

## **Erschütterungseinwirkung bei Präzisionsgeräten: Grenzwerteinhaltung unter dem Aspekt der korrekten Signalanalyse**

B. Tappauf, M. Legenstein, M. Ofner, Benedikt Tappauf GmbH, Graz, A

K. Alten, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien, A

S. Appel, A. Tributsch, GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, Berlin, D

D. Gsell, M. Kramar, ZC Ziegler Consultants AG, Zürich, CH

### **Abstract**

Die Anforderungen an die zulässigen Erschütterungen von Präzisionsanlagen wie z.B. Geräte für Feinmesstechnik, Mikroskopie, Chipfertigung, an Massenspektrometern sowie bei laseroptischen Anwendungen oder empfindlichen Analysegeräten können Größenordnungen unterhalb der menschlichen Wahrnehmungsgrenze liegen. In der Praxis sind Anhaltswerte für zulässige Erschütterungen nur selten in eindeutiger und vollständiger Form vorhanden. Es werden stattdessen vielfach vereinfachte und sehr grobe Angaben von den Herstellern gemacht, die historisch gewachsen sind und meist auf der sicheren Seite liegen, da diese in der Regel aus Messungen an optimalen Bestandsituationen abgeleitet werden. Diese Richtwertangaben können als Schwingungsspektren in Form von Amplitudenspektren, PSD-Spektren (Power Spectrum Density) oder Terzspektren, oder aber auch als Weg-, Schwinggeschwindigkeits- oder Beschleunigungsspektren angegeben sein.

Nicht immer geht aus den Angaben klar hervor, wie die Grenzwerte zu interpretieren sind. Die Mess- und Auswerteprozedur muss meist hinterfragt werden, um aus den Messwerten geeignete Beurteilungsspektren berechnen und den Grenzwerten gegenüberstellen zu können. Besondere Beachtung verdient die jeweilige anzuwendende Mess- und Auswerteprozedur. Mittelungsparameter der Einzelspektren (lineare oder energetische Mittelung, Peak-Hold- Werte, Fenstergröße der FFT-Analyse) können die Ergebnisse um 300 % bis 500 % beeinflussen. [1]

Das Institute of Environmental Sciences and Technology (IEST) ist der Herausgeber einer Richtlinie mit Empfehlungen zur Ermittlung von Schwingungen in Fertigungsanlagen für Mikroelektronik [2]. Die darin empfohlenen Messberichtvorlagen tragen jenem Umstand Rechnung, dass Vibrationen in Gebäuden sowohl transienter, periodischer als auch zufälliger Natur sein können. Je nach Bewegungsbild können unterschiedliche Auswertemethoden die zweckmäßigste Aussage betreffend die zulässigen Richtwerte liefern. Es wird daher betont, dass die Vergleichbarkeit der Untersuchungen nur durch eine einheitliche Vorgehensweise in der Dokumentation der Auswertung sichergestellt werden kann. Von Colin G. Gordon wurden in den 1980er Jahren Schwingungskriterien (Vibration Criteria VC) entwickelt, die eine Klassifizierung erschütterungssensibler Geräte bei unterschiedlicher Produktionsgenauigkeit bzw. Strukturgröße der Produkte erlaubt. Die "VC-Linien" sind international weit verbreitet und in zahlreichen Publikationen (leicht modifiziert und teilweise mit unterhaltsamen Übersetzungsfehlern) veröffentlicht. Beispielweise werden diese Richtwerte in der VDI 2038 – ergänzt mit den sogenannten „Nano-Linien“, die Gerätegenauigkeiten bis unter 1 nm berücksichtigen – angegeben. Sie definieren grundsätzlich Grenzkurven von „Max Hold Terz-Schwinggeschwindigkeitsspektren“.

Während einerseits die Richtwerte selbst klar definiert sind, geben Publikationen andererseits keine vernünftigen Angaben für eine vereinheitlichte Form der Berechnung der Max Hold Spektren. Sowohl die Art der Frequenzfilterung (FFT, Zeitfilter) als auch – viel entscheidender für das Endergebnis – die Wahl der Integrationszeit müssen mangels Angaben von jedem Ingenieur selbst gewählt werden. Diese

Thematik wird bereits in einigen Nachfolgepublikationen [3, 4], die gewissen Überarbeitungsbedarf in der Definition und Anwendung der VC-Linien ansprechen, beschrieben.

Für die Auswertung der Erschütterungsmessdaten verwenden Planer häufig eine der am Markt erhältlichen Programme und die darin definierten Bearbeitungsschritte und Parameter. Bedingt durch nicht eindeutige Definitionen der Berechnungsparameter unterliegt die Datenauswertung der Expertise des jeweiligen Fachpersonals und es können auch vermeintliche Standardverfahren Diskrepanzen von mehr als 10 dB ergeben [5], was zu Mittelalterlichen Verhältnissen führt: Unter Verweis auf die VDI 2038 können somit für ein und dieselbe Situation nach Belieben des Gutachters unterschiedliche Beurteilungen abgegeben werden.

Im vorliegenden Beitrag werden anhand einiger Beispieldatensätze verschiedene Ingenieurbüros um eine entsprechende Auswertung gemäß VC-Linien ersucht. Um ein möglichst realistisches Szenario zu erstellen, werden nur Informationen über den Messort und das betroffene Gerät geteilt, nicht jedoch eine exakte Vorgabe zur Auswerteprozedur. Es soll dabei untersucht werden, wie sich die Ergebnisse aufgrund der gewählten Signalanalyse in ihrer Aussage unterscheiden können und ob dadurch potentiell andere Planungsvorgaben hinsichtlich des Aufstellungsortes entstehen können.

Die Autoren legen besonderes Augenmerk auf potentielle Pegelunterschiede, die bei vermeintlich gleicher Vorgehensweise aufgrund verschiedener Signalbearbeitungsmethoden in den Tools entstehen. Anwender werden im Beitrag auf die Ursachen für eventuelle Abweichungen hingewiesen und erhalten Empfehlungen, wie derartige Differenzen bestmöglich vermieden werden können. Diese Empfehlungen für die Definitionen der Berechnungsparameter entstanden aus einem Vergleich der Vorgangsweise der Autoren und können als Grundlage zukünftiger Normierungen herangezogen werden.

## **Literatur**

[1] VDI 2038: Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen.

[2] Institute of Environmental Sciences and Technology, Measuring and Reporting Vibration in Microelectronics Facilities, IEST-RP-CC024.1, 2002

[3] Amick, H., On Generic Vibration Criteria for Advanced Technology Facilities with a Tutorial on Vibration Data Representation, Journal of the Institute of Environmental Sciences, 1997, v. XL, no. 5, pp. 35-44

[4] Gordon, C.G., Generic Vibration Criteria for Vibration-Sensitive Equipment, Proceedings Volume 3786, Optomechanical Engineering and Vibration Control, 1999

[5] Alten, Egger, Das Terzspektrum - Analyse und Vergleich gängiger Auswerteprogramme für Erschütterungsuntersuchungen des Schienenverkehrs, Ziegler Baudynamik Symposium, Zürich, 2022