



Kalibrierung

Bei Einsatz unter Normalbedingungen sind piezoelektrische Sensoren äußerst stabil. Ihre Kalibrierwerte ändern sich kaum über die Zeit. Oft werden Sensoren jedoch unter extremen Bedingungen eingesetzt, z.B. Stoßbelastung, hohe Temperaturen oder Feuchtigkeit. Daher ist ein regelmäßiger Kalibrierzyklus zu empfehlen. Bei Gebrauch unter Normalbedingungen empfehlen wir eine Nachkalibrierung alle 2 Jahre und bei Einsatz unter Extrembedingungen im Anschluss an jede Messung.

Für eine Werkskalibrierung senden Sie den Aufnehmer bitte an Metra. Unser Kalibrierlabor arbeitet mit einer erstabgeleiteten Referenz der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB).

Viele Firmen ziehen es vor, eigene Kalibrierausrüstungen anzuschaffen. Das kann kosten- und zeitsparend sein, sobald eine größere Anzahl von Aufnehmern im Einsatz ist. Oft ist es auch wünschenswert, den Sensor in einer ganzen Messkette oder Anlage zu kalibrieren, die sich nicht zum Einschicken eignet.

Zu diesem Zweck bietet Metra die batteriebetriebenen Schwingungskalibratoren der Serie **VC1x** an. Diese liefern ein geregeltes, quarzstabiles Schwingensignal von 10 m/s² (Schwingbeschleunigung), 10 mm/s (Schwinggeschwindigkeit) oder 10 µm (Schwingweg) bei einer Frequenz von 159,2 Hz.

Das Schwingungskalibriersystem **VC100** hat eine einstellbare Schwingfrequenz von 70 bis 10 000 Hz. Es liefert 1 m/s² Schwingpegel. Auch Frequenzgänge können mit dem VC100 gemessen werden. Die Bedienung und die Anzeige der gemessenen Empfindlichkeit kann über ein LC-Display oder per PC-Software erfolgen.

Wenn kein Schwingungskalibrator verfügbar ist, kann die Messkette elektrisch kalibriert werden, indem

- Die Verstärkung des Messverstärkers auf die Empfindlichkeit des Aufnehmers abgeglichen wird. Einige Messverstärker bieten hierzu eine numerische Einstellmöglichkeit.
- Eingabe der Aufnehmerempfindlichkeit als Korrekturfaktor bei PC-Messsystemen.
- Ersatz des Aufnehmers durch ein Generatorsignal und Einspeisung der entsprechenden Spannung.

Bitte berücksichtigen Sie, dass der Kalibriergenauigkeit bei Schwingungsaufnehmern technische Grenzen gesetzt sind. Ein praktisch erreichbarer Wert für die Kalibrierunsicherheit ist $\pm 2\%$.

Fehlerbetrachtung

Für die Bewertung der Messergebnisse ist es außerordentlich wichtig, die Messfehler abzuschätzen. Bei Anwendung von piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern treten drei Fehlergruppen auf:

- **Fehler des Übertragungsfaktors:**
Kalibrierfehler, Linearitätsfehler, Frequenz- und Phasenfehler, Alterung, Temperatureinfluss durch Temperaturkoeffizienten.
- **Fehler durch Ankopplung an das Messobjekt:**
Einflüsse der Aufnehmermasse, der Koppelfläche, der Koppellelemente, der Schwingungsrichtung durch den Querrichtungsfaktor
- **Fehler durch Störsignale:**
Rauschen, Dehnungsbeeinflussung, magnetische Felder (z.B. an elektrischen Maschinen), Temperaturschwankungen, Druckschwankungen (z.B. starker Schall), Verformung durch Kabelbewegung bei nicht festgelegtem Kabel, elektrische und magnetische Einwirkung insbesondere auf lange Kabel, Eigenstörspannung des Kabels bei Bewegung

Systematische Fehler sind rechnerisch korrigierbar, wenn ihr Wirkungsmechanismus bekannt ist. Ihre Auswirkung wird durch uns als Hersteller weitgehend ausgeschlossen oder beschrieben z.B. beim Einfluss der Frequenzabhängigkeit.

Werden die Ergebnisse von Messungen mit sehr ähnlichen Messbedingungen verglichen, z.B. durch Beziehen auf eine Anfangsmessung, so entfallen die meisten systematischen Fehlereinflüsse. Das ist besonders wichtig bei nicht bekannten systematischen Fehlern.

Die meisten Fehler treten zufällig auf bzw. sie lassen sich nicht mit einem berechenbaren systematischen Einfluss korrigieren, da Wirkungsweise und Größe der Ursache nicht bekannt sind.

Bei praktischen Messungen sind die zufälligen Fehler, bekannte, aber schwer korrigierbare systematische Fehler und nicht erfassbare, abzuschätzende systematische Fehler zu einer Kenngröße, der Messunsicherheit, zusammenzufassen.

Das folgende Beispiel soll verdeutlichen, wie die Messunsicherheit sich zusammensetzen kann und welche Größenordnung bei durchschnittlichem Aufwand erreicht wird.

- Aufnehmer:

Grundfehler	2 %
Frequenzfehler (Bandgrenze bei 5 % Toleranz)	5 %
Linearitätsfehler	2 %
Äußere Störeinflüsse	5 %
- Nachfolgeelektronik mit Effektivwertbildung:

Grundfehler	1 %
Frequenzfehler (Bandgrenze bei 5 % Toleranz)	5 %
Linearitätsfehler	1 %
Kurvenformfehler	1 %

Die quadratische Addition der Einzelfehler ergibt für dieses Beispiel eine Messunsicherheit $u = 9 \%$.

Bei der praktischen Schwingungsmessung ist eine Messunsicherheit unter 10 % nur einzuhalten, wenn die wichtigsten Fehlereinflüsse bekannt sind und die verwendete Messapparatur eine hohe Qualität aufweist.