

ENTWICKLUNG EINES VOLUMENREDUKTIONSSYSTEMS AM AIRBUS A400M - BETRIEBSFESTIGKEITSVERSUCH

T. Koch, IABG mbH, 01109 Dresden, Deutschland

Zusammenfassung

Gegenstand der Diplomarbeit ist die Entwicklung eines realisierbaren Systems zur Reduktion des Flugzeug-Innenraumvolumens im Hinblick auf die Optimierung bestimmter Parameter im Betriebsfestigkeitsversuch am AIRBUS A400M. Dazu werden im Vorfeld alle aus dem Versuchsablauf resultierenden Anforderungen sowie die durch den Versuchsaufbau und durch die Flugzeuggeometrie gegebenen Randbedingungen zusammengestellt. Aufbauend auf diese Auslegungskriterien werden grundlegende Konzepte unter Berücksichtigung verschiedener geeigneter Materialien, Formen und Methoden erstellt. Diese werden hinsichtlich der technisch sinnvollen Umsetzbarkeit bewertet und teilweise durch experimentelle Voruntersuchungen für den Einsatz als Reduktionssystem geprüft. Nach Auswahl geeigneter Konzepte werden diese konstruktiv ausgearbeitet und in Zusammenarbeit mit verschiedenen Herstellern und Lieferanten einzelner Teilsysteme optimiert. Eine Nachweisrechnung belegt den Einfluss auf Versuchsparameter und zeigt eine Abschätzung der resultierenden Kosten auf. Abschließend werden die Ergebnisse einem Referenzfall gegenüber gestellt, bewertet und die Einsetzbarkeit der Reduktionssysteme beim AIRBUS A400M Betriebsfestigkeitsversuch dargestellt.

1. MOTIVATION

1.1. Betriebsfestigkeitsversuch

Im Rahmen der Zertifizierung des Airbus Militärtransportflugzeugs A400M führt die Industrieanlagen Betriebs-gesellschaft IABG mbH im Auftrage von Airbus am Standort Dresden einen Betriebsfestigkeitsversuch durch.

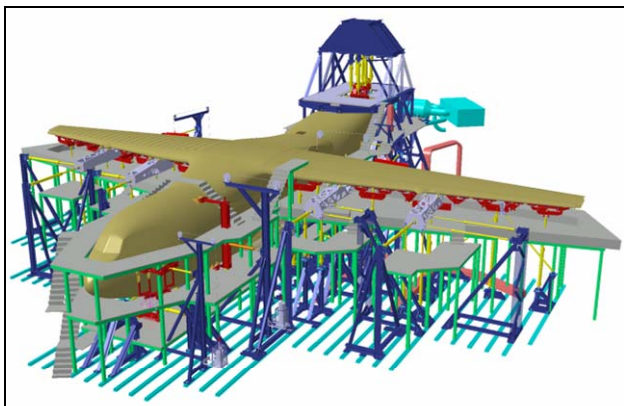


BILD 1. Aufbau des AIRBUS A400M Betriebsfestigkeitsversuches

Hierbei werden in ständig wiederholten Flugsimulationen alle typischen Belastungszustände, die das Flugzeug im täglichen Betrieb in der Luft und am Boden erfährt, am Prüfling nachgebildet. Auf diese Weise wird ein Mehrfaches der geplanten Einsatzdauer des Flugzeugs in kurzer Zeit im Test simuliert. Neben dem Einbringen von äußeren Lasten aus aerodynamischer Beanspruchung und Massenträgheiten wird zur Simulation der Druckdifferenz zwischen Flugzeuginnenraum und Umgebung, der in größeren Flughöhen auftritt, der Rumpf mit einem Überdruck beaufschlagt.

Durch fortlaufende Inspektionen an der Flugzeugstruktur werden die vorangegangenen theoretischen Analysen zur Lebensdauer der Struktur verifiziert. Die verifizierten Analysen bilden dann die Basis für die Zulassung des Flugzeugs.

1.2. Zielsetzung

Eine Volumenreduktion verkleinert den Volumenanteil im Flugzeuginneren, welcher zur Drucksimulation während des Versuches mit Druckluft beaufschlagt wird. Folgende Ziele sollen durch den Einsatz einer Volumenreduktion erreicht werden:

- Steigerung der Versuchsgeschwindigkeit (Verkürzung der Drucksimulationsdauer)
- Senkung der Betriebskosten

2. AUSLEGUNG

2.1. Anforderungen

Für den dauerhaften Einsatz während des gesamten Betriebsfestigkeitsversuches am AIRBUS A400M werden im Wesentlichen folgende Anforderungen an das Volumenreduktionssystem gestellt:

- Widerstandsfähigkeit gegen zyklische Druckbelastung
- transportabel / demontierbar (Zugang zur Flugzeugstruktur bei Inspektionen notwendig)
- keine Kollision mit Flugzeugstruktur, keine zusätzliche Versteifung der Flugzeugstruktur (verbleibt während des Versuches im Flugzeug)
- Schadensunempfindlichkeit
- geringes Eigengewicht
- kostengünstig

2.2. Restriktionen

Die dem Versuch zugrunde liegenden globalen Parameter bilden auch die Grundlage für die Auslegung der Volumenreduktion. Dazu gehören:

- Anzahl zu simulierender Flüge
- max. Rumpfüberdruck während der Drucksimulation
- Art, Umfang und Dauer durchzuführender Inspektionen (teilweise Beräumung der Volumenreduktion notwendig)
- Zeitrahmen für Installation / Deinstallation der Volumenreduktion (bei Inspektionen)

Aus vorangegangenen Simulationsrechnungen (ohne Volumenreduktion) gehen hervor:

- Versuchsgeschwindigkeit
- Simulationsdauer des kürzesten Fluges
- durchschnittliche Simulationsdauer pro Flug

Darüber hinaus gelten Prozessparameter und technische Kenngrößen der bestehenden Pneumatikanlage (zur Rumpfbedrückung). Diese sind:

- Volumen der Druckspeicherkessel
- Leistungsparameter des Luftkompressors
- mittlerer Volumenstrom bei Rumpfbedrückung

Die Flugzeugstruktur sowie der Testaufbau sind bei der konstruktive Auslegung der Volumenreduktion zu berücksichtigen. Diese bestimmen maßgebend:

- nutzbarer Bauraum im Flugzeug
- Zugänglichkeit des Flugzeugrumpfes
- Be- bzw. Entladevorgang und Montage der Volumenreduktionsmittel
- Zwischenlagerung außerhalb des Flugzeuges (bei Inspektionen der Flugzeugstruktur)

2.3. Konzepterstellung

2.3.1. Grundlagen

Die Installation des Volumenreduktionssystems erfolgt über die Laderampe am Heck des Flugzeuges. Um den unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Flugzeugrumpfabschnitte (Sektionen) gerecht zu werden, müssen diese bei der Konzepterstellung getrennt betrachtet werden. Die Verlagerung und Befestigung der einzelnen Reduktionsmittel wird am Frachtraumboden bzw. auf dem Cockpit-Deck realisiert.

Die Umsetzbarkeit eines Konzeptes wird anhand aussagekräftiger Kriterien bewertet. Damit kann die Eignung bestimmter Materialien bzw. Ausgangsstoffe als Reduktionsmittel in den verschiedenen Rumpfsktionen ermittelt werden. Diese Bewertungskriterien sind:

- 1) erreichbarer Reduktionsgrad (Güte der Flugzeuginnenraumbefüllung mit Ersatzvolumen)
- 2) Eigengewicht der Volumenreduktion
- 3) Handhabbarkeit

2.3.2. Lösungsansätze

Es werden verschiedene Konzepte erstellt, aufbauend auf folgende Ausgangsmaterialien für die Verwendung als Volumenreduktionsmittel:

- Polystyrol (als Formblock)
- Druckbehälter (druckfeste Blechkonstruktionen)
- Schüttfähige Materialien (Granulat)
- Pneu-Konstruktionen (aufblasbare Formelemente)

Unter den o.g. Gesichtspunkten haben sich nach eingehender Untersuchung und Gegenüberstellung aller erstellten Konzepte Polystyrol-Formblöcke und Pneu-Konstruktionen als geeignete Mittel für ein Volumenreduktionssystem am AIRBUS A400M Betriebsfestigkeitsversuch heraus gestellt.

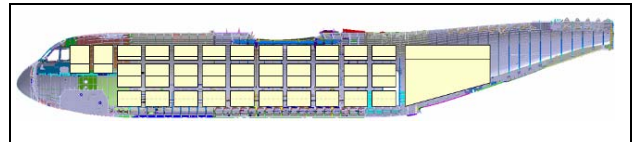


BILD 2. Polystyrol-Formblöcke als Reduktionsmittel

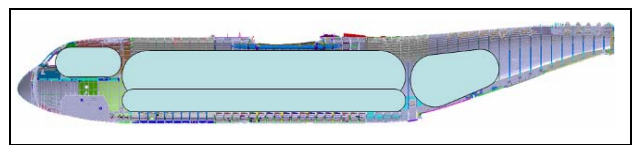


BILD 3. Pneu-Konstruktionen als Reduktionsmittel

2.4. Detailkonstruktion

2.4.1. Reduktionsmittel

In direkter Zusammenarbeit mit Herstellern solcher Produkte werden die konzeptionellen Entwürfe in eine Detailkonstruktion überführt und nach technischen Gesichtspunkten optimiert.

Entgegen der konzeptionellen Auslegung werden einzelne Reduktionskörper bei beiden Methoden (Polystyrol-Formblöcke, Pneu-Konstruktionen), zugunsten der Beschleunigung des Verladevorganges in einzeln verladbare Segmente zusammengefasst. Die getrennte Auslegung entsprechend der Anforderungen der einzelnen Rumpfabchnitte wird dagegen beibehalten.

Ein Verschiebemechanismus an den Polystyrol-Formblöcken ermöglicht eine verbesserte Ausnutzung des verfügbaren Bauraumes in den Frachtraumsektionen. Die einschränkende Größe ist die durchfahrbare Breite der Laderampen-Öffnung.

2.4.2. Zusatzsysteme

Neben der Definition der geometrischen Abmessung wird der Verlade- und Installationsprozess beider Volumenreduktionskonzepte ausgearbeitet. Für die Verladung der einzelnen Segmente sind folgende zusätzlichen Komponenten notwendig:

- Fahrgestelle
- Führungsschienen
- Seilzugsystem

Speziell für das Volumenreduktionssystem mit Polystyrol-Formblöcken sind Linearführungen und Antriebe für den Verschiebemechanismus erforderlich.

Für die Inbetriebnahme der Pneu-Konstruktionen ist eine externe Druckluftversorgung notwendig.

3. RESULTATE

3.1. Nachweisrechnung

Zur Bewertung der entwickelten Volumenreduktionssysteme werden diese einem Referenzfall gegenübergestellt und verglichen. Als Referenzfall wird dabei die Drucksimulation ohne Verwendung einer Volumenreduktion und bei gleicher Pneumatikanlage heran gezogen.

Eine Nachweisrechnung erbringt die für den Vergleich notwendigen Kennzahlen und Werte. Gegenstand der Nachweisrechnung ist die Berechnung des Drucksimulationsvorganges, bestehend aus Flugzeugrumpfbefüllung und anschließender Kesseldruckerholung. Zur vereinfachten Berechnung dieser strömungsmechanisch und thermodynamisch komplexen Vorgänge werden isotherme Zustandsänderungen bei der Expansion bzw. Kompression der Druckkesselluft angenommen. Im Speziellen werden benötigte Zeiten für einzelne Vorgänge sowie der notwendige Energiebedarf des Kompressors und die daraus resultierenden Betriebskosten ermittelt. Darüber hinaus fließen die Beschaffungskosten in die Gesamtbilanz ein.

3.2. Volumenreduktionssysteme

Im Folgenden werden beide ausgearbeiteten Volumenreduktionssysteme dargestellt. Durch die unterschiedliche Ausführung beider Reduktionssysteme ergeben sich jeweils charakteristische Vor- und Nachteile, die den bevorzugten Einsatz der einen oder der anderen Reduktionsmethode bei veränderten technischen Anforderungen und Randbedingungen rechtfertigen.

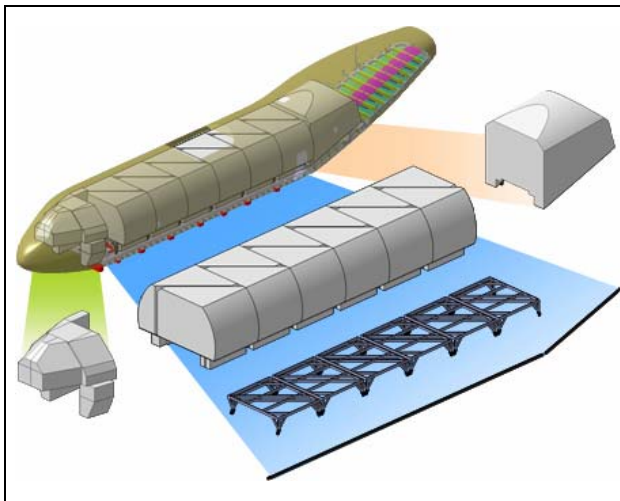


BILD 4. Volumenreduktionssystem mit Polystyrol-Formblöcken

Vorteile der Polystyrol-Formblöcke ergeben sich durch:

- Gesamtkosten im Vergleich zu Pneu-Konstruktionen sind geringer
- nachträgliche Anpassung der Kontur (z.B. bei Kollision mit kleineren Strukturbauteilen im Flugzeug)

- hohe Toleranz gegenüber mechanischen Beschädigungen

Nachteilig dagegen sind:

- hohes Eigengewicht
- technisch aufwendige Zusatzsysteme (Linearführungen + Antriebe für Verschiebemechanismus)

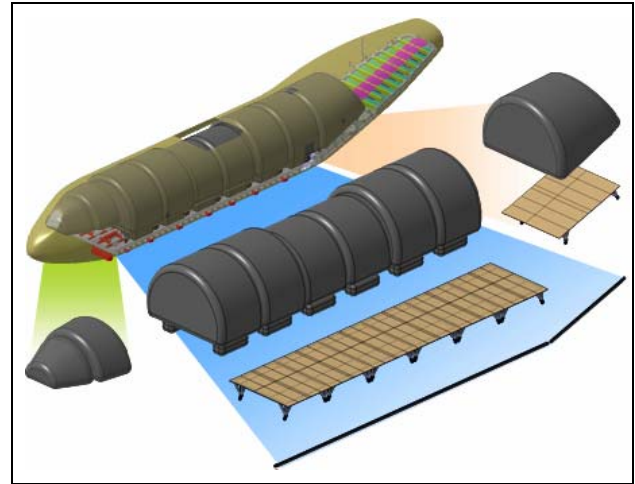


BILD 5. Volumenreduktionssystem mit Pneu-Konstruktionen

Wesentliche Vorteile der Pneu-Konstruktionen sind:

- geringes Eigengewicht
- weniger Formelemente

Dem gegenüber stehen folgende Nachteile:

- höhere Gesamtkosten gegenüber den Polystyrol-Formblöcken
- nachträgliche Anpassung der Kontur ist nicht möglich
- empfindlich gegenüber mechanischer Beschädigung
- aufwendige Zusatzsysteme (Druckluftversorgung)

3.3. Auswertung

Die Ergebnisse der Nachweisrechnung ergeben, dass beide Volumenreduktionssysteme in gleicher Weise zu einer Verbesserung wirksamer Parameter führen. Die Versuchsgeschwindigkeit kann durch die zeitliche Verkürzung des Rumpfbedrückungsvorganges gesteigert werden.

Dem gegenüber steht eine Erhöhung der zu erwartenden Kosten für die Drucksimulation, aufgrund hoher Kosten für die Beschaffung und Bereitstellung der Volumenreduktionssysteme. Dennoch überwiegt der Vorteil durch die Verwendung einer Volumenreduktion den Versuch schneller durchführen zu können. Denn mit diesem erworbenen Nutzen besteht ggf. die Möglichkeit an anderer Stelle Kosten einzusparen, so dass die Investition in ein Reduktionssystem kompensiert wird. Da beide vorgestellten Volumenreduktionssysteme vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich dieser Kriterien erbringen, sind daher auch beide Varianten prinzipiell für den Einsatz im AIRBUS A400M Betriebsfestigkeitsversuch geeignet.