



# SCHWINGUNGSMESSUNG AN ROTIERENDEN MASCHINEN



Vorbeugende Instandhaltung

Frühwarnung

Schwingungspegel

Ausrichtung

Motorvibration

Prozesskontrolle

Schwingungsmessung





Schwingungsmessungen an Maschinen steigern deren Betriebssicherheit und verbessern die Produktionseffizienz. Die regelmäßige oder permanente Erfassung und Analyse der Maschinenschwingungen ermöglichen die Erkennung von Zustandsveränderungen, so dass notwendige Instandhaltungsarbeiten vorausschauend und kostengünstig geplant werden können.

Eine Schadenanalyse erfordert eine konsequente Aufnahme des Betriebszustandes. Mit den gewonnenen Daten können Fehler wie Unwucht, Wälzlerschäden oder Ausrichtfehler erkannt und geeignete Maßnahmen zur Schadensbehebung getroffen werden bevor ein Schaden und Ausfall eintritt. Die vorliegende Broschüre, stellt mit Bezug auf den Elektromotor als Primärtrieb eines Aggregates, einfache und preisgünstige Sensorlösungen vor.

## EINLEITUNG

Einleitung	3
Elektromotoren	4
Dynamisches Verhalten	6
Typische Maschinenfehler	8
Piezoelektrische Vibrationssensoren	10
▪ ICP®-Beschleunigungssensoren für den Serieneinsatz	12
▪ ICP®-Beschleunigungssensoren mit geringer Empfindlichkeitstoleranz	15
▪ Vibrationstransmitter	17
▪ Eigensichere Sensoren	18
▪ Vibrationssensoren für routenbasiertes Condition-Monitoring	19
Schwingungssensoren mit IO-Link Technologie	20
Sensorversorgung	20
Industrielle Messkabel	21
Montagezubehör	22
Überprüfung von Beschleunigungssensoren und Messkette	23

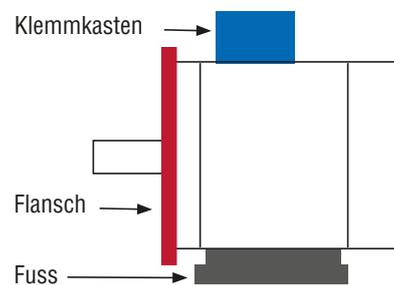
# ELEKTROMOTOREN

Bei der Automatisierung der industriellen Fertigung spielen Elektromotoren, insbesondere Drehstrommotoren, eine wichtige Rolle. Eine Vielzahl an Motorvarianten mit konstanter und variabler Drehzahl dient unter anderem dem Antrieb von Pumpen, Ventilatoren, Fördereinrichtungen, Generatoren, Bearbeitungs- und Produktionsmaschinen. Da Motoren als Kraftmaschinen mit drehenden

Teilen einem Verschleiß unterliegen, wird ihrer Instandhaltung eine hohe Bedeutung beigemessen. Werden Schäden an Motorteilen frühzeitig erkannt, können Wartungsarbeiten während geplanter Stillstandzeiten durchgeführt werden, ohne die Gesamtanlageneffektivität zu beeinträchtigen.

## BAUFORMEN

Motoren werden in Anlehnung an einschlägige nationale und internationale Normen (z.B. DIN EN, VDE, ISO, IEC) gefertigt, in denen Anforderungen an die elektrischen, mechanischen und umweltbeeinflussenden Eigenschaften vorgegeben sind. Verschiedene Motortypen mit spezifischen Vor- und Nachteilen sind in der Industrie verbreitet. Als Bauformen für umlaufende elektrische Maschinen werden gemäß IEC 60034-7 Fußmotoren (Montage unten am Motorfuß), Flanschmotoren (Montage an der Flanschplatte) und Motoren ohne Lagerschild unterschieden.



## DREHSTROM-ASYNCHRONMOTOR

Bei diesen Motoren läuft der Rotor dem Drehfeld des Stators nach. Unterschieden werden Motoren mit Käfigläufer und Schleifringläufer. Beim einfach aufgebauten Käfigläufer sind die beiden Enden ringförmig mehrfach leitfähig verbunden. Eine Schwäche war früher das geringe Anlaufmoment. Moderne elektronische Frequenzumrichter beheben dieses Problem und ermöglichen variable Drehzahlen, so dass Asynchronmotoren für eine Vielzahl von Anwendungen geeignet sind.

Schleifringläufermotoren verfügen neben der Statorwicklung über eine drehbar gelagerte Sekundärwicklung im Rotor. Die zweite Wicklung war früher erforderlich, um ein größeres Anlaufmoment zu ermöglichen für Antriebe von Hebezeugen, Antriebe mit Schweranlauf oder mit großen Schwungmassen sowie große Werkzeugmaschinen. Aktuell nimmt die Bedeutung dieser Motoren ab, da sie einem größeren Verschleiß unterliegen als Käfigläufermotoren.

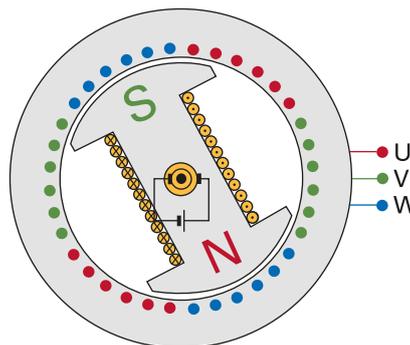




## DREHSTROM-SYNCHRONMOTOR

Beim Drehstrom-Synchronmotor läuft der Rotor synchron zum Stator Drehfeld. Für den Betrieb wird ein Erregerfeld benötigt.

Wie bei der Asynchronmaschine sind Frequenzrichter für die Drehzahlregelung verantwortlich. Anwendungsgebiete für Synchronmotoren sind zum Beispiel Kolbenverdichter, Umformer-Einheiten, Maschinen mit hoher Drehzahlkonstanz und Phasenschieber.



## SONDERMOTOREN

Neben den kurz beschriebenen Drehstrommotoren werden Gleichstrommotoren und Wechselstrommotoren industriell eingesetzt. Für Anwendungen mit besonderen Anforderungen gibt es Sonderarten, zum Beispiel:

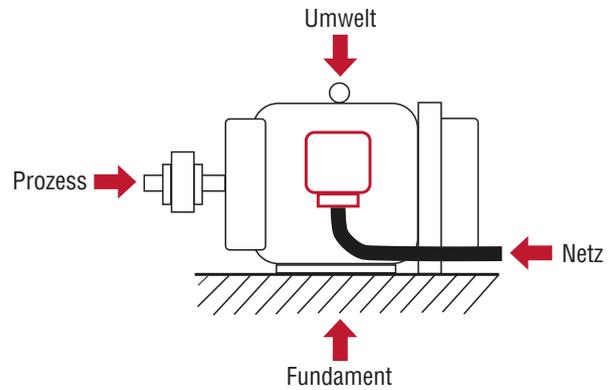
- Explosions- und schlagwettergeschützte Motoren
- Bremsmotoren
- Getriebemotoren
- Hochspannungsmotoren
- Wassergekühlte Drehstrommotoren
- Motoren mit verstärkter Lagerung für erhöhte Lagerbelastungen (z. B. Rüttelmotor, Riemenantriebe)
- Motoren mit isolierten Lagern bzw. Lagersitzen für umrichter gespeiste Motoren
- Motoren mit Wicklungsisolierung für erhöhte thermische Belastung
- Energiesparmotoren mit einem erhöhten Wirkungsgrad

# DYNAMISCHES VERHALTEN

Der Ausfall einer Maschine oder eines Maschinenteils im industriellen Einsatz führt aus zweierlei Gründen zu hohen Kosten: zum einen sind Beschädigungen meist bereits weit fortgeschritten, wenn es zu einem Ausfall kommt. Eine Reparatur ist dann mit einem höheren Aufwand verbunden oder nicht mehr möglich. Zum anderen verursacht ein Maschinenschaden einen Produktionsausfall, während frühzeitig erkannte Fehler im Zuge geplanter Stillstandzeiten behoben werden können.

Für die Beurteilung des Maschinenzustands zur frühzeitigen Fehlererkennung sind verschiedene Ansätze möglich. Der gängigste ist die Auswertung der auftretenden Schwingungen, welche Informationen zu den im Betrieb auftretenden dynamischen Belastungen liefern. Maschinenschwingungen entstehen nicht nur durch die Arbeitsverrichtung. Zusätzliche Schwingungen werden über das Fundament und die Umgebung auf die Maschine übertragen oder durch das Versorgungsnetz verursacht.

Die regelmäßige Überprüfung der Maschinenschwingung verbessert einerseits die Maschinenlaufzeit und Lebensdauer, andererseits wird die Anlagen- und Betriebssicherheit erhöht.



Einflüsse auf des Schwingungsverhalten an einer Maschine

## SCHWINGUNGEN UND VIBRATIONEN

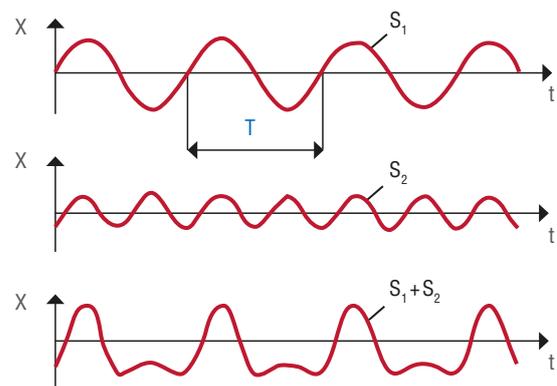
Als Schwingungen werden wiederholte zeitliche Schwankungen von Zustandsgrößen bezeichnet. Im Kontext der Mechanik versteht man unter Schwingungen die Bewegung von Stoffen oder Körpern um ihren Ruhezustand. Bei periodischen (d.h. sich wiederholenden) Schwingungen, die mit einer Verformung eines Körpers einhergehen, spricht man von Vibrationen. In dieser Broschüre werden die beiden Begriffe synonym verwendet.

Vibrationen werden in drei mechanischen Größen beschrieben: Beschleunigung, Geschwindigkeit und Weg. Die drei Größen lassen sich durch Differentiation und Integration untereinander umrechnen. In der Praxis ist die Konvertierung der Größen problembehaftet und teilweise unmöglich, da Messfehler wie Rauschen bei der Umrechnung zu starken Verfälschungen führen.

Charakteristisch für Vibrationen ist, dass sich alle drei Größen (quasi-)periodisch ändern, das heißt ein sich stetig wiederholender Signalverlauf ist erkennbar.

In Maschinen werden Vibrationen überwiegend unmittelbar und mittelbar durch rotierende Teile verursacht. Bei der Betrachtung von Maschinenschwingungen fällt auf, dass ein eindeutiges Sinussignal, wie als Resultat einer Drehbewegung grundsätzlich zu erwarten wäre, nicht immer erkennbar ist. Vielmehr überlagern sich mehrere Schwingungen aus unterschiedlichen Quellen. So verursachen neben der Motorwelle zum Beispiel die Zahnräder eines verbundenen Getriebes, die mit anderen Geschwindigkeiten rotieren als die Welle, Schwingungen mit anderen Frequenzen.

Die Überlagerung verschiedener Schwingungen macht die Auswertung eines Vibrationssignals zunächst schwierig, da nicht auf den ersten Blick erkennbar ist, wie sich das gemessene Signal zusammensetzt





## FOURIER-TRANSFORMATION

Mit Hilfe einer Fast-Fourier-Transformation (FFT) werden digital aufgezeichnete periodische Signale (z. B. ein Vibrationssignal) rechnerisch in ein Spektrum, also eine Reihe von Sinuswellen unterschiedlicher Phase und Frequenz, zerlegt. Die einzelnen Sinuswellen werden auch als Oberwellen bezeichnet und entsprechen bei Maschinenschwingungen unter anderem den Elementarschwingungen, aus denen sich das gemessene Vibrationssignal zusammengesetzt hat. Durch Stöße werden Maschinen und Maschinenteile zusätzlich breitbandig (also mit mehreren Oberwellen) angeregt. Ein Vergleich der Amplituden der einzelnen Oberwellen

mit einem Sollprofil ermöglicht die Erkennung und Lokalisierung von Maschinenfehlern, sofern die wesentlichen Eigenschaften der untersuchten Maschine bekannt sind.

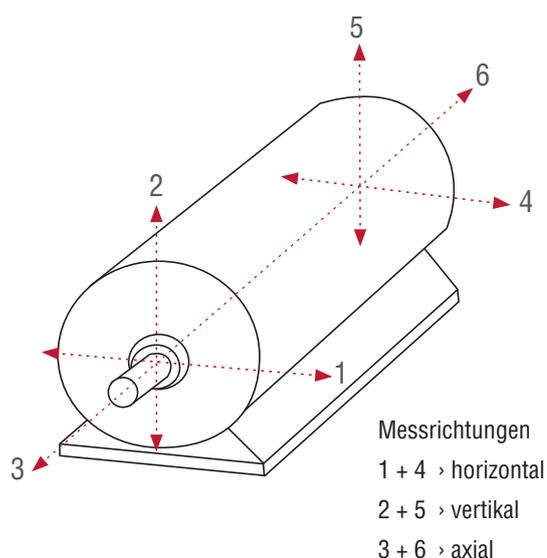
Zu beachten ist, dass hochfrequente Oberwellen im Geschwindigkeitsspektrum und insbesondere im Wegspektrum gegenüber dem Beschleunigungsspektrum deutlich gedämpft sind. Meist wird eine Maschinendiagnose daher im Fehlerfall auf Basis des Beschleunigungssignals durchgeführt.

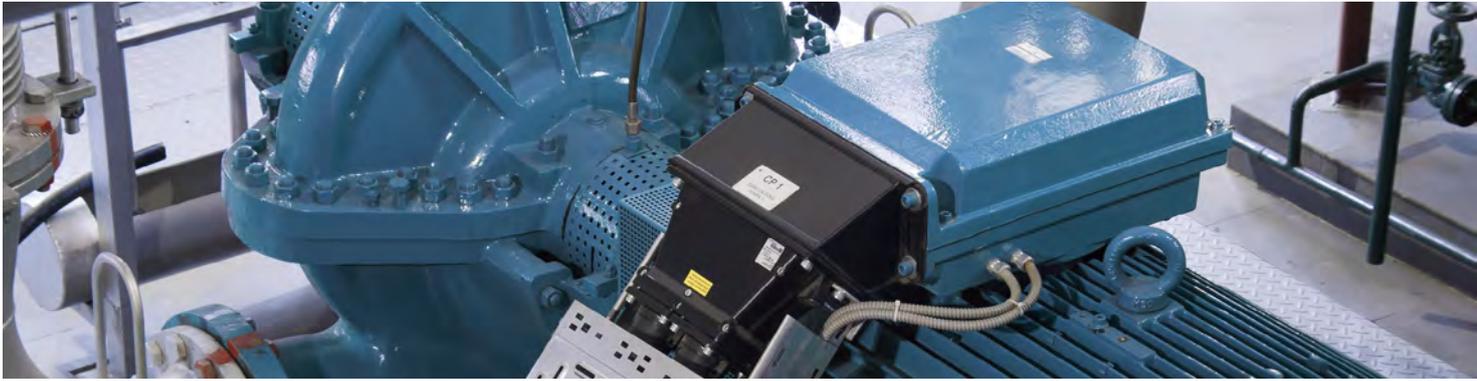
## ERKENNUNG VON MASCHINENFEHLERN

Schwingungen werden meist mit Hilfe von piezoelektrischen Beschleunigungssensoren gemessen, die später noch genauer beschrieben werden. Sie werden an stationären Bauteilen der zu überwachenden Maschine befestigt. An den Lagergehäusen oder Lagerschildern platzierte Sensoren liefern Informationen über Anregungen durch den Läufer, die Lager oder die Antriebsmaschine. Die Erfassung der Schwingungen an den Ständergehäusen, die vorwiegend durch elektromagnetische Anregungen im Luftspalt verursacht werden, erfordert aufgrund der mechanischen Kopplung mit dem Maschinengehäuse meist keine zusätzlichen Messstellen.

Die Messung von Schwingungen erfolgt in horizontaler, vertikaler und axialer Richtung, wie in der rechtsstehenden Maschinenskizze beispielhaft gezeigt.

Bei permanenter Maschinenzustandsüberwachung wird mitunter nur horizontal gemessen um Kosten zu sparen. Oft enthalten die gemessenen Schwingungen Anteile, die von benachbarten Maschinen oder Anlagenteilen ausgehen.





## ERKENNUNG VON MASCHINENFEHLERN

Die Beurteilung der gemessenen Schwingungen geschieht in Anlehnung an die anzuwendenden Normen (DIN ISO 10816/20816, VDI 3839, VDI 3841, etc.). Auf die Maschine einwirkenden äußere Einflüsse wie Gebäudevibrationen sind dabei zu berücksichtigen.

Die Überwachung des Maschinenzustands zur Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit und -sicherheit wird auch als Condition Monitoring bezeichnet.

- A Neu aufgestellte Maschine
- B Dauerbetrieb geeignet
- C Kurzzeitbetrieb zulässig
- D Nicht zulässig

				11,0 mm/s	Schwinggeschwindigkeit (RMS-Wert) ( 10 - 1000 Hz, $r < 600 \text{ min}^{-1}$ ) ( 2 - 1000 Hz, $r < 120 \text{ min}^{-1}$ )
D				7,1 mm/s	
				4,5 mm/s	
C				3,5 mm/s	
				2,8 mm/s	
B				2,3 mm/s	
				1,4 mm/s	
A				0,71 mm/s	
<b>starr</b>	<b>weich</b>	<b>starr</b>	<b>weich</b>	<b>Fundament</b>	
mittelgroße Maschinen 15 kW < P < 300 kW		große Maschinen 300 kW < P < 50 MW		<b>Maschinentyp</b>	
Motoren: 160 mm < H < 315 mm		Motoren: 315 mm < H		<b>Gruppe</b>	
Gruppe 2		Gruppe 1			

Auszug aus der DIN ISO 20816-Teil 3: Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht rotierenden Teilen

## TYPISCHE MASCHINENFEHLER

Die meisten Maschinenfehler sind auf typische, wiederkehrende Ursachen zurückzuführen. Wer sich mit Condition Monitoring beschäftigt, sollte mit diesen Fehlerbildern vertraut sein, um

auftretende Fehler schnell eingrenzen und die richtigen Maßnahmen zur Behebung ergreifen zu können.

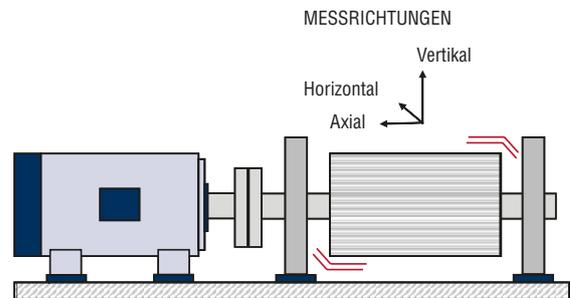
## FEHLERANALYSE

Für die Lokalisierung von Schäden und anderen Unregelmäßigkeiten an Elementen der Antriebstechnik wird das Frequenzspektrum mit den kinematischen Erregerfrequenzen verglichen. Die einzelnen Fehlerbilder führen zu jeweils charakteristischen Veränderungen

des Schwingungsverhalten. Um diese Veränderungen zu bewerten, sind neben der Kenntnis der typischen Fehlerbilder detaillierte Informationen über die untersuchte Maschine erforderlich.

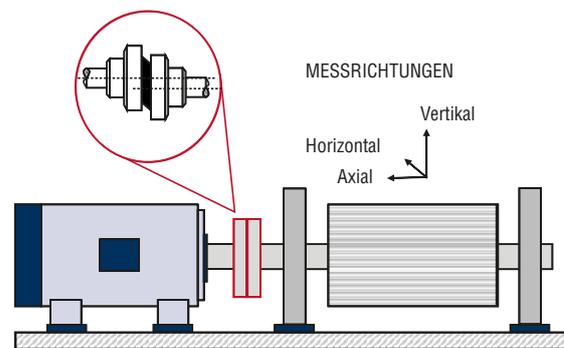
## UNWUCHTEN

Abweichungen der Rotationsachse einer Motorwelle von der optimalen Ausrichtung werden als Unwucht bezeichnet. Eine Unwucht führt zu erhöhtem Materialverschleiß. Die durch eine Unwucht entstehenden Vibrationen sind an den beiden in axialer Richtung entgegengesetzten Enden des Motorgehäuses in der Phase invertiert. Die Korrektur einer fehlerhaften Ausrichtung der Motorwelle wird als Auswuchtung bezeichnet.



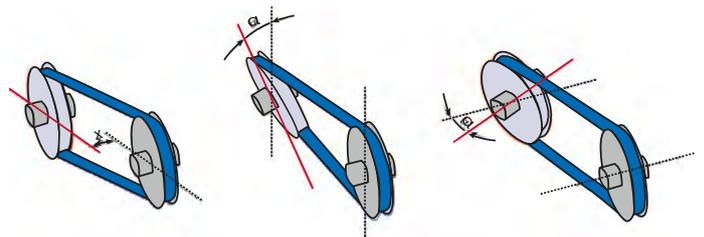
## PARALLELE WELLEN-FEHLAUSRICHTUNG

Kupplungen verbinden Wellen verschiedener Maschinen und Maschinenteile. Stehen die Wellen horizontal und vertikal versetzt zueinander, kommt es zu erhöhten Vibrationsamplituden. An den beiden verbundenen Maschinen(teilen) treten diese Schwingungen in entgegengesetzter Phasenlage auf.



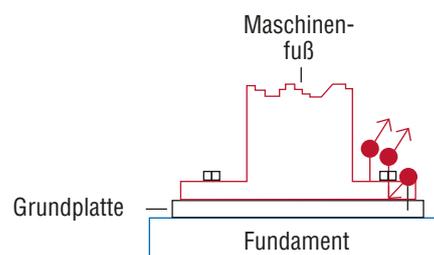
## RIEMENFEHLER

Neben Kupplungen sind Transmissionsriemen eine weitere Möglichkeit, drehende Teile miteinander zu verbinden. Eine unpräzise Ausrichtung der Riemenscheiben ist anhand des Vibrationspektrums identifizierbar und sollte korrigiert werden, um den Materialverschleiß zu reduzieren.



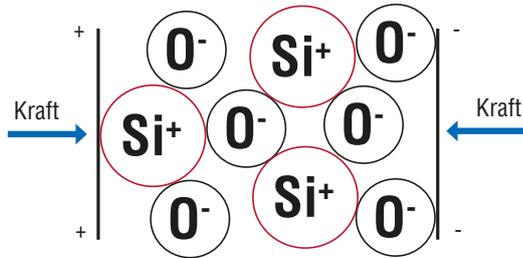
## LOSER MOTORFUSS

Wenn sich Montageschrauben des Motors am Fuß oder an der Flanschplatte lösen, kommt es zu einer erheblichen Beeinflussung des Schwingungsverhaltens.

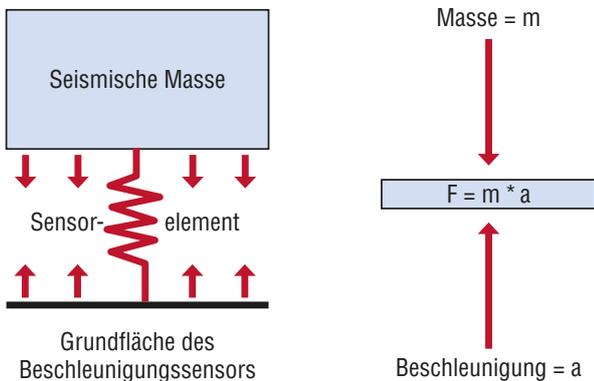


# PIEZOELEKTRISCHE VIBRATIONSENSOREN

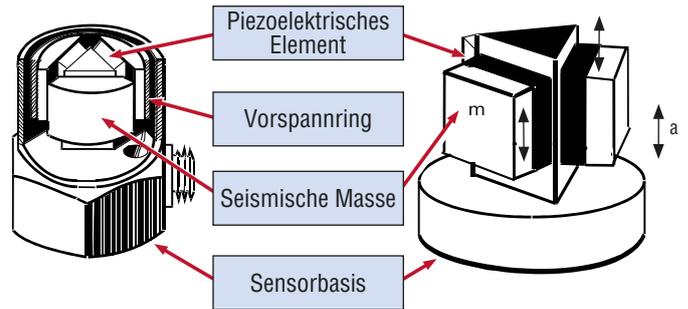
Für industrielle Vibrationsmessungen werden meist Sensoren verwendet, die auf Basis des piezoelektrischen Effekts arbeiten. Bei Verformung eines piezoelektrischen Kristalls unter Einwirkung einer Kraft tritt eine piezoelektrische Ladung auf, die proportional zur einwirkenden Kraft ist.



Um unter Ausnutzung des piezoelektrischen Effekts eine Beschleunigung zu messen, muss die Beschleunigung zunächst in eine Kraft gewandelt werden. Dies geschieht durch ein Masse-Feder-System, bei dem als Resultat der Trägheit einer seismischen Masse das Sensorelement verformt wird, wenn der Sensor beschleunigt wird.



Bewährt hat sich der Aufbau des Sensorelements im Shear-Design. Dabei werden mehrere Kristalle um einen zentralen Bolzen mit Hilfe eines Rings vorgespannt. Das Sensorkristall wird dann durch Scherkräfte belastet. Vorteile sind eine geringere Temperaturempfindlichkeit und geringere Beeinflussung durch Strukturdehnungen an der Messstelle.



Üblicherweise werden Sensoren mit ICP®-/IEPE-Technologie verwendet, die in den 60er-Jahren von PCB® eingeführt wurde und sich schnell zum Industriestandard entwickelt hat. Bei ICP®-Sensoren werden die statische Sensorspeisung und das dynamische vorverstärkte Ausgangssignal auf den gleichen Leitern geführt, so dass nur zwei Anschlussleiter erforderlich sind. Für die Auswertung wird das Messsignal durch Hochpassfilterung von der Speisespannung getrennt.





## ANFORDERUNGEN AN INDUSTRIELLE SENSOREN

Beschleunigungssensoren für die Mess- und Prüftechnik sowie Produktentwicklung sind in der Regel klein, leicht und filigran ausgeführt. Die industriellen Ausführungen sind robust aufgebaut und auf Langlebigkeit ausgelegt, um den häufig widrigen Umgebungsbedingungen Stand zu halten. Die Gehäuse industrieller Vibrationssensoren sind robust und werden aus rostfreiem Edelstahl hergestellt.

Industrielle Vibrationssensoren sind „doppelwandig“ ausgeführt. Das äußere Gehäuse ist nicht mit der Signalmasse und dem Sensorelement verbunden und hat die Funktion eines Faraday'schen Käfigs, der das Sensorelement vor elektromagnetischen Einstreuungen schützt. In Kombination mit geschirmten industriellen Anschlusskabeln wird ein störungsfreier Betrieb in industrieller Umgebung sichergestellt.

Industrielle Sensoren werden durch hermetisch dichte Gehäuse vor Staub und Feuchtigkeit geschützt. Modelle mit integriertem Anschlusskabel dürfen dank Schutzart IP68 unter Wasser eingesetzt werden.

Häufig werden Vibrationen an Maschinen mit hoher Betriebstemperatur gemessen. PCB® bietet daher Vibrationssensoren für Temperaturen bis 649 °C an.

Mit dem passenden Montagezubehör lassen sich Sensoren auf verschiedene Arten an der Maschine befestigen. Neben der üblichen Schraubmontage sind Magnet-, Schweiß- und Klebmontage möglich; für einen schnellen Test werden Tastspitzen angeboten.

In Europa müssen Betriebsmittel RoHS-konform sein und eine CE-Kennzeichnung aufweisen. Für den Einsatz in Gefahrenbereichen, zum Beispiel in explosionsgefährdeten Bereichen (siehe Seite 20) und in Kernkraftwerken, sind zusätzlich spezielle Zulassungen erforderlich.

### Top-Features

- Edelstahl als robustes Gehäusematerial
- Doppelwandiges Gehäuse zur Verhinderung elektromagnetischer Einstreuungen
- Ausführung in IP68
- CE- und RoHS-konform



## ICP®-BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN FÜR DEN SERIENEINSATZ

Low-Cost-Sensoren mit ICP®-/IEPE-Technik werden eingesetzt, wenn eine große Anzahl Messstellen kontinuierlich überwacht werden soll und dabei eine Auswertung des Vibrationspektrums erforderlich ist. Der günstige Preis der Sensoren macht den Einsatz für die Überwachung von Motoren aus dem unteren Preissegment

wirtschaftlich. Gängige Condition-Monitoring-Systeme verfügen über ICP®-/IEPE-Eingänge, an die die Sensoren direkt angeschlossen werden können.



## STANDARDSSENSOREN FÜR VIELKANALANWENDUNGEN

Für Überwachungssysteme mit vielen Eingangskanälen sind Robustheit, Zuverlässigkeit und ein günstiger Sensorpreis von großer Bedeutung. Die Modelle **M603C01** und **M602D01** entsprechen diesen Anforderungen und kommen in solchen Systemen zum Einsatz.

Alternativ steht das **Modell M608A11** mit integriertem Anschlusskabel in **Schutzart IP68** zur Verfügung.



Modell M603C01



Modell M602D01

Modell M608A11

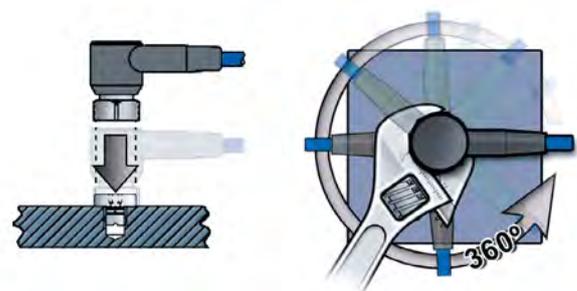
## SENSOREN MIT PATENTIERTER SWIVELER®-MONTAGE

Damit bei Sensoren mit seitlichem Kabelabgang dessen Orientierung nach Bedarf gewählt werden kann, kommt üblicherweise eine Bauform mit Durchgangsloch zum Einsatz.

Die Sensoren der **Serie M607** gestatten dank der patentierten Swiveler®-Montage auch ohne Durchgangsbohrung eine Ausrichtung des Kabels. Dadurch wird eine kleinere Bauform ermöglicht. Dank des integrierten Anschlusskabels und **Schutzart IP68** sind die Modelle bestens für den Einsatz in industrieller Umgebung gerüstet.



Serie M607





## SENSOREN MIT NIEDRIGEM TEMPERATURKOEFFIZIENTEN

Sind Sensoren schwankenden Temperaturen ausgesetzt, zum Beispiel aufgrund der Betriebstemperatur der zu überwachenden Maschine, so empfiehlt sich der Einsatz von Sensoren mit niedrigem Temperaturkoeffizienten. Bei den Modellen der **Serie M627** kommt ein Quarz-Sensorelement zum Einsatz, das über den gesamten Einsatztemperaturbereich eine nahezu unveränderte Sensorempfindlichkeit gewährleistet.



Modell M627A01

## MEHRACHSIG MESSENDE SENSOREN

Sollen im Rahmen der Maschinenüberwachung zeitgleich mehrere Schwingungsrichtungen gemessen werden, können mehrere uniaxiale Vibrationssensoren zum Einsatz kommen oder es werden mehrachsige messende kompakte Sensoren verwendet.

Zur Auswahl stehen die **Serie M604** mit drei Messachsen und die **Serie M605** mit zwei Messachsen.



Modell M604B31



Modell M605B11





## SENSOREN MIT DREILEITERTECHNIK

Sensoren mit Dreileitertechnik werden ohne ICP®-Sensorspeisung eingesetzt. Die Spannungsversorgung erfolgt über eine Gleichspannungsquelle mit 3 ... 12 V. Das Ausgangssignal der Sensoren ist mit einem Gleichspannungsoffset in Höhe der halben Speisung versehen und kann daher mit einem Messwerterfassungsgerät mit unidirektionalen Eingängen digitalisiert werden.



Modell M603M113



Modell M607M83

## HOCHTEMPERATURSENSOREN

Sensoren mit integrierter ICP®-Elektronik sind meist bis 121 °C einsetzbar. Mittels einer speziellen Hochtemperatur-Elektronik bei Sensoren mit Präfix „HT“, wie z. B. **Modell HT602D01**, wird der Einsatztemperaturbereich bis 163 °C erweitert. Für noch höhere Umgebungstemperaturen werden Modelle mit ausgelagerter Verstärkerschaltung (Ladungssensor) eingesetzt. Solche Modelle sind dauerhaft bis zu 649 °C und kurzfristig darüber hinaus belastbar.



Modell M612A01



Modell HTM602D01

## OEM-BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN

Die Beschleunigungssensoren der **Serie 660** wurden für OEM-Anwendungen entwickelt und sind vielseitig einsetzbar. Sie können zum Beispiel für die Herstellung eigener Beschleunigungssensoren verwendet werden oder direkt in die zu überwachende Maschine integriert werden. Angeboten werden verschiedene Konfigurationen mit ICP®-Technik, Dreileitertechnik oder Ladungsausgang.



Serie 660

# KALIBRIERTE ICP®-BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN MIT GERINGER EMPFINDLICHKEITSTOLERANZ

## PRÄZISIONSENSOREN MIT ICP®-/IEPE-TECHNIK EINLEITUNG

Präzisions-Beschleunigungssensoren kommen dann zum Einsatz, wenn mittels permanent installierten Low-Cost-Sensoren oder Vibrationstransmittern ein Fehler festgestellt wurde. Für die genauere Diagnose an der Maschine ist meist eine hochpräzise Messung des Beschleunigungssignals erforderlich. Zudem bieten sich Präzisions-

sensoren für die permanente Überwachung hochwertiger Maschinen an. Die meisten der hier gezeigten Modelle werden ab Werk mit einer Frequenzgangkalibrierung geliefert.

## ALLROUND-VIBRATIONSENSOREN

Die **Sensormodelle M622B01** mit Kopfanschluss und **M625B01** mit seitlichem Anschluss sind mit einem Messbereich von 50 g für unterschiedlichste Standardanwendungen geeignet. Die industriellen Präzisionssensoren arbeiten im Frequenzbereich bis 15 kHz und können in einer Umgebungstemperatur bis 121 °C eingesetzt werden.



Modell M622B01



Modell M625B01

## MINIATUR-PRÄZISIONSENSOREN FÜR HOHE FREQUENZEN

Miniatursensoren werden dort eingesetzt, wo der Einbauraum begrenzt ist oder eine möglichst kleine zusätzliche Masse auf die Maschine aufgebracht werden soll.

Kleine Gehäuse haben zudem eine höhere Resonanzfrequenz und ermöglichen optimale Messergebnisse bei hohen Frequenzen.



Modell M623C01

## SENSOREN MIT TEMPERATURSTABLEM QUARZ-SENSORELEMENT

Wie bei den Low-Cost-Sensoren gibt es bei den Präzisionssensoren Modelle mit besonders temperaturstabilem Quarzelement.

**Modell M628F01** mit Kopfanschluss und **Modell M624B01** mit seitlichem Anschluss werden insbesondere in Umgebungen mit schwankenden Umweltbedingungen verwendet und sind optional mit Hochtemperaturelektronik für den Einsatz bis 163 °C lieferbar.



Modell M628F01



Modell M624B01



## SENSOREN FÜR NIEDERFREQUENZMESSUNGEN

Für die Überwachung sehr langsam drehender Maschinen, wie beispielsweise Mühlen, stehen Beschleunigungssensoren der **Serie M626** mit niedriger unterer Grenzfrequenz sowie hoher Empfindlichkeit zur Verfügung.



Modell M626B12

## TRIAXIALE SENSOREN

Im Vergleich zu den Low-Cost-Versionen haben triaxiale Präzisions-Beschleunigungssensoren eine andere Bauform, die eine Frequenzgangkalibrierung aller Messachsen ermöglicht. Neu im Programm ist mit dem **Modell M639A91** der kleinste industrielle Triaxsensor mit einem Gewicht von 85 Gramm und einem Frequenzbereich bis 10 kHz.



Modell M639A91



## VIBRATIONSTRANSMITTER

Stromschleifengespeiste Vibrationstransmitter ermöglichen eine kostengünstige und permanente Überwachung von Maschinenschwingungen. Sie liefern ein genormtes 4 ... 20 mA-Ausgangssignal, welches proportional zum RMS- oder Spitzenwert der gemessenen Vibrationsamplitude ist. Angeschlossen werden die

Transmitter an vorhandene, freie Eingänge einer SPS oder eines Prozessleitsystems. Diese geben dann bei Überschreitung eines voreingestellten Schwingungspegel eine Warnmeldung aus oder schalten im Notfall die Maschine ab.



**Funktionale Sicherheit**  
**Integritätslevel 2**  
**Zuverlässigkeit**  
**IEC 61508**  
**Safety Manual**

## TRANSMITTER MIT SCHWINGGESCHWINDIGKEITSAUSGANG

In Europa werden insbesondere Transmitter mit Schwinggeschwindigkeitsausgang eingesetzt. Zur Auswahl stehen Modelle mit RMS- oder Peak-Ausgang und verschiedenen Messbereichen. Für eine Schwingungsüberwachung gemäß der ISO 10816/20816 kommen Transmitter der **Serien M641B** mit Anschlussstecker oben und **M643B** mit seitlichem Anschlussstecker zum Einsatz. Alternativ stehen auch Sensoren der **Serie 65x** mit M12-Stecker zur Verfügung. Für Anwendungen mit besonderen Anforderungen sind weitere Vibrationstransmitter mit zusätzlichen Optionen verfügbar.

### Optionen für Vibrationstransmitter:

- Schwingbeschleunigungsausgang
- Integriertes Anschlusskabel mit Schutzart IP68
- Rohsignalausgang
- Zusätzlicher Temperatursausgang
- Hochtemperatursausführung, einsetzbar bis 121 °C



Modell M641B01



Modell M642A11



Serie M643BX

## EIGENSICHERE SENSOREN

Häufig müssen Maschinen im EX-Bereich überwacht werden. Als EX-Bereich (oder explosionsfähiger Bereich, explosionsfähige Atmosphäre) werden Bereiche bezeichnet, in denen die Umgebungsluft mit brennbaren Gasen, Dämpfen oder Stäuben gemischt ist. Durch Einsatz ungeeigneter Anlagen oder Betriebsmittel in einem solchen Bereich kann eine Verbrennungsreaktion angestoßen werden, die sich selbstständig fortsetzt.

Die ATEX-Produktrichtlinie 2014/34/EU legt die Anforderungen an Geräte (Maschinen und Betriebsmittel) für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen fest.

## ZÜNDSCHUTZARTEN

In Betriebsmitteln mit der Zündschutzart **Eigensicherheit** werden Spannung und Strom im Normalbetrieb und im Fehlerfall auf Werte begrenzt, mit denen eine Entzündung der Atmosphäre durch Erwärmung oder Funken ausgeschlossen ist. Bei Vibrationssensoren erfolgt diese Begrenzung durch Zenerbarrieren, die im Fehlerfall den Stromkreis außerhalb des EX-Bereichs kurzschließen. Mit dieser Zündschutzart lässt sich ein sehr hohes Sicherheitsniveau erreichen, das einen Einsatz in Zone 0 gestattet. Kabel in eigensicheren Stromkreisen müssen in der Europäischen Union blau gekennzeichnet sein.

Die Zündschutzart **nicht zündfähig** kann durch verschiedene Maßnahmen erreicht werden. PCB® bietet Sensoren und Transmitter mit Kennzeichnung nL/ic (energiebegrenzte Betriebsmittel) und nA (nicht funkende Betriebsmittel) an. Die Kennzeichnungen qualifizieren Betriebsmittel für den Einsatz in Zone 2.

Bei Betriebsmitteln mit Zündschutzart **druckfeste Kapselung** kommt ein explosionsdruckfestes Gehäuse zum Einsatz, das eine Übertragung einer eventuell im Gehäuseinneren auftretenden Explosion nach außen verhindert. Mit dieser Zündschutzart wird der Vibrationstransmitter **EX641B71D** mit druckfester 1“-NPT-Verschraubung für den Gebrauch in Zone 1 oder 2 angeboten.



## SENSOREN MIT BERGWERKSZULASSUNG

Bei Betriebsmitteln mit Zulassung für die Gerätegruppe I wird nicht zwischen Gas- und Staubatmosphären unterschieden, da in Bergbau-, Übertage- und Untertagebetrieben sowohl von brennbaren Stäuben als auch von Grubengas eine Gefahr ausgehen kann. Die Vibrationssensoren von PCB® mit Bergwerkszulassung bieten eine sehr hohe Sicherheit (Kategorie M1) und sind eigensicher.





## ROUTENBASIERTES CONDITION MONITORING

Neben der permanenten Zustandsüberwachung an Maschinen ist das routenbasierte Condition Monitoring ein weit verbreitetes Instandhaltungskonzept. In regelmäßigen Abständen werden alle Maschinen mittels eines portablen Condition-Monitoring-Systems überprüft. Häufig wird ein einziger Sensor verwendet, der an einen festgelegten Messpunkt montiert wird. Die schnelle und einfache Sensormontage mit Hilfe eines Magnetsockels hat sich bewährt. Neben den hier gezeigten Sensormodellen, die

speziell für routenbasiertes Condition Monitoring entwickelt wurden, können sämtliche in dieser Broschüre vorgestellten ICP®-Vibrationssensoren verwendet werden.

Routenbasierte Maschinenzustandsüberwachung wird häufig ergänzend zu einer permanenten Überwachung mit Vibrations-Transmittern durchgeführt.

## MINIATUR-HOCHFREQUENZSENSOR MIT INTEGRIERTEM MONTAGEMAGNET

Der uniaxiale ICP®-Beschleunigungssensor **Modell 607M123** lässt sich dank seines Miniaturgehäuses mit integriertem Montagemagnet problemlos auch bei beengten Verhältnissen an der zu prüfenden Maschine befestigen. Mit dem weiten Frequenzbereich von 0,5 ... 13.000 Hz eignet sich der Sensor sowohl für langsam als auch für schnell drehende Maschinen.



Modell 607M123

## TRIAXIALER ICP®-SENSOR MIT ATEX-ZULASSUNG

Der Beschleunigungssensor **Modell EX629A11A** mit integriertem Spiral-Anschlusskabel wurde speziell für triaxiale, routenbasierte Messungen entwickelt. Dank der ATEX-Zulassung ist ein Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen möglich. Passende Montagemagneten stehen für plane und gewölbte Flächen zur Verfügung.



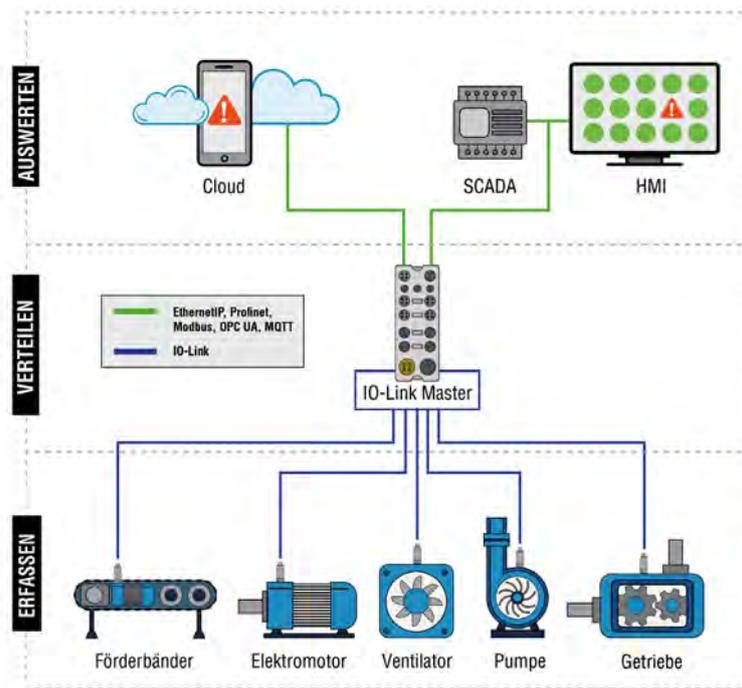
Modell EX629A11A

# SCHWINGUNGSÜBERWACHUNG MIT IO-LINK

Nutzung des bestehenden Steuerungsnetzwerks für die Prozesssteuerung und Echtzeitwartung. Maschinenschutz in Industriequalität mit branchenerprobten piezoelektrischen Beschleunigungssensoren, die direkt in die vorhandene Steuerungsplattform integriert werden. Der Maschinenzustand wird kontinuierlich auf häufige Fehlerbedingungen überwacht, was eine rechtzeitige und vorhersehbare Wartungsplanung vor größeren Schäden oder Komplettausfällen ermöglicht. Die kontinuierliche Überwachung bietet einen überlegenen Schutz vor Produktionsausfällen.

## Top-Features

- Einfache Installation und Verbindung zum lokalen Netzwerk
- Keine Schaltschränke oder aufwändige Verkabelung
- Genaue Beurteilung des Maschinenzustands und automatisierte Warnung
- Datenverarbeitung im Sensor ohne komplexen Programmieraufwand



Modell 674A91 mit IO-Link

# SENSORVERSORGUNG

## EXTERNER SIGNALWANDLER MODELL 682C03

ICP®-Beschleunigungssensoren können mit dem Signalumsetzer **Modell 682C03** an 4 ... 20 mA-Signalkreise angeschlossen werden. Der Signalwandler liefert einen Ausgangsstrom proportional zu dem RMS- oder Spitzenwert der Schwingbeschleunigung, Schwinggeschwindigkeit oder des Schwingweges.

## Top-Features

- ICP®-Sensorversorgung
- Hoch-/Tiefpassfilterung
- Schwingbeschleunigung, -geschwindigkeit oder -weg
- RMS oder Peak
- Temperatureingang (bei Anschluss eines ICP®-Sensors mit Temperaturfühler)
- Rohsignal Ausgang



Modell 682C03

# INDUSTRIELLE MESSKABEL

Industriell eingesetzte piezoelektrische Sensoren werden Feuchtigkeit, Öl oder Schmutz ausgesetzt. Abgedichtete Kabelverbindungen sorgen für größtmögliche Langlebigkeit der eingesetzten Messketten. In den meisten Fällen genügen Verbindungen mit Schutzart IP67, die vorübergehend untergetaucht werden dürfen und auch in ölbeständiger Ausführung angeboten werden. Für dauerhaften Einsatz unter Wasser sind Sensoren mit integrierten Anschlusskabeln und Schutzart IP68 erhältlich.

## Top-Features

- Einsatz in Wasser und Öl
- Kabelschirmung
- Schutzart IP67 mit Steckverbinder
- Schutzart IP68 mit integriertem Anschlusskabel
- Dauerhafter Einsatz unter Wasser möglich
- Schutzart IP69K mit Steckverbinder für die Lebensmittelindustrie

## Übersicht industrielle Standardkabel

Besondere Merkmale	Einsatzgebiet	Kabeltyp	Varianten
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Robust</li> <li>▪ Optimale Signalqualität</li> <li>▪ Blauer Kabelmantel für Sensoren mit Schutzart Eigensicherheit (Typ 052M)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Universell einsetzbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Polyurethan</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Typ 052 (zwei Adern)</li> <li>▪ Typ 052M (zwei Adern, blauer Mantel, ATEX)</li> <li>▪ Typ 047 (zwei Adern, armiert)</li> <li>▪ Typ 059 (vier Adern)</li> <li>▪ Typ 043 (vier Adern, armiert)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ölbeständig</li> <li>▪ Einsatztemperatur bis 200 °C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hochtemperaturanwendungen</li> <li>▪ Einsatz in Maschinenöl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ FEP</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Typ 053 (zwei Adern)</li> <li>▪ Typ 048 (zwei Adern, armiert)</li> <li>▪ Typ 056 (drei Adern)</li> <li>▪ Typ 057 (vier Adern)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ölbeständig</li> <li>▪ Einsatztemperatur bis 200 °C</li> <li>▪ Blauer Kabelmantel für Sensoren mit Schutzart Eigensicherheit (Typ 045M)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hochtemperaturanwendungen</li> <li>▪ Einsatz in Maschinenöl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PTFE</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Typ 045 (zwei Adern)</li> <li>▪ Typ 045M (zwei Adern, blauer Mantel, ATEX)</li> </ul>

## KABEL FÜR DIE LEBENSMITTELINDUSTRIE

Die neuen Kabeltypen **507QSXXXBZ** bieten sich dank **Schutzart IP69K** für den Einsatz in der Lebensmittelindustrie an. Die aus Hygienegründen erforderlichen "Washdown"-Zyklen können bei Verwendung dieser Kabel ohne zeitaufwändige Demontage der Sensoren durchgeführt werden.

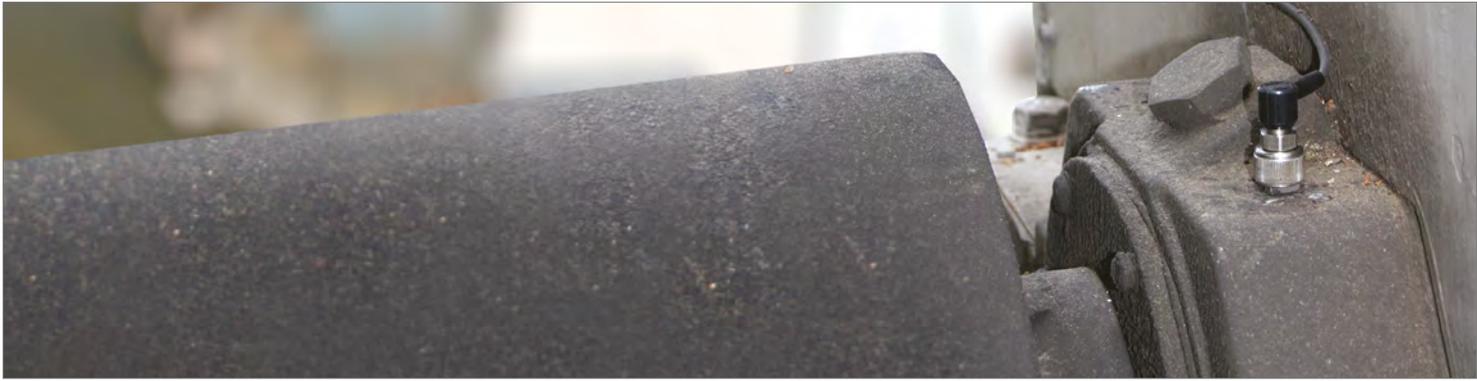


## ARMIERTE KABEL

Armierete Kabel bieten einen besonders hohen Schutz gegen mechanische Belastungen. Sie werden z. B. für die Überwachung von Maschinen in der Metallbearbeitung eingesetzt, um Beschädigungen des Kabelmantels durch Metallspäne zu verhindern. Sowohl Polyurethan- als auch FEP-Kabel sind mit Armierung in verschiedenen Ausführungen erhältlich.



Modelle 048 und 043



## KABEL FÜR DEN EX-BEREICH

Für eigensichere Stromkreise ist der Einsatz von Kabeln mit hellblauer Kennzeichnung vorgeschrieben. Vibrations- und Drucksensoren mit der Zündschutzart Eigensicherheit sollten daher mit den **Kabeltypen 003 und 505** mit entsprechender Mantelfarbe kombiniert werden.



Kabeltypen 003 und 505

## MONTAGEZUBEHÖR

Bei direkter Schraubmontage von Vibrationssensoren wird eine optimale mechanische Kopplung erreicht. Je nach Sensormodell kommen Montagebolzen oder Durchgangsschrauben zum Einsatz.

Wenn an einer Maschine keine Bohrungen für Sensorgewinde vorgenommen werden dürfen, sind Montagemagnete eine gute Alternative. Zur Auswahl stehen Magnete in verschiedenen Größen für glatte und gewölbte Oberflächen.

Montageplättchen werden auf die Maschine geklebt oder geschweißt. Auch sie sind in verschiedenen Größen erhältlich.

Für die Montage zwischen den Kühlrippen des Motors werden Adapter in verschiedenen Größen angeboten, die wahlweise geschweißt oder geklebt werden.

Für schnelle Vibrationstests ohne Montage der Sensoren können Tastspitzen verwendet werden, die mechanische Schwingungen von der Maschine auf den Sensor übertragen. Haupteinsatzgebiet ist das routenbasierte Condition Monitoring.





## ÜBERPRÜFUNG VON BESCHLEUNIGUNGSSENSOREN UND MESSKETTE

Der Einsatz einwandfrei funktionierender Vibrationssensoren ist Voraussetzung für die zuverlässige Erkennung von Maschinenschäden in einem frühen Stadium.

Es empfiehlt sich daher, die Sensoren regelmäßig zu überprüfen. Der batteriebetriebene portable Shaker **699B02** regt Sensoren mit einer definierten Sinusschwingung an. Ist ein angeregter Sensor in Ordnung, so liefert er ein sinusförmiges Ausgangssignal mit einer Amplitude entsprechend der definierten Anregung von wahlweise 1 g Peak oder RMS.



Modell 699B02

Für die Überprüfung von Sensoren mit auswählbarer Frequenz und Amplitude wird das **Modell 9110D** angeboten.

Es ermöglicht eine sogenannte Frequenzgangkalibrierung, bei der ein Sensor nacheinander mit Schwingungen verschiedener Frequenzen angeregt wird. Als Resultat erhält der Anwender eine Frequenzgangkurve, welche die Abhängigkeit der Sensorempfindlichkeit von der Frequenz visualisiert.

Dank der Akkuspeisung kann der portable Shaker am Einsatzort der Sensoren betrieben werden.



Modell 9110D-AutoCal

