



ONERA



Standschwivungsversuch am AIRBUS A380-800

Gerrit Gloth

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Institut für Aeroelastik, Göttingen





ONERA



Standschwingungsversuch am Airbus A380-800

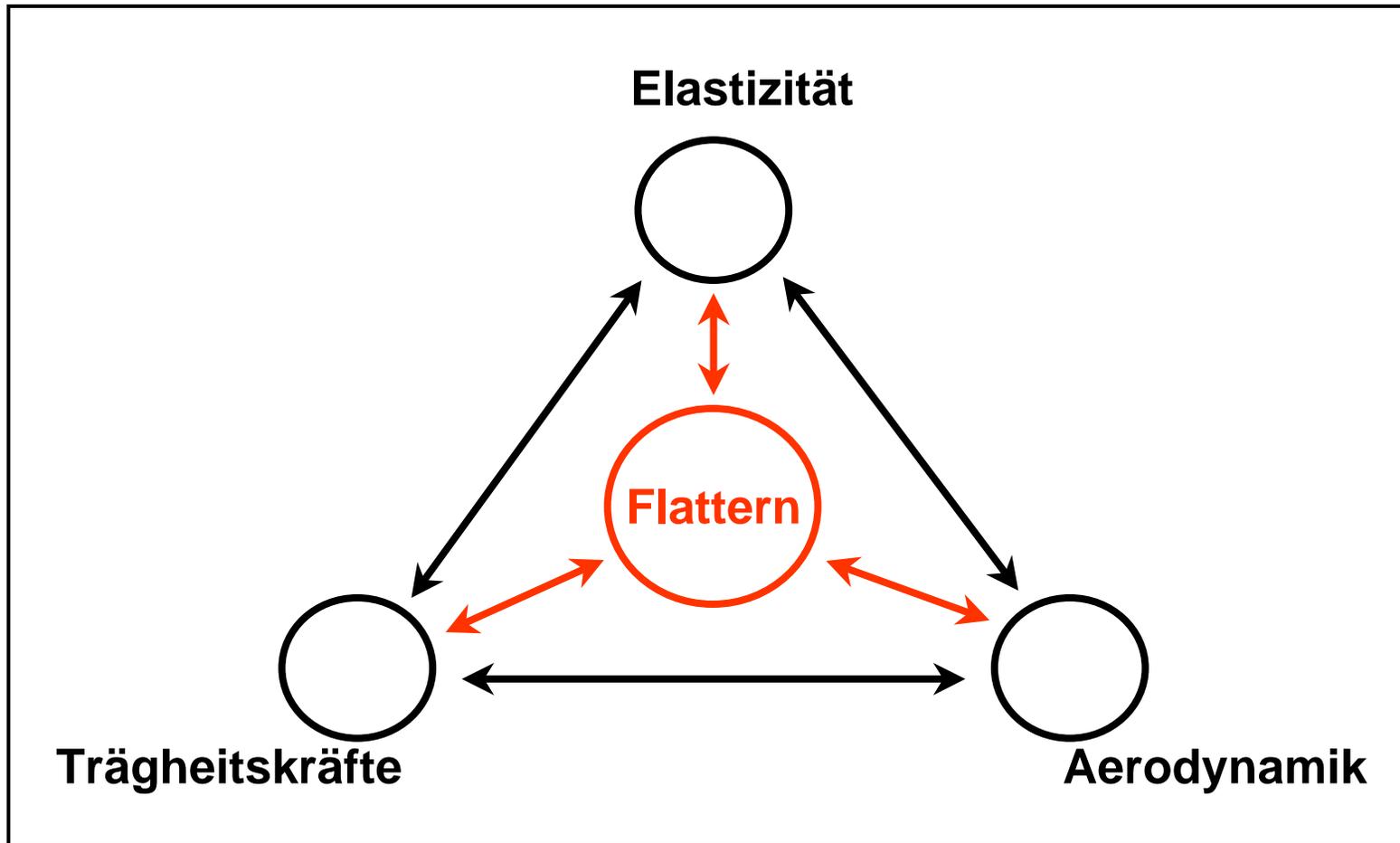
- ▶ Warum Standschwingungsversuche?
- ▶ Grundlagen von Standschwingungsversuchen
- ▶ Der Airbus A380-800
- ▶ Test Vorbereitung
- ▶ Test Durchführung
- ▶ Resultate
- ▶ Zusammenfassung



ONERA



Warum Standschwingungsversuche?

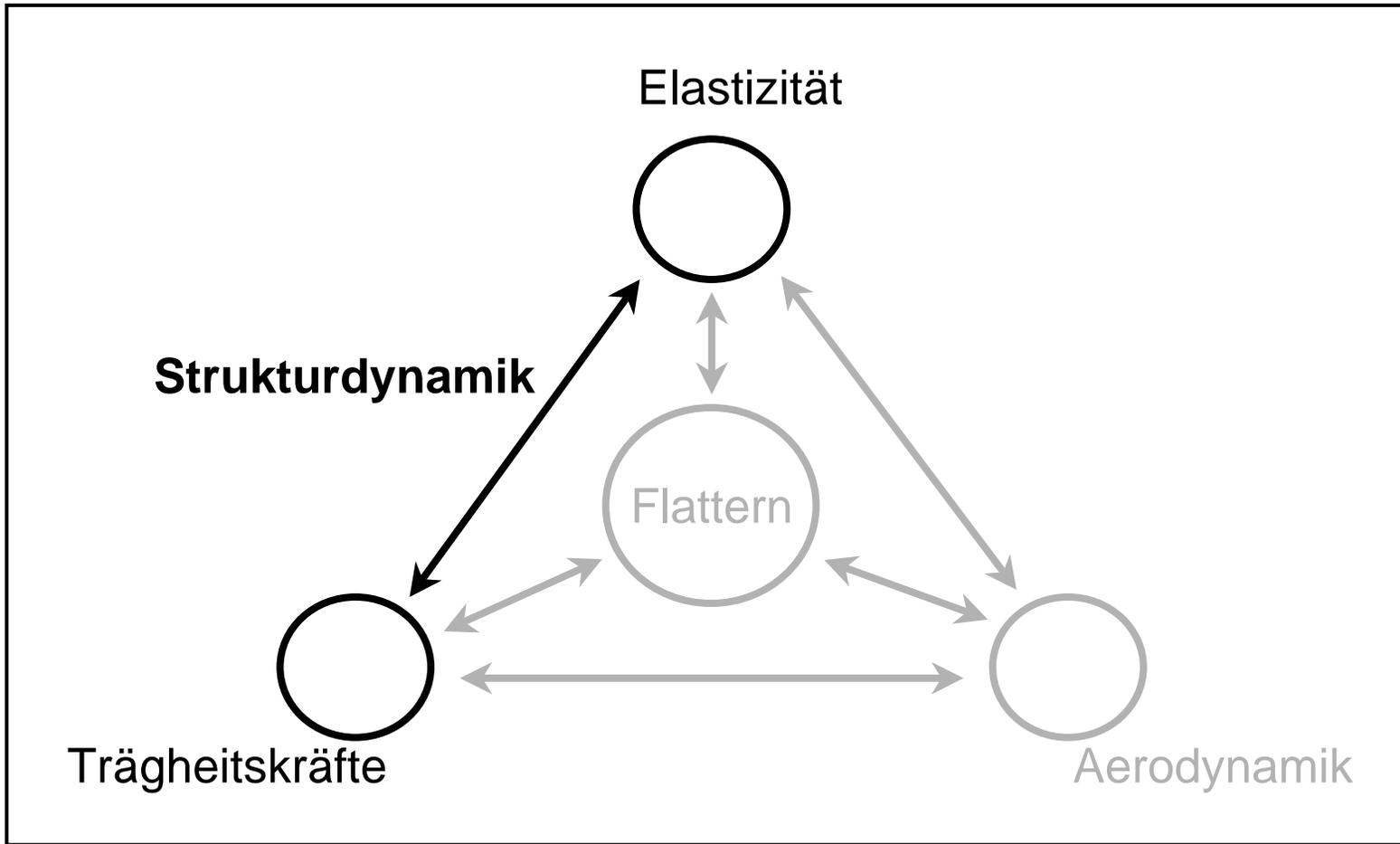




ONERA



Warum Standschwingungsversuche?





ONERA



Warum Standschwingungsversuche?

- ▶ **Untersuchung des dynamischen Verhaltens**
- ▶ **Experimentelle Identifikation modaler Parameter**
 - ✧ Messung von Resonanzfrequenzen, Eigenformen, modale Dämpfung, generalisierte Masse
 - ✧ Anregung der wichtigen Eigenformen mit hohen Kräften
 - ✧ Evaluierung der Linearität der Eigenformen
 - ✧ Sensoren auf der primären Struktur (Flügel, Leitwerke, Rumpf, Kontrollflächen)
- ▶ **Validierung des dynamischen Finite Elemente Modells**
 - ✧ Justierung von Parametern des FE Modells (Model Updating)



ONERA



Warum Standschwingungsversuche?

- ▶ **Flutteruntersuchungen nach den Regularien der Zulassungsbehörden für die Zertifizierung von neuen Flugzeugtypen**
 - ✧ Flutterberechnungen mit dem FE Model
 - ✧ Erlangung der Flugzulassung
 - ✧ Vorbereitung von Flugtests
- ▶ **Weitere schwingungstechnische Untersuchungen**
 - ✧ Windmilling oder Fan-Blade-Off Untersuchungen; Erregung an den Triebwerken mit sehr großen Kräften; Sensoren auf Systemen (Cockpit, Computer etc.)
 - ✧ Komforttest; Erregung der Decks mit Unwuchterregern; Sensoren auf den Decks



ONERA



Modale Parameter

Physikalische Darstellung:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [D]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F\}$$

Modale Transformation: $\{x\} = \sum_{i=1}^N (q_i \{\varphi_i\})$

Für jeden Eigenmode: $m_i \ddot{q}_i + d_i \dot{q}_i + k_i q_i = f_i$

Updating mit Eigenfrequenz $\omega_i = \sqrt{k_i / m_i}$ und $[\varphi]$



ONERA

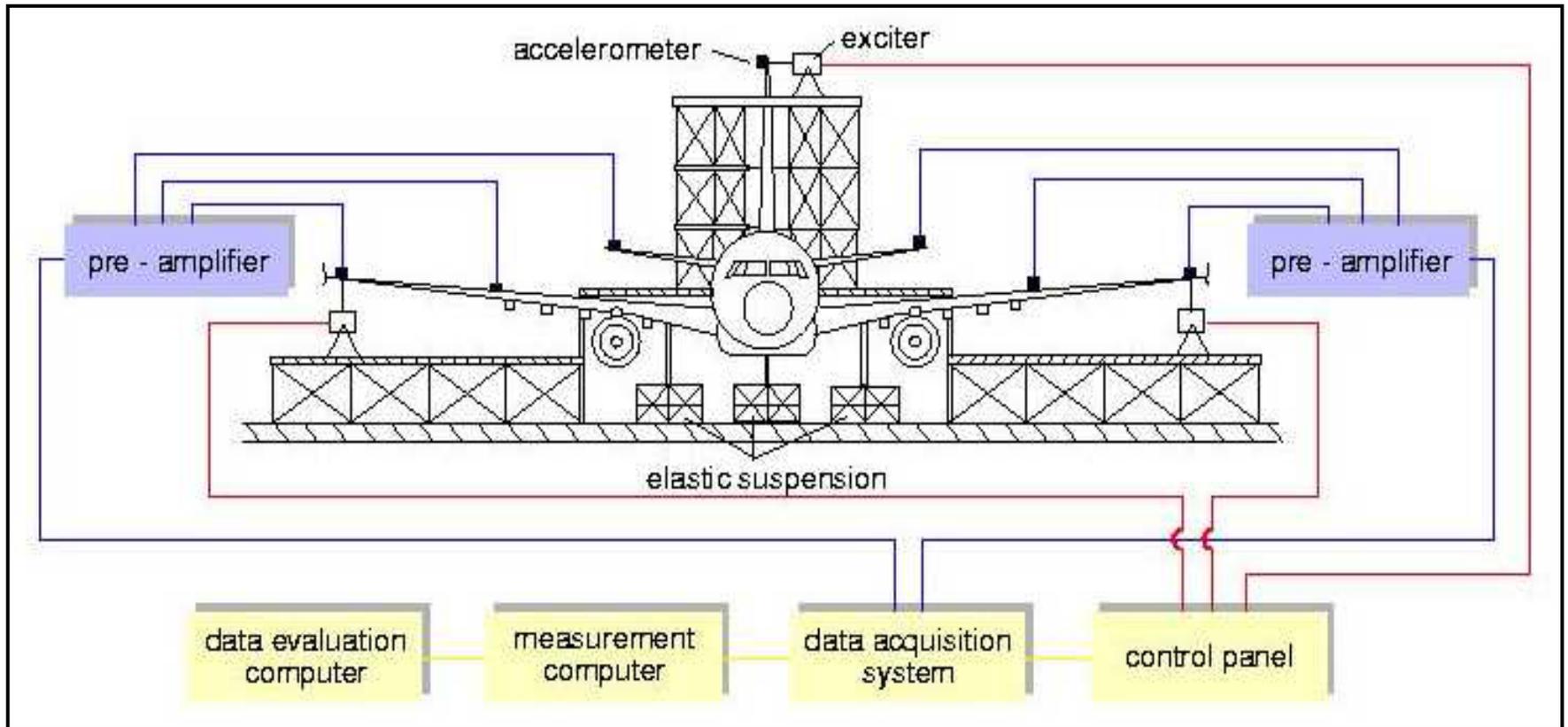


Grundlagen von Standschwingungsversuchen

- ▶ Zentrale Messkampagne am fertiggestellten und bereits flugtauglichen Flugzeug
- ▶ Großer Zeitdruck direkt vor dem Erstflug
- ▶ Messung mehrerer Konfigurationen zur Identifikation der strukturdynamischen Eigenschaften
- ▶ Nutzung des Aufbaus für weitere Schwingungsuntersuchungen (Windmilling, spezielle Komponenten – Fahrwerke, Decks, Landeklappen)



Grundlagen von Standschwingungsversuchen



Typischer Versuchsaufbau



ONERA



Grundlagen von Standschwingungsversuchen – PRM

Phasenresonanz-Verfahren (PRM)

- Harmonische mono-frequente Anregung
- Anpassung der Kraft für jede Eigenform
- Direkte Messung der reellen Eigenformen
- Zeitaufwändig, aber verlässlich, hohe Genauigkeit möglich
- Gut geeignet im Fall von strukturellen Nichtlinearitäten



ONERA



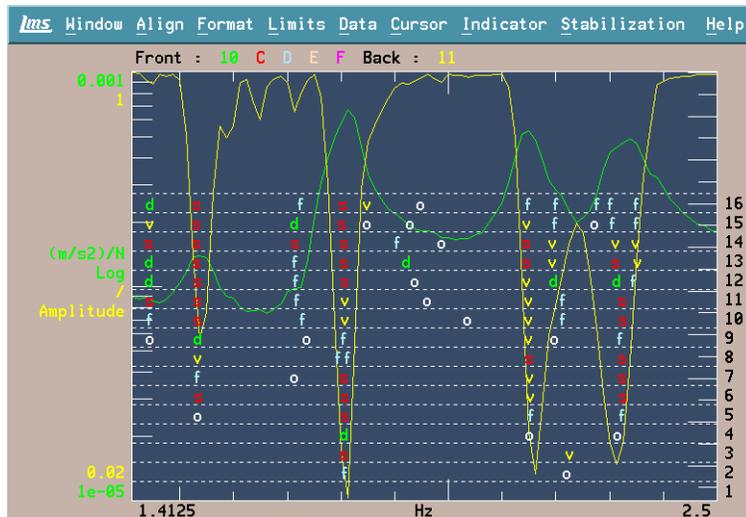
Grundlagen von Standschwingungsversuchen – PSM

Phasentrennungs-Verfahren (PSM)

- Messung von Übertragungsfunktionen (engl. frequency response functions - FRF)
- Breitband-Anregung durch Gleitsinus- oder Randomläufe
- Schnelle Messung
- Sorgfältige Auswertung notwendig
- Zahlreiche Erregerkonfigurationen

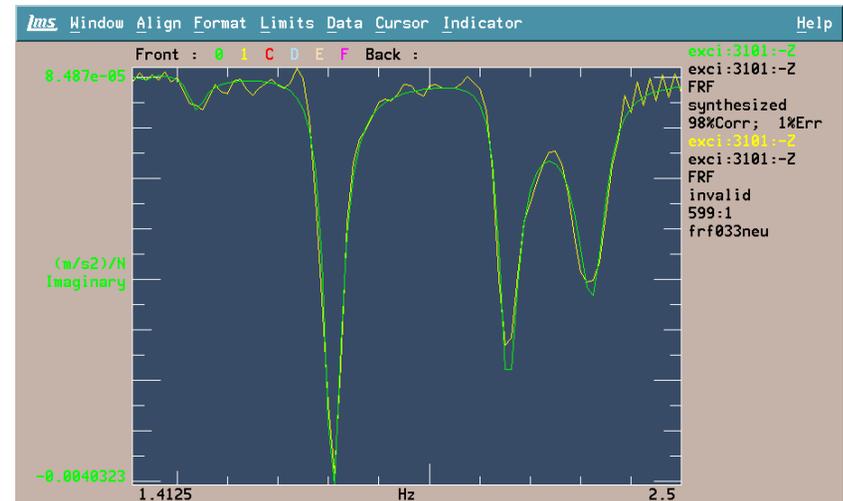


Grundlagen von Standschwingungsversuchen – PSM



Stabilisierungsdiagramm

- ✧ Indikatorfunktion (gelb)
- ✧ Gemittelte FRF (grün)
- ✧ Identifizierte Eigenformen (Buchstaben)

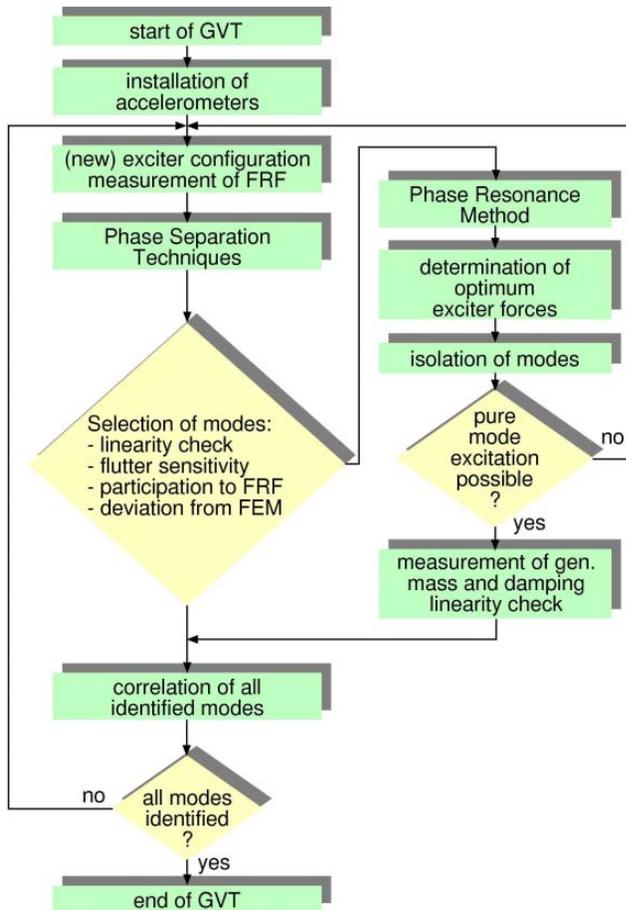


Vergleich zwischen

- ✧ gemessenen FRF (gelb)
- ✧ aus modalen Daten rückgerechneten FRF (grün)



Grundlagen von Standschwingungsversuchen



Verbesserte Teststrategie

- ✧ Kombination von PRM and PSM
- ✧ Reduktion der Testzeit um 1/3 gegenüber den 90er Jahren
- ✧ Verbesserung der Datenqualität
- ✧ Schnelle, zur Messung parallele Analyse von Gleitsinusläufen
- ✧ Detaillierte Analyse von von ausgewählten Eigenformen mit PRM (Flutter-relevante Eigenformen, nichtlineare Phänomene, etc.)



ONERA



Airbus A380-800

Super Jumbo A380 - „Flagschiff“ des 21. Jahrhunderts
Größtes Passagierflugzeug der Welt

- ✧ Spannweite: 80 m
- ✧ Länge: 73 m
- ✧ Höhe: 24 m
- ✧ Zwei Decks:
„main and upper deck“
- ✧ maximales
Startgewicht: 560 tons
- ✧ Kabinengestaltung für
555 bis 806 Passagiere



Copyright AIRBUS Computer Graphics by Fixion



ONERA



Test Vorbereitung – Übersicht

- ▶ **Enge Zusammenarbeit mit der französischen ONERA**
(Office National d'Études et de Recherches Aéronautiques)
 - ✧ Gemeinsame Vorbereitung, Team-Training
- ▶ **Hardware-Entwicklungen**
 - ✧ Sicherheitsabschaltung
 - ✧ Unwuchterregung der Decks
- ▶ **Software-Entwicklungen**
 - ✧ Anpassung der Kraft („Force notching“)
 - ✧ Virtueller Anregungspunkt
 - ✧ Ermittlung nichtlinearer Eigenschaften aus PSM
- ▶ **Nutzung des Finite Elemente Modells**
 - ✧ Antwortrechnungen



ONERA



DLR-ONERA Kooperation

- ▶ **Gemeinsamer Forschungs-SSV 1999**
 - Vorstellung neuer Teststrategie
 - Definition zukünftiger Hardware- und Softwareentwicklungen
- ▶ **Weitgehende Hardware-Kompatibilität**
 - Zusammenschaltung der Datenakquisitionsanlagen (VXI)
 - Verwendung gleicher Erregertypen
- ▶ **Gemeinsame kommerzielle Tests**
 - Jan./Feb. 2001: A340-600, Toulouse
 - Okt./Nov. 2001: A340-500 , Toulouse
 - Jan./Feb. 2002: A318, Hamburg
 - Okt. 2003: A310-MRTT, Dresden

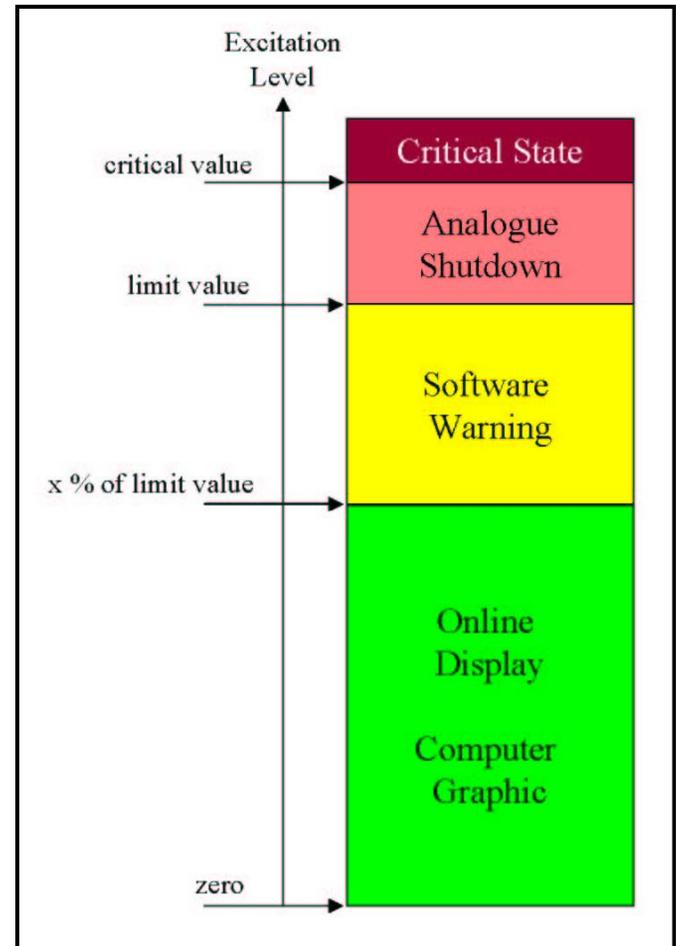
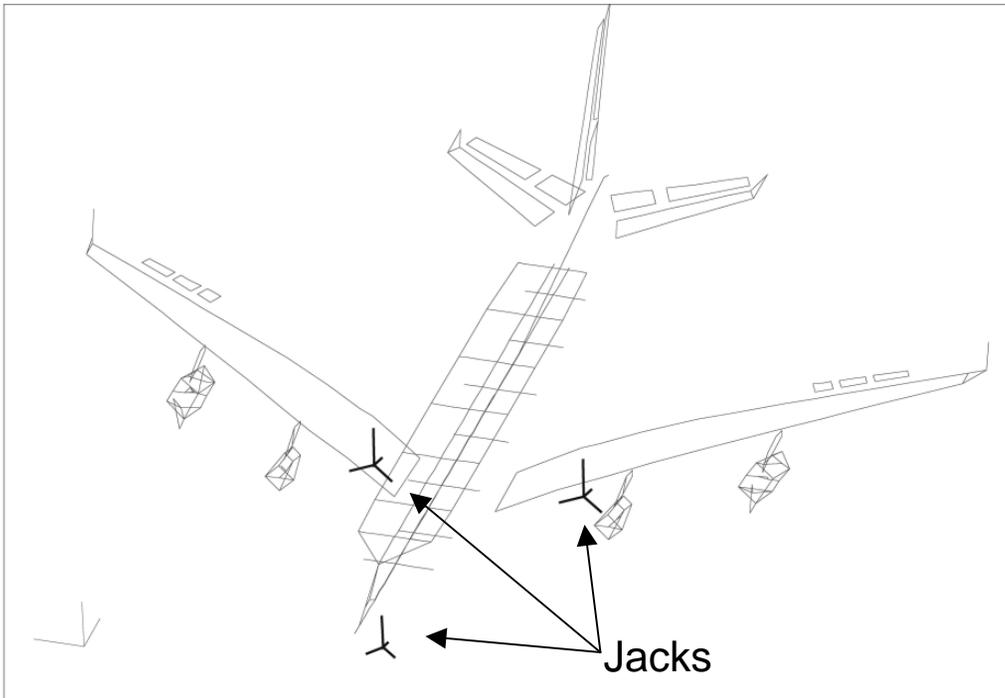


ONERA



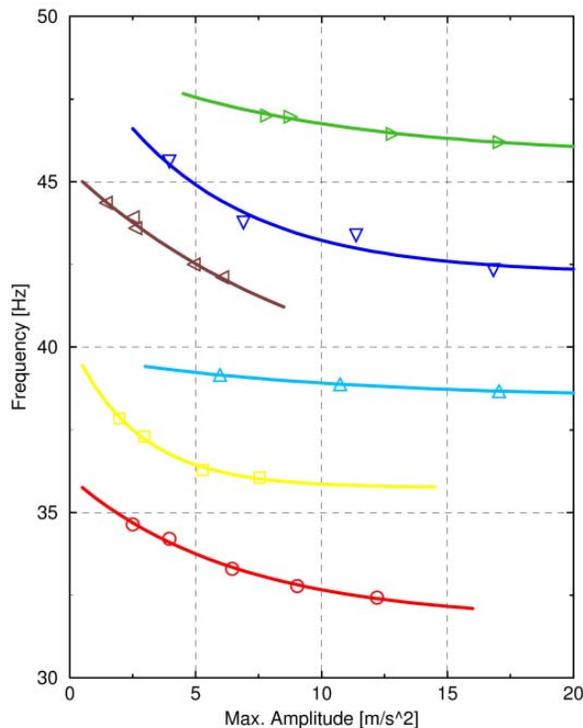
Test Vorbereitung – Sicherheitsabschaltung

Überwachung der Stabilität des Flugzeugs auf der Stützung





Test Vorbereitung – Linearitätsdiagramme



Test auf Abweichungen vom linearen Strukturverhalten
 → Linearitätsdiagramme

Auftragen der identifizierten Eigenfrequenz in Abhängigkeit vom Anregungsniveau

Oft wird ein Sättigungseffekt beobachtet
 → hohes Anregungsniveau notwendig

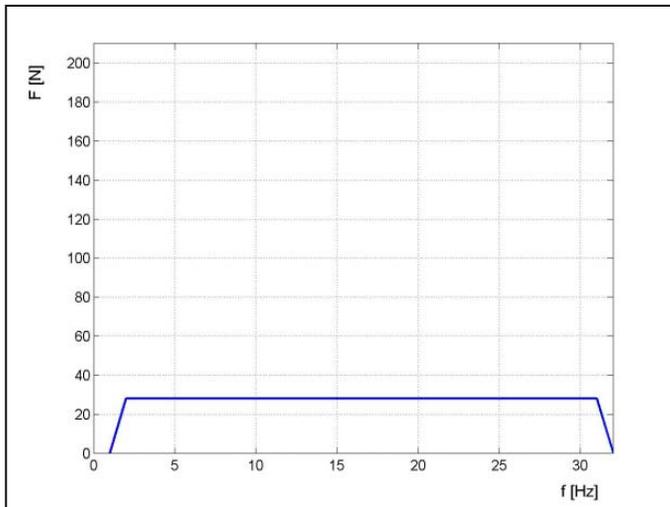
Bislang: Linearitätstest nur im Rahmen der PRM

Neues Verfahren: Erzeugung von Linearitätsdiagrammen aus Gleitsinustläufen

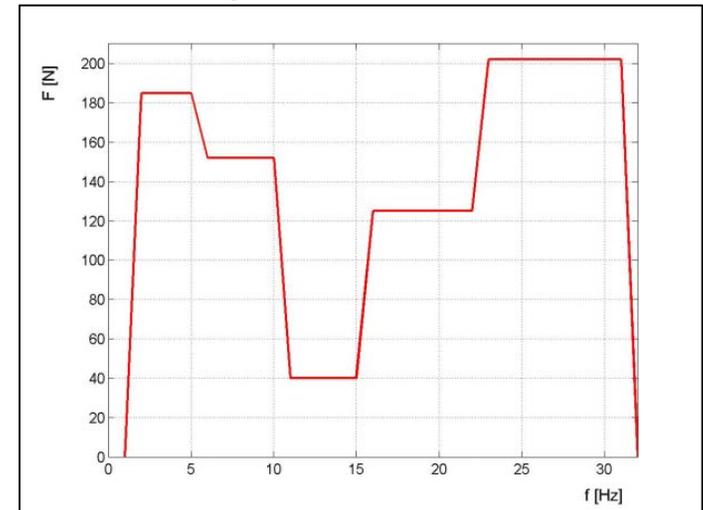


Test Vorbereitung – Anpassung der Kraft

Low-Level Lauf



High-Level Lauf



Restriktionen:

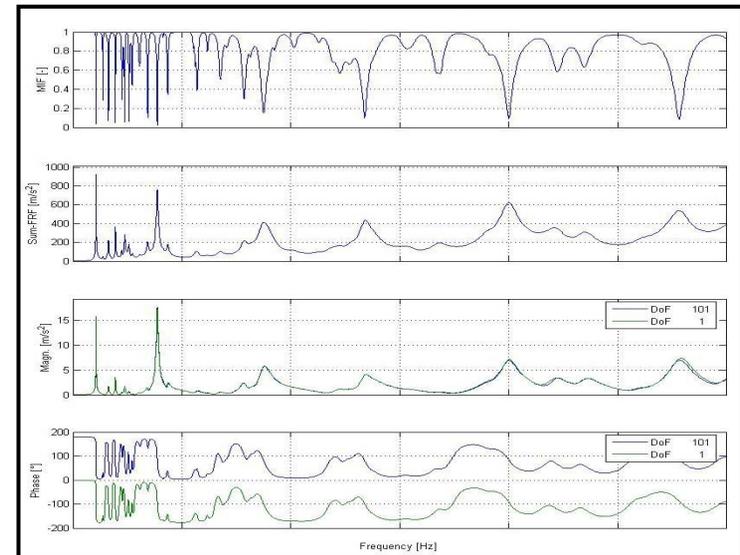
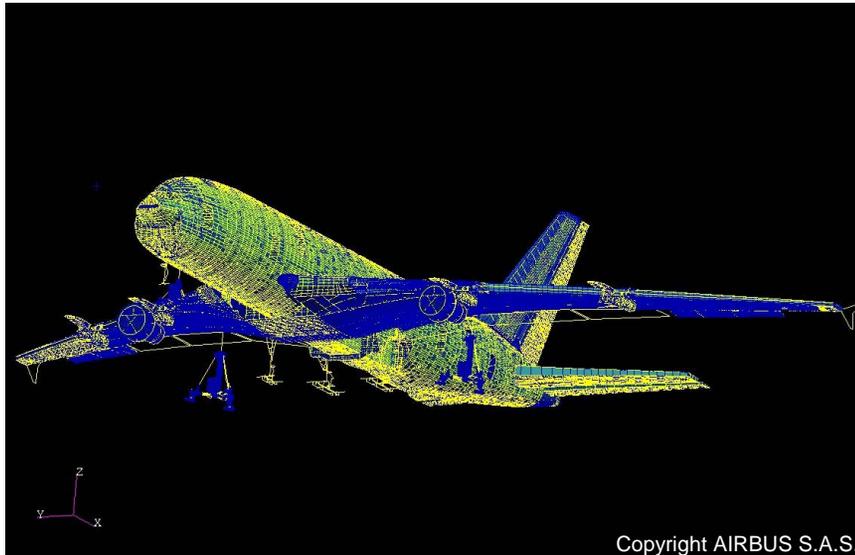
- Maximale Beschleunigung
- Auslenkung des Stößels
- Stabilität des Aufbaus



Test Vorbereitung – Nutzung des FE Models

Numerische Rechnungen mit dem Finite Elemente Model

- ✧ Berechnung von Antwort- und Indikatorfunktionen für potentielle Erregerpositionen
- ✧ Planung von Aufnehmer- und Erregerpositionen (Nachweis von Beobachbarkeit und Steuerbarkeit)





ONERA



Versuchsaufbau – Übersicht

- ▶ Beschleunigungsaufnehmer: 850
 - ✧ Sensoren auf der primären Struktur: 450
 - ✧ Sensoren auf Systemen: 260
 - ✧ Sensoren auf den Decks: 80
 - ✧ Zusätzliche Sensoren: 60
- ▶ Elektrodynamische Erreger: 20
 - ✧ Kräfte zwischen 300 N und 2200 N
- ▶ VXI-System mit 896 Kanälen
- ▶ Gesamtkabellänge: ~25.000 m
- ▶ Arbeitsplattformen für die Installation der Sensoren und Erreger
- ▶ Mobiler Container für die Versuchssteuerung und Datenanalyse



ONERA



Versuchsaufbau – Übersicht



Copyright AIRBUS S.A.S.

A380 während des Standschwingungsversuchs



ONERA



Versuchsaufbau – Übersicht



Copyright AIRBUS S.A.S.

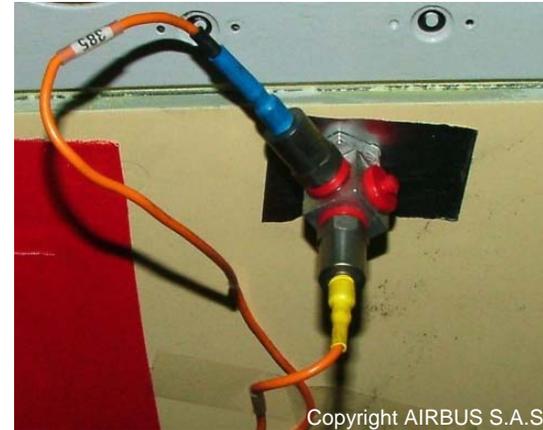
A380 während des Standschwingungsversuchs



Versuchsaufbau – Beschleunigungsaufnehmer



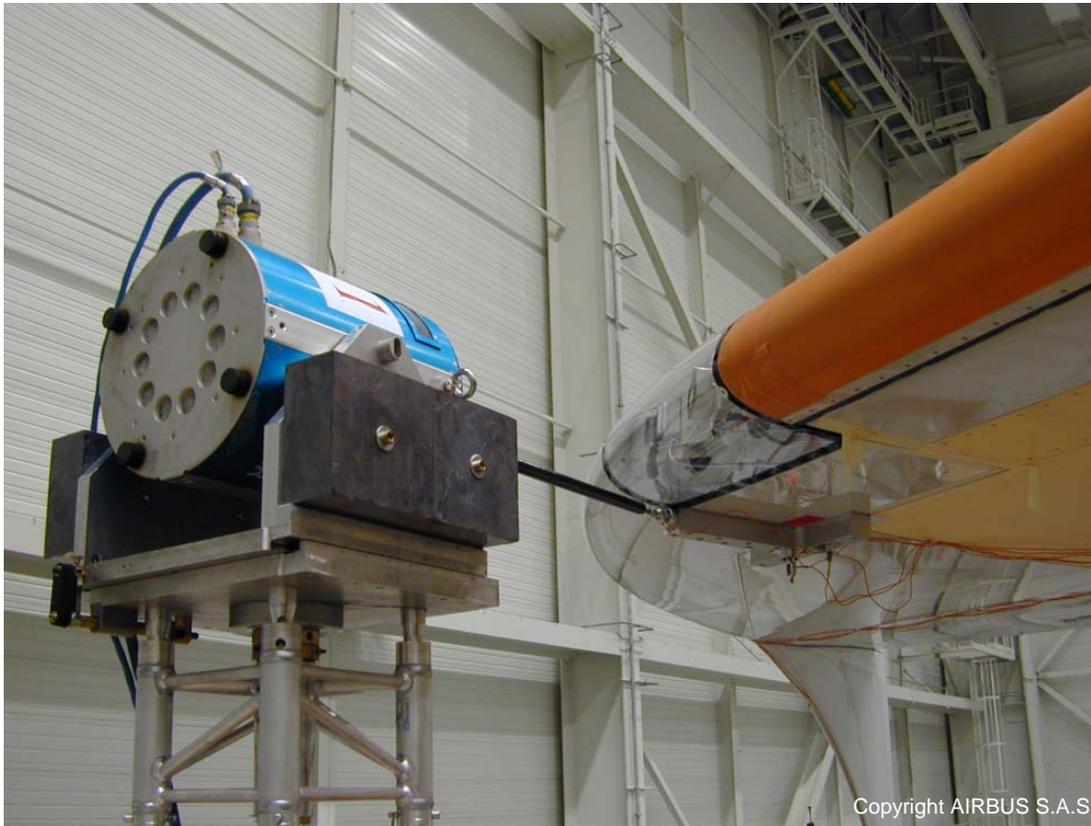
Installation der Aufnehmer



Verschiedene Typen von Sensoren



Versuchsaufbau – Erreger



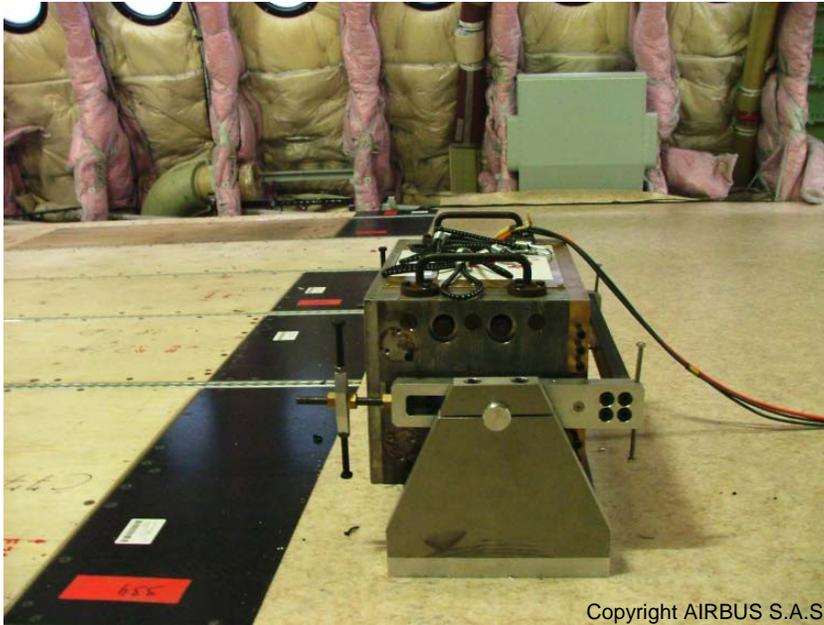
Erreger (550 N) auf Gleittisch
Flügelanregung in Schlagrichtung



2000 N Erreger
Triebwerksanregung



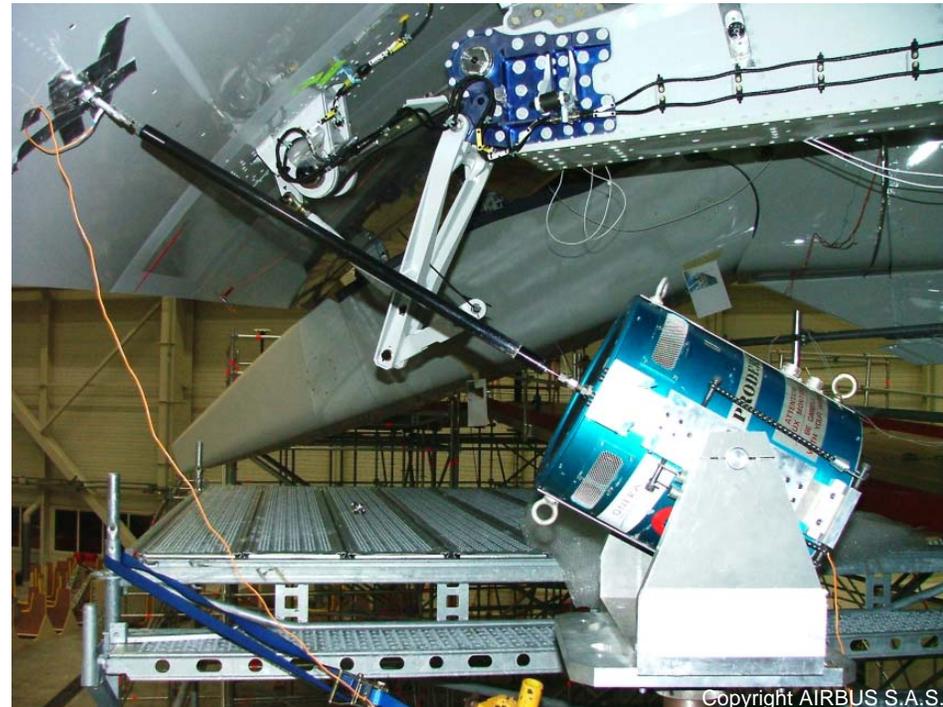
Versuchsaufbau – Erreger



Copyright AIRBUS S.A.S.

Unwuchterreger - Rumpf

Erregung an den
ausgefahrenen Landeklappen



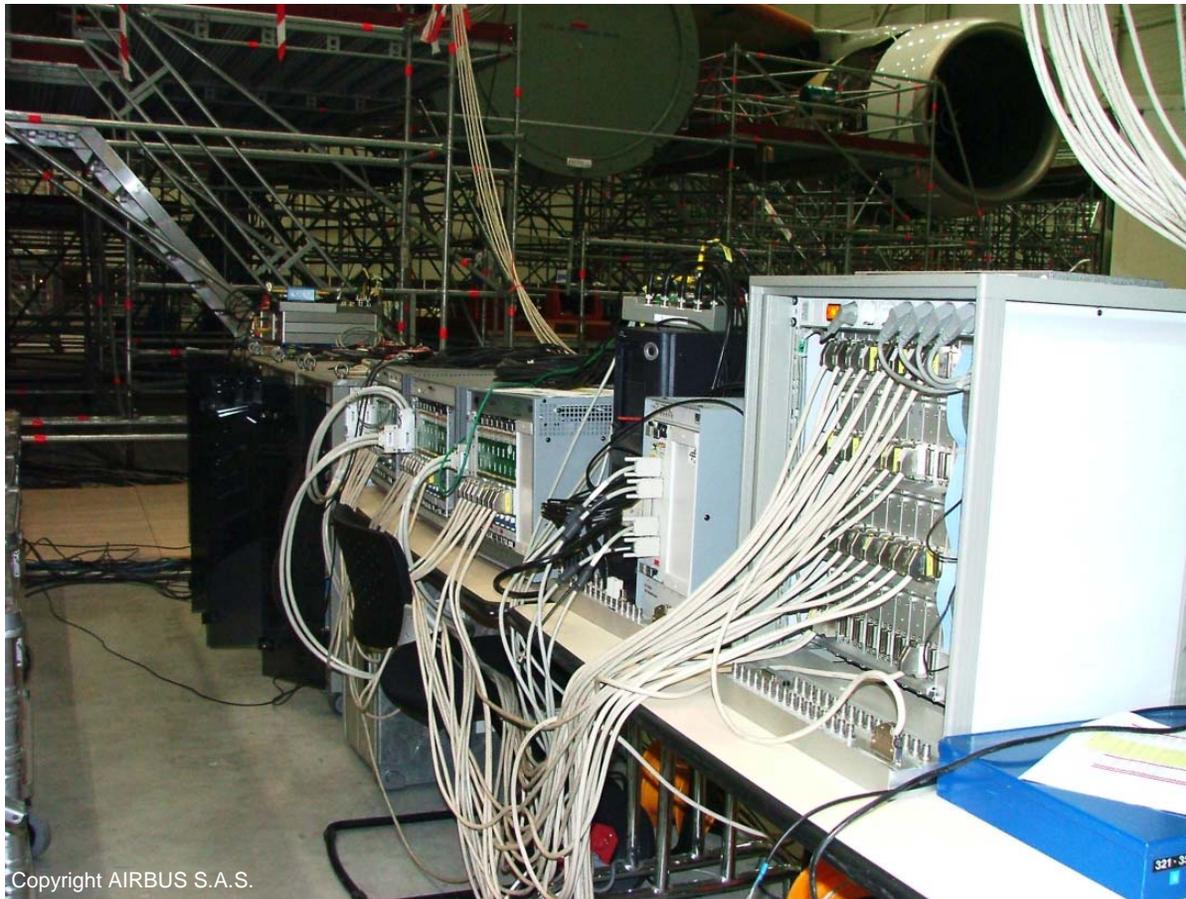
Copyright AIRBUS S.A.S.



ONERA



Versuchsaufbau – VXI-System



Copyright AIRBUS S.A.S.

896 simultane Datennahmekanäle



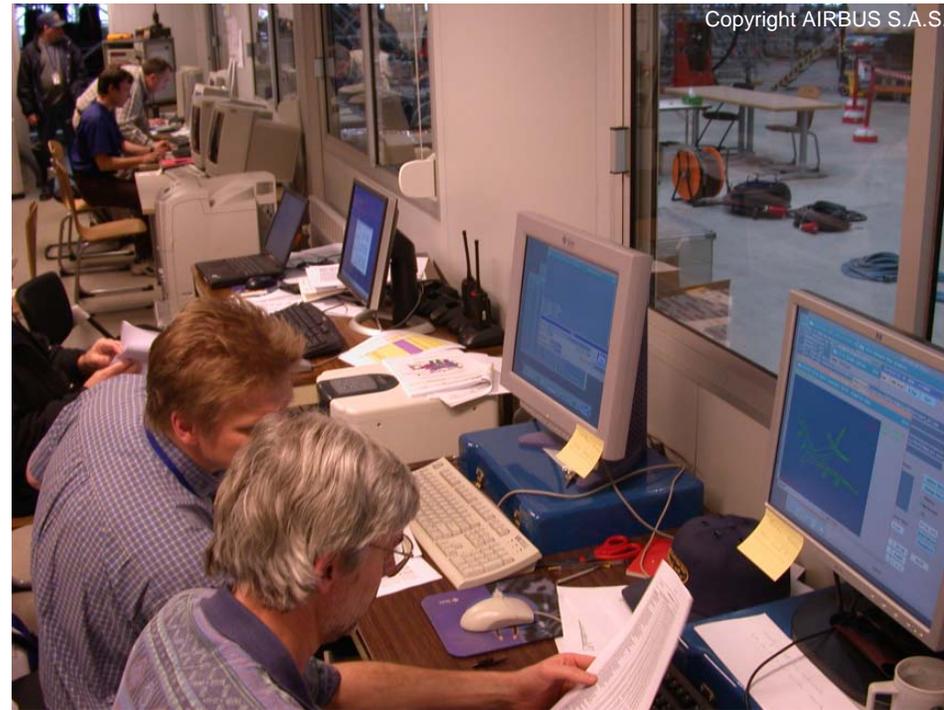
ONERA



Versuchsaufbau - Messcontainer



A380 und Messcontainer



Online Analyse der Breitbanddaten



ONERA



Versuchsdurchführung - Übersicht

- ▶ Versuchsdurchführung in enger Kooperation von ONERA and DLR
- ▶ Test-Team:
 - ✧ 7 Testingenieure
 - ✧ 6 Techniker
 - ✧ 25 Personen für den Auf- und Abbau
- ▶ Testphase: 7. Januar bis 8. Februar 2005
- ▶ Tägliche Flugzeugbelegung von 7:00 to 22:00 Uhr in 2 Schichten
- ▶ Ablauf:
 - ✧ 5 Tage für den Aufbau
 - ✧ 23 Tage für die Versuchsdurchführung
 - ✧ 1 Tag für die Demontage der Aufnehmer



ONERA



Versuchsdurchführung - Testprogramm

▶ **Vibrationstest - Flugzeug**

- ✧ Konfiguration 1: „leere Tanks“
- ✧ Konfiguration 2: „(halb-)gefüllte Tanks“
- ✧ Konfiguration 3: Ausgefahrene Landeklappen
- ✧ Spezielle Tests der Kontrollflächen
- ✧ Identifikation der modalen Parameter

▶ **Windmilling-Versuch**

- ✧ Triebwerkserregung mit sehr hohen Kräften
- ✧ Messung dynamischer Antworten (FRF)

▶ **Deck-Test**

- ✧ Erregung der Decks mit Unwuchterregern
- ✧ Identifikation der modalen Parameter



ONERA



Versuchsergebnisse – Übersicht

▶ **Vibrationstest – Flugzeug**

- ✧ 111 Eigenformen für Konfiguration 1
- ✧ 89 Eigenformen für Konfiguration 2
- ✧ 53 Eigenformen für Konfiguration 3

▶ **Windmilling-Versuch**

- ✧ 38 Gleitsinläufe
- ✧ 30020 gemessene FRF

▶ **Deck-Test**

- ✧ 19 Gleitsinläufe
- ✧ 37 identifizierte Eigenformen



ONERA



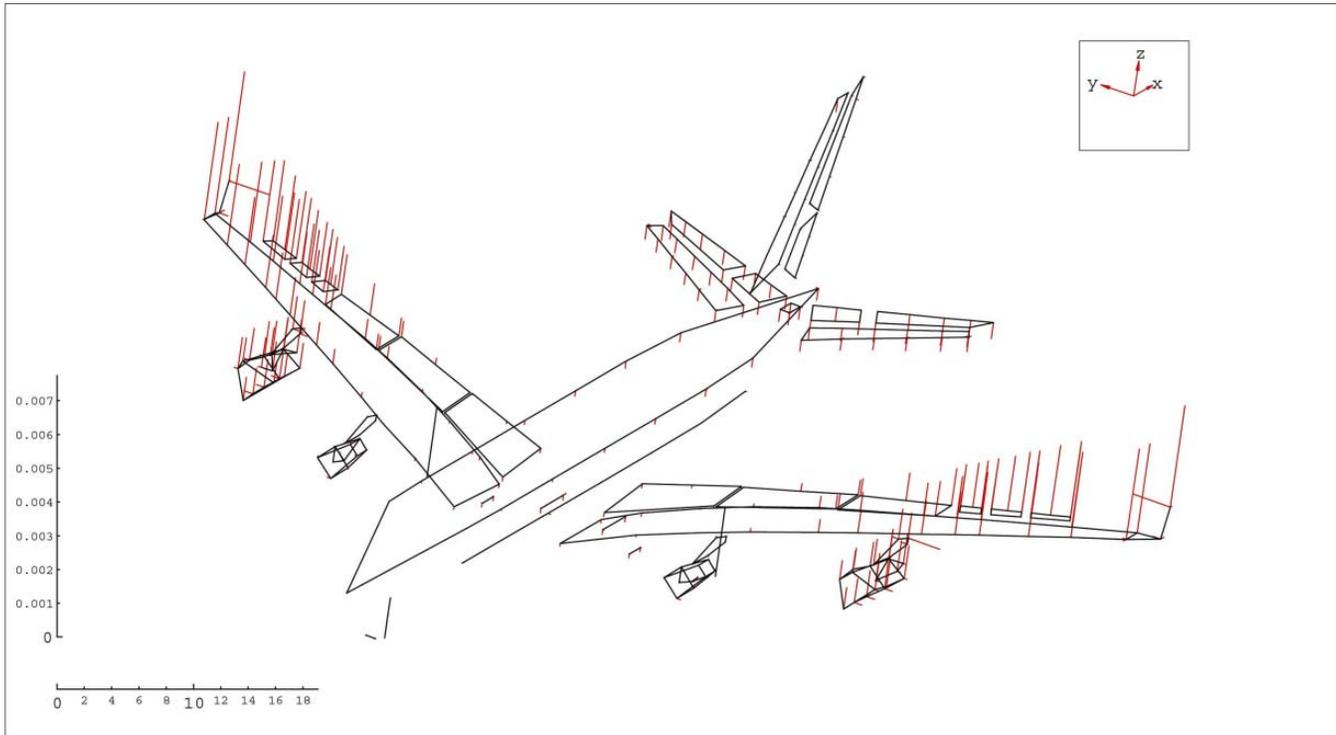
Versuchsergebnisse – Eigenschwingungsform (1)



DLR

ONERA

1. symmetrische Flügelbiegung





ONERA



Versuchsergebnisse – Eigenschwingungsform (2)



DLR

ONERA

1. antisymmetrische Flügelbiegung





ONERA



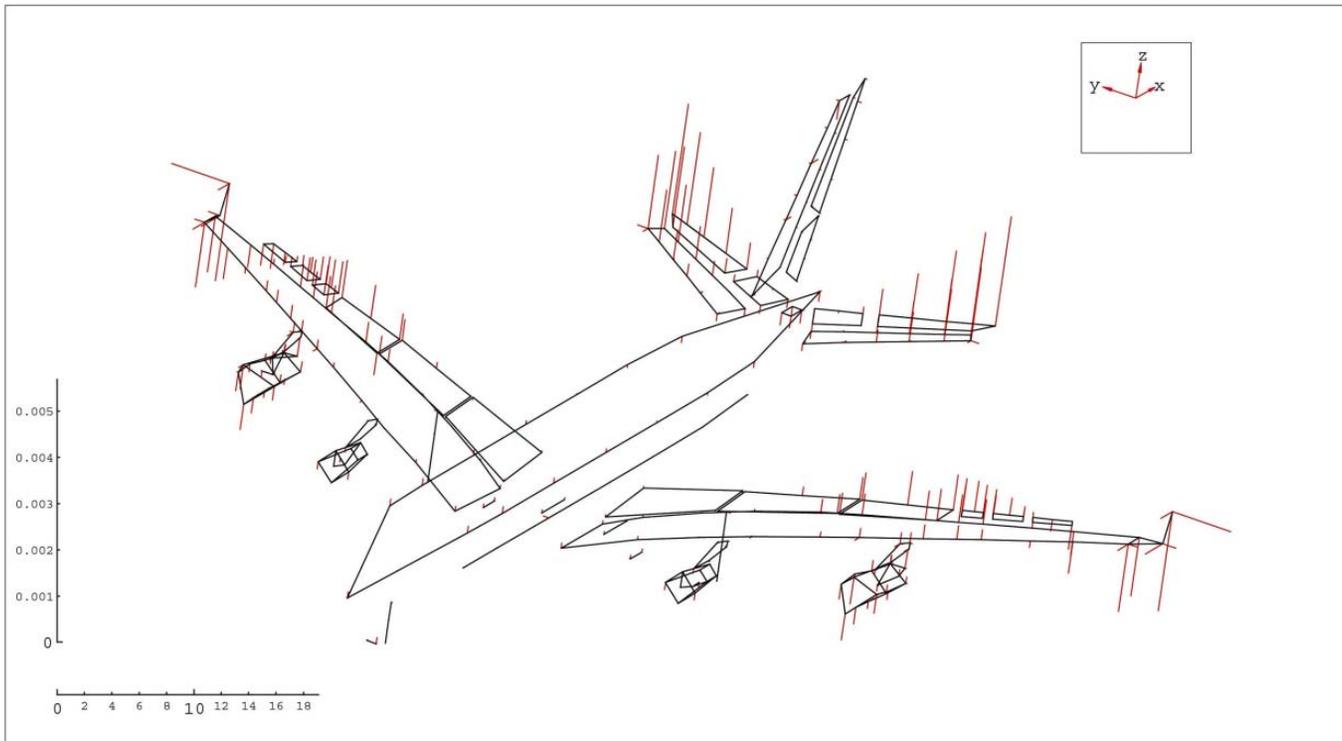
Versuchsergebnisse – Eigenschwingungsform (3)



DLR

ONERA

1. symmetrische Höhenleitwerksbiegung

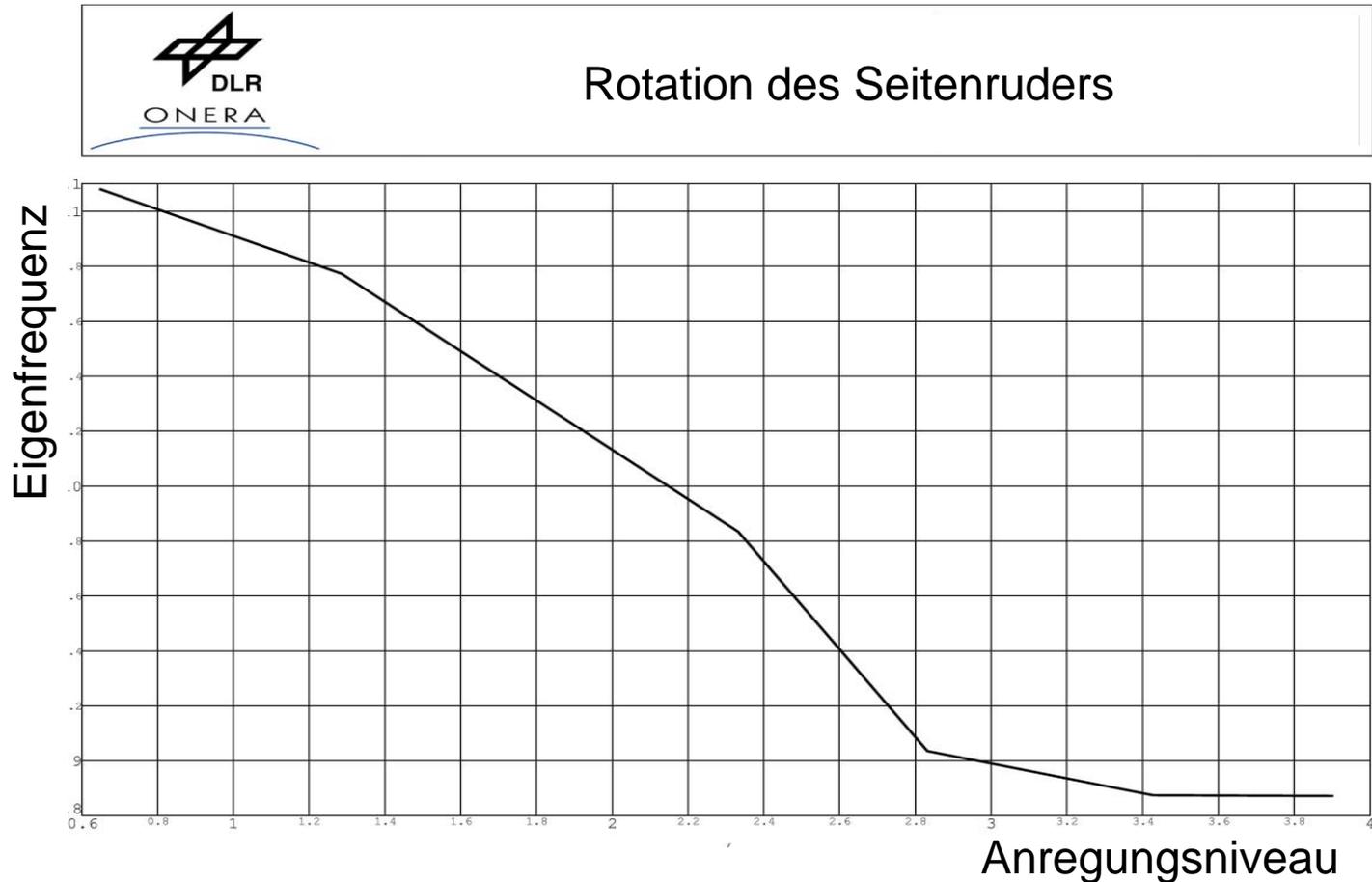




ONERA



Versuchsergebnisse – Linearitätsdiagramm





ONERA



Zusammenfassung und Ausblick

- ▶ Grundlagen von Standschwingungsversuchen
- ▶ Einblick in den Versuchsablauf beim Airbus A380-800
- ▶ Nächste geplante oder mögliche Tests von ONERA und DLR:
 - ✧ A380-800 mit EA GP7200 Triebwerken
 - ✧ Frachter Version A380-800F
 - ✧ Verlängerte Versionen der A380 (?)
 - ✧ Militärisches Transportflugzeug A400M (?)
 - ✧ Airbus A350 (?)
- ▶ Anwendung der Standschwingungstechnik in der Raumfahrt
 - ✧ Satelliten
 - ✧ Raketen/Raketenkomponenten



ONERA



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**