KISTLER

measure. analyze. innovate.

Biegen, ohne zu brechen

Das DLR greift für Schwingungsversuche auf Beschleunigungssensoren von Kistler zurück

DLR

www.kistler.com

Julian Sinske, Gruppenleiter strukturdynamische Versuche am Institut für Aeroelastik des DLR, prüft die Instrumentierung mit Sensoren von Kistler am neuen ISTAR-Forschungsflugzeug. © DLR

Für den Standschwingungsversuch am ISTAR setzt das DLR über 200 IEPE-Beschleunigungssensoren von Kistler ein, die besonders temperaturstabil sind und über eine bewegliche Ausrichtung verfügen. © DLR

Für Vibrationstests und Modalanalysen am Boden und in der Luft setzt das Institut für Aeroelastik am DLR eine Vielzahl von Beschleunigungsaufnehmern von Kistler ein. Mit unterschiedlichen Technologien und weiterentwickelten piezoelektrischen Sensoren wurde unter anderem ein genaues Abbild vom Schwingungsverhalten des neuen Forschungsflugzeugs ISTAR erstellt.

Die Bedeutung der Aerodynamik für Fahr- und Flugzeuge gehört – nicht zuletzt dank windschnittiger Coupés und Sportwagen – zumindest oberflächlich zum Allgemeinwissen. Anders verhält es sich jedoch mit der Aeroelastik, die das Schwingungsverhalten zum Beispiel eines Luftfahrzeugs untersucht. Am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) gibt es dafür sogar eine eigenes Institut: Das Institut für Aeroelastik in Göttingen widmet sich mit seinen etwa 80 Mitarbeitenden unter anderem strukturdynamischen Untersuchungen von Flugzeugen, Hubschraubern, Windkraftanlagen und Turbomaschinen, um deren Vibrationseigenschaften im Detail zu analysieren.

Neben Versuchen im Windkanal, die zum Beispiel die Kopplungen von Luftströmung und Strukturschwingungen untersuchen (sogenanntes Flatterverhalten) sowie Simulationen, die das aeroelastische Verhalten möglichst genau vorhersagen (bis hin zum digitalen Zwilling), werden vor allem Ground Vibration Tests (GVT) durchgeführt: Das sind minutiös durchgeplante Schwingungsversuche am Boden, bei denen der Prototyp eines neuen Flugzeugs mit Hilfe von Schwingungserregern an verschiedenen Stellen des Flugzeugs (Flügel, Leitwerk, Rumpf etc.) künstlich zu Vibrationen angeregt wird. Diese werden von Beschleunigungsaufnehmern aufgezeichnet, um die Schwingungsformen der Struktur, sogenannte Moden, zu ermitteln.

Die richtige Messtechnik für jede Testanforderung

Julian Sinske, seit 2013 beim DLR und seit 2018 Gruppenleiter für strukturdynamische Versuche, erläutert die Ziele und Bedingungen eines GVT: „Der Standschwingungsversuch wird meist erst sechs bis acht Wochen vor dem Erstflug durchgeführt und muss entsprechend effizient vonstattengehen. Das Flugzeug wird dabei so gelagert, dass sein Verhalten dem im Flug ähnelt – das heißt möglichst ohne Dämpfungseinflüsse durch Fahrwerk und Reifen. Mit den experimentellen Ergebnissen aus dem GVT lässt sich das Simulationsmodell des Herstellers validieren, was zumeist die Voraussetzung für die weitere Erprobung des Prototyps im Flug ist."

Beim neuen Forschungsflugzeug ISTAR (In-flight Systems & Technology Airborne Research), das 2020 zur DLR-Flotte hinzugestoßen ist, wurden beim Ground Vibration Test über 200 IEPE-Beschleunigungssensoren von Kistler eingesetzt. Darüber hinaus sind 62 weitere IEPE- (PiezoStar) und kapazitive MEMS-Beschleunigungsaufnehmer (K-Beam) von Kistler für den Flugversuch dauerhaft im ISTAR verbaut. Frank Busch, Vertriebsingenieur bei Kistler, erläutert den Unterschied in der Anwendung: „Die statisch messenden MEMS-Sensoren berücksichtigen auch die Erdbeschleunigung, da sie für die niedrigen Frequenzen im Bereich

„Mit der messtechnischen Umsetzung seitens Kistler sind wir sehr zufrieden. Die Sensoren sind robust und leisten sehr gute Dienste, weshalb wir auch schon mehrmals nachbestellt haben."

Julian Sinske, Gruppenleiter strukturdynamische Versuche am Institut für Aeroelastik des DLR

0 bis 50 Hz optimiert sind und somit auch die Flugmanöver des Flugzeugs miterfassen können. Die im Flugzeug fest verbauten MEMS- und IEPE-Sensoren konnten bei diesem Ground Vibration Test parallel zu den dynamischen IEPE-Sensoren betrieben und verglichen werden. Die GVT-Sensoren werden außen auf dem Flieger nur temporär für die Dauer des Tests aufgeklebt."

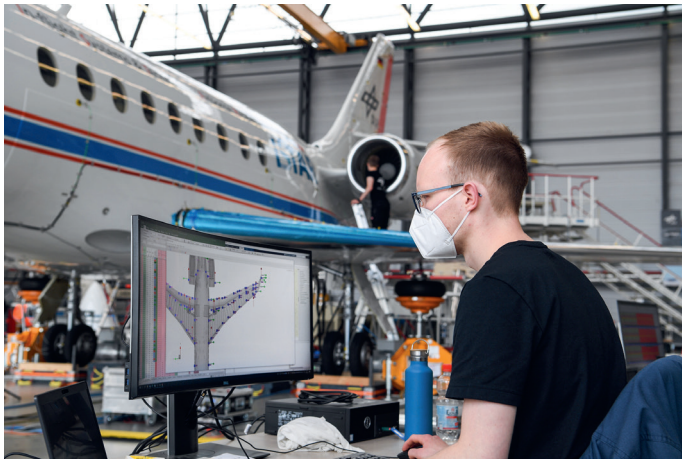
All diese Instrumente sind Teil einer umfassenden Messanlage, mit der die Aeroelastiker um Julian Sinske laufend sämtliche Daten des ISTAR aufzeichnen und über Jahre hinweg auswerten können. „Mit diesem Big-Data-Ansatz schaffen wir die Grundlagen für den digitalen Zwilling und können zum Beispiel Structural Health Monitoring etablieren", berichtet er. „Mit Kistler arbeiten wir seit dem ersten Kontakt auf der Space Tech vor einigen Jahren erfolgreich zusammen und setzen ihre Sensoren für Projekte an großen und kleinen Luftfahrzeugen sowie im Bereich Windkraft ein."

Robuste und flexible Instrumentierung plus Temperaturstabilität
Auch bei der Ausstattung des Forschungsflugzeugs ISTAR erhielt Kistler den Zuschlag – nicht zuletzt dank einer besonderen Innovation: Die einachsigen Aufnehmer für den GVT verfügen über ein drehbar gelagertes Messelement, das eine flexible Ausrichtung des Sensors in zwei Raumrichtungen ermöglicht. „Damit lassen sich bestimmte Teile des Flugzeugs unterschiedlich instrumentieren, ohne zum Beispiel Messkanäle für dreiachsige Sensoren zu verschenken", so Sinske weiter. Entsprechend groß ist die Zufriedenheit mit Kistler beim DLR und am Institut: „Bei den Flugtestsensoren haben die hohe Temperaturstabilität der IEPE-Sensoren und die hohe Signalqualität der MEMS-Sensoren in Verbindung mit der guten Beratung insbesondere durch Dr. Thomas Petzsche den Ausschlag gegeben. Die Messausrüstung war von Tag 1 einsetzbar und vermag auch konzeptionell und wirtschaftlich zu überzeugen."

Beim GVT wurde das Forschungsflugzeug an etwa zehn Stellen nacheinander angeregt – oft symmetrisch und auf mehreren Anregungsniveaus, um auch Nichtlinearitäten zu detektieren und eng beieinander liegende Moden differenzieren zu können. Auch ein sogenannter Taxi Vibration Test (TVT) wurde bereits durchgeführt: Dabei rollt das Flugzeug am Forschungsflughafen des DLR in Braunschweig aus dem Hangar und über die Startbahn, um das Schwingungsverhalten bei langsamer Fahrbewegung zu bestimmen. Während der Tests wurden die Verfahren und Vorgehensweisen weiter perfektioniert: So kam im Rahmen einer Forschungsarbeit im Bereich Datenauswertung ein KI-Algorithmus zum Einsatz, der eine schnellere Auswertung mit Eliminierung des menschlichen Faktors erlaubt: „Er ist aber noch nicht so gut, dass er den erfahrenen Ingenieur ersetzen kann, gerade in schwierigen Fällen", erläutert Sinske augenzwinkernd.

Datenauswertung mithilfe künstlicher Intelligenz
Außerdem haben Studierende am Institut eine Augmented-Reality-App entwickelt, mit der man per Smartphone die Anwesenheit jedes Sensors – mit Nummer, Ausrichtung Position etc. – prüfen und zugleich dokumentieren kann – bei teilweise über 500 Sensoren, die zentimetergenau angebracht werden müssen, eine große Erleichterung. „Wichtig ist bei solchen Aufbauten, die oft im Schichtsystem in wenigen Tagen durchgeführt werden müssen, auch die möglichst schnelle Entdeckung von Anomalien,

Für den Ground Vibration Test werden an den verschiedenen Teilen des Flugzeugs – hier das Leitwerk des neuen ISTAR – Beschleunigungsaufnehmer von Kistler angebracht. © DLR



Das ISTAR-Forschungsflugzeug des DLR wurde mit mehr als 250 Beschleunigungssensoren von Kistler für Schwingungsversuche am Boden und in der Luft ausgerüstet. © DLR

wenn sich zum Beispiel ein Sensor löst oder das Kabel nicht richtig eingesteckt ist. Je früher man im Eifer des Gefechts den Fehler erkennt, desto weniger werden Messergebnisse verfälscht, wenn es dann losgeht", so Sinske weiter.

Die Ergebnisse aus GVT und TVT wurden bereits umfassend ausgewertet; auch das Update des Computermodells des Flugzeugherstellers wird bereits in Angriff genommen. Der aeroelastische Teil des digitalen Zwillings für das ISTAR-Forschungsflugzeug rückt damit in greifbare Nähe. Julian Sinske kommentiert abschließend: „Mit der messtechnischen Umsetzung seitens Kistler sind wir sehr zufrieden. Die Sensoren sind robust und leisten sehr gute Dienste, weshalb wir auch schon mehrmals nachbestellt haben – auch verschiedene Kabellängen mit eins, zwei, fünf und zehn Metern –, um bei den vielen Sensoren immer eine möglichst kurze und optimale Verkabelung und somit Signalführung gewährleisten zu können. Sicher werden wir bei zukünftigen Projekten – auch im Bereich Raumfahrt, Windkraft oder innovativen Flugtaxis – auf Lösungen von Kistler zurückgreifen."

961-609d-02.22 © 2022 Kistler Group

Weitere Informationen finden Sie unter:
www.kistler.com/de/loesungen

Kistler Group
Eulachstrasse 22
8408 Winterthur
Schweiz
Tel. +41 52 224 11 11

Die Produkte der Kistler Gruppe sind durch verschiedene gewerbliche Schutzrechte geschützt. Mehr dazu unter **www.kistler.com**
Die Kistler Gruppe umfasst die Kistler Holding AG und alle ihre Tochtergesellschaften in Europa, Asien, Amerika und Australien.

Finden Sie Ihren Kontakt auf **www.kistler.com**

KISTLER
measure. analyze. innovate.