

Rauschverhalten piezoelektrischer Beschleunigungsaufnehmer unterschiedlicher Sensitivität und deren Auswirkungen auf Messung und Beurteilung

Korbinian Grüner¹

¹ Accon GmbH, 89626 Greifenberg, E-Mail: korbinian.gruener@accon.de

Einleitung

Zur Erfassung und Beurteilung von Schwingungsimmissionen (z. B. aus dem Bahnverkehr) kommen Sensoren zum Einsatz, welche entsprechend ihren Eigenschaften unterschiedlichste Anforderungen erfüllen. Am Randbereich der Nutzbarkeit von Sensoren – bei sehr schwachen oder sehr starken Signalen – ist die geeignete Wahl des Sensors von wichtiger Bedeutung. Bei schwachen Signalen kann insbesondere im unteren Frequenzbereich das Eigenrauschen des Messsystems (Sensor und Wandler) zu einer Verfälschung des tatsächlichen Signals führen und Auswirkungen auf eine Beurteilung der erfassten Immissionen haben. Im Folgenden werden eigene Untersuchungen zu Sensoren unterschiedlicher Sensitivität dargestellt, deren Auswirkungen auf eine Beurteilung diskutiert und prinzipielle Messschwierigkeiten dargestellt.

Grundlagen

Wenn auf ein piezoelektrisches Material (Kristalle mit polaren Molekülen) ein Druck ausgeübt wird, resultiert daraus eine elektrische Ladung. Eine Volumenänderung bewirkt somit eine Ladungsänderung und umgekehrt. Die Kombination aus einem piezoelektrischen Material und einer seismischen Masse erzeugt dabei ein Ladungssignal, welches proportional zu einer Schwingbeschleunigung ist. Dies beschreibt die Funktionsweise eines Beschleunigungssensors (s. Abbildung 1). Unterschiedliche Sensitivitäten kommen dabei durch die seismische Masse zustande. Prinzipiell gilt, je geringer die seismische Masse, desto geringer die Empfindlichkeit. Der Vorteil der Sensoren ist, dass diese einen großen Dynamikumfang bei guter Linearität über den Dynamikbereich aufweisen und einen großen Frequenzbereich abdecken.

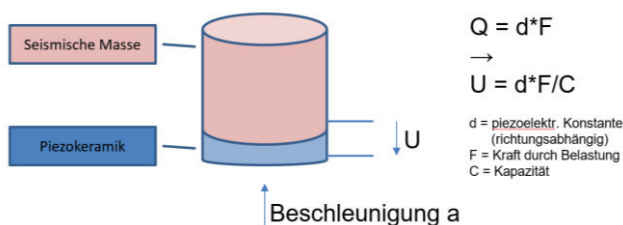


Abbildung 1: Aufbau Beschleunigungssensor

Eine Störgröße, welche die Messempfindlichkeit eines Systems beschränkt, ist das Rauschen. Diese Störgröße ist immer vorhanden. Dabei ist die Qualität eines Nutzsignals abhängig vom Störabstand (Signal-Rausch-Verhältnis). Bei der hier dargestellten Untersuchung ist das thermische Rauschen sowie das Schrotrauschen von Bedeutung. Das

thermische Rauschen rührt daher, dass im thermischen Gleichgewicht statistische Schwankungen der Ladungsträger in einem Leiter vorliegen. Deren Intensität nimmt mit steigender Temperatur zu. Eine weitere auftretende Rauschart ist das sogenannte Schrotrauschen. Dieses tritt bei Stromfluss auf und ist proportional zur Größe des Stroms. Die Ladungsträger durchlaufen dabei Potentialbarrieren. Das Einzel-Rauschen jedes Teilsystems (hier Sensor und A/D-Wandler) addiert sich zu einem Gesamt-Rauschen des Messsystems.

Versuchsaufbau

Für die Messungen wurde ein 8-kanaliger A/D-Wandler verwendet. Es kamen 4 Beschleunigungssensoren unterschiedlicher Sensitivität zum Einsatz: 10 mV/g, 100 mV/g, 1 V/g und 10 V/g

Zusätzlich wurde an einem Signaleingang ein Widerstand (1,8 kOhm) zur Ermittlung des Eigenrauschens des A/D-Wandlers angebracht.

Die Sensoren wurden zur Minimierung von Störgrößen im Außenbereich auf einer Stützmauer kraftfest installiert. Zur Nachbearbeitung wurden die Messdaten digital abgespeichert, sodass einzelne (markante) Störungen ausgeblendet werden können.

Abbildung 2 zeigt das Messsignal in m/s^2 . In Abbildung 3 sind die resultierenden Terzspektren in mm/s dargestellt.

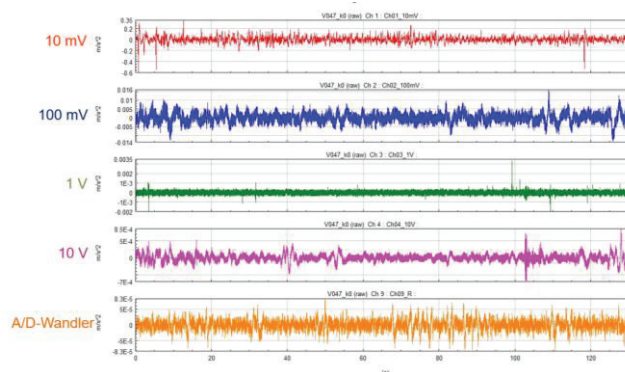


Abbildung 2: Beschleunigungssignal der einzelnen Sensoren in m/s^2

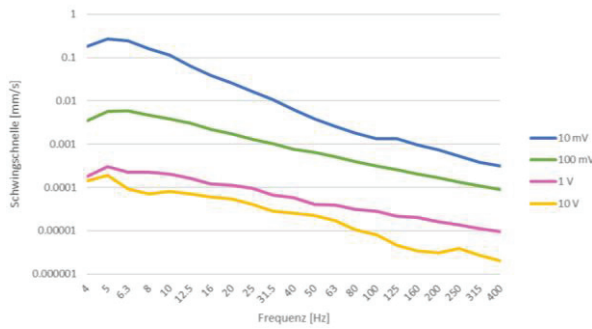


Abbildung 3: Terzspektrum der einzelnen Sensoren in mm/s

Beurteilung

Unter der Annahme, dass die Messungen z. B. in einem Gebäude erfolgten, der Schwingungseinfluss als kontinuierlich angenommen werden kann, erfolgt eine Bewertung der Messung nach DIN 4150. Die Messwerte werden dabei in KB-Werte umgerechnet. Hieraus ergeben sich folgende Anhaltswerte für die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r} der einzelnen Sensoren:

10 mV/g:	$KB_{FT_r} = 0,328$ (niedrigerer Wert erwartet)
100 mV/g:	$KB_{FT_r} = 0,009$
1 V/g:	$KB_{FT_r} = 0,0004$
10 V/g:	$KB_{FT_r} = 0,0002$

Die Untersuchung zeigt, dass für den 10 mV-Sensor der Anhaltswert A_r der Beurteilungsschwingstärke für alle Gebietscharakteristika sowohl tags als auch nachts überschritten wird. Dies hätte zur Folge, dass etwaige Bauprojekte nicht bzw. nur mit Umsetzung von Erschütterungsschutzmaßnahmen realisiert werden können.

Daher ist bei schwachen (ebenso bei starken) Signalen die Auswahl des passenden Sensors von wichtiger Bedeutung. Die Wahl des falschen Sensors kann zu fehlerhaften Ergebnissen führen.

Messschwierigkeiten

Bei der Versuchsdurchführung zeigte sich, dass eine „simple“ Messung von Nichts schwierig ist, da fast überall Störeinflüsse vorhanden sind. Im Folgenden werden unterschiedliche Einflussfaktoren aufgezeigt, welche sich im vorliegenden Versuch als relevant herausgestellt haben.

Eigenfrequenzen und Mikrofonieeffekte:

Abbildung 4 zeigt die Spektren der einzelnen Sensoren, angebracht auf einer Bodenplatte. Es stellte sich heraus, dass die sensibleren Sensoren (1 V/g und 10 V/g) im tiefen Frequenzbereich die Eigenfrequenz der Bodenplatte aufzeichnen und dies bei den Messungen dem höchsten Energieanteil entspricht. Beim 10 V/g – Sensoren treten bei höheren Frequenzen zudem Mikrofonieeffekte auf, welche zu einer weiteren Verfälschung des tatsächlichen Signals führen können.

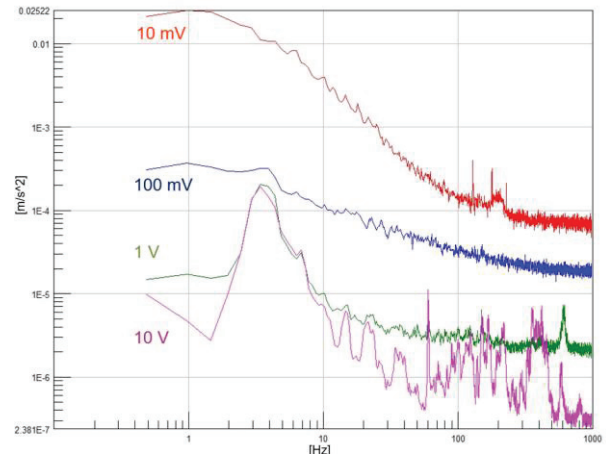


Abbildung 4: Spektrum der einzelnen Sensoren in m/s^2 , Einfluss Eigenfrequenz und Mikrofonieeffekt

Einfluss Messbereich:

In Abbildung 5 ist das Messsignal des 1 V/g – Sensors für unterschiedlich gewählte Messbereiche im A/D-Wandler dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass ein zu hoch gewählter Messbereich zu einer Erhöhung der Messsignale führen kann. Andererseits führt ein zu gering gewählter Messbereich zu einem Abschneiden des Signals. Daher sollte der Messbereich so eingestellt werden, dass das Nutzsignal nicht unter 30 % des gesamten Messbereiches liegt.

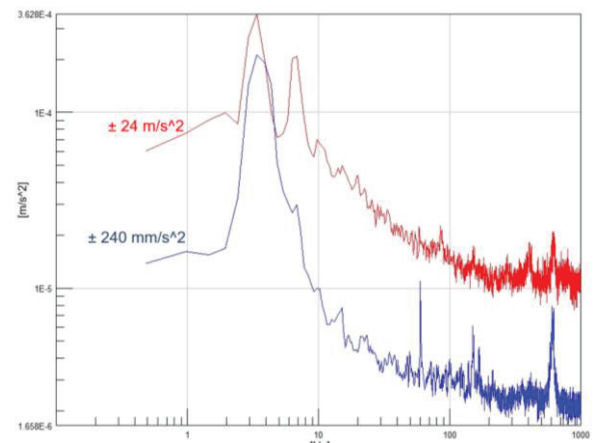


Abbildung 5: Spektrum 1 V/g - Sensor bei unterschiedlichem Messbereich in m/s^2

Einfluss Sonneneinstrahlung:

Abbildung 6 stellt das Messsignal des 10 V/g – Sensors bei Sonneneinstrahlung und ohne Sonneneinstrahlung dar. Es zeigt sich, dass bei (starker) Sonneneinstrahlung das Eigenrauschen des Sensors zum Teil deutlich höher liegt. Daher sollte an heißen Tagen darauf geachtet werden, dass die Sensoren vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden.

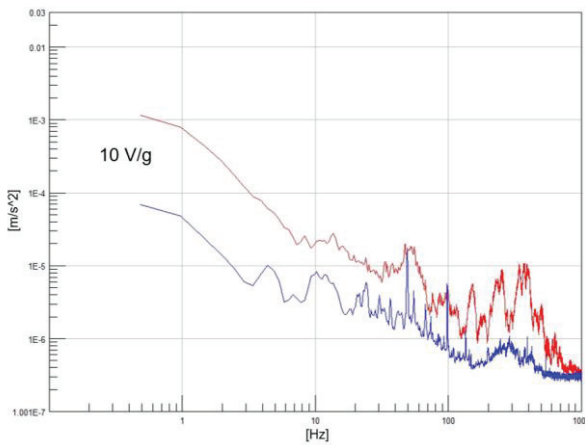


Abbildung 6: Spektrum 10 V/g - Sensor mit / ohne Sonneneinstrahlung in m/s^2

Fazit

Es zeigt sich, dass bei schwachen (aber auch starken) Signalen die Auswahl des passenden Sensors von entscheidender Bedeutung ist. Ein Sensor mit falsch gewählter Sensitivität kann zu unbrauchbaren Ergebnissen bzw. zu einer falschen Beurteilung der Messergebnisse führen. Dies kann zur Folge haben, dass Bauprojekte nicht realisiert werden können bzw. deutliche Mehrkosten für unnötigen Schwingungsschutz entstehen. Auch bei der Wahl des passenden Sensors kann es bei schwachen Signalen weiterhin zu einem geringen Störabstand kommen. Um hier eine Beurteilung durchführen zu können empfiehlt sich die Durchführung einer Signalkorrektur entsprechend einer Schallpegelkorrektur. Voraussetzung hierfür ist das Wissen über das Signalrauschen des Sensors. Ferner können anstatt Beschleunigungssensoren auch Geschwindigkeitsaufnehmer (Geophone) verwendet werden. Diese weisen insbesondere im tieffrequenten Frequenzbereich ein geringeres Rauschverhalten auf.

Generell gilt es bei Messungen Störeinflüsse zu minimieren bzw. auszuschließen. Hierzu zählen insbesondere die Wahl des richtigen Messbereichs, Vermeidung von Mikrofonieeffekten, Vermeidung direkter Sonneneinstrahlung oder der Einfluss des 50 Hz – Brummens externer Stromleitungen.