

BEWEGUNG AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Neue optische Messtechnik für Flugversuche

Von Fritz Boden



Bevor ein Fluggerät für den Luftverkehr zugelassen werden kann, sind unter anderem Nachweise über die Festigkeit der Struktur und die Flatterstabilität zu erbringen. Rechnungen und numerische Untersuchungen erlauben zwar schon in der Entwurfsphase, die strukturelle Festigkeit und die Schwingungseigenschaften des Fluggerätes sehr genau abzuschätzen. Doch eine verlässliche und von den Behörden anerkannte Nachweisaussage erhält man erst durch Bodenversuche und Flugerprobung. Zur Durchführung der Versuche ist das Fluggerät oftmals mit einer immens großen Anzahl von Sensoren und entsprechender Verkabelung ausgerüstet. Diese Installationen sind sehr aufwändig und man greift in die Struktur ein. – Grund genug für die DLR-Forscher, nach einem alternativen Messverfahren zu suchen.



Was ist IPCT?

IPCT steht für Image Pattern Korrelation Technique und beschreibt ein Messverfahren, welches es ermöglicht, mittels zwei oder mehr Kameras die 3-D-Geometrie von beliebigen Objekten (zum Beispiel Windkanalmodelle, Tragflächen von Flugzeugen, Propellerblätter) sowie deren Bewegung oder Deformation zu bestimmen. Die Messtechnik basiert auf der Anwendung so genannter photogrammetrischer Verfahren in Kombination mit Auswertungsalgorithmen der Particle Image Velocimetry (PIV).

Die grundlegende Funktionsweise ist mit dem räumlichen Sehen beim Menschen vergleichbar. Objekte im Blickfeld werden dabei gleichzeitig aus zwei unterschiedlichen Blickwinkeln (beim Menschen rechtes und linkes Auge) beobachtet. Durch Erkennen gleicher Strukturen in beiden Bildern lassen sich über die bekannten Positionen und Abbildungsvorschriften der Beobachtungspunkte die Raumkoordinaten der betrachteten Objekte ermitteln.

Das menschliche Gehirn führt diese Berechnung in Sekundenbruchteilen durch. Die IPCT-Methode stellt nun die Umsetzung dieses räumlichen Sehvorgangs in einem hochpräzisen Messverfahren dar. Im ersten Schritt wird die zu untersuchende Oberfläche mit zwei Kameras aus zwei verschiedenen Blickrichtungen aufgezeichnet. Um mittels eines so genannten Kreuzkorrelationsalgorithmus ähnliche Bereiche in beiden Bildern identifizieren zu können, ist die Oberfläche mit einem zufälligen Punktemuster versehen. Das Ergebnis dieses Schrittes sind die Bildkoordinaten gleicher Punktemusterbereiche.

Sind nun die inneren Parameter (z. B. Brennweite, Linsenverzerrung, Lage des Bildhauptpunkts) und die äußere Orientierung (z. B. Position, Lage) beider Kameras bekannt, lassen sich aus den ermittelten Bildkoordinaten über Zentralprojektion und Triangulation die 3-D-Raumkoordinaten des identifizierten Punktemusterbereichs errechnen. Durch wiederholte Anwendung dieses Algorithmus auf alle Punktemusterbereiche lässt sich schließlich die komplette 3-D-Oberfläche mit hoher Genauigkeit rekonstruieren.

Die Genauigkeit des berührungsfrei arbeitenden Messverfahrens liegt in der Größenordnung von 0,01 Prozent des Beobachtungsgebiets (zum Beispiel 0,1 Millimeter auf einen Meter Messbereich). Mittels eines Vergleichs der berechneten 3-D-Fläche in einem unbelasteten Referenzzustand (zum Beispiel Tragfläche des am Boden stehenden Flugzeugs) mit einem belasteten Zustand (beispielsweise leicht durchgebogene Tragfläche beim fliegenden Flugzeug) können Verschiebungsvektoren und somit Deformationen abgeleitet werden. Sind die Materialeigenschaften des beobachteten Objekts bekannt, lassen sich die lokalen Spannungen errechnen.

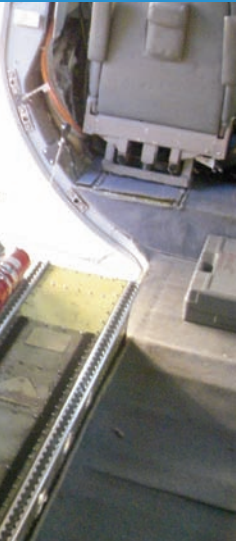
Datenauswertung an Bord



Im Rahmen des EU-Projekts „AIM – Advanced In-Flight Measurement Techniques“ holt das DLR zusammen mit zehn Partnern moderne optische Messverfahren wie die Messtechnik IPCT (Image Pattern Correlation Technique) aus der wohldefinierten Windkanalumgebung und erprobt sie unter realistischen Flugbedingungen.

Um den Installationsaufwand der bisherigen Messapparaturen zu minimieren, sind Wissenschaftler der Abteilung Experimentelle Verfahren am Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik in Göttingen dabei, das bildgebende Messverfahren IPCT im Flugversuch zu erproben. Das Messverfahren bietet die Möglichkeit, bei geringem Modifikationsaufwand großflächig und mit hoher Genauigkeit die Deformation von belasteten Strukturen zu bestimmen, ohne die Struktur selbst oder deren Umströmung zu stören. Das Equipment, das die Göttinger Wissenschaftler für ihre IPCT-Messungen verwenden, besteht dabei im Grun-

Kameras im Gepäckraum der Piaggio P 180



Kamera mit Stativ in der Kabine



de nur aus zwei Kameras, welche unter verschiedenen Blickwinkeln ein auf die zu untersuchende Struktur (beispielsweise eine Tragfläche oder ein Rotorblatt) aufgebrachtes zufälliges Punktemuster beobachten. Aus dem mit den beiden Kameras aufgenommenen Stereobildpaar wird dann die beobachtete Oberfläche dreidimensional rekonstruiert.

Die Kameras werden dabei von einem im DLR speziell entwickelten Computersystem, dem Videostroboskop, mit Strom versorgt und gesteuert. Dieses Videostroboskop kann durch ein externes Signal aktiviert werden und löst dann zu einem definierten Zeitpunkt zeitsynchron bis zu vier Kameras und einen Aufhellblitz aus. Dadurch wird es möglich, selbst sehr schnelle periodische Vorgänge in allen Phasenlagen aufzuzeichnen.

Diese Kombination des Phasenschlebens und der stereoskopischen Aufnahme nutzt das DLR zum Beispiel bei der Deformationsmessung an

einem zum Schwingen gebrachten Tragflügel einer Piaggio P180. Wie bei einem herkömmlichen Standschwingversuch wird dabei die Struktur mit einem so genannten Shaker angeregt und die Antwort der Struktur gemessen. So ermittelt man deren Eigenfrequenzen. Bisher erfolgt die Messung der Strukturantwort beim Standschwingversuch mit Hilfe von Beschleunigungsaufnehmern, die an diskreten Punkten angebracht werden. Im Unterschied dazu wird bei der IPCT-Methode mit Hilfe des Videostroboskops die Durchbiegung und Verwindung der gesamten beobachteten Fläche bestimmt.

Ermittlung der Propellerdeformationen im Freiflug

Mit diesem Aufbau wird einerseits die Flügeldurchbiegung und -verwindung am Boden gemessen, andererseits soll die Kamera-Installation auch im Freiflug verwendet werden. Aus den mit IPCT ermittelten Ober-

flächendaten lassen sich die Form und die Lage des Flügels im Raum und letztlich seine Reaktion auf einwirkende Lasten bestimmen. Durch einen Vergleich der berechneten 3-D-Fläche in einem unbelasteten Referenzzustand mit einem belasteten Zustand können Verschiebungsvektoren abgeleitet werden, was auf den Verlauf der Deformation schließen lässt. Sind die Materialeigenschaften des beobachteten Objekts bekannt, lassen sich die lokalen Spannungen und somit die Materialbelastung errechnen.

Die Deformationsmessung mittels IPCT ist jedoch nicht nur zum Bestimmen der Tragflächendurchbiegung und -verwindung interessant, sondern bietet auch die Möglichkeit, schnell bewegte Objekte, wie zum Beispiel Propellerblätter, zu untersuchen. Im Rahmen des Projekts AIM ist an der Piaggio P180 auch die Ermittlung der Propellerdeformation im Freiflug mittels IPCT vorgesehen. Hierfür sind die Kameras zusammen



mit einer Reflexlichtschranke, einer Blitzlampe und dem Videostroboskop im Gepäckraum des Flugzeugs befestigt. Die Kameras schauen durch spezielle Fenster in der Gepäckraumklappe auf den Propeller, welcher mit 3.000 Umdrehungen pro Minute rotiert. Um ein einzelnes Blatt phasenstarr aufzeichnen zu können, wird das Videostroboskop durch ein von der Laserlichtschranke einmal pro Umlauf erzeugtes Signal aktiviert. Bei fest eingestellter Phasenverschiebung werden dann die Kameras und eine Blitzlampe ausgelöst und es wird immer dasselbe Blatt aufgezeichnet. Die aufgezeichneten Stereobilder können, wie auch bei der Flügeldeformationsmessung, mit IPCT ausgewertet werden und geben Auskunft über die Deformation und den Anstellwinkel der Propellerblätter.

Im Gegensatz zum Propeller eines Flugzeugs, bei dem die Deformation eher gering ist, treten bei Hubschrauberrotoren zum Teil große Durchbiegungen und Verwindungen der Rotorblätter auf. Diese beeinflussen direkt das Flugverhalten des Hubschraubers. Deshalb gehört die Ermittlung dieser Hauptrotor deformation am Hubschrauber unter Anwendung von IPCT im Freiflug ebenfalls zu den Messaufgaben innerhalb des EU-Projekts. Bei herkömmlichen Deformationsmessungen am Hubschrauberrotor werden so genannte Dehnungsmessstreifen verwendet, welche an der Stelle, an der sie angebracht sind, die lokale Längen-Änderung registrieren. Da die Dehnungsmessstreifen aufgrund der Kabelzuführung und der Datenerfassung jedoch nur in begrenzter Anzahl auf dem Rotorblatt angebracht werden können, liegen nur an diskreten Stellen des Blatts Informationen vor. Hier zeigt sich wiederum das Potential der flächenhaften

Hubschrauber-Probelauf: Der EC-135 ACT/FHS mit IPCT-Kamerasystem (am Hubschrauber rechts oben erkennbar)



optischen Deformationsmessung mittels IPCT. Um die Machbarkeit einer IPCT-Messung am Hubschrauber zu demonstrieren, wird innerhalb von AIM der DLR-eigene Eurocopter EC-135 ACT/FHS mit einem IPCT-Messsystem ausgerüstet. Das Messsystem ähnelt demjenigen, das bei der Propellerdeformationsmessung Einsatz findet, und wird an den Seilwindenfestpunkten der EC-135 befestigt.

Im nächsten Schritt wird das Videostroboskop in den Hubschrauber integriert

Für einen ersten Versuch war der Hubschrauber am Boden fixiert und das Videostroboskop extern aufgebaut. Die bei dieser Messung zu bewältigenden Probleme lagen einerseits in der Zugänglichkeit des Messbereichs in drei Meter Höhe, andererseits in der hohen Geschwindigkeit des Rotorblatts.

Der Test, welcher in erster Linie als Boden-Vorversuch gedacht war, hat

die gute Anwendbarkeit der Messtechnik IPCT mit der Aufzeichnung durch das Videostroboskop demonstriert. Im nächsten Schritt wird das Videostroboskop in den Hubschrauber integriert. Mitte 2008 soll eine Messung im Freiflug erfolgen. Ein Modelllauf zur Demonstration der Funktionsweise der Videostroboskopie und der bei IPCT angewendeten Kreuzkorrelationsalgorithmen wird auf der ILA 2008 der Öffentlichkeit vorgestellt.

Autor:

Fritz Boden ist am DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik in Göttingen als Jungwissenschaftler auf dem Gebiet optische Flugversuchstechnik tätig. Die vorgestellten Tests fanden innerhalb des EU-Projekts AIM mit starker Unterstützung durch Dr. Boleslaw Stasicki, Benedikt Over und Sebastian Speck, der DLR-Flugabteilung Braunschweig, sowie der Unternehmen Piaggio Aero Industries und Eurocopter Deutschland statt.

Bodentests mit der Dornier Do 728

Der am DLR-Standort Göttingen stehende Prototyp einer Dornier Do 728 wurde genutzt, um die Rahmenbedingungen für zukünftige Standschwingversuche nachzubilden und die genaue Zusammenstellung des Messequipments festzulegen. Für den Aufbau wurde ein Bereich auf der äußeren Tragfläche mit einem Punktemuster versehen und mit zwei Kameras aus der Flugzeugkabine beobachtet. Die Anregung und damit Deformation des Flügels erfolgte wie in späteren Bodenversuchen mittels eines Shakers, welcher sein Signal vom Generator im Videostroboskop erhielt. Dieser funktionierte gleichzeitig als Auslöser für die Bildaufnahme. Der programmierbare Phasenschieber ermöglichte dabei die Aufzeichnung der Oberfläche zu unterschiedlichen Phasenlagen der harmonischen Anregung und somit die eindeutige Zuordnung der Reaktion der Struktur (3-D-Deformation der Oberfläche).

Problemstellungen, die es für diesen Versuch zu lösen galt, waren unter anderem die steife Befestigung der Kameras und die Bildnahme unter einem sehr flachen Blickwinkel. Diese Bedingungen hätten sich auch im Labor simulieren lassen, jedoch bot der Aufbau an der Do 728 ohne allzu großen Aufwand realistische Gegebenheiten, wie sie zum Beispiel bei den Messungen auftreten, die von den Flugzeugherstellern durchgeführt werden.

Neben den Probeaufbauten für die Standschwingversuche wurde die Do 728 auch schon zur Vorbereitung von Querrudermessungen genutzt. Und sie soll auch für zukünftige Messaufbauten dienen, wie zum Beispiel auf dem neuen A320 ATRA des DLR.