

Auswahlhilfe für Beschleunigungssensoren



Einführung

Beschleunigungssensoren auch Beschleunigungsaufnehmer, Beschleunigungsmesser, B-Sensoren oder G-Sensoren genannt, werden in den verschiedensten Anwendungen eingesetzt und basieren auf verschiedenen Prinzipien. Sie messen die „Beschleunigung“ - die Änderung des Bewegungszustandes - in einer, zwei oder in allen drei Raum-Richtungen. Aber nicht nur Beschleunigungen sind für Schwingungsanalyse erforderlich, sondern auch die Kenntnis von Geschwindigkeit und Auslenkung. Diese werden durch die Integration bzw. doppelte Integration des Beschleunigungssignals ermittelt.

Beschleunigung tritt bei Stößen, Kurvenbewegung und Schwingungen sowie Neigung des Prüflings, auf dem der Sensor befestigt ist, auf.

Beispiele sind piezoelektrische Sensoren mit Ladungsausgang (PE), PE mit integriertem Verstärker (IEPE), Sensoren auf Dehnungsmessstreifen-Basis (DMS), piezoresistive Sensoren (PR), kapazitive Sensoren (VC) und induktive Sensoren. Hierbei gibt es Sensoren, die manuell - zum Teil unter dem Mikroskop - zusammengestellt werden und welche, die mikromechanisch in großer Anzahl auf "Dyes" in Reinräumen entstehen.

Mehr Informationen über die Art wie Sensoren aufgebaut sind (Stichwörter: Biegebalken-Prinzip, luftgedämpft, öl-/flüssigkeitsgedämpft, MEMS, piezoelektrisch, induktiv, Servo) und detailliertere Information über die Themen, die hier behandelt werden, finden Sie in unserem Sensorlexikon www.sensoren.info.

Es gibt preisgünstige Sensoren ab einigen Euro bis hin zu Sensoren, die mehrere tausend Euro kosten. Es gibt große Sensoren, Ultraminiatur-Sensoren, kryogenische (Tiefemperatur-) Sensoren sowie Hochtemperatursensoren. Wie findet man den richtigen Sensor?

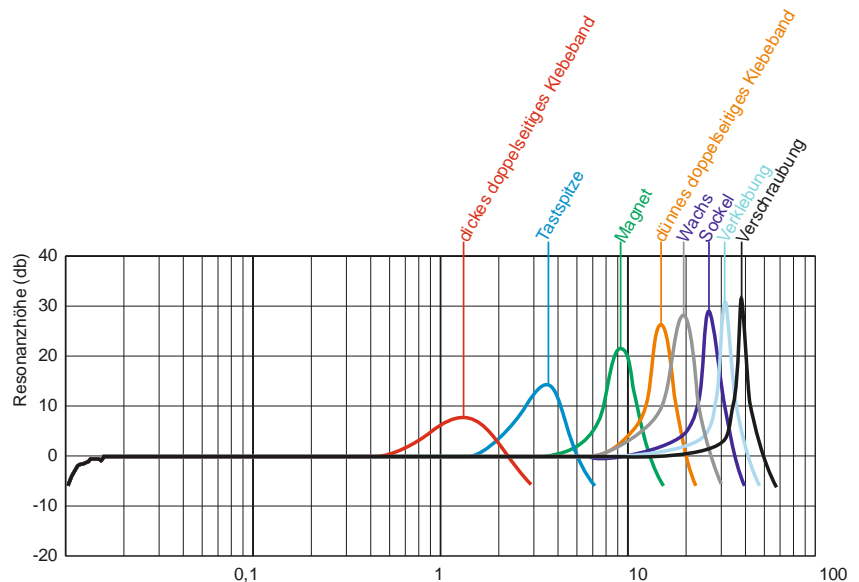
Die Anwendungsbeschreibung und die Antwort auf folgende Fragen definiert die Auswahl des Sensors:

- 1) Wie hoch ist der Messbereich des Sensors bzw. wie empfindlich muss der Sensor sein (Dynamikbereich des Sensors)?
- 2) Wie hoch ist die max. vorkommende Frequenz (Bandbreite des Sensors)?
- 3) Müssen auch statische Beschleunigungen (DC-Anteil, 0 Hz) gemessen werden (DMS/PR/VC)?
- 4) Müssen nur Vibrationen (ohne DC-Anteil) gemessen werden (IEPE/PE-Sensoren)?
- 5) Müssen Stöße gemessen werden (PR/VC-Sensoren)?
 - a. Dynamikbereich niedrig (VC-Sensoren)
 - b. Dynamikbereich hoch (PR-Sensoren)
- 6) Muss die Dehnung aus der Beschleunigung ermittelt werden (PR-Sensoren)?
- 7) Wie groß und schwer darf der Sensor sein?
 - a. Sehr klein wg. Massenbelastung des Prüflings (PE-Sensoren)
- 8) Wie und wo kann er montiert werden?
 - a. Schraubmontage (sehr wenig Einschränkung in der Bandbreite)
 - b. Klebemontage (sehr wenig Einschränkung in der Bandbreite)
 - c. Bienenwachs (kleine Sensoren, wenig Einschränkung in der Bandbreite)
 - d. Magnetfußmontage (Einschränkung in der Bandbreite)
 - e. Doppelseitiges Klebeband (deutliche Einschränkung in der Bandbreite)
- 9) Wie groß muss der Überlastschutz sein (Bauform)?
- 10) Treten Temperaturen über 125°C auf (IEPE-Sensoren, ab 200°C: PE-Sensoren)?
- 11) Welche (weiteren) Umgebungsbedingungen herrschen (Feuchte, elektromagnetische Felder)?
- 12) Wie kann der Sensor elektrisch angeschlossen und versorgt werden?

Optimale Verwendung der Sensoren

Die Sensoren müssen fest am Prüfling montiert sein. Platz muss auch ausreichend vorhanden sein. Sie dürfen durch Eigengewicht und Messprinzip nicht das Messergebnis verfälschen. Sensoren verlangen meist nach einer elektrischen Versorgung. Sie liefern ihre Daten in unterschiedlichen Signalformen.

Am Besten ist eine Klebe- und Schraubmontage, wenn das nicht möglich ist auch nur eine vom beiden. Einfach in der Anwendung sind auch Magnetmontage oder Befestigung durch ein dünnes, doppelseitiges Klebeband. Beides führt aber zur Verfälschung des Signals bzw. Bandbreitereduzierung bzw. - durch die Eigenfrequenz/ das Schwingverhalten des Adapters.



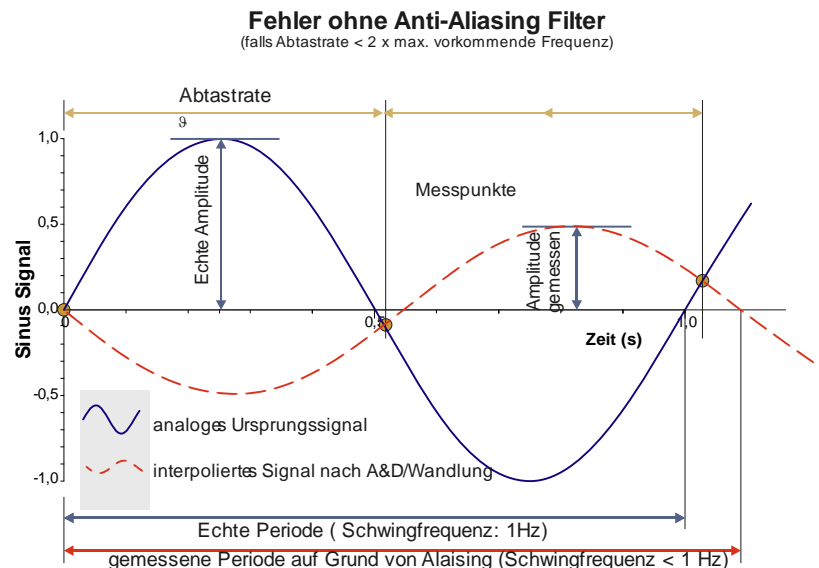
Für kleine piezoelektrische Sensoren, die bei Raumtemperatur eingesetzt werden, ist die Montage mit Bienenwachs sehr populär. Hier sollte darauf geachtet werden, dass die Schicht ausreichend aber nicht zu dick ist.

Optimal ist die Klebung mit Cyanoacrylat (Sekundenkleber, einige halten bis zu 120°C). Auf Grund der Funktionsweise können geklebte Sensoren durch Scherkräfte und unter Einfluss von Lösungsmitteln wie Aceton einfach und rückstandsfrei demontiert ("abgedreht") werden, ohne den Sensor zu schädigen:

Bei piezoelektrischen Sensoren sollte darauf geachtet werden, dass der dynamische Bereich deutlich höher ist als die vorkommende Schwingung, und dass es bei der Zuführung von sehr hoher Energie (wie bei Stößen) zu einer Sättigung kommen kann und damit zu einer Verfälschung des Signals. Hier kann man auf mechanisch gedämpfte Sensoren zurückgreifen, aber Vorsicht: Es kann zur Zerstörung des Messobjekts führen, wenn die Schwingamplitude auf Grund des gemessenen Signals immer weiter erhöht wird, weil man diesen Anteil nicht sieht, denn die hochenergetische Anteile der Schwingung sind noch am Messobjekt vorhanden!

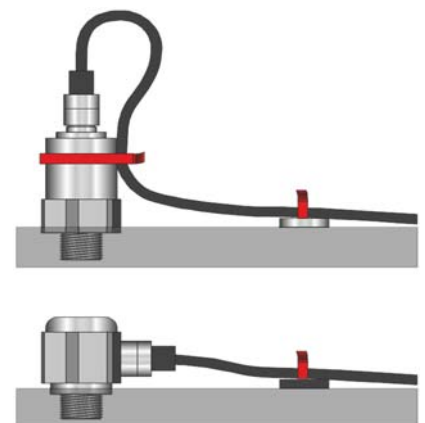
Einer der häufigsten Fehler bei der Auswertung des Signals von Beschleunigungssensoren ist, dass durch die Digitalisierung des Signals (Analog/Digital- oder A/D-Wandlung) der eigentliche Signalverlauf nicht exakt wiedergegeben bzw. verfälscht wird:

Die Auflösung des AD-Wandlers schränkt die Auflösung des Sensors deutlich ein, insbesondere bei AD-Wandlern unter 16 Bit-Auflösung (häufig bei Digitalmultimeter und -Oszilloskopen).



Noch wichtiger ist die Abtastrate. Ist diese niedriger als das Doppelte der maximal vorkommenden, vom Sensor erkennbaren Frequenz, dann wird das resultierende Signal verfälscht (Nyquist-Theorem). Das Problem wird Aliasing genannt. Um dies zu verhindern ist es notwendig das Signal auf (zumindest) die Hälfte der Abtastrate zu filtern. Ein Filter der hierfür verwendet wird nennt man **Anti Aliasing Filter**.

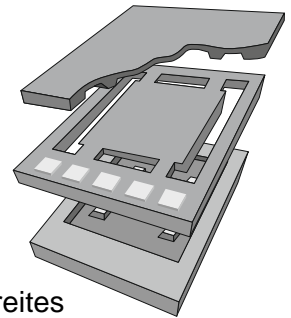
Auch die Kabelführung kann zu Fehler führen, denn wenn der Kabel mitschwingt, kann es das Schwingverhalten des Sensors deutlich beeinflussen. Um das zu verhindern, sollte das Kabel entsprechend befestigt werden.



Anwendungen

Stöße:

Hierzu werden piezoresistive MEMS-Sensoren mit einem hohen Messbereich (üblicherweise 500g oder höher) und Bandbreite (0 bis einige Kilohertz) verwendet, denn sie liefern den hohen dynamischen Bereich, die für die Aufnahme der Vorgänge notwendig ist. Sie sind auf Grund der MEMS-Struktur gedämpft, und verhindern damit die Anregung der Resonanzfrequenz durch Stöße, die Frequenzen im Sensor über ein sehr breites Spektrum anregen.



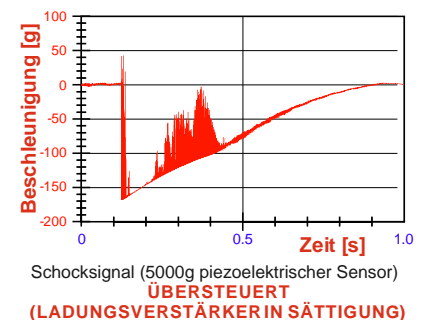
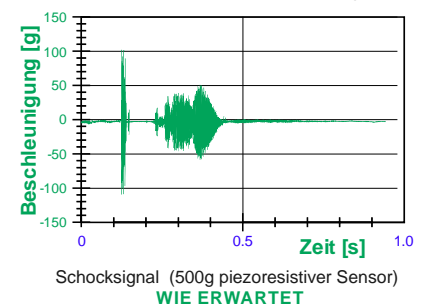
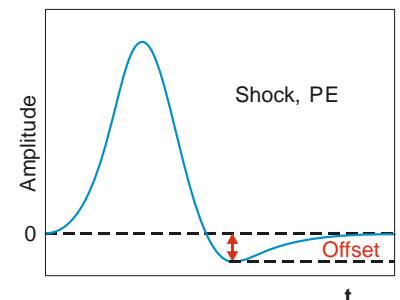
Nun wären piezoelektrische Sensoren zwar auf Grund des hohen dynamischen Bereichs hierfür geeignet, aber sie können keine konstanten Beschleunigungen messen, die für die oft benötigte Herleitung der Geschwindigkeit und Weg notwendig sind. Dazu kommt, dass ein Stoßsignal bei piezoelektrischen Sensoren zu einem Überspringen im negativen Bereich führt, da die Pulsbreite des Stoßes meistens deutlich kürzer ist als deren systembedingte Zeitkonstante. Der deltaförmige Stoß regt auch die Resonanz des Sensors an und führt zu einer Sättigung des Ladungsverstärkers – auch bei Sensoren mit sehr hohen Messbereichen.

Kapazitive MEMS-Sensoren könnten zwar auch die benötigten DC-Informationen liefern, die für Stöße notwendig sind, aber diese sind oft im Messbereich auf 200g eingeschränkt oder sind vom Frequenzgang her nicht geeignet.

Im Bereich von Crash und passive Sicherheit werden hier genaue Spezifikationen angegeben, die von diesen Sensoren erwartet werden.

Generell, wenn aus Beschleunigungsinformationen auf Geschwindigkeit oder Weg zurückgeschlossen werden soll, ist auf eine hohe Auflösung bzw. niedriges Rauschen zu achten. Hierfür eignen sich insbesondere Sensoren auf piezoresistiver Basis.

Detailliertere Informationen hierzu finden Sie auf unser White-Paper "Beschleunigungssensoren für Crash".



Vibration

Piezeelektrische Sensoren eignen sich hierfür am besten, denn sie haben die häufig für diese Anwendung benötigten hohe Bandbreite (zum Teil bis 20kHz). Sie liefern zwar keine DC-Anteile (0 Hz), diese werden aber auch nicht benötigt, denn aufgrund der dynamischen, sinusförmigen Schwingung treten konstante Beschleunigungen fast nie auf.

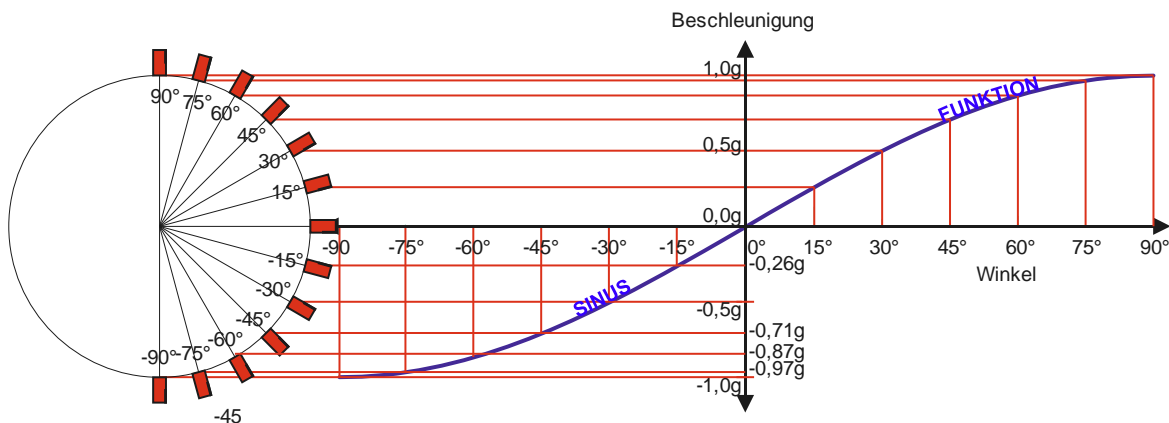
Gerade bei der Messung von Vibrationen kleiner Strukturen sind sie hier unschlagbar, denn das Gewicht der Sensoren spielt bei der Massenbelastung der Strukturen eine große Rolle und piezeelektrische Sensoren können sehr klein bauen (einige haben ein Gewicht von nur 0,2 Gramm).

Auch bei Messungen von Vibrationen an Stellen mit extremen Temperaturen sind sie sehr gut geeignet. Piezeelektrische Sensoren mit Ladungsausgang können beispielsweise Temperaturen von bis zu 650°C (kurze Ausflüge bis 1000°C) unbeschädigt aushalten. Hier werden 'Hard-Line'-Kabel verwendet bis zu einem Bereich, in der die deutlich flexibleren Teflonkabel eingesetzt werden können.

Sind hohe Frequenzen nicht zu erwarten, dann sind kapazitive Sensoren (VC) hier auch eine gute Wahl. Allerdings sollte beachtet werden, dass in niedrigen Messbereichen die Sensoren bei Neigung ihr Offset je nach Lage zwischen 0 und 1g verändern.

Bewegung

Bei langsamen Bewegungen ist es notwendig auch den DC-Anteil zu messen. Auch hier sollte berücksichtigt werden, dass in niedrigen Messbereichen die Sensoren bei Neigung ihr Offset je nach Lage zwischen 0 und 1g verändern.



Neigung

PR, VC und DMS-Beschleunigungssensoren, die auf der Bewegung einer Trägermasse basieren, können für die Messung von Neigung verwendet werden (Pendelausschlagsprinzip). Hier ist es aber sinnvoll hochgedämpfte (auch elektrisch mit Tiefpassfilter) Sensoren zu verwenden, denn sonst kann die Messung von Vibration, die oft von der Amplitude her sehr viel höher ist als die Amplitude der Neigung, deutlich verfälscht werden.

TEDS für Multi-Sensor-Einsatz

Werden sehr viele Sensoren bei der Messung eingesetzt (wie beispielsweise bei **Crash- oder die Schwingungsanalyse von großen Testobjekten**) ist die Zuordnung des Signals zum jeweiligen Sensor oft sehr mühsam. Hier sind TEDS (Transduce Electronic Data Sheet) sehr hilfreich. Hier kann nicht nur jeder Sensor vom Datenerfassungssystem erkannt werden, auch die Einstellung der Verstärkung kann automatisch passieren, denn alle wichtigen Spezifikationen sind im TEDS-Element gespeichert, und können vom System elektronisch ausgelesen werden.