



# Piezelektrische Seismiksensoren



Erschütterungsmessung

Turmschwingung

Baudynamik

Fundamentbelastung

Gebäudeschwingung

Seismologie

Brückenmonitoring

# Piezelektrische Dehnungssensoren

## Einleitung

Große Strukturen wie Gebäude und Brücken neigen zu Vibrationen mit niedriger Frequenz und großem Schwingweg. Katastrophen wie der Einsturz der Tacoma-Narrows-Brücke im US-Bundesstaat Washington im Jahr 1940 verdeutlichen die drastischen Konsequenzen, die bei Missachtung baodynamischer Grundsätze drohen. Neben Wind und Erdbeben können auch weniger offensichtliche Ereignisse und Vorgänge wie Torjubel in einem Stadion oder Bauarbeiten in der Umgebung eine Struktur in Schwingung versetzen und ein Sicherheitsrisiko darstellen.

Zur Aufdeckung solcher Risiken können piezelektrische Seismik-Beschleunigungssensoren von PCB Piezotronics, Inc. eingesetzt werden. Die Aufnehmer messen mit Ihren hochpräzise gefertigten Sensorelementen und den für seismische Messungen optimierten integrierten ICP®-Vorverstärkern selbst kleinste Amplituden und niedrigste Frequenzen. Als Messtechniker oder Bauingenieur profitieren Sie von der langjährigen Erfahrung von PCB® und der umfangreichen Auswahl an Sensoren für fast jede Messaufgabe.



## Wesentliche Anwendungen von Seismiksensoren

### Strukturanalyse an Bauwerken

Schwingungen an Bauwerken können durch unterschiedlichste Ursachen wie Wind, Erdbeben, Straßen- und Schienenverkehr, Baustellen, Maschinenbetrieb oder die Nutzung durch den Menschen hervorgerufen werden. Im ungünstigsten Fall werden Bauwerke dadurch beschädigt. Zum Schutz von Bauwerken und letztendlich Menschen werden baodynamische Untersuchungen mit Seismiksensoren durchgeführt, deren Ergebnisse als Basis für geeignete Korrektur- oder Sanierungsmaßnahmen dienen. Häufig wird nicht das gesamte Bauwerk untersucht, sondern nur ein besonders kritischer Teil. Dies kann zum Beispiel das Fundament, eine Säule oder Strebe, ein Kirchturm oder ein großer Schornstein einer Industrieanlage sein.



## Instandhaltung von Verkehrsinfrastruktur

Brücken weisen in der Regel ein komplexeres Schwingungsverhalten als andere Bauwerke auf und müssen wegen Ihrer großen Stützweiten und der großen Belastung durch den Verkehr umfänglich geprüft werden. Seismiksensoren messen die niederfrequenten Schwingungen sowohl am Überbau, als auch an den Unterbauten einschließlich den Pylonen und Spannseilen von Seilbrücken.

Vibrationsmessungen in Tunneln werden außer zur Beurteilung der Statik auch zur Untersuchung der Ausbreitung von Schwingungen auf angrenzende Wohngebiete durchgeführt.



## Seismologische und geoseismische Untersuchungen sowie Bergbau

Mit Ihrer hohen Auflösung und der niedrigen unteren Grenzfrequenz von bis zu 0,01 Hz ermöglichen Seismiksensoren präzise Schwingungsuntersuchungen im Bereich der angewandten Geophysik. Die Aufnehmer dienen der Erkennung von Erdbeben oder der Analyse von künstlich angeregten seismischen Wellen zur Erforschung der oberen Erdkruste. Die künstliche Anregung erfolgt durch Hammerschläge, Sprengungen oder den Einsatz von Fallgewichten.

In Bergwerken werden Seismiksensoren hauptsächlich zur Erhöhung der Sicherheit für die Bergarbeiter und die eingesetzten Maschinen verwendet.



## Windenergieanlagen und weitere Anwendungen

Seismiksensoren eignen sich hervorragend für die Messung der niederfrequenten Fundament-, Turm- und Gondelschwingungen an Windenergieanlagen.

In der wissenschaftlichen Forschung werden die Sensoren für die Überwachung vibrationsempfindlicher hochpräziser Messinstrumente wie Elektronenmikroskope und Versuchsaufbauten wie Teilchenbeschleuniger eingesetzt.

Auch einige moderne Fertigungsverfahren, insbesondere in der Halbleiterindustrie, werden schon durch kleinste Vibrationsamplituden gestört. Hier kommen ebenfalls Seismiksensoren zum Einsatz.



## Vielseitig einsetzbare Seismiksensoren mit erdfreiem Gehäuse

Die Modelle **393A03** mit einem Messbereich von 5 g und **393A12** mit einem Messbereich von 0,5 g eignen sich für eine Vielzahl an stationären und mobilen Messaufgaben. Dank des erdfreien Gehäuses führt eine Montage auf großen Metallkonstruktionen nicht zu Beeinträchtigungen des Ausgangssignals. Besonders praktisch für mobile Messaufgaben sind das robuste Gehäuse und die Schockbelastbarkeit bis 5.000 g. Die hohe Auflösung von 10 µg macht auch Messungen sehr kleiner Vibrationsamplituden möglich.

### Top-Features

- Robustes, erdfreies Edelstahlgehäuse
- Hohe Schockbelastbarkeit bis 5.000 g
- Messbereich 5 g oder 0,5 g
- Empfindlichkeit 1 V/g oder 10 V/g
- Auflösung 8 µg
- Messungen ab 0,05 Hz



Modell 393A03/393A12

## Miniatur-Seismiksensor mit hoher Auflösung

Bei dem Modell **393B04** handelt es sich um den kleinsten und mit 50 Gramm leichtesten Seismiksensor.

Das präzise gefertigte Keramik-Sensorelement im Flexural-Design ermöglicht trotz der kompakten Bauform eine sehr hohe Auflösung von 3 µg. Mit seiner unteren Grenzfrequenz von nur 0,02 Hz gestattet der Sensor Messungen äußerst niederfrequenter Schwingungen. Seine Empfindlichkeit beträgt 1.000 mV/g bei einem Messbereich von 5 g. Als Alternative mit kleinerem Messbereich von 0,5 g und einer Empfindlichkeit von 10.000 mV/g bietet PCB® das Modell **393B05** mit baugleichem Gehäuse an.



Modell 393B04/393B05

### Top-Features

- Kompakteste Seismikmodelle
- Messbereich 5 g oder 0,5 g
- Empfindlichkeit 1 V/g oder 10 V/g
- Auflösung 3 µg
- Messungen ab 0,02 Hz



## Seismiksensoren mit einer Auflösung von 1 µg

Die höchste Auflösung der Seismiksensoren von PCB® erreicht das Modell **393B31**. Sie wird durch ein besonders großes Keramik-Sensorelement in Flexural-Konstruktion ermöglicht.

Der Sensor für Messungen ab 0,1 Hz hat einen Messbereich von 0,5 g und eine Empfindlichkeit von 10.000 mV/g. Als Alternative gleicher Bauart bietet PCB® das Modell **393B32** mit einem Messbereich von 5.000 mV/g, einem Messbereich von 1 g und einer Auflösung von 2 µg an.

- Empfindlichkeit 10 V/g oder 5 V/g
- Auflösung 3 µg
- Messungen ab 0,07 Hz
- Robustes, erdfreies Gehäuse



Modell 393B31/393B32

### Top-Features

- Auflösung 1 µg
- Messbereich 0,5 g oder 1 g

## Seismiksensoren für Messungen ab 0,01 Hz

Das Modell **393C** mit einem Messbereich von 2,5 g verfügt über ein Quarz-Sensorelement in Compression-Mode-Geometrie. Mit dieser Konstruktion wird die besonders niedrige Einsatzfrequenz realisiert. In Kombination mit einer DC-gekoppelten Versorgungseinheit, die anstatt der üblichen Hochpassfilterung eine einmalige automatische oder manuelle Korrektur des Nullpunktes gestattet, sind Messungen ab 0,01 Hz möglich.

Ein Beispiel für eine solche Versorgungseinheit ist das 4-Kanal-Gerät **482C24**, das eine komfortable Bedienung über ein Tastenfeld mit Digitalanzeige ermöglicht.

### Top-Features

- Messungen ab 0,01 Hz
- Messbereich 2,5 g
- Empfindlichkeit 1 V/g
- Auflösung 100 µg
- Robustes Gehäuse



Modell 393C



Modell 482C24

## Industrielle Seismiksensoren mit wasser- und öldichter Kabelverbindung

Für einige Anwendungen in stark verschmutzter Umgebung sowie für Dauermessungen im Freien kann der Einsatz von Sensoren mit wasser- und öldichter Kabelverbindung erforderlich sein.

Unter den zahlreichen Sensormodellen für solche Anwendungen sind auch Seismiksensoren zu finden. Zur Auswahl stehen die Typen **M626B13** mit einem Messbereich von 5 g sowie **M626A14** mit einem Messbereich von 0,5 g. Beide Modelle verfügen über ein robustes Gehäuse, werden erdfrei montiert und lassen sich im Einflussbereich von elektromagnetischen Feldern einsetzen. Zu den Anwendungen zählen die Überwachung von Maschinen und Langzeitmessungen an Brücken.

### Top-Features

- Wasser- und öldichte Kabelverbindung
- Robustes, erdfreies Edelstahlgehäuse
- Messbereich 5 g oder 0,5 g
- Empfindlichkeit 1 V/g oder 10 V/g
- Auflösung 1  $\mu$ g
- Messungen ab 0,04 Hz

Modell M626B13



## Seismiksensor mit Bergwerkszulassung

Verschiedene Ereignisse wie Einstürze, Sprengungen oder Erdbeben können unter Tage Vibrationen verursachen, die zu schweren Schäden am Bergwerk führen. Daraus kann auch eine erhebliche Gefahr für die Bergarbeiter resultieren.

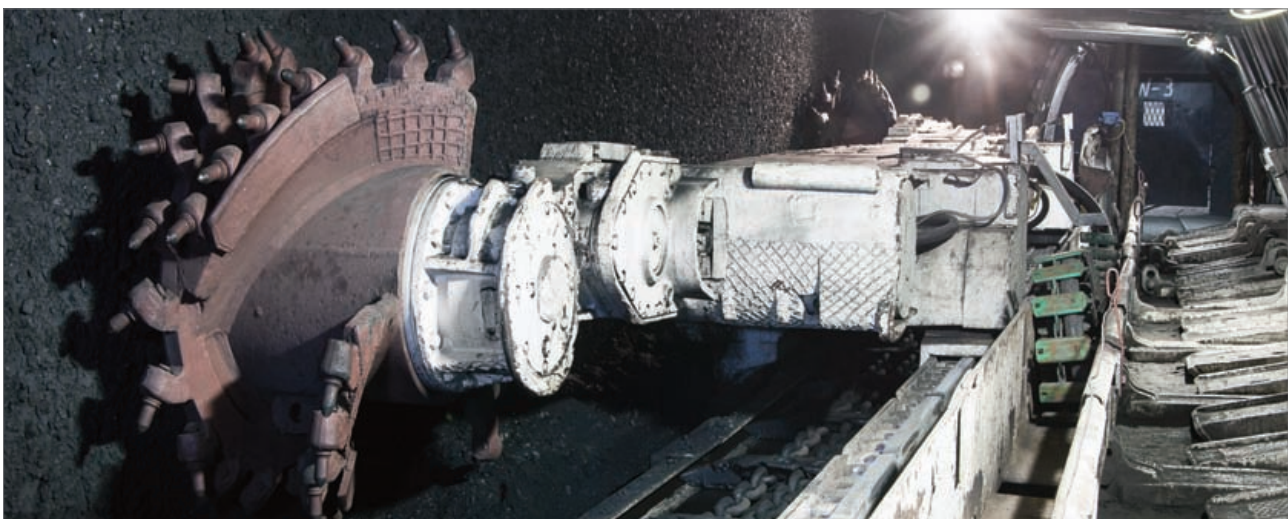
Durch eine Schwingungsüberwachung können die Gefahren für Menschen und Maschinen erheblich reduziert werden. Für explosionsgefährdete Bereiche bietet sich der Einsatz des Modells **393M88** mit Bergwerkszulassung an. Der Sensor basiert auf dem Typen 393A12 (siehe Seite 4) und ist mit seiner hohen Empfindlichkeit von 10.000 mV/g optimal für Vibrationsmessungen an großen Strukturen geeignet.

### Top-Features

- Bergwerkszulassung I M1 EX iA I
- Robustes, erdfreies Gehäuse
- Messbereich 0,5 g
- Empfindlichkeit 10 V/g
- Auflösung 8  $\mu$ g
- Messungen ab 0,05 Hz



Modell 393M88



## Hochempfindlicher triaxialer Vibrationssensor

Der hochempfindliche ICP®-Vibrationssensor **356B18** mit einem Messbereich von 5 g vereint drei orthogonal angeordnete hochempfindliche Sensorelemente in einem kompakten Gehäuse und erlaubt dadurch dreiaxiale Beschleunigungsmessungen. Die Empfindlichkeit dieses Modells beträgt 1.000 mV/g.



**Modell 356B18**

## MEMS-Beschleunigungssensoren für Messungen ab 0 Hz

Noch tiefere Frequenzen als mit piezoelektrischen Seismiksensoren und selbst statische Beschleunigungen können mit piezokapazitiven MEMS-Beschleunigungssensoren der Serie **3711E** gemessen werden. Zur Auswahl stehen verschiedene Messbereiche ab 2 g. Für triaxiale Messungen bietet PCB® die Serie **3713E** mit drei Sensorelementen in einem Gehäuse an.



**Serie 3711E**

## Impulshammer für die Anregung großer Strukturen

Um Informationen über das Schwingungsverhalten von Strukturen wie Brücken oder Maschinenfundamenten zu erhalten, ist eine künstliche Anregung erforderlich. Für große Strukturen bietet PCB® mit dem Modell **086D50** einen 5,5 kg schweren Impulshammer mit integriertem Kraftsensor an. Aus der gemessenen Kraft und den mit Hilfe von Seismiksensoren aufgezeichneten resultierenden Schwingungen lassen sich Rückschlüsse auf die Statik der untersuchten Struktur gewinnen.

### Top-Features

- Impulshammer mit integriertem Kraftsensor
- Hammermasse 5,5 kg
- Messbereich 22 kN



**Modell 086D50**

## ICP®-Versorgungseinheiten mit niedrigem Eigenrauschen

Damit bei der Messung kleinster Vibrationspegel mit piezoelektrischen Seismiksensoren das optimale Ergebnis erzielt wird, sollte auch die Sensorversorgungseinheit sorgfältig ausgewählt werden. Besonders niedrige Rauschpegel gewährleisten batteriegespeiste Geräte der Serie 480.

### Top-Features

- Versorgungseinheiten für ICP®-Sensoren
- Niedriger Rauschpegel dank Batteriebetrieb
- Optional mit einstellbarem Verstärkungsfaktor
- Optional mit drei Messkanälen



**Modell 480C02**

