



# SCHWINGUNGS- UND DRUCKMESSUNG AN KREISELPUMPEN UND RADIALVENTILATOREN

Vorbeugende Instandhaltung

Frühwarnung

Schwingungspegel

Wirkungsgrad

Drucküberwachung

Anlageneffizienz

Schwingungsmessung







Schwingungs- und Druckmessung sind typische Instrumente zur Maschinenüberwachung von Kreiselpumpen und Radialventilatoren. Durch die Überwachung dieser Parameter lässt sich eine erhöhte Maschinenverfügbarkeit erreichen und Stillstandszeiten vermeiden. Auf diese Weise erhöht sich die Anlageneffizienz und die Betriebssicherheit, was zu einer Kostensenkung bei der Instandhaltung führt.

Die PCB Piezotronics GmbH beschäftigt sich seit 1992 mit dem Thema Maschinenzustandsüberwachung und kann auf umfangreiche Erfahrungen zurückgreifen. Die Schwingungssensoren von PCB Piezotronics, Inc. und Druckmessumformer von Setra Systems, Inc. werden weltweit erfolgreich im Bereich der vorbeugenden Instandhaltung eingesetzt. Dabei ist die Zuverlässigkeit der Sensoren unter widrigsten Bedingungen entscheidend.

Die vorliegende Broschüre beschäftigt sich mit der Schwingungs- und Druckmessung an Kreiselpumpen und Radialventilatoren. Sie gibt einen kurzen Überblick über die Bauformen und Kennlinien der Maschinen und beschreibt die Notwendigkeit des optimalen Betriebspunktes. Darüber hinaus erklärt sie im Ansatz die typischen Maschinenfehler anhand von Fehlerbildern. Abschließend werden geeignete Vibrations- und Drucksensoren für den industriellen Einsatz vorgestellt und in ihrer Funktionsweise beschrieben.

## EINLEITUNG

Einleitung	3
Kreiselpumpen und Radialventilatoren	4
Wirkungsgrad	6
Druckmessung	7
Drucksensoren	8
Schwingungsmessung	11
Typische Maschinenfehler	13
Piezoelektrische Vibrationssensoren	14
▪ ICP®-Beschleunigungssensoren für den Serieneinsatz	16
▪ ICP®-Beschleunigungssensoren mit geringer Empfindlichkeitstoleranz	19
▪ Vibrationstransmitter	21
▪ Eigensichere Sensoren	22
▪ Vibrationssensoren für routenbasiertes Condition-Monitoring	23
Schwingungssensoren mit IO-Link Technologie	24
Sensorversorgung	24
Industrielle Messkabel	25
Montagezubehör	26
Überprüfung von Beschleunigungssensoren und Messkette	27

# KREISELPUMPEN UND RADIALVENTILATOREN

In der Prozessindustrie, der Gebäudetechnik und in kommunalen Einrichtungen kommen zur Förderung von Flüssigkeiten Kreiselpumpen und bei gasförmigen Stoffen Radialventilatoren zum Einsatz. Die Besonderheit ist, dass beide Aggregate annähernd gleiche Betriebsparameter bei unterschiedlichen Fördermedien (flüssig und gasförmig) aufweisen. Der Antrieb erfolgt in der Regel durch einen Elektromotor mit eigenen Betriebseigenarten und Verhalten (siehe auch Broschüre „Schwingungsmessung an rotierenden Maschinen“).

Kreiselpumpen und Radialventilatoren unterliegen, wie die meisten medienfördernden Maschinen, einem betriebsbedingten Verschleiß. Werden die Aggregate darüber hinaus in einem ungünstigen Wirkungsgrad betrieben, sollte dem Monitoring und der Instandhaltung eine große Bedeutung beigemessen werden, da der Verschleiß zunimmt. Werden dadurch bedingte Schäden an Bauelementen mittels Zustandsüberwachung frühzeitig erkannt, können Wartungsarbeiten während geplanter Stillstandzeiten durchgeführt werden, ohne die Gesamtanlageneffizienz zu beeinträchtigen.

## BAUFORMEN UND KENNLINIEN

Pumpen und Ventilatoren werden in Anlehnung an nationale und internationale Normen (z.B. DIN EN, DIN ISO, etc.) gefertigt. Darin sind die spezifischen Anforderungen an die mechanischen, elektrischen und umweltbeeinflussenden Eigenschaften vorge-

geben. Entsprechend der Applikationen, in denen Pumpen oder Ventilatoren eingesetzt werden, sind verschiedenste Typen und Ausführungen verfügbar.

### Kreiselpumpen:



Tauchmotorpumpe in vertikaler Aufstellung



Normpumpe mit separatem Antriebsmotor

### Ventilatoren:



Radialventilator mit Direktantrieb



Radialventilator mit Riemenantrieb

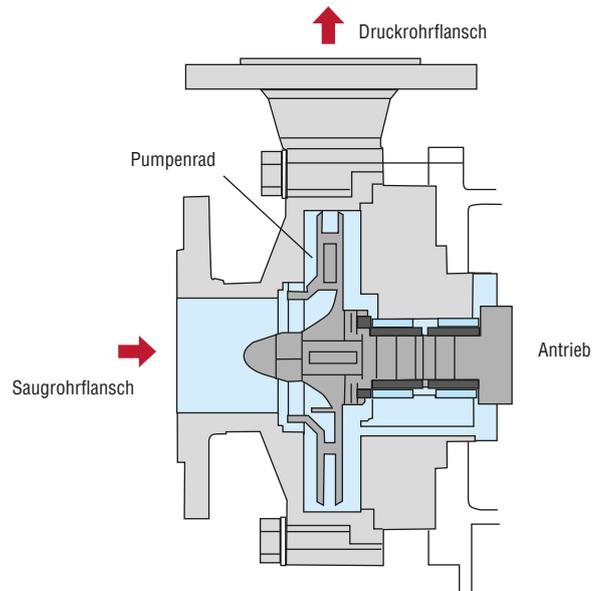
## KREISELPUMPEN

Pumpen werden benötigt, um flüssige Medien gegen den sich einstellenden Widerstand innerhalb eines Rohrnetzes zu transportieren und um geodätische Höhenunterschiede zu überwinden. Kreiselpumpen fallen hinsichtlich ihrer Konstruktion und Energieumsetzung in die Rubrik der Strömungsmaschinen, da sie eine Drehbewegung und dynamische Kräfte zur Förderung von Flüssigkeiten nutzen. Unabhängig von ihrer Bauart und Bauform ist das Funktionsprinzip bei sämtlichen Kreiselpumpen gleich.

Die Pumpenwelle wird durch einen Elektromotor angetrieben, auf der das Laufrad montiert ist. Durch den Saugstutzen (Saugseite) gelangt das Fördermedium axial in das rotierende Laufrad, wo es durch die Rotation in eine radiale Bewegung umgelenkt wird. Durch die auftretenden Fliehkräfte kommt es zu einer Erhöhung des Druckes und der Geschwindigkeit. Nach dem Austritt aus dem Laufrad gelangt das Medium in das Spiralgehäuse, in welchem es zu einer Geschwindigkeitsreduzierung und einer weiteren Druckerhöhung kommt.

Eine Kreiselpumpe besteht im Wesentlichen aus folgenden Bauteilen:

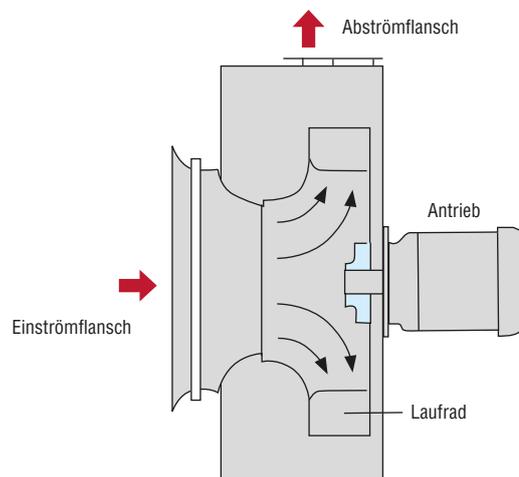
- Pumpengehäuse
- Motor
- Laufrad
- Saugrohr
- Druckrohr



## RADIALVENTILATOREN

Ventilatoren fallen ebenfalls in die Rubrik der Strömungsmaschinen. Die Aufgabe des Radialventilators besteht darin, ein gasförmiges Medium durch ein Rohr- bzw. Lüftungssystem zu transportieren. Das System setzt der Bewegung des Volumenstroms einen Widerstand entgegen, den dieser mittels Druckaufbau (Totaldruckdifferenz) überwinden muss.

Wichtig ist die richtige Auslegung des Ventilators, um einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen und gleichzeitig die Energiekosten des Antriebes klein zu halten. Unterschieden werden Ventilatoren durch ihre Bauarten. Typischerweise richtet sich die Bezeichnung nach der Durchlaufrichtung im Ventilator.

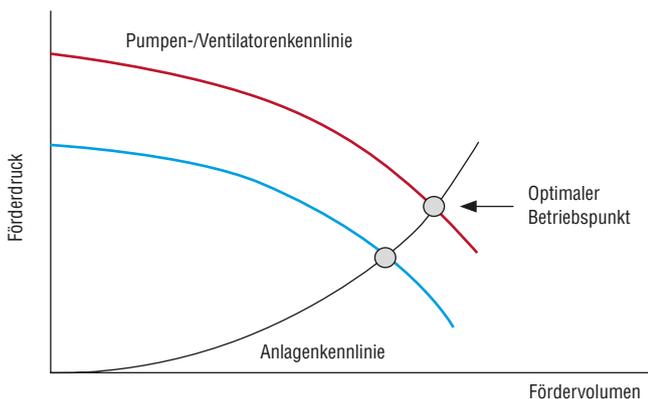




## WIRKUNGSGRAD

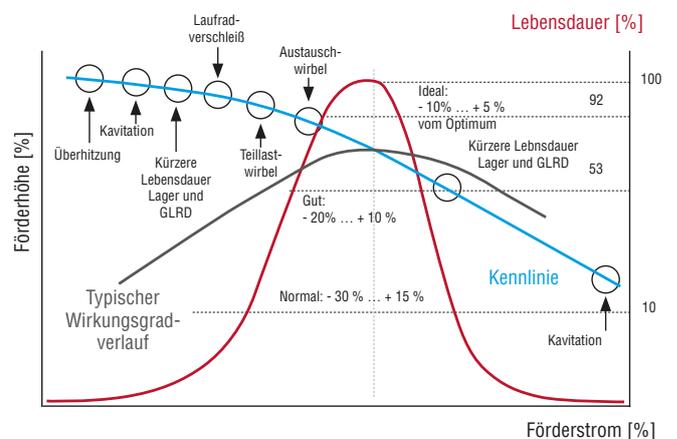
Pumpen und Ventilatoren werden entsprechend der geplanten Applikation als hochentwickelte Strömungsmaschinen oder als Low Cost Varianten entworfen und projiziert. Die Auswahl des richtigen Aggregats hängt von den Faktoren Druck (Förderhöhe, Druckerhöhung) und Volumenstrom ab. Mit Hilfe der Pumpen bzw. Ventilator Kennlinie kann der Leistungsbedarf der Maschine ermittelt werden. Hinzu kommen zur Bestimmung des Wirkungsgradverlaufs weitere Parameter, wie etwa die Eigenschaften der Maschinenbauart, der Einfluss der Zu- und Abströmbedingung sowie das Regeln der Volumenströme in der Gesamtanlage.

Der Schnittpunkt der Pumpen-/Ventilator Kennlinie mit der Anlagenkennlinie zeigt einerseits deutlich wie effizient ein Aggregat betrieben wird, zum anderen zeigt es Schwachstellen, die zu Schäden am Aggregat führen können (zum Beispiel Kavitation).



Beispiel Pumpenkennlinie

Werden Pumpen außerhalb ihres optimalen Betriebspunktes betrieben, steigt die Schadenswahrscheinlichkeit und die Maschinenlebensdauer sinkt (Quelle: Judy Hodgson (Du Pont), „Predictive Maintenance Costs Accurately“, Pumps & Systems, April 2004). Die Grafik zeigt, dass die Überwachung eines festgelegten Betriebspunktes in beide Richtungen, d. h. Unter- wie auch Überschreitung geschehen muss.



Der optimale Betriebspunkt und damit auch die Pumpeneffizienz lässt sich durch die Messung nachfolgend aufgelisteter Parameter bestimmen. Einige dieser Messgrößen stehen in vielen Anlagen bereits als Messsignal zur Verfügung.

- Drehzahl
- Elektrische Energie
- Volumenstrom
- Differenzdruck
- Mechanische Schwingungen

Zur Erfassung der letzten beiden Größen werden Druck- und Vibrationssensoren eingesetzt.



## DRUCKMESSUNG

Durch die Überwachung des Saugdrucks, bzw. über die Messung des Differenzdrucks zwischen Saug- und Druckseite, lässt sich Kavitation einer Kreiselpumpe ermitteln und verhindern (Unterschreitung des NSPH-Wertes (**Net Positive Suction Head**)). Zudem lassen sich aus den Differenzdrücken Rückschlüsse auf die Pumpeneffizienz ziehen.

An Axialventilatoren kann mittels Differenzdrucksensoren das Zu- und Abströmverhalten bestimmt werden. Strömungsabbrüche werden frühzeitig erkannt und es kann gegengesteuert werden. Außerdem ergibt der Differenzdruck in Kombination mit dem Volumenstrom den Betriebspunkt. Dieser kennzeichnet den Schnittpunkt zwischen Anlagen-/System-Kennlinie und Pumpen-/Ventilator-Kennlinie. Volumenströme lassen sich mit Hilfe von Prandtl-Staurohren (Pitotrohre)

durch Umrechnung von statischen und dynamischen Drücken, die durch hochgenaue und empfindliche Differenzdruckmessumformer gemessen werden, sehr zuverlässig bestimmen.

Filter, die in Volumenströmen eingesetzt werden und unerwünschte Partikel wie Schmutz, Staub, usw. zurückhalten, setzen sich im laufenden Betrieb mit der Zeit zu. Als Folge davon ändert sich ein gemessener Differenzdruck vor und hinter dem Filter. Mittels Überwachung des Differenzdruckes, lässt sich somit der Zustand eingesetzter Filter überwachen und bei Bedarf rechtzeitig austauschen.



Setra Drucksensoren Modelle 209 und 3100/3200



Setra Differenzdruckmessumformer Modell MRx



## DRUCKSENSOREN

Die besonderen Herausforderungen für eine präzise und zuverlässige Druckmesstechnik in hydraulischen Anlagen liegen in den häufig rauen Umgebungsbedingungen. Die Drucksensoren von Setra Systems besitzen eine hohe Messgenauigkeit und widerstehen zuverlässig aggressiven Medien, Vibrationen, Temperaturwechseln sowie elektrischen Störfeldern. Dadurch eignen sich die Druckmes-

sumformer hervorragend für den Einsatz an Pumpen und Ventilatoren. Die zum Einsatz kommenden Differenzdruckmessumformer basieren idealerweise auf einem kapazitiven Messprinzip welches bei sehr geringen Differenzdrücken gleichzeitig sehr hohen Überdrücken standhält und über eine außergewöhnliche Messbereichsdynamik verfügt.

### Modell 3100/3200

Die Dehnungsmessstreifen-Technologie (DMS) bietet ein lineares und reproduzierbares Ausgangssignal über einen weiten Temperaturbereich. Setra nutzt dieses Prinzip, um ein stabiles und genaues Sensorelement in hohen Stückzahlen und mit niedrigen Kosten bereitzustellen, welches in den Sputter-Dünnschicht-Drucksensoren der **Serien 3100/3200** zum Einsatz kommt.

Das kompakte, vollverschweißte Edelstahlgehäuse schützt den Sensor bestmöglich in anspruchsvollen Industrieumgebungen. Ein robustes Innenleben stellt sicher, dass der Wandler auch hohe Vibrationen ohne Schaden übersteht. Das **Modell 3200** bietet zusätzlich eine dickere Membran und eine integrierte Drossel, um Druckspitzen und Kavitationseffekte zu eliminieren und den Einsatz in besonders rauen Umgebungen zu ermöglichen. Angeboten werden die Modelle dieser Baureihe auch als eigensichere Versionen mit CSA und ATEX.

### Typische Anwendungsbereiche

- Kühlanlagen
- Hydrauliksysteme
- Pumpsysteme

### Top-Features

- Messbereiche von 1 ... 2.200 bar
- Genauigkeit von  $\pm 0,25\%$
- Hohe Druckfestigkeit
- Vibrationsunempfindlich
- Robustes, lasergeschweißtes Gehäuse, IP67
- Modulares Design, kleine Baugröße



Serie Setra 3100/3200



Schnitt Drucksensor  
Modell 3100/3200



## Modell 209

Das kapazitiv arbeitende **Modell 209** ist für Industrie- und OEM-Kunden konzipiert, die hohe Leistung, Zuverlässigkeit und Flexibilität fordern. Der Sensor bietet eine hohe Genauigkeit von  $\pm 0,25\%$  bei einem Messbereich von 0,07 bis 700 bar. Das Sensordesign garantiert hohe Zuverlässigkeit und ermöglicht selbst bei kleinsten Druckbereichen eine hohe Genauigkeit und ein rauscharmes Ausgangssignal über alle zur Verfügung stehenden Messebereiche. Alle medienberührenden Teile des Sensors bestehen aus rostfreiem 17-4 Edelstahl. Dank des optionalen, patentierten Sensorelementanschlags, übersteht der Messumformer Drücke bis zum 16-fachen seines Nennmessbereiches.



Modell Setra 209

## Typische Anwendungsbereiche

- Hydraulik
- Kompressorsteuerung
- Anlagen für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Kühltechnik
- Prozesskühlanlagen

## Top-Features

- Messbereiche von 0,07 ... 700 bar
- Genauigkeit von  $\pm 0,25\%$
- Hohe Druckfestigkeit
- Verschweißtes Gehäuse
- Modulares Design hinsichtlich Druckports und elektrischer Anschlüsse
- Korrosionsbeständig und keine Wasserstoffversprödung (**Modell 209H**)





## DIFFERENZDRUCKMESSUMFORMER FÜR DIE VENTILATOREN- UND FILTERÜBERWACHUNG

Messumformer auf kapazitiver Basis werden aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit, der sehr hohen Auflösung und der guten Langzeitstabilität bevorzugt im Bereich der Heizung-, Lüftungs- und Klimatechnik eingesetzt. Mit Messbereichen ab 25 Pa für gasförmige Medien sind die **Modelle ASL** und **MRx** für alle Anwendungen in diesem Bereich geeignet. Die gleichen Vorteile liefern die **Modelle 230** und **231** für flüssige Medien ab 7 kPa Messbereich. Kompakte Gehäuse ermöglichen eine schnelle Montage. Unterschiedliche Ausgangssignale gewährleisten die problemlose Anpassung an die nachfolgende Mess- oder Steuerungstechnik.

### Typische Anwendungsbereiche

- Volumenstrombestimmung
- Filterüberwachung
- Energiemanagementsysteme
- Brandsicherungssysteme
- Raumklimatisierung

### Top-Features

- **Modelle ASL** und **MRx** für Gase, Messbereiche ab 25 Pa
- **Modelle 230** und **231** für flüssige Medien, Messbereiche ab 7 kPa
- Hohe Langzeitstabilität und Überlastsicherheit
- Einfache Installation und Versorgung
- Integrierte Digitalanzeige (modellabhängig)
- Bereichsumschaltung (modellabhängig)



Modell Setra 231



Modell Setra 230



Modell Setra ASL



Modell Setra MRx

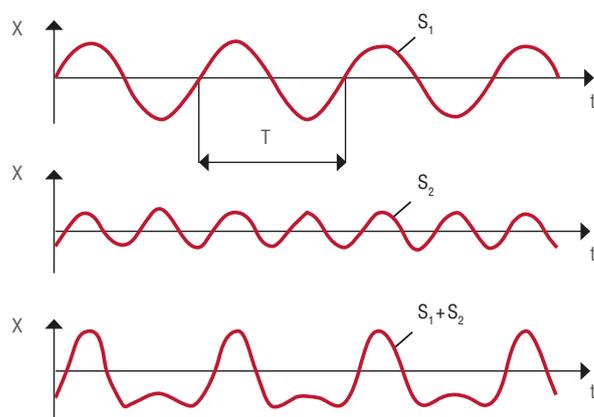


## SCHWINGUNGSMESSUNG

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

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

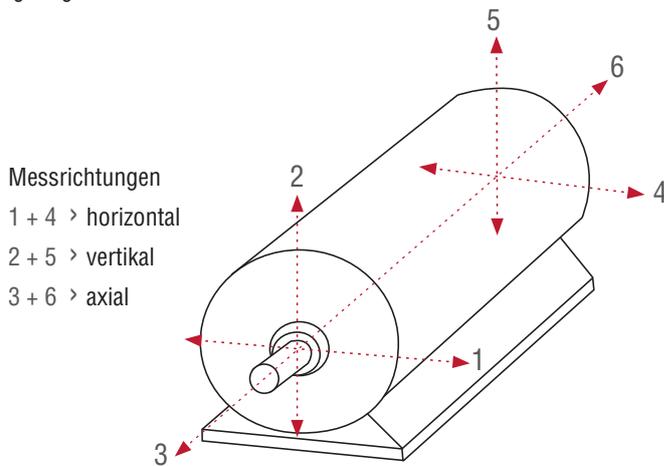
Die Erfassung der mechanischen Schwingungen, welche durch das Aggregat erzeugt werden, ermöglichen Rückschlüsse auf das Laufverhalten und ermöglichen eine Schadensvorhersage. Eine Beurteilung der gemessenen Vibrationen geschieht in Anlehnung an die entsprechenden Normen und dazugehörigen Fehlerbilder. (Siehe auch Broschüre Schwingungsmessung an rotierenden Maschinen)



# 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 nachstehenden 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.

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 Maschinerverfügbarkeit 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 min <sup>-1</sup> ) ( 2 - 1000 Hz, r < 120 min <sup>-1</sup> )
<b>D</b>				7,1 mm/s	
				4,5 mm/s	
<b>C</b>				3,5 mm/s	
				2,8 mm/s	
<b>B</b>				2,3 mm/s	
				1,4 mm/s	
<b>A</b>				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			
Gruppe 2		Gruppe 1		<b>Gruppe</b>	

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

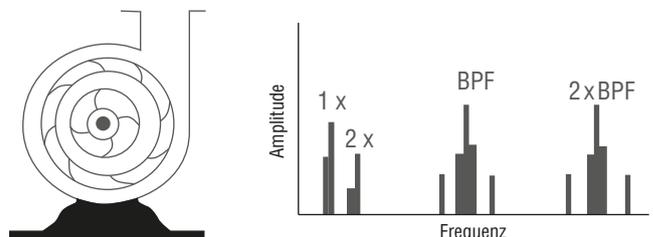
Für die Lokalisierung von Schäden und anderen Unregelmäßigkeiten an Elementen der Antriebstechnik wird das Frequenz-

spektrum mit den kinematischen Erregerfrequenzen verglichen. Die einzelnen Fehlerbilder führen zu jeweils charakteristischen Veränderungen des Schwingungsverhaltens. Um diese Veränderungen zu bewerten, sind neben der Kenntnis der typischen Fehlerbilder detaillierte Informationen über die untersuchte Maschine erforderlich.

## HYDRAULISCHE UND AERODYNAMISCHE KRÄFTE

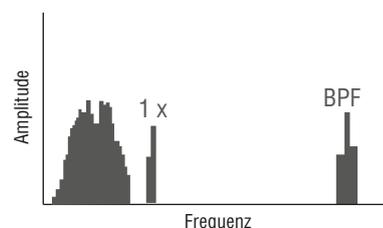
- Wenn der Spalt zwischen den Flügeln und dem Gehäuse nicht rundherum gleich ist, kann die Flügelpassierfrequenz (BPF = Blade Pass Frequency) eine hohe Amplitude aufweisen.
- Eine hohe BPF bleibt bestehen, wenn der Sitz des Antriebsrades auf der Welle klemmt.
- Ein exzentrischer Läufer kann dafür sorgen, dass die Amplitude der BPF erhöht bleibt.

BDF = Flügelpassfrequenz



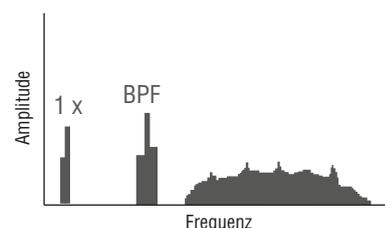
## STRÖMUNGSUNRUHE

- Aufgrund von Variationen des Drucks bzw. der Luftgeschwindigkeit tritt Strömungsunruhe oft in Gebläsen auf.
- Geringe Vibrationen in unterschiedlichen Frequenzen werden u. U. im Bereich von 50 ... 2.000 Impulsen pro Minute erzeugt.



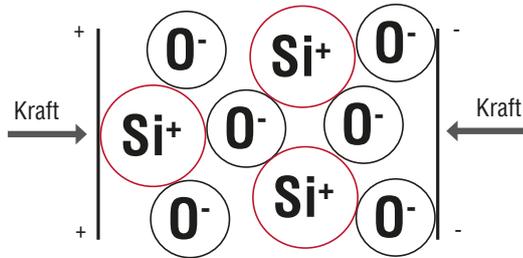
## KAVITATION

- Kavitation erzeugt stochastische, hochfrequente Breitbandenergie, überlagert mit BPF Oberschwingungen.
- Gibt im Normalfall Rückschluss auf mangelhaften Saugdruck.
- Verschleiß am Antriebsrad und Pumpengehäuse sind Ursache von Kavitation.
- Akustisch deutlich wahrnehmbar (hört sich an als ob Kies durch die Pumpe läuft).

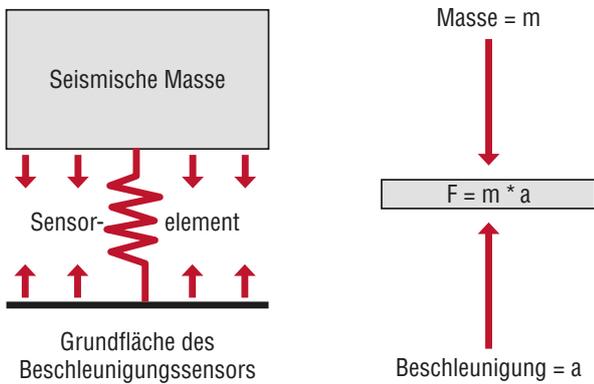


# PIEZOELEKTRISCHE VIBRATIONSENSOREN

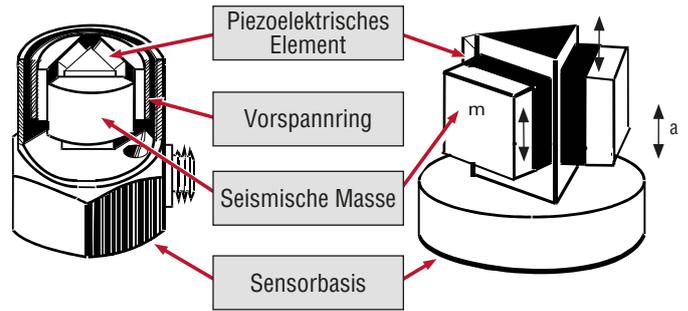
Für industrielle Vibrationsmessungen werden meist Sensoren verwendet, die auf Basis des piezoelektrischen Effekts arbeiten. Bei Verformung eines piezoelektrischen Kristalls unter Einwirkung einer Kraft tritt eine piezoelektrische Ladung auf, die proportional zur einwirkenden Kraft ist.



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 Einstrahlungen 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 Einstrahlungen
- 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

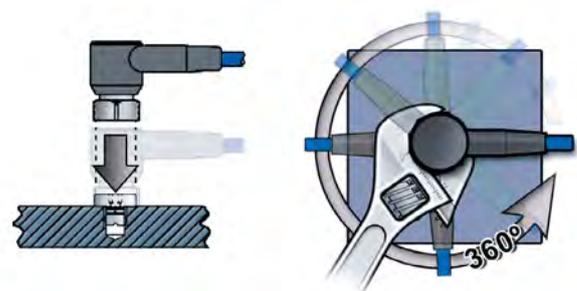
## SENSOREN MIT PATENTIERTER SWIVELER®-MONTAGE

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 M65x** 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-Ver-schraubung 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.



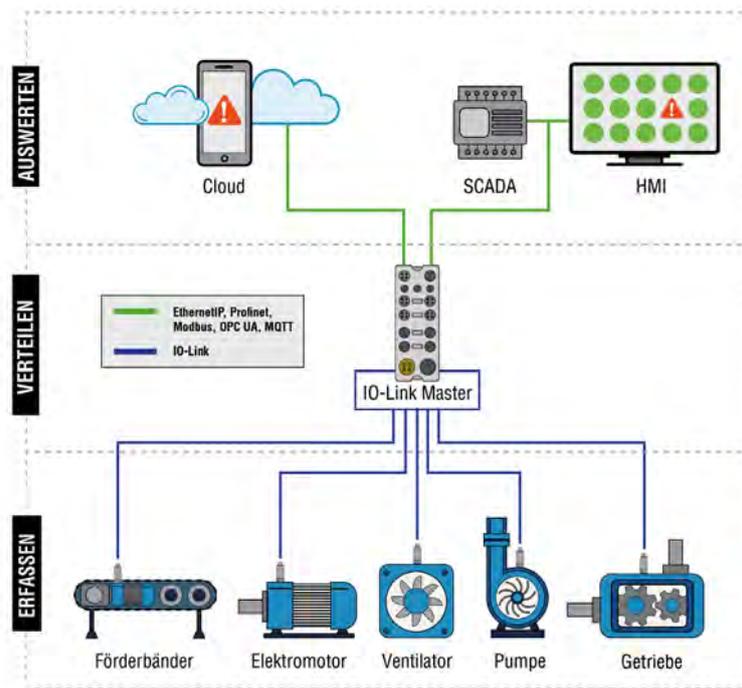
Modell EX629A11A

# 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)
- Rohsignalausgang



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.

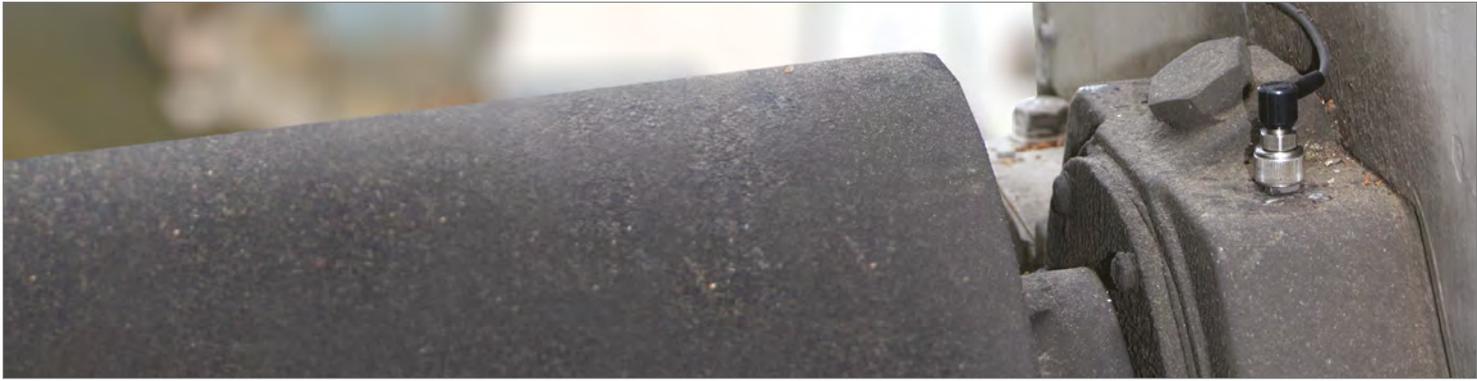


## ARMIERTE KABEL

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

