

Beschleunigungssensoren für Schock-Anwendungen

Eines der Hauptprobleme bei der Messung hoher Beschleunigungen, wie sie bei Schock- und Stoßprüfungen auftreten ist, dass der Beschleunigungssensor einen entsprechenden Dynamikbereich aufweisen muss, um das Verhalten des Prüflings korrekt wiedergeben zu können. So sind beispielsweise bei Kollisionsexperimenten wie Crash- oder Fall-Tests Beschleunigungen von deutlich über 1000 g üblich.

Alleine hierdurch wird die Menge der verwendbaren Sensoren eingeschränkt. Der Dynamikbereich der meisten **kapazitiven MEMS-Sensoren (VC)** ist beispielsweise auf 200 g begrenzt.

Ein weiterer limitierender Faktor ist das Rauschen. Fehler durch Rauschen werden bei jedem Integrationsschritt, die für die Berechnung von Geschwindigkeit und Auslenkung benötigt werden, drastisch erhöht. Deshalb sind Sensoren mit extrem niedrigem Rauschen und einer entsprechend hohen Auflösung erforderlich, um Integrationsfehler auf ein Minimum zu reduzieren.

Dazu kommt, dass Stöße mathematisch durch deltaförmige Dirac-Stöße beschrieben werden können, die Frequenzanteile über einen breiten Spektralbereich beinhalten und den Sensor, verteilt über alle Frequenzen – **auch der Resonanzfrequenz des Sensors** - mit gleicher spektraler Leistungsdichte anregen.

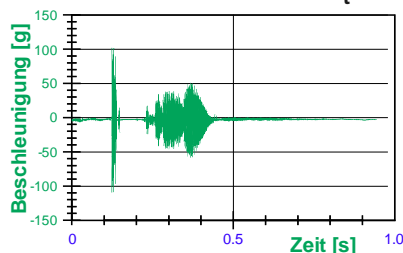
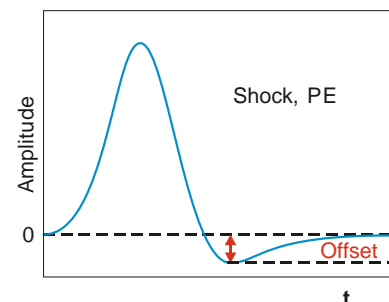
Piezelektrische Beschleunigungssensoren (PE) haben zum Teil sowohl eine hohe Bandbreite als auch einen extrem hohen Dynamikbereich, sind aber aufgrund weiterer Einschränkungen auch nicht für Crash-Tests geeignet: Diese Prüfungen erfordern in der Regel auch die Messung der Durchbiegung durch die doppelte Integration des Beschleunigungssignals. Die Mathematik der Doppelintegration (Integrationskonstanten) erfordert jedoch DC-Daten, d.h. Beschleunigungssensoren, die ab 0 Hz messen. Darüber hinaus sinkt bei piezelektrischen Sensoren das Sensorsignal unter den Nullpegel des Impulses was, aufgrund der Zeitkonstante dieser Sensoren, die höher ist als die Pulsbreite des Schocks, ebenfalls Integrationsfehler verursacht. Schließlich kann die vom Piezoelement erzeugte Ladung aufgrund der hohen Energie des Schocks und die Anregung der Resonanz des piezelektrischen Sensors zu einer Sättigung des Ladungsverstärkers führen – auch bei Sensoren mit sehr hohen Messbereichen.

Biegebalgen-Beschleunigungssensoren auf Dehnungsmessstreifenbasis (DMS) gehören zu den Sensoren, die alle diese Anforderungen erfüllen. Sie haben einen hohen Dynamikbereich und einen Frequenzgang ab 0 Hz. Werden diese Sensoren jedoch nicht gedämpft, führt die Resonanzfrequenz der Sensoren bei Erschütterungen zu sehr hohen Fehlamplituden. Um dem entgegen zu wirken können die Sensoren elektrisch und mechanisch (z.B. mit Öldämpfung) gedämpft werden, was aber wiederum den Dynamikumfang der Sensoren reduziert.

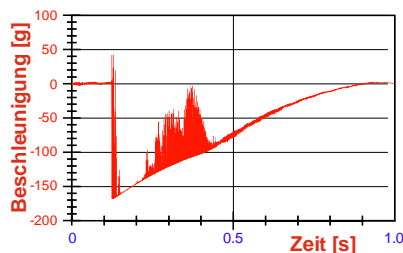
Piezoresistive MEMS-Beschleunigungssensoren (PR) erfüllen die Anforderungen der passiven Sicherheit am besten:

- Das Design des Sensor ermöglicht einen Frequenzgang, der bei 0 Hz beginnt und - bei hohen g-Werten - bis zu 5 kHz reicht.
- Der Messbereich reicht bis zu 5000 g.
- Sie sind "luftgedämpft" mit einem Dämpfungsfaktor zwischen 0,2 und 8. Die MEMS-Struktur besteht aus drei Siliziumschichten, der seismische Masse zwischen zwei "Überlastbegrenzungen". Die Luft zwischen diesen beiden "Deckeln" dämpft die seismische Masse und verhindert Resonanzen.

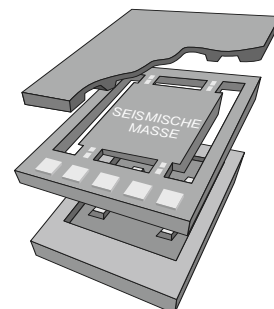
Daher werden piezoresistive Sensoren für Stoß-, Schock und Crash-Tests verwendet.



Schocksignal (500g piezoresistiver Sensor)
WIE ERWARTET



Schocksignal (5000g piezoelektrischer Sensor)
ÜBERSTEUERT (LADUNGSVERSTÄRKER IN SÄTTIGUNG)



Accelerometers for Shock-Measurements

One of the main issues when measuring high acceleration which are encountered during impact and shock-testing, is that the accelerometer must have a corresponding dynamic range to be able to analyse the behaviour of the sample under test correctly. For example, accelerations of well over 1000 g are common during collision experiments such as crash or drop-testing.

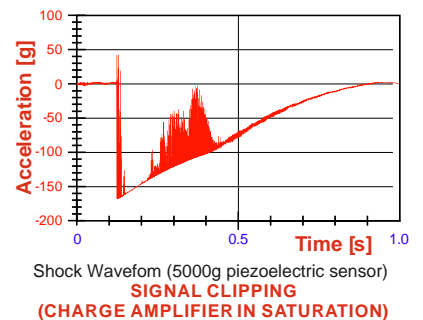
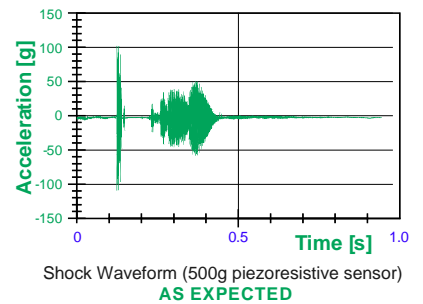
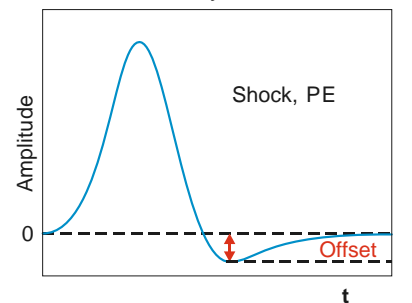
This itself limits the sensors that can be used. The dynamic range of most **variable capacitance MEMS sensors (VC)** are limited to 200 g, for example.

Another limiting factor is noise. Errors due to noise are dramatically increased with each integration step which are required to calculate the velocity and deflection. This is why sensors with extremely low noise and a correspondingly high resolution are required to reduce integration errors to a minimum.

Furthermore, shock-pulses can be mathematically described as delta-type dirac-pulses which have a frequency content distributed over a wide spectrum and excite the sensor with the same spectral power density distributed over all frequencies **including the resonant frequency of the sensor**.

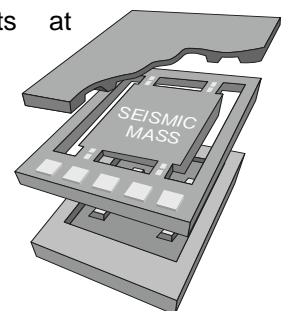
Some **piezoelectric accelerometers (PE)** have both, a high band width and an extremely high dynamic range, but even so are also not suited for crash-tests due to other limitations: These tests usually require the measurement of deflection by double-integration of the acceleration signal. The mathematics of double-integration (integration constants), however, require DC data, i.e. Accelerometers that measure from 0 Hz onwards. Furthermore, due to the Time Constant of these sensors being higher than the pulse width of the shock, the sensor signal drops below the zero level of the pulse, also causing integration errors. Lastly due to the high energy of shocks and excitation of the piezoelectric accelerometer's resonance, the charge produced by the piezo-element can cause the sensor's charge amplifier to saturate, even if the measurement range of the sensor used is very high.

Some sensors that match all these requirements are **cantilever-beam strain-gauge-based sensors**. These have a high dynamic range, and a frequency response starting at 0 Hz. However, if these sensors are not damped, the resonance frequency of the sensors results in very high spurious amplitudes when the sensor is subjected to shocks. These sensors can be damped electrically and mechanically (e.g. with oil damping), but then this in turn unfortunately reduces the dynamic range of the sensors.



Piezoresistive MEMS accelerometers (PR) fulfil the requirements of auto safety testing the best:

- The sensor design allows for a frequency response that starts at 0 Hz and - at high g-levels – goes up to 5 kHz.
- The measurement ranges go up to 5000 g.
- They are 'air damped' with a damping ratio between 0.2 and 8: The MEMS structure has three silicon layers, the seismic mass between two "overrange stops". The air between these two 'lids' damps the seismic mass and prevents resonance.



This is why piezoresistive Sensors are used for impact, shock and crash testing.