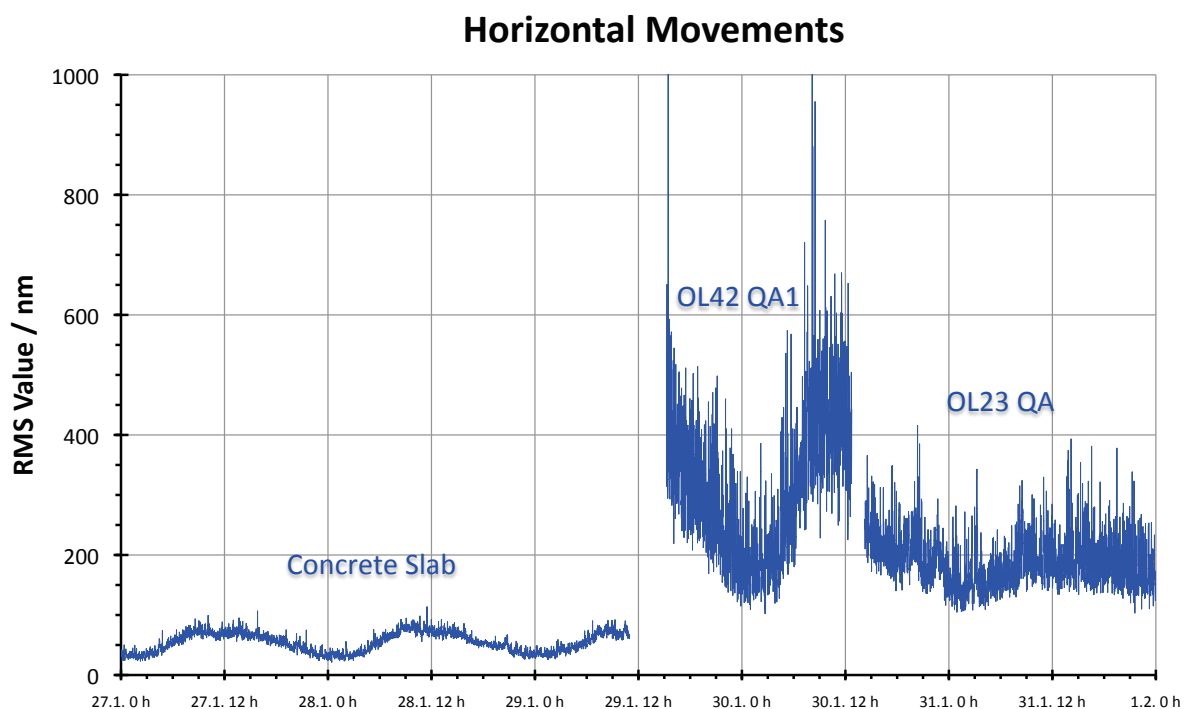


Notiz zur Aufstellung der Quadrupole in den neuen Beschleunigern

Moderne Beschleuniger erfordern wesentlich stabilere Quadrupolaufstellungen¹ als das in der Vergangenheit der Fall war. Eine einfache Regel sagt, dass durch die Aufstellung die unvermeidlichen Bodenvibrationen nicht oder nur unwesentlich verstärkt werden dürfen. Das erreicht man auf jeden Fall, wenn man darauf achtet, dass die Quadrupolaufstellungen keine Resonanzen unterhalb von 50 Hz haben. Da die Anregungen im Mittel mit fallender Frequenz quadratisch ansteigen, sind die Auswirkungen umso stärker, je niedriger die Frequenzen sind, und die mechanischen Frequenzen von größeren rotierenden Maschinen sind meistens kleiner als 50 Hz. In der Tabelle auf der nächsten Seite sind die Transferfunktionen von Quadrupolaufstellungen im „neuen Achtel“ von PETRA III und von einem Girdersprototyp für den XFEL Bunchkompressor zusammengestellt. Keine Aufstellung erfüllt die obige Bedingung!

Erst einmal sagen die Transferfunktionen nichts über die Schwingungen der Quadrupole aus, da sie von den Bodenvibrationen an den Aufstellorten abhängen, die durch äußere und innere Einflüsse stark variieren können. In der nachfolgenden Abbildung sind als Beispiel die sequentiell gemessenen Schwingungen von zwei im „neuen Achtel“ von PETRA III aufgestellten Quadrupolen und von dem Betonboden dargestellt. Durch die Resonanzen der Gestelle werden die Quadrupolschwingungen zum Teil um fast eine Größenordnung verstärkt! Das sollte in zukünftigen Beschleunigern nach Möglichkeit vermieden werden.



¹ Sinngemäß gelten die Überlegungen in dieser Notiz auch für andere sensitive Komponenten wie Monochromatoren und im erweiterten Rahmen auch für die Undulator-teststände. Die Aufstellung dieser Komponenten wurde auch untersucht. Darauf wird hier aber nicht weiter eingegangen.

Seitenansicht von Quadrupol QA1 PETRA OL42.	Horizontale Transferfunktionen von zwei Quadrupolen.
Einzeln aufgestellte Quadrupole im „neuen Achteil“ von PETRA III.	
Übersicht PETRA III Quadrupolträger. PETRA III Quadrupolträger.	Transferfunktionen von einem Quadrupol.
Seitenansicht XFEL Girderprototyp.	Transferfunktionen vom XFEL Girder mit angezogenen Schrauben für die Befestigung der Betonstützen ($M = 80 \text{ Nm}$).
Girderprototyp für den XFEL Bunchkompressor XTL 2000.	

Eine schöne Zusammenfassung über die Problematik der Beschleunigeraufstellung findet man in dem Vortrag „Design of Accelerator Girder System for Vibration Supression“, den Sushil Sharma 2005 beim „Workshop on Ambient Ground Motion and Civil Engineering“ beim NSRRC in Taiwan (1) gehalten hat. Die Schwachstelle bei den hier untersuchten Magnetaufstellungen ist die Verwendung von Stehbolzen in Verbindung mit großen Massen und zum Teil langen Hebelarmen. Das gilt auch für die Befestigung der Stützen auf dem Boden. Traditionell werden sie auf Stehbolzen aufgestellt, mit Muttern justiert und weiteren Muttern gesichert. Danach wird die Bodenplatte mit Quellbeton unterfütert. Das Problem ist, dass auch Quellbeton schrumpft, insbesondere wenn man ihn nicht vorschriftsmäßig behandelt, so dass nach einiger Zeit die Unterfütterung die Last nur noch zum Teil oder gar nicht mehr trägt. Bei dem Girderprototyp für den Bunchkompressor wurden die Justiermuttern gelöst und die Kontermuttern mit dem für die Klebedübel maximalen Drehmoment angezogen. Das hat die Situation nur marginal verbessert. Eine wesentliche Verbesserung erreicht man, wenn die Stütze „kraftschlüssig“ direkt auf dem Boden aufschraubt wird. Das erreicht man mit hinreichend vielen Bolzen, die in Edelstahlspreizdübeln eingeschraubt und alle bis zur Streckgrenze angezogen werden. Solch eine Lösung hat man zur Aufstellung der Undulatoren beim LCLS gewählt. Das nachfolgende Foto zeigt einen Blick in den Tunnel. Die Undulatorträger werden von großen und kurzen Stahlrohren getragen. Am Boden ist an die Rohre ein Flansch angeschweißt. Dieser ist mit zehn oder zwölf Schrauben auf dem Betonboden festgeschraubt. Mehr als drei Schrauben machen nur Sinn, wenn man sie mit gleichem Drehmoment bis zur Streckgrenze anzieht. Eine Grobjustierung wurde mit hinreichend großen Unterlegblechen erreicht. Auf die im Bild sichtbare Wärmeisolation kann man wohl verzichten. Die Rohre sind überdies mit Sand gefüllt. Das ist auch nicht notwendig, könnte aber für Abschirmzwecke in Betracht gezogen werden. Aber alles im allen kann man diese Lösung als Blaupause für zukünftige Stützen benutzen.



Blick in den Undulatortunnel bei der Linear Coherent Light Source beim SLAC.

Im Idealfall sollte man auch auf die Stehbolzen für die Girder- und Quadrupoljustierung verzichten. In jeden Fall sollte man das auf eine Justierung beschränken und die Bolzen im Gewindedurchmesser so groß und in der Länge so kurz auslegen, dass es keine Resonanzen unterhalb von 50 Hz gibt. Die Resonanzfrequenz ist proportional zum Gewindedurchmesser. Häufig reicht es schon aus, wenn man den Gewindedurchmesser von M16

auf M24 erhöht. Man sollte auch darauf achten, dass der Massenschwerpunkt über dem Schwerpunkt des Dreiecks liegt, welches von der Aufstellung gebildet wird, damit die Resonanzfrequenz nicht gesplittet wird. Bei der Erweiterung von PETRA III und beim XFEL sollen die Magnetstützen aus Beton hergestellt werden. Wenn man diese Stützen auch kraftschlüssig auf dem Boden festschraubt, ist wohl nichts dagegen einzuwenden. Stehen sie aber auf Bolzen, so werden die Resonanzfrequenzen durch das höhere Gewicht erniedrigt, was die Eigenschaften verschlechtert. Die Eigenfrequenzen der Stützen werden in erster Näherung nicht angeregt, deshalb ergibt sich aus der höheren Dämpfung keinen Vorteil. Die Schwingungen werden im Wesentlichen nur in den Bolzen gedämpft, was man auch gut an den Transferfunktionen der PETRA III Magnete erkennen kann. Deshalb ist es auch keine Verbesserung, wenn man die Girder aus Beton oder Granit herstellt. Zu bevorzugen ist immer eine vergleichsweise leichte Konstruktion aus einem stabilen Stahlträger oder -rohr.

Referenzen

1. [Workshop on Ambient Ground Motion and Civil Engineering](#), NSRRC, Hsinchu, Taiwan, July 21 to 22, 2005.