförmige Platte

- **Kopplung von EFEM und EBEM**
- **Einseitige Kopplung**



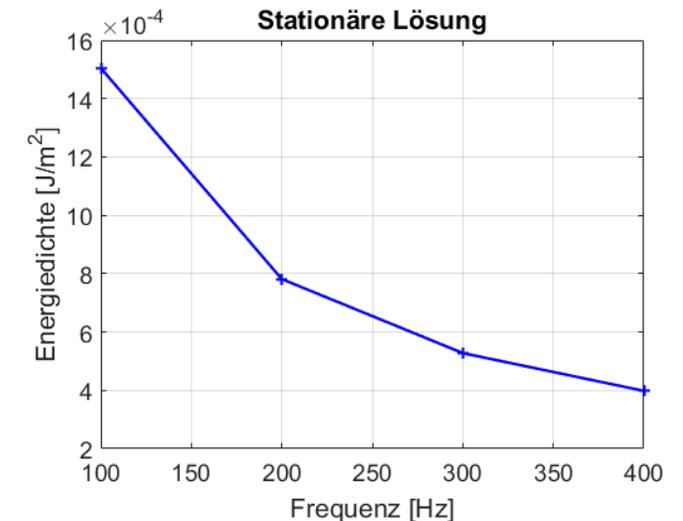
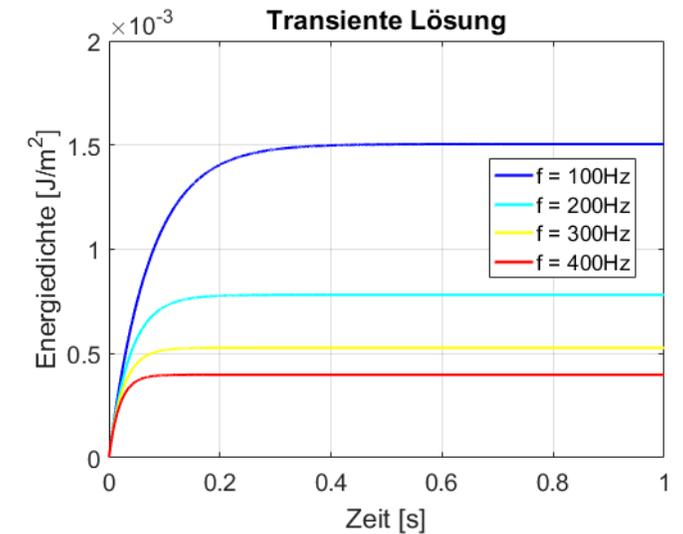
- FEM Modell der abstrahlenden Platte
- Shaker-Anregung



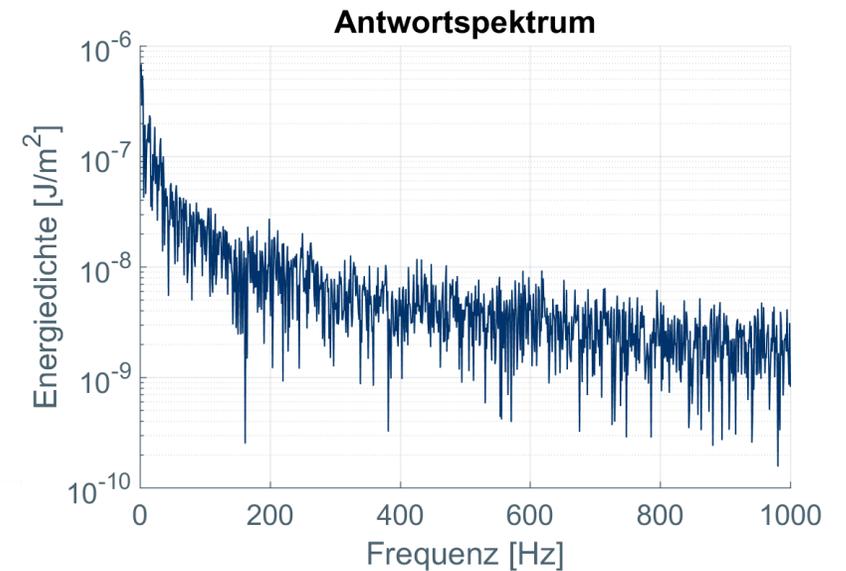
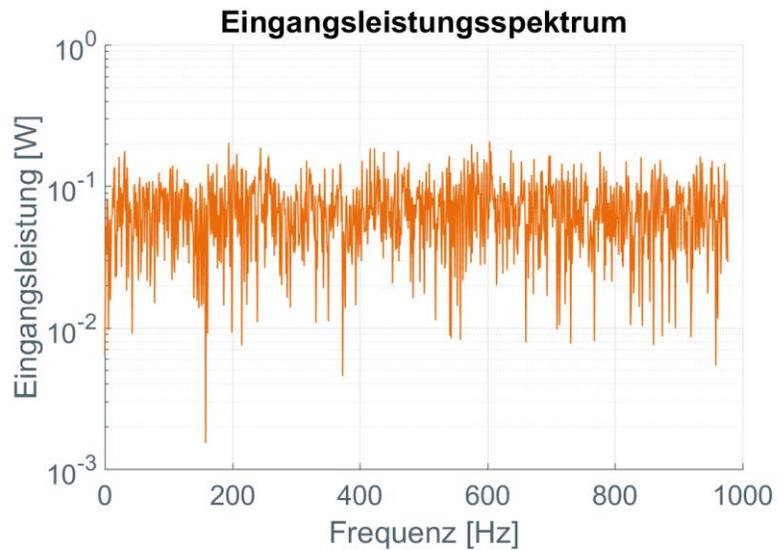
- Berechnung mit veränderlicher **Eingangsleistung**
- Nutzen der **zeitlichen Ableitung** der Energiedichte

$$\frac{\partial e}{\partial t} = \pi_{in} - a\Delta e - \pi_{diss}$$

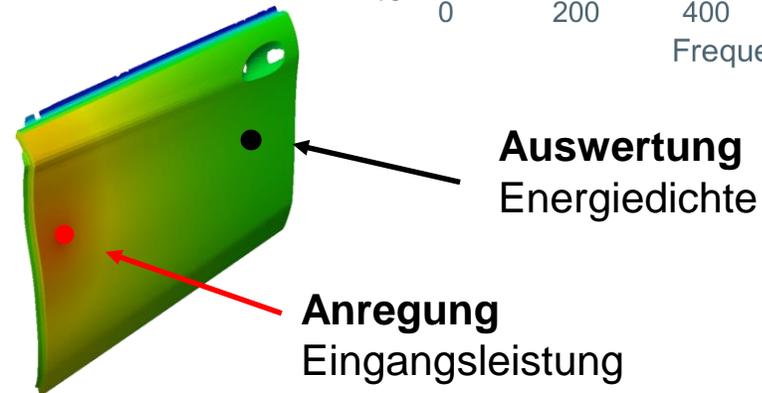
- Lösungsverfahren implementiert in C++ und Matlab
- Plausible Ergebnisse
- Konvergenz gegen stationären Lösung



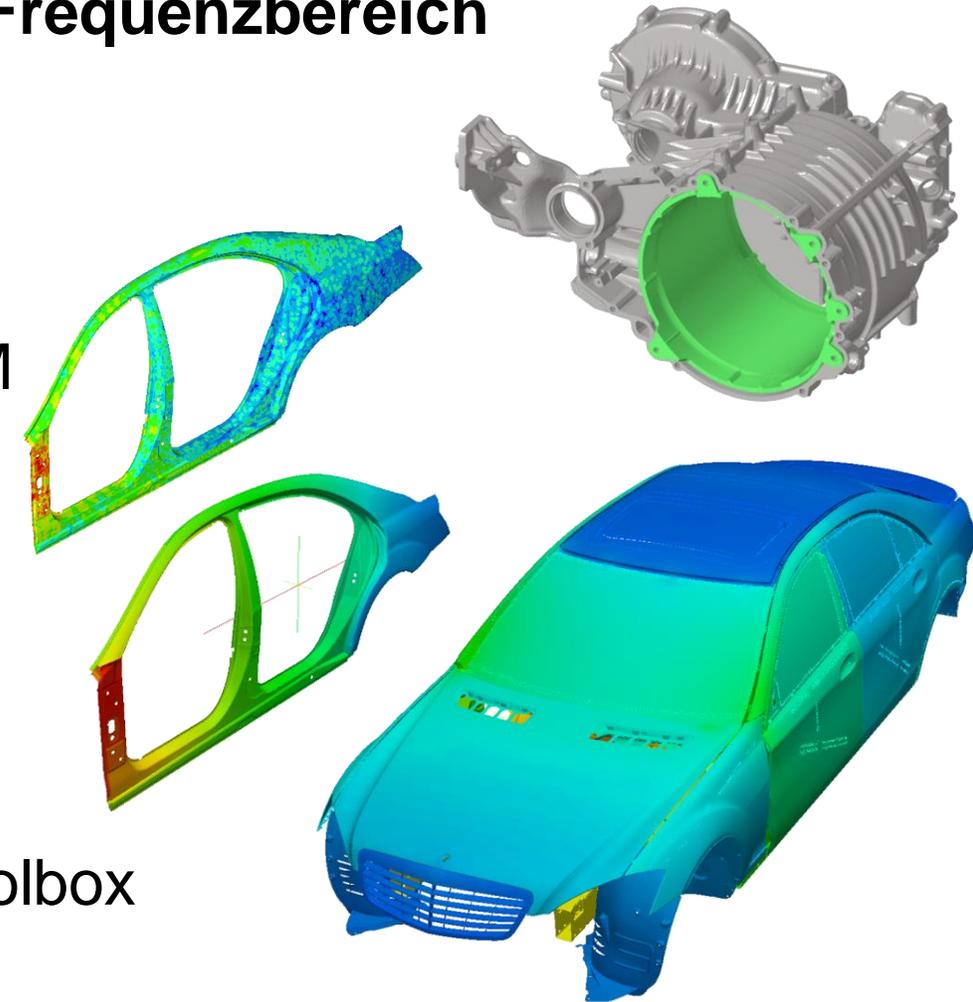
AdaptoSim - Toolbox



Übertragungsfunktion aus EFEM
Annahme: Phase = 0



- **EFEM** erweitert die Lösbarkeit in den **hohen Frequenzbereich**
- Verwendung von FEM-Modellen
- Gute Übereinstimmungen bei Abgleich mit FEM
 - Energiedichte auf Struktur
 - Abstrahlung
- Rechenzeit für Fahrzeugmodell 40min
- Erfolgreiche Anwendung in der AdaptoSim-Toolbox



**Vielen Dank für ihre
Aufmerksamkeit**