

MATLAB EXPO 2016 Deutschland

Automatische Schwingungsüberwachung von aeroelastischen Systemen

Goran Jeličić, Ralf Buchbach, Yves Govers

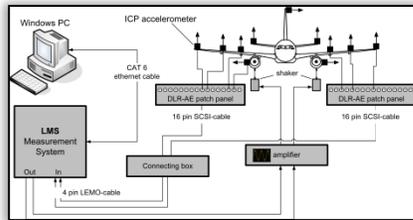
Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt
Institut für Aeroelastik
Göttingen



Wissen für Morgen



Inhalt



Schwingungsversuche (*Ground Vibration Tests*)

Schwingungsversuche an Luft- und Raumfahrtstrukturen

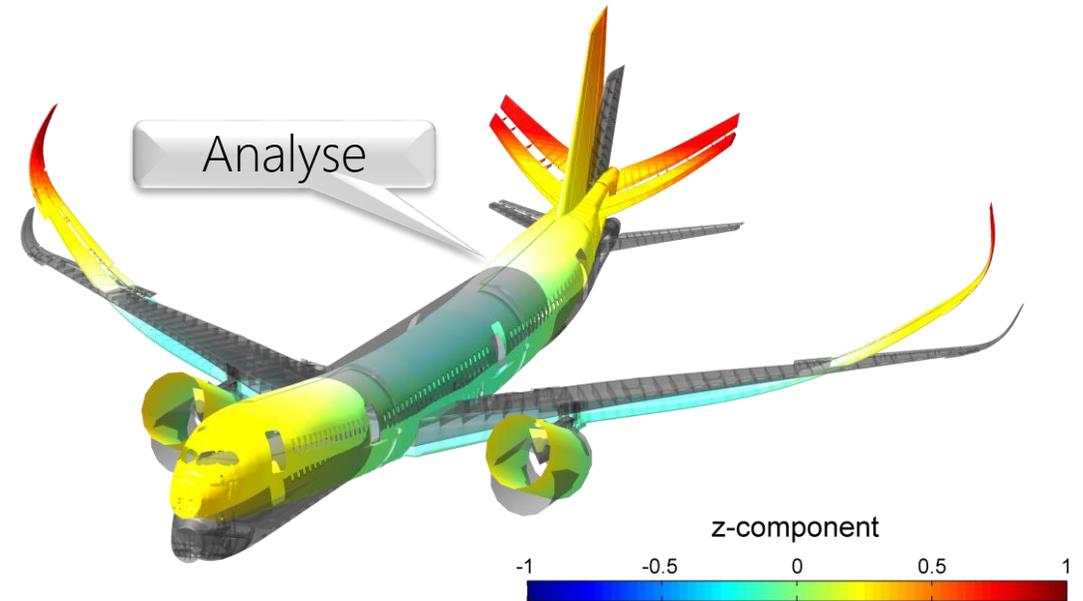
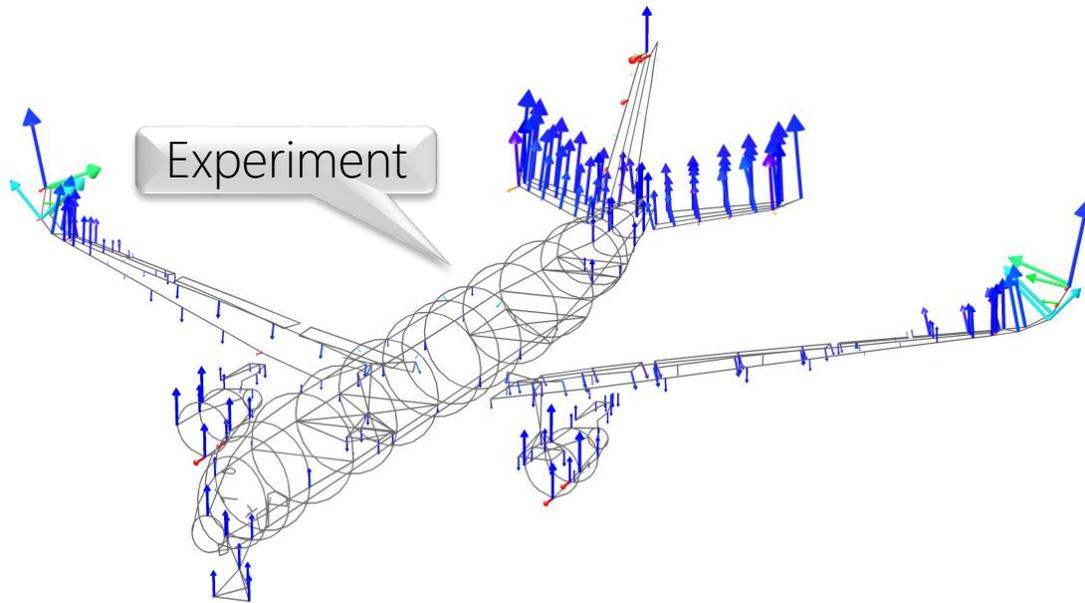
- Simultane Messung von bis zu 800 dynamischen Signalen
- Sinus- oder Randomartige Erregung mit elektrodynamischen Erregern bis ~100Hz



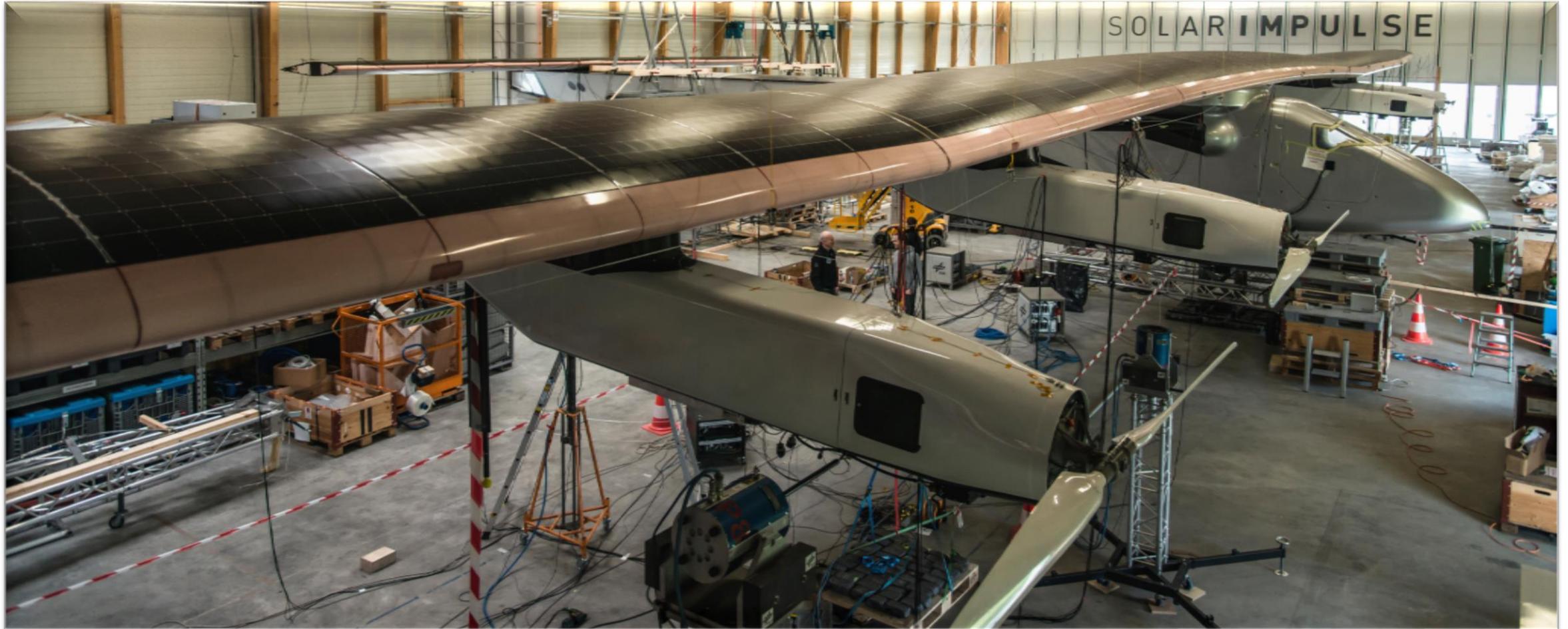
Schwingungsversuche (*Ground Vibration Tests*)

Ziel: Identifikation des Schwingungsverhaltens der Struktur

- Eigenfrequenzen
- Eigenformen
- Dämpfungen
- modale Massen



Schwingungsversuche (*Ground Vibration Tests*)



Schwingungsversuche (*Ground Vibration Tests*)

1. Datenerfassung

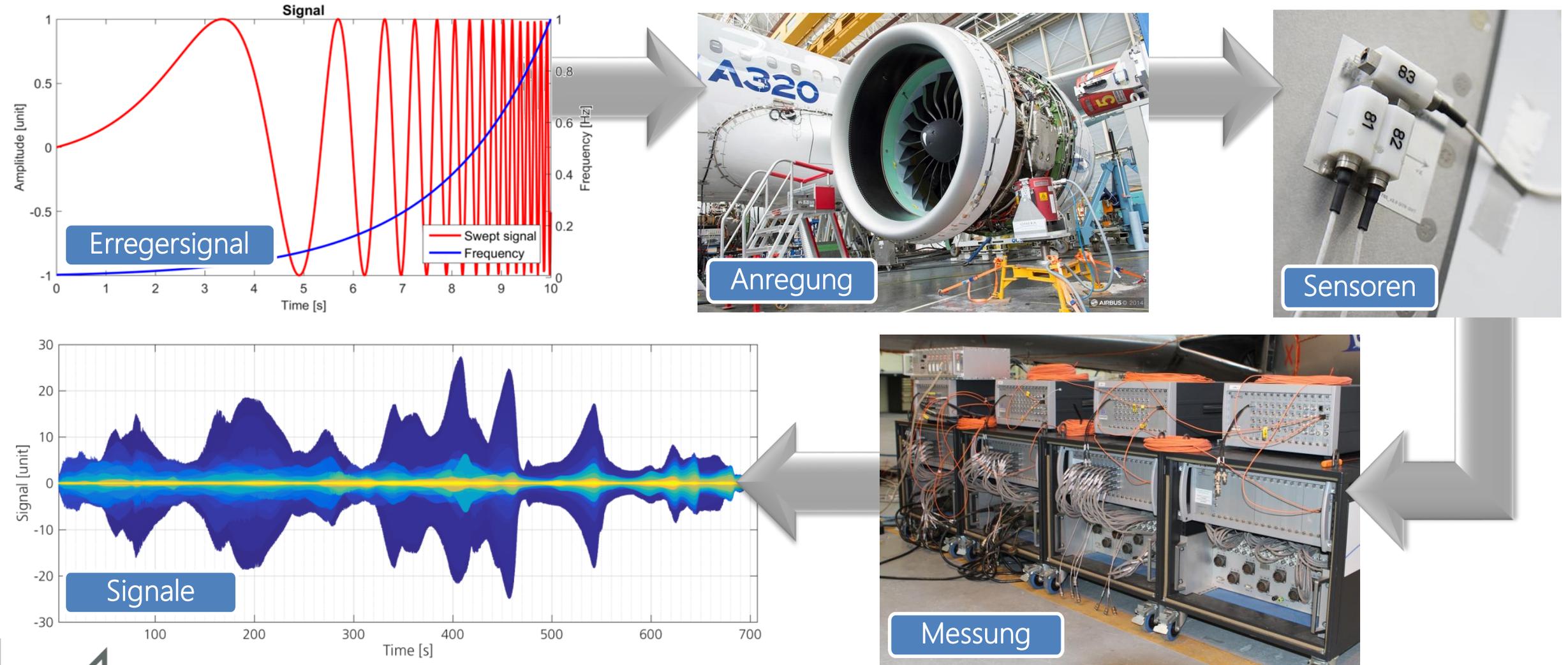
2. Signalverarbeitung

3. Modalanalyse

4. Datenbank



Ablauf eines Ground Vibration Tests

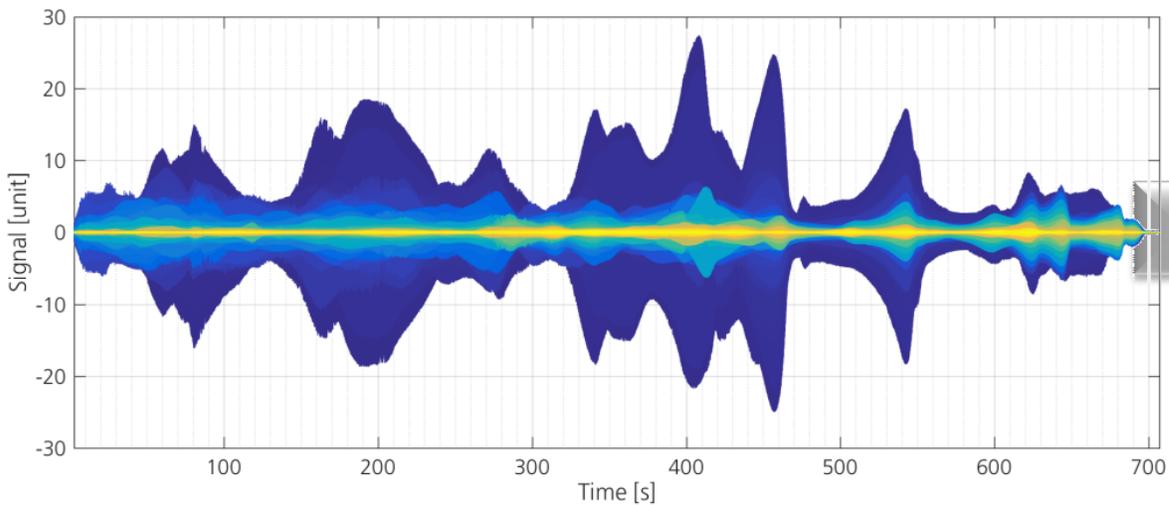


Ablauf eines Ground Vibration Tests

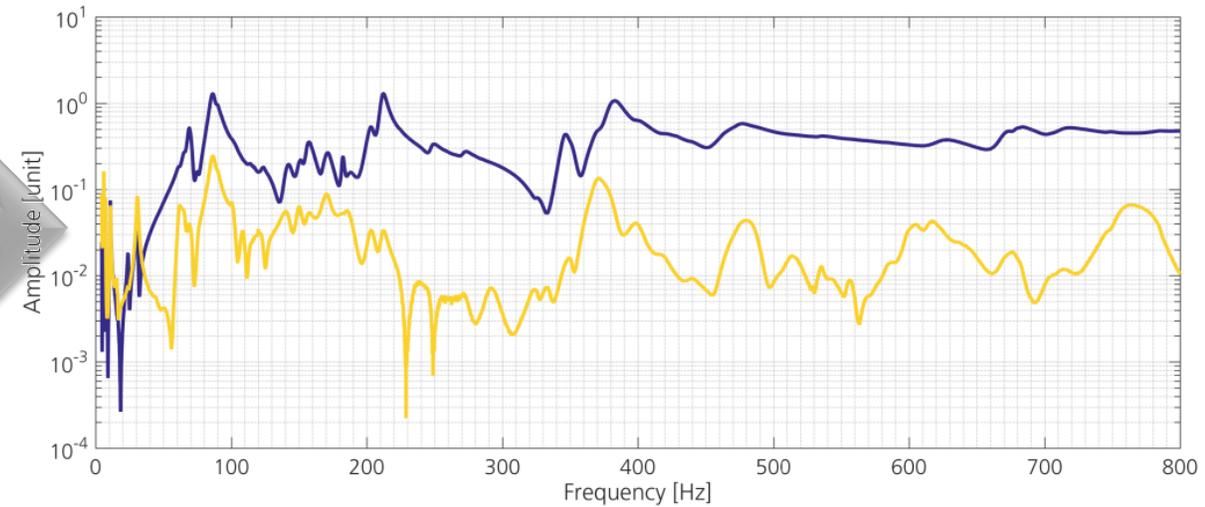
1. Datenerfassung

2. Signalverarbeitung

Zeitbereich

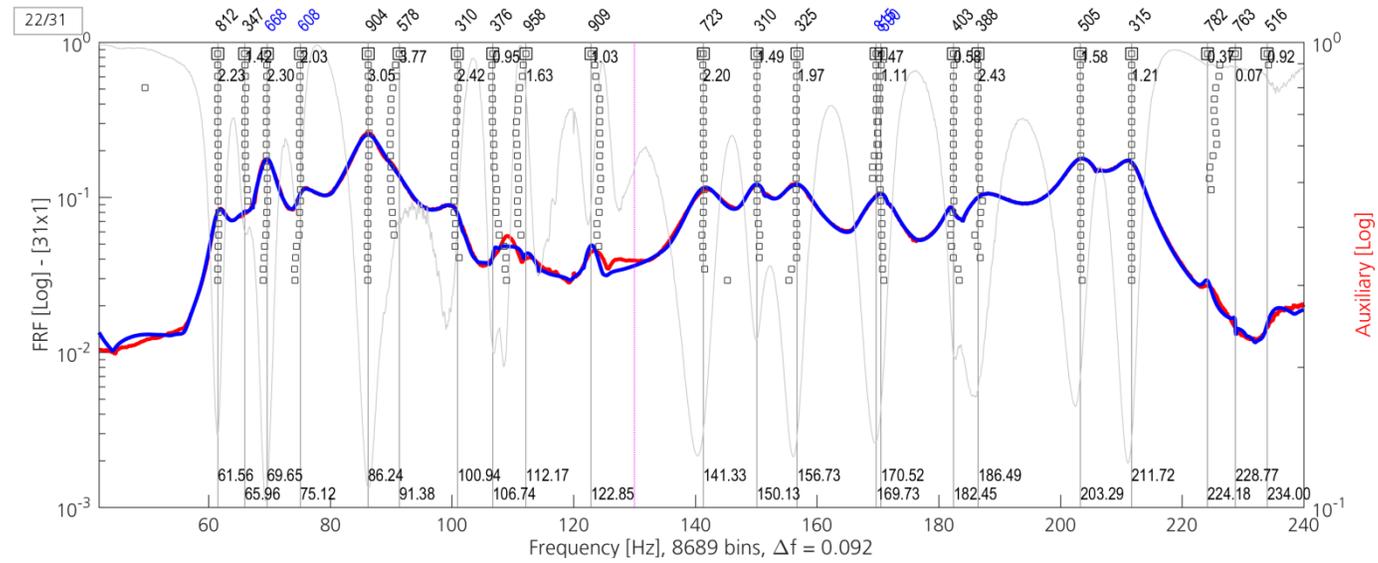


Frequenzbereich



Ablauf eines Ground Vibration Tests

- 1. Datenerfassung
- 2. Signalverarbeitung
- 3. Modalanalyse

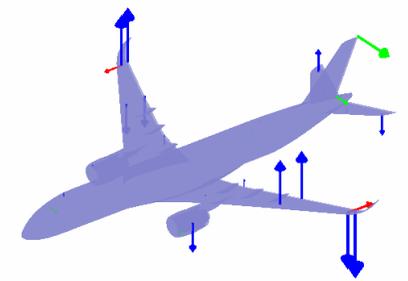
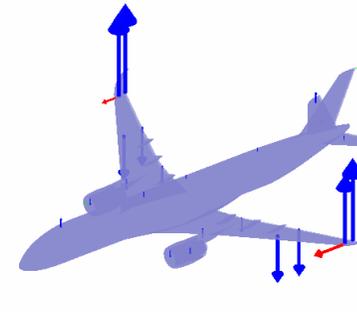
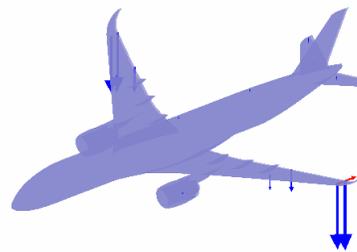


ILA2014_A350_T2_E1.FRF.LSCF
Mode 8-40, 30.84Hz, 1.90%, MIF 374

ILA2014_A350_T2_E1.FRF.LSCF
Mode 7-40, 24.09Hz, 1.80%, MIF 710

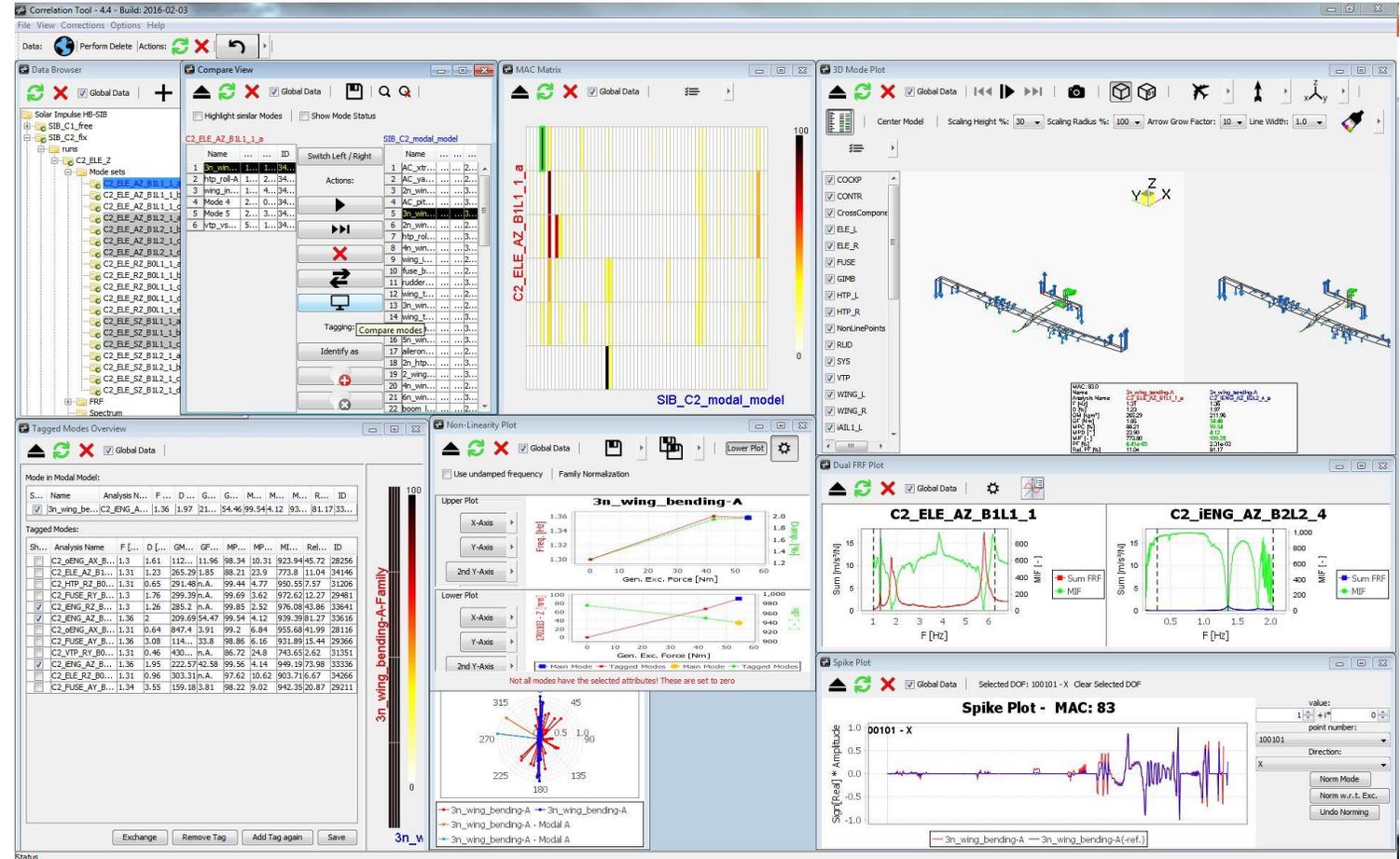
ILA2014_A350_T2_E1.FRF.LSCF
Mode 9-40, 61.56Hz, 2.23%, MIF 812

ILA2014_A350_T2_E1.FRF.LSCF
Mode 11-40, 69.65Hz, 2.30%, MIF 672



Ablauf eines Ground Vibration Tests

1. Datenerfassung
2. Signalverarbeitung
3. Modalanalyse
4. Datenbank



Motivation für automatische Schwingungsüberwachung mit MATLAB

- Erfahrung aus zahlreichen *Ground Vibration Tests* vorhanden
- Algorithmen liegen vor um
 - aus Zeitreihen Frequenzgänge zu berechnen
 - aus Frequenzgängen modale Parameter (Eigenfrequenzen, -formen, etc.) zu schätzen
 - modale Parameter zu klassifizieren
- aktuelle Prozessdauer 30-60min (unbrauchbar für Schwingungsüberwachung)
- Erweiterung der Fähigkeiten auf Überwachung zeitlich veränderlicher Systeme
 - Fliegendes Flugzeug
 - Windkanalmodelle
 - Windkraftanlagen
 - andere Systeme mit sich änderndem Eigenschwingungsverhalten



Idee

1. Datenerfassung

Online-Zugriff auf Messdaten von MATLAB

- Bedarf offene Messanlage, die dies ermöglicht
- Schnittstelle zu *Dewetron* und *National Instruments*
- Keine einzelnen Messläufe mehr

2. Signalverarbeitung

Kontinuierliche Signalverarbeitung der Messdaten

- Nutzung eines Puffers für die Datenverwaltung
- Möglichkeit Prozessierungsparameter zu bearbeiten

3. Modalanalyse

Automatisierung der Modalanalyse durch Pole-Picking-Algorithmen

- Aufhebung der individuellen Auswertetechniken und Erstellen eines einheitlichen Datensatzes
- Zeitkritischer Schritt wird automatisiert und zeiteffizienter gestaltet

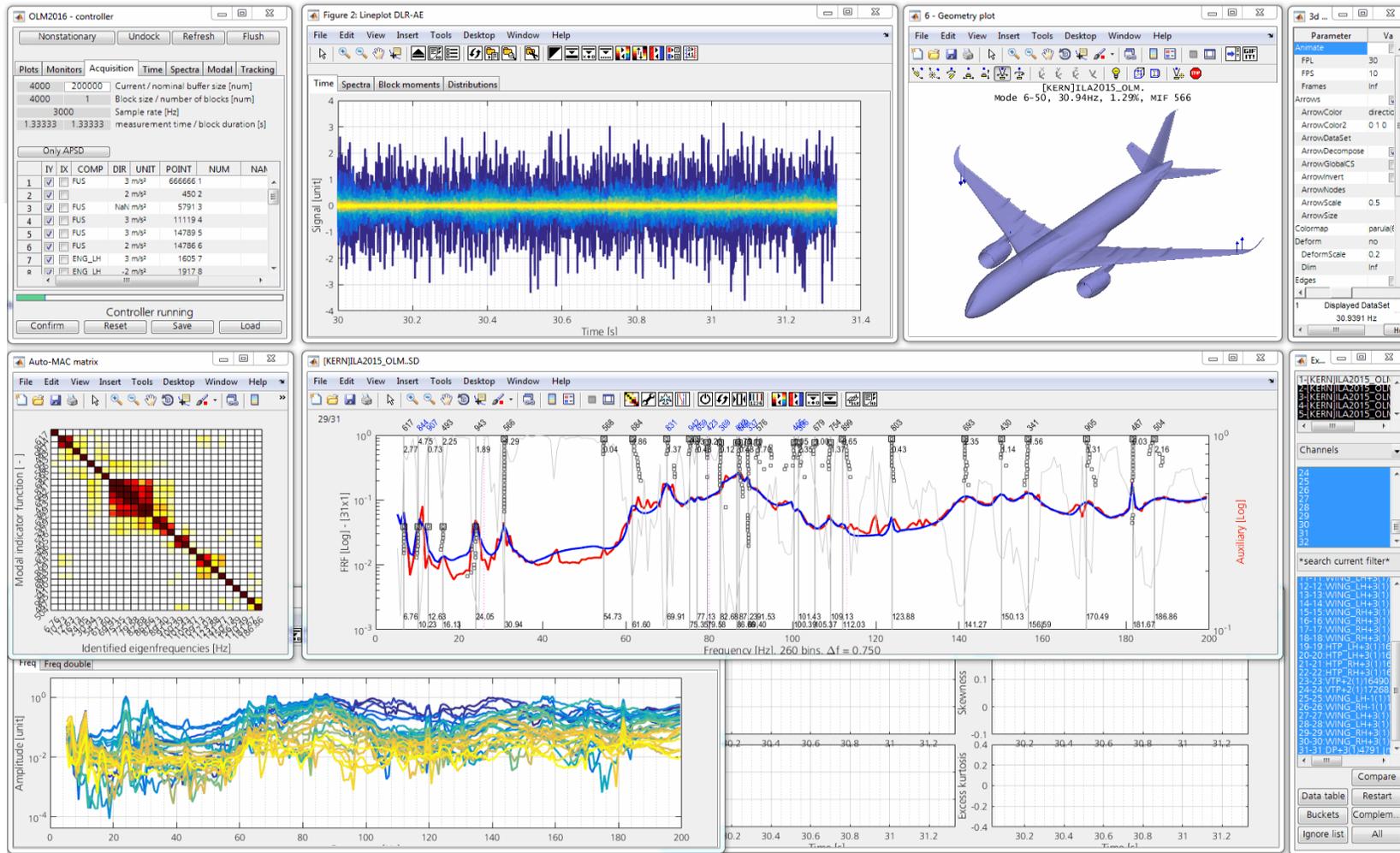
4. Korrelation

Verfolgung der Moden über Zeit und Umgebungsparameter

- Automatische Generierung eines modalen Modells
- Ermöglicht Vorhersagemethoden und Health-Monitoring



Entwicklung einer GUI für das *Online Monitoring*



- Die Software ist eine Ansammlung von Objekten
- Jeder Plot verwaltet seine Daten in einer Instanz einer entsprechenden Klasse
- Die GUI bietet Funktionalität für weitere Auswertungen und Konfigurationen
- Die grafische Benutzeroberfläche ist die Erweiterung einer eigenen Bibliothek für Modalanalyse, Signalverarbeitung, Kontrolltheorie

Schwingungsdemonstrator

Software zur Schwingungsüberwachung

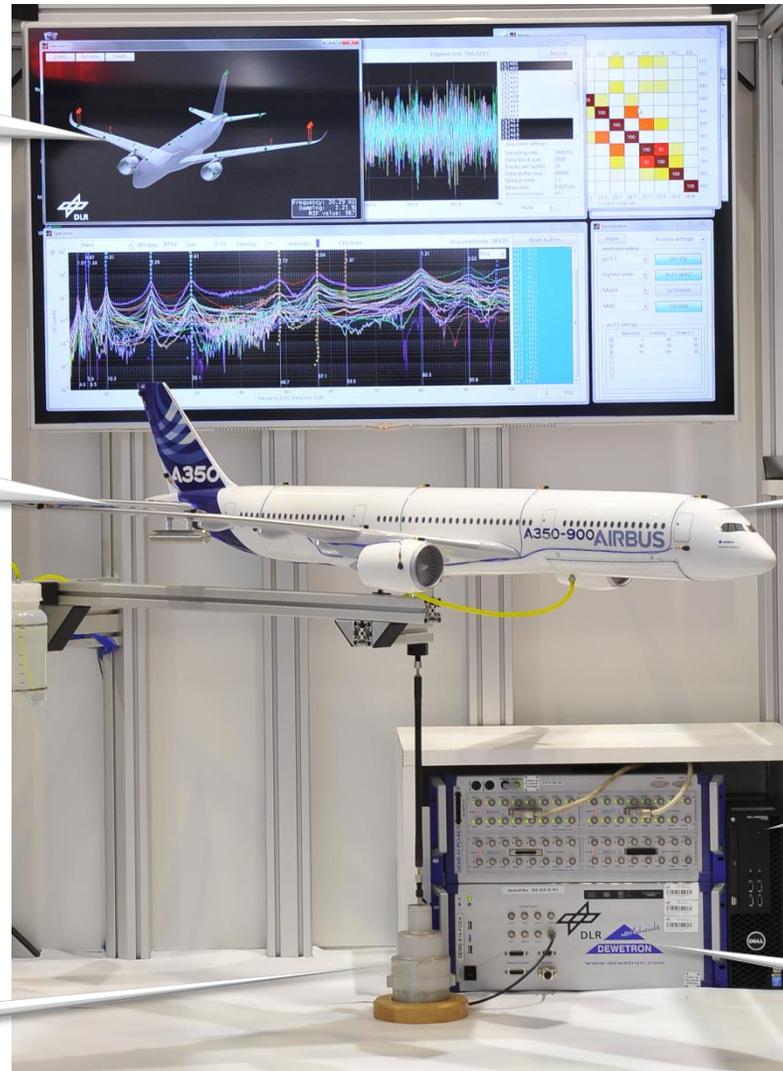
32 mono-axiale Beschleunigungsaufnehmer

A350-XWB Modell

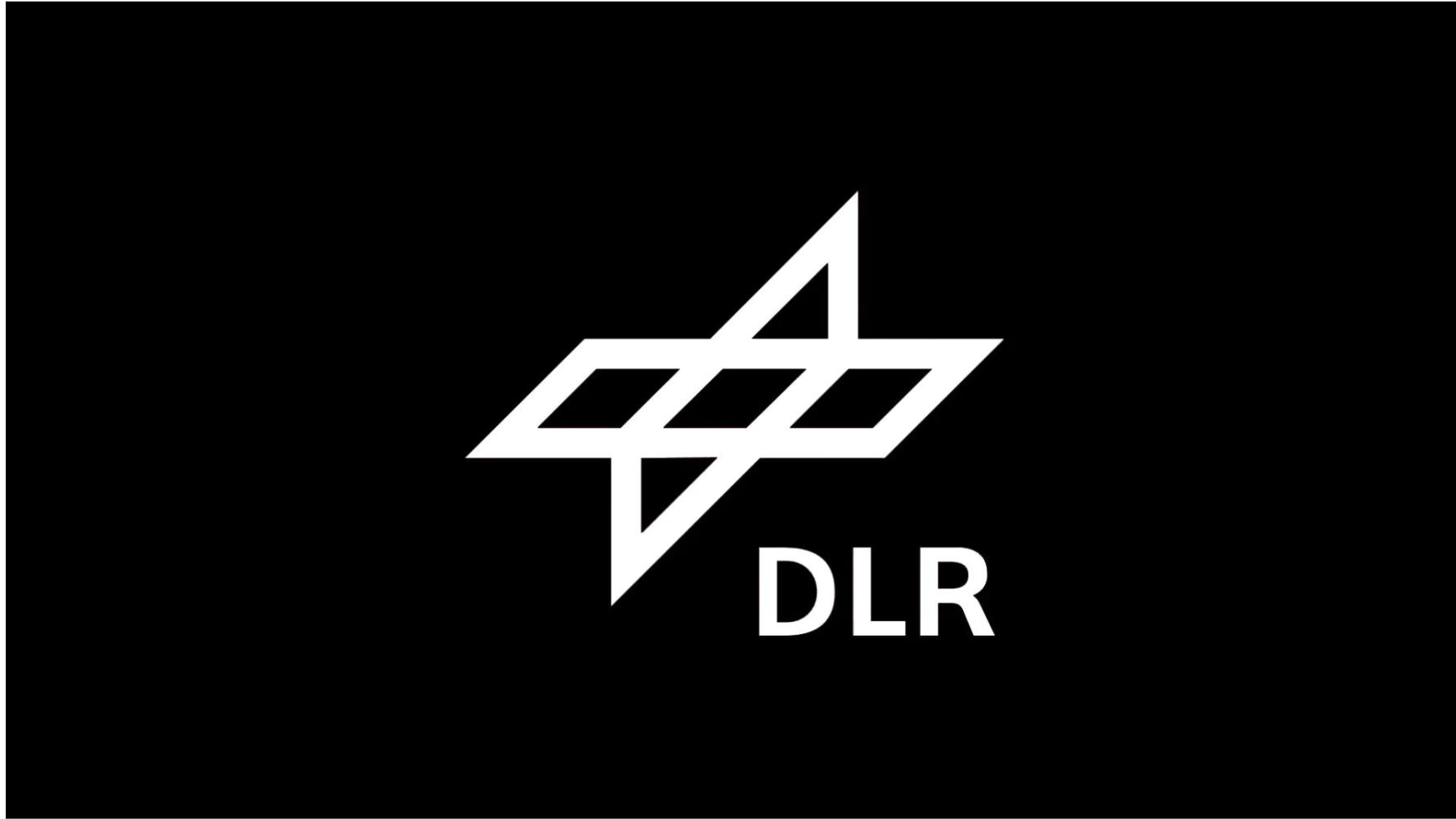
PC mit *MATLAB*

*DEWE*tron Messanlage

Erreger

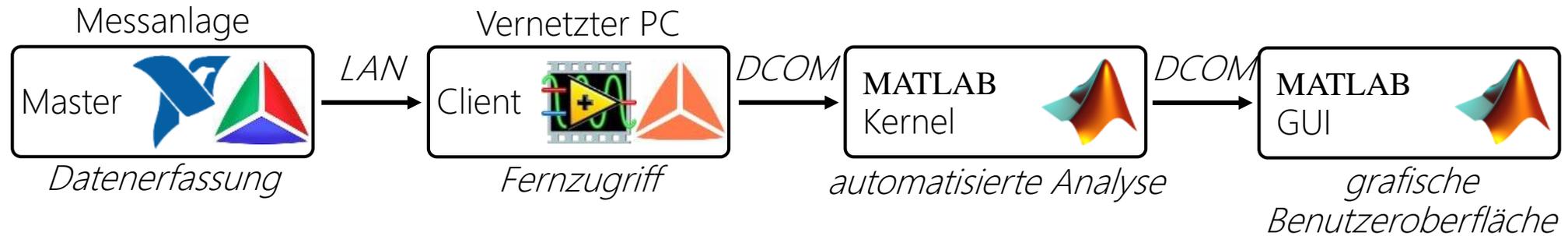


Automatische Modalanalyse im Einsatz



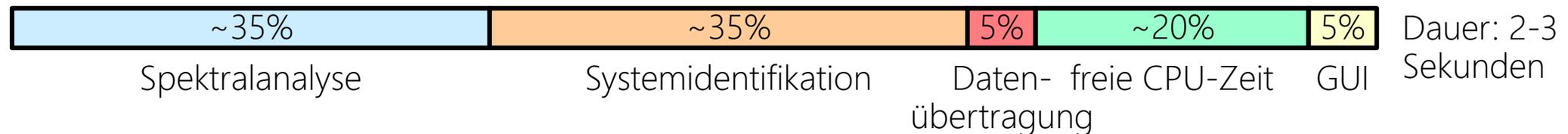
Systemaufbau

Systemarchitektur

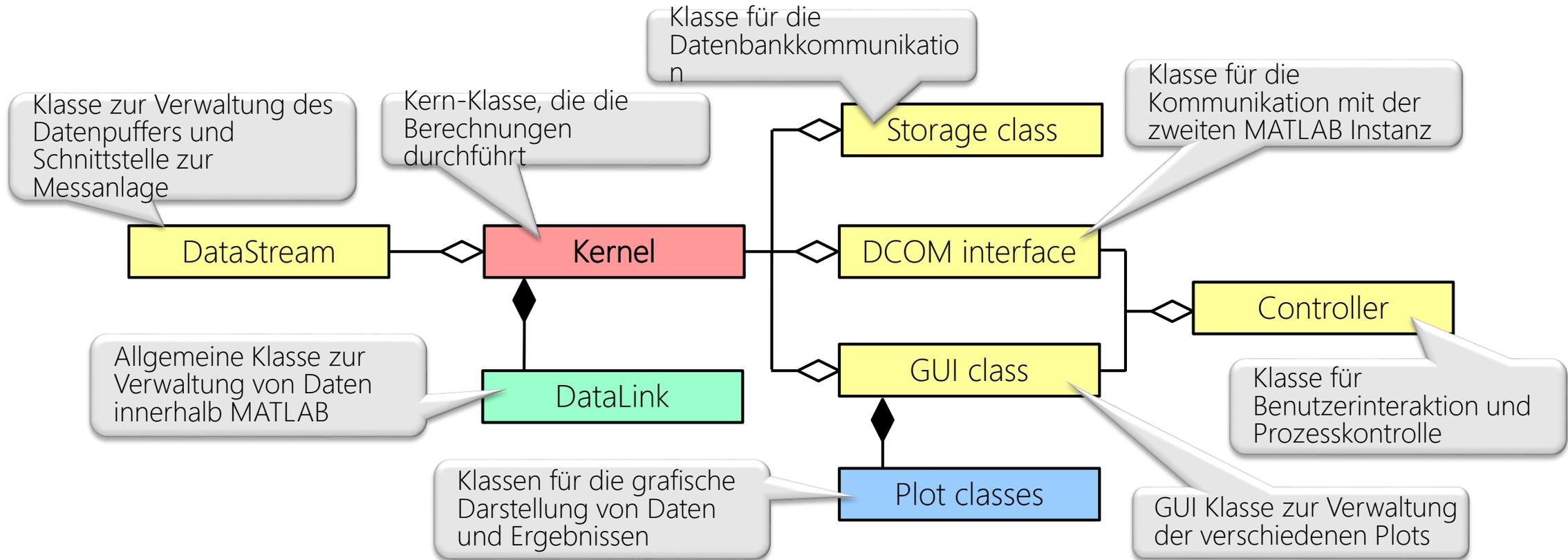


- Eine *National Instruments* oder *DEWETron* Messanlage erfasst Sensorsignale
- Client Software auf vernetzten PCs greift mittels Fernzugriff in Echtzeit auf die Daten zu
- Das MATLAB Analyseprogramm ruft durch eine *DCOM* Schnittstelle mit der Client Software die Zeitdaten ab

Zeitmanagement

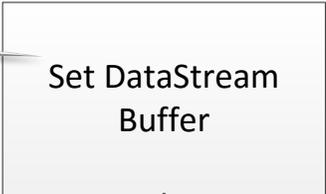


Software-Architektur in MATLAB



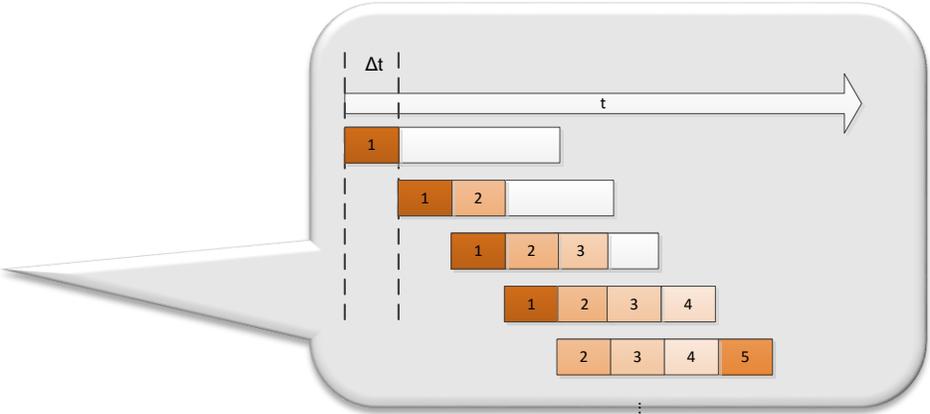
Software-Architektur in MATLAB

Der FIFO-Buffer wird mit neuen Messdaten gefüllt



Der Kernel reagiert auf die neuen Daten und führt die Signalverarbeitung und -auswertung durch

Aktualisierung der Controller-GUI mit Einstellungen und fortlaufende Speicherung der Ergebnisse in einer Datenbank



Signalverarbeitung und GUI-Aktualisierung während des Refreshs



Fortlaufende Speicherung der Ergebnisse in einer Datenbank

Views zur Abfrage

Haupttabelle zur Speicherung der verwendeten Parameter

AnalysisParameters	
id	INT NN AI
orderMax	INT
orderStep	INT
orderMin	INT
algorithmPole	VARCHAR(255)
16 more...	
Indexes	
PRIMARY	

Tabelle zur Speicherung der Eigenform

Tabelle zur Speicherung von Parametern identifizierter Eigenformen

Tabelle zur Speicherung von Umgebungsparametern (hier: Flugzustände)



Implementierung

Effizienzsteigerung

- Vektorialisierung, keine Verwendung von Schleifen, überladene **.set** Methoden, *lazy evaluation*
- Geschwindigkeitsoptimierte Varianten von häufig verwendeten Funktionen (**repmat**, **unique**, **ismember**,...)

Optimierte Signalverarbeitung

- Optimierte Filter
- Bestimmung der Spektren für alle Kanäle in einem Schritt
- FFT-Varianten der Identifikationsalgorithmen

Low-Level Programmierung in der GUI

- Nutzung des Basis-Matlab ohne weitere Toolboxen
- Nutzung von low-level Funktionen wie **line**, **patch**, etc. zur Geschwindigkeitsoptimierung
- Optimierte grafische Darstellung (z.B. „Big Data Plot “)



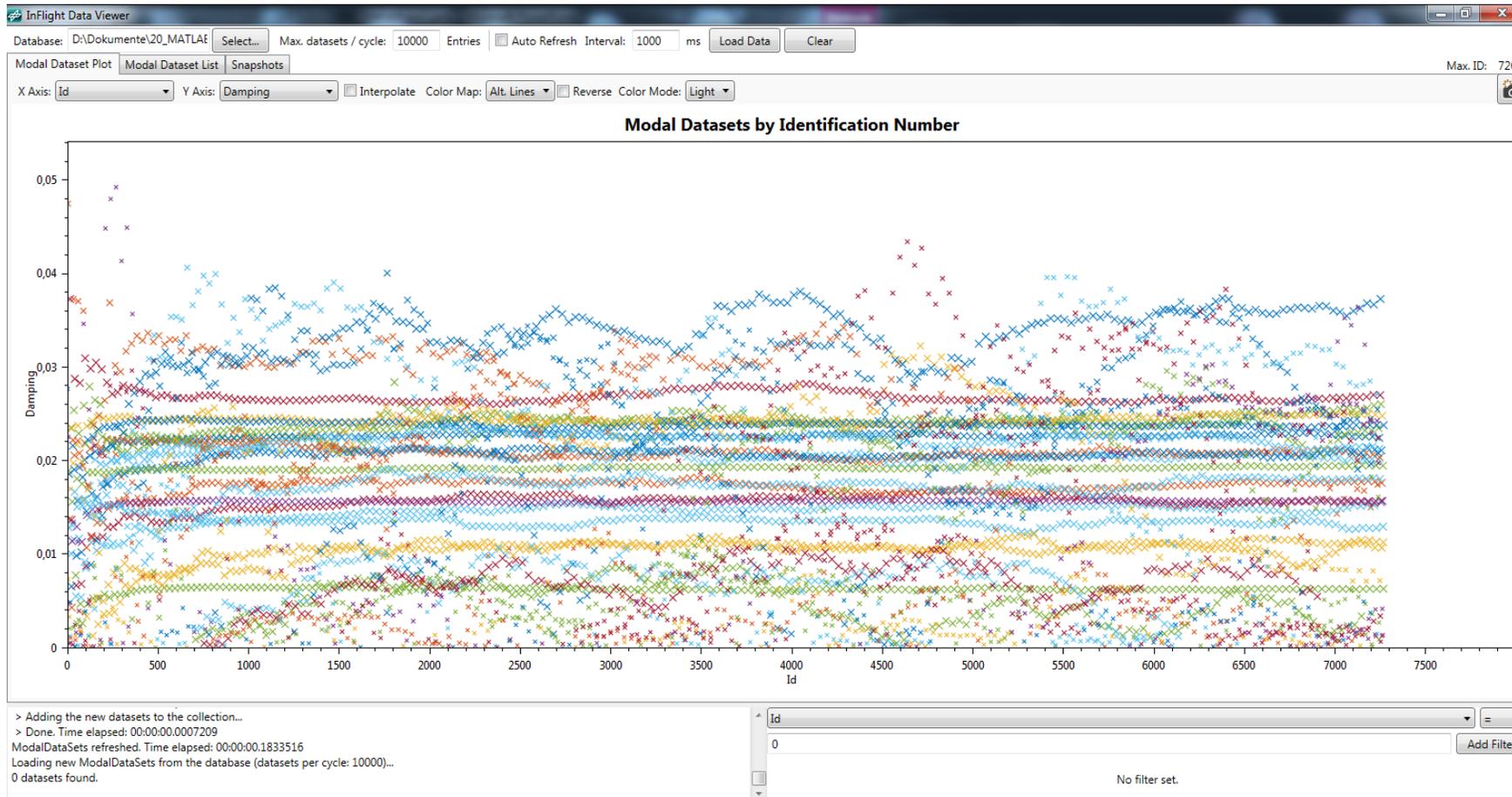
Datenbankclient



- Client Software zur Darstellung der abgespeicherten Daten aus der Datenbank
- Ermöglicht das automatische Nachladen von aktuellen Daten
- Diverse Filtermethoden, um die Veränderung der Schwingungsformen in Bezug auf Umgebungsparameter zu beobachten.
- Einfache Vorhersagemethoden zur Entwicklung der modalen Parameter



Datenbankclient



- Client Software zur Darstellung der abgespeicherten Daten aus der Datenbank
- Ermöglicht das automatische Nachladen von aktuellen Daten
- Diverse Filtermethoden, um die Veränderung der Schwingungsformen in Bezug auf Umgebungsparameter zu beobachten.
- Einfache Vorhersagemethoden zur Entwicklung der modalen Parameter



Anwendungsbeispiele

Windkanalflutterversuch



- 12 Kanäle mit 10 kHz abgetastet
- Frequenzband: $0 - 400\text{ Hz}$
- Identifikation von ~ 20 Schwingungsformen jede Sekunde

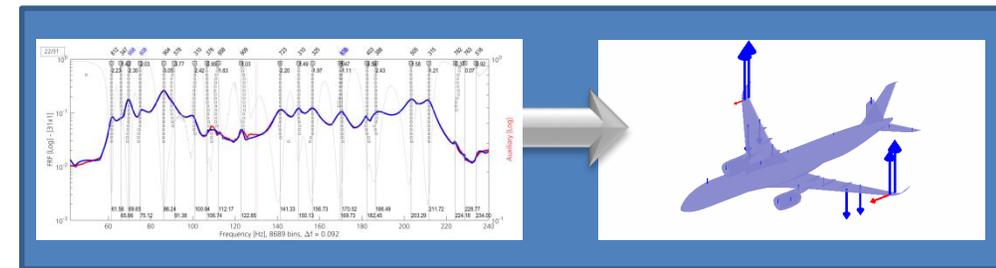
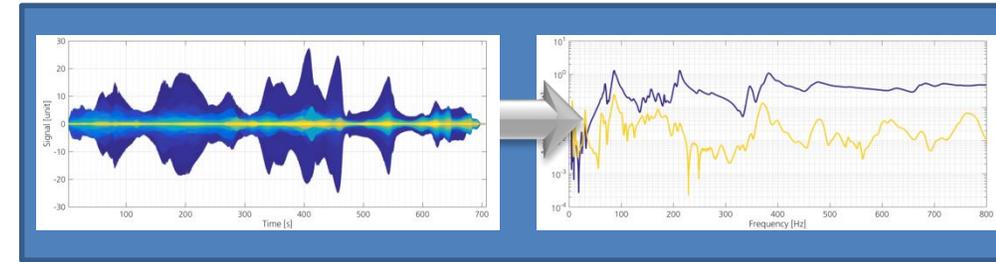
HALO Flugschwingversuch



- 51 Beschleunigungssensoren mit 1500 Hz abgetastet
- Identifikation von ~ 40 Schwingungsformen im Bereich $0,5 - 40\text{ Hz}$ alle 3 s
- Datenbanken mit bis zu $150'000$ Schwingungsformen pro Flug

Fazit

- Schwingungsüberwachung ohne Restriktionen von mitgelieferter Software spezialisierter Datenerfassungssysteme umgesetzt
- Effizienz der Signalverarbeitungsmethoden signifikant erhöht
- Auftrennung von Rechenoperationen und GUI in zwei MATLAB-Instanzen
- Modale Überwachung eines Systems in „quasi Echtzeit“
 - Identifikationen von Schwingungsformen und modalem Modell
 - Trendvorhersage für Flutter, bzw. Systeminstabilität
- Signifikante Reduktion von Zeit- und Personalaufwand für strukturdynamische Aussagen über ein System
- Fernüberwachung von Strukturen veränderlicher Eigenfrequenzen möglich



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

E-Mail: goran.jelicic@dlr.de
2480

Tel: 0551 709

Institut für Aeroelastik
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Göttingen

