

Erschütterungsprognose für sensible Standorte 160 m neben einem geplanten 20 kWs Fallprüfstand

Werner Schirmer¹, Dieter Heiland²

¹ KÖTTER Beratende Ingenieure, 01109 Dresden, Deutschland, Email: werner.schirmer@kbi-dresden.com

² Ingenieurbüro Dr. Heiland, 44791 Bochum, Deutschland, Email: dieter.heiland@baudynamik.de

Einleitung

KÖTTER Beratende Ingenieure Dresden wurden von der FRAUNHOFER GESELLSCHAFT beauftragt, die Aufstellung eines 20 kWs Fallprüfstandes schwingungstechnisch zu planen. Das Auslegungs-Ergebnis ist ein 25 t Blockfundament auf Stahlfeder-Sätzen mit Dämpfungselementen, Hubeigenfrequenz 2,3 Hz. Für in der Umgebung befindliche Standorte schwingungs-sensitiver Geräte war die Vorausermittlung der vom Fallprüfstand zu erwartenden Schwingungseinwirkung erforderlich. Hierzu konnte in der Bauphase Gründung die Möglichkeit genutzt werden, mittels Stoßanregung eines schon eingebrachten Bohrpfahles, der später mit 5 weiteren die Fundamentwanne für das Fundament trägt, die Schwingungsübertragung zu den interessierenden Immissionsorten zu messen. Die Messungen erfolgten in Zusammenarbeit zweier Fachingenieurbüros: Ingenieurbüro Dr. HEILAND: Schwingungs-Immissionsmessungen und baudynamische Beratung; KÖTTER Beratende Ingenieure: Prüfstoß-Erzeugung und Prognoserechnung.

Ersatz-Stoßanregung



Bild 1: Stoß-Erzeugung mit 800 kg Hebevorrichtung

Der Ersatzstoß wurde mit einfachen, am Ort verfügbaren Mitteln erzeugt, siehe Bild 1. Ein 800 kg schwerer Stahlblock wurde mittels eines Hubgerüsts manuell auf eine Höhe von 0,6 m über den Bohrpfahlkopf angehoben und

mittels eines schaltbaren Dauermagneten ausgeklinkt. Die Stoßenergie von 4,7 kWs reichte aus, um auch noch in 220 m Entfernung den im Baugrund übertragenen Stoß mit hinreichendem Abstand vom Ruhe-Schwingungsniveau einer Stadtlage messen zu können. Der Mittelwert über 9 Abwürfe des Stahlblockes direkt auf den Bohrpfahl-Schutzbeton, d. h. ohne die in Bild 1 zu erkennende Holzzwischenlage, betrug 2,3 kWs. Die in den Bohrpfahlkopf eingeleitete Stoßenergie wurde mittels Messtechnik für die Stoßanregung zur Prüfung der statischen Tragfähigkeit von Bohrpfählen ermittelt, hierfür Mitwirkung von DMT Gründungstechnik, 24381 Holzbunze. Diese Energie betrug ca. 50 % der nominellen Stoßenergie $W = m \cdot g \cdot h$.

Immission bei Ersatz-Stoßanregung

Messapparatur

Vom IB Dr. HEILAND wurden an den Messpunkten 1 bis 7 tri-axiale hochsensible Geophone mit geschwindigkeitsproportionalem Signal installiert, siehe Bild 2. Ihre Nachweisgrenze ist ca. 0,01 $\mu\text{m/s}$, ihr Frequenzbereich 1 Hz bis 315 Hz. Aus den FFT-Spektren mit $\Delta f = 0,25$ Hz wurden Max-Hold-Terzspektren im Bereich 1,6 bis 315 Hz berechnet.

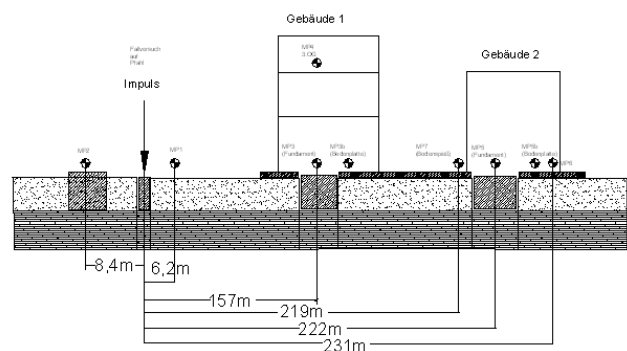


Bild 2: Prinzipskizze der Messpunkte nicht maßstäblich, Keller nicht dargestellt

Immissions-Kenngröße

Zur Kennzeichnung von Erschütterungen hinsichtlich ihrer Störwirkung am Standort von Forschungsapparaturen und Fertigungseinrichtungen der Mikro- und Nano-Technologie haben sich ausgehend von Ungar, E. E. u. a., BBN 1990 Terz-Spektren der Schwinggeschwindigkeit eingeführt. Mit Hilfe von Grenzkurven (generic criteria) im Frequenzbereich von ca. 1 bis 100 Hz werden zulässige Werte und Messwerte

auf Einzahl-Angaben zurückgeführt. Eine viel benutzte Art sind die Vibration Criteria Lines VC-A (50 µm/s) bis VC-E (3,15 µm/s) [1].

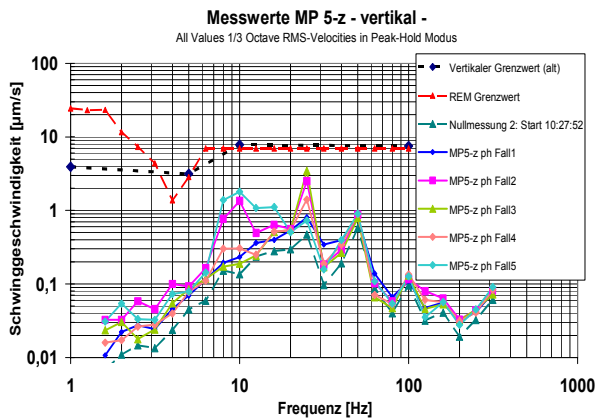


Bild 3: Schwingungsmessung am MP 5 bei Ruhe und bei Anregung, 5 Messungen mit nominal gleicher Ersatzstoßanregung, Grenzkurve für ein Elektronenmikroskop

Modifikationen dieser Kurven werden sowohl von Geräte-Herstellern als auch von Anlagen-Planern verwendet, siehe Bild 3 und [3]. Die Wahl einer CPB-Filterung mit $\Delta f/f_0 = 23\%$ hat gegenüber der FFT-Darstellung mit $\Delta f = \text{konstant}$ insbesondere auch den Vorteil, dass die Terz-Werte frequenzunabhängig äquivalent der Resonator-Response in Geräten sind, die durch die am Aufstellort gemessenen Schwingungen angeregt werden, siehe auch [1].

Immissions-Spektren

Bild 3 zeigt die Ergebnisse für die Vertikal-Schwingung am MP 5 (vgl. Bild 2): Blockfundament mit Versuchsaufbau, in 10 m Tiefe auf Pläner gegründet. Wie für alle Messpunkte erfolgten 5 Stoßanregungen. Aus der Null-Messung ist der sehr günstige Ruhewert erkennbar: bei 10 Hz 0,2 µm/s trotz Stadtlage. Die Erhöhung auf 2 µm/s bei 10 Hz während zweier Messungen ist durch Straßenbahn-Vorbeifahrten auf eigenem Gleisbett in ca. 50 m Abstand verursacht.

Dynamisches Baugrundverhalten

Aus den Zeitsignalen der Schwingungen an MP 2 und MP 3/3b (Bild 2) ergibt sich für die Übertragung im Pläner $c = 1800$ m/s für die Übertragung in der darüber liegenden 10 m mächtigen weichen Bodenschicht $c = 80$ m/s. Durch Parametervariation in der Berechnung der Ausbreitungsdämpfung mit dem Berechnungsmodell nach DIN 4150, T1 [2] erhält man über den Vergleich mit Messwerten für die Dämpfung im Pläner das Dämpfungsmaß $D = 0,05$ statt $D = 0,001$ lt. Tafelwerk-Angaben für Fels. MP 2 befindet sich im Unterschied zu Bild 2 im Keller eines Gebäudes, das in der Plänerschicht gegründet ist.

Prognose

Ziel: Rechnerische Vorausermittlung der bei 20kWs-Fallprüfungen in der Umgebung zu erwartenden Schwingungen in Form ihres Spektrums.

Die Prognose-Formel lautet:

$$v_{Terz,FP} = v_{Terz,Est} \sqrt{\frac{W_{FP} \cdot \eta_{FP}}{W_{Est} \cdot \eta_{Est}}} V(f / f_0, D)$$

mit:

$W = m \cdot g \cdot h$

für Fallprüfung (FP) und Ersatz-Stoß (Est)

$\eta =$ Anteil der in die angeregte Struktur übertragenen Energie

$V =$ frequenzabhängige Isolierwirkung des Fallprüfstandsfundamentes; $f_0 = 2,3$ Hz, $D = 0,1$

$v =$ Schwinggeschwindigkeit, RMS

Bei $\eta_{Est} \approx 50\%$ und $\eta_{FP} \approx 50\%$ (Energieverlust durch Prüflings-Verformung) erhält man $v_{Terz,FP} = v_{Terz,Est} \cdot 2 \cdot V$.

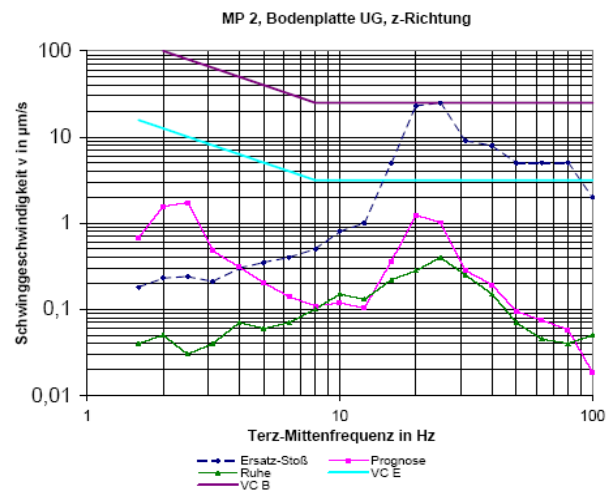


Bild 4: Schwingungen am MP 2, Ruhenniveau, Messungen mit Ersatz-Stoß, Prognose für Fallprüfstand 20 kW

Bild 4 zeigt für den MP 2 (Standort im nur 22 m Entfernung vom Fallprüfstand), dass bei Fallprüfungen infolge der weichen Prüfstands-Lagerung die Schwingungen ab 5 Hz trotz höherer Stoßenergie deutlich kleiner sind, als bei der Messung mit Ersatzstoßanregung. Die Schwingungen gehen von VC-B (25 µm/s) auf VC-E (3,15 µm/s) zurück. Selbst in nur 22 m Abstand sind für Geräte mit dem hohen Schutzanspruch VC-E (3,15 µm/s) keine Beeinträchtigung durch den Fallprüfstand zu erwarten.

Literatur

[1] Gordon, C. G., Generic Criteria for Vibration-Sensitive Equipment, 1991 URL: [http:// www.colingordon.com/pdf/Gordon-SPIE91.pdf](http://www.colingordon.com/pdf/Gordon-SPIE91.pdf)

[2] DIN 4150 T1, Erschütterungen im Bauwesen, Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001

[3] Heiland, D., Beyer, K. Auslegung von schwingungsempfindlichen Produktionsstätten, Beton- und Stahlbetonbau 98, Heft 3 2003, Ernst& Sohn, Berlin, URL: <http://www.baudynamik.de>