

ArtemiS SUITE  
Project

Code 50420

# APR 420 Modal Analysis Project

Modal Analysis Project von ArtemiS SUITE ermöglicht es, dynamisches Verhalten von Simulationen oder Testobjekten ohne umfangreiche Fachkenntnisse interaktiv, einfach und effizient zu untersuchen.

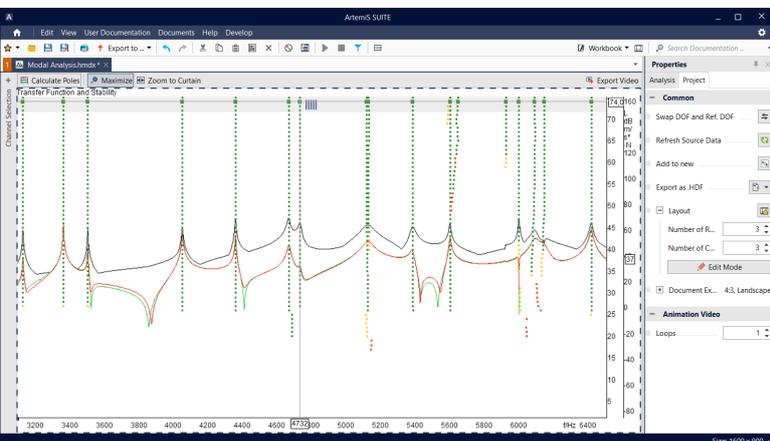
# ÜBERBLICK

## APR 420 Modal Analysis Project

Code 50420

Modal Analysis Project ist Teil des Strukturanalyse-Pakets von ArtemiS SUITE und ermöglicht das schnelle, interaktive Untersuchen der Eigenschwingungen von Objekten, beispielsweise auf der Basis einer Impulshammer-Messung (APR 430 ist erforderlich). Das Projekt verbindet die übersichtliche, intuitive Benutzeroberfläche mit einem hohen Maß an Funktionalität. Alle notwendigen Bereiche sind in die Oberfläche eingebettet, und alle Analysen bleiben jederzeit im Blick.

Das Herzstück des Projekts ist das Stabilitätsdiagramm. Auf Knopfdruck werden die charakteristischen Pole aus den gemessenen Übertragungsfunktionen ermittelt, das Resultat im Stabilitätsdiagramm dargestellt und die synthetisierten Übertragungsfunktionen mittels Curve Fitting erstellt.



## HAUPTMERKMALE

- › Übersichtlich strukturierte Benutzeroberfläche mit intuitiver Bedienung
- › Stabilitätsdiagramm / Curve Fitting
  - › Berechnen der Pole mittels LSCF-Verfahren (Least Squares Complex Frequency)
  - › Automatisches Auswählen der Modellgröße mit künstlicher Intelligenz (Artificial Intelligence, AI)
  - › Darstellen der berechneten Pole als Punkte mittels Farbkodierung zur Bewertung der Polstabilität
  - › Berechnen synthetisierter Übertragungsfunktionen mittels Curve Fitting
  - › Interaktives Optimieren des Stabilitätsdiagramms durch Einstellen der Pole, der Modellgröße sowie der Stabilitätskriterien
- › Interaktives Animieren aller Modellpunkte oder einzelner Messgruppen in 3D- oder 2D-Animationen
- › Erkennen von Mustern und Untersuchen interessanter Frequenzen direkt im Diagramm
- › Berechnen der MAC-Matrix-Werte (Modal Assurance Criterion)
- › Anzeigen der Schwingungsformen-Tabelle (gespeicherte Schwingungsformen) mit MAC- und MPC-Werten (Modal Phase Collinearity)
- › Gruppierte Schwingungsformen-Tabelle zur Erkennung ähnlicher Schwingungsformen
- › Exportieren von animierten Schwingungsformen sowie von gemessenen oder synthetisierten Übertragungsfunktionen (eingestellte Zielgröße: Akzeleranz, Mobilität, dynamische Flexibilität)

## ANWENDUNGEN

- › Untersuchung der Schwingungen von Objekten
- › Schnelle Validierung von Simulationsergebnissen und Troubleshooting

# DETAILS

## Individuelle Bearbeitung

Im Bearbeitungs-Modus wählt der Anwender die Anzahl, die Größe und die Position der während der Analyse sichtbaren Elemente sowie die entsprechenden Inhalte individuell aus.

## Stabilitätsdiagramm / Curve Fitting / AI (Artificial Intelligence)

Das Stabilitätsdiagramm, das auf dem mithilfe der AI erweiterten LSCF-Algorithmus (Least Squares Complex Frequency) beruht, bildet das Herzstück des Modalanalyse-Projekts. Auf Knopfdruck werden die Übertragungsfunktionen in einem mehrstufigen Iterationsverfahren aus unterschiedlich vielen Polen (Eigenfrequenz und die zugehörige modale Dämpfung) approximiert. Der Anwender kann entscheiden, ob die Auswahl der Modellgröße manuell oder automatisch mithilfe von künstlicher Intelligenz (AI) vorgenommen werden soll.

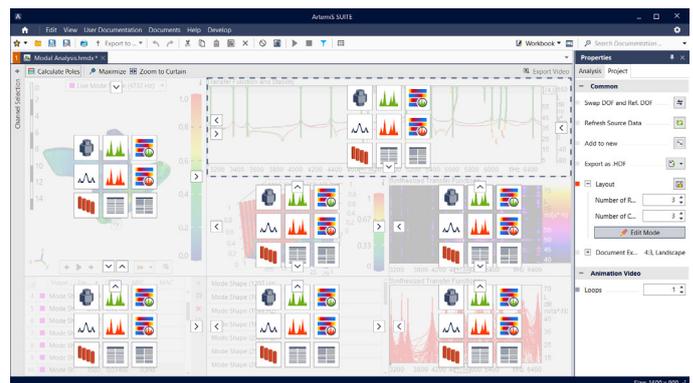
Auf der Basis stabiler Pole, die die geringsten Abweichungen von den jeweils über allen Iterationen gemittelten Frequenzen zeigen, synthetisiert der Algorithmus mittels Curve Fitting die Übertragungsfunktionen.

Nach dem Curve Fitting sind manuelle Anpassungen im Stabilitätsdiagramm schnell ausgeführt. Zur besseren Übersicht wird jeder Pol als farbkodierter Punkt angezeigt, wobei die Farben den Grad der Pol-Stabilität (rot, gelb, grün) symbolisieren.

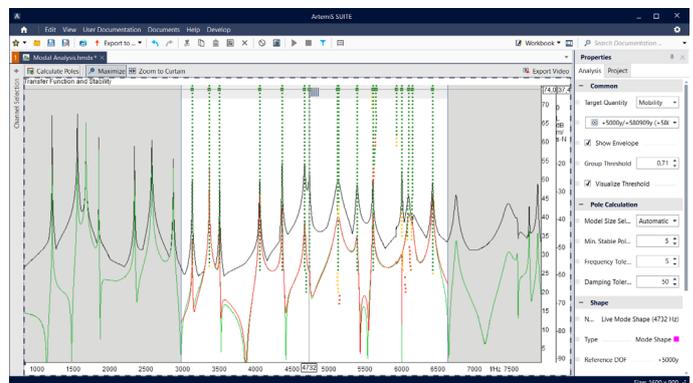
Die Auswahl der Pole kann bei Bedarf geändert werden, wobei auch eine Kombination von Polen aus unterschiedlichen Iterationen möglich ist. Pole können per Klick deaktiviert oder aktiviert werden, um auch synthetisierte Übertragungsfunktionen interaktiv zu optimieren.

Darüber hinaus ist es möglich, die maximale Anzahl der Iterationen, die minimale Anzahl stabiler Pole pro Schwingungsform sowie die Frequenz- und Dämpfungstoleranz individuell einzustellen. Die Einhüllende der Übertragungsfunktionen lässt sich ein- oder ausschalten.

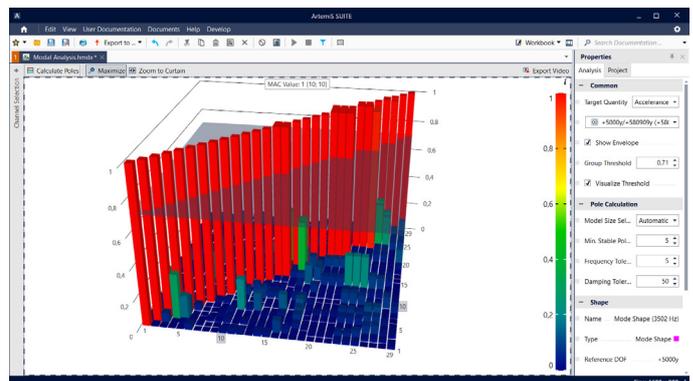
Nach der Berechnung der Pole werden die meisten Anpassungen live umgesetzt, ohne dass eine Neuberechnung notwendig ist.



Bearbeitungs-Modus: Die Anzahl und der Inhalt der Elemente lassen sich individuell konfigurieren, und es ist möglich, ein ausgewähltes Element zu maximieren.



Stabilitätsdiagramm: Im Stabilitätsdiagramm lassen sich die Grenzfrequenzen mit der Maus einstellen, wodurch der für das Curve Fitting zu berücksichtigende Datenbereich festgelegt wird.



Über die integrierte AutoMAC-Matrix erhält der Anwender einen schnellen Überblick über die Ähnlichkeit der Schwingungsformen aller gespeicherten Formen.

## 3D- und 2D-Animation

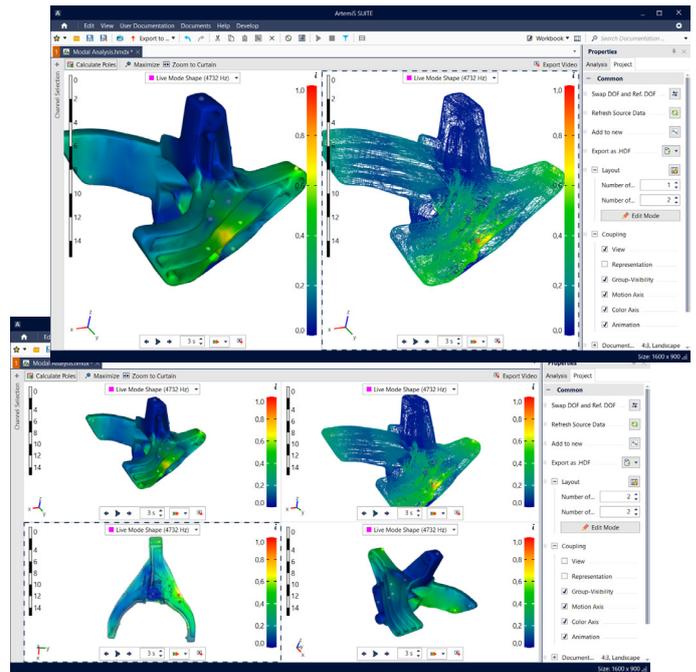
Die Animation visualisiert die in der gewählten Messpunktbibliothek enthaltenen Messpunkte und ein optional vorhandenes Modell, wobei auch mehrere Referenzen gleichzeitig berücksichtigt und animiert werden können. Dabei stehen verschiedene Optionen zur Animation zur Verfügung.

Wahlweise können alle Messpunkte eines bestehenden Modells oder nur die Modellpunkte, die zu derselben Messgruppe gehören, global interpoliert werden.

Um interessante Bereiche gezielt hervorzuheben, steht zusätzlich das Werkzeug Animationsschweif zur Verfügung. Während der Animation visualisiert es die Bewegung jedes in der Kanalauswahl gewählten Messpunkts in Form eines verblassenden Schweifs. Dies erleichtert es, die Bewegungsverläufe einzelner Messpunkte nachzuvollziehen.

Haben Anwender ihre Oberfläche so gewählt, dass mehrere Animations-Elemente angezeigt werden, können diese gekoppelt oder unabhängig voneinander wiedergegeben werden.

Die Animationen können als AVI (Video), PowerPoint, PDF oder als Bild (PNG, JPEG, TIFF, GIF) exportiert werden.



3D- und 2D-Animation: Hier stehen verschiedene Darstellungsmodi zur Auswahl.

## Schwingungsformen-Tabelle

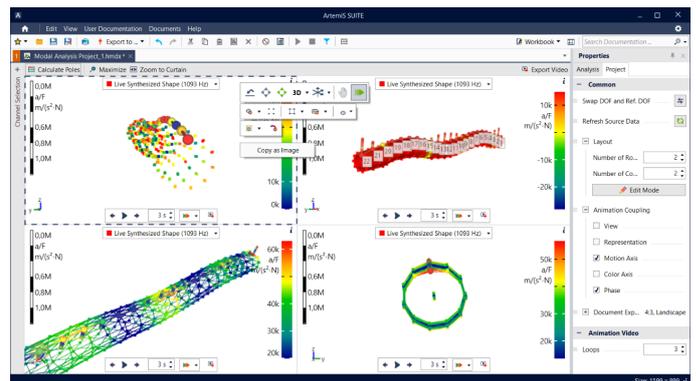
Mit der Schwingungsformen-Tabelle lassen sich interessante Schwingungsformen speichern und vergleichen. Die Farbkodierung zeigt an, ob es sich um eine Schwingungsform auf der Basis der gemessenen oder synthetisierten Übertragungsfunktionen handelt oder um eine modale Schwingungsform.

Zu jeder Schwingungsform werden der MPC-Wert, die zugehörige Frequenz und bei Moden die zugehörige Dämpfung angezeigt. Mit dem MPC-Wert erhalten Anwender eine aussagekräftige Bewertung der Kollinearität der modalen Phasen aller enthaltenen Kanäle.

Zusätzlich wird der MAC-Wert berechnet, um die Ähnlichkeit von Schwingungsformen bewerten zu können.

Für die Untersuchung des aufgenommenen Signals kann der Anwender zwischen den Schwingungsformen hin- und herwechseln und so die entsprechenden Animationen direkt betrachten.

Darüber hinaus kann die Schwingungsformen-Tabelle exportiert werden, um verschiedene Schwingungsformen aus unterschiedlichen Projekten mithilfe des Shape Comparison Project direkt zu vergleichen (APR 410 ist erforderlich).



3D- und 2D-Animation: In der Animation lassen sich Farben über die Farbachse auf der rechten Seite einstellen. Darüber hinaus hat der Anwender die Möglichkeit, die Auslenkung der Schwingungsform zu skalieren. Die Geschwindigkeit der Animation ist über das Eingabefeld Schleifendauer anpassbar.

Reference	Frequency	Damping	MPC	MAC
Measured Shape 0500 Hz	500		0.7600	
Measured Shape 0334 Hz	334		0.0001	
Measured Shape 0118 Hz	118		0.0066	
Measured Shape 0887 Hz	887		0.0714	
Measured Shape 0723 Hz	470		0.1707	
Measured Shape 0020 Hz	420		0.1219	
Measured Shape 0544 Hz	544		0.0460	
Measured Shape 0643 Hz	563		0.0518	
Measured Shape 0139 Hz	378		0.0111	
Measured Shape 0131 Hz	319		0.1021	
Measured Shape 0440 Hz	348		0.0740	
Measured Shape 0217 Hz	217		0.0300	
Measured Shape 0155 Hz	215		0.0408	
Measured Shape 0180 Hz	180		0.0679	
Measured Shape 0146 Hz	146		0.0540	
Mode Shape 0889 Hz	706	0.2077	0.0490	
Mode Shape 0577 Hz	607	0.1524	0.0707	
Mode Shape 0775 Hz	615	0.2405	0.0532	
Mode Shape 0588 Hz	588	0.1930	0.0501	
Mode Shape 0716 Hz	716	0.1905	0.0541	
Mode Shape 0112 Hz	518	0.1524	0.0602	
Mode Shape 0477 Hz	487	0.1343	0.0350	1.00
Mode Shape 0710 Hz	475	0.1661	0.0510	
Mode Shape 0020 Hz	420	0.0814	0.1780	
Mode Shape 0010 Hz	400	0.1187	0.0379	
Mode Shape 0414 Hz	364	0.0668	0.0020	
Mode Shape 0404 Hz	364	0.2205	0.0309	
Mode Shape 0110 Hz	318	0.1187	0.0379	
Mode Shape 0112 Hz	315	0.1511	0.0819	
Mode Shape 0440 Hz	348	0.0681	0.0796	

Die Schwingungsformen-Tabelle stellt die Informationen in tabellarischer Form dar. Zu jeder Schwingungsform werden die Frequenz, die Dämpfung und der MPC-Wert angezeigt. Für weitere Schwingungsform-Vergleichs-Analysen stehen auch die MAC-Werte zur Verfügung.

# Diagramme zur Darstellung von Übertragungsfunktionen

Die gemessenen und die synthetisierten Übertragungsfunktionen lassen sich jeweils in 2D-Diagrammen und in Farbband-Diagrammen darstellen. Dies ermöglicht eine detailliertere Betrachtung des Signals und die Erkennung von Mustern bei relevanten Schwingungsformen.

Bei den synthetisierten Übertragungsfunktionen basiert die Synthese auf den im Stabilitätsdiagramm ausgewählten Polen.

Der Anwender kann die für die Animation gewünschte Frequenz mit dem Werte-Cursor oder über ein Eingabefeld auswählen.

- Die gemessenen und die synthetisierten Übertragungsfunktionen der aktivierten Kanäle lassen sich in 2D-Diagrammen darstellen. Dies erleichtert die Erkennung von Mustern relevanter Schwingungsformen, die sich dadurch auszeichnen, dass sich die Kurven vieler Kanäle überlagern und insgesamt einen ähnlichen Verlauf haben.
- Die Farbband-Diagramme zeigen die Übertragungsfunktionen aller in der Kanalauswahl aktivierten Kanäle als einzelne Farbbänder über einer gemeinsamen Abszisse an.

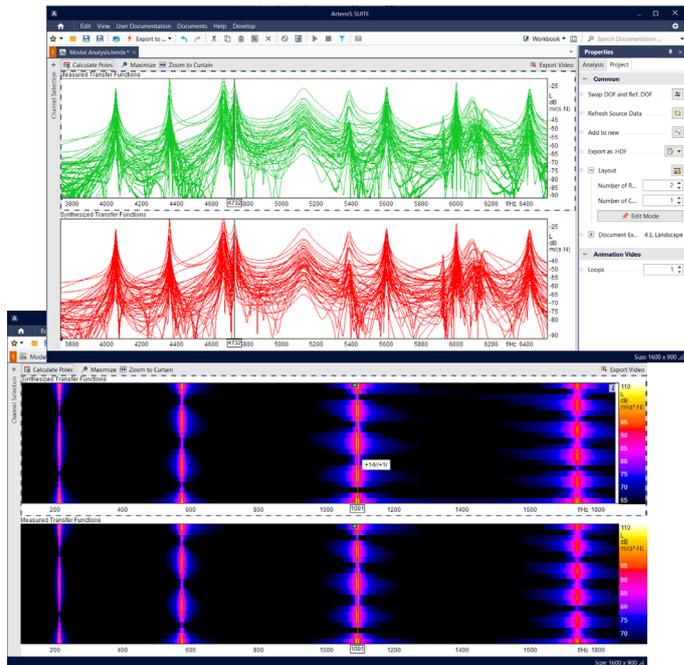
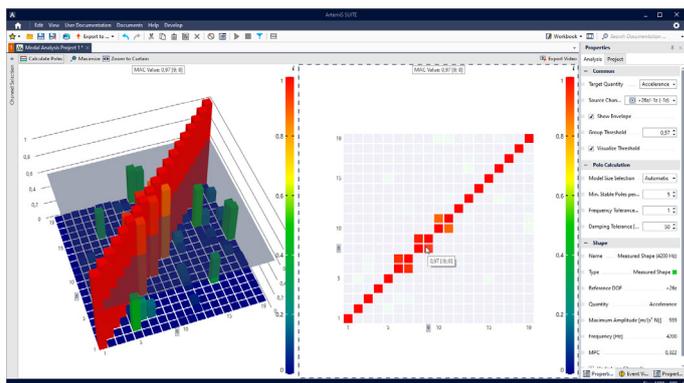


Diagramme: Gemessene und synthetisierte Übertragungsfunktionen lassen sich jeweils in 2D- und Farbband-Diagrammen darstellen. Per Mausrad kann der Anwender auf der x- und der z-Achse zoomen und mit gedrückter linker Maustaste den dargestellten Bereich verschieben.

## MAC-Matrix

Die MAC-Matrix zeigt die MAC-Werte aller möglichen Vergleiche zwischen allen in der Schwingungsformen-Tabelle enthaltenen Schwingungsformen in einem 3D- oder 2D-Diagramm an. Dabei werden die MAC-Werte über die Höhe der Säulen und deren Farbe repräsentiert.

Mithilfe des Gruppen-Schwellenwerts, der als teiltransparente Ebene eingeblendet wird, erhält der Anwender eine optische Gruppierung der relevanten MAC-Werte.



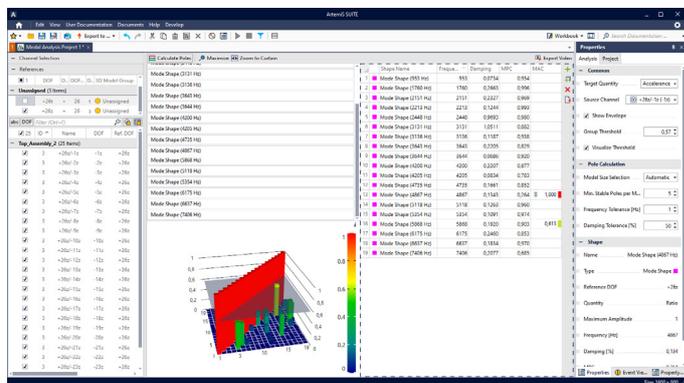
MAC-Matrix: In der MAC-Matrix zeigen Tooltips die MAC-Werte und die Nummern der beteiligten Schwingungsformen an. Beim Wechsel von der 3D- zur 2D-Darstellung wird ein mögliches Verdecken von weiter hinten liegenden Säulen vermieden.

## Gegliederte Schwingungsformen-Tabelle

Die Gegliederte Schwingungsformen-Tabelle fasst alle Schwingungsformen der Schwingungsformen-Tabelle zusammen, die einen MAC-Wert oberhalb des eingestellten Gruppen-Schwellenwerts haben. So fällt es dem Anwender leichter, ähnliche oder gleiche Schwingungsformen zu finden.

## Kanalauswahl

In der Kanalauswahl wählt der Anwender die zu verwendenden Kanäle aus. Die tabellarische Anordnung der Kanäle sowie zusätzliche Informationen, wie beispielsweise die Nummer des Messpunkts, der Name des Kanals und der Freiheitsgrad (DOF), erleichtern das Filtern, Sortieren, Auswählen usw.



Kanalauswahl: Die Kanalauswahl ermöglicht die Filterung der Kanalliste über das Eingabefeld. Ausgewählte Kanäle lassen sich durch Mehrfachauswahl aktivieren oder deaktivieren. Die Gegliederte Schwingungsformen-Tabelle erleichtert es dem Anwender, ähnliche oder gleiche Schwingungsformen zu erkennen.

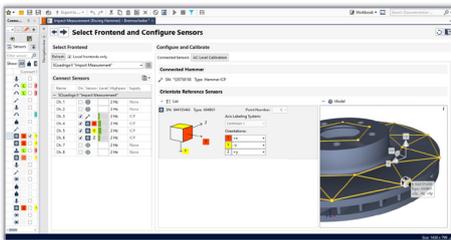
# STRUKTURANALYSE

Modal Analysis Project ist Teil des leistungsstarken und perfekt abgestimmten Strukturanalyse-Pakets von ArtemiS SUITE, das ein intuitives Untersuchen und Verstehen der komplexen Beziehung zwischen Anregung und Struktur ermöglicht.

## MESSEN / VORBEREITEN

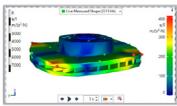
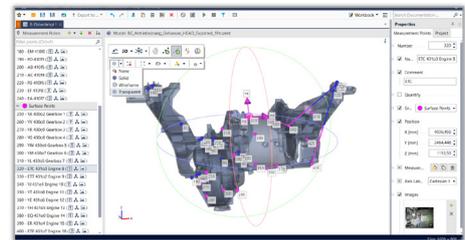
### IMPACT MEASUREMENT (APR 430)

Impact Measurement ermöglicht Strukturanalyse-Untersuchungen mit den Methoden Roving Hammer und Roving Accelerometer.



### MESSPUNKTBIBLIOTHEK (APR 000)

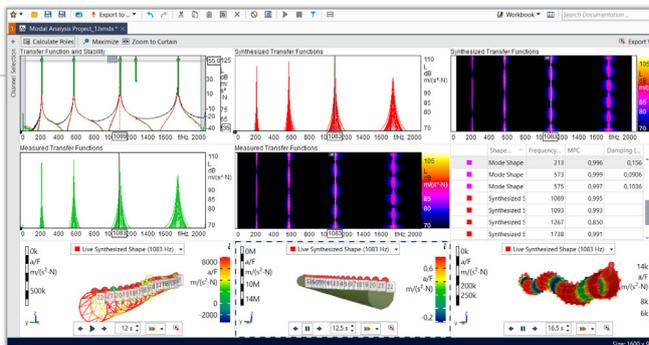
Mit der Messpunktbibliothek kann der Anwender sehr leicht ein 3D-Gittermodell erstellen und ein entsprechendes CAD-Modell importieren.



### LIVE-KOPPLUNG (APR 430 & APR 420)

Während der Messung kann die Analyse der aufgezeichneten Daten mittels Live-Kopplung mit dem Modal Analysis Project durchgeführt werden.

## ANALYSIEREN

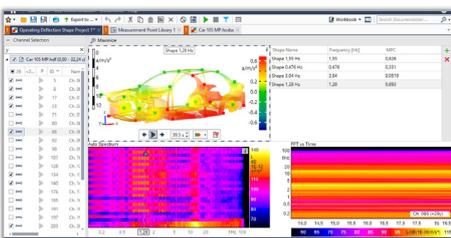


### MODAL ANALYSIS PROJECT (APR 420)

Das einfach zu bedienende Modal Analysis Project ermöglicht es, auffällige Frequenzbereiche einfach zu erkennen und beispielsweise mit Referenzmessungen zu vergleichen. Alternativ kann der Anwender auf diese Weise Simulationsergebnisse validieren.

### ODS PROJECT (APR 400)

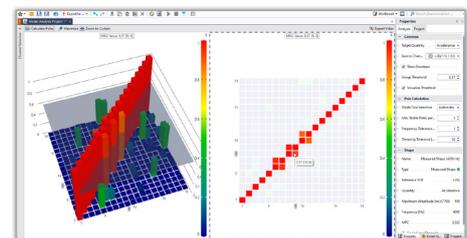
ODS Project beinhaltet auch das Zeitbereich-Animations-Projekt (TDA) und wird zur Animation und Analyse von Strukturen in einem definierten stationären Betriebszustand sowie zeitlich veränderbarer Bewegungen verwendet.



### LIVE-KOPPLUNG EINER MAC-MATRIX (APR 410 mit APR 420 & APR 400)

### SHAPE COMPARISON PROJECT (APR 410)

Shape Comparison Project dient der Analyse und dem Vergleich von Schwingungsformen.



## VORAUSSETZUNG

---

- › Messpunktbibliothek (\*.hmdl) mit Messpunkten
- › Eine zur Messpunktbibliothek passende Messdatei mit Übertragungsfunktionen (\*.hdf), die idealerweise mit Impact Measurement (APR 430 ist erforderlich) oder dem Rekorder von ArtemiS SUITE (APR 040 ist erforderlich) aufgezeichnet wurde.

Kompatibilitätskriterien:

- › Jede Kombination aus gemessenem Freiheitsgrad und Referenz-Freiheitsgrad darf nur einmal vorhanden sein.
- › In den Kanälen müssen
  - › die Akzeleranz (Beschleunigung/Kraft, auch Inertanz genannt),
  - › die Mobilität (Geschwindigkeit/Kraft, auch Admittanz genannt)
  - › oder die dynamische Flexibilität (Verschiebung/Kraft) abgelegt sein.
- › Die Abtastrate und die Blockgröße müssen in allen Kanälen gleich sein.
- › Das Modalanalyse-Projekt prüft, ob die Dateien die Voraussetzungen erfüllen und zueinander passen. Anschließend kann sofort mit der Analyse begonnen werden.
- › Bei der Überwachung von Impulshammer-Messungen (Roving Hammer oder Roving Accelerometer) mit dem Projekt Impact Measurement (APR 430) spezifiziert der Anwender
  - › den Pfad zu der zu überwachenden Impulshammer-Messung oder
  - › den Ordner mit einem gemessenen Projekt von Impact Measurement.

## EMPFEHLUNG

---

- › Impact Measurement (APR 430 erforderlich)
- › ODS Project (APR 400 ist erforderlich)
- › Shape Comparison Project (APR 410 ist erforderlich)
- › Recorder (APR 040 ist erforderlich)

**Voraussetzung: APR Framework (Code 50000)**



### Kontaktinformationen

Ebertstraße 30a  
52134 Herzogenrath, Deutschland  
**Telefon:** +49 2407 577-0  
**E-Mail:** sales@head-acoustics.com  
**Website:** www.head-acoustics.com