

# PIEZOELEKTRISCHE BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN GRUNDLAGEN





# INHALTSVERZEICHNIS

---

## BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN

MIT ICP®-TECHNIK UND LADUNGSAusGANG ..... 4 – 5

SPEISUNG ..... 6 – 7

HINWEISE ZUR MONTAGE UND ZUM AMPLITUDENBEREICH ..... 8 – 9

FREQUENZBEREICH .....10 – 11

SEISMISCHE BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN ..... 12 – 13

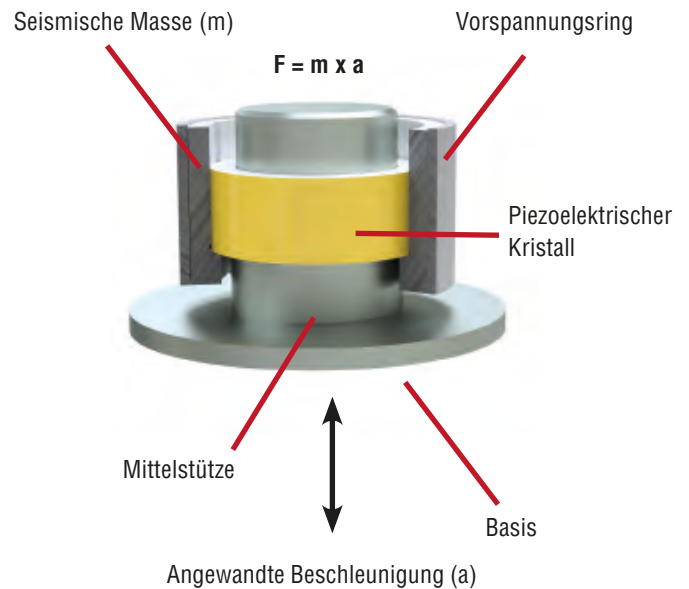
MEMS-BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN ..... 14 – 15

# BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN MIT ICP®-TECHNIK UND LADUNGSAusGANG

## FUNKTIONSWEISE

Piezoelektrische Beschleunigungssensoren messen Schwingungen und Stöße in einer Vielzahl von Anwendungen. Sie enthalten ein piezoelektrisches Sensorelement mit einer kristallinen Atomstruktur, das eine elektrische Ladung abgibt, wenn es einer Kraft mit einer daraus resultierenden Verformung ausgesetzt wird. Das Sensorelement spricht unmittelbar auf das Ereignis an, wodurch sich piezoelektrische Sensoren ideal für hochdynamische Messungen eignen, aber nicht für statische Beschleunigungsmessungen geeignet sind.

PCB®-Beschleunigungssensoren verwenden üblicherweise ein Shear Sensorelement, bei dem die seismische Masse über einen Vorspannring mechanisch um eine Mittelstütze vorgespannt wird, wie in der folgenden Abbildung dargestellt. Dies führt zu einer steifen Struktur mit gutem Frequenzgang und minimiert den Einfluss der Basisdehnung durch Temperatur.



## DIE ZWEI TYPEN PIEZOELEKTRISCHER BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN

- **ICP® (Integrated Circuit Piezoelectric)** – ist der Markenname für PCB®-Sensoren, die über einen eingebauten Verstärker verfügen. Die ICP®-Elektronik wandelt ein von einem piezoelektrischen Sensorelement erzeugtes Ladungssignal mit hoher Impedanz in ein niederohmiges Spannungssignal um, wenn sie mit Konstantstrom betrieben wird. Das modifizierte Signal kann problemlos über Zweidraht- oder Koaxialkabel an Datenerfassungssysteme oder Auslesegeräte übertragen werden.
- **Ladungsausgang** – Das Ausgangssignal eines Beschleunigungssensors mit Ladungsausgang ist ein Signal mit hoher Impedanz, das zur Erreichung einer verlustarmen und rauscharmen Übertragung von der elektrischen Isolierung abhängig ist. Es muss vor dem Datenerfassungssystem oder Auslesegerät mit Hilfe von Ladungsverstärkern in ein Signal mit niedriger Impedanz umgewandelt werden. Es ist dabei wichtig, rauscharme Kabel zu verwenden und die Verwendung von Kabeln mit beschädigter oder verunreinigter Isolierung zu vermeiden.

### ICP®-VORTEILE

- Einfache Bedienung
- Geeignet für den Betrieb unter rauen Umgebungsbedingungen und über lange Kabelwege
- Verwendung der integrierten Stromversorgung von Datenerfassungssystemen aller Hersteller (gegebenenfalls ist eine separate Speiseeinheit erforderlich)

### ICP®-NACHTEILE

- Maximale Betriebstemperatur von 180 °C
- Empfindlichkeit und Niederfrequenzverhalten sind nicht einstellbar
- ICP®-Konstantstromversorgung erforderlich

### VORTEILE DES LADUNGSAusGANGS

- Betriebstemperatur mit Hardline-Kabel bis zu 650 °C mit UHT-12™-Sensormaterial
- Flexibilität bei der Anpassung von Messbereich und Empfindlichkeit
- Erweiterter Niederfrequenzbereich bei Einsatz von Ladungsverstärkern mit hohen Entladezeitkonstanten

### NACHTEILE DES LADUNGSAusGANGS

- Zusätzliche Kosten durch den erforderlichen Ladungsverstärker
- Die Sensor- und Kabelanschlüsse müssen zur Erzielung einer optimalen Leistung sauber und trocken gehalten werden
- Benötigt ein teureres, rauscharmes Kabel

## TYPISCHE PCB®-BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN

### ICP®-ELEKTRONIK

Wandelt den hochohmigen Ausgang des piezoelektrischen Kristalls in einen niederohmigen Spannungsausgang um

### PIEZOELEKTRISCHER KRISTALL

Erzeugt bei Belastung elektrische Ladung

### ZULEITUNGSDRAHT

Verbindet den Ausgang des Kristalls oder der ICP®-Mikroelektronik mit dem elektrischen Anschluss

### GEHÄUSE

Umschließt interne Komponenten des Sensors

### SEISMISCHE MASSE

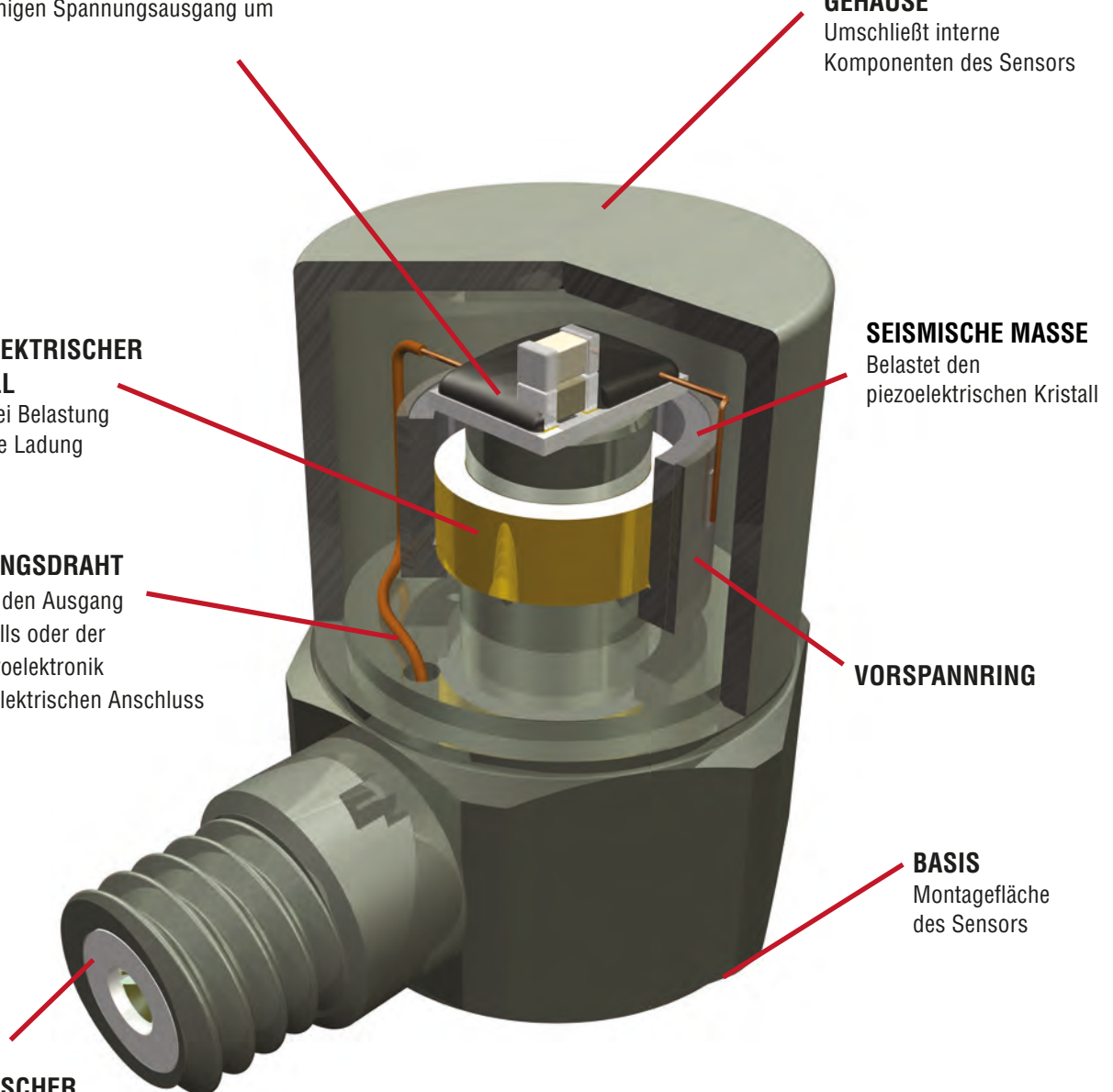
Belastet den piezoelektrischen Kristall

### VORSPANNRING

### BASIS

Montagefläche des Sensors

### ELEKTRISCHER STECKVERBINDER





# INSTRUMENTIERUNG VON ICP®-BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN

ICP®-Beschleunigungssensoren müssen von einer Konstantstromquelle gespeist werden (siehe Datenblatt des jeweiligen Sensors für die Strom- und Spannungswerte). Sobald der ICP®-Sensor mit Strom versorgt wird, wandelt die Elektronik im Sensor die piezoelektrische Ladung in ein Signal mit niedriger Impedanz um. ICP®-Signalkonditionierer und ICP®-konfigurierte Auslesegeräte koppeln den statischen Anteil des Signals aus, sodass ein Nutzsignal mit einer Vollaussteuerung von  $\pm 5$  Volt (meist sind auch  $\pm 10$  Volt möglich) entsteht.

PCB bietet mehrere ICP®-Signalkonditionierer von 1 bis 16 Kanälen an, die über eine Stromeinstellungsmöglichkeit von 2 - 20 mA bei 18 bis 30 V Gleichspannung verfügen. Weitere Informationen zu Signalkonditionierern und zur Impedanz enthält die PCB Tech Note TN-32. ICP®-Sensoren dürfen nicht mit handelsüblichen Netzteilen betrieben werden, da unregelmäßiger Strom die interne Elektronik der Sensoren beschädigen würde.



ICP®-Beschleunigungssensoren



Anschlusskabel



Signalkonditionierer für ICP®-Sensoren  
(aufbereitete Ausgabe an Oszilloskop  
oder Datenerfassungssystem)

Wenn ein Datenerfassungssystem mit ICP®-Stromversorgung ausgestattet ist, ist ein separater Signalkonditionierer nicht erforderlich.



ICP®-Beschleunigungssensoren



Anschlusskabel



Digitales Oszilloskop oder Datenerfassungssystem  
mit ICP Stromversorgung

## INSTRUMENTIERUNG VON LADUNGSBESCHLEUNIGUNGSSENSOREN

Das hochimpedante Signal von Ladungsausgangssensoren muss in ein Spannungssignal mit niedriger Impedanz umgewandelt werden, bevor es von Datenerfassungs- oder Auslesegeräten verarbeitet werden kann. Die Umwandlung kann auf zwei Arten erfolgen:



Beschleunigungssensor mit Ladungsausgang



Anschlusskabel



Dual-Mode-Ladungsverstärker (Ausgang mit niedriger Impedanz zum Oszilloskop oder Datenerfassungssystem)



Anschlusskabel



Beschleunigungssensor mit Ladungsausgang



Inline-Ladungsverstärker



Verbindungskabel

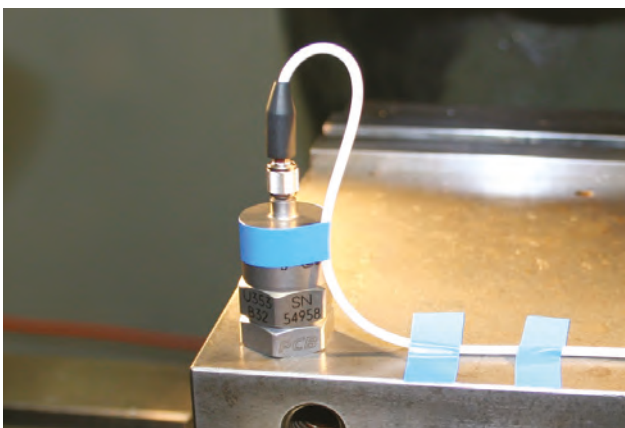


ICP®-Signalkonditionierer – Stromversorgung des Ladungswandlers (Ausgang mit niedriger Impedanz zum Oszilloskop oder Datenerfassungssystem)

# HINWEISE ZUR MONTAGE UND ZUM MESSBEREICH

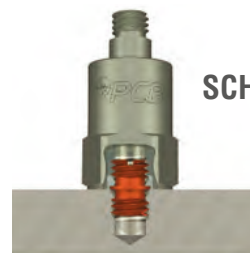
## KORREKTE KABELMONTAGE UND ZUGENTLASTUNG

Kabel zur Minimierung der Steckerbeanspruchung mit Klebeband oder Klemmen mit Kabelschlaufen installieren. Dadurch wird die Lebensdauer der Kabel maximiert und der triboelektrische Effekt reduziert.



## MONTAGEVERFAHREN

Für die Montage von Beschleunigungssensoren stehen verschiedene Befestigungsarten zur Verfügung. Jedes Verfahren beeinflusst die obere Grenzfrequenz.



### SCHRAUBMONTAGE

Mit einer Schraubmontage (integrierte Bohrung oder Gewindebohrung) kann die höchste Steifigkeit erreicht werden.

- Dieses Verfahren ermöglicht ein breites Frequenzspektrum



### KLEBEMONTAGE

Wenn andere Verfahren nicht praktikabel sind, können Klebeplättchen verwendet werden.

- Einige Klebstoffe sind bei Anwendungen mit höheren Temperaturen nur begrenzt einsetzbar

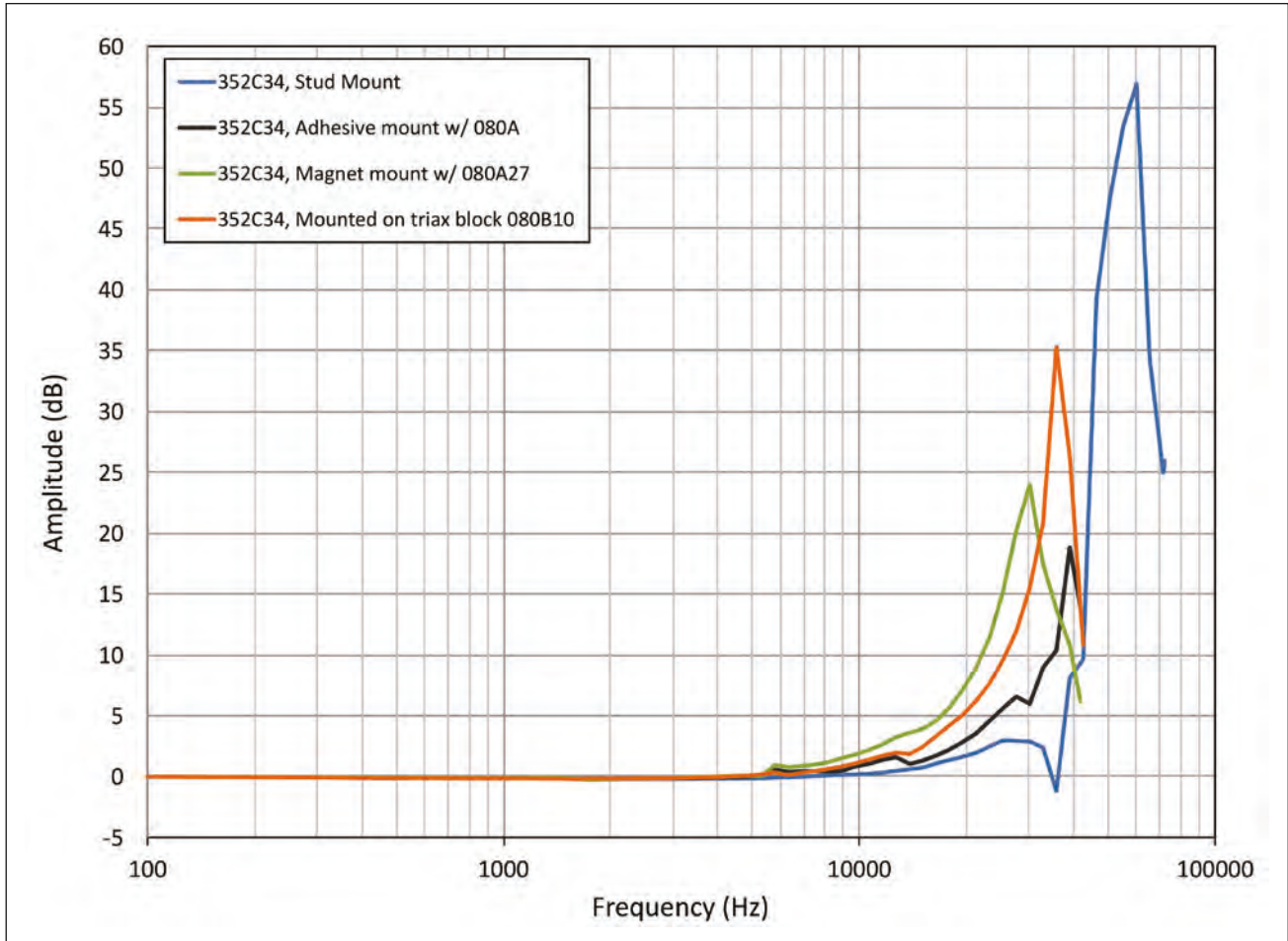


### MAGNETBEFESTIGUNG

Die Magnetbefestigung wird zur temporären Montage oder auf gekrümmten Oberflächen verwendet.

- Magnete können den nutzbaren Frequenzbereich des Beschleunigungssensors begrenzen





## MESSBEREICH VON PCB®-BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN

Die meisten ICP®-Beschleunigungssensoren besitzen eine Ausgangsspannung von  $\pm 5$  Volt. Beschleunigungssensoren mit Ladungsausgang sind nicht auf einen maximalen Ausgangsbereich von 5 Volt beschränkt, sie können an beliebigen Stellen innerhalb des auf dem Datenblatt aufgeführten linearen Messbereichs betrieben werden. Der Ladungsausgang (pC/g) kann dann durch einen Ladungsverstärker oder Ladungswandler (mV/pC) umgewandelt werden. Laborverstärker verfügen in der Regel über eine Funktion zur Einstellung von Verstärkung (mV/pC) und Messbereich. Inline-Ladungswandler besitzen üblicherweise eine feste Verstärkung und einen festen Messbereich.

### Beispiel Berechnung ICP®-Technik

Empfindlichkeit Beschleunigungssensor ( $E$ ): 10 mV/g  
 Messbereich ( $M_{max}$ ):  $\pm 500$  g  
 Ausgang (VDC) =  $E \times M_{max}$   
 $= 10 \text{ mV/g} \times 500 \text{ g}$   
 Ausgang = 5.000 mV = 5,0 VDC

### Beispiel Berechnung Messbereich Ladungstechnik

Die mit einer Kombination aus Sensor und Wandler messbare maximale Beschleunigung  
 Empfindlichkeit Beschleunigungssensor ( $E$ ): 10 pC/g  
 Wandler-Eingangsbereich ( $EB$ ):  $\pm 500$  pC  
 Bereich ( $\pm g$ ) =  $EBI \div E$   
 $= \pm 500 \text{ pC} \div 10 \text{ pC/g}$   
 Messbereich =  $\pm 50$  g

### Beispiel Ausgangssignal bei Ladungsverstärkung

Empfindlichkeit Beschleunigungssensor ( $E$ ): 10 pC/g  
 Eingangsmessung ( $G_{in}$ ): 14 g  
 Ladungsumwandlung ( $L$ ): 10 mV/pC  
 Ausgang (VDC) =  $E \times G_{in} \times L$   
 $= 10 \text{ pC/g} \times 14 \text{ g} \times 10 \text{ mV/pC}$   
 Ausgang = 1.400 mV = 1,4 VDC

# FREQUENZBEREICH

## ENTLADEZEITKONSTANTE

- Die Entladezeitkonstante (DTC) ist die Zeit (üblicherweise in Sekunden), die ein wechsellspannungsgekoppeltes Gerät oder Messsystem benötigt, um sein Signal bei einem sprunghaften Wechsel der Messgröße auf 37 % des ursprünglichen Werts zu entladen.
- Es befolgt die Prinzipien der RC-Schaltung, bei der sich eine Ladung mit einem exponentiellen Verlauf entlädt.
- ICP®-Sensoren verfügen über eine feste Entladezeitkonstante, die auf den Werten der internen RC-Schaltung basiert. Bei Verwendung in wechsellspannungsgekoppelten Systemen (Sensor, Kabel und ICP®-Signalkonditionierer) gilt für die Messkette die Charakteristik der Entladungszeitkonstante des ICP®-Sensors oder des Signalkonditionierers, je nachdem, welcher Wert der kleinere ist. Bei Sensoren mit Ladungsausgang wird die Entladezeitkonstante durch die Wahl des Ladungsverstärkers oder Inline-Ladungswandlers bestimmt.

Dabei ist:

$q$  = momentane Ladung (pC)

$Q$  = anfängliche Ladung (pC)

$R$  = Bias- oder Rückkopplungswiderstand (Ohm)

$C$  = Gesamtkapazität (oder Rückkopplungskapazität) (pF)

$t$  = Beliebiger Zeitpunkt nach  $t_0$  (sec)

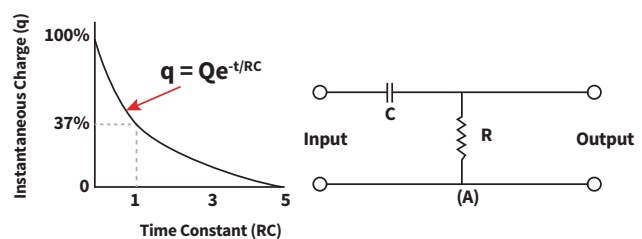
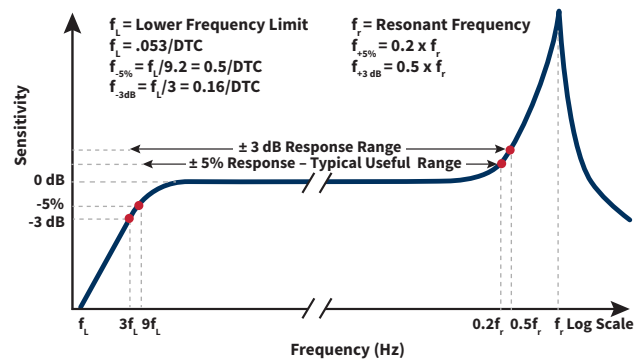
$e$  = Basis des natürlichen Logarithmus (2,718)

## NIEDERFREQUENZSPEKTRUM

Bei ICP®-Sensoren wird das Niederfrequenzverhalten durch die Sensorelektronik vorgegeben. Ladungsausgangssensoren enthalten keine Angaben zum Niederfrequenzverhalten oder zur Entladungszeitkonstante in ihren Spezifikationen, da sie von dem verwendeten spezifischen Ladungswandler oder Verstärker abhängig sind. Bei Verwendung von Sensoren mit Ladungsausgang sind die Spezifikationen des spezifischen Signalwandlers für das Niederfrequenzverhalten und die Zeitkonstanten zu beachten.

ICP®-Sensoren verfügen über eine interne Mikroelektronik, die die Umwandlung von einer Ladung mit hoher Impedanz in ein Spannungssignal mit niedriger Impedanz durchführt. Die Niederfrequenz-Spezifikationen sind in den Datenblättern der ICP®-Sensoren aufgeführt. Beispielspezifikationen sind in der Tabelle auf der nächsten Seite enthalten.

Die folgende Grafik zeigt die Beziehung zwischen Empfindlichkeit und Frequenz:



## WEITES FREQUENZSPEKTRUM

Beschleunigungssensoren weisen im Allgemeinen eine erhöhte Empfindlichkeit auf, wenn das Messelement durch Schwingungsbelastungen bei höheren Frequenzen angeregt wird, die bei der Resonanzfrequenz ihren Höhepunkt erreichen. Dies resultiert aus der gekoppelten Steifigkeit von relativ kleinen Komponenten in Beschleunigungssensorbaugruppen. Die Empfindlichkeit steigt schnell an, wenn man sich der Resonanzfrequenz nähert. Dies kann zu einer Signalsättigung führen. Messfehler durch Resonanz werden vermieden, indem ein Grenzwert für die maximale Messfrequenz festgelegt wird, der üblicherweise 20 % der Resonanzfrequenz beträgt.

Bei einigen ICP®-Beschleunigungssensoren ist eine Filterung implementiert, um die Auswirkungen der Resonanz abzuschwächen. Sowohl obere als auch untere Frequenzgrenzen müssen berücksichtigt werden, um geeignete Messgrenzen zu bestimmen (z. B.:  $\pm 5\%$  oder  $\pm 3\text{ dB}$ ).

## TYPISCHE SPEZIFIKATIONEN

ICP®-Beschleunigungssensor	Modell 352C22	
Empfindlichkeit (±20 %)	10 mV/g	1,0 mV/(m/s <sup>2</sup> )
Messbereich	±500 g pk	±4.900 m/s <sup>2</sup> pk
Frequenz bei -5 % Amplitudenabweichung	1,0 Hz	
Frequenz bei +5 % Amplitudenabweichung	10.000 Hz	
Frequenz bei -3 db Amplitudenabweichung	0,3 Hz	
Frequenz bei +3 db Amplitudenabweichung	20.000 Hz	
Resonanzfrequenz	≥ 50 kHz	
<b>Umgebung</b>		
Temperaturbereich (im Betrieb)	-54 ... 121 °C	
<b>Elektrische</b>		
Speisespannung	18 V bis 30 V Gleichspannung	
Ausgangs-Bias-Spannung	7 V bis 12 V Gleichspannung	
Entladungszeitkonstante	1,0 V bis 3,5 s	

Beschleunigungssensor mit Ladungsausgang	Modell 357C10	
Empfindlichkeit (±20 %)	1,7 pC/g	0,17 pC/(m/s <sup>2</sup> )
Messbereich	±500 g pk	±4.900 m/s <sup>2</sup> pk
Frequenz bei -5 %	Das Niederfrequenzverhalten wird durch die externe Signalkonditionierungselektronik bestimmt.	
Frequenz bei +5 % Amplitudenabweichung	10.000 Hz	
Frequenz bei -3 db	Das Niederfrequenzverhalten wird durch die externe Signalkonditionierungselektronik bestimmt.	
Frequenz bei +3 db Amplitudenabweichung	20.000 Hz	
Resonanzfrequenz	≥ 50 kHz	
<b>Umgebung</b>		
Temperaturbereich (im Betrieb)	-73 ... 177 °C	

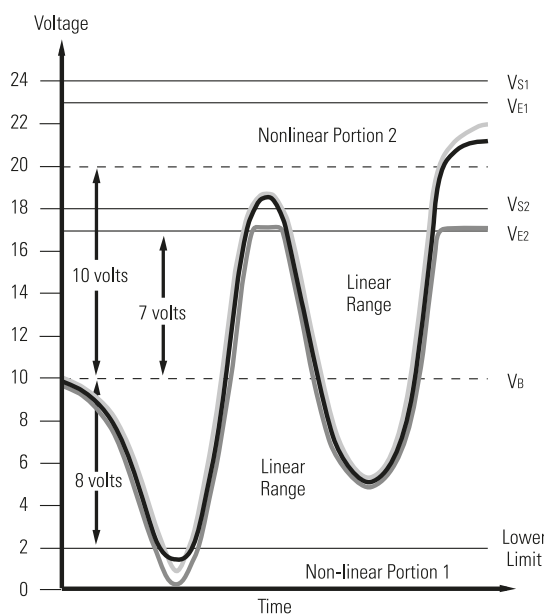
## EINFLUSS DER SPEISESPANNUNG AUF DEN DYNAMIKBEREICH VON ICP®-SENSOREN

Die spezifizierte Speisespannung für ICP®-Sensoren und -Verstärker liegt im Allgemeinen zwischen +18 V und +30 V. Das Funktionsprinzip ist in der Grafik rechts dargestellt.

Zur Erläuterung des Diagramms werden die folgenden Werte angenommen:

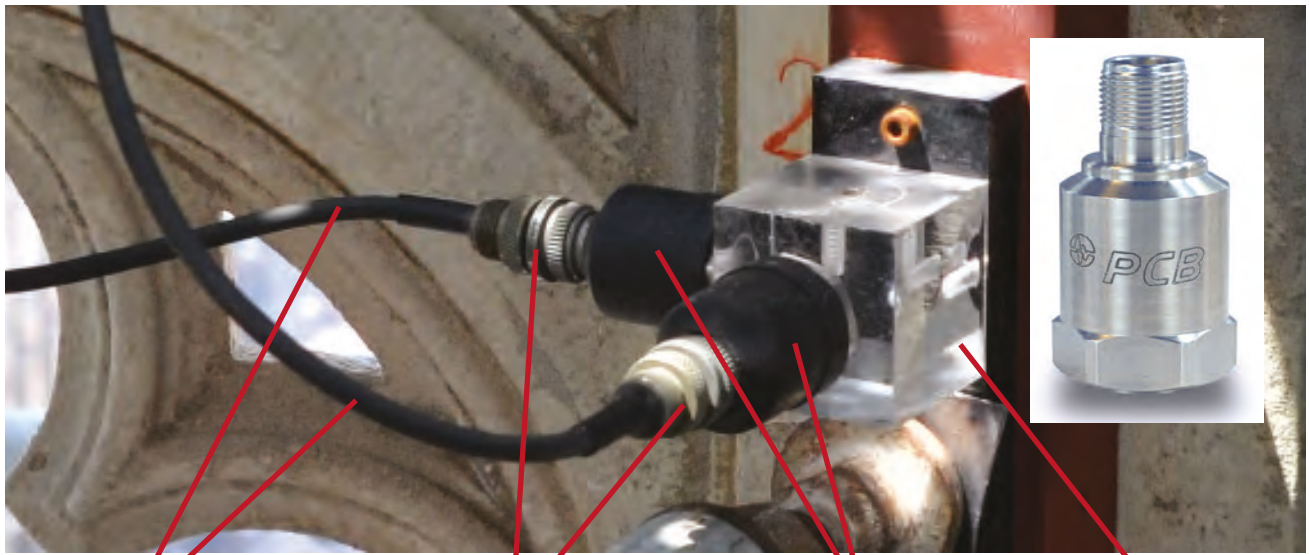
- $V_B$  = Sensor-Bias-Spannung = 10 V Gleichspannung
- $V_{S1}$  = Versorgungsspannung 1 = 24 V Gleichspannung
- $V_{E1}$  = Speisespannung 1 =  $V_{S1} - 1$  = 23 V Gleichspannung
- $V_{S2}$  = Versorgungsspannung 2 = 18 V Gleichspannung
- $V_{E2}$  = Speisespannung 2 =  $V_{S2} - 1$  = 17 V Gleichspannung

Zu beachten ist, dass für eine korrekte Stromregelung ein Abfall von ca. 1 Volt über die Strombegrenzungsdiode (oder Ersatzschaltung) eingehalten werden muss.



**Figure 9.**  
 — Input Measurand (signal)  
 - - - Output Signal (18 VDC supply)  
 . . . Output Signal (24 VDC supply)

# SEISMISCHE BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN



Zwei-adriges, abgeschirmtes  
verdrilltes Kabel mit verdrehter  
Doppelader innerhalb  
des Polyurethanmantels

Zwei-polige MIL-Steckverbinder  
zur Verwendung bei  
gehäuseisolierten seismischen  
Beschleunigungssensoren

Thermische  
Schutzummantelung

Befestigungsblock

## HOHEMPFINDLICHE ICP®-BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN FÜR SEISMISCHE ANWENDUNGEN

Hochempfindliche ICP®-Beschleunigungssensoren werden zur Erkennung von niederfrequenten Schwingungen mit extrem niedriger Amplitude verwendet, die mit sehr großen Strukturen, Fundamenten und Erderschütterungen verbunden sind. Diese Sensoren besitzen eine außergewöhnliche Messauflösung aufgrund ihrer vergleichsweise großen Masse, die ein höheres Ausgangssignal und einen niedrigeren Rauschpegel ermöglicht.

Hochempfindliche Beschleunigungssensoren erzeugen Signale als Reaktion auf eine Vielzahl von Schwingungsquellen, darunter: Verkehr, Wind und seismische Ereignisse. Wenn diese Signale analysiert werden, liefern sie Erkenntnisse zur Bestimmung des Zustands und der Sicherheit der Struktur. Diese investigative Analyse kann zu Empfehlungen für Sanierungsmaßnahmen oder eine weitere Überwachung führen. Zu beachten ist, dass hochempfindliche Beschleunigungssensoren mit Vorsicht zu behandeln sind. Sie besitzen seismische Massen, die größer als die üblichen sind. Bereits bei einem Sturz aus wenigen Zentimetern Höhe können sie beschädigt werden.

# SENSORISOLIERUNG UND VERMEIDUNG VON ERDSCHLEIFEN

Die Instrumentierung von elektrischen Geräten (Stromkreise, Motoren, Magnetspulen usw.) oder von Geräten, die elektrische Ladung erzeugen können (Generatoren, Geräte mit leitfähigen Medien usw.), erfordert besondere Beachtung. Es können Erdschleifen auftreten, wenn die Abschirmung des Gerätekabels an zwei Punkten mit unterschiedlichem elektrischem Potenzial geerdet wird. Die Abschirmung überträgt das elektrische Potenzial

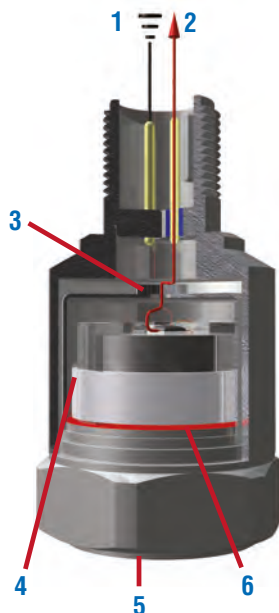
als Wechselstrom, der sich als 50/60-Hz-Rauschen zeigen kann. Deshalb sind Sensoren mit Gehäuseisolierung oder Masseisolierung (über eine integrierte Isolierung oder über spezielle Montagesockel) erhältlich. Eine gewisse Isolierung wird durch die Klebefestigung erreicht, die jedoch von der Dicke, der Parallelität und der Art des verwendeten Klebstoffs abhängt.

## GEHÄUSEISOLIERUNG

Das Sensorelement ist vom Sensorgehäuse isoliert.

- Da das Signal und die Signalerdung intern isoliert sind, wird die Kabelabschirmung am Sensorende schwimmend verlegt, um Erdschleifen zu vermeiden
- Die Abschirmung ist nur am Auslesegerät geerdet
- Der Sensor kann direkt auf dem zu prüfenden Objekt platziert werden. Es ist keine zusätzliche Basisisolierung erforderlich
- Für die Stromversorgung und Signalübertragung muss ein zweiadriges Kabel verwendet werden

1. Signalmasse
2. Ausgangssignal und Stromversorgung (+)
3. Der Kondensator bietet Schutz vor elektrostatischen Entladungen und einen Hochfrequenzstörfilter
4. Abschirmung als faradayscher Käfig gegen Umgebungsruschen
5. Gehäusemasse durch den Montagesockel.
6. Ein beschichtetes Pad isoliert das Sensorelement elektrisch vom Außengehäuse



## MASSEISOLIERUNG

Der Sensor ist von der Montagefläche durch ein elektrisch nicht leitendes Material mit hohem Isolationswiderstand isoliert.

- Integrierte Isolierung – eine nicht leitende Schicht, die den inneren Sensor vom äußeren Gehäuse isoliert.
- Isolierung aus eloxiertem Aluminium – schwarz gefärbte Sensormodelle verwenden zur Isolierung eloxierte Aluminiumgehäuse. Durch Abnutzung der Beschichtung kann möglicherweise eine Verschlechterung der Isolierung eintreten.
- Isoliersockel – Einige Beschleunigungssensoren verfügen über eine integrierte Isolierbefestigung. Bei Modellen mit Innengewinde kann ein Isoliersockel hinzugefügt werden. Beide Varianten werden unten in der Abbildung dargestellt.
- Die oben genannten Isolierungsverfahren erfordern ein Kabel mit mindestens einem Leiter pro Kanal zuzüglich der Abschirmung. Die Verwendung von Zwei-Leiter-Kabeln mit einem Leiter für die Signalmasse hat sich bewährt (Abschirmung optional).



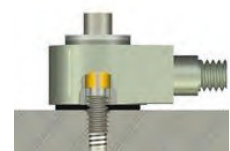
Isoliergehäuse aus Titan, verklebt



Isolierung aus eloxiertem Aluminium



Isoliersockel



Integrierte Sockelisolierung



# MEMS-BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN

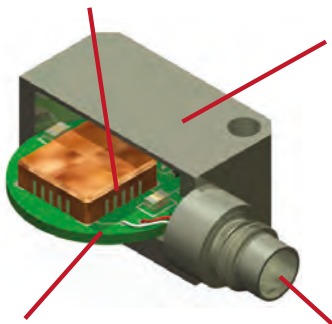
## FUNKTIONSWEISE

MEMS ist die Abkürzung für Micro-Electro-Mechanical System. Bei MEMS-Sensoren werden Mikrofertigungsverfahren verwendet, um mechanische Sensorelemente auf mikroskopischer Ebene aus Siliziummaterialien herzustellen. Im Gegensatz zu Ladungs- und ICP®-Beschleunigungssensoren können MEMS-Beschleunigungssensoren Frequenzen bis hinunter zu 0 Hz (statische oder DC-Beschleunigung) messen.

PCB® bietet zwei MEMS-Beschleunigungssensorversionen an: Variabel kapazitive Sensoren und piezoresistive Sensoren. Variabel kapazitive MEMS-Beschleunigungssensoren sind hochempfindliche Geräte mit kleinerem Messbereich, die zur Strukturüberwachung und zur Messung konstanter Beschleunigungen verwendet werden. Piezoresistive MEMS-Beschleunigungssensoren verfügen über Messbereiche für die höheren "g"-Werte, die bei Schockmessungen verwendet werden, verbunden mit geringerer Empfindlichkeit und Dämpfung.

## VARIABEL KAPAZITIVES MEMS-SENSORELEMENT

Eine mikrobearbeitete Prüfmasse wird zwischen zwei parallelen Platten aufgehängt, die einen oberen und unteren Luftspalt bilden. An die Platten wird eine elektrische Ladung angelegt, wodurch der Luftspalt zu einem Pseudokondensator wird. Durch eine Bewegung wird die Prüfmasse angeregt. Dies bewirkt eine Änderung der Spalthöhe und eine entsprechende Änderung der Kapazität. Die Kapazitätsänderung wird in ein Gleichspannungsausgangssignal proportional zur Beschleunigung skaliert.



### GEHÄUSE

Das Gehäuse sorgt für die hermetisch dichte Isolierung der Sensoren.

## GEDRUCKTE SCHALTUNG

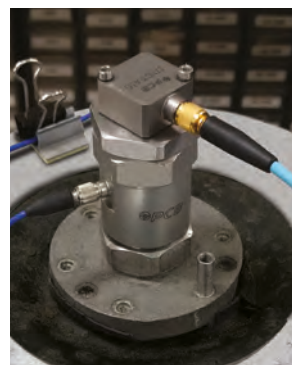
- Für die Spannungsregelung, den Schutz und die Temperaturkompensation
- Eine Auswerteschaltung ermöglicht eine hohe Empfindlichkeit des Ausgangs
- Kompensiert Zero-Bias- und Empfindlichkeitsfehler über die Temperatur

## ELEKTRISCHER ANSCHLUSS

Anschluss an Kabel zur Signalübertragung und Stromversorgung

## FUNKTION UND BETRIEB VON MEMS-BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN

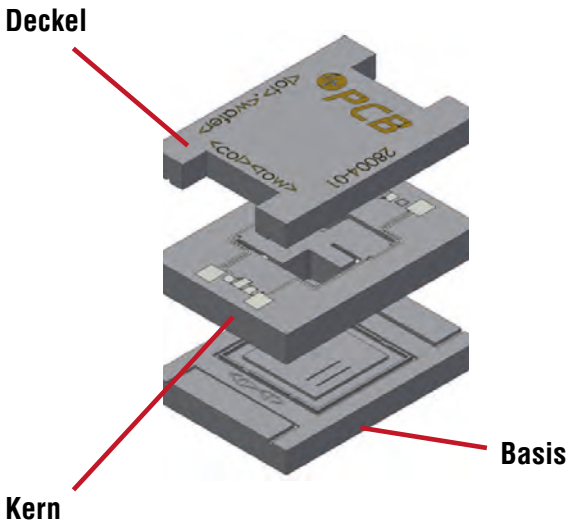
- Um das Gleichstromsignal von variabel kapazitiven MEMS-Beschleunigungssensoren nutzen zu können, müssen das Auslesegerät und der Signalkonditionierer gleichstromgekoppelt sein.
- Die Offsetgleichspannung wird durch die Positionsausrichtung relativ zur Erdschwerkraft durch die Fähigkeit des variabel kapazitiven MEMS-Beschleunigungssensors, statische (konstante) Beschleunigungen zu messen, beeinflusst.
- Wenn die empfindliche Achse des Beschleunigungssensors senkrecht zur Schwerkraft steht, entspricht das Ausgangssignal der Null-G-Offset-Spannung auf dem PCB®-Kalibrierzertifikat.
- Wenn die empfindliche Achse des Beschleunigungssensors parallel zur Schwerkraft ausgerichtet ist, entspricht das Ausgangssignal der Bias-Spannung +1g des Ausgangs.



## PRÜFUNG EINES VARIABEL KAPAZITIVEN MEMS-BESCHLEUNIGUNGSSENSORS

- Eine exakte statische Kalibrierung kann unter Verwendung der Schwerkraft als Beschleunigungsreferenz durchgeführt werden. Dazu wird der Beschleunigungssensor in einer +1g-Ausrichtung angebracht, sodass der Sockel auf der Montagefläche aufliegt und die Modellnummer nach oben zeigt.
- Anschließend den Sensor um 180° drehen. Die Modellnummer zeigt nun nach unten auf die Montagefläche. Der Sensor sollte nun eine -1g-Beschleunigung ausgeben.

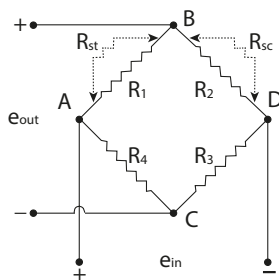
## PIEZORESISTIVE MEMS-SENSORELEMENTE



- Die Sensorelemente und die seismische Masse bestehen aus Biegeelementen auf einer mittleren Schicht, die sandwichartig zwischen der oberen und unteren Schicht angeordnet ist.
- Eine Verformung dieser Biegeelemente verursacht eine messbare Widerstandsänderung, die proportional zur angewandten Beschleunigung ist.
- Unterschiedliche Messbereiche werden durch die Verwendung unterschiedlicher Biegeelemente erreicht, wodurch die Steifigkeit der Sandwich-Anordnung verändert wird.
- Die Gasdämpfung verringert die Resonanzverstärkung und reduziert die Reaktion auf Hochfrequenzenergie.

## FUNKTION UND BETRIEB PIEZORESISTIVER MEMS-BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN

- Um das Gleichstromsignal von MEMS-Beschleunigungssensoren nutzen zu können, müssen das Auslesegerät und der Signalkonditionierer gleichstromgekoppelt sein.
- Piezoresistive Beschleunigungssensoren müssen mit einer geregelten Spannungsquelle gespeist werden, da die Empfindlichkeit proportional zur Speisespannung ist. Es wird empfohlen, die im Kalibrierzertifikat angegebene Speisespannung zu verwenden, um den kalibrierten Empfindlichkeitswert zu erhalten.
- Die Sensorelemente sind in einer vollaktiven Wheatstone-Brückenkonfiguration angeordnet. Die Brücke verwendet variable Widerstände. Zwei Widerstände vergrößern sich mit der Eingangsbeschleunigung und zwei Widerstände verringern sich.



## PRÜFUNG EINES PIEZORESISTIVEN MEMS-BESCHLEUNIGUNGSSENSORS

- Zur Überprüfung der Ausgangs-Offsetspannung werden die +Exc- und -Exc-Leitungen an eine geeignete Stromversorgung angeschlossen. Anschließend die Leitungen +Sig und -Sig an ein Voltmeter anschließen, das auf die Anzeige von Gleichspannung eingestellt ist.
- Den Sensor in einer +1g-Ausrichtung montieren, sodass er sicher auf einer flachen, ebenen und stabilen Oberfläche ruht. Den Differenzspannungsausgang des Sensors messen. Die Angabe im Kalibrierzertifikat mit der gemessenen Offset-Spannung vergleichen.
- Zur Überprüfung des Brückenwiderstands wird ein Ohmmeter oder ein entsprechend eingestelltes Digitalmultimeter verwendet, um den Widerstand in Ohm zu messen. Den Sensor auf eine flache und ebene Oberfläche legen. Bei dieser Prüfung ist es nicht erforderlich, eine Speisespannung anzulegen. Der Eingangswiderstand wird zwischen den Leitungen +Exc und -Exc gemessen. Der Ausgangswiderstand wird zwischen den Leitungen +Sig und -Sig gemessen. Die Angaben im Kalibrierzertifikat mit den gemessenen Widerstandswerten vergleichen.

