

# KRAFT- UND DEHNUNGSSENSOREN GRUNDLAGEN

---



# INHALTSVERZEICHNIS

---



KRAFTSENSOREN MIT ICP®-TECHNIK UND LADUNGS-AUSGANG .....	4 – 5
SENSORSPEISUNG .....	6 – 7
HINWEISE ZUR MONTAGE .....	8 – 9
FREQUENZBEREICH VON ICP®- UND LADUNGSSENSOREN .....	10 – 11
SEISMISCHE DEHNUNGSSENSOREN .....	12 – 13
PIEZOELEKTRISCHE KRAFTSENSOREN ODER WÄGEZELLEN .....	14 – 15

# KRAFTSENSOREN MIT ICP<sup>®</sup>-TECHNIK UND LADUNGSAusGANG

## FUNKTIONSWEISE

Piezelektrische Kraftsensoren messen Druck- oder Zugbelastungen in einer Vielzahl von Anwendungen. Sie enthalten ein piezelektrisches 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 piezelektrische Sensoren ideal für hochdynamische Messungen eignen, aber nicht für statische Kraftmessungen geeignet sind.

PCB<sup>®</sup>-Kraftsensoren sind aus dünnen Quarzkristallscheiben als piezelektrische Sensorelemente aufgebaut, die zwischen einer oberen und einer unteren Grundplatte „eingeklemmt“ werden (Sandwich-Bauweise). Die Grundplatten werden bis zu einer bestimmten Vorspannungseinstellung zusammengedrückt und entweder durch eine Vorspannschraube (Gewinde) oder eine Vorspannhülse (geschweißt) gehalten. Die Sensorelemente sind vorgespannt, wodurch Zugmessungen möglich sind.

Elektroden auf den Sensorelementen übertragen die elektrische Ladung an die interne ICP<sup>®</sup>-Elektronik oder bei Ladungsmodellen direkt an den elektrischen Anschluss. Das Außengehäuse richtet die internen Komponenten aus, sorgt für eine strukturelle Abstützung des elektrischen Anschlusses und ist zum Schutz hermetisch dicht mit den Grundplatten verschweißt. Dieses Sensorelementepaket ermöglicht eine außerordentliche Steifigkeit für Präzisionsmessungen unter dynamisch wechselnden Belastungen.



## AUFBAU DES SENSORS

### Piezelektrischer Kristall

Quarzkristall, der bei Belastung elektrische Ladung erzeugt.

### Vorspannungsschraube

Die Sensorelemente werden komprimiert, wodurch Zug- und Druckmessungen möglich sind.

### Isolator

Isoliert das Ausgangssignal vom Sensorgehäuse

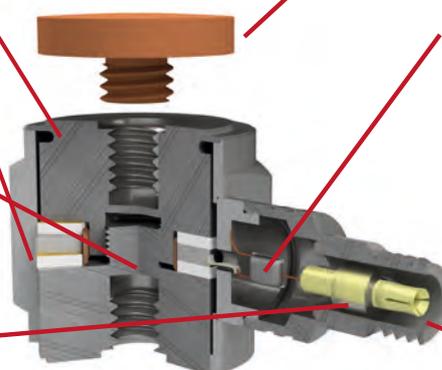
### Schlagkappe

Die eingeleitete Kraft wird über die gesamte Oberfläche des Sensors verteilt.

### ICP<sup>®</sup>-Mikroelektronik

Wandelt den Ladungsausgang des piezelektrischen Kristalls in einen Spannungsausgang mit niedriger Impedanz um (nicht vorhanden bei Kraftsensoren mit Ladungsausgang)

### Elektrischer Anschluss



## ES GIBT ZWEI HAUPTTYPEN VON PIEZOELEKTRISCHEN KRAFTSENSOREN

- **ICP® (Integrated Circuit Piezoelectric)** – ist der Markenname für PCB-Sensoren, die über eine eingebaute Mikroelektronik 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 Kraftsensors 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. Isolierung zu vermeiden.

### ICP®-VORTEILE

- Einfache Bedienung
- Geeignet für den Betrieb unter rauen Umgebungsbedingungen und über lange Kabelwege
- Verwendung der integrierten Konstantstromversorgung von Datenerfassungssystemen vieler Hersteller (gegebenenfalls ist eine zusätzliche Sensorspeisung erforderlich)

### ICP®-NACHTEILE

- Maximale Betriebstemperatur von 121 °C
- Empfindlichkeit und Niederfrequenzverhalten sind nicht einstellbar
- ICP®-Konstantstromversorgung erforderlich

### VORTEILE DES LADUNGSAusGANGS

- Maximale Betriebstemperatur 204 °C
- Flexibilität bei der Anpassung von Messbereich und Empfindlichkeit
- Erweiterter Niederfrequenzbereich beim Einsatz von Ladungsverstärkern mit hohen Entladezeitkonstanten

### NACHTEILE DES LADUNGSAusGANGS

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

## AMPLITUDENBEREICH VON PCB-KRAFTSENSOREN

Die meisten ICP®-Kraftsensoren besitzen eine max. Ausgangsspannung von  $\pm 5$  Volt. Ladungskraftsensoren 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/kN) kann dann durch einen Ladungsverstärker (mV/pC) umgewandelt werden. Laborverstärker verfügen in der Regel über eine Funktion zur Einstellung der Verstärkung und des Messbereiches. Inline-Ladungswandler besitzen üblicherweise eine feste Verstärkung und einen festen Messbereich.

### ICP®-Messausgabe

Kraftempfindlichkeit (FS): 112.600 mV/kN

Messbereich (MR): 44,4 N Druck

Signalausgang ( $V_{Aus}$ ) = FS x MR

$$= 10 \text{ mV/g} \times 500 \text{ g}$$

$$V_{Aus} = 5.000 \text{ mV} = 5,0 \text{ Volt}$$

Ausgang = 5.000 mV = 5,0 V Gleichspannung

### Ladungsmessbereich

Die mit dieser Kombination aus Sensor und Wandler messbare Kraft:

Kraftempfindlichkeit (FS): 4.054 pC/kN

Wandler-Eingangsbereich (CI):  $\pm 5.000$  pC

Messbare Kraft ( $MF_{max}$ ) = CI  $\div$  FS

$$= \pm 500 \text{ pC} \div 10 \text{ pC/g}$$

$$= \pm 5.000 \text{ pC} \div 4.054 \text{ pC/kN}$$

$$MF_{max} = \pm 1.233 \text{ N}$$

(Die erforderliche Vorspannung muss für die Spannung berücksichtigt werden)

### Umwandlung der Ladungsverstärkung

Kraftempfindlichkeit (FS): 4.054 pC/kN

Krafteingang ( $F_{Ein}$ ): 333 N

Ladungsumwandlung (CC): 1 mV/pC

Signalausgang ( $V_{Aus}$ ) = FS x  $F_{Ein}$  x CC

$$= 4.054 \text{ pC/kN} \times 333 \text{ N} \times 1,0 \text{ mV/pC}$$

$$V_{Aus} = 1.350 \text{ mV} = 1,4 \text{ Volt}$$

### Umrechnungshilfe

1 lb (pound force) = 4.45 N (Newton)

1,000 lb = 4500 N = 4.45 kN

# SENSORSPEISUNG

## INSTRUMENTIERUNG VON ICP®-KRAFTSENSOREN

ICP®-Kraftsensoren müssen von einer Konstantstrom-Quelle 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 mA - 20 mA bei +18 V 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®-Kraftsensor



Anschlusskabel



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

Wenn ein Datenerfassungssystem (DAQ) mit ICP®-Stromversorgung ausgestattet ist, ist ein separater Signalkonditionierer nicht erforderlich



ICP®-Kraftsensor



Anschlusskabel



Digitales Oszilloskop oder Datenerfassungssystem  
(externes Modul für ICP®-Stromversorgung  
nicht abgebildet)

## INSTRUMENTIERUNG VON LADUNGSKRAFTSENSOREN

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:



Ladungsausgangskraftsensor



Anschlusskabel



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



Anschlusskabel



Inline-Ladungsverstärker



Verbindungskabel



Kraftmesselement mit Ladungsausgang



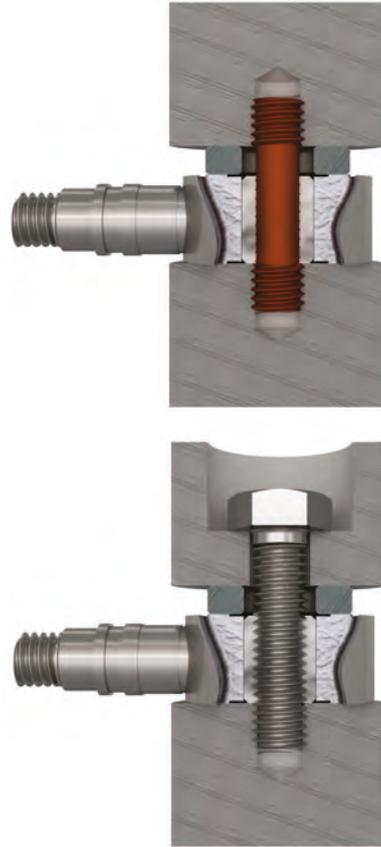
ICP®-Signalkonditionierer – Stromversorgung des Ladungswandlers (Ausgang mit niedriger Impedanz zum Oszilloskop oder Datenerfassungssystem)

# HINWEISE ZUR MONTAGE

## MONTAGEGENAUIGKEIT

PCB-Kraftsensoren werden während des Fertigungsprozesses präzise gefertigt, um die gleichmäßige Kraftübertragung durch die Auflageflächen des Sensors zu maximieren. Bei der Montage von Kraftsensoren ist auf eine präzise Ausrichtung des Sensors und der Kontaktflächen zu achten, um mögliche Messfehler auszuschließen. Die korrekte Montage der PCB-Kraftringe umfasst:

- Vorbereiten der Auflageflächen – flach und parallel bis auf 0,03 mm genau und frei von jeglichen Ablagerungen. Die Oberflächen müssen auf mindestens 3,2 Mikrometer glatt geschliffen werden.
- Das richtige Drehmoment – ein zu hohes Drehmoment des Befestigungselements während der Montage und der Vorspannung kann Scherkräfte in den Kraftring übertragen und den Sensor möglicherweise beschädigen. Die folgenden Vorsichtsmaßnahmen sind zu beachten, einschließlich der Anweisungen im Handbuch des jeweiligen Sensorprodukts:
  - Es müssen reibungsmindernde Scheiben und Befestigungselemente mit Ausrichtungsbuchsen verwendet werden (sind Bestandteil des Zubehörs bei Ringkraftsensoren).
  - Während der Montage muss eine dünne Schmiermittelschicht (z. B. Silikonfett) auf die Montageflächen aufgetragen werden. Dies sorgt für einen besseren Kontakt zwischen Sensor und Montagefläche.
- Sorgfältige Handhabung – Stoßbelastungen Metall auf Metall können die Quarzelemente beschädigen.
- Montagematerialien und das damit verbundene Stoß-/Dämpfungspotenzial sind zu berücksichtigen.



## KRAFTÜBERTRAGUNG

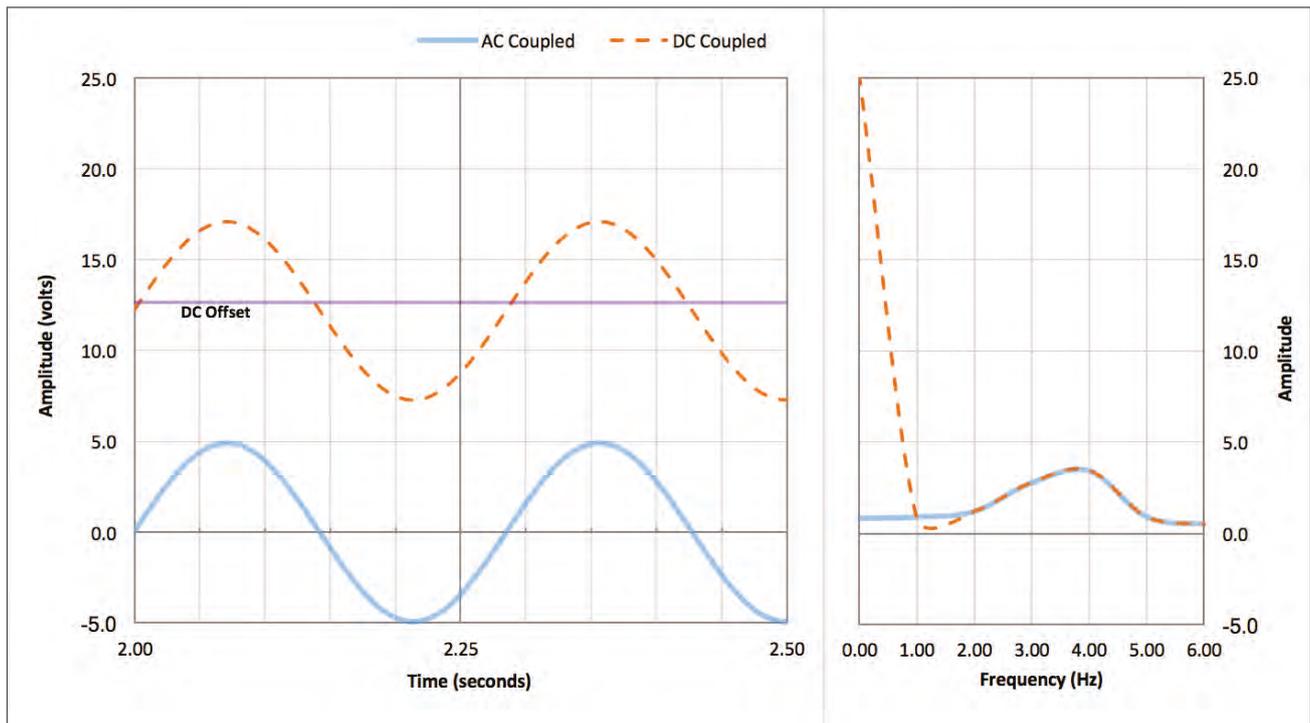
- Seiten-/Kantenbelastung oder Biegemomente in Baugruppen minimieren, besser ganz vermeiden
- Sensoren nur mit axialer Belastung positionieren.
- Zugkraftmessungen setzen eine korrekte Vorspannung voraus (siehe Kraftmesselementbaugruppen – werkseitig vorgespannt).
- Das Vorspannen eines Sensors aus der Ausrichtung heraus kann den Sensor mechanisch verformen und das interne Sensorelement brechen lassen. Dadurch könnte die Leistung reduziert oder der Sensor zerstört und eine werkseitige Bewertung oder ein Austausch erforderlich werden.



- Beschädigungen des inneren Rings können entweder durch das Fehlen einer Ausrichtungsbuchse oder durch unsachgemäße Ausrichtung beim Vorspannen verursacht werden.
- Eine Beschädigung des äußeren Rings kann entweder durch eine falsche Ausrichtung während des Vorspannens oder einen schlechten Lastübertragungsweg verursacht werden. Dadurch kann das Sensorelement beschädigt werden und/oder das äußere Gehäuse reißen, wie hier gezeigt.

## AC GEKOPPELTER AUSGANG IM VERGLEICH ZU DCGEKOPPELTEM AUSGANG

- Das folgende Diagramm zeigt einen zyklischen Impuls sowohl im wechsellspannungs- als auch im gleichspannungsgekoppelten Modus und hebt den Gleichspannungsversatz hervor.
- Zu beachten ist der niedrige Frequenzgehalt nur innerhalb des gleichspannungsgekoppelten Signals nach der FFT im Frequenzbereich (Amplitude gegen. Frequenz). Dies geht im wechsellspannungsgekoppelten Modus verloren.



## LANGZEITEREIGNISSE UND ENTLADUNGSZEITKONSTANTE (DTC)

Es ist häufig erforderlich, einen Eingangsimpuls von einigen Sekunden Dauer zu messen. Dies gilt insbesondere für Anwendungen, bei denen statische Kalibrierungen oder quasistatische Messungen stattfinden. Vor der Durchführung von Prüfungen dieser Art ist es wichtig, die Messung mit einem DC gekoppelten Signalkonditionierer und Datenerfassung durchzuführen, um einen schnell eintretenden Signalverlust zu verhindern.

Als allgemeine Faustregel für derartige Messungen gilt, dass der Verlust des Ausgangssignals und die verstrichene Zeit über die ersten 10 % der Entladungszeitkonstante in einer Eins-zu-Eins-Beziehung stehen sollten. Wenn ein Sensor eine Entladungszeitkonstante (DTC = Discharge Time Constant) von 500 Sekunden hat, sind in den ersten 50 Sekunden rund 10 % des ursprünglichen Eingangssignals abgeklungen.

Zur Erzielung einer Genauigkeit von 1 % sollten die Daten in den ersten 1 % der Entladungszeitkonstante erfasst werden.

Bleibt das Signal unverändert, wird es naturgemäß gegen Null abfallen. Dies wird etwa die 5-fache Zeit der Entladungszeitkonstante dauern.

# FREQUENZBEREICH

## ENTLADUNGSZEITKONSTANTE

- 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 Entladezeitkonstante 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:

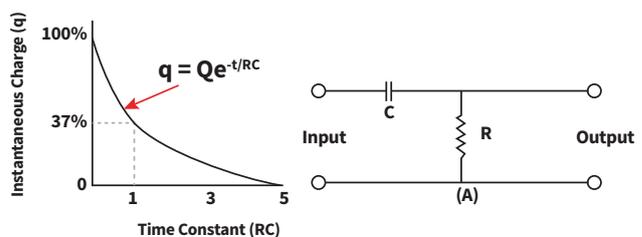
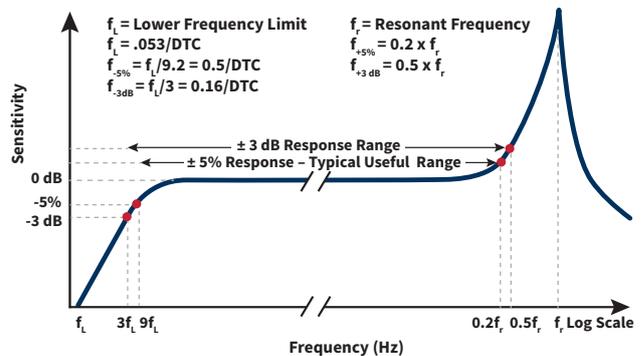
- $q$  = momentane Ladung (pC)
- $Q$  = anfängliche Ladung (pC)
- $R$  = Bias- oder Rückkopplungswiderstand (Ohm)
- $C$  = Gesamtkapazität (oder Rückkopplungskapazität) (pF)
- $t$  = Beliebiger Zeitpunkt nach  $t_0$  (sec)
- $e$  = Basis des natürlichen Logarithmus (2,718)

## NIEDERFREQUENZSPEKTRUM

Bei ICP®-Sensoren wird das Niederfrequenzverhalten durch die Sensorelektronik vorgegeben. Ladungsausgangssensoren enthalten keine Angaben zum Niederfrequenzverhalten oder zur Entladezeitkonstante 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 Niederfrequenz- und Zeitkonstante 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:



## RESONANZFREQUENZ

Auf der Komponentenebene folgen die Eigenschaften von Kraftsensoren einer ähnlichen Kurve wie die oben gezeigte mit einer Resonanzfrequenzgrenze, aber sie neigen dazu, die Eigenschaften der Systeme anzunehmen, mit denen sie installiert sind. Ihr Frequenzspektrum neigt dazu, von der Steifigkeit des Gesamtsystems, der damit verbundenen Vorspannung und der Kopplungsdynamik abhängig zu sein. Eine Charakterisierung des installierten Systems wird häufig empfohlen, um den Schwellenwert für die Frequenzmessung zu bestimmen. Kraftmessvorrichtungen weisen üblicherweise Eigenfrequenzen im Bereich von 2.000 bis 4.000 Hz auf. Kraftsensoren werden nur selten außerhalb dieser Grenzwerte eingesetzt.

## TYPISCHE LEISTUNGSDATEN

ICP®-Krafring	Modell 205C
Empfindlichkeit	17,98 mV/kN
Messbereich (Druckkraft)	≤ 266,9 kN
Maximale statische Kraft (Druckkraft)	≤ 311,4 kN
Untere Grenzfrequenz	0,0003 Hz, berechnet von der Entladungszeitkonstante
Obere Grenzfrequenz	50.000 Hz
Linearitätsfehler	≤ 1,5 % Vollausschlag
<b>Umgebung</b>	
Temperaturbereich (im Betrieb)	-54 ... 121 °C
<b>Elektrische</b>	
Entladungszeitkonstante (DTC)	≥ 2.000 s bei Raumtemperatur
Konstantstromversorgung	2 mA bis 20 mA
Polarität am Ausgang	Positiv bei Druckkraft
<b>Physische</b>	
Vorlast	53,379 kN
Steifigkeit	7 kN/μm

Ladungskrafring	Modell 215B
Empfindlichkeit	4.047 pC/kN
Messbereich (Druckkraft)	≤ 266,9 kN
Maximale statische Kraft (Druckkraft)	≤ 311,4 kN
Niederfrequenzverhalten	Das Niederfrequenzspektrum wird durch eine externe Signalkonditionierungselektronik bestimmt.
Obere Grenzfrequenz	50.000 Hz
Linearitätsfehler	≤ 1,5 % Vollausschlag
<b>Umgebung</b>	
Temperaturbereich (im Betrieb)	-73 ... 204 °C
<b>Elektrische</b>	
Kapazität (üblicher Wert)	38 pF
Isolationswiderstand	≥ 1,0 E <sup>12</sup> Ohm
Polarität am Ausgang	Negativ bei Druck
<b>Physische</b>	
Vorspannung	53,379 kN
Steifigkeit	7 kN/μm

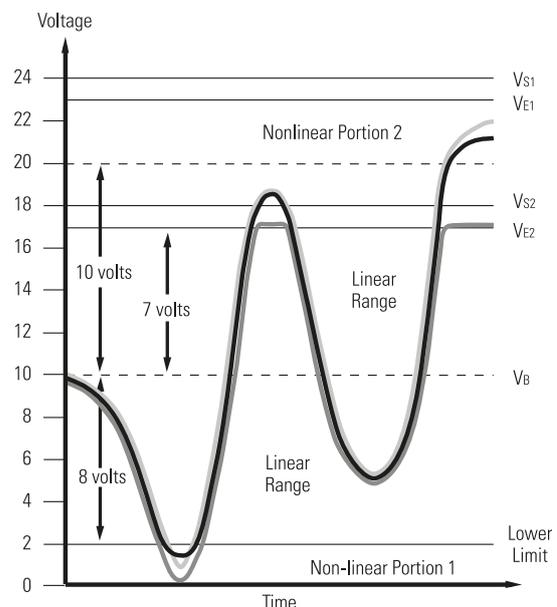
## EINFLUSS DER SPEISESPANNUNG AUF DEN DYNAMIKBEREICH VON ICP®-SENSOREN

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:

$$\begin{aligned}
 VB &= \text{Sensor-Bias-Spannung} = 10 \text{ V} \\
 V_{S1} &= \text{Versorgungsspannung 1} = 24 \text{ V} \\
 V_{E1} &= \text{Speisespannung 1} = V_{S1} - 1 = 23 \text{ V} \\
 V_{S2} &= \text{Versorgungsspannung 2} = 18 \text{ V} \\
 V_{E2} &= \text{Speisespannung 2} = V_{S2} - 1 = 17 \text{ V}
 \end{aligned}$$

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)

# DEHNUNGSSENSOREN

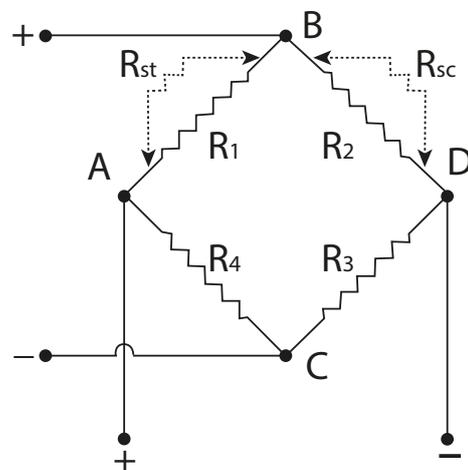


## DEHNUNGSMESSSTREIFEN IM VERGLEICH ZU DYNAMISCHEN ICP®-DEHNUNGSSENSOREN

Die herkömmliche Dehnungsmessung beruht auf resistiven Dehnungsmessstreifen, die in einer 4-Elemente-DMS-Brücke auf die Oberfläche des Testobjekts geklebt werden, wodurch eine Wheatstonesche-Brückenschaltung entsteht. Wheatstonesche-Brückenschaltungen für Dehnungsanwendungen werden häufig für statische Messungen verwendet und sind bei Wägezellen üblich. Herkömmliche Dehnungsmessstreifen sind zwar kostengünstig, benötigen jedoch zum Verkleben einen geeigneten Klebstoff, sind nur begrenzt dynamisch einsetzbar und werden beim Entfernen zerstört.

PCB hat piezoelektrische Kristalle und ICP®-Technologien für den Einsatz in der dynamischen Dehnungsmessung kombiniert. Die daraus resultierenden Sensoren messen über ihren Messbereich hochfrequente Dehnungsänderungen mit außergewöhnlicher Linearität. Die Empfindlichkeit wird für jeden Sensor in Millivolt pro Mikrodehnung ( $\text{mV}/\mu\epsilon$ ) bei einer Vollaussteuerung von 5,0 Volt angegeben. Für diese Sensoren stehen zwei Montagemöglichkeiten zur Verfügung: Sie können an die dynamisch belastete Struktur geklebt oder mit einer einzigen Durchgangsschraube montiert werden. Das Design der Durchgangsschraube beruht auf der mechanischen Reibung der Kontakt-Pads und erfasst die Veränderung der Spannung zwischen den Pads.

## TYPISCHE WHEATSTONESCHE-MESSBRÜCKE FÜR DEHNUNGSMESSSTREIFEN





### 740B02-ANWENDUNGEN:

Titangehäuse als Alternative zu Dehnungsmessstreifen mit Folienverklebung unter Verwendung eines Quarz-Sensorelements mit piezoelektrischem ICP®-Ausgang. Diese Sensoren lassen sich problemlos anbringen und können schnell und ohne Beschädigung entfernt werden.

- Eingrenzung von Flügeldurchbiegungen
- Ermüdungsanalyse von Druckbehältern
- Aktive Schwingungskompensation
- Geräuschpfad- und Modalübertragungspfad-Analyse



Foto mit freundlicher Genehmigung von Siemens und dem belgischen Verteidigungsministerium



Dehnungssensoren des Modells 740B02, installiert an einer Verbundflügelstruktur.



RHM240A02

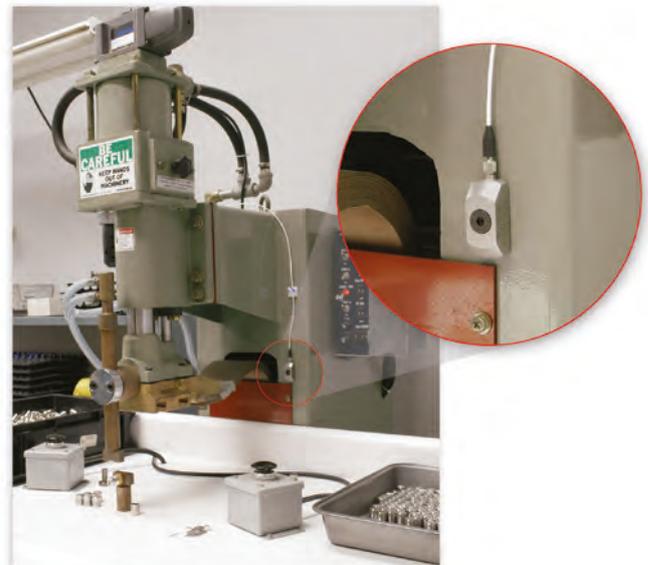


RHM240M40

### ANWENDUNGEN FÜR DIE SERIE RHM240:

Sie wurden entwickelt, um die sich wiederholende Impulsbelastung von Maschinenstrukturen indirekt zu messen, beispielsweise bei der Verfolgung von Presskraft-/Crimp- oder Werkzeugermüdungsanwendungen.

- Durchbiegungen des Maschinenrahmens – beim Pressen, Crimpen, Schweißen zur Qualitätskontrolle
- Überlastschutz für Maschinenpressen
- Überwachung der Wiederholbarkeit von Fertigungsprozessen
- Erkennung von installierten Spannungen an kritischen Geräten



Ein Dehnungssensor der Serie RHM240 überwacht die Einpresskräfte, um die Qualität der Endprodukte sicherzustellen.

# KRAFTSENSOR ODER WÄGEZELLE?

Die Sensornamen werden bei Kraftsensoren oder Wägezellen manchmal austauschbar verwendet, es handelt sich jedoch um unterschiedliche Anwendungen. Ein Quarzkraftsensor ist ein piezoelektrischer Sensor für dynamische Messungen. Der Begriff „Wägezelle“ bezieht sich im Allgemeinen auf die Dehnungsmessstreifenvariante eines statischen Kraftsensors. PCB hat sich auf dynamische Kraftmessung mit piezoelektrischer Technologie und die stationäre Kraftmessung mit Wägezellen unter Verwendung von Dehnungsmessstreifen spezialisiert. Beide Technologien besitzen ihre eigenen Vorteile und Herausforderungen bei bestimmten Anwendungen:

**Steifigkeit** – Quarzkraftsensoren sind üblicherweise zehnmal steifer als Wägezellen auf Basis von Widerstandselementen. Dies führt auch dazu, dass der Frequenzbereich 10 Mal so groß ist wie bei herkömmlichen Wägezellen.

**Großer linearer Messbereich** – Ein piezoelektrischer Quarzkraftsensor deckt den linearen Bereich mehrerer Dehnungsmessstreifen-Wägezellen ab. Diese Sensoren sind in der Lage, den Arbeitsbereich bis zu 1.000 Mal oder mehr zu vergrößern.

**Temperaturbereich** – Quarzkraftsensoren mit Ladungsausgang können bei Temperaturen bis zu 204 °C verwendet werden. Dehnungsmessstreifen können üblicherweise nur bis 93 °C eingesetzt werden.

**Größe** – Ein 22-kN-Quarzkraftsensor hat einen Durchmesser von 19 mm im Vergleich zu einem Durchmesser von 76 mm - 102 mm bei einem Dehnungsmessstreifen mit derselben Kapazität.



## KRAFTMESSELEMENTE (ICP®- ODER LADUNGS-AUSFÜHRUNG)

- Kraftring, der mittels integrierter Befestigungsteile mit Gewinde vorgespannt wird
- Einfache Montage zwischen zwei Komponenten einer Prüfstruktur
- Zu den Anwendungsbereichen gehören Zugversuche, Pressenüberwachung und Stößelstangenprüfungen



## ALLZWECKSENSOREN (ICP®-LADUNGS-AUSFÜHRUNG)

- Intern vorgespannt
- Gewindebohrungen auf der Ober- und Unterseite
- Einsetzbar bei zahlreichen dynamischen Kräfteanwendungen



## KRAFTRINGE (ICP®- ODER LADUNGS-AUSFÜHRUNG)

- Externe Vorspannung mit Montageschraube erforderlich
- Montage zwischen zwei Komponenten einer Prüfstruktur
- Zu den Anwendungsbereichen gehören Crimpen, Materialprüfung und Stanzen



## 3-KOMPONENTEN-KRAFT-RINGE (ICP®- ODER LADUNGS-AUSFÜHRUNG)

- Triaxiale Kraftsensoren, die in drei orthogonalen Richtungen messen können
- Externe Vorspannung mit Montageschraube erforderlich
- Zu den Anwendungsbereichen gehören kraftbegrenzte Schwingungen, Motorlageranalyse und die Biomechanik



### 3-KOMPONENTEN-MESSELEMENTE (ICP®- ODER LADUNGS-AUSFÜHRUNG)

- Triaxiale Kraftsensoren, die in drei orthogonalen Richtungen messen können
- Vorgespannt durch Einbau eines 3-Komponenten-Krafttrings zwischen zwei Montageplatten mit einer Montageschraube
- Zu den Anwendungsbereichen gehören kraftbegrenzte Schwingungen, Stoßprüfungen und Kraftmessplatten.



### AUFSCHLAGKRAFT-SENSOREN (ICP®)

- Integrierte Aufschlagkappe
- Gewindebohrung an der Unterseite für Schraubmontage
- Zu den Anwendungsbereichen gehören Aufpralltests, Falltests und Stanzpressen



### ERMÜDUNGSBESTÄNDIGE WÄGEZELLEN MIT NIEDRIGEM PROFIL

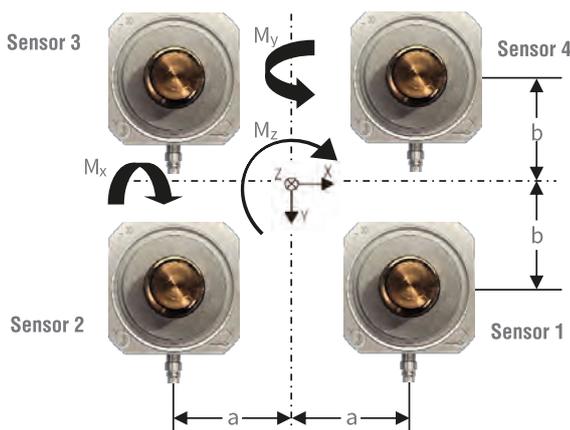
- FS-Kapazitäten von 1100 N bis 2200 kN
- Überlastfähigkeit 200 % bis 300 % FS
- Temperatur-, barometrische und Momentenkompensation
- Die Anwendungsbereiche umfassen eine Vielzahl von Prüfungen in den Bereichen Transport, Strukturen und medizinische Geräte

### KOMBINIEREN MEHRERER KRAFTSENSOREN ZU GRUPPEN:

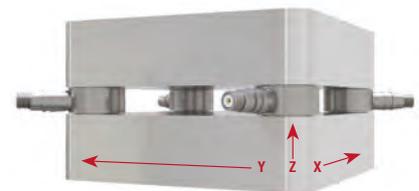
Komplexe Kraftsensoranordnungen beinhalten typischerweise die Summierung von Kräften (und Momenten, wenn dreiachsige Sensoren verwendet werden). Bei der Verwendung von piezoelektrischen PCB-Kraftsensoren stehen dafür zwei Verfahren zur Verfügung:

- Nach der Datenerfassung (häufigste Anwendung): Es werden Kräfte und Momente um die Mitte mathematisch summiert, wobei abgeleitete Berechnungen, wie unten gezeigt, verwendet werden, um den Sensorabstand von der Mittellinie zu berücksichtigen.
- Signalsummierung: Summierung von Kräften und Momenten um die Mitte unter Verwendung abgeleiteter Berechnungen, um den Sensorabstand von der Mittellinie, wie unten gezeigt, zu berücksichtigen.

#### Triaxiale ICP®-Kraftplatte (alle Achsen sind ausgerichtet)



#### Uniaxiale Kraftplatte, nur Z-Achse



#### Axialkräfte:

$$F_x = [ F_{x1} + F_{x2} + F_{x3} + F_{x4} ]$$

$$F_y = [ F_{y1} + F_{y2} + F_{y3} + F_{y4} ]$$

$$F_z = [ F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} + F_{z4} ]$$

#### Momente um die Mitte:

$$M_x = b * [ F_{z1} + F_{z2} - F_{z3} - F_{z4} ]$$

$$M_y = a * [ -F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} - F_{z4} ]$$

$$M_z = b * [ (F_{x3} + F_{x4}) - (F_{x1} + F_{x2}) ]$$

$$+ a * [ (F_{y1} + F_{y4}) - (F_{y2} + F_{y3}) ]$$

