

Ingenieurbüro Dr. Stöbener
Ebereschenring 45
34346 Hann.Münden
Germany

Phone +49 5541 799919
Fax +49 5541 799918
info@w-ave.de
www.w-ave.de

Messbericht (Kurzbericht)

Analyse der Gebäudeschwingungen
Muster Laborgebäude

Auftraggeber:
Muster GmbH
Herr Dr. Mustermann

Datum/Zeit:

01. Juli 2008, 14:00 – 16:45 Uhr

Messungen durchgeführt und Bericht erstellt von:

Dr.-Ing. Uwe Stöbener,
Ingenieurbüro Dr. Stöbener, Hann.Münden

Inhaltsverzeichnis

1. Messtechnik, Software und Durchführung der Messung	3
1.1 Schwingungsaufnehmer und Messverstärker	
1.2 PC Interfacekarte	
1.3 Signalverarbeitungssoftware und Verarbeitung der Messdaten	
1.4 Durchführung	
2. Einleitung	3
3. Lage, Nutzung und Ausstattung der Gebäude	3
4. Messergebnisse	5
4.1 3. Stock	
4.2 Keller	
5. Analyse und Bewertung	7
6. Empfohlene Lösung	8
7. Haftungsausschluß	8

1. Messtechnik, Software und Durchführung der Messung

1.1. Schwingungsaufnehmer und Messverstärker

Für die vorliegenden Messungen wird ein *Explorer* Schwingungsmess-System, bestehend aus zwei Triax-Beschleunigungsaufnehmern und dazugehörigen Ladungs-Messverstärker, verwendet. Der Frequenzbereich des Systems beträgt 1-500 Hz, bei einer Linearität von +/- 5%. Der Messbereich umfasst 10^{-7} – 5×10^{-2} m/sec.

1.2. PC Interfacekarte

Als PC Interface wird eine PCMCIA Einsteckkarte vom Typ *Measurement Computing DAS16/16* verwendet. Diese Karte enthält 8 differenzielle Eingänge, von denen 6 differenzielle Eingänge über die die Signale des *Explorers* eingelesen werden. Die Auflösung des Messbereichs beträgt 16 Bit auf einen Eingangsspannungsbereich von +/- 1,25 V.

1.3. Signalverarbeitungssoftware und Verarbeitung der Messdaten

Während der Messungen erfolgt die Signalverarbeitung und Transformation mit *Spectrum S1*. Diese Software erlaubt die graphische Darstellung des Schwingungssignals im Zeitbereich sowie im Frequenzbereich. Für die Fouriertransformation wird die Hanning Fensterfunktion eingesetzt. Die Messwerte werden über 20 Messdurchgänge gemittelt. Jeder Messdurchgang dauert 10 Sekunden. In der Darstellung und Analyse wird grundsätzlich die Schwinggeschwindigkeit \dot{v} in m/s als Basiseinheit verwendet. Alle Werte sind Amplituden.

Für die Darstellung der Ergebnisse in diesem Bericht werden die Messdaten mit *Matlab* importiert und graphisch weiterverarbeitet.

1.4. Durchführung

Die Messpunkte (MP) wurden entsprechend der gewünschten Aufstellposition des Mikroskopes im 3. Stock und im Keller ausgewählt. Die Messköpfe wurden so aufgestellt, daß die x-Richtung mit der Gebäudelängsachse und die y-Richtung mit der Gebäudequerachse übereinstimmen. Da die Messung unmittelbar auf der rauhen und unebenen Rohbetondecke erfolgte, wurden die Messköpfe auf Dreipunktfüße aufgestellt.

2. Einleitung

Die nachfolgenden Messungen wurden durch die Muster GmbH beauftragt, um die Schwingungssituation in insgesamt zwei ausgewählten Räumen hinsichtlich der Eignung für die Aufstellung und den Betrieb eines Rasterelektronenmikroskops (REM) Typ Zeiss EVO 60 zu beurteilen.

3. Lage, Nutzung und Ausstattung der Gebäude

Das untersuchte Gebäude ist ein Neubau im Werk Musterstadt der Muster GmbH. In dem Gebäude sollen Büros und Laborbereiche eingerichtet werden. Der Einbau schwerer Maschinen ist nicht geplant, jedoch ist im Keller eine große Klima- und Lüftungsanlage montiert. Diese war jedoch während der Messung nicht in Betrieb.

In unmittelbarer Nähe des Gebäudes befindet sich eine Produktionshalle. Die Produktion ist 24 Stunden pro Tag in Betrieb und ist auch mit schweren Maschinen ausgestattet.

Zwischen dem Gebäude und der Produktionshalle befindet sich eine Werkstraße, auf der auch Schwerverkehr stattfindet. Zum Zeitpunkt der Messung gab es allerdings keinen nennenswerten Verkehr.

Ungefähre Lage der Messpunkte:

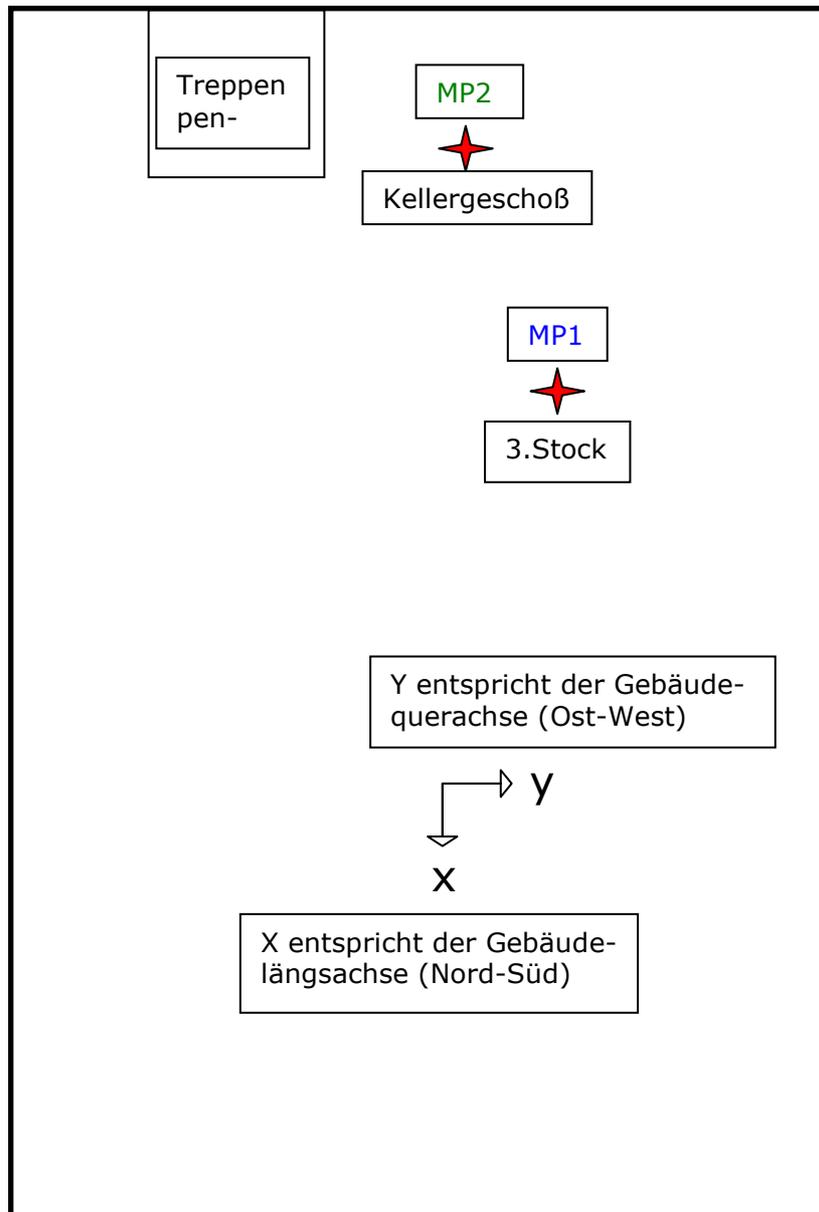


Abb. 1: Lage der Messpunkte MP1 und MP2

4. Messergebnisse

4.1. 3. Stock

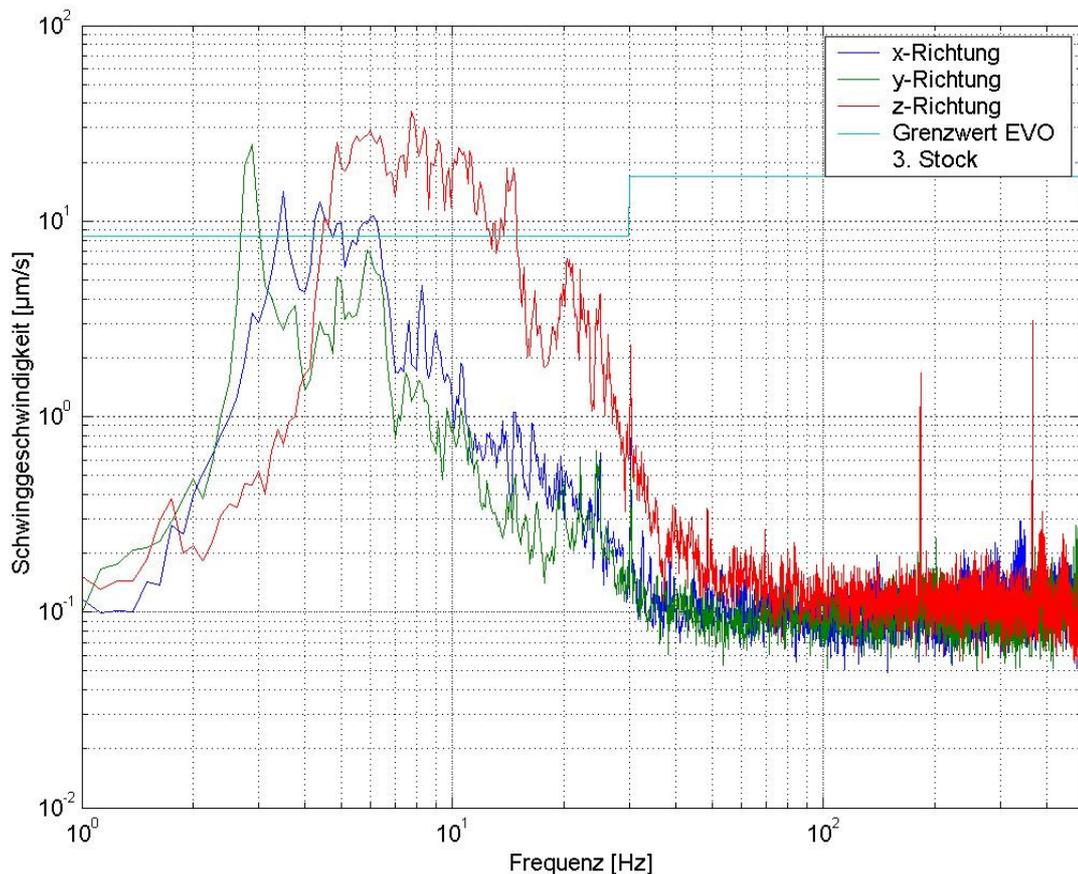


Abb. 2: Schwinggeschwindigkeit am MP1

In der Abb. 2 sind die gemessenen Spektren der Schwinggeschwindigkeit in den drei Raumrichtungen im Frequenzbereich von 1 bis 500Hz doppeltlogarithmisch aufgetragen. Desweiteren ist die Grenzwertkurve für ein Zeiss EVO Rasterelektronenmikroskop eingezeichnet ($8,4\mu\text{m/s} = 6\mu\text{m/s RMS}$ für Frequenz $< 30\text{Hz}$, $16,8\mu\text{m/s} = 12\mu\text{m/s RMS}$ für Frequenz $> 30\text{Hz}$).

Augenfällig wird die Grenzwertkurve im Frequenzbereich zwischen 2,6Hz und 15Hz in allen drei Raumrichtungen von den gemessenen Kurven überschritten!

Die größten Amplituden von $35\mu\text{m/s}$ treten in der Vertikalen (z-Richtung) bei einer Frequenz von 7,9Hz auf, womit der zulässige Grenzwert etwa um den Faktor 4 überschritten wird. Weitere Spitzenwerte von 25 bis $30\mu\text{m/s}$ sind in dieser Richtung bei Frequenzen von 4,9Hz, 6,0Hz, 6,3Hz, 8,4Hz sowie 9,1Hz zu identifizieren.

In der Richtung der Gebäudelängsachse (x-Richtung) sind Überschreitungen des Grenzwertes bei 3,5Hz, 4,3Hz, 5,0Hz und 6,1Hz zu verzeichnen. Insbesondere tritt die Amplitude bei 3,5Hz mit einem Wert von $15\mu\text{m/s}$ hervor. Diese Spitze ist mit der strukturdynamischen Nickbewegung des Gebäudes zu erklären, die sich typischer Weise in höheren Stockwerken bemerkbar macht. In der Richtung der Gebäudequerachse ist das Phänomen der Nickbewegung noch ausgeprägter. Hier ist eine Amplitude von $24\mu\text{m/s}$ bei einer Frequenz von 2,9Hz zu beobachten.

4.2. Keller

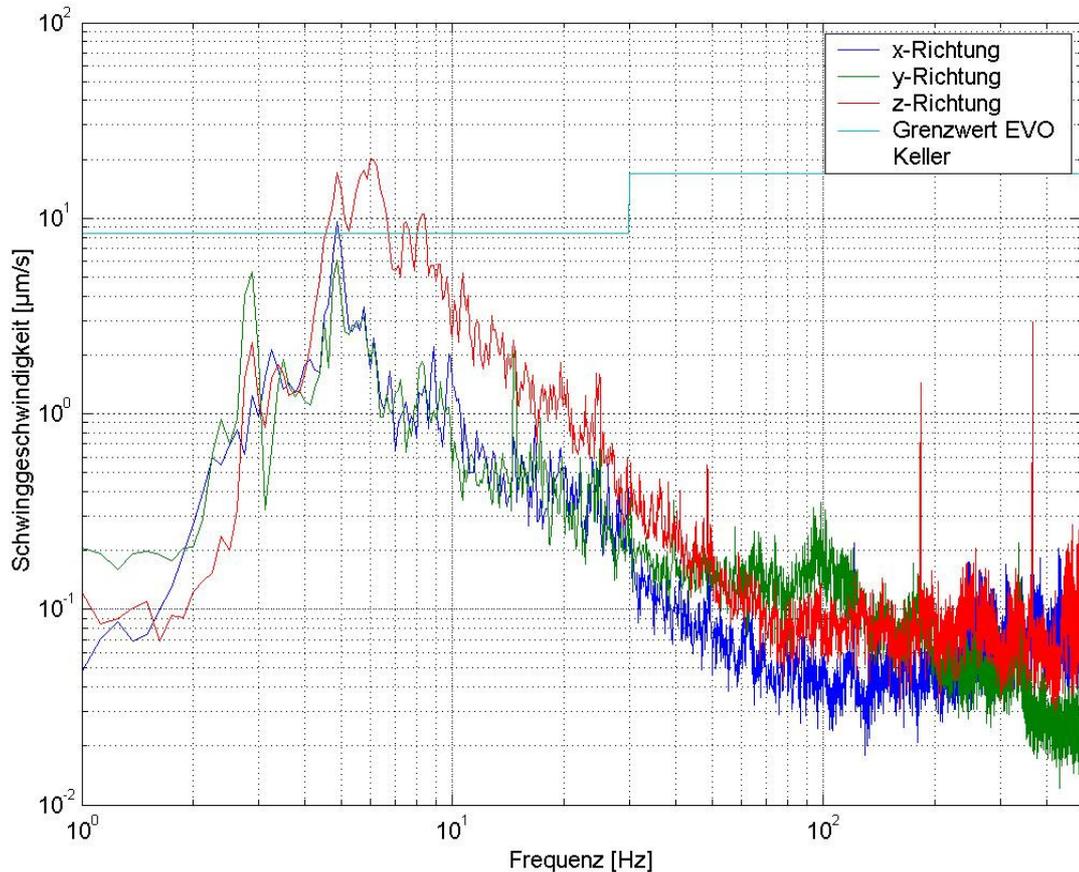


Abb. 3: Schwinggeschwindigkeit am MP2

Wie bereits in der Abb. 2, so sind auch in der Abb. 3 die gemessenen Spektren der Schwinggeschwindigkeit in den drei Raumrichtungen im Frequenzbereich von 1 bis 500Hz doppeltlogarithmisch aufgetragen und die Grenzwertkurve für ein Zeiss EVO Rasterelektronenmikroskop eingezeichnet.

Die Grenzwertkurve wird im Keller nur in z-Richtung und in x-Richtung überschritten!

Die größten Amplituden von $20\mu\text{m/s}$ treten in der Vertikalen (z-Richtung) bei einer Frequenz von 6,1Hz auf, womit der zulässige Grenzwert etwa um den Faktor 2,5 überschritten wird. Ein weiterer Spitzenwert von $18\mu\text{m/s}$ ist in dieser Richtung bei einer Frequenz von 4,9Hz festzustellen.

In der Richtung der Gebäudelängsachse (x-Richtung) ist die Überschreitung des Grenzwertes bei 4,9Hz mit einem Wert von $9,5\mu\text{m/s}$ zu verzeichnen.

In der Richtung der Gebäudequerachse gibt es einen Peak bei 2,9Hz mit einem Wert von $5,1\mu\text{m/s}$, womit der Grenzwert nicht verletzt wird.

5. Analyse und Bewertung

Anhand der Messergebnisse ist deutlich, daß weder im 3.Stock noch im Keller die zulässigen Grenzwerte für das Aufstellen eines Rasterelektronenmikroskops eingehalten werden.

Bezüglich der Aufstellung im 3.Stock ist insbesondere die Spitze in Gebäudequerrichtung bei 2,9Hz mit 24µm/s als problematisch anzusehen, da Isolationsmaßnahmen bei dieser Frequenz nur bedingt und mit einem hohen technischen Aufwand möglich sind. So entfällt beispielsweise die Möglichkeit einer passiven Isolation gänzlich, da diese üblicher Weise zwischen 2 und 5Hz einen Resonanzbereich aufweist. Damit würde die Schwingung auf der isolierten Struktur sogar höher sein als auf dem Boden. Der Einsatz einer aktiven Isolationsplattform wäre möglich. Hierbei würde die Restamplitude auf der Plattform etwa bei 8µm/s liegen, also etwa dem Grenzwert entsprechen. Unter Beachtung der Schwingungssituation während der Messung und der zu erwartenden Schwingungssituation in der Zukunft, wird sehr wahrscheinlich auch mit dem Einsatz einer aktiven Isolationsplattform die Einhaltung des Grenzwertes nicht zu garantieren sein!

Die Schwingungssituation im Keller stellt sich als weniger kritisch dar. Die Grenzwertüberschreitungen sind sowohl von den Amplitudenwerten geringer als auch von den Frequenzen einfacher zu reduzieren. Das Hauptproblem stellt sich hier in der Isolation der Spitze von 18µm/s bei 4,9Hz dar. Auch hier muß wieder angemerkt werden, daß der Einsatz einer passiven Isolation nicht erfolgreich sein kann, da die Störung im Resonanzbereich der passiven Feder-Masse-Anordnung liegt. Mit einer aktiven Isolationsplattform würde die Schwingungsamplitude demgegenüber ca. auf 3µm/s reduziert werden.

Da in dem neuen Gebäude auch Lichtmikroskope eingesetzt werden sollen, wird folgend auf die Schwingungskriterien (Vibration Criterion, VC) gemäß Colin Gordon hingewiesen. Diese Schwingungskriterien leiten sich aus empirischen Daten ab und erlauben eine Klassifizierung der gemessenen Schwingungen. Die einzelnen Klassen entsprechen dabei typischen Situationen der Gebäude- bzw. Raumnutzung. Ausgehend von der schwingungsintensivsten Klasse "Werkstatt" (Workshop) mit einer Schwingungsamplitude von 800 µm/s definiert Colin Gordon insgesamt 9 Klassen. In der Abbildung 4 sind diese Klassen beschrieben. Die jeweiligen Grenzwerte bzw. die Grenzkurven in der frequenzabhängigen Darstellung sind in Form der Schwinggeschwindigkeit vorgegeben, da erfahrungsgemäß die Empfindlichkeit der Messapparaturen und Laboraufbauten oftmals auf Kurven konstanter Schwinggeschwindigkeiten liegen. Unter 8 Hz steigen die Kurven an, da viele Messapparaturen und Laboraufbauten Resonanzen oberhalb dieses Frequenzbereiches aufweisen. Für Lichtmikroskope mit einer Vergrößerung bis Faktor 400 gibt Gordon die Klasse VC-A (50µm/s RMS) und für eine Vergrößerung bis Faktor 1000 die Klasse VC-B (25µm/s RMS) vor. Somit sollte im 3.Stock zumindest die Lichtmikroskopie bis Faktor 400 betrieben werden können.

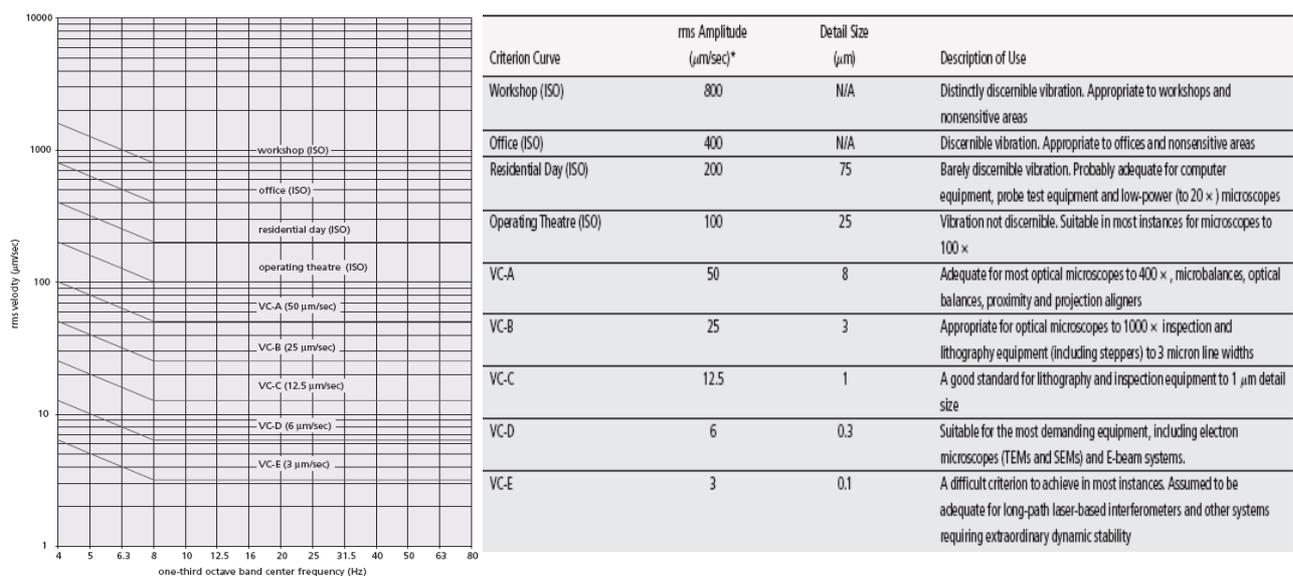


Abb. 4: Klassen und Schwingungskriterien nach Colin Gordon

6. Empfohlene Lösung

Unter Beachtung der Messergebnisse und der technischen Möglichkeiten einer Schwingungsisolation wird empfohlen das Rasterelektronenmikroskop im Keller des Gebäudes aufzustellen. Bei Verwendung einer aktiven Isolationsplattform werden die gemessenen Schwingungsspitzen unterhalb der zulässigen Grenzwerte liegen. Außerdem ergäbe sich mit dieser Lösung eine Leistungsreserve hinsichtlich der Einhaltung der Grenzwerte auch bei zukünftig höherem Schwingungsniveau.

7. Haftungsausschluss

Das Ingenieurbüro Dr. Stöbener erstellt alle Messungen und Analysen nach bestem Wissen und mit Sorgfalt. Dennoch muss die Herausgabe aller Messdaten und Berichte auf Grundlage unserer Allgemeinen Geschäftsbedingungen erfolgen. Das Ingenieurbüro Dr. Stöbener haftet demnach grundsätzlich nicht für die Richtigkeit von Messungen und damit verbundene Folgen.

Bei Fragen wenden Sie sich gerne an:

W.A.V.E. – World of Anti Vibration Engineering
Ingenieurbüro Dr. Stöbener
Ebereschenring 45
34346 Hann.Münden
Telefon +49 5541 799919
Fax +49 5541 799918
info@w-ave.de
www.w-ave.de