

Anwendung multiphysikalischer Simulationsmodelle in der Entwicklung von E-Bikes

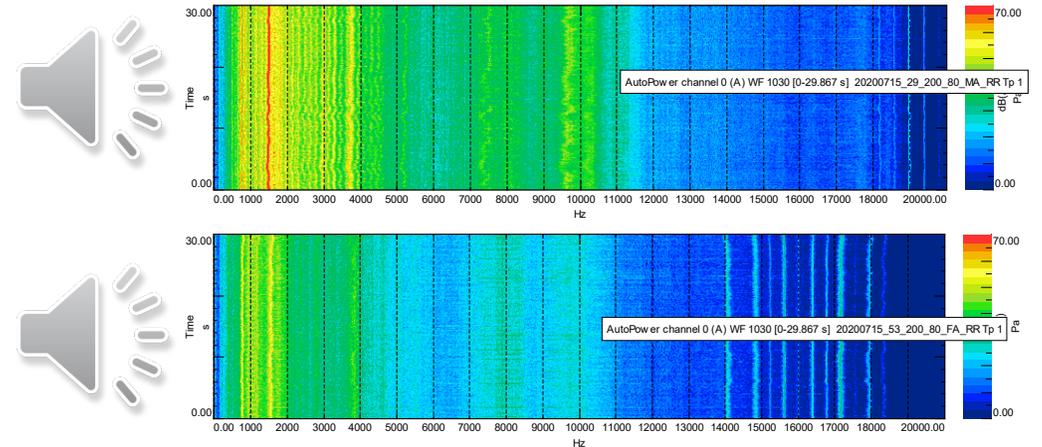
Potential und Praxisbeispiele

Einführung

● E-Bike:

praktisches und umweltfreundliches **Fahrzeug** für Stadt/Gelände, private/berufliche Nutzung
gleichzeitig **technisch anspruchsvolles System** mit steigender Systemkomplexität
beispielhafte Anforderungen: **laufruhig**, agil, leistungsstark, effizient, langlebig, **wertig**, ...

daher vorteilhaft, wenn die
multiphysikalischen Eigenschaften
eines E-Bikes so **früh** wie möglich
bekannt und nachvollziehbar sind
VORSCHLAG: digitaler Zwilling

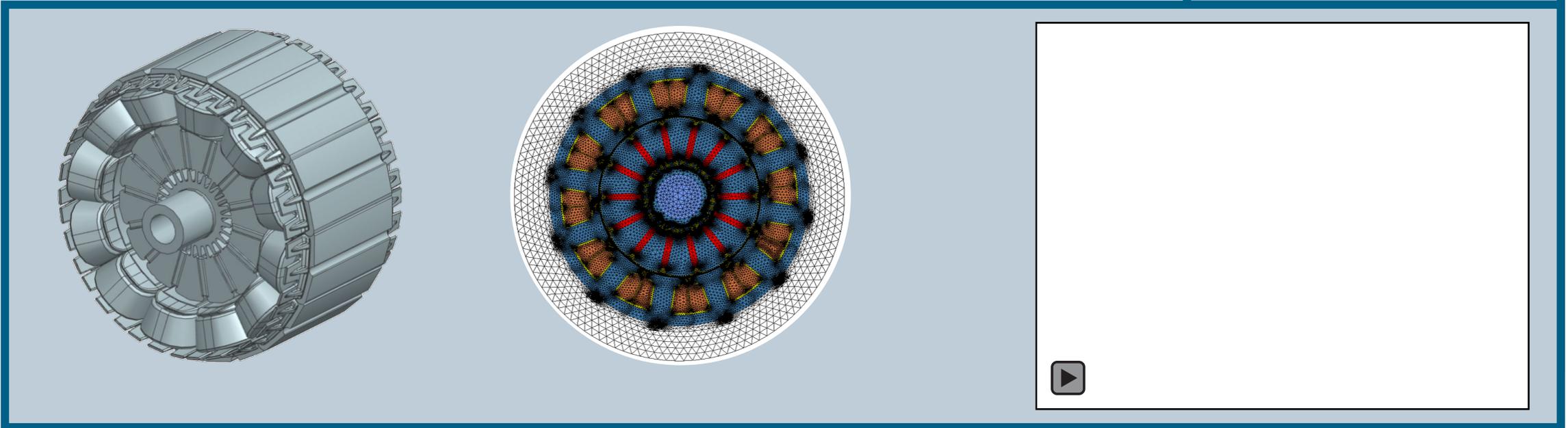


Numerische Vorhersage von Antriebsgeräuschen

niederfrequente Elektromagnetik

● E-Motor

Simcenter 3D Magnet



Simulation im Zeitbereich

- unbewegter Stator
- drehender Rotor with $n = 3450 \text{ min}^{-1}$
- Neuvernetzung im Luftspalt je Zeitschritt

Ergebnisse im Zeitbereich

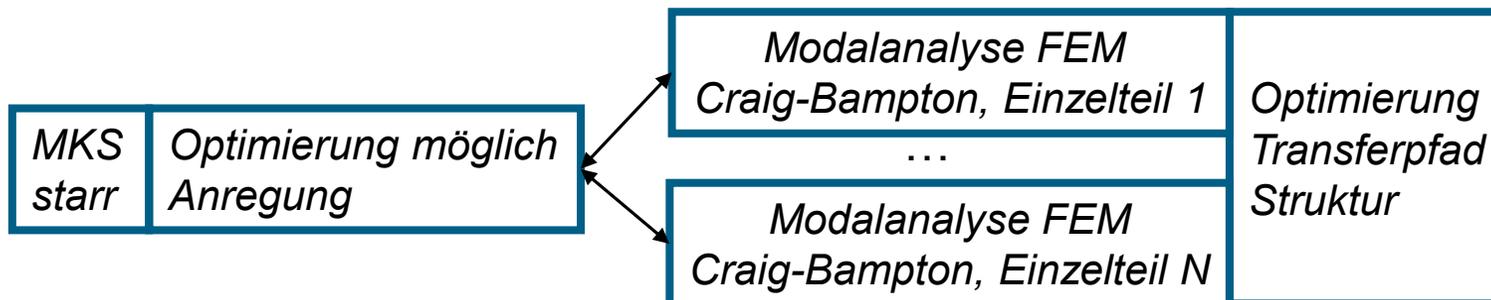
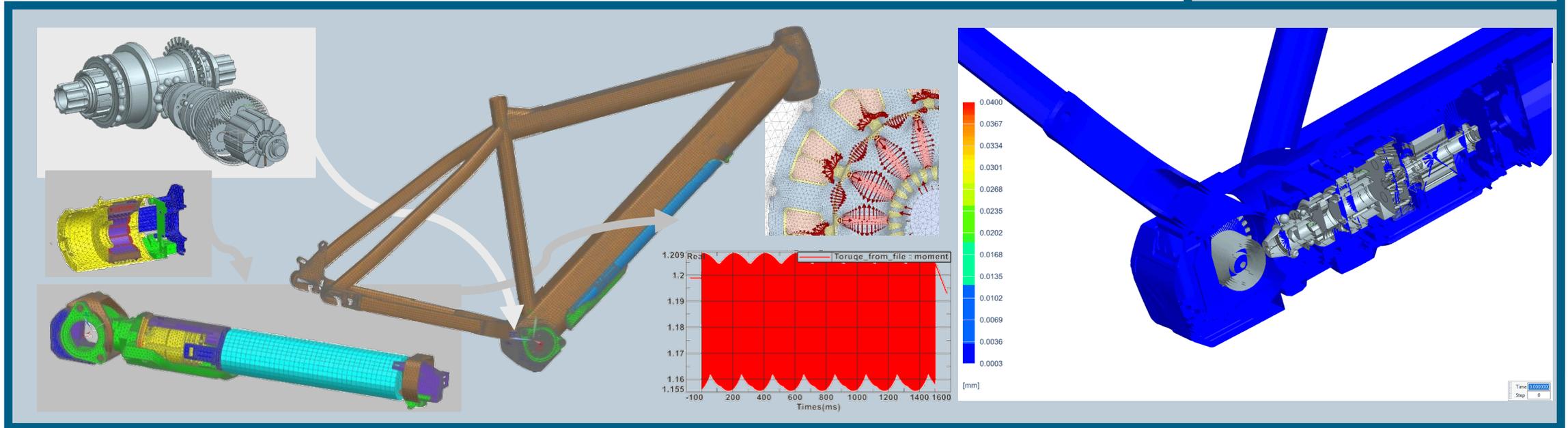
- elektromagnetisches Feld
- davon abgeleitet: Antriebsmoment, direkte Kraftanregung

Numerische Vorhersage von Antriebsgeräuschen

Elastische Mehrkörpersysteme

● Antrieb im elastischen Fahrradrahmen

Simcenter 3D Motion



Ergebnisse im Frequenzbereich

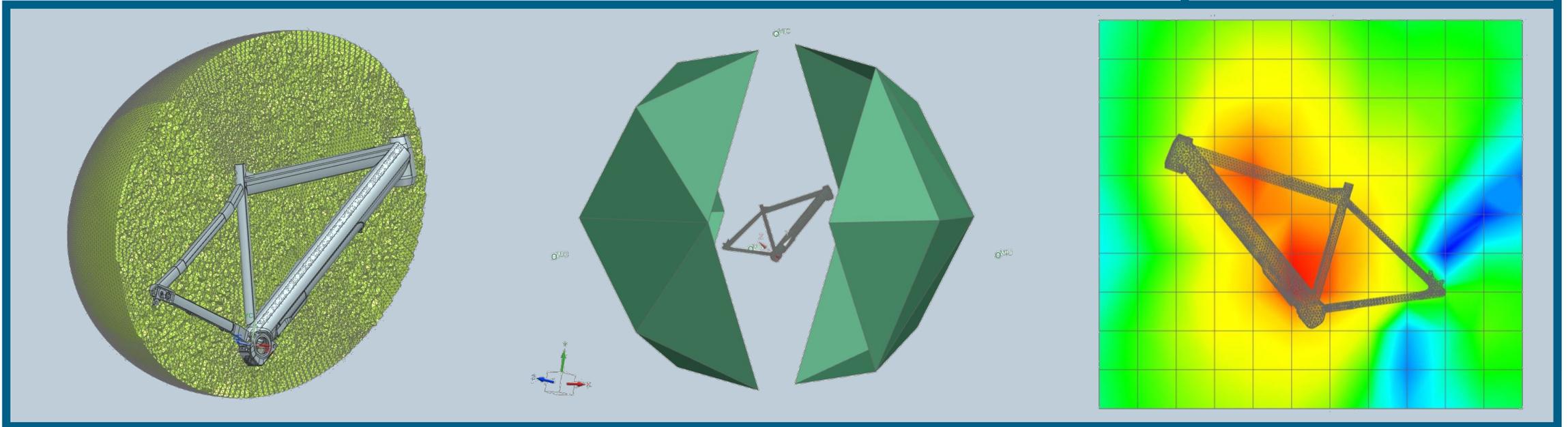
- Betriebsschwingungen sämtlicher elastischer Einzelteile
- weitere Verwendung als Modale Partizipationskonstanten

Numerische Vorhersage von Antriebsgeräuschen

Vibro-Akustik FEM/FEM

● Schallemission vom Gesamtsystem

Simcenter 3D Acoustics



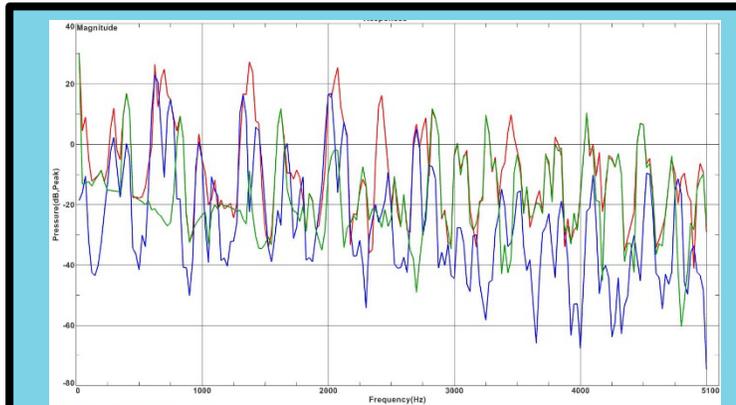
Simulation im Frequenzbereich

- beidseitige Kopplung Fluid/Struktur
- Abbildung aller Effekte im Schallfeld
- Verwendung Akustischer Transferfunktionen

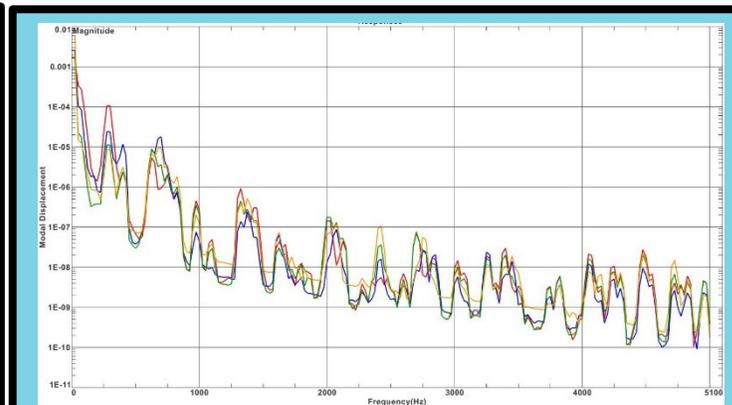
umfangreiche Simulationsergebnisse
und neuartige Auswertungen

Numerische Vorhersage von Antriebsgeräuschen

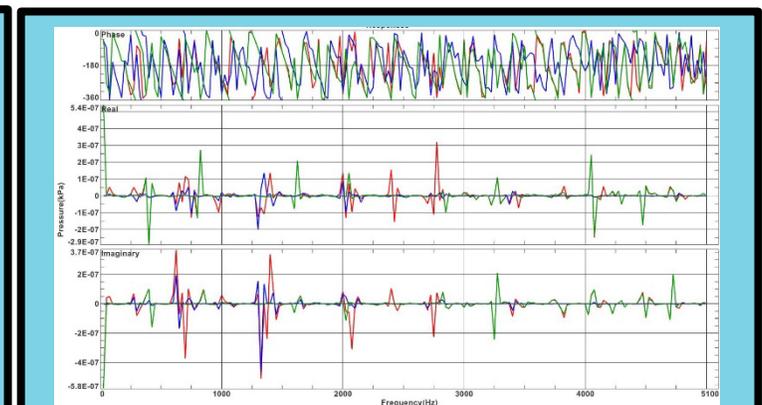
● Ergebnisse der vibro-akustischen Simulation



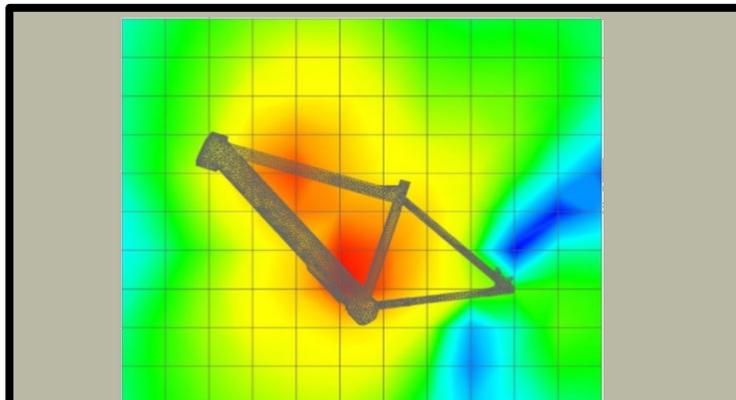
p in Pa, dB, dB(A), psychoakustisch bewertet, ...



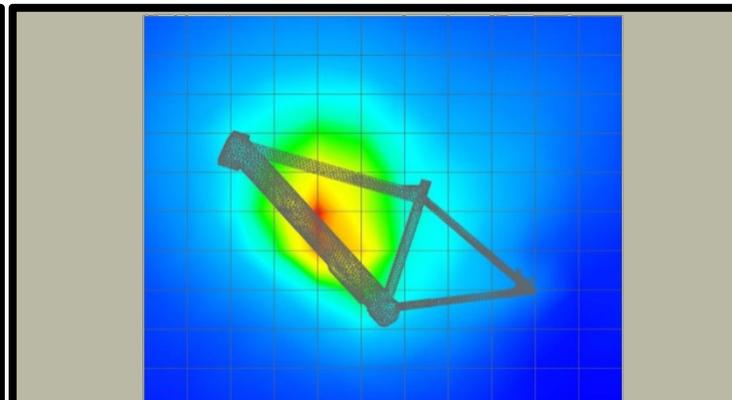
Betriebsschwingungen



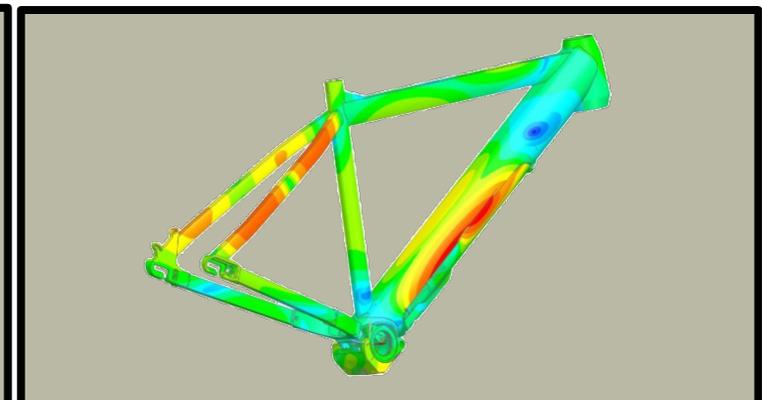
p oder v als Amplitude und Phase



Schalldruckverteilung



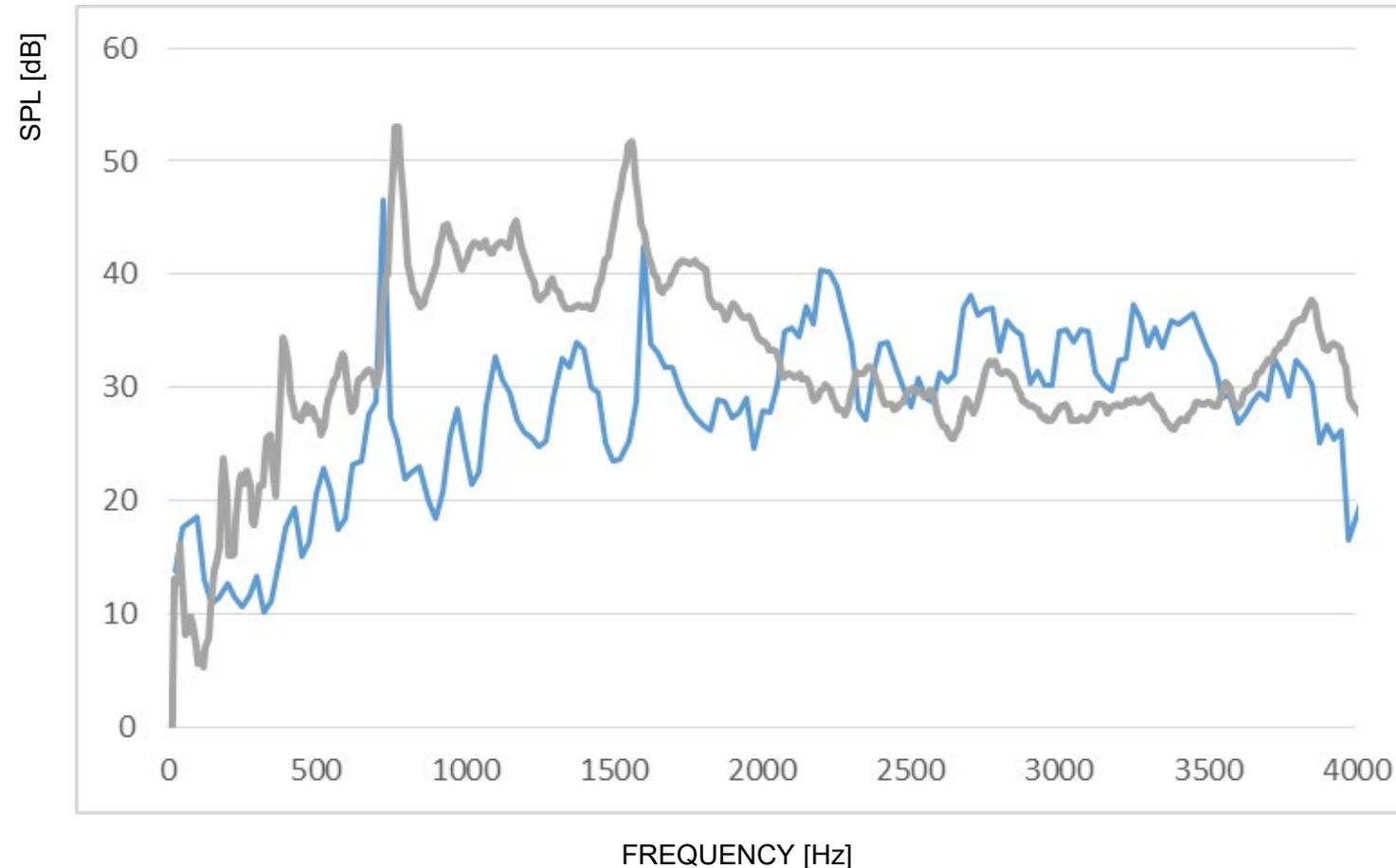
Schallintensität



Betriebsschwingformen

Numerische Vorhersage von Antriebsgeräuschen

● Diskussion Messung/Rechnung



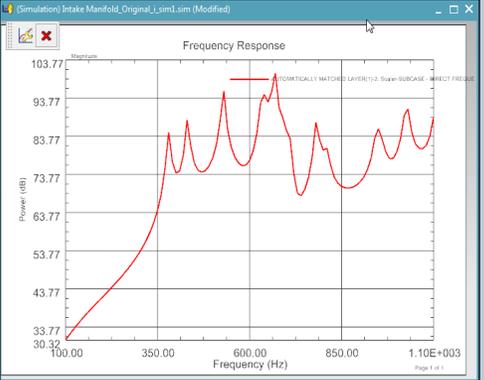
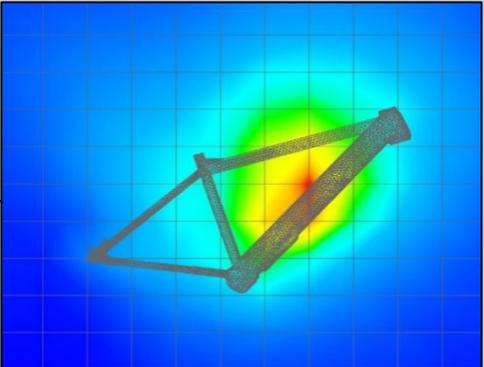
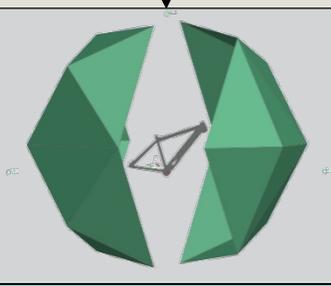
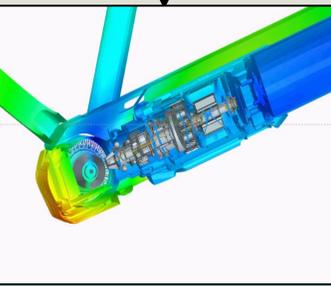
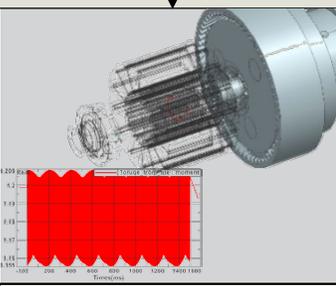
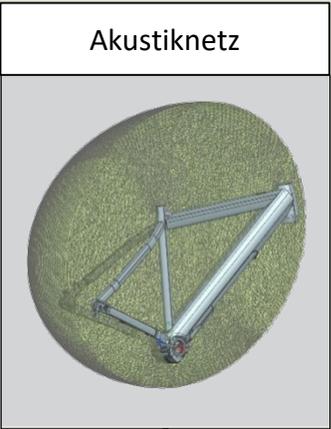
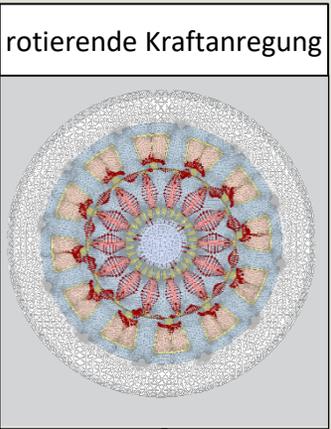
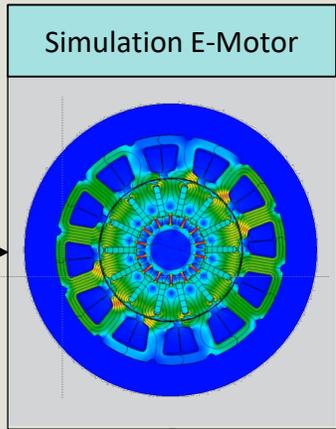
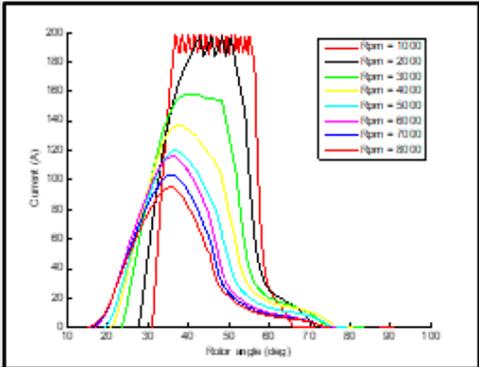
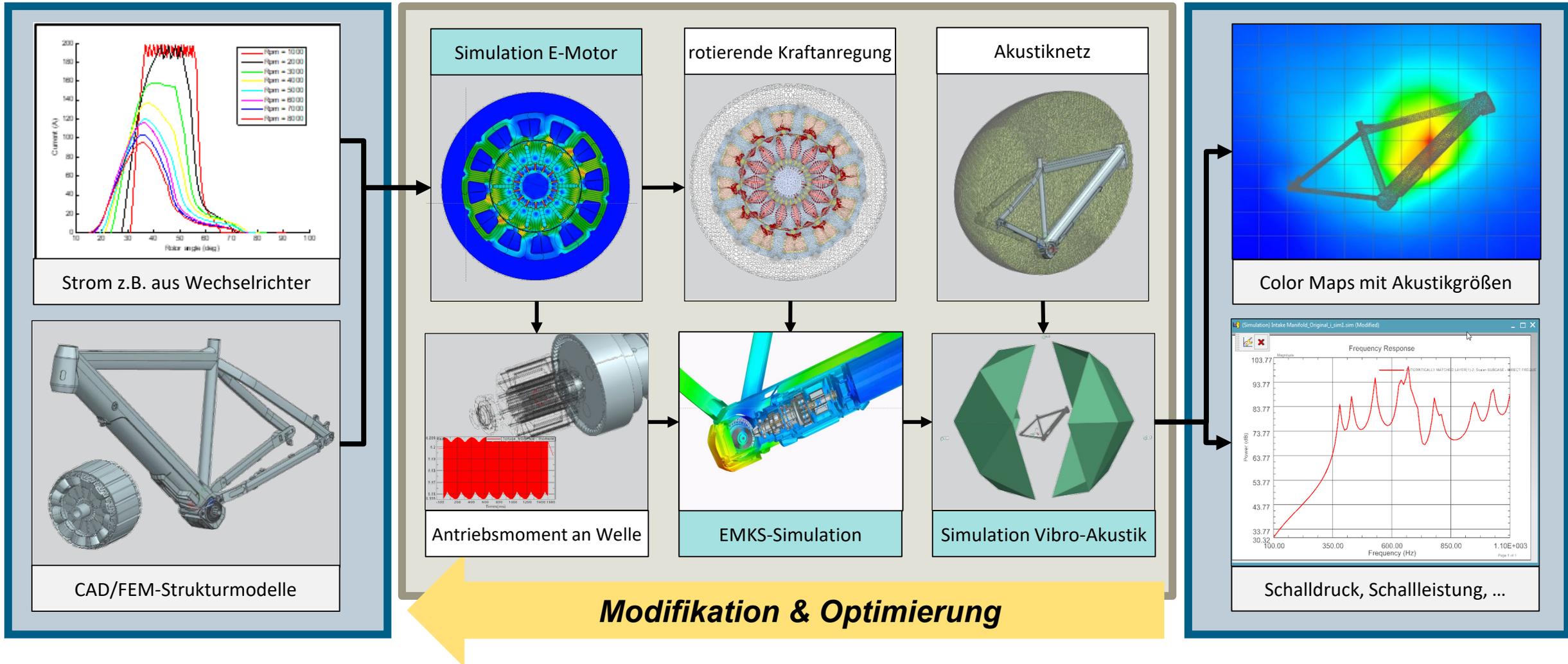
zu Beachten:

Messung mit einem
kompletten Rennrad

Berechnung nur mit dem
E-Antrieb in einem generischen
Mountainbike-Rahmen

unter diesen Voraussetzungen:
**gute Qualität der
numerischen Ergebnisse**

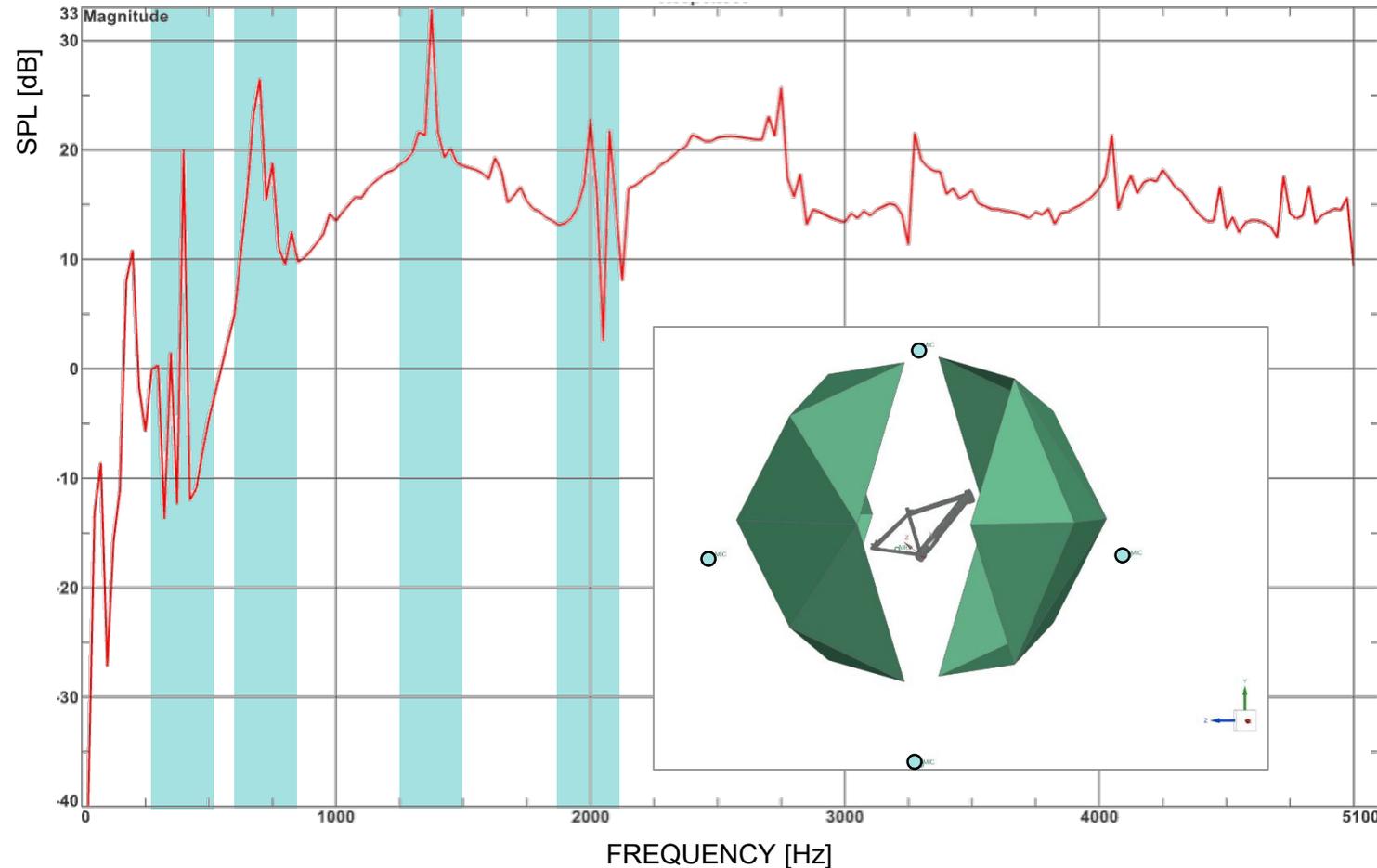
Numerische Vorhersage von Antriebsgeräuschen



Numerische Vorhersage von Antriebsgeräuschen

Arbeiten mit Ergebnissen der vibro-akustischen Simulation

● Modal Contribution



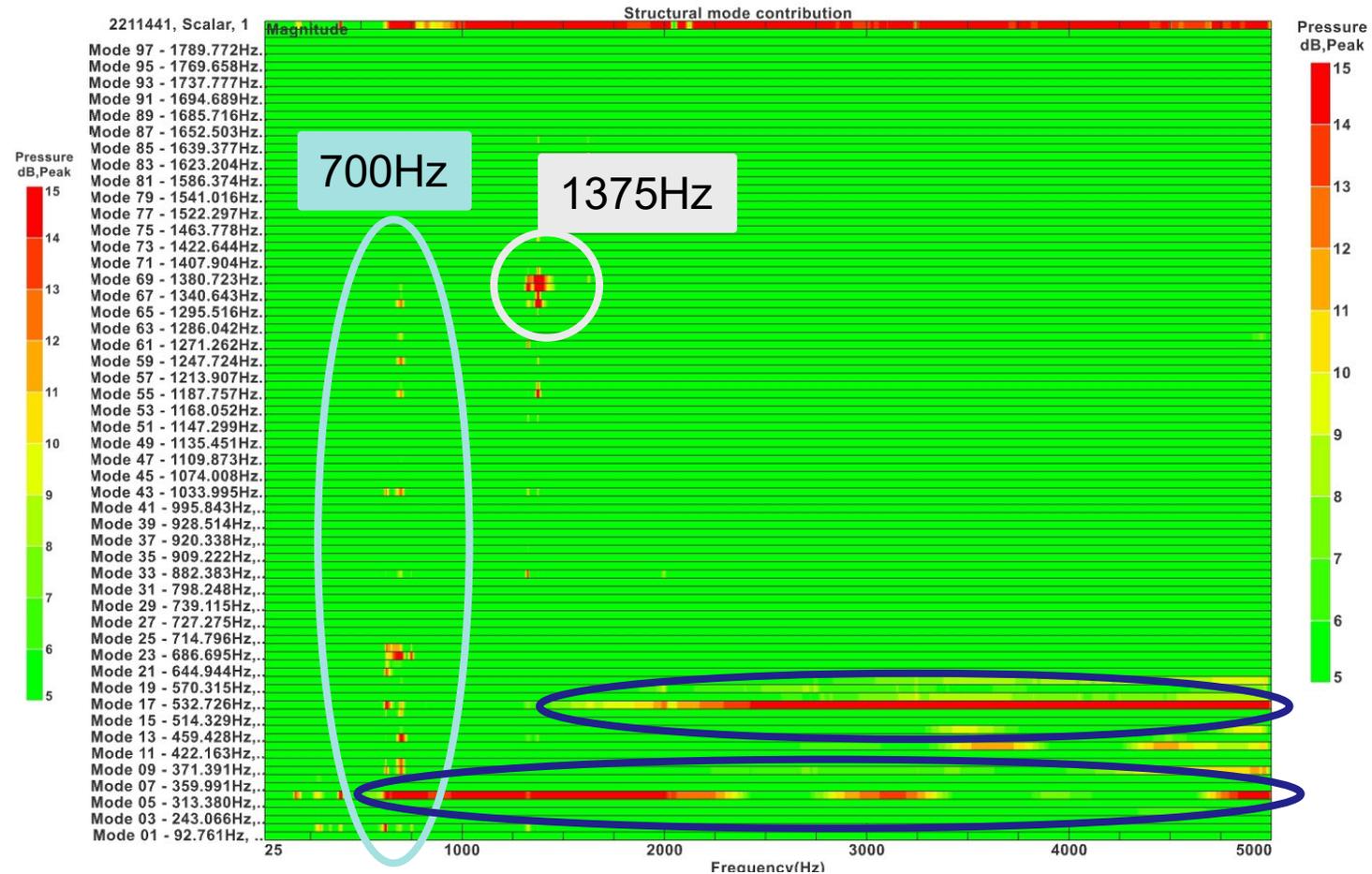
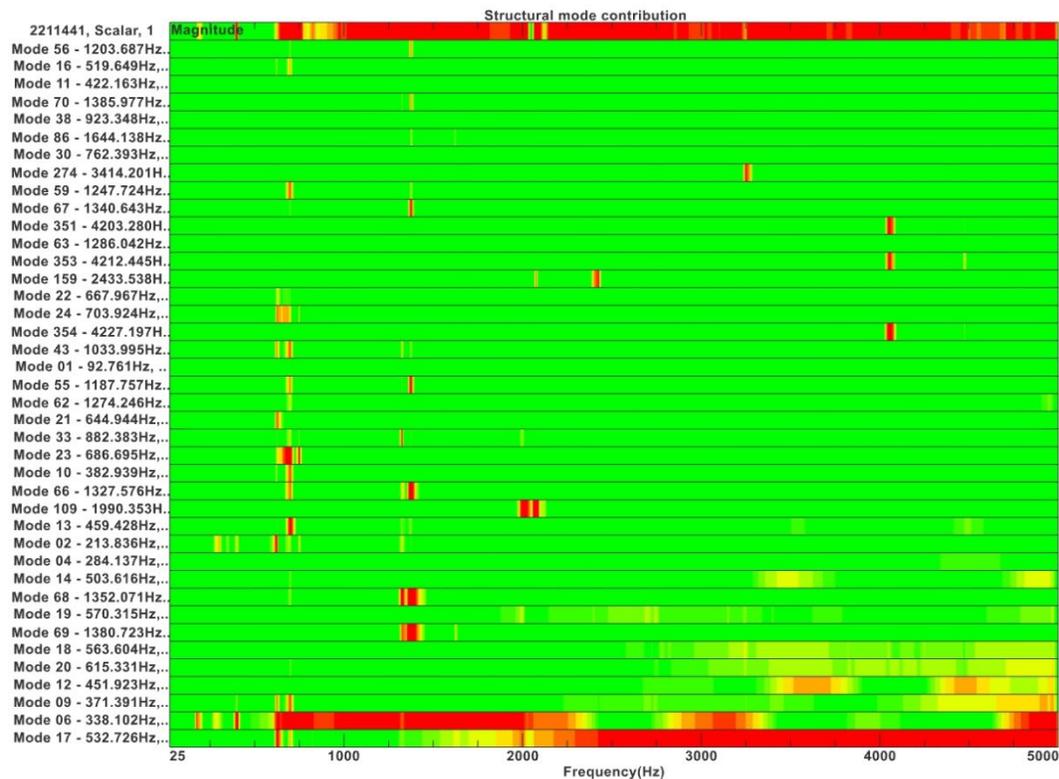
Feldpunkt in 2m-Entfernung
charakteristische Peaks bei 400Hz,
700Hz, 1375Hz, 2000Hz, ...
angeregt durch
elektromagnetische Kräfte
akustisch ungünstig weil
wesentlicher Beitrag
zum Summenpegel
und Beeinflussung
der Geräuschwahrnehmung

Numerische Vorhersage von Antriebsgeräuschen

Arbeiten mit Ergebnissen der vibro-akustischen Simulation

- **Modal Contribution**

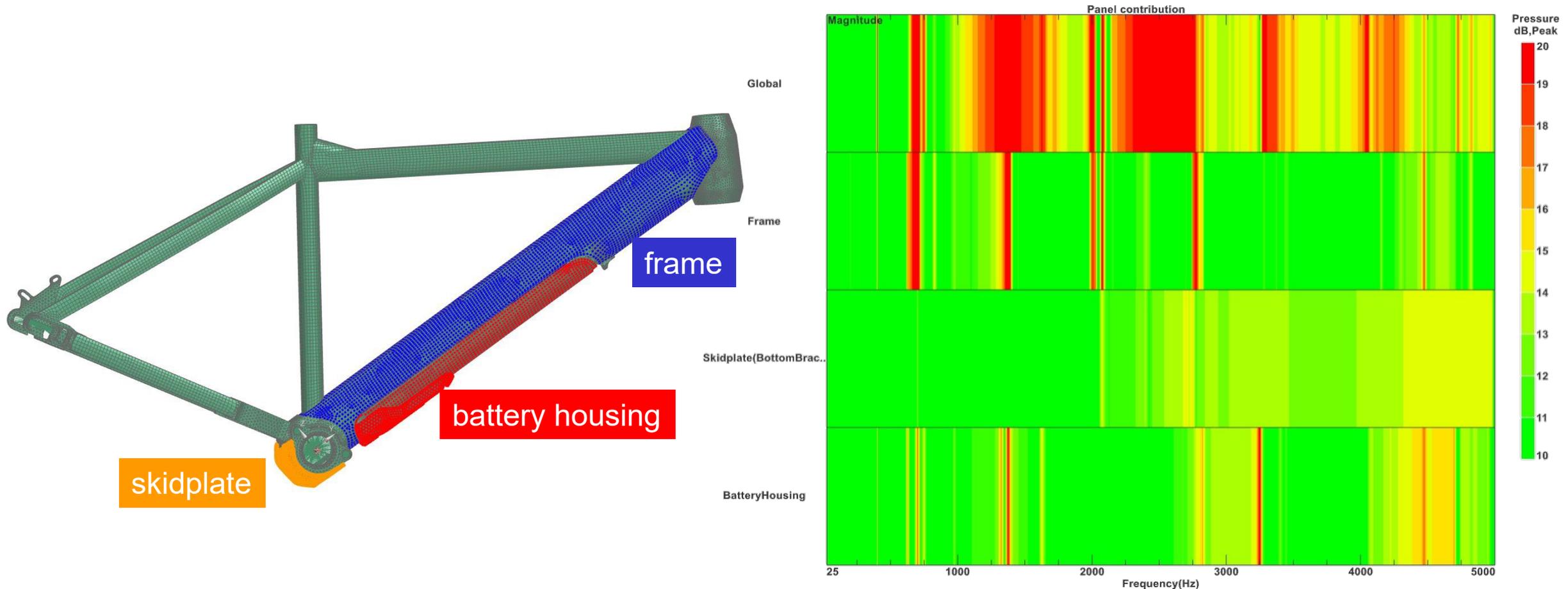
Top contributors – no. Contributors: 40



Numerische Vorhersage von Antriebsgeräuschen

Arbeiten mit Ergebnissen der vibro-akustischen Simulation

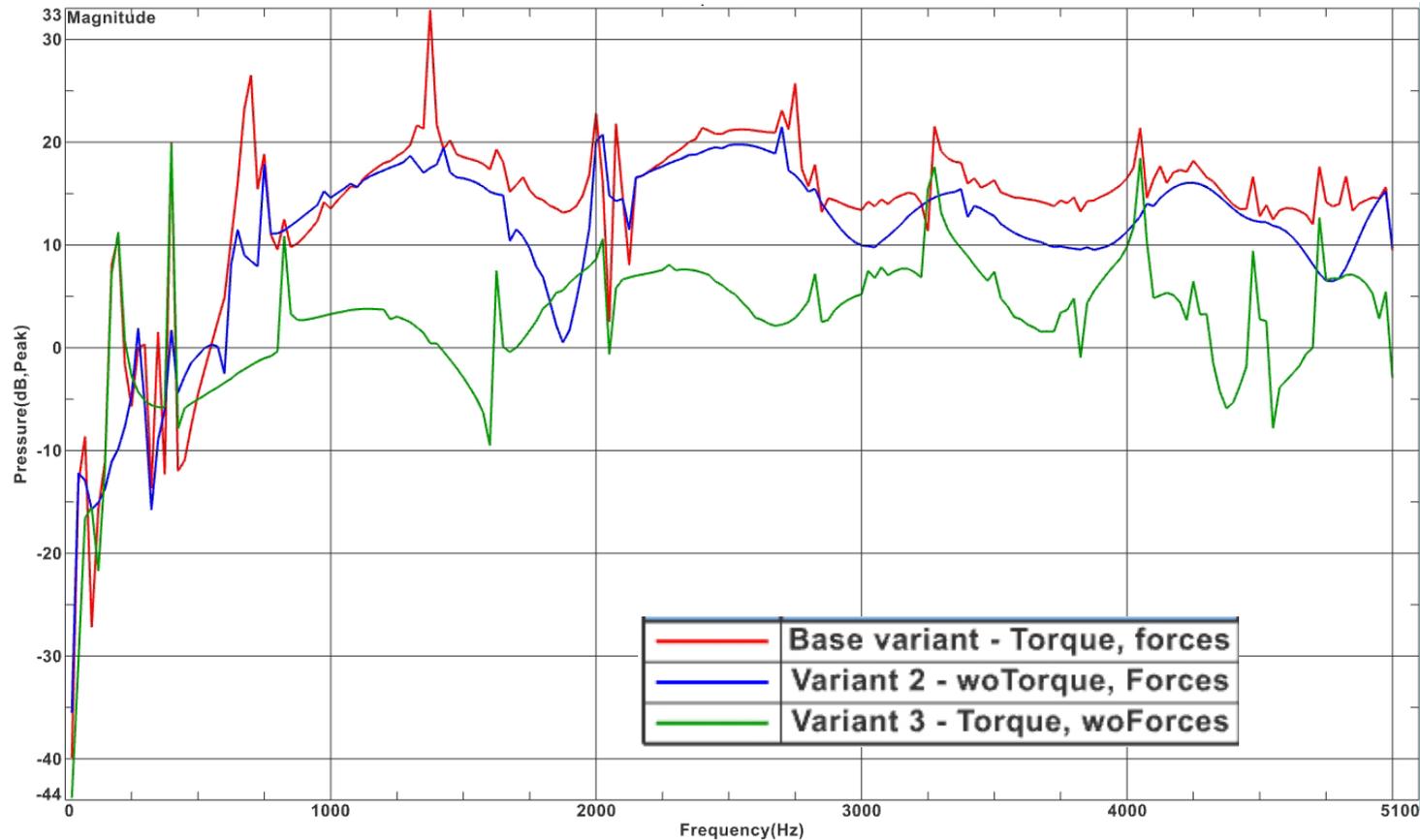
- **Panel/Grid Contribution**



Numerische Vorhersage von Antriebsgeräuschen

Arbeiten mit Ergebnissen der vibro-akustischen Simulation

● Bewertung einzelner Effekte

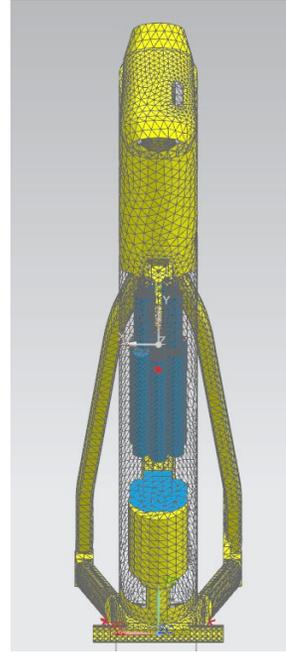
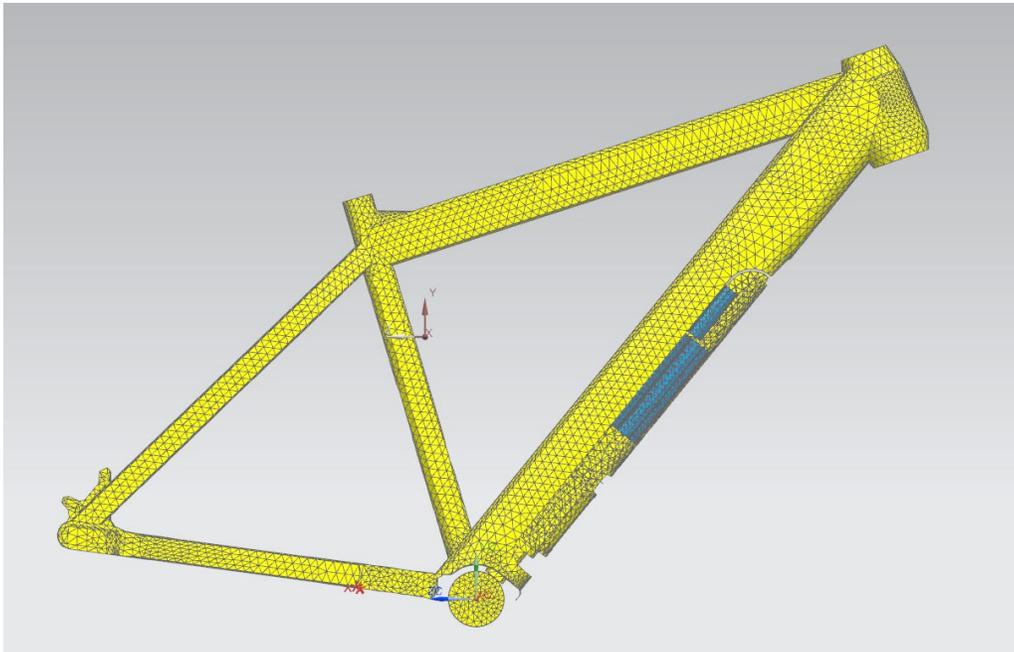


Feldpunkt in 2m-Entfernung

Beispiel:
Berechnung der Schallemission
bei Gesamt-anregung bzw.
einzelnen Anregungskomponenten:
Antriebsmoment oder rotierende
Kräfte an metallischen Teilen

Numerische Vorhersage von EMV

- **Hochfrequente Elektromagnetik**



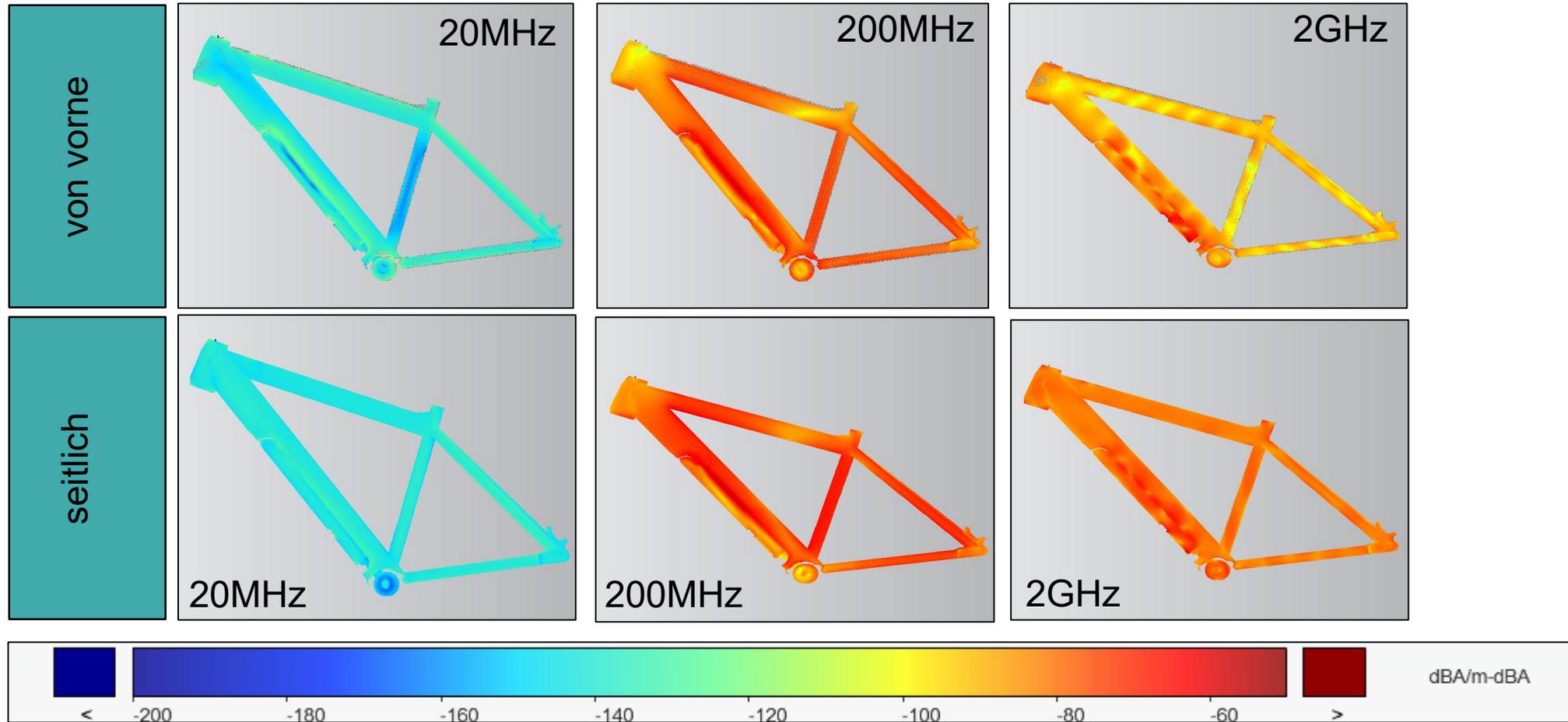
Fahrradrahmen mit Antriebsstrang, Batterien, E-Motor, Leiterplatten

interne und externe EMV von Interesse

gelbe Oberflächen als perfekte elektrische Leiter (PEC), blaue Oberflächen dielektrisch

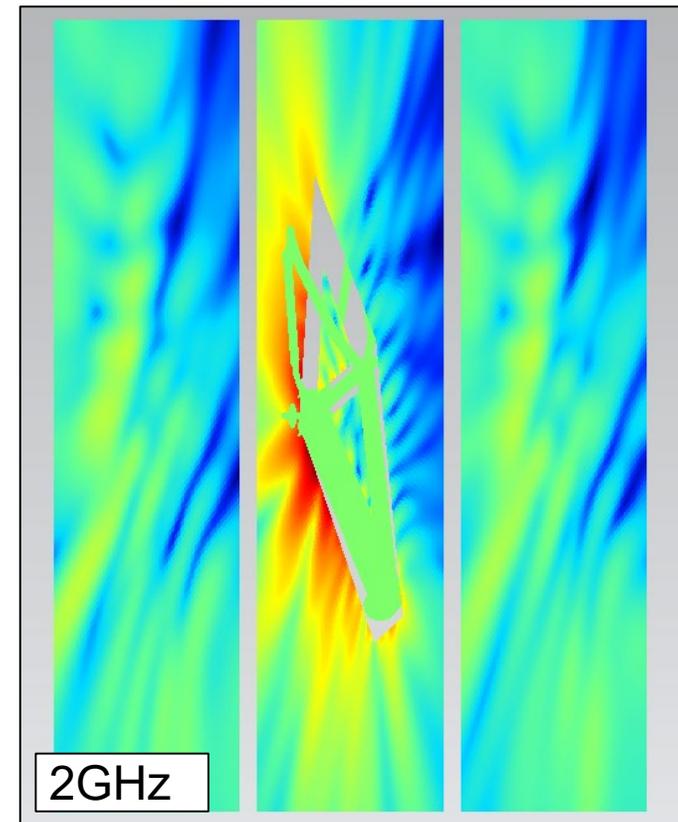
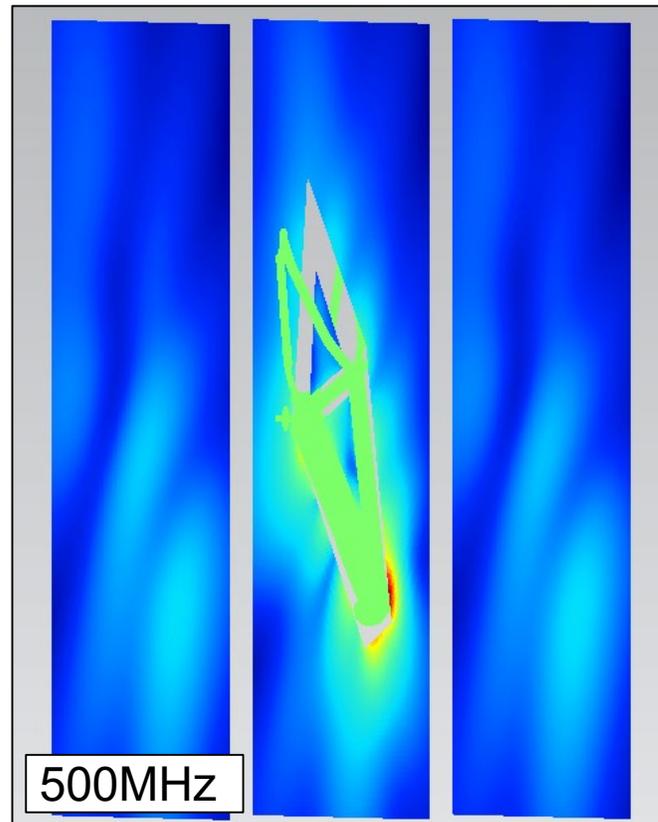
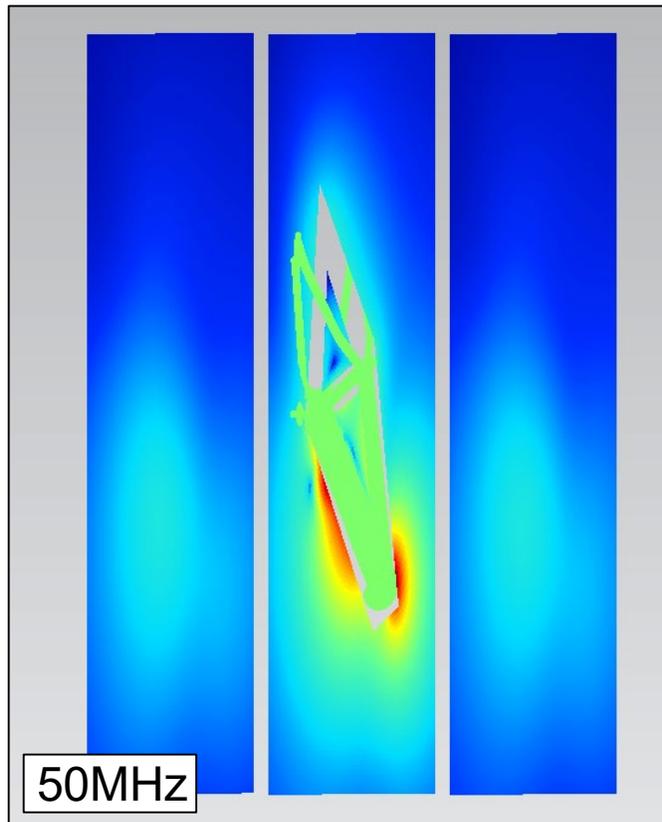
Numerische Vorhersage von EMV

- Antwort auf elektromagnetische Strahlung von außen



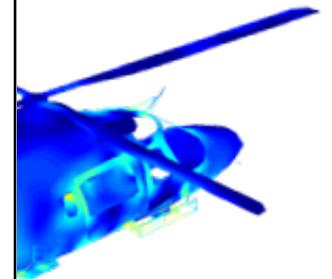
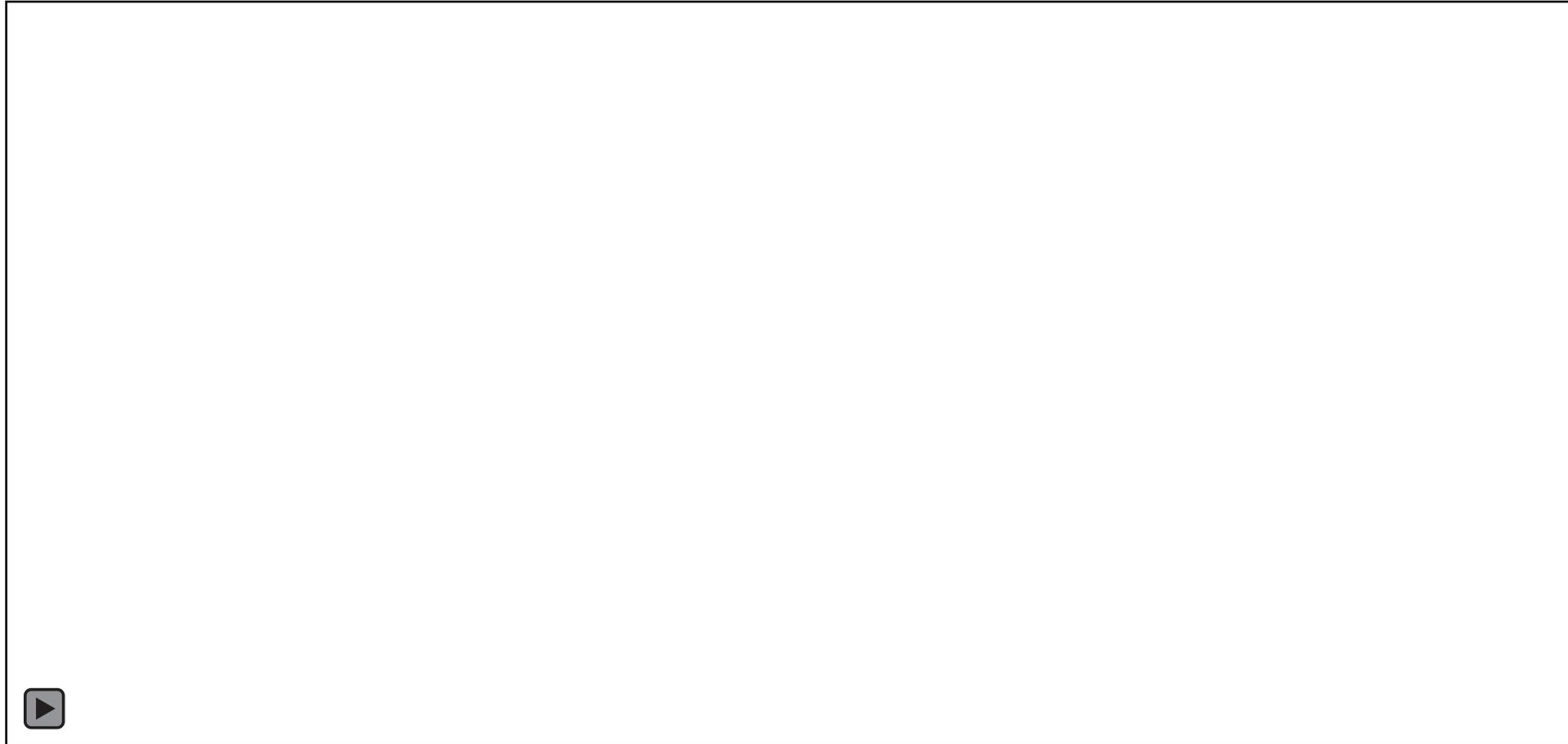
Numerische Vorhersage von EMV

- **Elektromagnetische Strahlungsaussendung**
Elektrisches Feldmuster



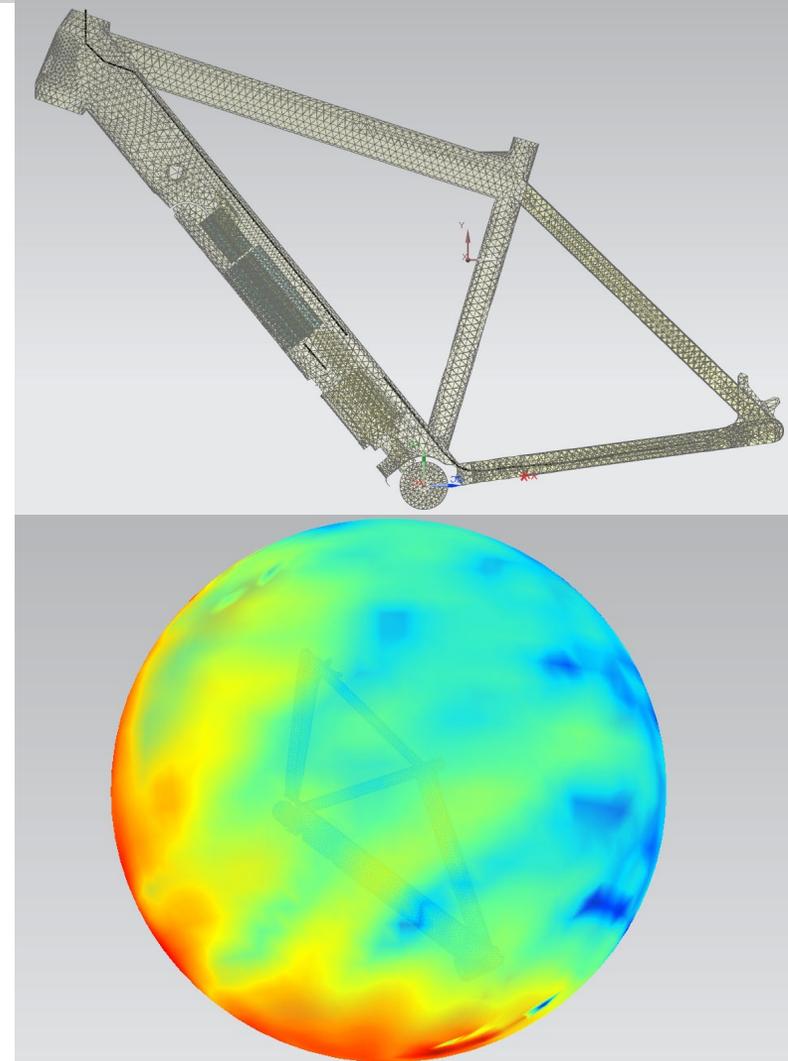
Numerische Vorhersage der EMV

- **Elektromagnetische Strahlungsaussendung** hier bei 20MHz, 200MHz, 2GHz



Zusammenfassung

- **Multiphysikalische Simulation von E-Bikes**
 - **effiziente Analysen** unter Berücksichtigung der Wechselwirkung von **elektromagnetischen, mechanischen und akustischen Eigenschaften**
 - **frühe Produktbewertung** in der Entwicklung und/oder **Troubleshooting** bei vorhandenen E-Bikes
 - weitere Anwendungen möglich, z.B.: Strömung, Antriebs-Batteriekonzepte, Schaltungen, Dauerfestigkeit, etc.
 - alle 3D-Simulationen in Simcenter 3D
- zielführende Erweiterung um 1D-Simulation mit **Simcenter Amesim** und Messungen mit **Simcenter Testlab/Scadas** möglich



Vielen Dank!

Novicos

Novicos GmbH



Dr.-Ing. Olgierd Zaleski



Veritaskai 8
21079 Hamburg



zaleski@novicos.de



+49 40 300870-30

Solution
Partner

Smart Expert

Digital Industries
Software

SIEMENS