



## Vibrationsmessung in der Raumfahrt und unter Vakuum:

# Beschleunigungssensoren und Messkabel mit geringer Ausgasung

Werden herkömmliche Beschleunigungssensoren und Kabel dem Vakuum des Weltraumes ausgesetzt, treten Materialausgasungen auf. Jede Substanz, die einem hohen Vakuum ausgesetzt wird, hat die Tendenz eingeschlossene Gase frei zu setzen. Verunreinigungen infolge von Ausgasungen können sich z.B. auf nahe gelegene Flächen wie optische Einrichtungen niederschlagen und deren Funktion beeinträchtigen und sie damit für ihre endgültige Verwendung im Weltraum nutzlos machen.

Bei Vibrations- und Schocktests vor dem Flug werden Nutzlasten von Raumfahrzeugen häufig an schwer zugänglichen Stellen mit Beschleunigungssensoren ausgerüstet. Werden die Strukturen des Raumfahrzeuges um diese Einrichtungen herum gebaut, kann man unter Umständen diese Sensoren nach der Bodenprüfung nicht mehr entfernen. Sie müssen also mit der Struktur fliegen. In manchen Fällen wird der Sensor auch zum Bestandteil der Schwingungsüberwachung im Flug, um Vibrationseinflüsse an Nutzlasten infolge der tatsächlichen Abschussbedingungen zu erfassen.

Alle hermetisch dichten Sensorkonstruktionen zeigen von Natur aus geringe Ausgasungen. Kabel mit Gummimanschetten oder Schrumpfschlauch besitzen jedoch meist keine geringen Ausgasungseigenschaften. Für alle nichtmetallischen Werkstoffe außerhalb des hermetisch dichten Sensorgehäuses, das für eine Anwendung in Vakuum erforderlich ist, verifiziert PCB® Piezotronics für das Material  $<1\%$  TML (Total Mass Loss) und  $<0,1\%$  CVCM (Collected Volatile Condensable Mass). Die Bestätigung hierfür kann durch Dokumentation der NASA oder durch Einsendung in ein Fremdlabor erfolgen.

### 2-stufiger Lecktest

Der Lecktest an hermetisch dichten Sensoren kann je nach dem erforderlichen Grad der Dichtheit in zwei Stufen ausgeführt werden.

#### Stufe 1

Ein Grobtest mit Bläschenbildung wird an allen hermetisch dichten Beschleunigungssensoren ausgeführt. Der Test bestätigt einen Durchfluss von  $<1 \times 10^{-3}$  cm<sup>3</sup>/s. Dabei handelt es sich um einen Bläschen-schnelltest mit einer erhitzten Flüssigkeit. Die erhitzte Flüssigkeit bewirkt, dass eingeschlossene Gase als Bläschen austreten und im Test sichtbar sind. Als Flüssigkeit wird hier ein Fluorinert verwendet. Diese klare, farb- und geruchlose Flüssigkeit hat eine ähnliche Viskosität wie Wasser. Sie wird in der Elektronikindustrie in vielen Bereichen angewandt. Sie ist thermisch und chemisch stabil, ist verträglich mit den meisten Metallen und Kunststoffen und vor allem nicht giftig.

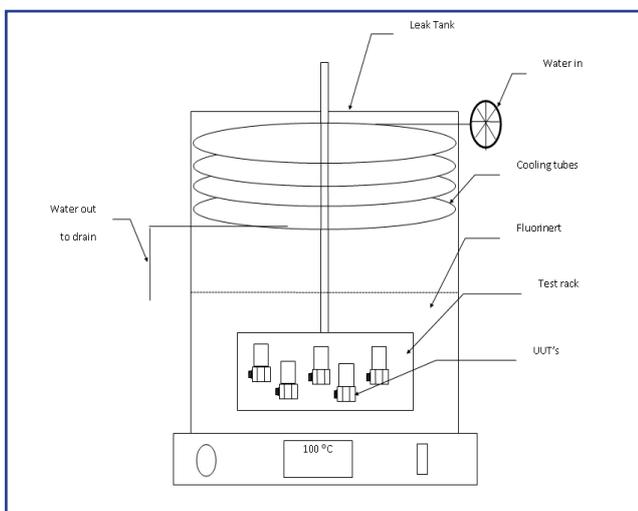


Abbildung 1 Testaufbau für einen Bläschentest mit erhitzter Flüssigkeit

#### Stufe 2

Ein Feintest mit Helium verwendet eine Heliumflasche, um die Aufnehmer unter Druck zu setzen und bestimmt anschließend mit einem Feinlecktester einen Durchfluss von  $<2 \times 10^{-8}$  cm<sup>3</sup>/s. Abbildung 2 zeigt schematisch den Testaufbau mit einer Heliumflasche. Beim Feinlecktest handelt es sich um einen Vakuumtest, bei dem die Heliumflasche mindestens 30 Minuten lang einen Druck von 320 bar erzeugt; anschließend verifiziert ein Massenspektrometer mit einem Vakuumleckdetektor einen Durchfluss von  $<2 \times 10^{-8}$  cm<sup>3</sup>/s

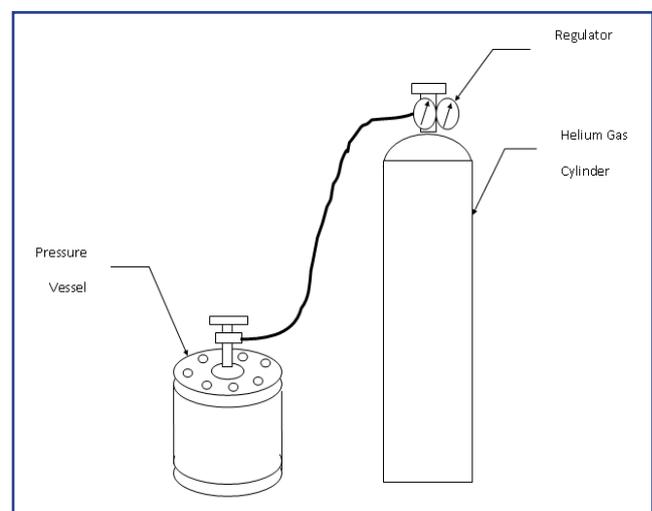


Abbildung 2 Testaufbau mit Helium-Gasflasche



## Eine Vielzahl von Modellen

Die von PCB Piezotronics angebotenen Vibrationsaufnehmer lassen sich in verschiedene Grundtypen einteilen: triaxial messende Miniaturaufnehmer, Miniatur-Hochtemperaturaufnehmer, Schocksensoren und Sensoren mit DC-Response ab 0 Hz. Die folgenden Abbildungen zeigen häufig verwendete Modelle von PCB Piezotronics, aber eine Vielzahl anderer Konstruktionen ist ebenfalls lieferbar.

## Triaxiale Messungen

Die Strukturen von Raumfahrzeugen werden oft aus dünnen, leichten Werkstoffen hergestellt und erfordern Beschleunigungssensoren mit kleiner Masse. Zufallsschwingungen von Raumfahrzeugen natürlicher Größe sind dreidimensional, somit ist die Kombination eines triaxial messenden Sensors mit kleiner Masse und geringer Ausgasung heißbegehrt. Das Modell 356M208 von PCB® erfüllt diese Forderung mit einer kleinen Masse von 1 g und Konstruktionswerkstoffen mit äußerst geringer Ausgasung. Mit dem Sensor wird ein Kabel mit geringer Ausgasung Modell 034M22 geliefert. Abbildung 4 zeigt eine Einheit im Einsatz.

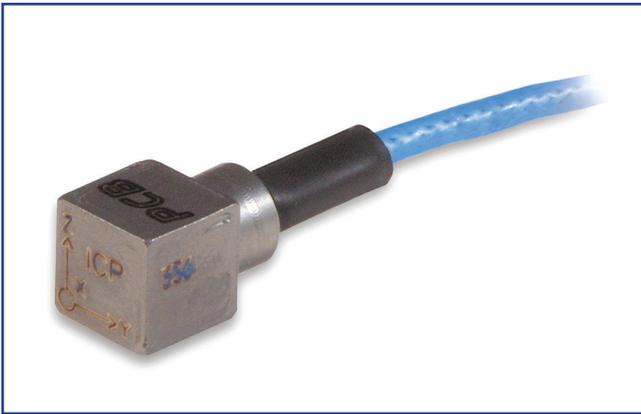


Abbildung 3 Triaxialer Miniatursensor: 356M208

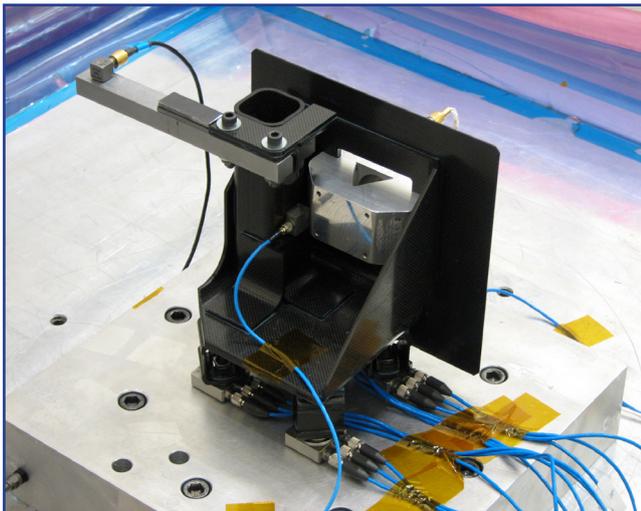


Abbildung 4 Modell 356M208 (Pfeil) von PCB® Piezotronics im Einsatz bei Schwingungstests an einem Träger im UT State Space Dynamics Lab

## Schock-Anwendungen

Bei der Abtrennung von Antriebsstufen entstehen Schocks, die auf die Nutzlast des Raumfahrzeuges übertragen werden können. Beschleunigungssensoren mit geringer Ausgasung wie das Modell 350M72 (Abb. 5) können mit der Nutzlast abgeschossen oder auch in einer Vakuumkammer zur Simulation der Abschussbedingungen verwendet werden.



Abbildung 5 Schock-Sensor Modell 350M72

## Hochtemperatur-Anwendungen

Die Untersuchung von Umweltbeanspruchungen wird oft in Thermo-Vakuumkammern (siehe Abb. 7) durchgeführt, um die Betriebseigenschaften an Komponenten und nicht am Raumfahrzeug selbst zu verifizieren. Das Modell 357A07 von PCB® besteht aus einem hermetisch dichten Aufnehmer mit kleiner Masse und weitem Betriebstemperaturbereich von -73 bis +260 °C und wird mit einem Anschlusskabel mit geringer Ausgasung geliefert.



Abbildung 6 Miniatur Sensor mit Ladungsausgang: 357A07

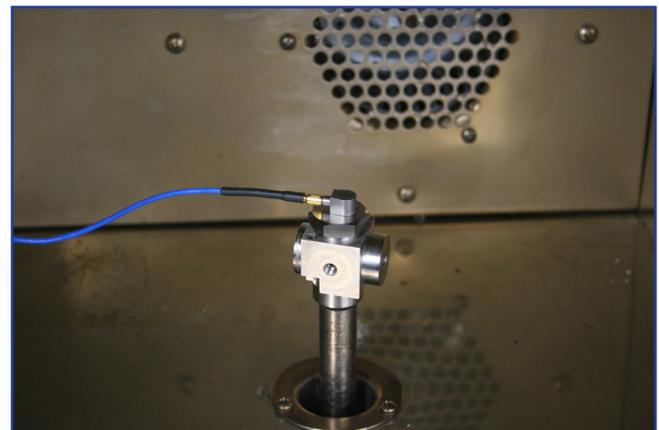


Abbildung 7 Modell 357A07 in einer Klimakammer



## Niederfrequente Messungen

Große Strukturen, wie Roboterausleger und Prüfarme zum Freisetzen von Satelliten aus Nutzlastträgern zeigen niederfrequente Vibrationen. DC-Beschleunigungssensoren auf kapazitiver Basis sind zur Messung von Raketen- und Strukturbewegungen infolge von Wind oder Instabilitäten der Startplattform gut geeignet. Wie bei Zufallsschwingungen mit höherer Frequenz sind niederfrequente Strukturvibrationen ebenfalls dreidimensional. Die triaxialen Beschleunigungssensoren der Baureihe 3713 weisen einen Frequenzbereich von Null bis zu mehreren 100 Hz auf. Sie erfasst die Schwingungen in 3 Raumachsen und stellen die Signale für Analyse- oder Überwachungszwecke zur Verfügung.



Abbildung8 Vibrationssensor Modell 3713 mit DC-Response

## Zusammenfassung

Grundsätzlich müssen bei der Auswahl von Beschleunigungssensoren und Messkabeln in einem Vakuum folgende Punkte beachtet werden: ausschließliche Verwendung von verschweißten, hermetisch dichten Gehäusen sowie Polymer- und Epoxy-Werkstoffen, die hinsichtlich TML und CVCM verifiziert sind. Erkundigen Sie sich weiterhin, ob Ergebnisse von Lecktests zur Bestätigung geringer Ausgasungen vorliegen.

Eine Übersicht der von PCB Piezotronics angebotenen Produkte mit zertifiziert niedriger Ausgasung finden Sie auf der letzten Seite dieses Berichtes.

## Zum Autor

Bob Metz ist Sensor-Spezialist in der Aerospace & Defense Division von PCB Piezotronics, Inc. Seit 15 Jahren beschäftigt er sich schwerpunktmäßig mit dem Einsatz von piezoelektrischen Sensoren zur Messung von Vibration, Druck und Kraft.

## Kabel

Die Ausgabe der Signale über normale Kabel ist die größte Quelle für Verschmutzungen durch Ausgasung. PCB® bietet eine Vielzahl von Kabeln an, deren Werkstoffe hinsichtlich TLM und CVCM verifiziert sind. Isolation und Zugentlastung an jedem Anschluss sind die wichtigsten Punkte bei der Kabelherstellung. Bei einigen Kabeln (siehe Abb. 9 und 10) werden Werkstoffe wie Viton® und Teflon®, die für niedrige TML- und CVCM-Werte bekannt sind, verwendet.

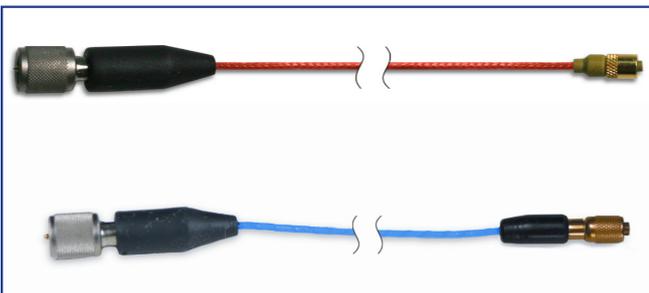


Abbildung9 Serie 030 Mini-Coax

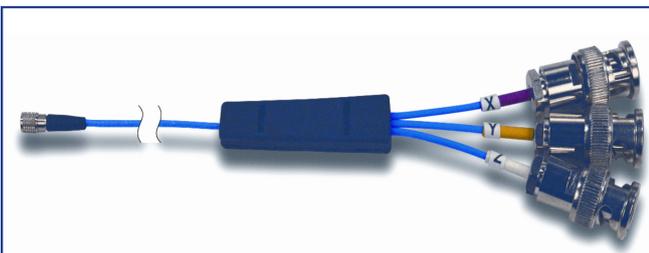


Abbildung10 Serie 034 Triaxial-Anschluss



## Low outgassing Accelerometer Models and cables

Accelerometer or Cable model	Photo	Description
356M208		Low Outgassing Triaxial accelerometer, lightweight (1.0 gm) miniature, ceramic shear ICP® accel., 5 mV/g, 0.25" cube, includes 034M22 cable, base model 356A01
356M170		Low Outgassing Triaxial, high sensitivity, ceramic shear ICP® accel., 100 mV/g, 2 to 5k Hz, titanium hsg, 4-pin conn. Complete w/ TEDS. Base model 356A15.
352M208		Low Outgassing Miniature, lightweight (0.7 gm), ceramic shear ICP® accel., 10 mV/g, 2 to 10k Hz, 10-ft integral cable, low outgas, base model 352B10
356M98		Low Outgassing, 1 V/g titanium triaxial accelerometer .86" cube 2 Hz to 3000 Hz, base model 356B18
356M132		Low Outgassing, Triaxial, high sensitivity, ceramic shear ICP® accel., 500 mV/g, 0.5 to 3k Hz, aluminum hsg, 4-pin conn., base model 356B11
356M57		Low Outgassing, Triaxial, miniature (4 gm), ceramic shear ICP® accel., 10 mV/g, 2 to 7k Hz, 5 -ft attached cable, base model 356A17
357A07		Low Outgassing, Miniature, charge output Accel., 1.7 pC.g, 15kHz, Hermetic, Titanium, M3 conn., with Model 030B10, 10 ft detachable cable
350M72		Low Outgassing, Shock, ceramic shear, ICP® accel, 0.5 mV/g, 10 kg, 10 ft integral cable, Viton shrink, filtered, base model 350B23
350M77		Low Outgassing, Shock accelerometer, ICP® accel, 0.25 mV/g, 20 kg, 1/4-28 female mounting thread, 10-32 top connector, base model 350B03
354M56		Low Outgassing, Triaxial, thru-hole mtg, ceramic shear, miniature ICP® accel., 10 mV/g, 2 to 8k Hz, ground isolated, integral cable with Viton heat shrink, 034M22 supplied, base model 354C10
030Bx		Low-noise, blue, coaxial Teflon cable, 10-ft, M3 plug to 10-32 plug
034M22		Low Outgassing, 4-conductor, shielded cable, 20-ft, 4-pin plug to (3) BNC plugs, with Viton heat shrink, base model 034G20
034M51		4-pin plug to 4-pin plug, 40 ft., base model 034D20
030Axx		3-56 plug to 10-32 plug (EK to EB)
030M09		New version replacing 030Axx (EK to EB) with better quality
003M208		Low Outgassing, low noise coaxial cable, 5-44 plug to 10-32 plug, 10 ft. length, base model 003AG010EB, base Model 003G10
003		Low-noise, blue, coaxial, Teflon cable (+500° F/ 260° C) (price per foot)
002		General purpose, white, coaxial, Teflon cable (+400° F/ 204° C) (price per foot)
EB connector		10-32 plug (supplied for most standard cables)
NT		For integral cables only, low outgassing 10-32 plug (EB) , no pre-printed heat shrink label for sensor model and s/n

Hochwertige Messtechnik und Beratung aus einer Hand

**PCB SYNOTECH** GmbH

PCB Synotech GmbH  
 Porschestr. 20 – 30 ▪ 41836 Hückelhoven  
 Tel.: +49 (0) 24 33/44 44 40 – 0  
 E-Mail: info@synotech.de ▪ www.synotech.de