

Allgemeine Schwingungskriterien für empfindliche Einrichtungen

Umgebungsvibrationen sind ein wichtiges Beurteilungskriterium für empfindliche Einrichtungen. Dazu gehören zum Beispiel Fotolithografieanlagen in der Mikroelektronik, Anlagen zur Herstellung nanoelektronischer Komponenten und Rasterelektronenmikroskope in biomedizinischen Forschungsinstituten. In vielen Fällen werden Schwingungsgrenzwerte vom Gerätehersteller vorgegeben. Ist dies nicht der Fall, können allgemeine Schwingungskriterien herangezogen werden. Solche Kriterien wurden erstmals in den 80er Jahren entwickelt. Diese so genannten VC-Grenzwerte werden triaxial mittels 1/3-Oktav-Analyse als Effektivwerte der Schwinggeschwindigkeit bestimmt. Die resultierenden Kurven werden mit VC-A bis VC-G bezeichnet.

Schwingungskriterium	Schwingpegel im RMS-Terzspektrum	Anwendung	Strukturgröße
Wahrnehmungsgrenze	100 $\mu\text{m/s}$ (4 bis 80 Hz)	menschliche Fühlschwelle, für Schlafbereiche, Opernhäuser, Theater, Mikroskope bis 100-fach	30 μm
VC-A	50 $\mu\text{m/s}$ (4 bis 80 Hz)	optische Mikroskope bis 400-fach	8 μm
VC-B	25 $\mu\text{m/s}$ (1 bis 80 Hz)	Inspektionsgeräte, anspruchsvolle Labore, Lithografiegeräte inkl. Stepper	3 μm
VC-C	12,5 $\mu\text{m/s}$ (1 bis 80 Hz)	Mikroskope bis 1000-fach, meiste Lithografie- und Inspektionsgeräte	1 μm
VC-D	6,25 $\mu\text{m/s}$ (1 bis 80 Hz)	sehr hochwertige Elektronenmikroskope (TEM/SEM), Elektronenstrahlsysteme	0,3 μm
VC-E	3,1 $\mu\text{m/s}$ (1 bis 80 Hz)	Geräte höchster Präzision, schwer einzuhalten, vorzugsweise auf nicht unterkellerten Bodenplatten	0,1 μm
VC-F	1,6 $\mu\text{m/s}$ (1 bis 80 Hz)	extrem ruhige Forschungsräume, sehr schwer erreichbar, nur zur Charakterisierung, kein Auslegungskriterium	
VC-G	0,8 $\mu\text{m/s}$ (1 bis 80 Hz)	extrem ruhige Forschungsräume, sehr schwer erreichbar, nur zur Charakterisierung, kein Auslegungskriterium	

Schwingungskriterien für die Nanotechnologie enthält VDI 2038-2:

Nano-Kriterium	Schwingpegel im RMS-Terzspektrum	Anwendung	Strukturgröße
Nano-D	1,6 $\mu\text{m/s}$ von 1 bis 5 Hz 6,4 $\mu\text{m/s}$ von 20 bis 100 Hz	Sehr schwer einzuhalten, für REM der Nanotechnik, Obergeschosse mit hohen Anforderungen an Steifigkeit und Eigenfrequenz	1 nm
Nano-E	0,8 $\mu\text{m/s}$ von 1 bis 5 Hz 3,2 $\mu\text{m/s}$ von 20 to 100 Hz	Extremes Kriterium für REM der Nanotechnik, nur auf sehr massiven Bodenplatten und nur bei sehr günstigen Baugrundvoraussetzungen einhaltbar	0,2 - 0.5 nm
Nano-EF	0,53 $\mu\text{m/s}$ von 1 bis 5 Hz 2,1 $\mu\text{m/s}$ von 20 bis 100 Hz	strengstes Kriterium für REM und TEM der Nanotechnik für Auflösungen im Sub-Ångströmbereich, nur unter sehr speziellen Bedingungen und besonderen Baukonstruktionen einhaltbar	0,1 nm

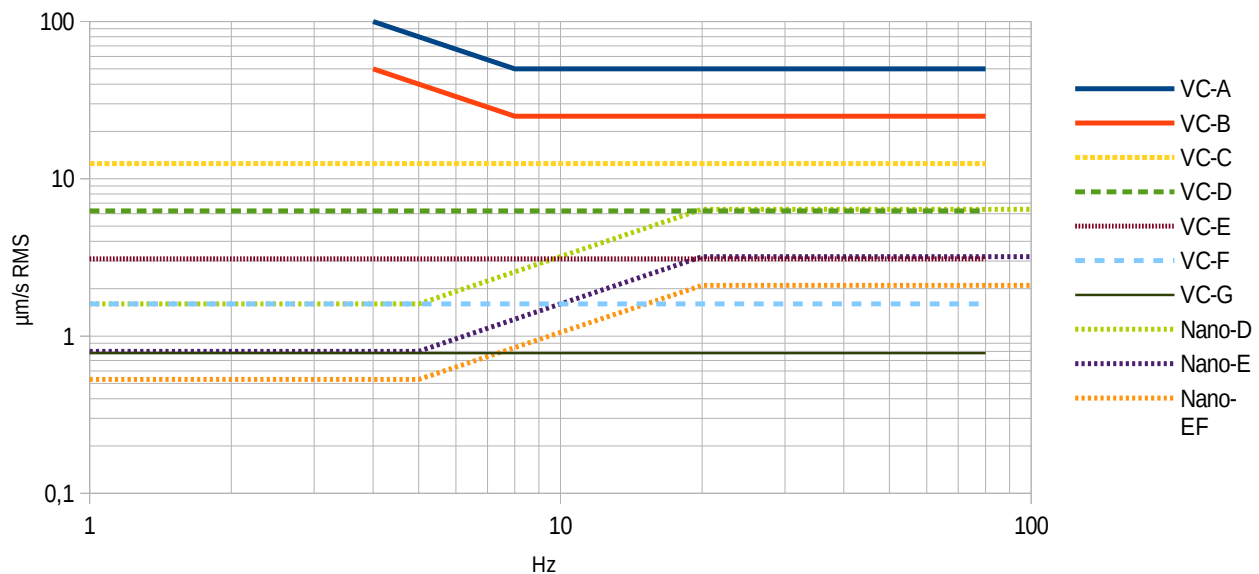


Bild 1: VC- und Nano-Grenzlinien

Die menschliche Wahrnehmungsgrenze liegt zum Vergleich bei 100 bis 200 $\mu\text{m/s}$.

Ein weiterer Standard für die Beurteilung von Schwingungen in Gebäuden mit empfindlichen Ausrüstungen ist ISO/TS 10811.

Zur Auswahl geeigneter Schwingungssensoren ist die tiefste zu messende Frequenz relevant, da dort die geringste Beschleunigung zu erwarten ist.

Als Beispiel hat der Triaxialaufnehmer KS823B eine Rauschdichte von $0,8 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ bei 1 Hz. Für den Frequenzbereich von 1 bis 10 Hz ergibt sich ein Rauschanteil von ca. $2,4 \mu\text{g}$ bzw. $24 \mu\text{m/s}^2$. Bei der tiefsten Frequenz von 1 Hz entspricht das einer Geschwindigkeit von $v = a/\omega = 3,8 \mu\text{m/s}$. Die gleiche Berechnung für 10 bis 80 Hz mit $0,2 \text{ mg}/\sqrt{\text{Hz}}$ Rauschdichte ergibt $1,7 \mu\text{g}$, was $2,7 \mu\text{m/s}$ bei 10 Hz entspricht. Der KS823B eignet sich somit bis Schwingungskriterium VC-D.

Für noch empfindlichere Messungen eignet sich der KB12VD mit einer Rauschdichte von nur $0,06 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ bei 1 Hz. Der Sensor ist damit bis zum Kriterium VC-F bzw. Nano-EF einsetzbar. Dies ist jedoch nur der Fall, wenn das Rauschen der weiteren Messkette nicht höher als das Sensorrauschen ist.

Metra bietet zur Messung nach VC- und Nano-Kriterien den Schwingungsanalysator VM100 und das Modul VM-OCT+ des VibroMetra-Messsystems an.

Links

Evolving criteria for research facilities: vibration

<https://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.617970?SSO=1>