

# Ungewöhnliche Messergebnisse bei piezoelektrischen Beschleunigungssensoren

Mike Lindstrom, PCB Piezotronics, Inc.



Nach Durchführung einer Messung und anschließender Datenauswertung sehen die aufgenommenen Beschleunigungsmesswerte hin und wieder ungewöhnlich aus und entsprechen nicht den erwartenden Ergebnissen. Nachfolgende Information soll dazu beitragen, mögliche Fehler und deren Ursachen im Messaufbau zu erkennen und die Messkette und die Messergebnisse zu optimieren. Etliche Faktoren können die Ergebnisse einer piezoelektrischen Beschleunigungsmessung beeinflussen wie z. B. der Messbereich, die Empfindlichkeit und der Frequenzbereich des verwendeten Sensors oder auch die Abtastrate der Messdatenerfassung.

## Sättigung des Verstärkers

Amplitudenhöhen, die größer sind als der Messbereich des Sensors, können den ICP®-Verstärker im Sensor sättigen (Abbildung 1). Frequenzinhalte im Signal, die im Bereich der Resonanzfrequenz des Sensors liegen, können ebenfalls zur Sättigung des Verstärkers führen (Abbildung 2). Die Resonanzeffekte im

Sensorelement führen hierbei dazu, dass der Sensor in diesem Zustand keine aussagekräftigen Daten erfassen kann. Auch eine anschließende Filterung der gewonnenen Daten führt hierbei nicht zu brauchbaren Messergebnissen. Typisch für Überlastzustände des Verstärkers sind exponentielle Abklingkurven.

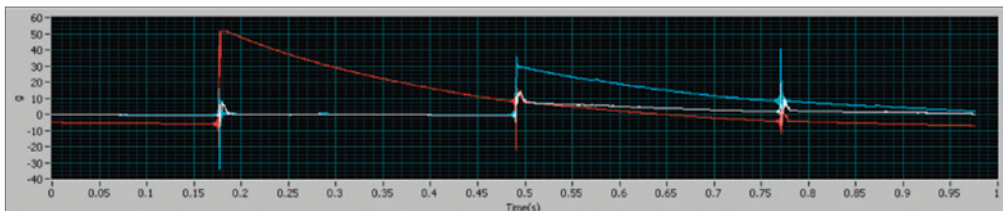


Abbildung 1:  
Gesättigter Verstärker  
durch Überlast

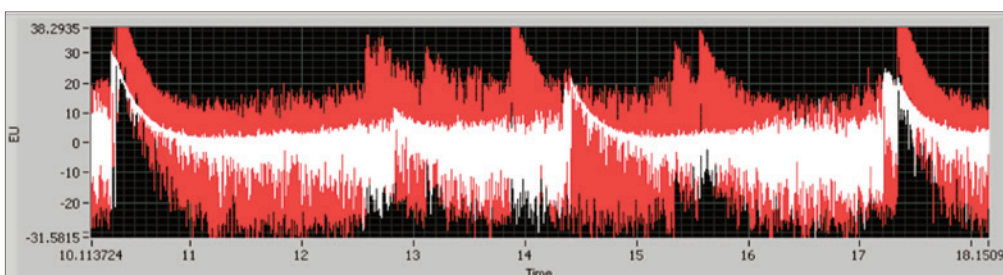


Abbildung 2:  
Gesättigter Verstärker  
durch Resonanzanregung

Sensoren mit eingebauten ein- oder zweipoligen Tiefpassfiltern verhindern die Sättigung des Verstärkers durch Resonanzeffekte. Die Filter sorgen für eine Un-

terdrückung des Signals in der Nähe der Resonanzstelle und erhöhen somit den nutzbaren Frequenzbereich des Sensors (Abbildung 3).

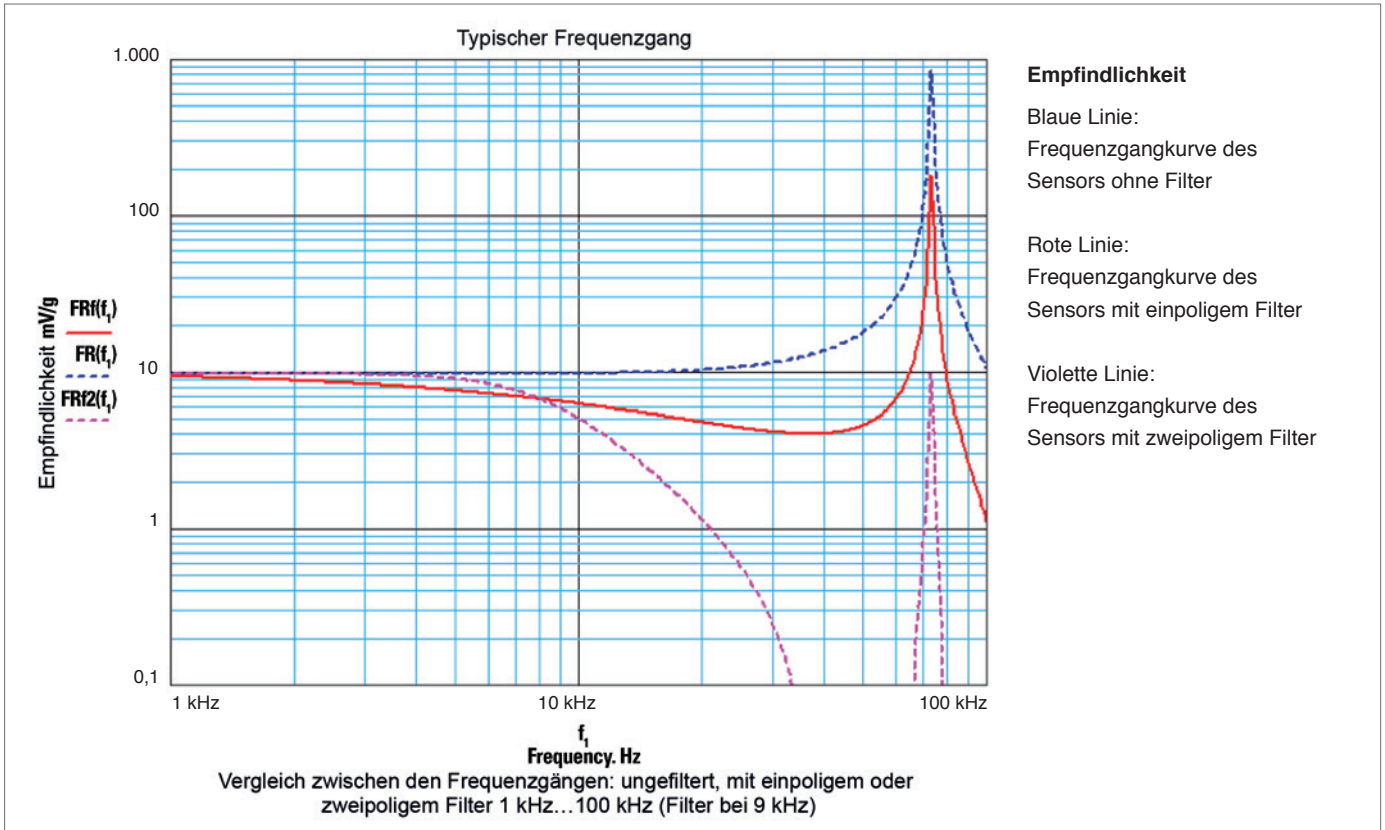


Abbildung 3: Frequenzgänge von Sensoren ohne und mit eingebauten Filtern

## Sensormessbereiche und Signalabtastrate

Die nachfolgenden Prüfungen wurden bei PCB® durchgeführt um aufzuzeigen, wie wichtig es ist, die richtige Abtastrate und den passenden Messbereich

des Aufnehmers auszuwählen, um optimale Ergebnisse bei jeder Anwendung erzielen zu können.

### Testaufbau

Die Beschleunigungssensoren Modelle PCB-M352C18 (Empfindlichkeit 10 mV/g, Gewicht 2 Gramm) und PCB-M352C65 (Empfindlichkeit 100 mV/g, Gewicht 2 Gramm) wurden am Ende eines Biegeschwingers montiert, wie in Abbildung 4 dargestellt.

Die Anregung des Feder-Masse-Systems erfolgte mittels eines dosierten Hammerschlages. Die Ausgänge der Beschleunigungssensoren waren mit einem digitalen Oszilloskop mit einer Abtastrate von 2 kHz verbunden. Modell M352C18 war parallel mit einem zweiten Oszilloskop, Abtastrate hier 2 Mhz, verbunden.

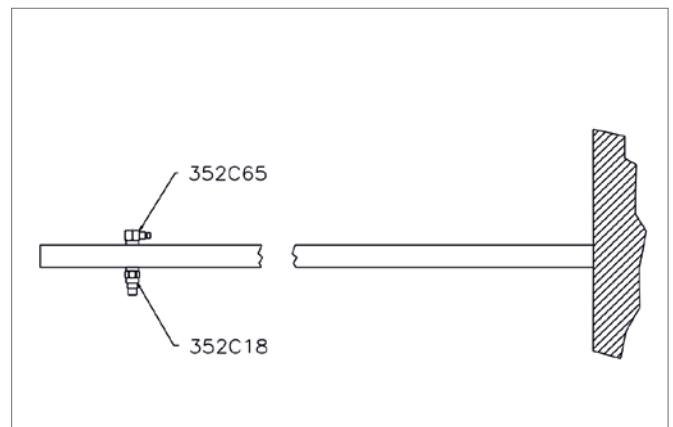


Abbildung 4: Testaufbau



## Testergebnisse

Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen die Zeitsignale der beiden Beschleunigungssensoren. Abbildung 5 zeigt die Signale über einen Zeitraum von zwei Sekunden; Abbildung 6 zeigt die Signale über eine Zeitspanne von 0,1 Sekunden.

In Abbildung 5 ist erkennbar, dass Modell M352C65 (Messbereich 50 g) durch Anregung in Sättigung gegangen ist und das Signal exponentiell zurück auf Null abklingt. Der Maximalwert des M352C65 liegt scheinbar bei 150 g, während der

Ausgang des M352C18 einen Spitzenwert von 325 g anzeigt. Der am M352C65 gemessene Spitzenwert, der niedriger ist als der tatsächlich vorhandene, ist das Ergebnis des internen Verstärkers, der seinen Maximalausgang (welcher eindeutig außerhalb des typischen linearen Bereichs von  $\pm 5$  Volt war) gesättigt und abgeschnitten hat. Der Wert von 325 g des Beschleunigungssensors M352C18 war innerhalb des Messbereichs von 500 g (linearer Ausgang von  $\pm 5$  Volt) und wird deshalb korrekt dargestellt.

**Beschleunigungsaufnehmer 100 mV/g gegenüber Beschleunigungssensor 10 mV/g**

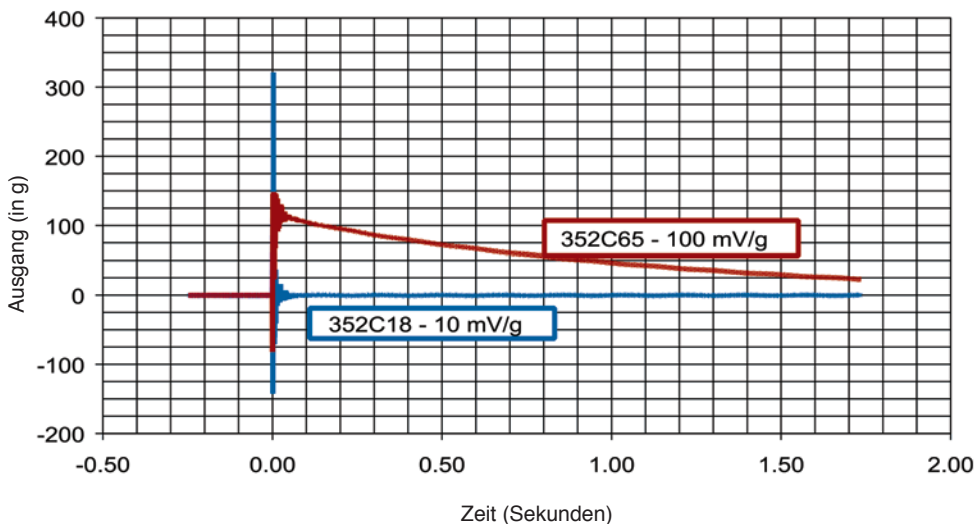


Abbildung 5: Ausgangssignale der Beschleunigungssensor

**Beschleunigungsaufnehmer 100 mV/g gegenüber Beschleunigungssensor 10 mV/g**

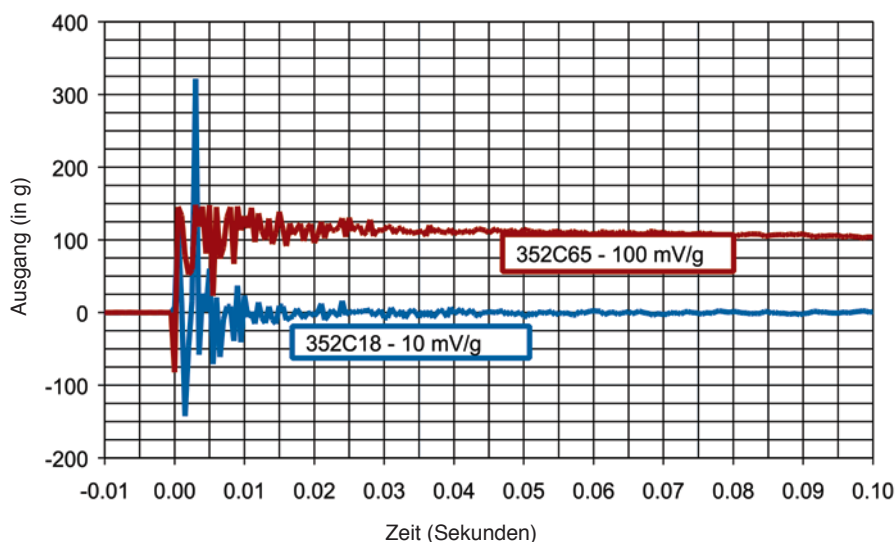


Abbildung 6: Höher aufgelöste Ausgangssignale der Beschleunigungssensor

In der zeitlich höher aufgelösten Darstellung wird deutlich, wie sich die Amplitudenhöhen des M352C65 von denen des M352C18 unterscheiden. Das Zeitsignal von Modell M352C65 in Abbildung 6 könnte fälschlicherweise mit einer Fehlfunktion des Beschleunigungssensors erklärt werden. Schlimmer noch – es könnte völlig unbeachtet bleiben, falls nur der Frequenzbereich betrachtet wird.



In Abbildung 7 sind die Zeitsignale des M352C18 und des M352C65 mit einer Abtastrate von 2 kHz dargestellt. M352C18 ist zusätzlich mit einer Abtastrate von 2 MHz zu sehen. Das 2-MHz-Signal zeigt sehr hohe Frequenzanteile, hervorgerufen durch die metallische Anregung der Struktur. Die niedrigere Abtastrate von

2 kHz wirkt wie ein Filter auf die ursprünglichen Daten; die hohen Frequenzanteile mit z. T. hohen Amplituden werden nicht im Detail erfasst. So haben die Daten mit 2 MHz einen Spitzenwert von über 200 g, während die maximale Amplitude der Daten mit 2 kHz gerade über 100 g im selben Zeitrahmen liegt.

## Abtastgeschwindigkeiten – 2 MHz gegenüber 2 kHz

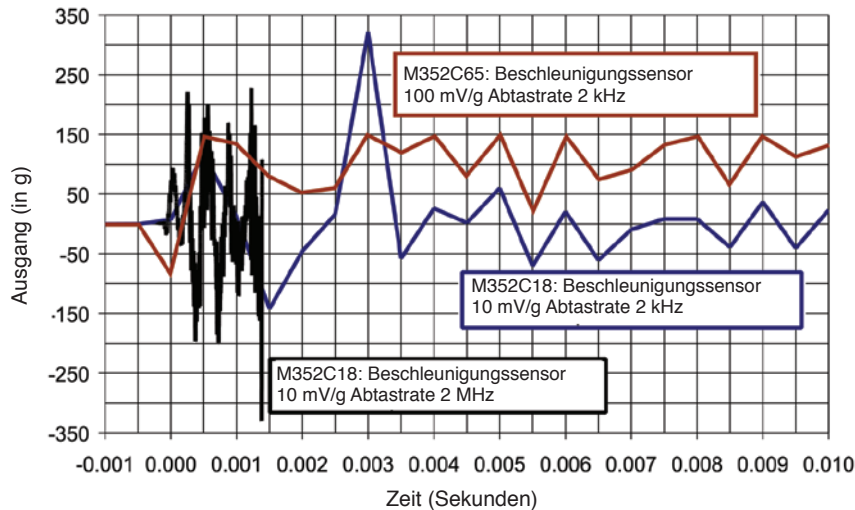


Abbildung 7: Effekte unterschiedlicher Abtastraten auf das Messergebnis

## Zusammenfassung

Zweifelhaftes bzw. falsche Messdaten können einen Prüfenieur glauben lassen, dass ein Problem mit der Messtechnikhardware vorliegt. Es muss sich jedoch nicht immer um ein Sensorproblem handeln. Die Bedeutung der Messparameter sollte nicht übersehen werden, wenn es darum geht eine genaue Messung vorzunehmen. Zwei wesentliche Parameter sind die Abtastrate des Datenerfassungssystems und der Messbereich des Sensors. Ein wichtiger Indikator für die Sättigung des Verstärkers ist das exponentielle Abklingen der Nominalspannung im Zeitsignal. Es sei daran erinnert, dass eine zu geringe Abtastrate wie ein Filter nicht nur zur Reduktion des Frequenzinhalts sondern auch der Amplitudenhöhen wirken kann. Sie kann auch die Sättigung des Ver-

stärkers verbergen, wenn dies bei einer Messung vorkommt. Die hier gezeigten Daten wurden mit piezoelektrischen Beschleunigungssensoren mit integrierter Elektronik (ICP®) gemessen, jedoch kann Sättigung auch innerhalb von In-Line-Ladungsverstärkern stattfinden, die bei Messungen verwendet werden, die piezoelektrische Beschleunigungssensoren mit Ladungsausgang mit einer ICP®-Speisung kombinieren.

Falls Sie während der Messung Sättigungseffekte feststellen, wenden Sie sich gerne an Ihren PCB® Distributor, um sich über Sensoren mit einem höheren Messbereich oder Sensoren mit eingebauten Tiefpassfiltern zu informieren.

Hochwertige Messtechnik und Beratung aus einer Hand

 **PCB SYNOTECH** GmbH

Ein Unternehmen der PCB Piezotronics, Inc.

**PCB Synotech GmbH**

Porschestr. 20 – 30

41836 Hückelhoven

Tel.: +49 (0) 24 33/44 44 40 – 0

E-Mail: [info@synotech.de](mailto:info@synotech.de)

[www.synotech.de](http://www.synotech.de)