

Akustische Optimierung einer Luftwärmepumpe mit MD Nastran

- 12. Bayreuther 3D-Konstrukteurstag
- Bayreuth 29.09.2010
- Michael Hoffmann, MSC.Software GmbH
- Andreas Schubert, Viessmann Werke GmbH & Co KG



Einleitung

- Neben den energetischen Eigenschaften einer Wärmepumpe wird auch das akustische Verhalten immer bedeutender.
- Insbesondere bei dem Einsatz im Haus, sollten die Maschinen möglichst leise sein.
- In diesem Vortrag wird anhand einer Luftwärmepumpe die Einsatzmöglichkeit von MD Nastran in der interior – und exterior Akustik, sowie die Verknüpfung mit Optimierung und Umformsimulation aufgezeigt.

Inhalt


1. Einleitung
2. Strukturmodell
3. Interior Akustikmodell
4. Exterior Akustikmodell
5. Optimierung
6. Umformsimulation Prototypenfertigung
7. Wirksamkeit in der Praxis
8. Umformsimulation Serienfertigung
9. Zusammenfassung

MSC. Software

MSC.Software ist der international führende Entwickler und Anbieter von Simulation Lösungen. Das Unternehmen mit Zentrale im kalifornischen Santa Ana wurde 1963 gegründet und beschäftigt heute weltweit Mitarbeiter in 23 Ländern

Das Angebot reicht von CAD-Integrierten Simulationswerkzeugen, über unabhängige Finite Elemente Analysen (FEA) und Mehrkörpersimulation (MKS) bis hin zu Simulationsdaten- & Prozessmanagement. Gleichzeitig sorgt ein umfassendes Dienstleistungsangebot mit individueller Beratung, technischem Support und Schulungen für effizienten Einsatz der Lösungen.



 **MD Nastran** vereint MSC Nastran, Marc, Dytran und LS Dyna. Ob Wärmetransfer, Bewegungs- oder Crash-Analysen: Nahezu alle Simulationen und Tests lassen sich mit MD Nastran durchführen – eingebettet in die vertraute und seit Jahrzehnten bewährte Nastran-Umgebung.

Viessmann Werke

→ Gegründet:	1917
→ Sitz:	Allendorf (Eder)
→ Produkte:	Komplettprogramm Heiz- und Klima- technik
→ Mitarbeiter:	8.900
→ Umsatz:	1,6 Mrd. Euro
→ Exportanteil:	54 %



Familienunternehmen in dritter Generation
Top 3 der Branche
www.viessmann.de

Komplettprogramm

1,5 kW – 20.000 kW



Energieträger:

Öl, Gas, Solar, Bioenergie (Holz, Biogas), Naturwärme

Leistungsbereiche:

1,5 kW bis 20.000 kW

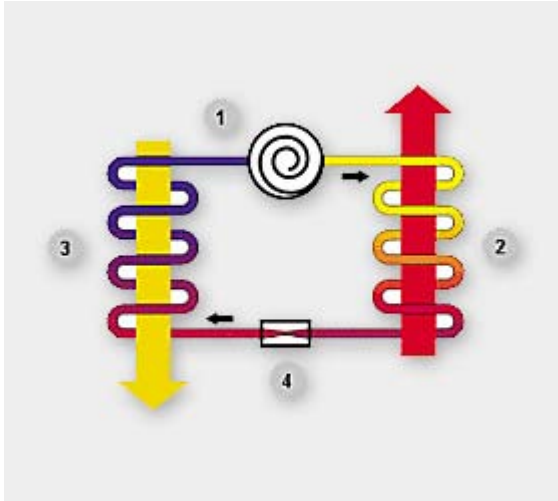
Anwendungsbereiche:

Einfamilienhäuser, große Wohngebäude, Gewerbe / Industrie, Nahwärmenetze

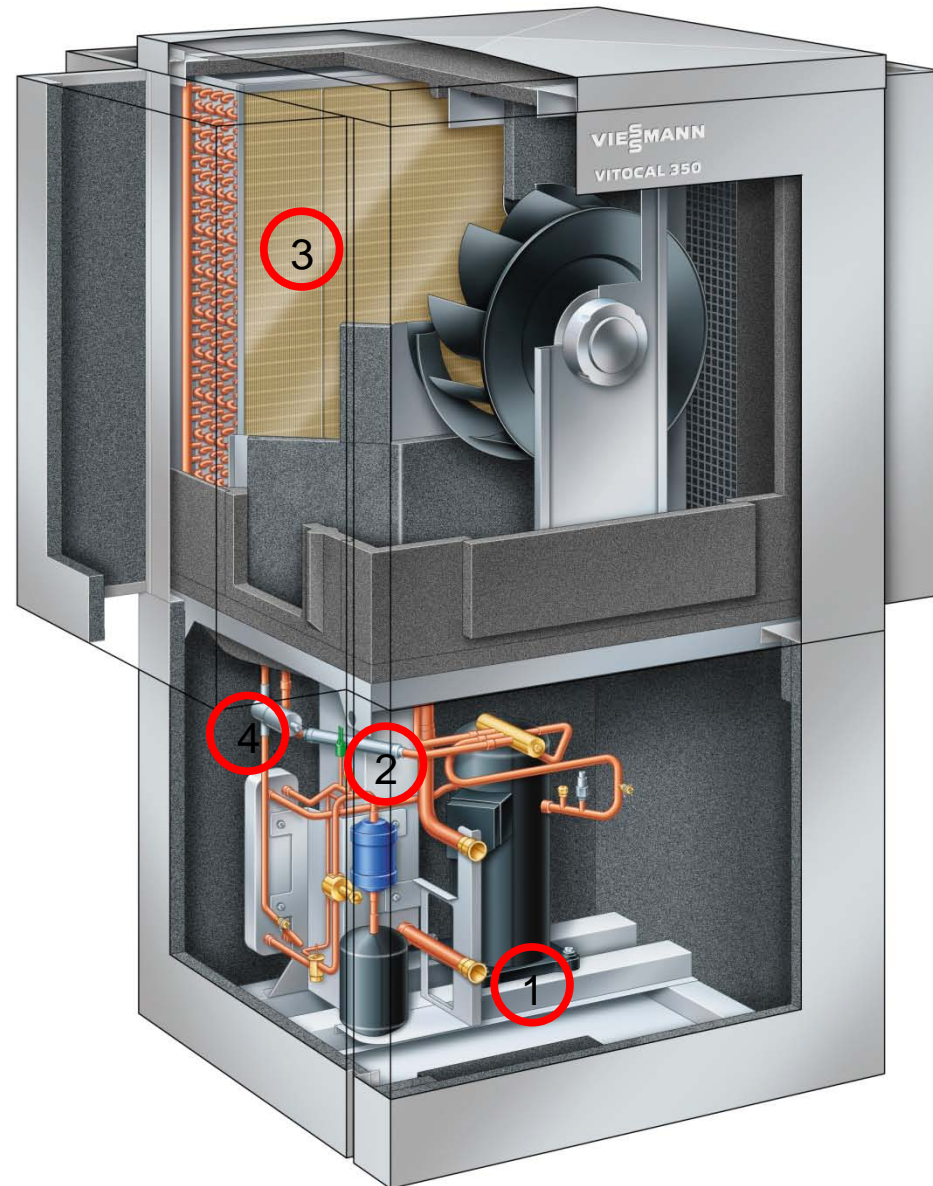
Systemtechnik:

Komplette Systeme mit aufeinander abgestimmten Komponenten

Vorstellung Konstruktion Vitocal 350-A

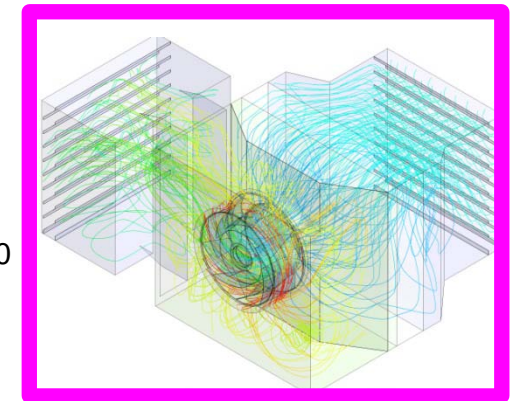
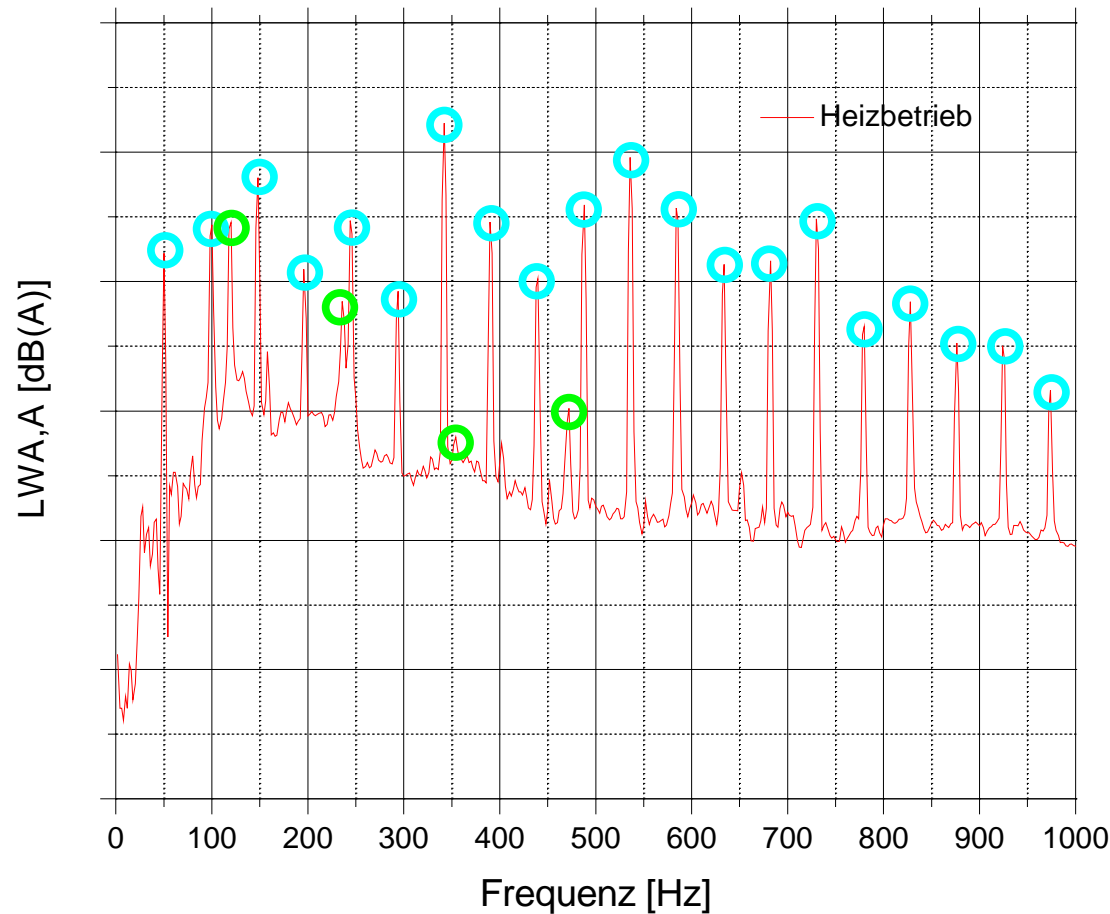


- Leistungsbereich von 10.6 - 18.5kW
- Außen- und Innenaufstellung
- Dreistufiger Radialventilator
- Scroll-Verdichter



Anregung durch den Verdichter, Ventilator und Aeroakustik

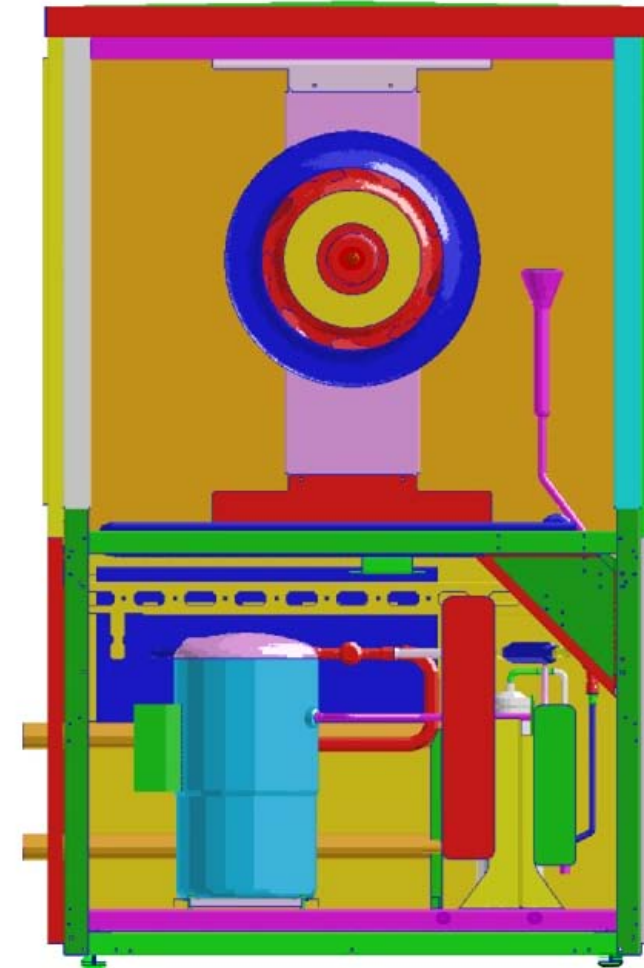
Schalleistung



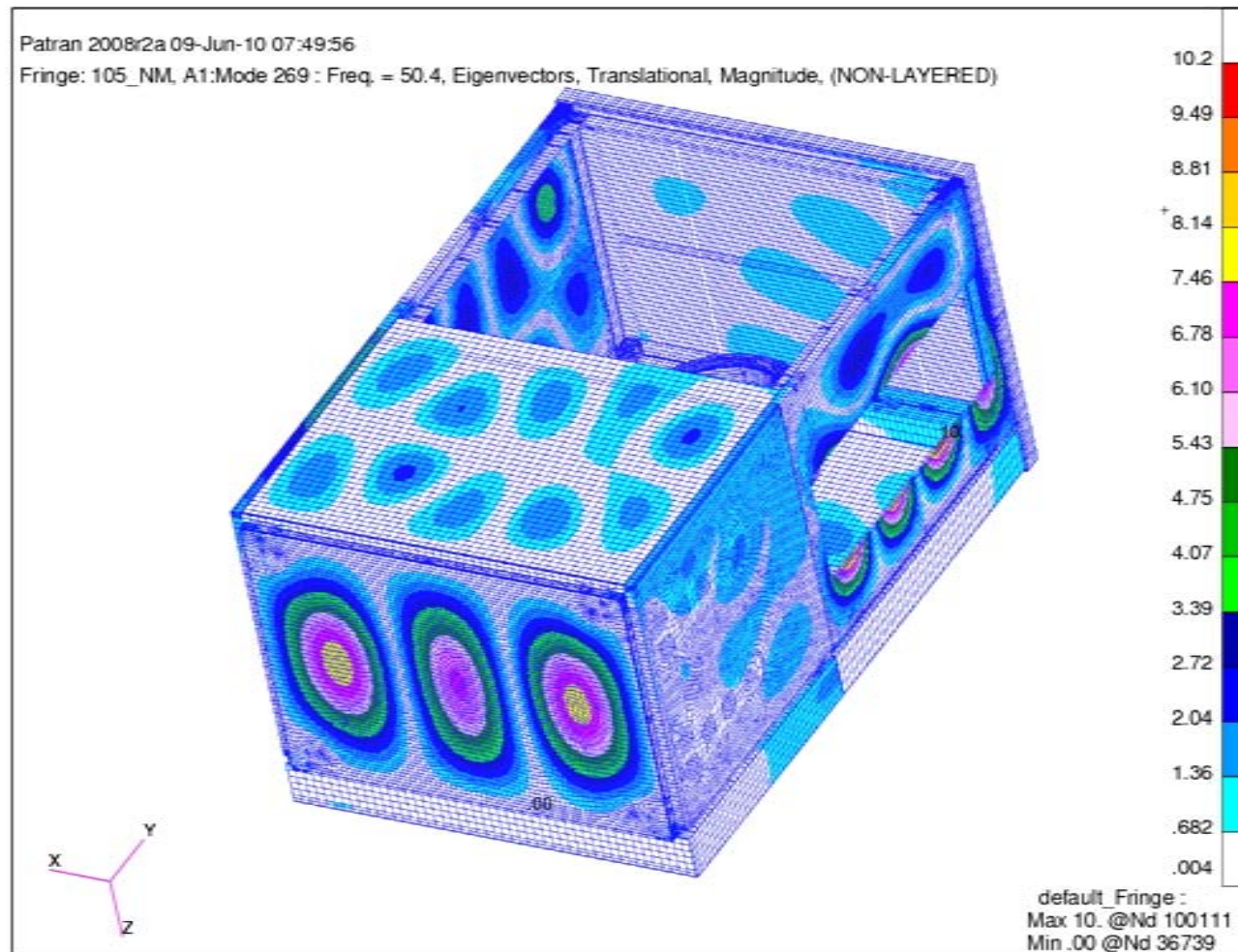
- Untersucht wurden Anregungen am Verdichter und Ventilator
- Die Luftströmung als weitere mögliche Anregung wurde zunächst vernachlässigt
- Die Schalleistungsmessung zeigt Peaks bei 50Hz, 120Hz und deren Ganzzahligen Vielfachen
- Weitere Untersuchungen deuten auf den Verdichter als Hauptanregung hin

Strukturmodell

- Ca. 250.000 Elemente
- Masse der einzelnen Bauteile über die Dichte angepasst
- Der Verdampfer wurde als Externes Superelement berücksichtigt
- Anregung am Verdichter als „weißes Rauschen“
 - Unwucht Anregung am Verdichter
 - Kraft in der Verdichterachse
 - Moment um die Verdichterachse
- Unwucht Anregung am Ventilator als „weißes Rauschen“

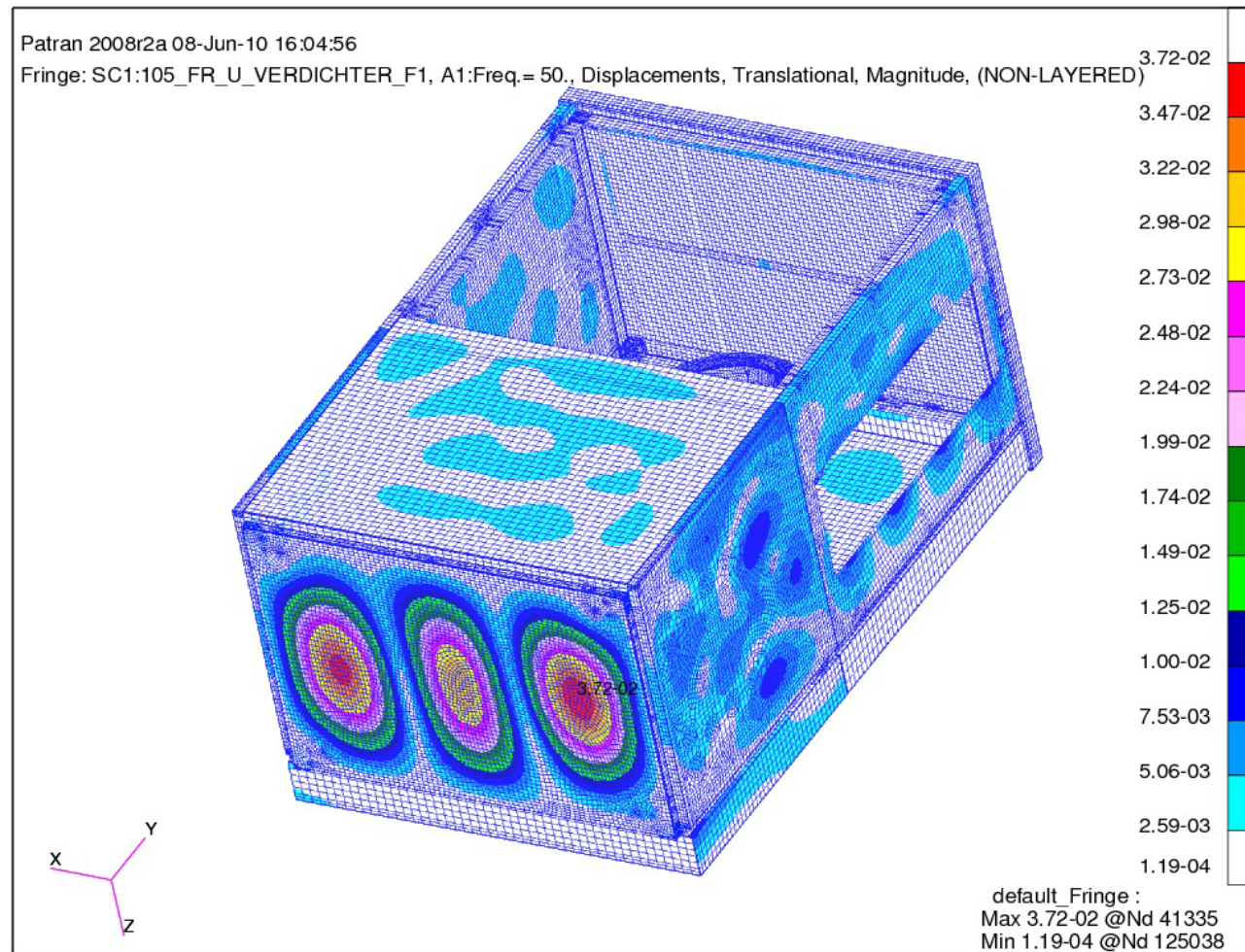


Eigenwerte Strukturmodell



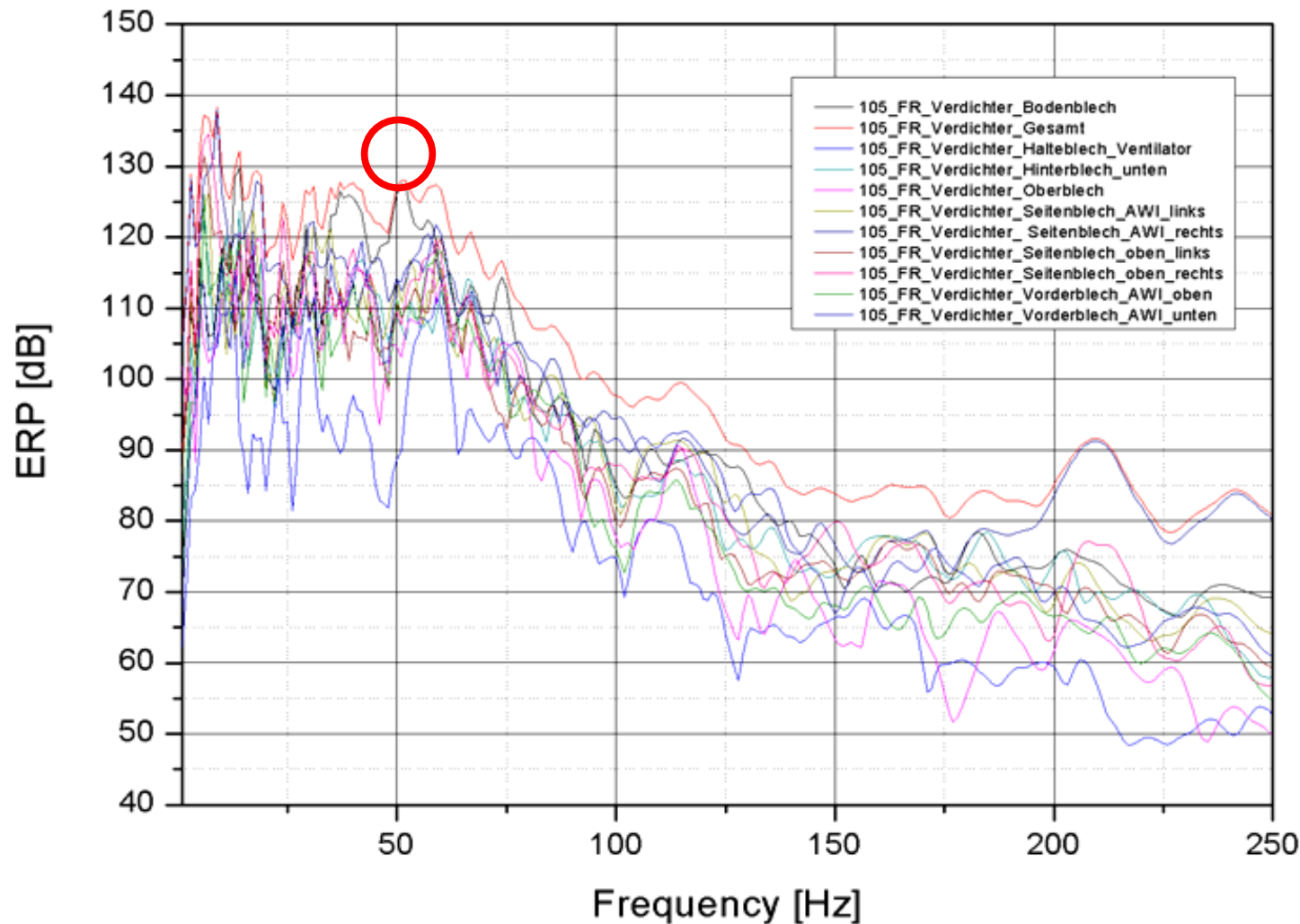
- Die Eigenwert-Analyse liefert eine sehr hohe modale Dichte
- Alleine im Bereich von 0 – 100Hz sind mehr als 500 Eigenwerte vorhanden
- Entscheidende Moden können hier nicht identifiziert werden

Frequency Response Strukturmodell



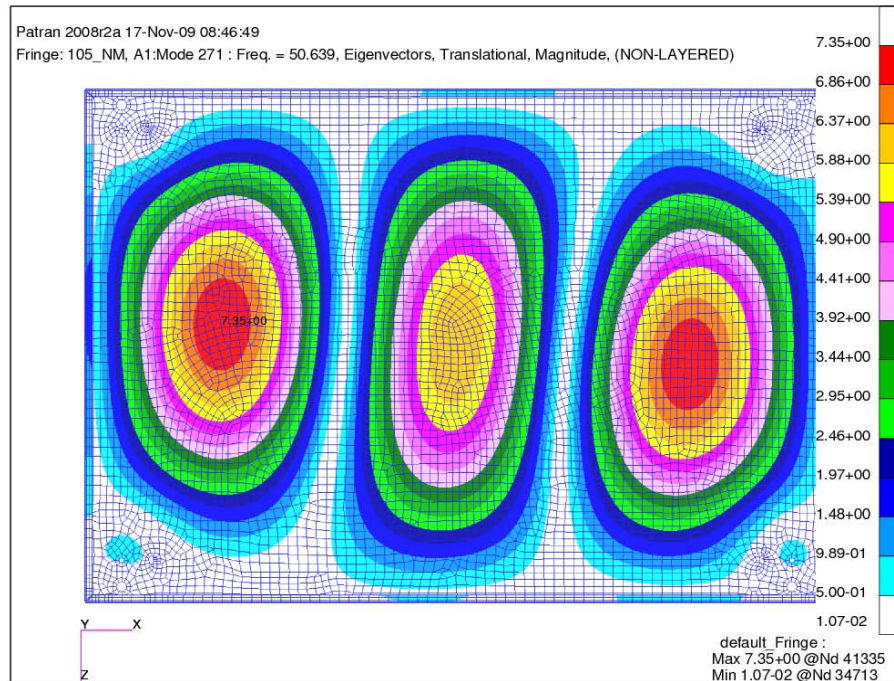
- SOL 111, für den Freq. Bereich von 0 – 500Hz unter Verwendung von ACMS
- Bei 50Hz, liefert das Bodenblech für alle drei untersuchten Anregungen die max. Verformung der Außenbleche

Equivalent Radiated Power



- ERP liefert die abgestrahlte Schallleistung bei einem Abstrahlungsgrad von 1 für User definierte Panels
- Ermöglicht ein Ranking einzelner Flächen bzw. Bauteile
- Im Frequenz Bereich von 50Hz, dominiert das Bodenblech

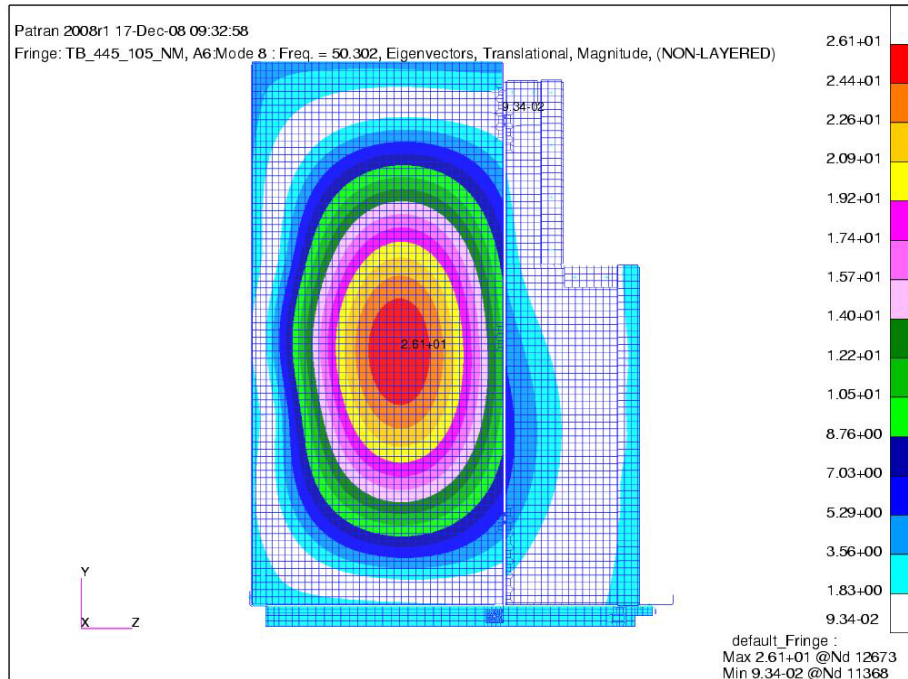
Modal Participation Factor für die Verformung des Bodenbleches bei 50 Hz



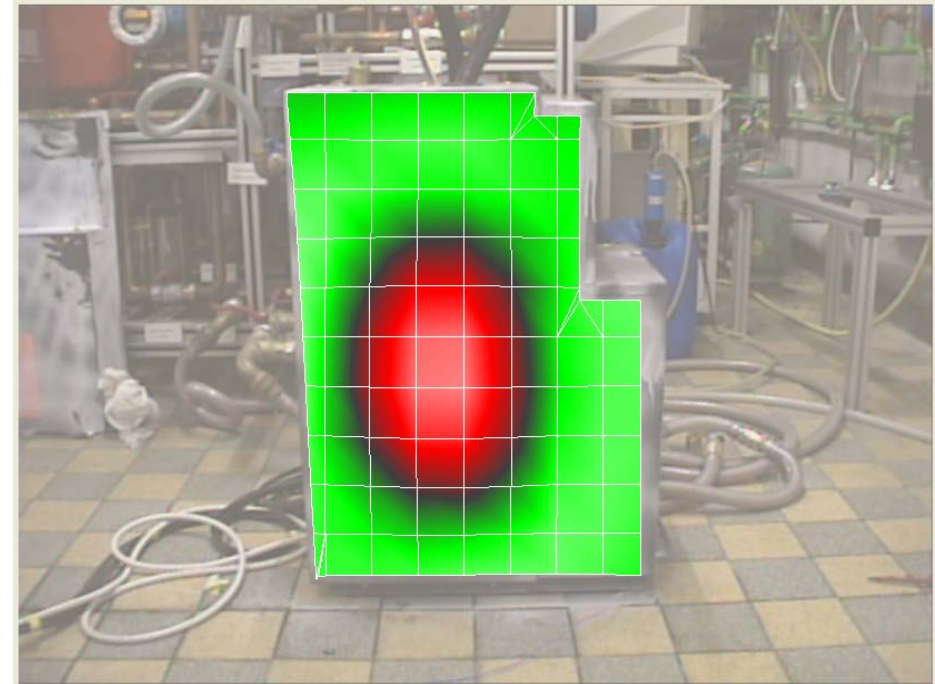
Mode ID	NATURAL FREQ (HZ)	MODAL MAGNITUDE	RESPONSE PHASE	MODAL FRACTION
271	50.6	0.018	330.2	0.54
262	48.9	0.006	340.4	0.18
265	49.4	0.005	348.2	0.14
273	51.1	0.002	319.7	0.05
279	52.1	0.006	247.9	0.05
281	52.3	0.003	255.6	0.04
257	46.7	0.001	315.6	0.03

- Der Modal Participation Faktor dient zum identifizieren der, für die Systemantwort verantwortlichen, Moden
- Es zeigt sich, daß insbesondere der Mode 271 maßgeblich das Antwortverhalten der Struktur bei 50Hz beeinflusst

Vergleich Rechnung mit Messung



Eigenmode bei 50 Hz

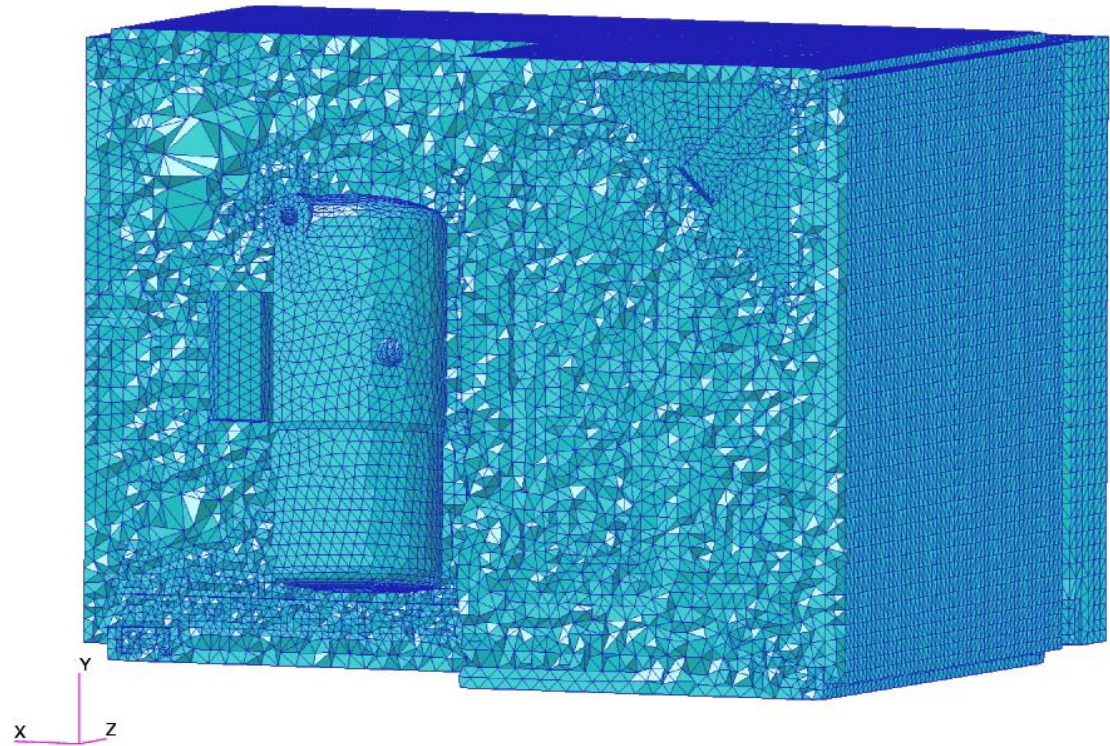


Laservibrometermessung bei 50 Hz

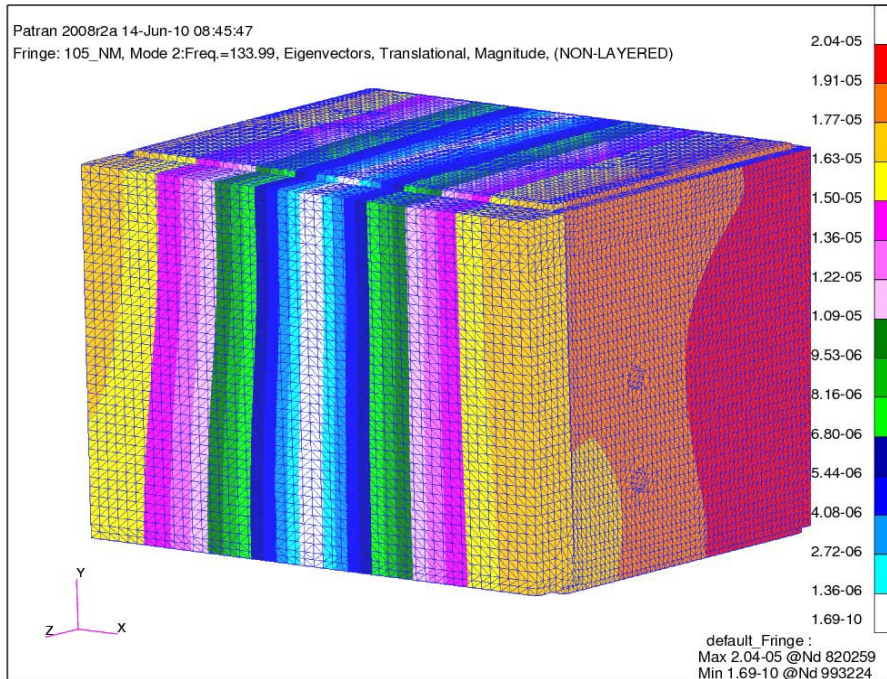
- Die berechneten Eigenformen stimmen gut mit der durchgeführten Laservibrometermessung überein

Interior Acoustics

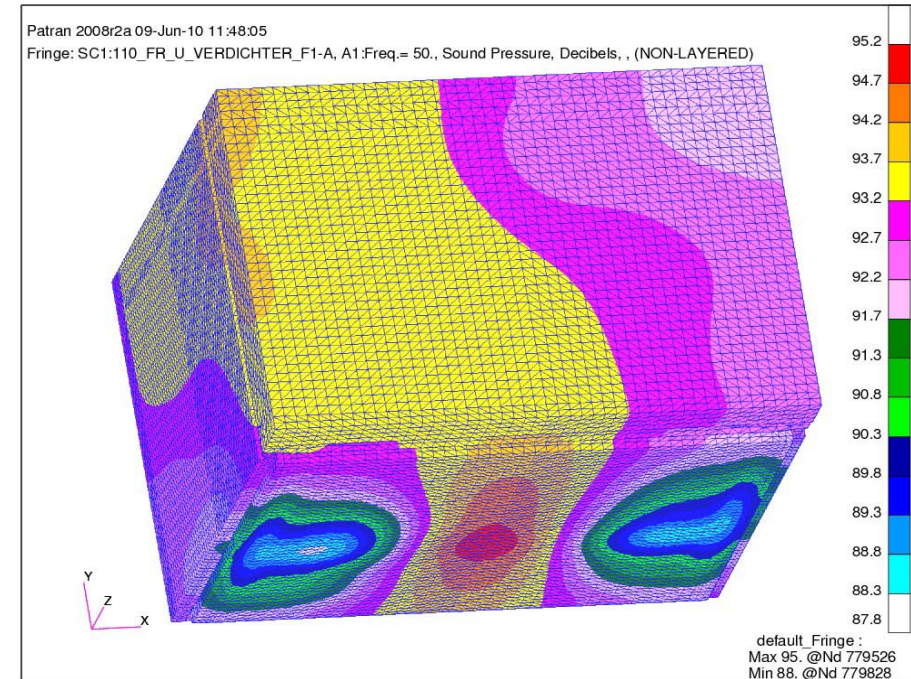
- Interior Acoustics
 - In Nastran schon länger verfügbar
 - Nur für Bounded Acoustic Domains
 - Voll gekoppelte Struktur–Fluid Analyse
- Erweiterung des Strukturmodells um
 - ca. 2.6 Mio Solid Fluid–Elemente
 - SOL 111, mit ACMS
 - Frequenzbereich von 0 - 500Hz
- Aufwendige Vernetzung
 - Viele, nicht zu vernachlässigende Einbauteile
 - Kein automatisches Vernetzen
 - Beidseitig benetzte Flächen



Interior Fluid



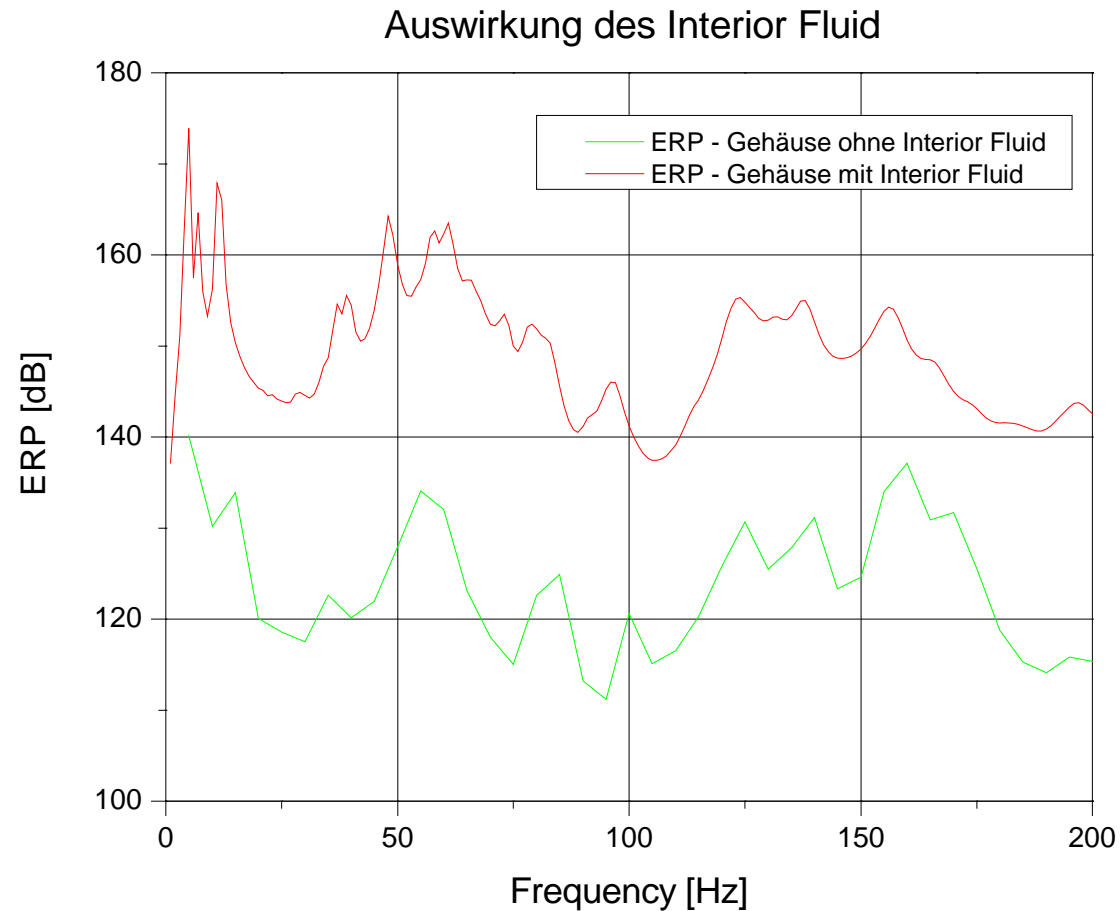
Eigenmode des Fluid



Druck (dB) im Fluid

- Der erste Eigenwerte des Fluids liegt mit 134Hz deutlich über 50Hz
- Modellparticipation Faktor für Fluidmoden aber auch für den Druck an einem Fluidknoten

Einfluss des Interior Fluid



- Mit interen Fluid, liegt der ERP-Wert ca. 20dB über den ohne
- Das äußere Gehäuse wird deutlich durch den Luftschall im inneren angeregt

Panalparticipationfaktor

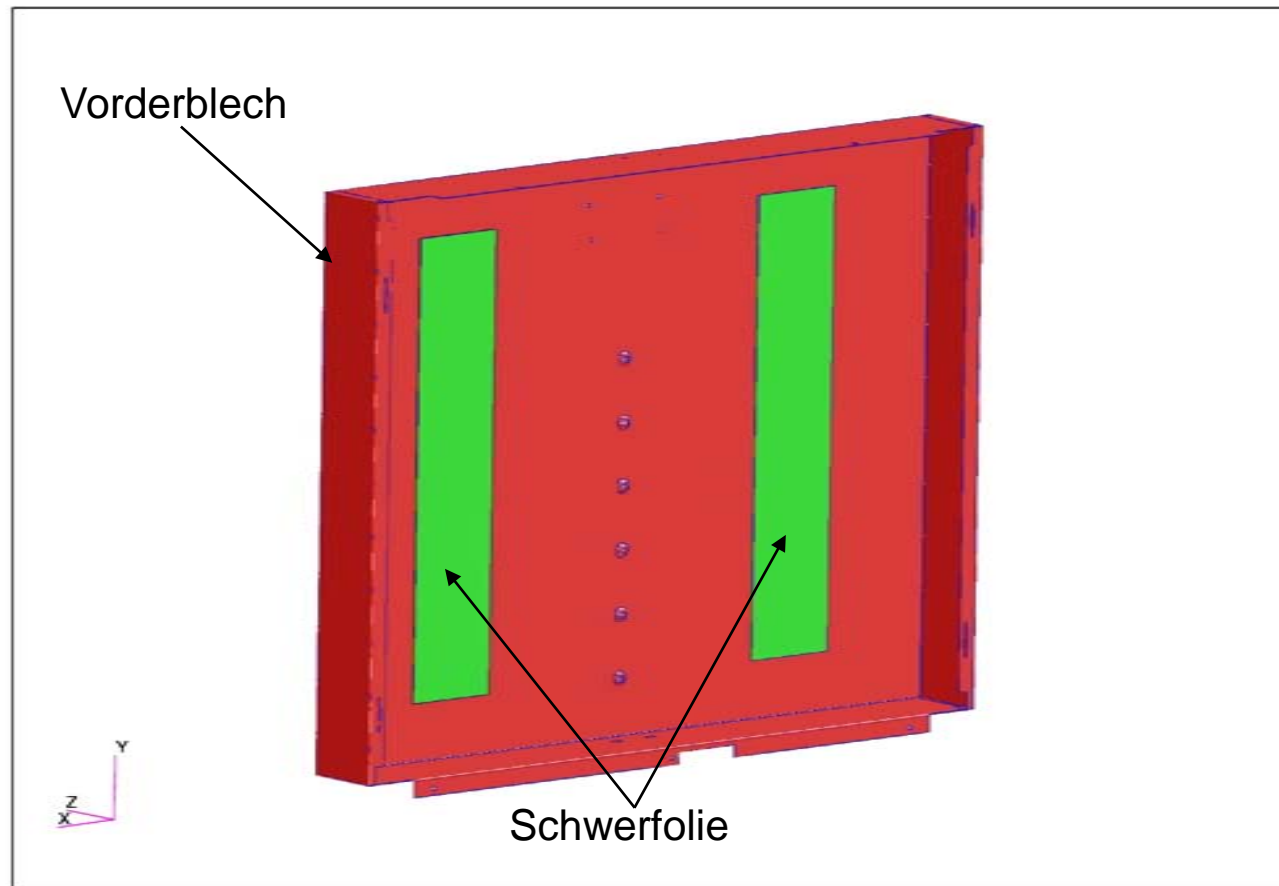
ACOUSTIC PANEL PARTICIPATION FACTORS

GRID POINT = 3725, TOTAL RESPONSE (R/I) = -1.15015E-07 / 4.65611E-08, (M/P) = 1.24082E-07 / 157.96
 LOAD FREQUENCY = 5.00000E+01, (SUBCASE 1, DLOAD = 2)
 MAXIMUM PANEL RESP = 1.62596E-07 FOR PANEL = UNTEN, SORTKEY = FRACTION, SORT = ABS VALUE DESCENDING,
 FILTER = 1.00000E-03

PANEL NAME	PANEL RESPONSE		PANEL RESPONSE		PROJECTION REL.		PANEL SCALED RESPONSE	
	REAL	IMAGINARY	MAGNITUDE	PHASE	MAGNITUDE	PHASE	FRACTION	MAGNITUDE
UNTEN	-1.49160E-07	6.47198E-08	1.62596E-07	156.54	1.62546E-07	-1.42	1.30999E+00	9.99694E-01
VORNE	1.42834E-08	-5.87384E-09	1.54440E-08	337.65	-1.54438E-08	179.69	-1.24464E-01	-9.49827E-02
LINKS	1.42618E-08	-5.86996E-09	1.54226E-08	337.63	-1.54223E-08	179.67	-1.24291E-01	-9.48508E-02
RECHTS	3.33549E-09	-3.95330E-09	5.17244E-09	310.16	-4.57521E-09	152.19	-3.68724E-02	-2.81385E-02
HINTEN	3.32466E-09	-3.95082E-09	5.16356E-09	310.08	-4.56424E-09	152.12	-3.67840E-02	-2.80710E-02
OBEN	-1.06885E-09	1.49045E-09	1.83409E-09	125.65	1.55003E-09	-32.32	1.24920E-02	9.53303E-03

- Durch Auswertung der Panel Participation Factors erhält man schnell eine Übersicht welches Bauteil (Panel) für einen bestimmten Druck, zu einer gewählten Frequenz, an einem beliebig wählbaren Knoten verantwortlich ist
- Das Bodenblech strahlt sowohl nach innen als auch nach außen ab. Dadurch werden zusätzliche Außenbleche angeregt

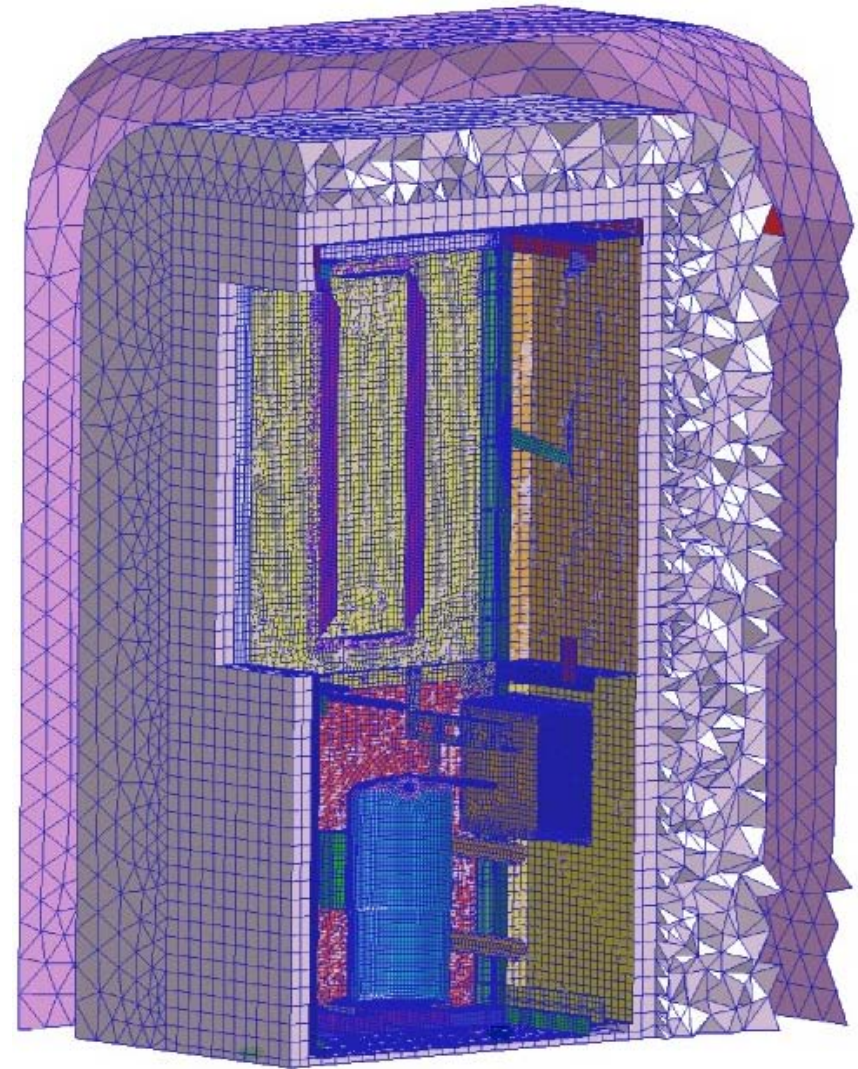
Berücksichtigung von Sekundärmaßnahmen



- Schallabsorbierendes Material => CAABSF
- Schwerfolie => Nonstructural Mass
- Körperschall Dämpfung => PARAM, G
- Fluid Dämpfung => PARAM, GFL

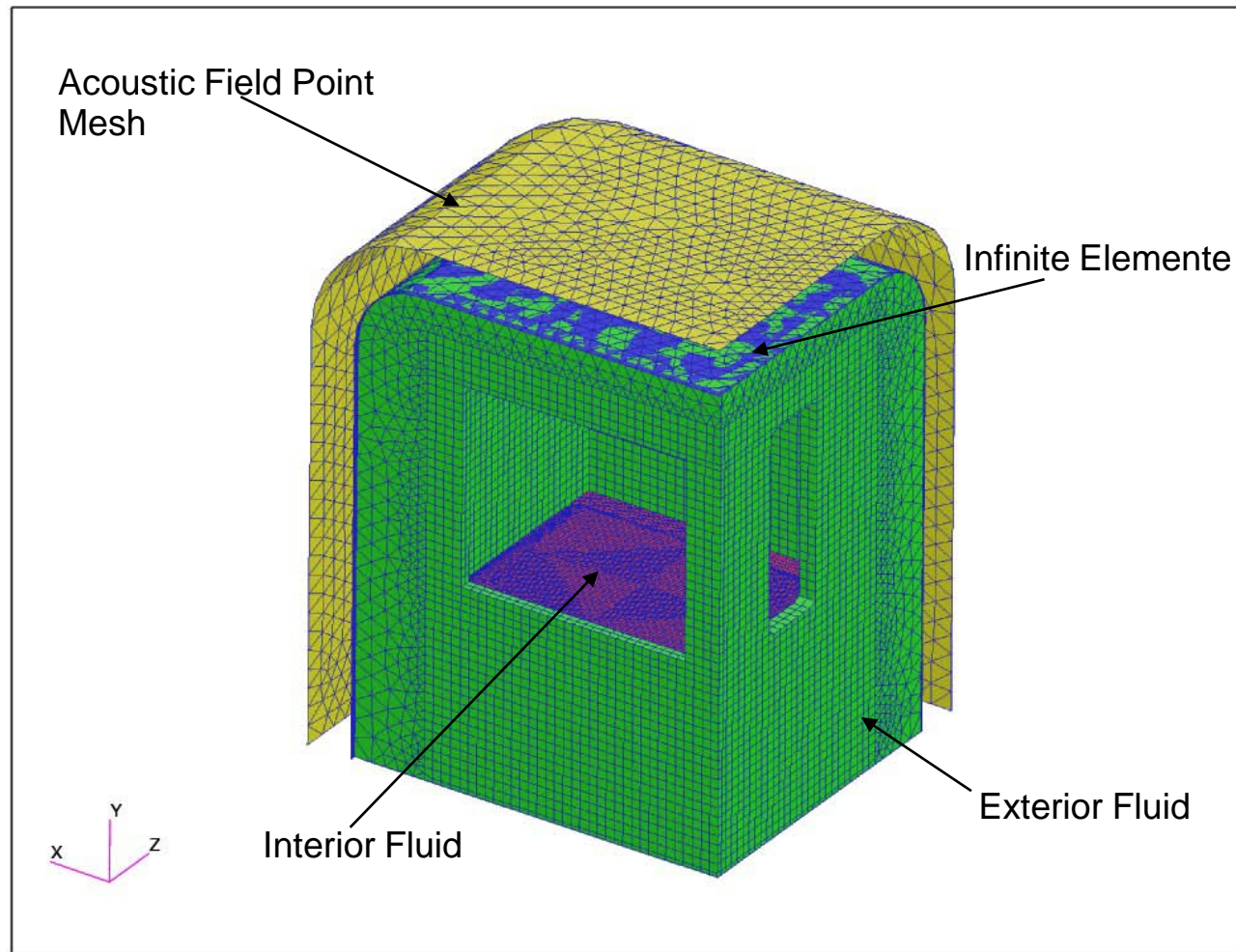
Exterior Acoustics

- Exterior Acoustics seit MD Nastran 2006 verfügbar
 - Akustische Analysen im Frei-Feld
 - Korrekte nicht reflektierende Randbedingung
 - Schalldruck, -Intensität und -Leistung im Fernfeld
 - Abgestrahlte Schallleistung von benetzten Flächen
 - Vollgekoppelte Fluid–Struktur Analyse
- Erweiterung des Strukturmodells mit
 - ca. 90.000 Solid Fluid Elementen
 - Infiniten Elementen
 - Acoustic Field Point Mesh
 - Sol111, mit ACMS
 - Das exterior Fluid muß direkt gelöst werden
 - Frequenz–Bereich 0 - 500Hz



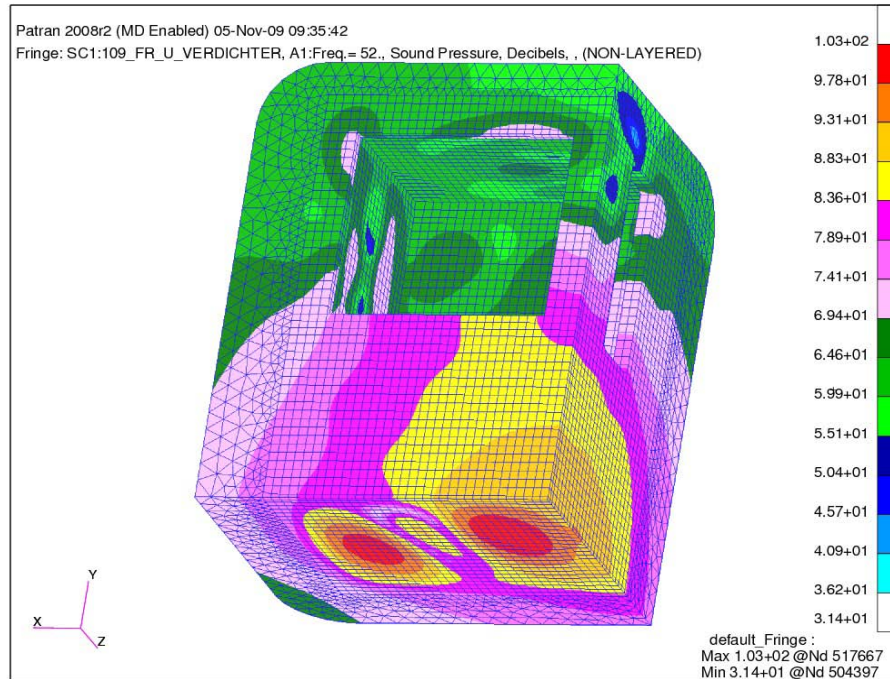
Eckaufstellung

Exterior und Interior Modell bei Eckaufstellung

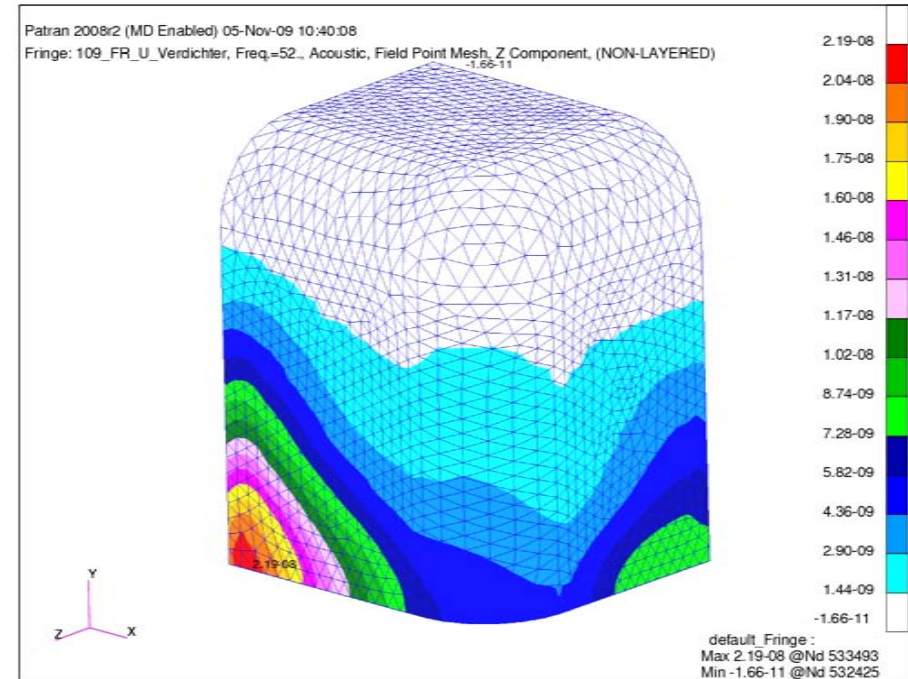


- Es können mehrere AFPM im Fernfeld verwendet werden

Ergebnisse Exterior Akustik



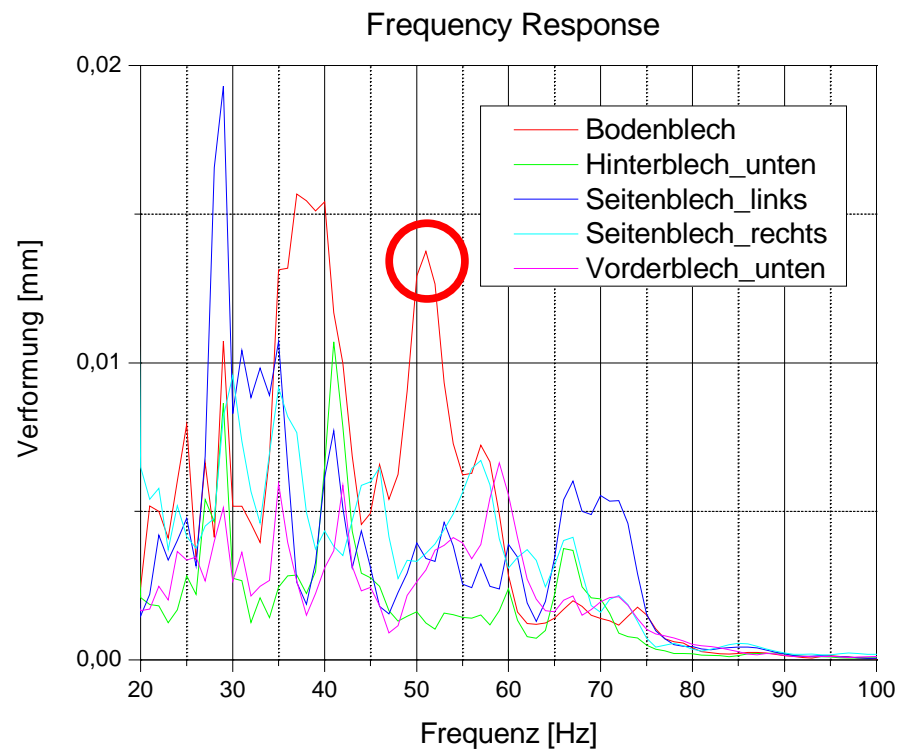
Druckverteilung, Ansicht von hinten



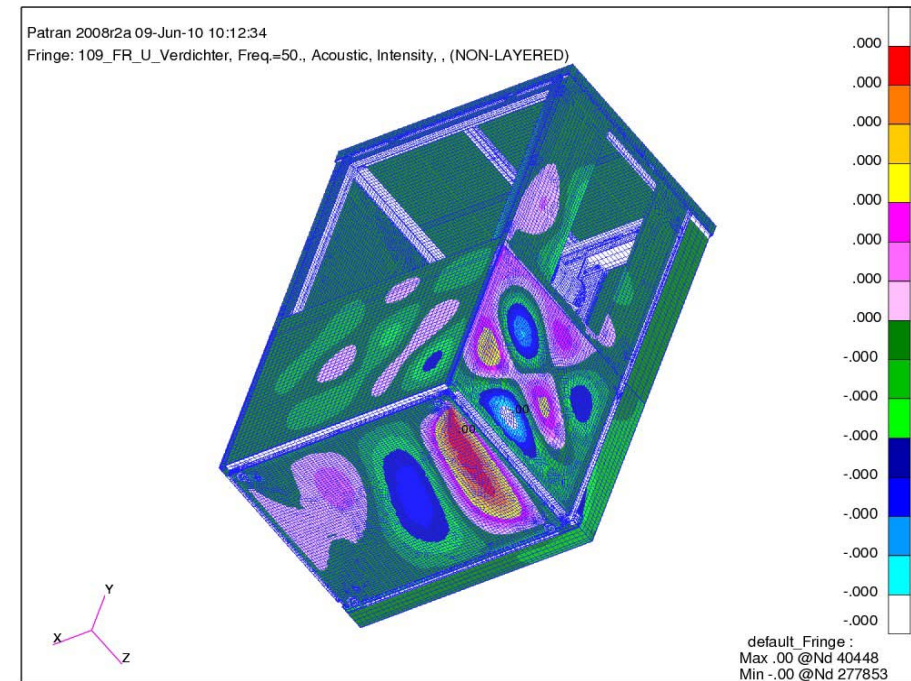
Acoustic Field Point Mesh

- Hohe Druckamplitude zwischen Bodenblech und Fußboden
- Die Intensität auf dem AFPM zeigt, dass die meiste Energie aus dem Spalt zwischen Maschine und dem Boden bzw. Wänden kommt.

Ergebnisse Exterior Akustik



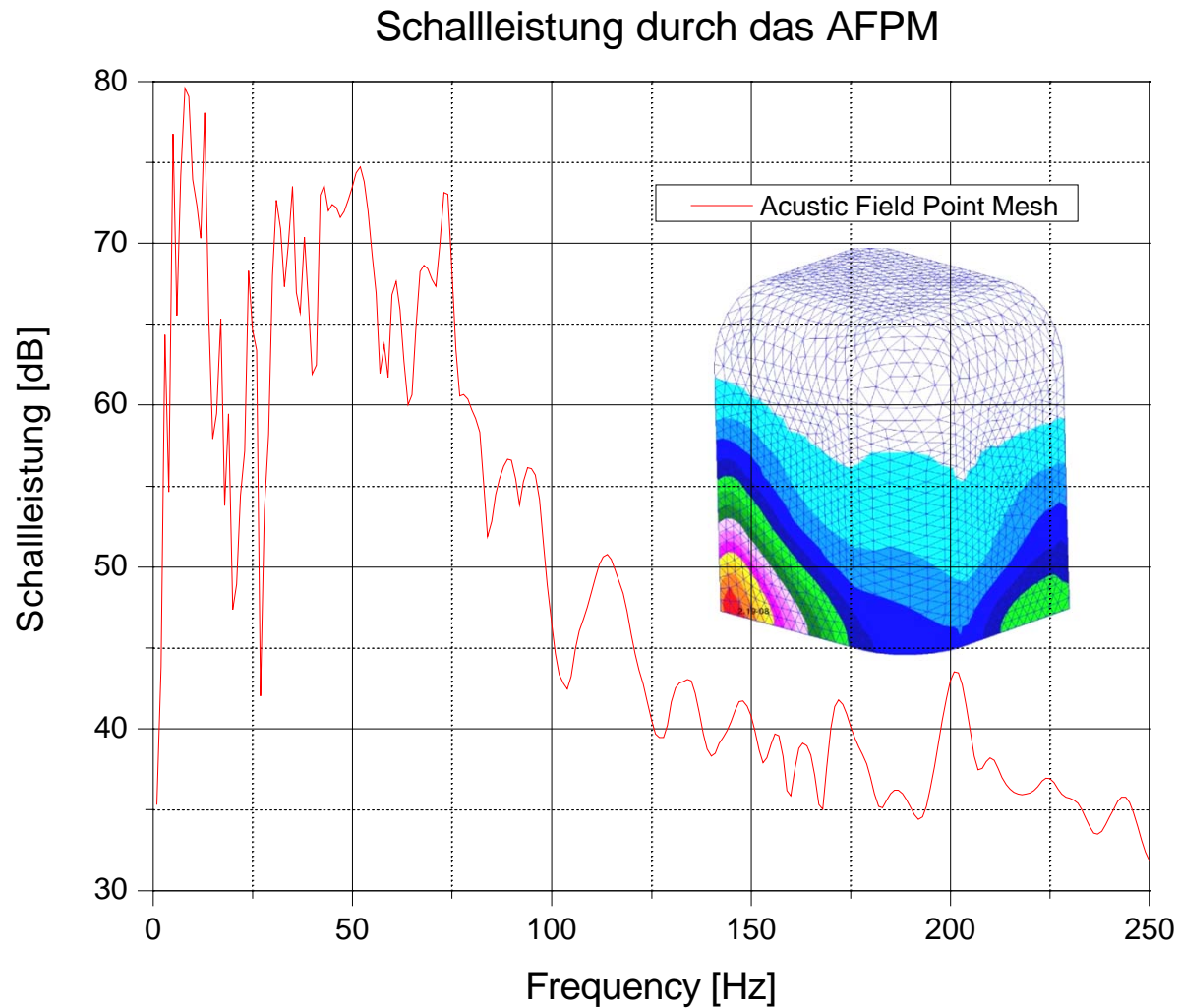
Abgestrahlte Schallleistung



Schallintensität

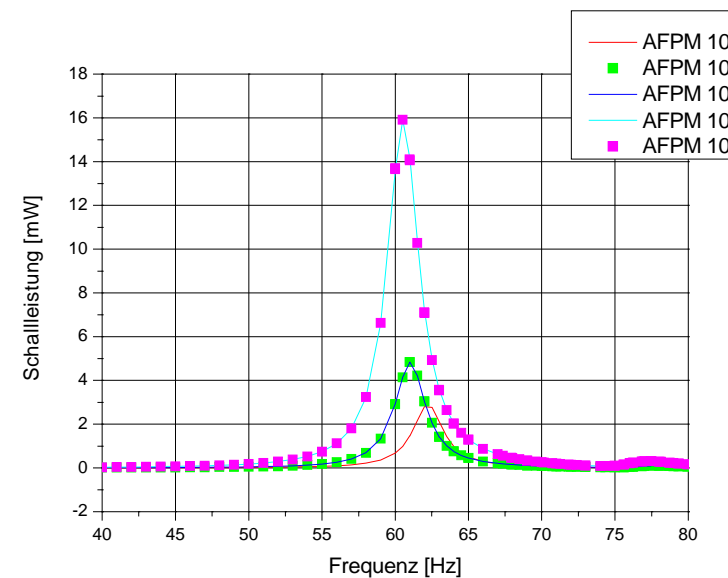
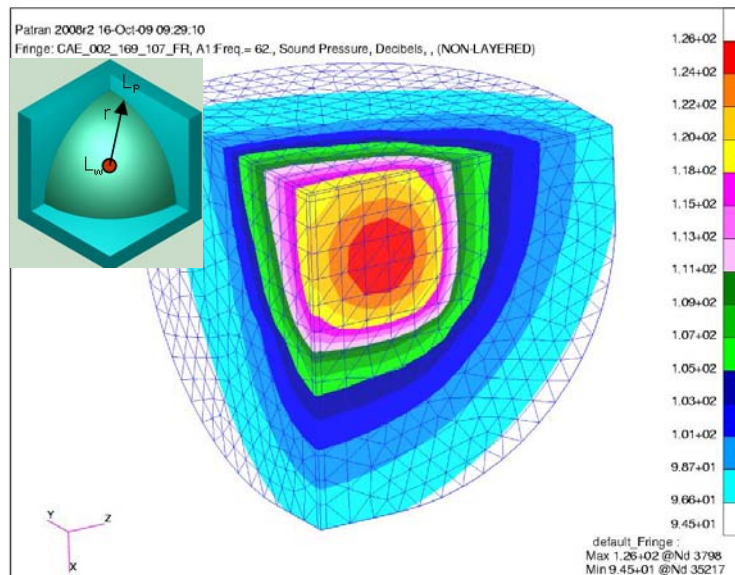
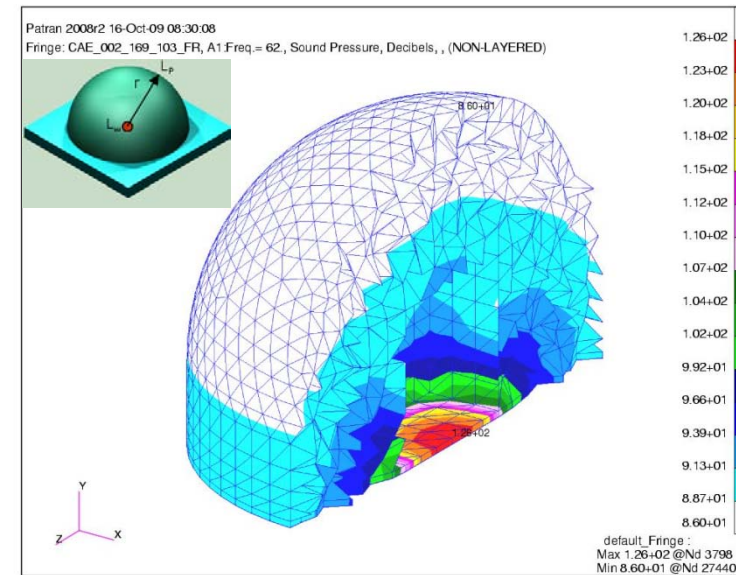
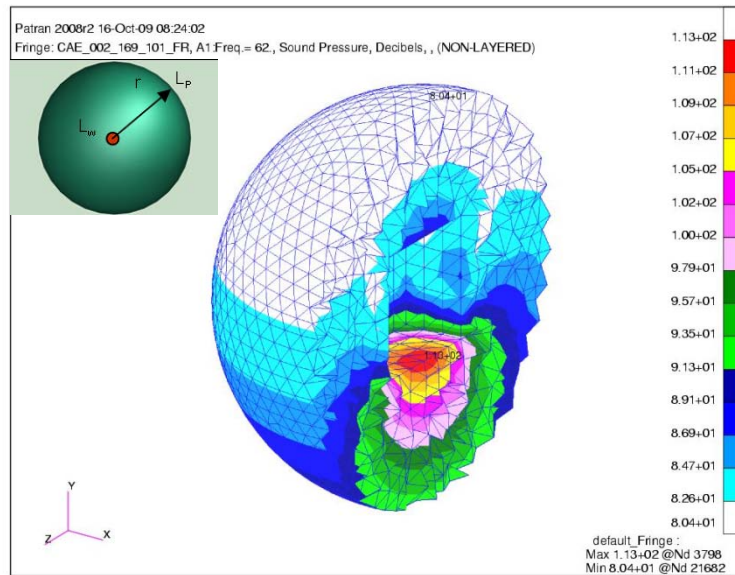
- Abgestrahlte Schallleistung der benetzten Flächen bestätigt die Dominanz des Bodenblech bei 50Hz
- Die Schallintensität auf den benetzten Flächen zeigt die lokale Verteilung der abgestrahlten Leistung

Ergebnis Acoustic Field Point Mesh



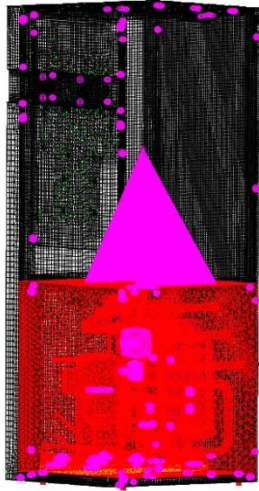
- Die Schallleistung durch das AFPM kann mit der Messung nach Norm verglichen werden.

Einfluss der Aufstellungssituation

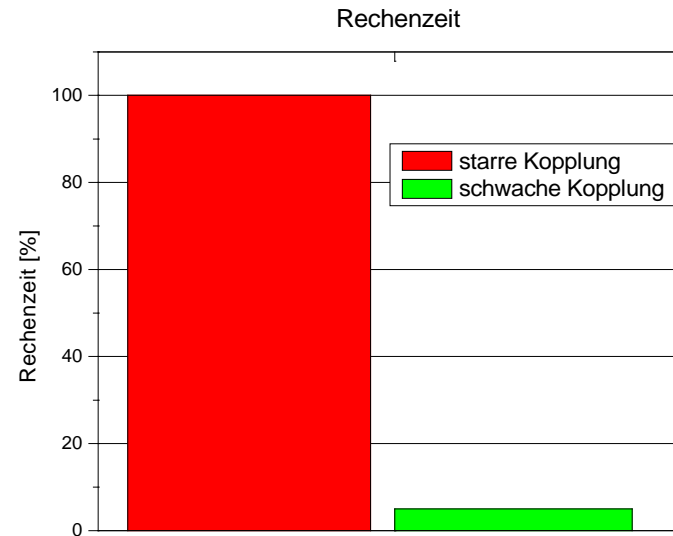


- Die Aufstellungssituation hat großen Einfluss auf die abgestrahlte Schallleistung

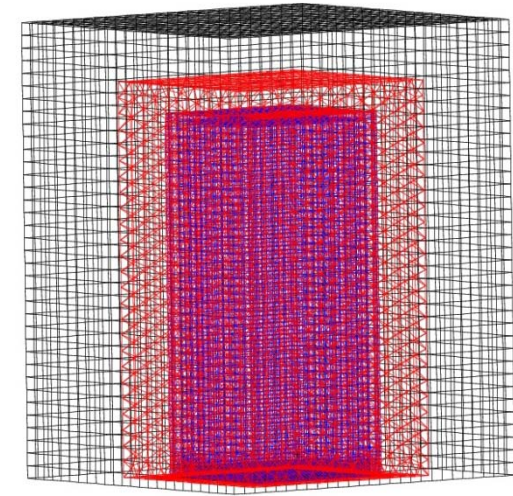
Schwache Kopplung



Structure + Interior Fluid



Rechenzeiten



Exterior Fluid

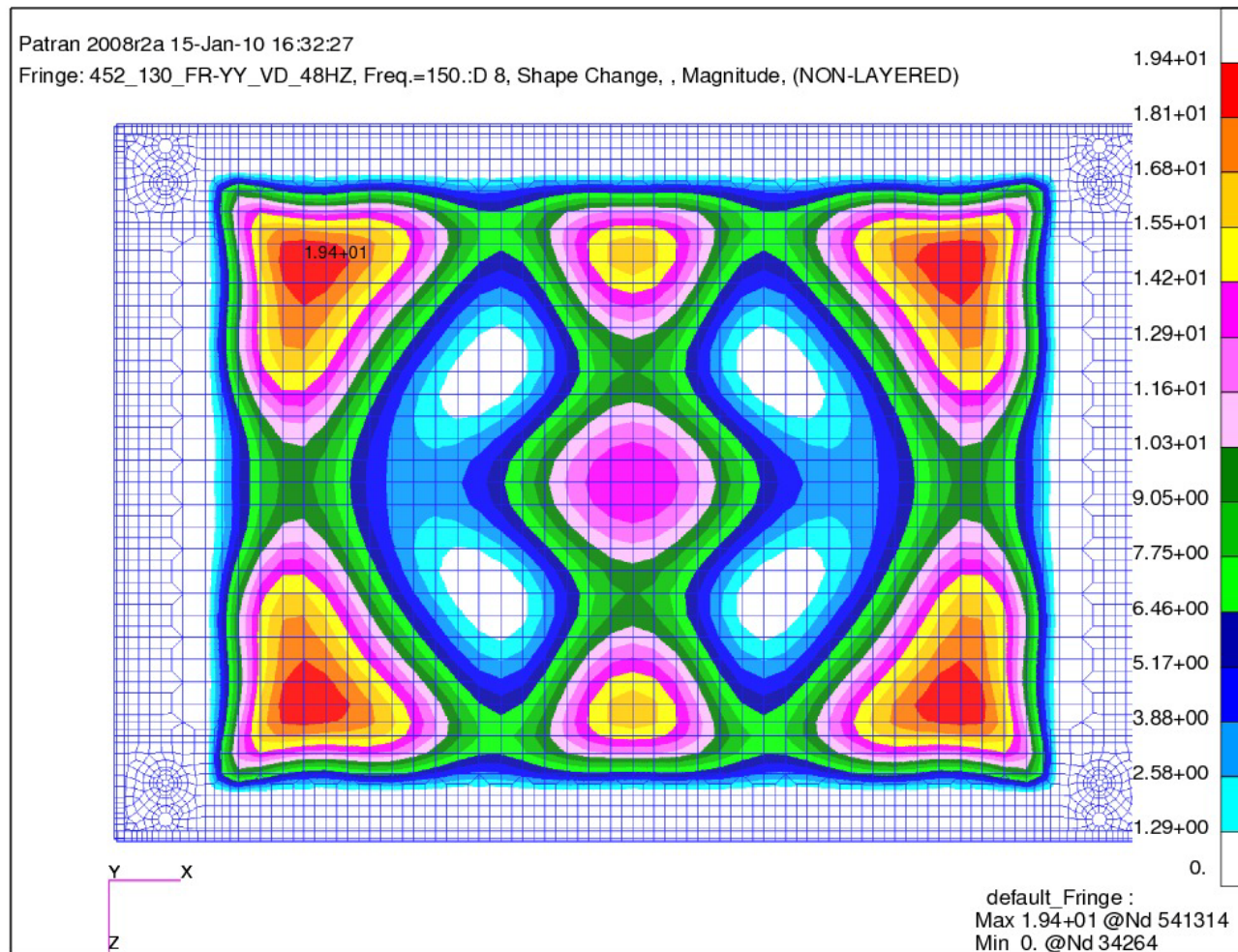
- Da das Exterior Fluid nicht modal behandelt werden kann ergaben sich, mit der in Nastran implementierten starken Kopplung, zum Teil sehr lange Rechenzeiten
- In der Praxis gibt es selten eine Rückkopplung des ext. Fluids auf die Struktur
- Bei der schwachen Kopplung wirkt nur die Struktur auf das Fluid
- Mittels DMAP und Fortran wurde die schwache Kopplung mit Nastran realisiert
- Damit reduziert sich die Rechenzeit auf 5% gegenüber dem stark gekoppelten Ansatz

Sickenoptimierung des Bodenbleches mit SOL 200

- Um die Rechenzeit für die einzelnen Design Cycle deutlich zu reduzieren, wird von dem Gesamten Gerät ein Externes Super – element erzeugt
- Nur das zu optimierende Bodenblech verbleibt im Residuum
- Shapebasisvektoren werden durch zusätzliche Nastran Rechnungen erzeugt
- Die optimierte Form soll symmetrisch sein und zusätzliche Fertigungsrestriktionen berücksichtigen

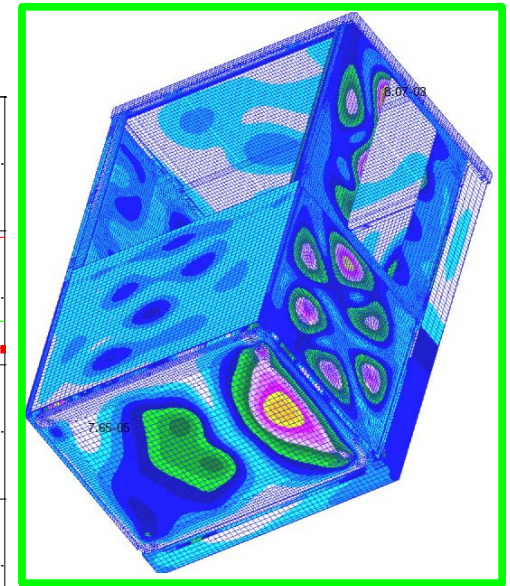
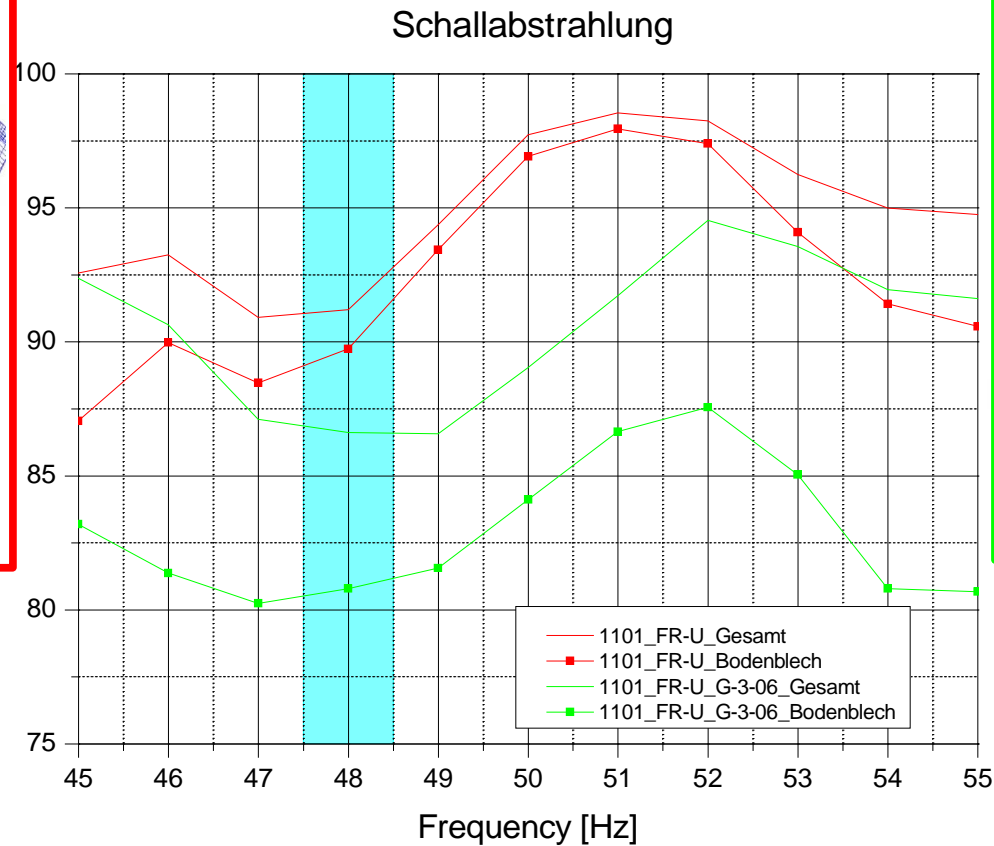
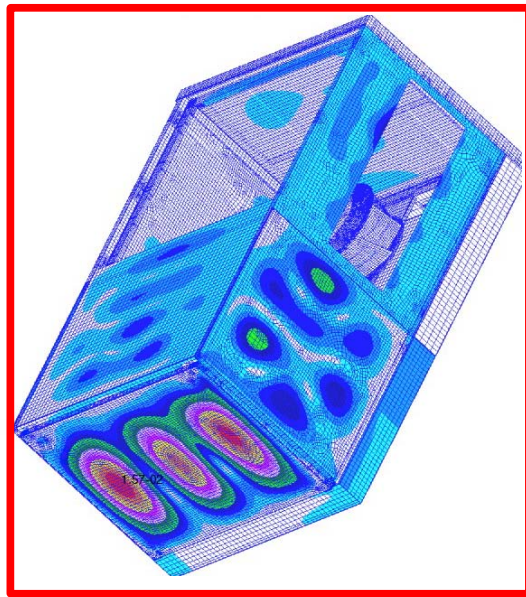


Sickenoptimierung des Bodenbleches mit SOL200



- Als Zielfunktion wurde eine Kombination der Verformung am Bodenblech bei 48, 96 und 144Hz für alle drei Anregungen definiert
- ERP steht zur Zeit leider noch nicht als Zielfunktion zu Verfügung

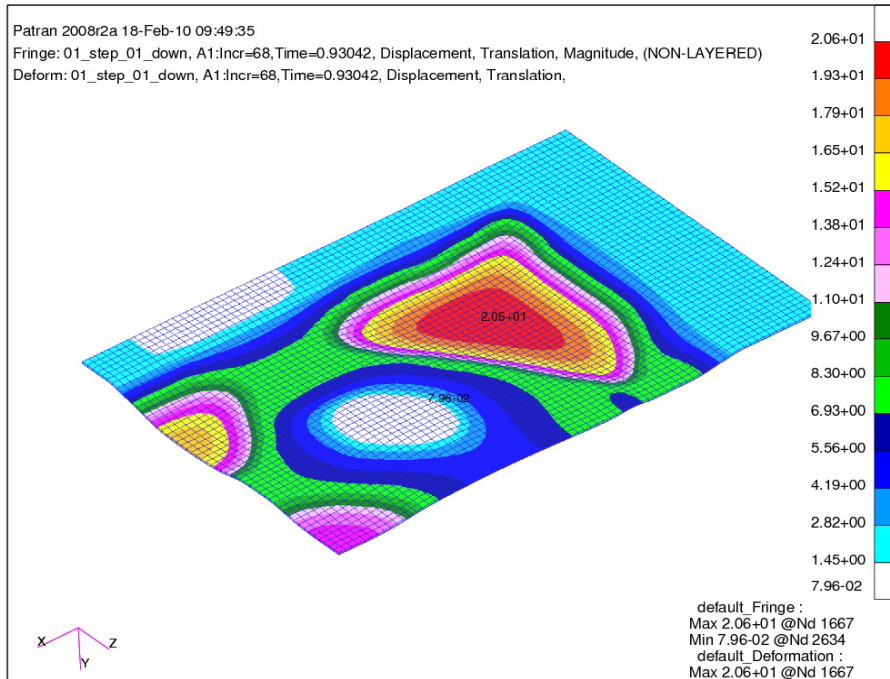
Schallabstrahlung des optimierten Bodenblech



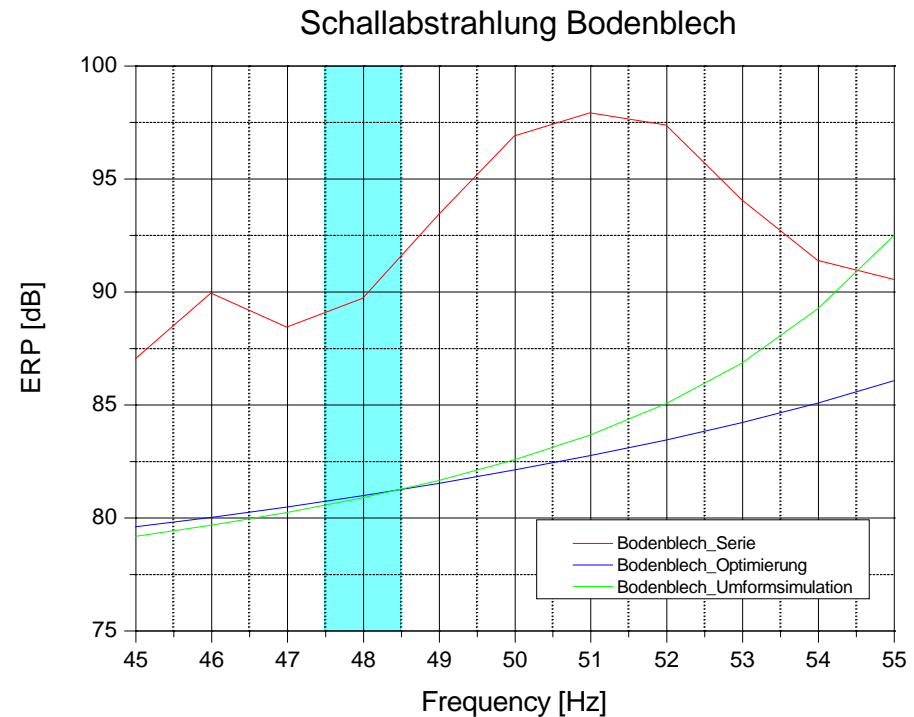
- Bei 48Hz konnte die abgestrahlte Schalleistung des Gesamtgerätes (rot) um ca. 5dB reduziert werden
- Die abgestrahlte Schalleistung des Bodenblech (grün) verringert sich um ca. 9dB

x_HofM 13.01.2010

Umformsimulation der Prototypenfertigung mit SOL400



Bodenblech nach dem Umformen



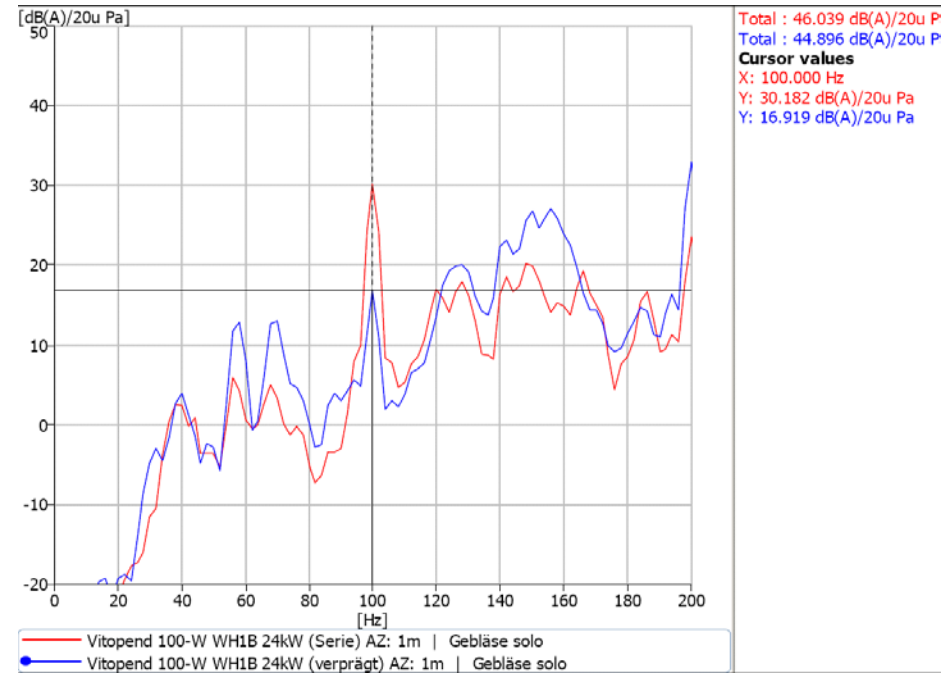
Schallabstrahlung Bodenblech

- Die Umformsimulation zur Herstellung eines Prototypen wird mit einer aus der Optimierung abgeleiteten Matrize durchgeführt
- Das Blech aus der Umformsimulation liefert bei 48Hz ein vergleichbares Ergebnis wie das Bodenblech aus der Optimierung
- Dieser Prototyp steht zur Zeit noch nicht zu Verfügung

Wirksamkeit der Verprägung in einem Vorgänger Projekt



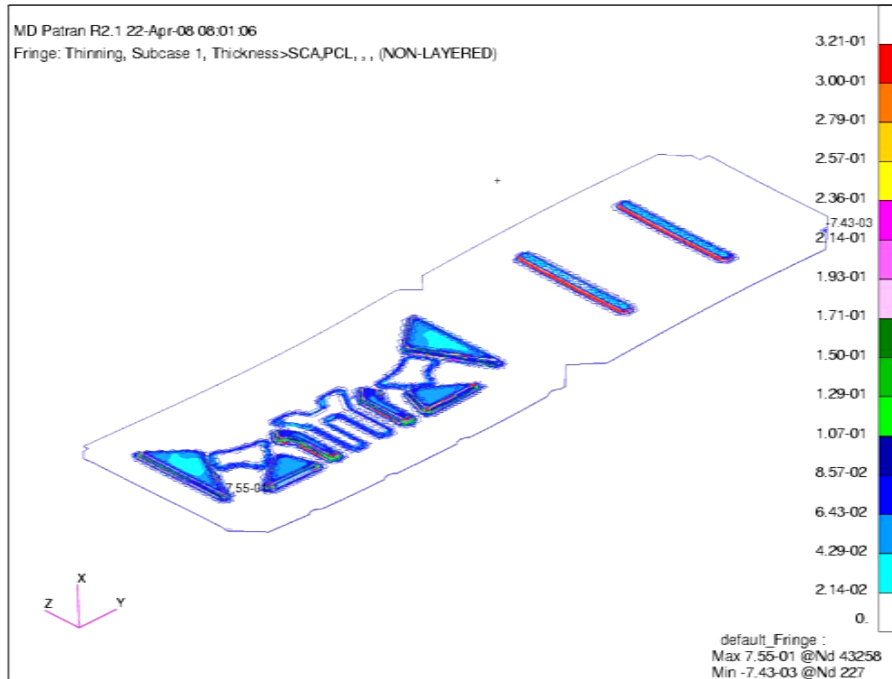
Verprägungen aus Optimierung



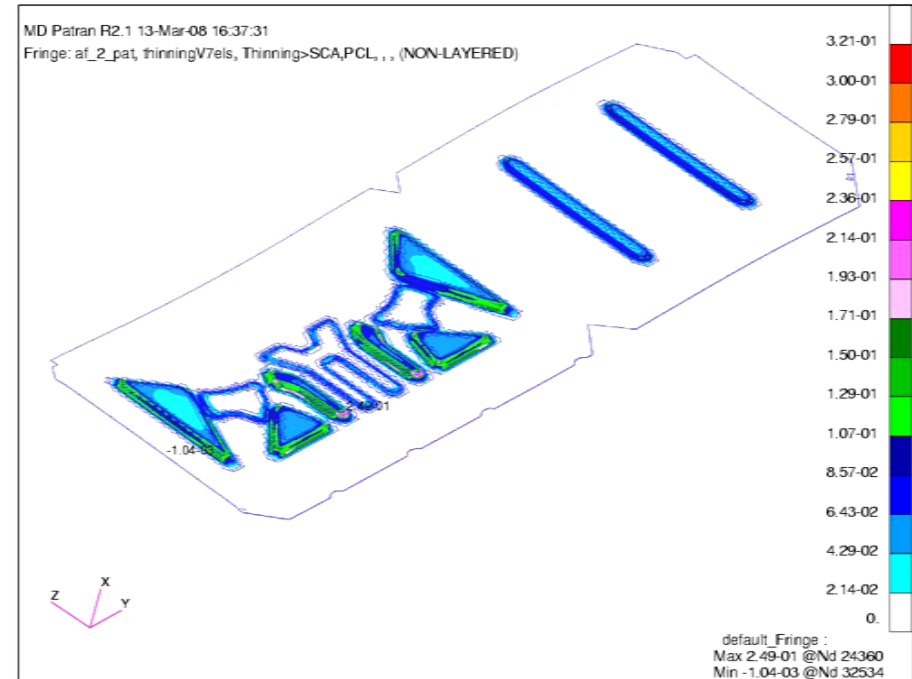
Beschleunigungsmessung

- Die Messungen zeigen, daß aufgrund der Verprägung die Beschleunigung bei 100Hz um ca. 13dB gesenkt wurde
- Das entwickelte Blech wird in großer Stückzahl erfolgreich in Serie eingesetzt

Umformsimulation Serienwerkzeug mit SOL 700



Wandstärkenausdünnung erste Version



Wandstärkenausdünnung endgültigen Version

- Es wurden 15 unterschiedliche geometrische Varianten untersucht
- Die max. Ausdünnung konnte von 75% auf 25% reduziert werden
- Das Werkzeug hat direkt beim ersten Probepressen i.O. Teile erzeugt

Zusammenfassung

- Das Bodenblech wurde als das bestimmende Bauteil bei 50Hz identifiziert.
- Die Berechnung mit interior Fluid war nötig, um den Einfluß des Luftschalls auf die äußeren Blech zu sehen
- Aus der Untersuchung mit dem exterior Fluid konnte die Aufstellsituation als ein wichtiger Punkt identifiziert werden
- Durch die Optimierung des Bodenbleches konnte die abgestrahlte Schallleistung des Gesamtgerätes um ca. 5dB gesenkt werden.
- Eine Umformsimulation führte zu einer Matrizenform, die auf Anhieb die gewünschte Form in der Serie lieferte