

# KISTLER

measure. analyze. innovate.



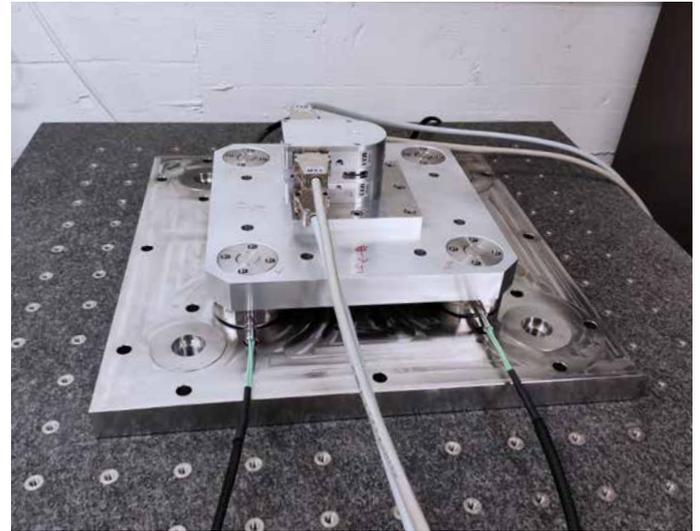
## Größtmögliche Laufruhe

Kistler unterstützt die Entwicklung von Tests für innovative Raumfahrttechnik am CSEM

⋮ csem



Leopoldo Rossini (links) und Guzmán Borque Gallego, zwei Wissenschaftler am CSEM in Neuchâtel, arbeiten mit einem Mehrkomponenten-Dynamometer mit kompletter Messkette von Kistler für Raumfahrttechnik-Tests.



Im Forschungszentrum des CSEM in Neuchâtel wird ein magnetisch gelagertes Reaktionsrad getestet – mit Hilfe eines hochempfindlichen Mehrkomponenten-Dynamometers von Kistler aus vier piezoelektrischen Sensoren.

**Zwei Ingenieure am CSEM nutzen ein Dynamometer von Kistler als Teil ihrer Forschung an Magnetlagern für die Höhenkontrolle von Satelliten. Es erlaubt die Erfassung von Mikrovibrationen eines neuartigen, magnetisch gelagerten Reaktionsrads. Dank präziser Messungen können sie nun einen Steuerungsalgorithmus bewerten, der synchrone Vibrationen über das gesamte Geschwindigkeitsspektrum unterdrückt – damit wird eine schnellere Rotation dank weniger Schwingungen und Energieverbrauch möglich.**

Das CSEM (Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique) mit Hauptsitz in Neuchâtel hat 2019 35 Jahre technologische Innovation und Wissenstransfer gefeiert. Ursprünglich im Umfeld der Uhrenindustrie entstanden, hat sich das wissenschaftliche Netzwerk über die Jahre zu einem vielseitigen und genuin europäischen Verbund für Forschung und Entwicklung gemauert. Vor allem aber ist es ein wertvoller Partner für Universitäten und Industrieunternehmen in der Schweiz und darüber hinaus. Heute ist das CSEM eine Nonprofit-Organisation mit mehr als 500 Forschern und Ingenieuren mit ganz verschiedenen Schwerpunkten: Die Anwendungen reichen von Erneuerbaren Energien und Biomedizin über mikroelektronische Systeme und Industrieautomation bis zu Quanten- und Lasertechnologien sowie wissenschaftlicher Instrumentierung – unter anderem für die Raumfahrt: geforscht wird hier zum Beispiel an additiven Fertigungsverfahren, nachgiebigen Strukturen und Magnetschwebe-Aktuatoren.

#### **Fortschritte in Sachen innovativer Raumfahrttechnik**

Im Bereich Raumfahrttechnik ist das CSEM seit vielen Jahren ein Partner der ESA (European Space Agency). Ein Schwerpunkt der Zusammenarbeit – der auch Teil der mittelfristigen ESA-Strategie ist – ist die Eliminierung von Schwingungsemissionen, die von Komponenten an Bord von Satelliten verursacht werden. Solche Mikrovibrationen begrenzen die Genauigkeit der Höhenkontrolle des Satelliten, führen zu höherem Energieverbrauch und – im Fall von Kameraeinsätzen – einer Verschlechterung der Bildqualität.

Es gibt verschiedene Wege, unerwünschte Schwingungen zu vermeiden, sowohl an der Quelle als auch der Nutzlast. Am CSEM werden aktuell mehrere Möglichkeiten untersucht: Einzelne Projekte konzentrieren sich auf numerische Modelle, aktiv-passive Verminderung und Algorithmus-basierte Dämpfung. In einem dieser Projekte arbeitet das CSEM zusammen mit Partnern an einem innovativen Ansatz auf der Basis von Magnetschwebetechnik. Leopoldo Rossini, Leiter der Forschungsstelle für Mikrovibrationen am CSEM, berichtet: „Mit Hilfe von Messtechnik von Kistler haben wir den Prototyp eines magnetisch gelagerten Reaktionsrads untersucht. Diese Technologie der Schweizer Celeroton AG bietet viele Vorteile: keine Reibung, praktisch unbegrenzte Lebensdauer und die Möglichkeit, unerwünschte Vibrationen aktiv gesteuert zu unterdrücken – nicht zuletzt kann man damit höhere Leistungen bei höheren Geschwindigkeiten erreichen.“

*„Wir sind auch deshalb sehr erfreut über die neue Kistler-Technologie hier vor Ort, weil unsere Partner bei der ESA und in Deutschland sie ebenfalls für die Qualifikation nutzen. Das Equipment ist sehr robust und hält stand, auch wenn es mal über die Grenzen hinaus belastet wird.“*

*Leopoldo Rossini, Leiter der Forschungsstelle für Mikrovibrationen am CSEM*

#### **Hochempfindliche Messkette mit sehr geringem Rauschen**

Die Ingenieure am CSEM nutzen eine Messkette von Kistler, um die Schwingungen am Prototyp des Reaktionsrads zu untersuchen. Das kundenspezifische Dynamometer besteht aus vier 3-Komponenten-Sensoren, die zwischen zwei Stahlplatten montiert sind, um maximale Steifigkeit zu erreichen (siehe Bild). Das Messinstrument wurde auf einem Granitblock platziert, der von vier pneumatischen Isolatoren gehalten wird – auf diese Weise können Umwelteinflüsse so weit wie möglich ausgeschaltet werden. Da die Mikrovibrationen im Bereich von Millinewton auftreten, wird eine hochempfindliche Messkette mit sehr geringem Rauschen benötigt. Neben dem Reaktionsrad können weitere Aktuatoren wie ein Schrittmotor und ein Gefrierkühler auf dem Instrumententisch platziert werden, um die gewünschten Messungen durchzuführen.

Für das magnetisch schwebende Reaktionsrad wurde der Geschwindigkeitsbereich von  $-20.000$  bis  $20.000$  rpm abgedeckt. Damit ist die Bestimmung der Wirksamkeit eines multiharmonischen Algorithmus zur Kraftabweisung möglich, der die Hauptschwingungen während des Betriebs unterdrückt: „Das Fehlen eines physischen Kontakts durch die Magnetschwebetechnologie eröffnet einige sehr interessante Möglichkeiten“, sagt Guzmán Borque Gallego, Entwicklungsingenieur am CSEM. „Wir können den Rotor weitgehend frei positionieren, so dass die Vibrationen minimiert werden – zum Beispiel, indem wir ihn auf seiner Hauptträgheitsachse rotieren lassen und so sämtliche Schwingungen im Verhältnis zum Ungleichgewicht unterdrücken, so dass diese Emissionen gegen Null gehen.“

### Genauere Echtzeitmessungen ermöglichen geschlossenen Regelkreis

„Das Equipment von Kistler ist ideal und hat uns Resultate von sehr hoher Qualität gebracht“, sagt Borque Gallego. „Wir messen ziemlich kleine Kräfte im Bereich von Millinewton – doch sogar im Mikronewton-Bereich konnten wir noch die Unterschiede sehen. Damit lassen sich alle Messungen komfortabel beurteilen und wir erhalten laufend hochqualitative Daten.“ Die Datenerfassung erfolgt mit einem Rapid-Prototyping-System bei  $20$  kHz – und dank der genauen Messungen kann die Wirkung des Steuerungsalgorithmus klar bestimmt werden (siehe Diagramme). Rossini ergänzt: „Wir haben positives Feedback bezüglich der hohen Qualität der Messungen von Partnern und Kunden erhalten, die umfassende Erfahrung mit solchen Daten haben. Nichts davon wäre möglich gewesen ohne die Unterstützung von Kistler. Anwendungsspezialist Reinhard Bosshard hat uns in vieler Hinsicht geholfen, zum Beispiel bei der Auswahl der richtigen Ausrüstung zur optimalen Vervollständigung der Messkette.“

Obwohl die Forscher zunächst einen modernen LabAmp 5167A mit digitalem Ausgang nutzen wollten, entschieden sie sich schließlich für den Ladungsverstärker 5080A von Kistler, der dank seiner extrem rauscharmen Eingangsschaltung noch genauere Messungen erlaubt. „Wir sind auch deshalb sehr erfreut über die neue Kistler-Technologie hier vor Ort, weil unsere Partner bei der ESA und in Deutschland sie ebenfalls für die Qualifikation nutzen“, so Rossini weiter. „Das Equipment ist sehr robust und



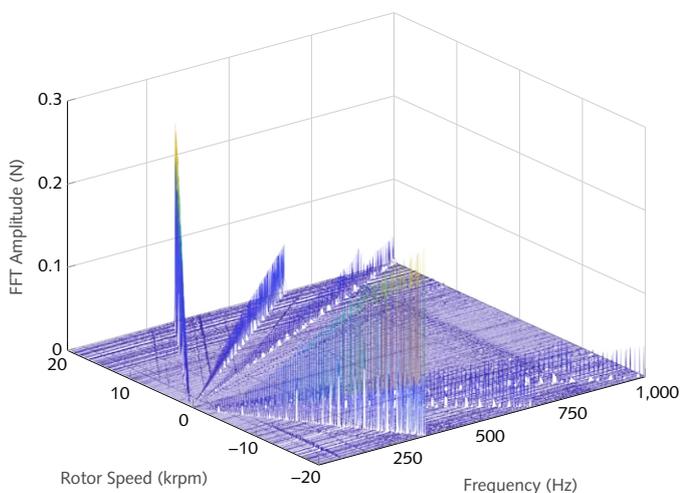
Der Mehrkanal-Ladungsverstärker 5080A von Kistler liefert hohe Signalqualität über einen weiten Messbereich – ideal für komplexe Anwendungen mit Dynamometern.

hält stand, auch wenn es mal über die Grenzen hinaus belastet wird. Jetzt wo wir seine Fähigkeiten kennen, werden wir es sicher für zukünftige Projekte im Bereich Vibrationsbestimmung einsetzen – zusätzlich zu bereits vorhandenen Beschleunigungssensoren von Kistler.“

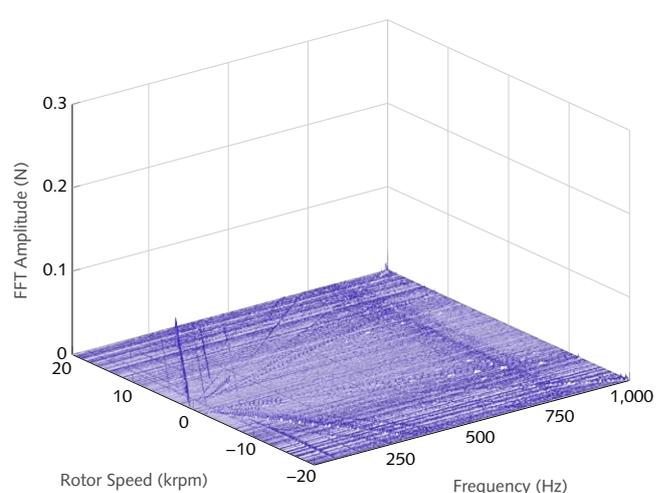
### Bestmögliche Vorbereitung für die lange Reise in den Weltraum

Wie wird sich die Technologie des magnetisch gelagerten Reaktionsrads – vom CSEM, Celeroton und ihrem Partner in Deutschland – nun weiterentwickeln? Und wird sie demnächst ins Weltall fliegen? „Die Vorteile der Magnetschwebe-Reaktionsräder sind offensichtlich: Sie können viel schneller rotieren bei deutlich geringeren Schwingungen als herkömmliche Räder – das führt zu besserer Leistung sowie weniger Größe und Gewicht. Und dank der Abwesenheit von Reibung gibt es keinen Verschleiß – das Rad hat eine praktisch unbegrenzte Lebensdauer“, betont Borque Gallego. „Es ist ein faszinierendes Projekt, und wir hoffen, die nächsten Schritte bald gehen zu können: praktischer Einsatz, reale Testläufe und vielleicht sogar die Validierung zusammen mit unseren Partnern.“

(a) Waterfall Plot of Exported Vibrations w/o Active Vibration Control (Fx)



(b) Waterfall Plot of Exported Vibrations w/ Active Vibration Control (Fx)



Die Wasserfall-Diagramme der am CSEM gemessenen Mikro vibrationen zeigen die Kraftspitzen in Abhängigkeit von Rotorgeschwindigkeit und frequenz – gemessen mit einem Dynamometer von Kistler sowohl ohne als auch mit aktiver Vibrationsdämpfung.

**KISTLER**  
measure. analyze. innovate.

Take the lead – right from the start

**Biomechanics**  
Non-invasive solutions for motion analysis, joint performance diagnosis, rehabilitation and ergonomics

Safe braking thanks to efficient maintenance

**Brake force measurement in the rail transport sector**  
Simple and accurate for portable brake force testing

Flexible to create and easy to integrate

**Weigh In Motion**  
Weighing equipment for a wide variety of traffic data collection applications and toll collection applications

Measuring equipment for demanding T&M applications

**Test & Measurement**  
Mechanical and signal conditioning solutions

Develop and operate gas turbines more efficiently

**Gas turbine monitoring**  
Measuring compressor efficiency, engine performance and emissions

Analyzing and commanding sophisticated machining processes

**Cutting force measurement**  
Proven measuring solutions for machining

Weitere Informationen finden Sie unter:  
[www.kistler.com/de/anwendungen](http://www.kistler.com/de/anwendungen)

**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](http://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](http://www.kistler.com)

**KISTLER**  
measure. analyze. innovate.