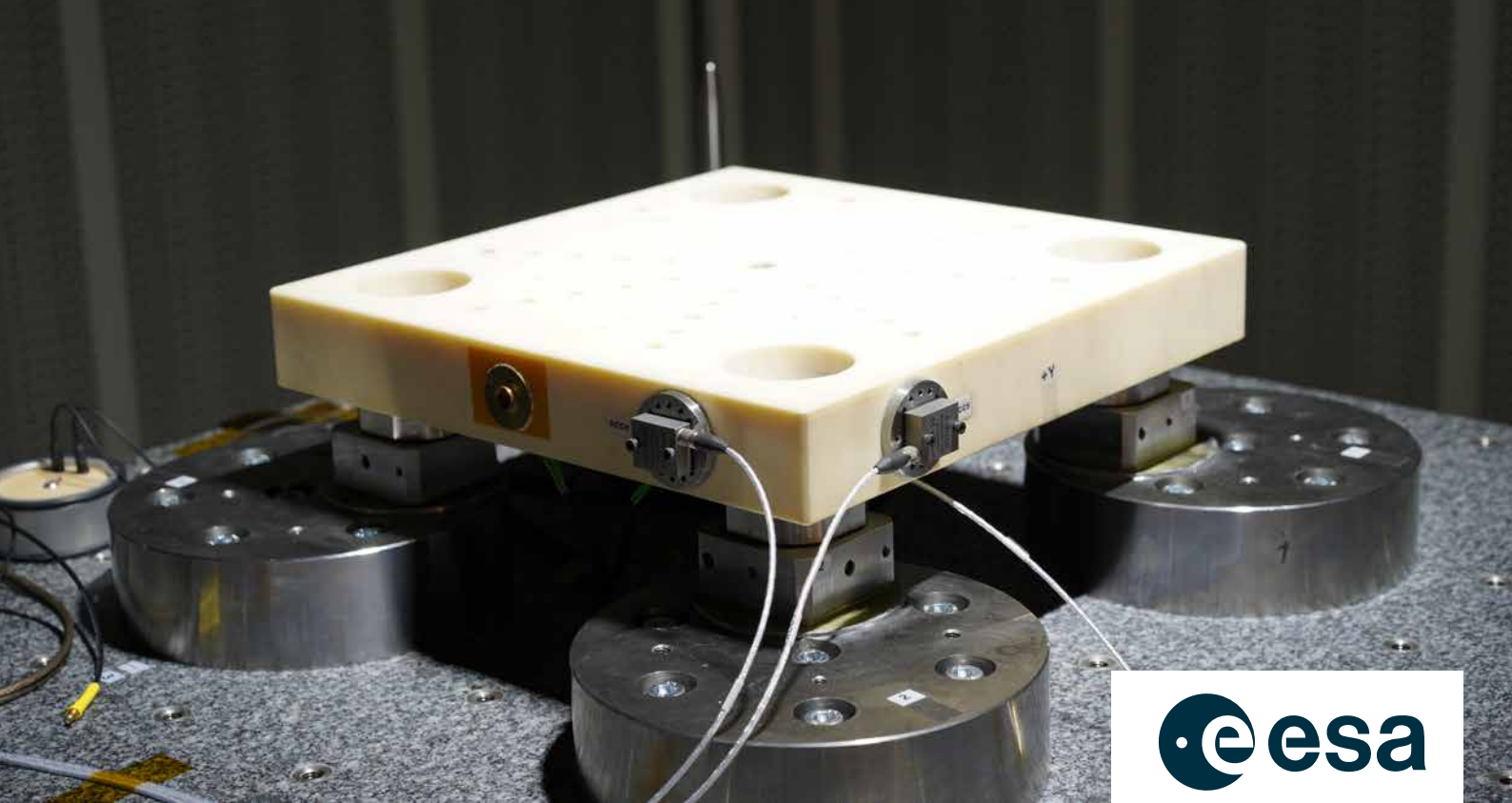




UNTERHALB DER WAHRNEHMUNGSSCHWELLE

Raumfahrtmechanismen: ESAs neue Testanlage für Mikrovibrationen führend dank Sensoren von Kistler



EUROPEAN SPACE AGENCY

Das Dynamometer in der ESA-Testanlage für Mikrovibrationen (MMCF) erfasst unvorstellbar kleine Kräfte und Momente weit unter 1 mN – ermöglicht von einer Messkette von Kistler.

Die Europäische Weltraumorganisation (ESA) hat ihre Prüfanlage für Mikrovibrationstests von Weltraummechanismen modernisiert – mit Erfolg: Die Messkapazität wurde um das Zehnfache erhöht. Dank innovativen Kraftmessdosens von Kistler erfasst die neue Anlage unvorstellbar kleine Schwingungen, wie sie beispielsweise von Feinpositionierungsmechanismen, Reaktionsrädern oder Kryokühlern ausgehen. Bei manchen Mechanismen liegen die Kräfte weit unter 1 mN – man kann sie also nicht einmal spüren!

Im Weltraum tut sich viel: Technologische Durchbrüche und neue Akteure (nationale Behörden und private Unternehmen) haben die Grenzen verschoben und ein innovatives und dynamisches Umfeld geschaffen. Der NewSpace, wie er oft genannt wird, ist sowohl eine aufstrebende globale Industrie als auch ein sich entwickelndes Ökosystem. Eine Folge der ständig wachsenden Anforderungen und Leistungsansprüche ist ein erhöhtes Bewusstsein für die Prüfung von Mikrovibrationen. Bei Mikrovibrationen handelt es sich um Störungen, die von Mechanismen in Raumfahrzeugen und Satelliten, wie Feinpositionierungsmechanismen, Solaranlagen und Kryokühlern, ausgehen. Wenn Mikrovibrationen nicht kompensiert werden, können sie die Leistung beeinträchtigen – zum Beispiel, indem sie Unschärfe und Bildinstabilität bei Kameraanwendungen verursachen.

Ein Riesenschritt bei Mikrovibrationstests für Raumfahrtmechanismen

Die ESA reagierte auf all diese Entwicklungen mit der Entscheidung, ihre Mikrovibrationstestanlage am Standort ESTEC (Europäisches Zentrum für Weltraumforschung und -technologie) in den Niederlanden zu modernisieren. ESTEC – der größte aller ESA-Standorte mit mehr als 2.500 Mitarbeitenden – ist in verschiedene Direktorate unterteilt, darunter das Direktorat für Technologie, Engineering und Qualität (TEC). Hier ist Sandro Patti für die neu entwickelte Mikrovibrations-Testanlage, die sogenannte „Mechanism Microvibration Characterization Facility“ (MMCF), verantwortlich. Konstruktion, Herstellung und Inbetriebnahme der MMCF-Anlage wurden von der ESA und SEREME (Frankreich) als Hauptlieferant übernommen.

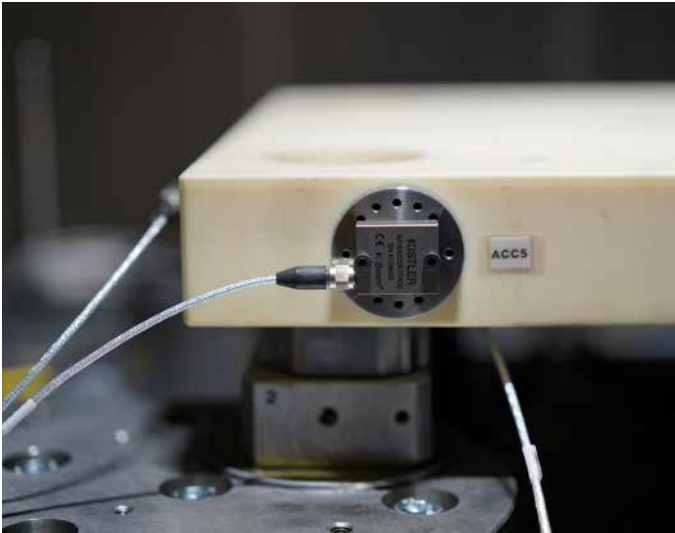
Patti berichtet: „Als Teil der ESA-Abteilung für Mechanismen unterstützen wir Flugmissionen durch die Bereitstellung von technischem Design, Analyse und Testunterstützung bei der Entwicklung von Raumfahrtmechanismen. Zu den Raumfahrtmechanismen gehören Geräte, die eine Relativbewegung zwischen zwei oder mehr Teilen ausführen – zum Beispiel Geräte, die von einem elektrischen Antrieb angetrieben werden.“

Bereits der Vorgänger der MMCF, die „Reaction Wheel Characterization Facility“ (RCF) der ESA – aus den Jahren 2009/10 – wurde für diese Zwecke genutzt: Mit Hilfe von piezoelektrischen Kraftmesszellen von Kistler wurden niedrige Schwellenwerte von 20 mN bzw. 2 mNm erreicht. In der neuen MMCF, die seit 2021 geplant wurde und seit November 2023 in Betrieb ist, kommen vier Prototypensensoren 9067C/QKI80 von Kistler mit speziellen PiezoStar-Kristallen zum Einsatz. Die von Kistler selbst gezüchteten Kristalle der PiezoStar-Serie übertreffen natürlich gewachsene Quarzkristalle. Auch dank eines speziellen Schneidverfahrens sind diese Sensoren zehnfach empfindlicher als ihre Vorgänger, und ihr Übersprechen ist dreimal geringer. „Zusammen mit den rauscharmen Kabeln und der Elektronik trugen die Sensoren entscheidend zu den hervorragenden Leistungen der neuen ESA-Mikrovibrations-testanlage bei“, so Patti.



Der Multikanal-Ladungsverstärker 5080A von Kistler garantiert hohe Signalqualität über einen weiten Messbereich – das macht ihn zur idealen Lösung für komplexe Anwendungen mit Dynamometern.

Um ein Dynamometer zu bauen – eine Kraftmessplatte, die alle ausgeübten Kräfte und Drehmomente (EFT) messen kann: F_x , F_y , F_z , M_x , M_y , M_z in den sechs Freiheitsgraden – werden die vier Sensoren auf einem massiven Granitblock mit einem Gewicht von 1,37 Tonnen angebracht.



Ausgestattet mit neuen PiezoStar-Kristallen, ermöglichen vier Prototyp-Kraftsensoren 9067C/QK180 von Kistler Tests von Weltraummechanismen auf Mikrovibrationen mit zehnfach höherer Empfindlichkeit und dreifach geringerem Übersprechen.

Unterhalb des Blocks befindet sich ein Dämpfungssystem, das den Prüfstand zusätzlich vom Boden isoliert. „Aber das ist noch nicht alles“, fährt Patti fort. „Über den vier triaxialen Sensoren, die sich auf dem Granitblock befinden, befindet sich eine Keramikplatte mit hoher Steifigkeit und geringem Gewicht, auf der das zu prüfende Gerät platziert werden kann (wie auf dem Foto zu sehen). Wir haben auch die Idee eines Kollegen aufgegriffen, eine Art akustisches ‚Zelt‘ zu errichten: eine kleine Kabine im Raum, die für eine Geräuscherdrückung für alles über 100 Hz sorgt.“

„Es ist eigentlich schwer vorstellbar, wie gering diese Kräfte und Momente sind. Wir konnten zum Beispiel allein aus den gemessenen Schwingungen rekonstruieren, was jemand in der Nähe gesagt hat.“

Sandro Patti, Verantwortlicher für Mechanism Microvibration Characterization Facility (MMCF) bei der ESA

Messung extrem niedriger Mikroschwingungen von Reaktionsrädern

Dank dieser Fortschritte in Verbindung mit der neuartigen Umgebung und den Isolierungsmaßnahmen erreicht das neue Dynamometer eine noch nie dagewesene Messgenauigkeit. „Es ist eigentlich schwer vorstellbar, wie gering diese Kräfte und Momente sind“, betont Patti. „Wir konnten zum Beispiel allein aus den gemessenen Schwingungen rekonstruieren, was jemand in der Nähe gesagt hat. Und dann haben wir eine teure moderne Uhr auf das Dynamometer gelegt: Es hat das Ticken, das sechs- bis achtmal pro Sekunde auftritt, genau erfasst – was man am eigenen Handgelenk niemals spüren könnte, weil es weit unter 1 mN liegt!“

Um dieses herausragende Leistungsniveau für Mikrovibrationstests von Raumfahrtmechanismen zu erreichen, wurden zusätzliche Anstrengungen unternommen, um das elektrische Rauschen über die gesamte piezoelektrische Messkette zu reduzieren. Das ESA-Team arbeitete mit Kistler zusammen, um den Rauschpegel des Messsystems vor Ort zu bestimmen. Mit Hilfe von speziellen Koaxialkabeln, einem Labor-Ladungsverstärker 5080A von Kistler und einigen weiteren technischen Maßnahmen konnte das elektrische Rauschen so weit reduziert werden, dass nun das mechanische Rauschen der limitierende Faktor ist. Nicht zuletzt

wurden vor der Inbetriebnahme der Anlage umfangreiche Kalibrier- und AbnahmeprozEDUREN – inklusive statischer und dynamischer Anregung sowie Referenz- und Vergleichstests – durchgeführt. Ein ausführlicher Bericht, der den Kunden des MMCF zur Verfügung steht, dokumentiert die hohe Empfindlichkeit, Linearität, den Frequenzgang und andere Parameter der Anlage.

Neue Testanlage übertrifft Erwartungen und zieht mehr Kunden an

„Kistler war auch bei weniger schwierigen Problemen wie Schmierung und Vorspannung der Sensoren sehr hilfreich und reaktionsschnell“, berichtet Patti. „Natürlich sind wir mit der Leistung der neuen Anlage sehr zufrieden – sie übertrifft wirklich unsere Erwartungen.“ Bisher wurden Antennenmechanismen, Reaktionsräder und Kryokühlmechanismen auf der MMCF getestet. Die hohe EFT-Auflösung veranlasst immer mehr interne und externe Kunden, sich an die ESA zu wenden. Die gewonnenen Datensätze können als Input für analytische Modelle und Simulationen verwendet werden, die zur Optimierung der Leistung und Effizienz von Raumfahrtmechanismen und Raumfahrzeug-Systemen beitragen. Ein Beispiel ist die Leistungsbewertung optischer Instrumente unter dem Einfluss von Störmechanismen auf das Raumfahrzeug.

Die Anwendungen für das MMCF sind nicht auf Raumfahrtmechanismen wie Reaktionsräder beschränkt, wie Patti erklärt: „Wir versuchen derzeit, unsere EFT-Dienste auch auf Märkte außerhalb der Raumfahrt auszuweiten – die Halbleiterindustrie ist nur ein Beispiel dafür. Es wird interessant sein zu sehen, wer von der neuen MMCF profitieren kann – und in der Tat haben wir bereits Anfragen aus anderen Industrien und Anwendungsbereichen.“



Kistler hat einen eigenen Kristall entwickelt und hergestellt, der herkömmlichen Quarz bei anspruchsvollsten Anwendungen zur piezodynamischen Kraftmessung ersetzt.

Im Labor gezüchtete piezoelektrische Kristalle für noch mehr Leistung

Kistler entwickelt und fertigt eigene Kristalle für optimale piezoelektrische Messfähigkeit.

Die Vorteile:

- Höchste Empfindlichkeit (bis zu zehnfach höher als Quarz)
- Geringeres Übersprechen (bis zu dreimal weniger)
- Sehr gute Linearität und sehr geringe Hysterese
- Geringere Vorspannung erforderlich

Je nach Sensortyp (Kraft, Druck usw.) sind eine präzise Ausrichtung und ein präzises Schneiden der verschiedenen Kristallscheiben erforderlich.

* Die hierin geäußerte Ansicht spiegelt in keiner Weise die offizielle Meinung der Europäischen Weltraumorganisation wider.

Wollen Sie mehr über unsere
Anwendungen erfahren?
Jetzt entdecken:



www.kistler.com

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.