

Anwendungsbeispiel

Liebherr-Aerospace: Optische Messtechnik von GOM beschleunigt Zulassungstests neuer Fahrwerke

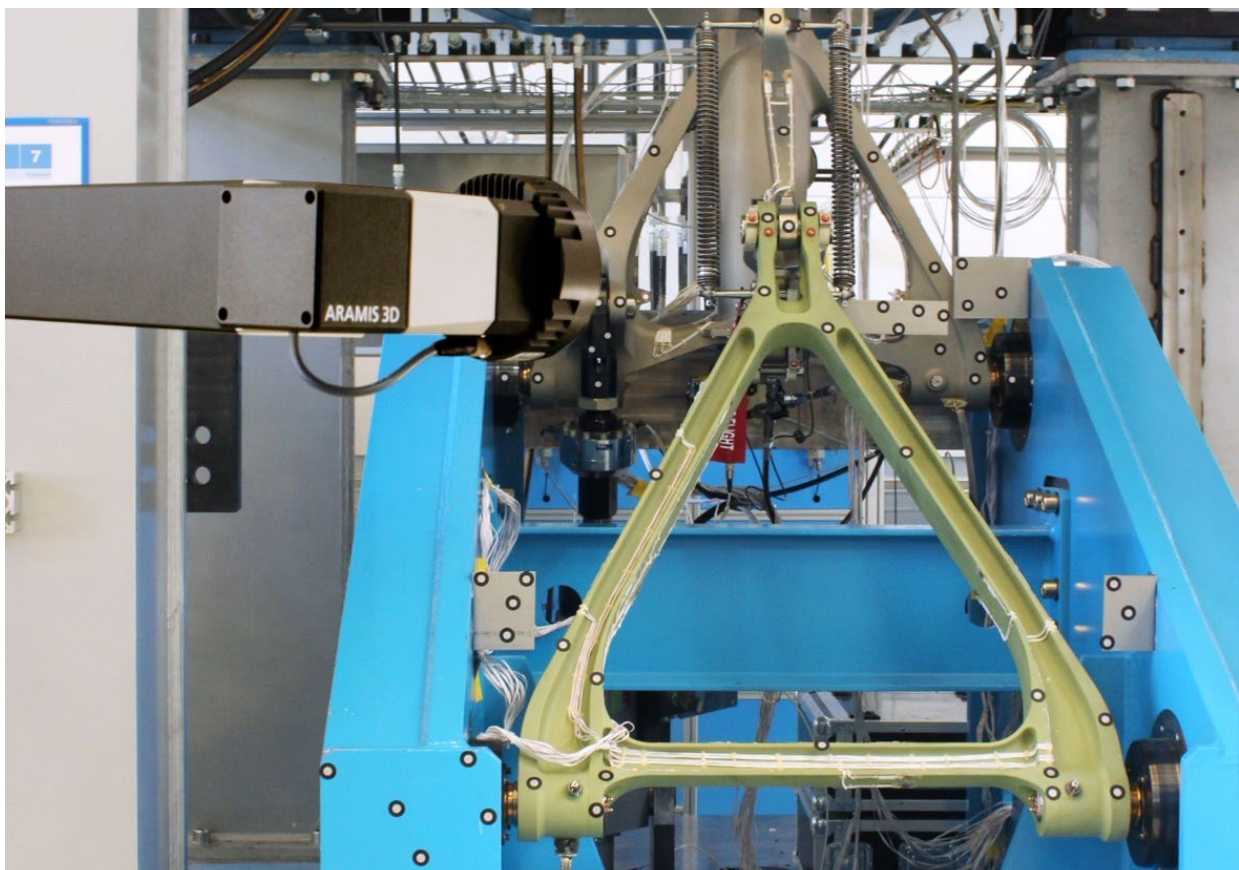
Standort/Land: Lindenberg, Deutschland

GOM System: ARAMIS

GOM Software: ARAMIS Professional

Arbeitsbereich des Unternehmens: Luftfahrtindustrie

Liebherr-Aerospace nutzt GOMs ARAMIS 3D Camera für Strukturtests an Fahrwerkskomponenten. Dadurch ist das Unternehmen in der Lage Bauteilverformungen bei statischen oder dynamischen Belastungstests sowohl punktuell als auch flächenhaft zu ermitteln.



Innovative Testmethoden zur Validierung der Simulation sowie neue Ansätze aus dem Bereich Virtual Testing ermöglichen der Liebherr-Aerospace Lindenberg GmbH, Lindenberg (Deutschland), einem führenden Zulieferer von Systemen für die Luftfahrtindustrie, die weitere Auslegung des Materials und damit die Entwicklung verbesserter Fahrwerkssysteme. Die optimierten Prozesse und das daraus resultierende schlanke Design haben in der Luftfahrtindustrie eine immer größere Bedeutung und sichern Wettbewerbsvorteile.

Bevor die Fahrwerkssysteme für den Flugbetrieb freigegeben werden, sind intensive Testkampagnen notwendig, um ihre Tauglichkeit hinsichtlich der hohen Anforderungen an Funktion, Sicherheit und Lebensdauer unter Beweis zu stellen. Dafür setzt die Luft- und Raumfahrtindustrie verstärkt optische Messsysteme und Auswertesoftware der GOM GmbH ein. Ihre Messtechnik arbeitet berührungslos und erfasst Oberflächen

sowie 3D-Verschiebungen und -Verformungen. Hierdurch werden Bauteilverformungen bei statischen oder dynamischen Belastungstests sowohl punktuell als auch flächenhaft ermittelt. Mit diesen Messdaten werden Simulations- und Konstruktionsprozesse kontinuierlich optimiert, sodass die Strukturbauteile steigenden Anforderungen bei gleichzeitiger Einhaltung der hohen Sicherheitsvorgaben gerecht werden.

Liebherr-Aerospace führt in seinem Testzentrum in Lindenberg, Deutschland, mit der ARAMIS 3D Camera Strukturtests auf Subsystemebene an neu entwickelten Fahrwerkssystemen durch. Bei diesen zulassungsrelevanten Strukturtests werden prinzipiell zwei Kategorien unterschieden: Limit- bzw. Ultimate-Strength-Tests und Ermüdungstests. Während das Fahrwerkssystem bei den Limit- und Ultimate-Strength-Tests seine strukturelle Integrität unter quasistatischen Belastungen unter Beweis stellen muss, werden bei den Lebensdauertests zykli-

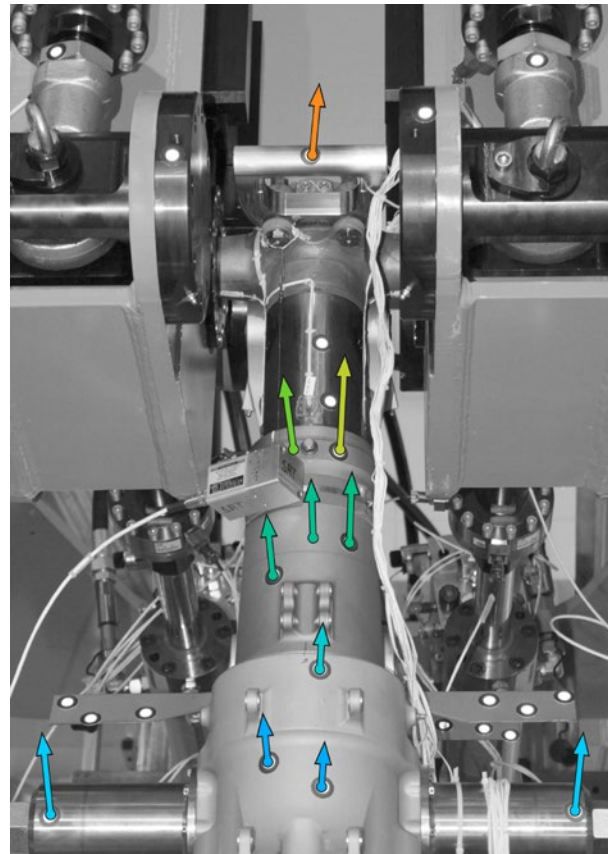
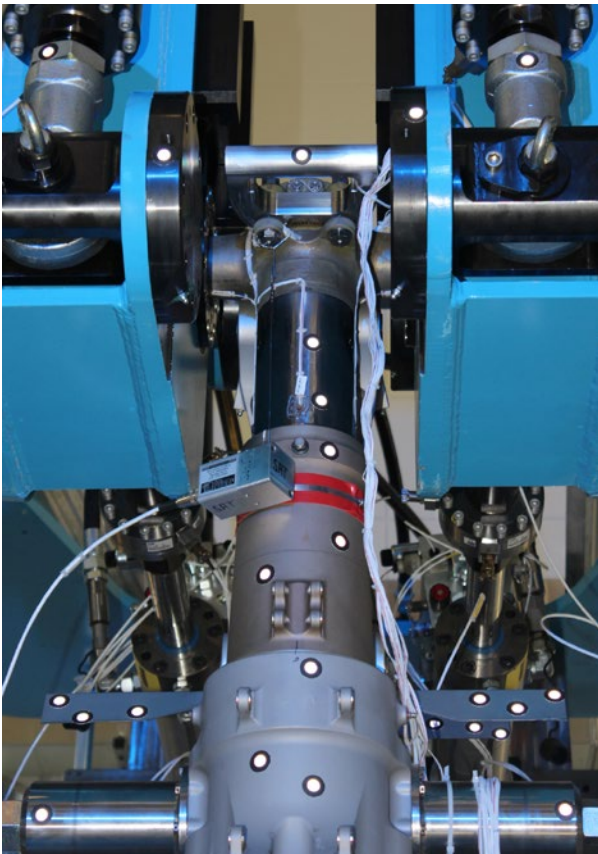


Abb. 1: Der 3D- Bewegungs- und Verformungssensor liefert Messdaten der Bauteilgeometrien sowie der dreidimensionalen Verschiebungen und gibt Aufschluss über das Verhalten der Bauteile unter Last.

sche Betriebslasten aufgebracht, um die Zeitfestigkeit der Fahrwerke gegenüber der Spezifikation zu verifizieren. Die äußeren Lasten werden dafür durch Hydraulikzylinder über repräsentative Belastungsvorrichtungen in die Fahrwerksstruktur eingeleitet, um Verschiebungen am gesamten Fahrwerk in den verschiedenen Belastungszuständen zu analysieren.

Die Durchführung dieser umfangreichen Testkampagnen der bis zu 5 Meter großen Prüflinge erfolgt in eigens dafür konstruierten Prüfvorrichtungen mit entsprechenden Belastungs- und Messeinrichtungen. Neben den laufenden Limit-Strength-Tests führt Liebherr-Aerospace für die Zulassung auch Ermüdungstests durch, die mitunter mehr als zwölf Monate dauern und mehr als 2 Millionen Belastungszyklen beinhalten können.

Die Fahrwerksstruktur wird bei den statischen Zulassungstests mehreren kritischen Lastfällen ausgesetzt. Hierbei steht insbesondere die punktuelle Analyse des Komponentenverhaltens unter Bodenlasten im Fokus, da diese den Belastungszustand des Fahrwerks während der Landung und der Rollwege des Flugzeugs beschreiben. Die optischen Sensoren liefern Messdaten der Bauteilgeometrien sowie der dreidimensionalen Verschiebungen und geben Aufschluss über das Verhalten der Bauteile unter Last. Für die Testingenieure ist vor allem die Frage interessant, ob sich bei den Bauteilen und Komponenten unter Last bleibende Verformungen einstellen und wie groß die Sicherheiten diesbezüglich sind. Anhand der gewonnenen Messdaten werden nicht nur spezifizierte Erfolgskriterien geprüft, sondern gleichzeitig Simulations- und Konstruktionsprozesse verifiziert und ggf. angepasst, um die Realität bestmöglich abzubilden. Das beschleunigt die Produktentwicklung. Hierfür sind detaillierte Analysen des Bauteilverhaltens notwendig für deren Erstellung und besseren Darstellung sowie Veranschaulichung mit ARAMIS das geeignete Verfahren zur Verfügung steht.

Liebherr-Aerospace hat die berührungslos arbeitenden Sensoren von GOM vollständig in den Versuchsaufbau integriert. Im Gegensatz zu konventionellen Methoden wie Seilzugaufnehmer oder Dehnungsmessstreifen (DMS) erfasst die ARAMIS 3D Camera sowohl punktuelle als auch flächenhafte dreidimensionale Verschiebungen und Dehnungen der jeweiligen Fahrwerkskomponente.

Im Ermüdungstest werden reale Lande- und Rollvorgänge simuliert, um das Dauerfestigkeitsverhalten des Systems über den kompletten Lebenszyklus zu analysieren. Darüber hinaus werden bei den statischen als auch bei den Ermüdungstests die behördlich vorgeschriebenen Belastungsfaktoren aufgeschlagen, um Streuungen in den Materialkennwerten und der Fertigung zu berücksichtigen.

Drei Prüfstände im Einsatz

Jeder der Prüfstände ist speziell für den jeweiligen Vorgang konzipiert. Sie sind bis zu 6 Meter breit, 7 Meter hoch und 5 Meter tief; insgesamt nehmen sie eine Fläche von fast 70 m² ein. Eine zentrale Hydraulikanlage versorgt die Prüfstände, wodurch Belastungen bis zu einem Maximum von 4.000 psi und 560 kN, das entspricht 57 Tonnen, möglich sind. Neben der ARAMIS 3D Camera zur dynamischen Messung von Verformungen erfassen 100 synchronisierte Kanäle Kräfte, Drücke und Temperaturen.



Abb. 2: Sowohl punktuelle als auch flächenhafte dreidimensionale Verschiebungen und Dehnungen werden erfasst.



Abb. 3: ARAMIS lässt sich leicht in den Versuchsaufbau integrieren. Die Inspektionpunkte werden über Messmarken identifiziert.

Im Strukturversuch wird der Prüfling mehreren Maximal-szenarien ausgesetzt: u. a. maximale Torsion, Bremsmomente sowie Vertikalbelastung nach oben und unten. Dabei erhöhen die Testingenieure die Lasten jeweils in mehreren Stufen und analysieren das Bauteilverhalten anhand der gewonnenen Messdaten. Der Einbau des Fahrwerks im Prüfstand ist identisch zu dem im Flugzeug, auch Originalbauteile des Flugzeugs kommen zum Einsatz. Um die Lasten aufzubringen, werden bis zu 13 servohydraulische Lastzylinder gleichzeitig eingesetzt. Die Räder des Fahrwerks werden dabei durch sogenannte Wheel Dummies ersetzt, über die die Bodenlasten repräsentativ in die Radachsen eingeleitet werden.

Vorteile der optischen Messsysteme

Im Gegensatz zu herkömmlichen Messmitteln wie Dehnungsmessstreifen und eindimensionalen Wegaufnehmern erfassen optische Systeme wie ARAMIS dreidimensionale Verschiebungen und Verformungen. Gleichzeitig messen sie Geschwindigkeiten und Beschleunigungen. Anhand der punktuellen Messdaten werden durch 6DoF-Analysen (sechs Freiheitsgrade) translatorische und rotatorische Bewegungen relativ zueinander oder absolut in allen Raumrichtungen bestimmt. So können die Testingenieure genau erfassen, an welchen Stellen sich das Fahrwerk besonders stark verformt. Dabei lässt sich ARAMIS leicht in den Versuchsaufbau integrieren: Inspektionpunkte werden über Messmarken identifiziert, mittels optisch getracktem GOM Taster können außerdem Soll-Positionen bestimmt und Adapter eingemessen werden.

Die Messdaten werden mit ARAMIS Professional evaluiert, was den Workflow vereinfacht und ein wesentlicher Vorteil des neuen parametrischen Systems ist. So können auch während des Testlaufs sowie im Post-Processing Änderungen in der kompletten Stufenauswertung vorgenommen werden. Auf Knopfdruck werden alle entsprechenden Elemente automatisch aktualisiert.

Optische Messsysteme beschleunigen auch den Versuchsaufbau. ARAMIS Professional bietet die Möglichkeit, die Messaufgabe zu Beginn der Testkampagne einmalig einzurichten, um die weiteren Tests dann mit zuverlässig funktionierenden Projektvorlagen durchzuführen. Darüber hinaus nutzt Liebherr-Aerospace das ARAMIS System, um die richtige Ausrichtung der Lastzylinder vor und während der Testreihen hinsichtlich der Vorgaben zu prüfen.

Zunächst wird die Messaufgabe mit dem TRITOP System von GOM eingemessen, das die Koordinaten von dreidimensionalen Objekten mittels Photogrammetrie erfasst.

Nach der Ausrichtung der Daten zum CAD werden die DMS-Positionen rückprojiziert. Das bedeutet erhebliche Zeitersparnis, mussten die DMS-Positionen doch vorher aufwendig manuell bestimmt werden. Nach dem Einrichten der Messaufgabe wird für den eigentlichen Testdurchlauf die ARAMIS 3D Camera mit einem Messvolumen von 5 Metern als 3D-Deformationsmesssystem eingesetzt – oftmals mit zwei Sensoren gleichzeitig. Der GOM Taster wird dabei verstärkt genutzt, um Verformungsinformationen an schwer zugänglichen Positionen zu bestimmen sowie um verschiedene Adapter taktil einzumessen.

Außerdem wird der GOM Taster bei Liebherr genutzt, um den Prüfaufbau einzumessen und nachzuweisen, dass Interfacepunkte im Prüfstand mit den Zeichnungen und damit mit der originalen Flugzeugstruktur übereinstimmen. Für den Fall, dass während des Tests der Verdacht einer bleibenden, globalen Verformung aufkommt, kann der Nutzer diesen unmittelbar im Prüfaufbau mit dem GOM Taster überprüfen, ohne dass das Fahrwerk ausgebaut und zu einer Koordinatenmessmaschine gebracht werden muss. Für die folgenden Fatigue-Tests soll auch die flächenhafte Verformungsmessung stärker genutzt werden, um Gewissheit über Belastungs-Hotspots zu erlangen.

Bereits seit 2010 setzt Liebherr-Aerospace GOM Systeme für das Testen von Fahrwerken ein. Das ARAMIS System, das seit November 2015 bei Liebherr genutzt wird, vereinfacht die Abläufe signifikant, insbesondere bezüglich des Einrichteaufwands. Der Aufwand pro Lastfall wird dadurch stark reduziert. Dank der Blue Light Technology und des vereinfachten Lichtmanagements sind die Messergebnisse unabhängig von Fremdlichteinflüssen. „Beim neuen ARAMIS sind die perfekt integrierten Tracking Spots und das einfache Lichtmanagement der Grund dafür, dass ich es als Plug-and-Measure System bezeichnen würde“, sagt Thomas Pfeilschifter, Strukturtestexperte bei Liebherr-Aerospace in Lindenberg. „Es benötigt nun keine wesentliche Einarbeitungszeit mehr, um gute und valide Ergebnisse zu erhalten.“ Optische Messsysteme lassen sich einfach in verschiedene Test- und Prüfstände inte-

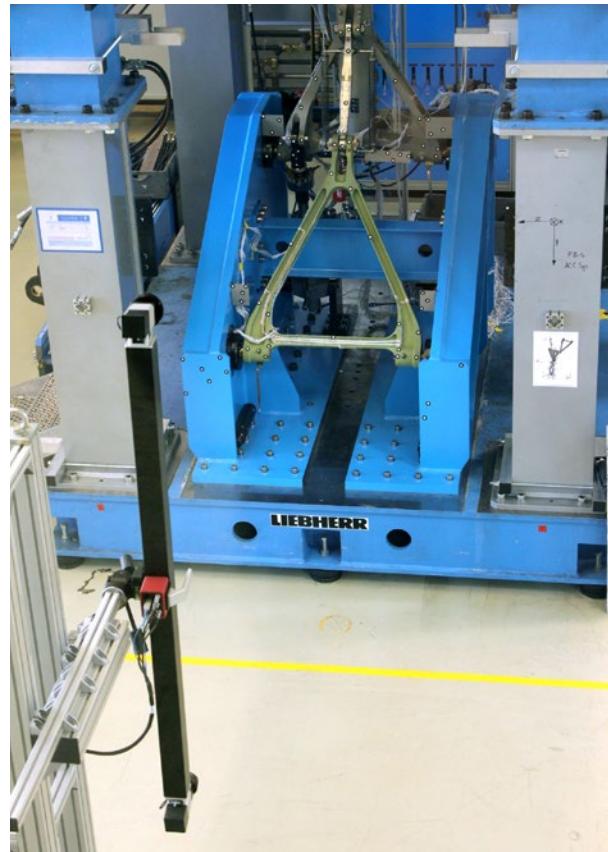


Abb. 4: Das neue Fahrwerk in einer individuell konstruierten Prüfvorrichtung der Fa. Liebherr-Aerospace in Lindenberg.

grieren, gleichzeitig erfassen sie statische und dynamische Verformungen sowohl punktuell als auch flächenhaft. Die 3D-Messdaten sind dauerhaft verfügbar und können auch nach den Versuchen sowie in verschiedenen Kontexten ausgewertet werden. Die Ergebnisse lassen sich in Tabellen, Videos und Bildern darstellen.

Zudem werden die 3D-Messdaten von GOM genutzt, um das Prüfdesign zu optimieren und ausschließlich die spezifischen Lasten der Flugzyklen, die auf die Strukturen wirken, zu messen. Gleichzeitig überzeugen GOM Systeme bei der Ursachensuche im Fehlerfall, denn sie unterstützen aufwendige Analysemethoden, vereinfachen oder ersetzen sie sogar vollständig.

GOM – Präzise industrielle 3D-Messtechnik

GOM entwickelt, produziert und vertreibt Software, Maschinen und Anlagen für die 3D-Koordinatenmesstechnik und das 3D-Testing auf Basis neuester Forschungsergebnisse und innovativer Technologien. Mit über 60 Standorten und mehr als 1.000 Messtechnik-Spezialisten garantiert GOM eine fundierte Beratung sowie weltweiten Support und Service. Mehr als 10.000 Systeminstallationen optimieren die Produktqualität und Abläufe der Automobilindustrie, der Luft- und Raumfahrtindustrie und der Konsumgüterindustrie.

Liebherr-Aerospace Lindenberg GmbH

Die Liebherr-Aerospace Lindenberg GmbH, Lindenberg, gehört zur Sparte Aerospace und Verkehrstechnik der Firmengruppe Liebherr. Sie ist auf die Entwicklung und Fertigung von Flugzeugfahrwerken, Flugsteuerungs- und Betätigungssystemen sowie Getriebe für Flugzeuge und Helikopter aller Art spezialisiert. An den Standorten Lindenberg und Friedrichshafen arbeiten mehr als 2.600 Beschäftigte.