



# GRUNDLAGEN PIEZOELEKTRISCHER DRUCKSENSOREN



# INHALTSVERZEICHNIS

---



<b>DRUCKSENSOREN MIT ICP®-TECHNIK ODER LADUNGSAusGANG .....</b>	<b>4 - 5</b>
<b>SPEISUNG UND MESSWERTERFASSUNG .....</b>	<b>6 - 7</b>
<b>MONTAGE UND HOCHTEMPERATUR-EINSATZ .....</b>	<b>8 - 9</b>
<b>FREQUENZBEREICH .....</b>	<b>10 - 11</b>
<b>LINEARITÄT UND KALIBRIERUNG .....</b>	<b>12 - 13</b>
<b>ANSPRUCHSVOLLE DRUCKANWENDUNGEN .....</b>	<b>14 - 15</b>

# DRUCKSENSOREN MIT ICP®-TECHNIK ODER LADUNGSAusGANG

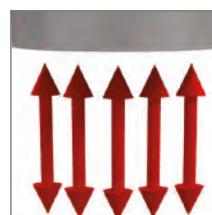
## FUNKTIONSWEISE

Piezoelektrische Drucksensoren messen den dynamischen Druck, der unter anderem bei Turbulenzen, Kavitation, Explosionen, Ballistik oder Verbrennungsvorgängen in Motoren und Turbinen entsteht. Sie enthalten ein piezoelektrisches Sensorelement mit einer kristallinen Atomstruktur, das eine elektrische Ladung abgibt, wenn es einer Kraft ausgesetzt wird. Das Sensorelement reagiert unmittelbar auf ein Druckereignis, wodurch sich piezoelektrische Sensoren ideal für hochdynamische Anwendungen eignen.

PCB®-Drucksensoren bestehen aus einem Elektronikteil und einem Sensorteil. Der Elektronikteil enthält den elektrischen Anschluss, das Vergussmaterial, den Zuleitungsdraht und den ICP®-Verstärker <sup>1)</sup>. Der Sensorteil enthält einen Stapel scheibenförmiger Sensorelemente, die zwischen einer oberen und einer unteren Stützmasse auf Druck vorgespannt sind und von einer Vorspannhülse gehalten werden. Eine an das Außengehäuse angeschweißte Membran überträgt die Druckbelastung auf die

Sensorelemente, um die piezoelektrische Ladung zu erzeugen und isoliert gleichzeitig das Medium von den Sensorelementen. Eine externe Klemmmutter sorgt für eine sichere Einbaulage und Hochdruckabdichtung des Sensors für die jeweilige Anwendung. PCB-Drucksensoren verfügen über eine außergewöhnlich hohe Steifigkeit mit einem weiten Frequenzspektrum.

1) je nach Ausführung



## ES GIBT ZWEI TYPEN PIEZOLELEKTRISCHER DRUCKSENSOREN

- **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 Messwertfassungssysteme oder Auslesegeräte übertragen werden.
- **Ladungsausgang** – Das Ausgangssignal eines Drucksensors 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 Messwertfassungssystem oder Auslesegerät mit Hilfe eines Ladungsverstärkers 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 Konstantstromversorgung von Messwertfassungssystemen vieler Hersteller (gegebenenfalls ist ein spezielles Modul erforderlich)

### ICP®-NACHTEILE

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

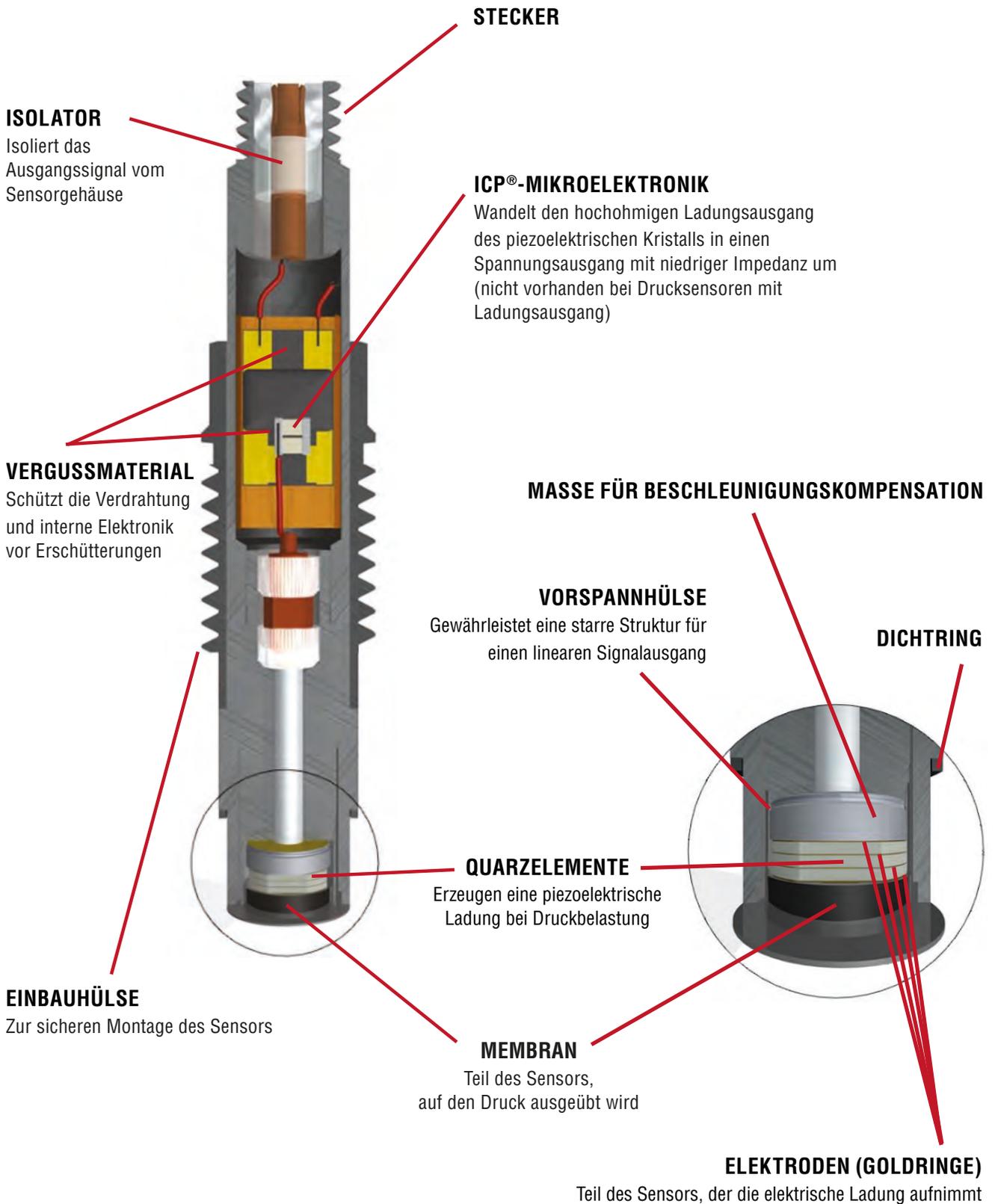
### VORTEILE DES LADUNGSAusGANGS

- Betriebstemperatur bis zu 650 °C mit UHT-12™-Element und Hardline-Kabel
- Flexibilität bei der Anpassung von Messbereich und Empfindlichkeit
- Erweiterter Niederfrequenzgang mit langzeitkonstanten Ladungsverstärkern

### 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

## TYPISCHER PCB®-DRUCKSENSOR



# SPEISUNG UND MESSWERTERFASSUNG

## INSTRUMENTIERUNG VON ICP®-DRUCKSENSOREN

ICP®-Drucksensoren 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 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®-Drucksensor



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®-Drucksensor



Anschlusskabel



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

## INSTRUMENTIERUNG VON LADUNGS-DRUCKSENSOREN

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:



Drucksensor mit Ladungsausgang



Anschlusskabel



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



Anschlusskabel



Inline-Ladungsverstärker



Verbindungskabel



Drucksensor mit Ladungsausgang



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

# MONTAGE UND HOCHTEMPERATUR-EINSATZ

## BÜNDIGE ODER RÜCKVERSETZTE MONTAGE

- Der bündige Einbau von Drucksensoren in eine Platte oder Wand ist wünschenswert, um Turbulenzen zu minimieren, Hohlraumresonanzen zu vermeiden oder eine Vergrößerung des Volumens einer Druckkammer zu verhindern.
- Die rückversetzte Montage schützt die Membrane des Drucksensors vor Temperaturspitzen und hohen Blitztemperaturen, oder dem starken Aufprall von Partikeln.
- Die rückversetzte Montage von Drucksensoren verschlechtert die Fähigkeit zur Messung hoher Frequenzen als Folge der damit verbundenen Hohlraumresonanz.
- Eine tief rückversetzte Montage kann für die Dämpfung von hohen Frequenzen nützlich sein, wenn sie in den richtigen Proportionen erfolgt und einen Helmholtz-Resonator bildet.

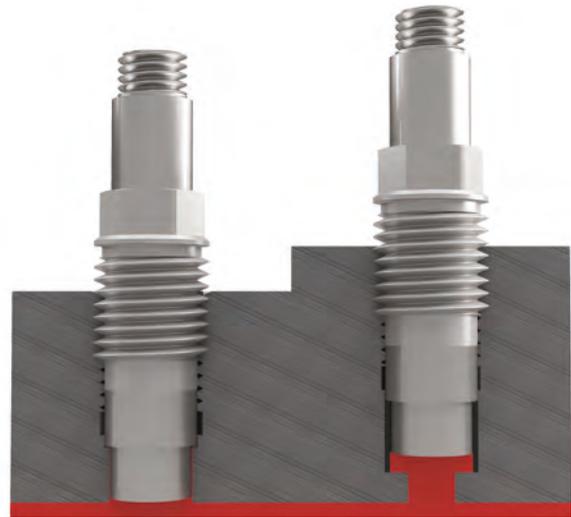
## MONTAGETIPPS

Bei der Vorbereitung des Montageanschlusses ist darauf zu achten, dass alle Durchmesser konzentrisch zueinander gebohrt werden. Es ist wichtig, dass die Seitenwand des Sensors nicht gegen die Montagewand gedrückt wird. Dies könnte zu Fehlern aufgrund einer unerwünschter Seitenbelastung führen.

Es sollten immer die Installationszeichnungen im mit dem Aufnehmer gelieferten Handbuch beachtet oder die ausführlichen Montagehinweise angefragt werden. Arbeiten Sie sauber beim Bohren und Gewindeschneiden für die Befestigung und ziehen Sie die Sensoren mit den angegebenen Drehmoment-Werten an.

## TEMPERATURSPITZEN

Praktisch alle Druckaufnehmer sind gegen Thermoschocks empfindlich. Wenn Wärme über die Membran eines piezoelektrischen Druckaufnehmers strömt, dessen Kristall nahe der Membrane angebracht ist, kann sich das Gehäuse, das die internen Kristalle umgibt, ausdehnen. Obwohl Quarzkristalle gegenüber Thermoschock nicht besonders empfindlich sind, bewirkt die Gehäusedehnung eine Verringerung der Vorspannkraft auf die Kristalle und erzeugt normalerweise ein negatives Ausgangssignal. Es gibt verschiedene Verfahren zur Verringerung dieses Effektes, wie verschiedene Membranbeschichtungen, Silikonfett, RTV-Silikonkautschuk, Vinyl-Klebeband und keramische Überzüge. RTV und Klebeband dienen zur Wärmeabsorption, während Keramiküberzüge außerdem zum Schutz gegen korrodierende Gase und Partikelauflage verwendet werden.



Bündige Montage

Rückversetzte Montage

Helmholtz-Resonator-Modell, Eigenfrequenz ( $f_n$ , Hz) für kurze zylindrische Volumen:

$$f_n = [c/(4\pi)] [\pi d^2 / (V(L + 0,85d))]^{1/2}$$

Dabei ist:

**c** = Schallgeschwindigkeit im spezifischen Medium

**d** = Durchmesser der Öffnung

**V** = Volumen der Hohlkammer unter der Sensorfläche

**L** = Länge der Eintrittsöffnung

## MONTAGEADAPTER

Adapter reduzieren den Bedarf an Präzisionsbearbeitungen der Einbaustelle, wenn dies unmöglich, unpraktisch oder zu aufwändig ist. Montageadapter mit Gewinde sind hochpräzise bearbeitet und auf die PCB-Drucksensoren abgestimmt und stellen eine bequeme Methode für die Sensormontage dar. Es ist eine Vielzahl von Adaptern für die allgemeine Verwendung mit ausgewählten Modellen erhältlich. Polymeradapter bieten eine Erdungsisolierung, führen jedoch zu einer Reduzierung des Betriebstemperaturbereichs und des maximalen Betriebsdrucks. Es muss immer sichergestellt werden, dass die zu prüfenden Objekte, Sensoren und Dichtungen mit den Prüfmedien unter den spezifischen Prüfbedingungen kompatibel sind. Einige Beispiele für gängige Montageadapter sind nachfolgend aufgeführt.

	Modellnummer	Außengewinde	Innengewinde	Schlüsselweite	Material	Beschreibung
	061A01	3/8-24 UNF-2A	5/16-24 UNF-2A	16 mm	17-4 SS	3/8-24 Außengewinde auf 5/16-24 Innengewinde (für Modelle der Serie 111, 112 und 113)
	061A07	M10 x 1,00-6g	5/16-24 UNF-2A	11 mm	17-4 SS	M10 x 1,0 Außengewinde auf M7 x 0,5 Innengewinde
	061A09	3/8-24 UNF-2A	5/16-24 UNF-2A	11 mm	316 SS	3/8-24-2A Außengewinde auf 5/16-24-2B Innengewinde
	061A10	M10 x 1,00-6g	5/16-24 UNF-2A	11 mm	17-4 SS	M10 x 1,0 Außengewinde auf 5/16-24 Innengewinde
	061A59	3/8-24 UNF-2A	5/16-24 UNF-2A	19 mm	Acetalharz	3/8-24 Außengewinde auf 5/16-24 Innengewinde (für Modelle der Serie 111, 112 und 113)
	061M130	7/16-20 UNJF-3A	5/16-24 UNF-2A	17,5 mm	17-4 SS	Einschraubadapter 7/16-20
	061M145	M14 x 1,25-6g	5/16-24 UNF-2A	16 mm	17-4 SS	Einschraubadapter M14 x 1,25

## ADAPTER FÜR HOCHTEMPERATURANWENDUNGEN



Adapter Serie 064B



Drucksensoren Serie 123B

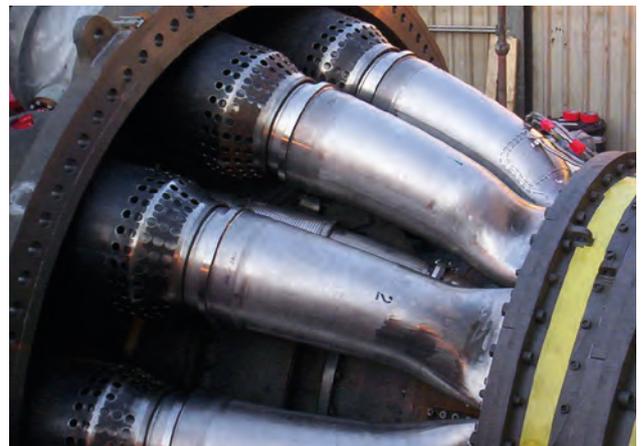
Sowohl ICP®- als auch Drucksensoren mit Ladungsausgang können mit Helium-Belüftungs- und Wasserkühlungsadaptern verwendet werden. Bei der Helium-Belüftung werden das Gehäuse und die Sensormembran gleichmäßig mit einem Heliumgas-Kühlmittel umspült. Dadurch wird der Sensor von heißen Verbrennungsgasen isoliert. Dies führt zu einem störungsfreien Signal und einem verbesserten Frequenzgang.

Keramikbeschichtungen schützen vor den hohen Temperaturen bei der Installation in Verbrennungskammern. Bewährte Beispiele hierfür sind die Adapter 064B01, 064B02 und die Drucksensoren der Serie 123B.

## HOCHTEMPERATURDRUCKMESSUNGEN

PCB-Hochtemperatur-Sensoren sind mit Quarzelementen für einen Betrieb bei Temperaturen bis zu 399 °C ohne Kühlung ausgelegt und werden typischerweise an Kompressoren und Pumpen eingesetzt. Zudem sind wassergekühlte Adapter, wie oben gezeigt, erhältlich, um eine thermisch stabile Umgebung mit niedrigerer Temperatur zu schaffen, die es den Sensoren ermöglicht, in Anwendungen oberhalb ihres normalen Betriebsbereichs zu arbeiten. Wenn eine Kühlung nicht möglich ist, können Ladungsdrucksensoren mit UHT-12™-Elementen bei Temperaturen von bis zu 650 °C eingesetzt werden.

- Lasergeschweißt, hermetisch abgedichtet, mit integrierten Hochtemperatursteckern
- Für Betriebstemperaturen über 260 °C werden Hardline-Kabel empfohlen. Die Kabel können für den Betrieb in rauen Umgebungen an den Sensor angeschweißt werden.
- Die Standard-Kalibrierung wird bei Raumtemperatur durchgeführt, wobei die Wärmekoeffizienten bei verschiedenen Betriebstemperaturen bereitgestellt werden.
- Modelle mit ablativen Membranbeschichtungen werden verwendet, wenn hohe Temperaturspitzen erreicht werden (z. B. Ballistik, Explosions- und Raketentests).

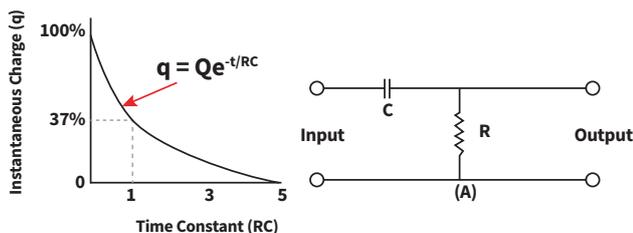


UHT-12™ ist ein Kristall, der für genaue und rauscharme Messungen bei großen Temperaturen und Temperaturschwankungen entwickelt wurde und auch bei anspruchsvollsten Umgebungsbedingungen zuverlässig funktioniert. PCB-Sensoren mit UHT-12™-Kristallen erreichen im Vergleich zu anderen Quarzkristallsensoren eine verbesserte Datenqualität.

# FREQUENZBEREICH

## ENTLADEZEITKONSTANTE

- Die Entladezeitkonstante (DTC) ist die Zeit (üblicherweise in Sekunden), die ein wechselladungsgekoppeltes Gerät oder Messsystem benötigt, um sein Signal bei einem sprunghaften Wechsel der Messgröße auf 37 % des ursprünglichen Werts zu entladen.
- ICP®-Sensoren verfügen über eine feste Entladezeitkonstante, die auf den Werten der internen RC-Schaltung basiert.
- Bei Verwendung in wechselladungsgekoppelten Systemen (Sensor, Kabel und ICP®-Signalkonditionierer) gilt für die Messkette die Charakteristik der Entladezeitkonstante des ICP®-Sensors oder des Signalkonditionierers, je nach dem, 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.

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.

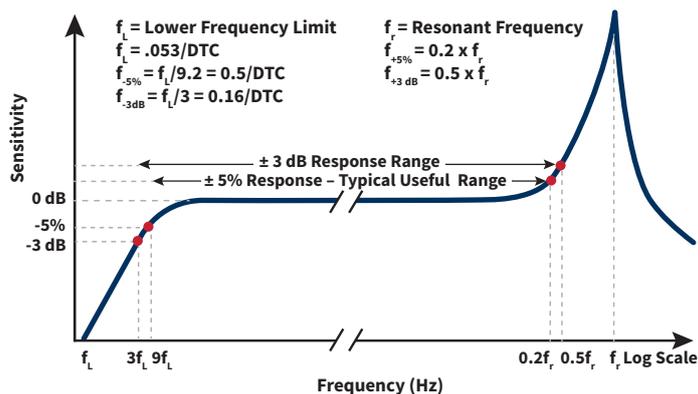
Sensoren mit Ladungsausgang enthalten keine Angaben zum Niederfrequenzverhalten oder zur Entladezeitkonstante in ihren Spezifikationen, da sie von dem verwendeten spezifischen Ladungswandler oder Verstärker abhängig sind. Hier sind die Spezifikationen des spezifischen Signalwandlers für das Niederfrequenzverhalten und die Zeitkonstanten zu beachten.

## WEITES FREQUENZSPEKTRUM

Die meisten PCB-Drucksensoren verfügen entweder über Sensorelemente aus vorgespannten Quarzkristalle oder Turmalinkristalle. Diese Konstruktionen liefern Reaktionszeiten im Mikrosekundenbereich und Resonanzfrequenzen im Bereich von mehreren hundert kHz bei minimalem Über- oder Nachschwingen. Der mechanische Aufbau des Drucksensors führt zu einer Hochfrequenzgrenze mit zunehmender Empfindlichkeit bei Annäherung an die Eigenfrequenz des Sensors.

Messfehler durch Resonanz werden vermieden, indem ein Grenzwert für die maximale Messfrequenz festgelegt wird, der üblicherweise 20 % der Resonanzfrequenz beträgt. Sowohl obere als auch untere Frequenzgrenzen müssen berücksichtigt werden, um geeignete Messgrenzen zu bestimmen (z. B.:  $\pm 5$  % oder  $\pm 3$  dB).

Die folgende Grafik zeigt die Beziehung zwischen Empfindlichkeitsabweichung und Frequenz:



## TYPISCHE LEISTUNGSDATEN

ICP®-Drucksensor	Modell 113B22	
Messbereich	34.475 kPa	5.000 psi
Empfindlichkeit	0,145 mV/kPa	1,0 mV/psi
Max. statischer Druck	68.950 kPa	10.000 psi
Auflösung	0,14 kPa	20 mpsi
Untere Grenzfrequenz	0,001 Hz	
Resonanzfrequenz	≥ 500 kHz	
Nichtlinearität	≤ 1,0 % vom Skalenendwert	
<b>Umgebung</b>		
Beschleunigungsempfindlichkeit	≤ 0,0014 kPa/(m/s <sup>2</sup> )	≤ 0,002 psi/g
Temperaturbereich (im Betrieb)	-73 ... 135 °C	
<b>Elektrische</b>		
Polarität am Ausgang	Positiv mit Positivdruck	
Entladeszeitkonstante	≥ 500 s bei Raumtemperatur	
Konstantstromversorgung	2 mA bis 20 mA	
Bias-Spannung	8 V bis 14 V Gleichspannung	

Drucksensor mit Ladungsausgang	Modell 112B05	
Messbereich	34.475 kPa	5.000 psi
Empfindlichkeit	0,16 pC/kPa	1,1 pC/psi
Max. statischer Druck	68.950 kPa	10.000 psi
Auflösung	Bestimmt durch externe Signalaufbereitungselektronik und Kabeltyp/Kabellänge	
Niederfrequenzspektrum		
Resonanzfrequenz	≥ 200 kHz	
Nichtlinearität	≤ 1,0 % vom Skalenendwert	
<b>Umgebung</b>		
Beschleunigungsempfindlichkeit	≤ 0,0021 kPa/(m/s <sup>2</sup> )	≤ 0,003 psi/g
Temperaturbereich (im Betrieb)	-240 ... 260 °C	
<b>Elektrische</b>		
Polarität am Ausgang	Negativ mit Positivdruck	
Kapazität	24 pF	
Isolationswiderstand	≥ 1,0 E <sup>12</sup> Ohm bei Raumtemperatur	

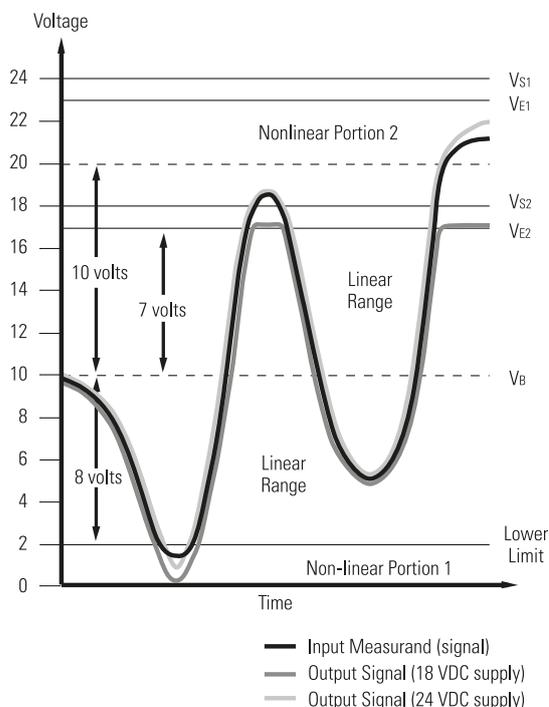
## EINFLUSS DER SPEISESPANNUNG AUF DEN DYNAMIKBEREICH VON ICP®-SENSOREN

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

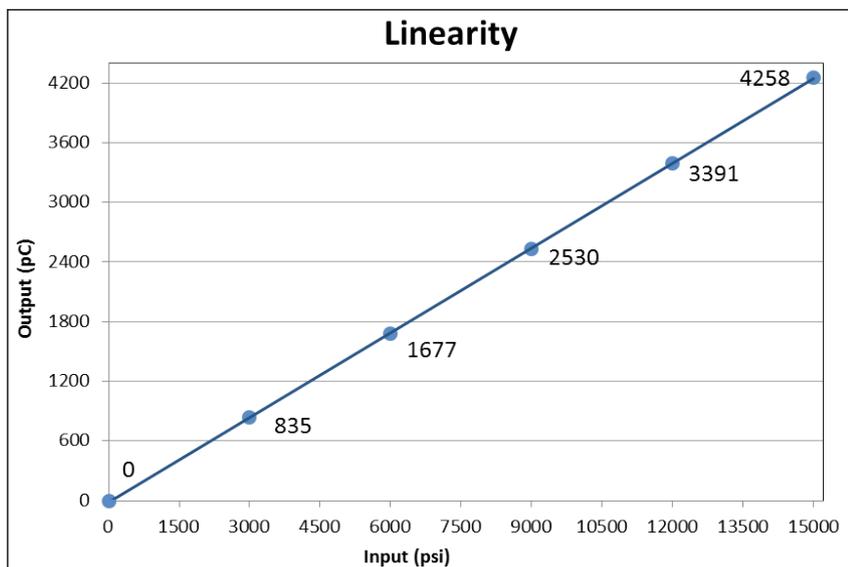
Zur Erläuterung des Diagramms werden die folgenden Werte angenommen:

$$\begin{aligned}
 VB &= \text{Sensor-Bias-Spannung} = 10 \text{ V} \\
 VS1 &= \text{Versorgungsspannung 1} = 24 \text{ V} \\
 VE1 &= \text{Speisespannung 1} = VS1 - 1 = 23 \text{ V} \\
 VS2 &= \text{Versorgungsspannung 2} = 18 \text{ V} \\
 VE2 &= \text{Speisespannung 2} = VS2 - 1 = 17 \text{ V}
 \end{aligned}$$

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



# LINEARITÄT UND KALIBRIERUNG



Linearität (oder Nichtlinearität) ist definiert als die maximal zulässige Abweichung des Ausgangssignals im Vergleich zum tatsächlichen Wert der Messgröße (Druck). Diese Abweichung beträgt typischerweise weniger als 1 % des Skalenendwerts (FS).

Um die Linearität bei niedrigen Druckniveaus zu gewährleisten, werden einige Sensoren mit zwei Kalibrierzertifikaten ausgeliefert:

- 1.) Kalibrierung bei vollem Messbereich
- 2.) Kalibrierung bei 10 % des Messbereichs zeigt, dass die Linearität auch bei niedrigen Drücken noch eingehalten wird.

Tabellarische Ein- und Ausgangssignale werden in der Regel ebenfalls auf Kalibrierzertifikaten aufgeführt.

## PRÜFDATEN

Eingang (psi)	Eingang (kPa)	LADUNGS-AUSGANG (pC)
3000	20684	835
6000	41369	1677
9000	62053	2530
12000	82737	3391
15000	103421	4258

## PIEZOELEKTRISCHE DRUCKSENSOREN MESSEN DEN DYNAMISCHEN DRUCK:

- Turbulenzen und Pulsationen
- Flüssigkeitsbedingtes Rauschen
- Schall hoher Intensität
- Verbrennungsoptimierung in Gasturbinen
- Maschinenüberwachung
- Windkanäle
- Druck- und Stoßwellen
- Ballistische Prüfungen
- Motoren und Zylinderverbrennung
- Raketentriebwerke und Betankung
- Unterwassersprengungen
- Kavitation
- Hydraulik und Pneumatik
- Unterwasseranwendungen
- Akustik

## MESSBEREICH VON PCB-DRUCKSENSOREN

Die meisten ICP®-Drucksensoren besitzen eine Ausgangsspannung von  $\pm 5$  Volt. Sensoren mit Ladungsausgang erreichen auch ein maximales Ausgangssignal bei einem bestimmten Druck, angegeben jedoch in Picocoulomb (pC). Die Empfindlichkeiten werden in Millivolt oder Picocoulomb pro Druckeinheit angegeben. Beide Typen können an beliebiger Stelle innerhalb des auf dem Datenblatt aufgeführten Messbereichs betrieben werden. Sensoren mit Ladungsausgang erfordern einen zusätzlichen Ladungsverstärker oder Ladungswandler. Laborverstärker verfügen in der Regel über eine Funktion zur Einstellung von Verstärkung und Messbereich. Inline-Ladungsverstärker besitzen in der Regel einen festen Wert und einen festen Messbereich.

### ICP®-BEISPIEL

Druckempfindlichkeit (PS): 0,145 mV/kPa

Messbereich (MR): 34.475 kPa

Signalausgang ( $V_{\text{Aus}}$ ) = PS x MR

$$= 0,145 \text{ mV/kPa} \times 34.475 \text{ kPa}$$

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

### LADUNGS-AUSGANG-BEISPIEL

Der mit einer Kombination aus Sensor und Wandler messbare maximale Druck:

Druckempfindlichkeit (PS): 0,16 pC/kPa

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

Messbarer Druck ( $MP_{\text{max}}$ ) = CI  $\div$  PS

$$= \pm 500 \text{ pC} \div 0,16 \text{ pC/kPa}$$

$$MP_{\text{max}} = 31.338 \text{ kPa}$$

(Vakuumanwendungen erfordern eine besondere Berücksichtigung)

### LADUNGSUMWANDLUNG-BEISPIEL

Druckempfindlichkeit (PS): 0,16 pC/kPa

Druckeingang ( $P_{\text{in}}$ ): 20.685 kPa

Ladungsumwandlung (CC): 1,0 mV/pC

Signalausgang ( $V_{\text{aus}}$ ) = 0,16 pC/kPa x 20.685 kPa x 1,0 mV/pC

$$V_{\text{Aus}} = 3.300 \text{ mV} = 3,3 \text{ V}$$



### EINHEITEN-UMRECHNUNGEN

1 psi (lb/in<sup>2</sup>) = 0.0689 bar = 6.895 kPa

1,000 psi (lb/in<sup>2</sup>) = 68.95 bar = 6.895 MPa

# ANSPRUCHSVOLLE DRUCKANWENDUNGEN

## KAVITATIONS- UND ERMÜDUNGSANALYSE

Kavitation ist die Bildung und Auflösung von Gas- oder Dampfblasen in Flüssigkeiten. Sie entstehen beispielsweise durch die Turbulenzen, die ein Propeller oder Laufrad in einer Flüssigkeit auslöst. Die Sub-Miniatur-Drucksensoren von PCB (Modell 105C) sind klein genug für die Installation in engsten Platzverhältnissen. Diese dynamischen Drucksensoren wurden speziell für den Einbau an kritischen Stellen in Pumpen- und Ventilgehäusen entwickelt, um Strömungsereignisse oder Druckimpulse zu messen.

- Integrierte Membranen für lange Lebensdauer
- Das Quarzelement verfügt über eine schnelle Anstiegszeit von 2 Mikrosekunden
- Hohe Resonanzfrequenz (über 250 kHz)



## UNTERWASSER-TURBULENZEN

Piezoelektrische Drucksensoren eignen sich für dynamische Druckmessungen in Flüssigkeiten, beispielsweise Druckwellen, Turbulenzen und Kavitation.

Diese Messungen erfordern eine schnelle Anstiegszeit, Robustheit und eine hohe Steifigkeit, um einen optimalen Frequenzgang zu ermöglichen.

Der bündige Einbau von Drucksensoren ist besonders bei der Messung von ungleichmäßigen Strömungen an der Außenfläche eines Behälters wichtig. Zwei wichtige Eigenschaften für Druckmessungen in Flüssigkeiten sind die elektrische Isolierung und die integrierten, eingegossenen Kabelanschlüsse.

- Für den Betrieb in der Nähe von Elektromotoren sind Modelle mit elektrischer Isolierung erhältlich.
- Sensoren mit integrierten Kabeln für maritime Anwendungen können hydrostatisch geprüft werden.



## BALLISTIK UND TREIBLADUNGEN

PCB-Ballistik-Drucksensoren messen den Druck in einer ballistischen Kammer bei Qualifizierungsprüfungen von Munitionschargen direkt durch die Seite einer unmodifizierten Patronen- oder Hülsenwand. Zur Kalibrierung und Bestimmung der Auswirkung der Patronenhülse auf die Sensorempfindlichkeit wird ein Adapter, der dem Testlauf mit installierter Patrone und Sensor sehr ähnlich ist, verwendet. PCB-Drucksensoren können in verschiedenen Konfigurationen verwendet werden: Bei modifizierten Patronenhülsen, ballistischen Kammern mit speziell ausgerichteten Druckanschlüssen oder unmittelbar im Lauf direkt hinter der Kammer.

- Spezifiziert nach Norm ANSI/SAAMI Z299
- Drucksensoren für Messungen an der Hülsenöffnung
- Ballistische Druckmessungen bis 6.900 bar (689 MPa)



## SPRENGSTOFFE UND EXPLOSIONEN

Speziell konstruierte Drucksensoren wurden für ein breites Anwendungsspektrum bei Explosions-, Druckstoß- und Stoßwellenprüfungen entwickelt. Die Anstiegszeiten und Frequenzbereiche sind auf die Erfassung von Spitzendruck-, Gesamtpuls-, Ankunftszeit- und Machzahlmessungen zugeschnitten. Die Drucksensoren werden zur Untersuchung von Explosionsauswirkungen auf Gebäude, Fahrzeuge und andere Objekte verwendet.

- Freifeld- und Freiluftdetonationen
- Sprengungen im Bergbau und Bauwesen
- Multisensor-Konfigurationen für die Messung der Machzahl



Quarz-/Freifeld-ICP®-Strahlendruck-Bleistiftsonde mit zwei Ausgängen zur Messung der Ankunftszeit

Leistungsdaten					
Modell	137B25	137B26	137B27	137B28	137B32
					Der hintere Sensor ist ein Placebo
Empfindlichkeit (±15 %)	14,5 mV/kPa 100 mV/psi	2,90 mV/kPa 20 mV/psi	1,45 mV/kPa 10 mV/psi	0,145 mV/kPa 1 mV/psi	2,90 mV/kPa 20 mV/psi
Messbereich	4,45 bar, 345 kPa (50 psi)	17,24 bar, 1724 kPa (250 psi)	34,47 bar, 3447 kPa (500 psi)	68,95 bar, 6895 kPa (1000 psi)	17,24 bar, 1724 kPa (250 psi)
Frequenz (± 5 %)	≥ 400 kHz				
Ereignisanstiegszeit	≤ 6,5 µsec				

