

ERSCHÜTTERUNGSPROBLEME IM FITNESS-CENTER

T. Rupp, Basler & Hofmann AG, CH

1. Ausgangslage

Ein ehemaliger Industriebau in der Stadt Zürich wird heute multifunktional genutzt. Neben verschiedenen Restaurants und Imbissmöglichkeiten werden zahlreiche Räumlichkeiten auch als Verkaufsflächen und Büros genutzt. Im 1. Stock befindet sich ein grösseres Fitnesscenter.

Direkt unterhalb des Fitnesscenters (Abkürzung FC) befindet sich das Grossraumbüro eines Sportartikelhändlers. Die Mutterfirma ist in Nordamerika beheimatet, entsprechend laufen die Hauptaktivitäten ab Mittag bis in den späten Abend. Seit der Installation einer neuen Gerätereihe im FC haben die Erschütterungen im untenliegenden Büro markant zugenommen.

Das Büro Basler&Hofmann wurde mit einer Erschütterungsuntersuchung beauftragt und sollte die auftretenden Erschütterungen objektiv beurteilen und mögliche Minderungsmassnahmen aufzeigen.



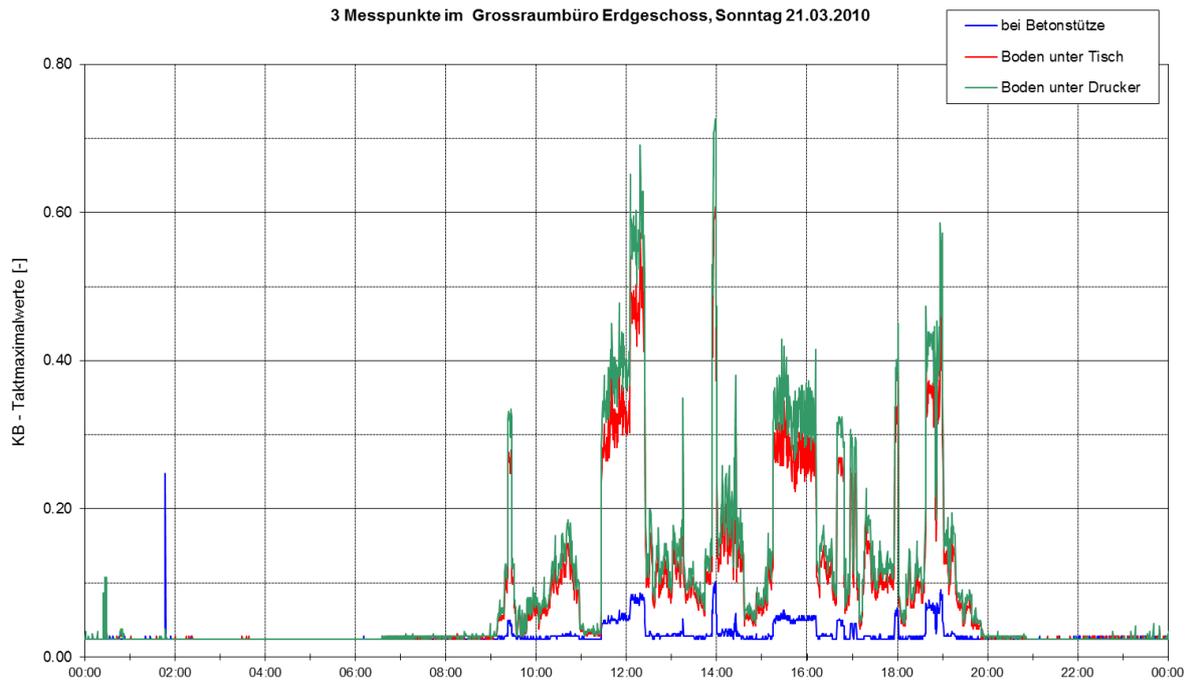
Figur 1 Grundriss 1. OG mit Fitnesscenter (grün unterlegte Bereich mit Laufbändern, blaue Kreise = Messpunkte im Erdgeschoss)

2. Erschütterungsmessung im Ausgangszustand

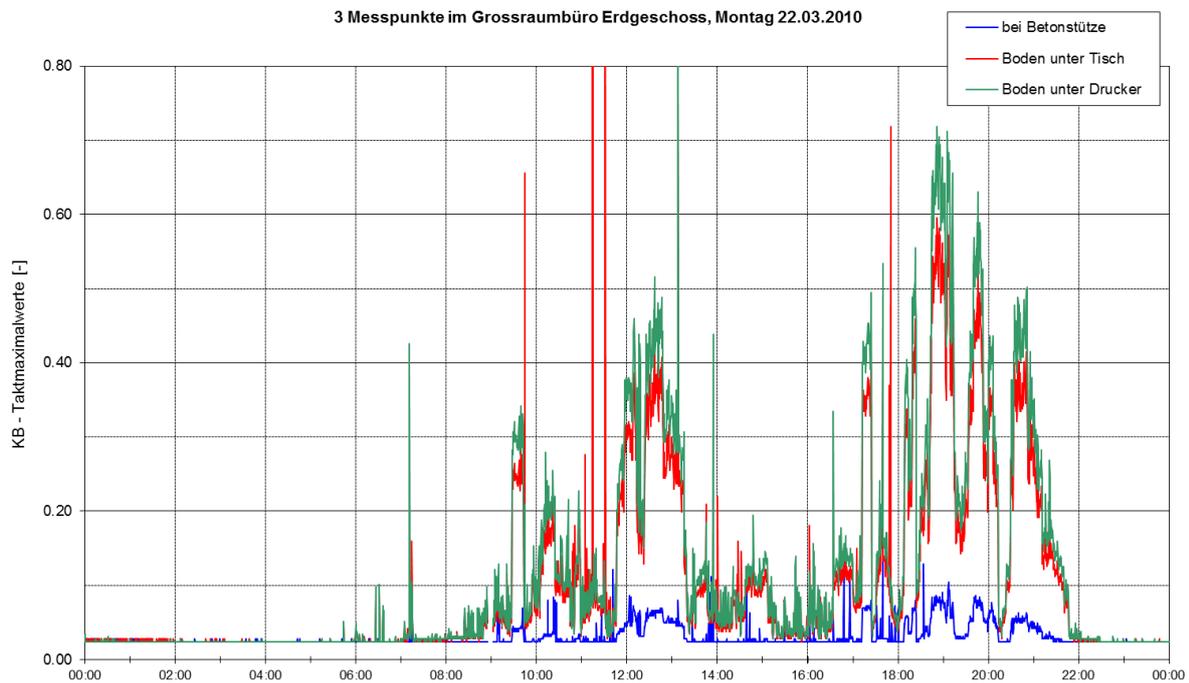
Im betroffenen Grossraumbüro wurde eine mehrtägige Erschütterungsmessung durchgeführt. Die Bodenmesspunkte wurden wie folgt angeordnet:

- Sensor 1 in Nähe Aussenfassade bei einer Betonstütze
- Sensor 2 in Feldmitte unter einem Besprechungstisch
- Sensor 3 in Feldmitte unter einem Druckertisch

Folgende zwei Figuren zeigen den Zeitverlauf der Taktmaximalwerte KB_{FTi} für jeweils 24 Stunden.



Figur 2 Verlauf von KB_{FTI} sonntags am 21.3.10



Figur 3 Verlauf von KB_{FTI} werktags am 22.3.10

Die zwei Figuren zeigen relativ typische Tagesganglinien der auftretenden Erschütterungen. Anfang und Ende korrelieren mit den Öffnungszeiten des FC. Werktags ist das FC tendenziell besser frequentiert, die Erschütterungen sind entsprechend höher und länger andauernd.

3. Beurteilung Ausgangszustand

Die Erschütterungen werden gemäss der Norm DIN 4150-2 („Erschütterungen im Bauwesen. Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“, Juni 1999) beurteilt.

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, § 9).	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, § 8).	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5).	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2).	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

Tabelle 1 Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach DIN 4150-2

Aus der Messung wurden die folgenden Beurteilungswerte ermittelt:

		Beurteilungsschwingstärke KBF _{Tr} (aus Messung berechnet)		
		bei Betonstütze	Boden bei Tisch	Boden bei Drucker
Freitag	19.03.2010	0.008	0.150	0.183
Montag	22.03.2010	0.004	0.185	0.222
Dienstag	23.03.2010	0.014	0.161	0.197
Mittwoch	24.03.2010	0.008	0.142	0.172
arithm. Mittel wochentags		0.009	0.159	0.194
Samstag	20.03.2010	0.000	0.098	0.122
Sonntag	21.03.2010	0.002	0.154	0.187
arithm. Mittel Wochenende		0.001	0.126	0.154
gesamte Messdauer		maximale bewertete Schwingstärke KBF _{max} (aus Messungen ermittelt)		
		bei Betonstütze	Boden bei Tisch	Boden bei Drucker
		0.101	0.607	0.726

Tabelle 2 Beurteilungswerte gemessen im Grossraumbüro (rot eingerahmt: Überschreitungen der Anhaltswerte gemäss DIN 4150-2)

Der Vergleich der beiden Tabellen macht deutlich, dass die Anforderungen der DIN 4150-2 nicht eingehalten sind. Die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTT} liegt oft über dem zulässigen Wert A_r von 0.15. Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} unterschreitet den zulässigen Wert A_o tags von 6 deutlich.

Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass die Schwingungen auf den Arbeitstischen, wo sich die Bildschirme befinden, noch grösser sein werden. Man kann sich sehr gut vorstellen, dass die oft mehrere Stunden andauernden Erschütterungen das Arbeiten am PC massiv erschweren.

4. Massnahmenplanung und Umsetzung

Aufgrund des zeitlichen Auftretens konnte die Ursache der Erschütterungsprobleme schnell eruiert werden. Es handelt sich um sog. Treadmills CYBEX, genannt auch Laufbänder. Bei diesem amerikanischen Produkt wird die gewünschte Laufgeschwindigkeit mit einem Motor geregelt. Das Laufband kann zudem höhenmässig zwischen einem kleinen Gefälle und einer mittleren Steigung verstellt werden. Das Eigengewicht der Treadmills liegt bei 140 kg.

4.1 Ansatzpunkt für zweckmässige Massnahmen

Im Ausschlussverfahren lassen sich mögliche Massnahmen schnell ableiten.

Massnahmen am Immissionsort

- Versteifen der Gebäudestruktur (Skelettbauweise mit Stützenraster 7.2 m), Aufwand gross und Nutzen ungewiss
- Umplatzieren der Arbeitsplätze (verschieben von Feldmitte zu Stützen oder Aussenwand) schwer durchführbar, da dichte Möblierung im Grossraumbüro
- Alternative Nutzung unter Fitness-Center (für andere Nutzer würden sich die Erschütterungsprobleme ebenfalls stellen)
- Zügeln Fitness-Center (langfristiger Mietvertrag, teuer und aufwändig)

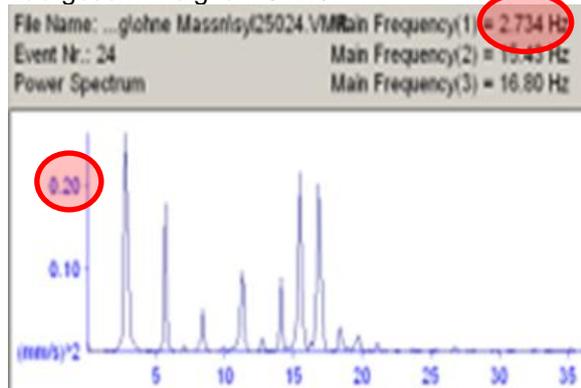
Massnahmen auf dem Übertragungsweg

- Konkret heisst dies eine Schwingungsentkopplung zwischen EG und 1. OG. Bei einem Neubau wäre dies mit der vorliegenden Stützenbauweise relativ kostengünstig durchführbar.
- Bei einem bestehenden Gebäude ist eine solche Entkopplung baulich kaum durchführbar und extrem teuer.
- Die im Folgenden aufgeführte Entkopplung zwischen CYBEX-Laufband und Boden wird nicht dem Übertragungsweg zugeordnet, sondern als Massnahme an der Quelle eingestuft, da sie in enger Wechselwirkung mit dem Laufband steht.

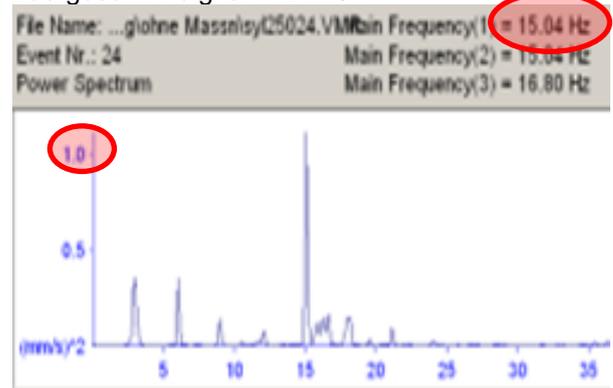
4.2 Emissionscharakteristik von CYBEX

Neben dem Eigengewicht von CYBEX und laufender Person hat insbesondere die Laufgeschwindigkeit einen wesentlichen Einfluss auf die Erschütterungsstärke sowie das emittierte Spektrum.

Laufgeschwindigkeit 8 km/h



Laufgeschwindigkeit 12 km/h



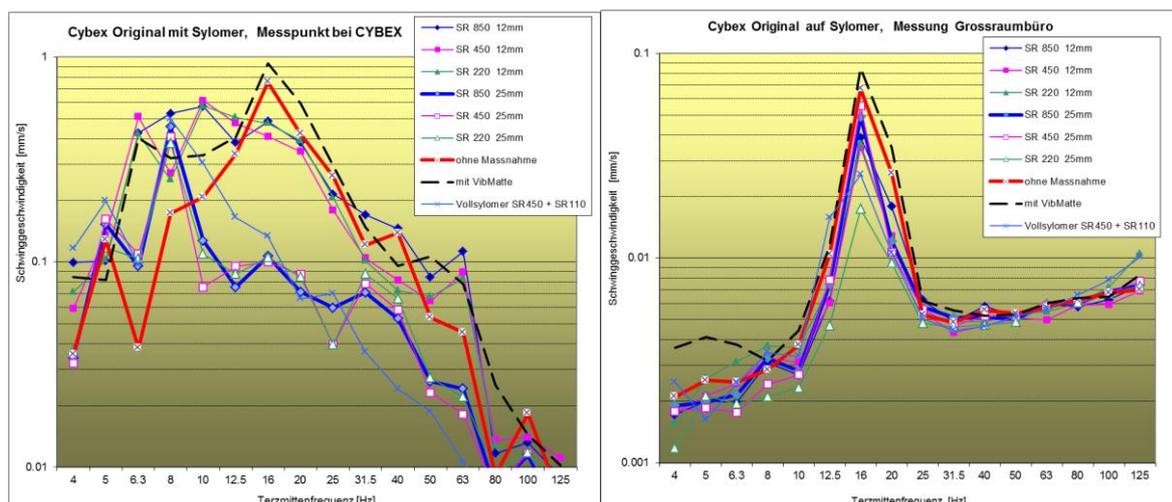
Figur 4 Einfluss variabler Laufgeschwindigkeit auf Stärke und Frequenz der Erschütterungsemission

Dieses Frequenzspektrum macht deutlich, dass bei einer elastischen Lagerung der CYBEX-Geräte nicht nur eine dominante Frequenz zu berücksichtigen ist, sondern eine Vielzahl teils gegenläufiger Effekte ins Spiel kommen. Für das Evaluieren der geeigneten Lagerung sind deshalb 1:1-Versuche unerlässlich.

4.3 Optimierung Lagerungsvariante

Zum Bestimmen der optimalen Lagerungsvariante wurden verschieden steife Elastomermatten in Dicken von 12 und 25 mm getestet. In der Regel wurden die Elastomermatten bei den zwei vorderen Rollen unterlegt, weil dort die Hauptlast auftritt. Als Zusatzversuch wurde auch eine „vollelastische“ Lagerung getestet. Messungen fanden unmittelbar neben dem CYBEX-Gerät sowie im untenliegenden Grossraumbüro statt. Ergänzend wurde auch eine sog. VibMatte getestet, welche vom CYBEX-Lieferant als Erschütterungsschutzmatte eingesetzt wird.

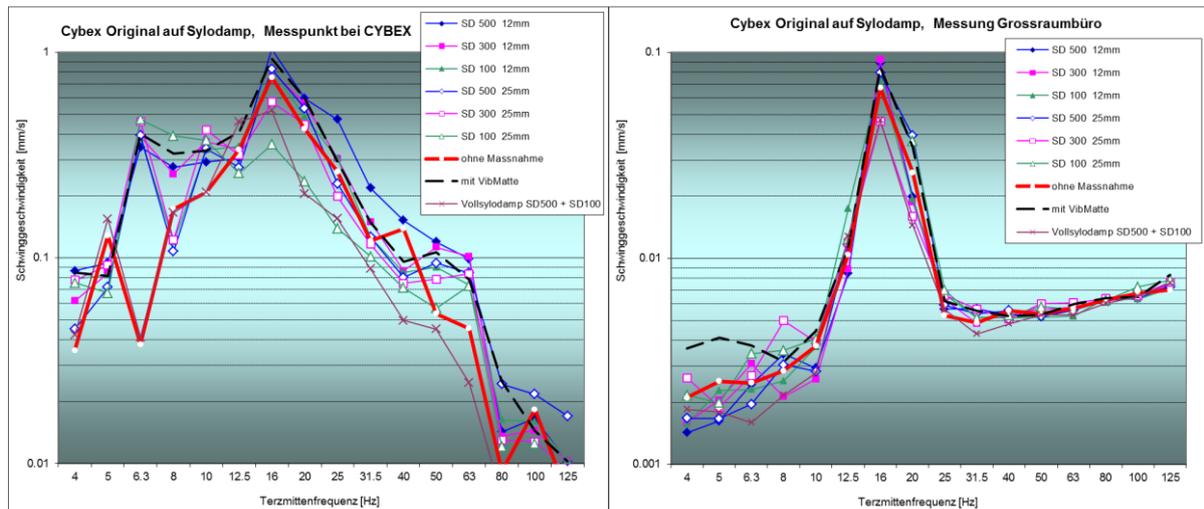
Folgende Figur 5 zeigt die Versuche mit Elastomer des Typs Sylomer (gemischtzelliges Polyetherurethan, statischer Einsatzbereich von 0.22 bis 0.85 N/mm²).



Figur 5 Lagerungstests mit Sylomermatten, Diagramm links: Messung neben CYBEX-Gerät
Diagramm rechts: Messung im untenliegenden Grossraumbüro

Figur 5 zeigt, dass beim CYBEX-Gerät deutliche Unterschiede je nach verwendetem Produkt auftreten. Im Grossraumbüro sind die Unterschiede deutlich geringer. Am Immissionsort weisen das weichste Produkt SR220 25mm dick oder die vollelastische Lagerungsvariante die beste Wirksamkeit auf.

Aufgrund der speziellen dynamischen Anforderungen wurden auch Versuche mit einem Spezialmaterial durchgeführt, welches besondere dämpfende Eigenschaften aufweist. Auch dieses Material Sylodamp wurde mit unterschiedlichen Steifigkeiten und Dicken getestet. Die Resultate mit Sylodamp und VibMatte zeigt folgende Figur 6.



Figur 6 Lagerungstests mit Material Sylodamp, Diagramm links: Messung neben CYBEX-Gerät
Diagramm rechts: Messung im untenliegenden Grossraumbüro

Die Versuche mit dem Material Sylodamp ergeben (verglichen mit dem Material Sylomer) deutlich geringere Schwingungsreduktionen sowohl bei der CYBEX-Maschine als auch im Büro unten. In beiden Versuchen hat die VibMatte schlecht abgeschnitten, indem sie praktisch im gesamten Frequenzbereich zu Verstärkungen führt.

Neben der erzielten Schwingungsdämmung gilt es noch die folgenden Parameter zu berücksichtigen.

1. Horizontalstabilität der CYBEX-Geräte infolge der dynamischen Beanspruchung: die elastische Lagerung führt in jedem Fall zu stärkeren Horizontalbewegungen.
2. Risiko von Aufschaukelungseffekten infolge von Resonanzen.
3. Subjektiver Eindruck des Läufers (idealerweise merkt er kaum etwas von der elastischen Bettung; bei der „vollelastischen“ Lagerung aller 4 Auflagepunkte wurde ein unangenehmes „Seitwärts-Schwimmen“ der CYBEX-Maschine durch den Läufer festgestellt).

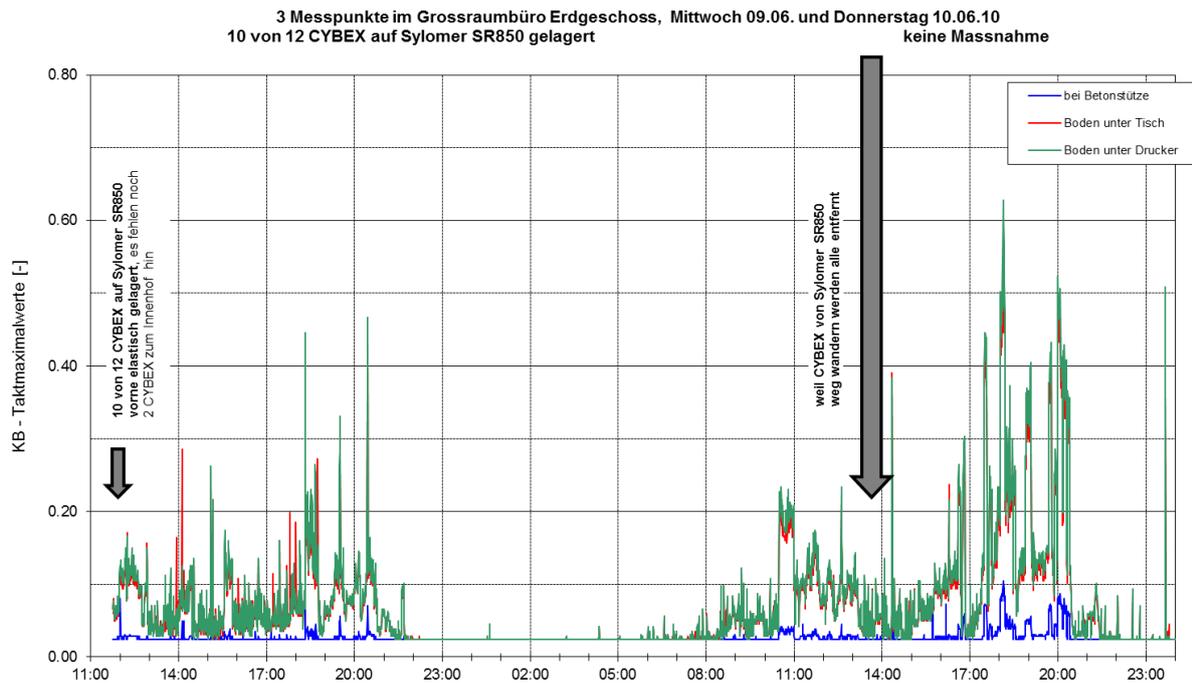
Diese Parameter konnten im Rahmen der Versuche nicht genau quantifiziert werden. Im Sinne von Risikoabwägungen und des subjektiven Testeindrucks wurde die folgende Wahl getroffen:

Einsatz der härtesten getesteten Sylomermatte SR850 mit 25 mm Dicke.

5. Erschütterungsmessung mit Massnahme

Mitte Juni 2010 wurden bei 10 von 12 CYBEX-Geräten vorne Elastomerplatten des Typs SR850 25 mm dick eingebaut. Die Elastomerplatten wurden mittels doppelseitigem Klebeband auf dem Parkettboden befestigt.

Nach nur einem Einsatztag musste die Lagerung wieder entfernt werden, weil die CYBEX-Geräte nach vorne wanderten und vom Elastomer „herunterfielen“. Während dieses Kurzeinsatzes zeigt folgende Figur 7 die Erschütterungen im untenliegenden Grossraumbüro.



Figur 7 Lagerung der CYBEX-Geräte auf Sylomer SR850, 9.6. 12 Uhr bis 10.6.10 14 Uhr, wegen Wegwandern der Geräte musste das Elastomer entfernt werden

In Tabelle 3 werden die gemittelten KB-Werte für den Zeitraum mit Sylomerlagerung (9.6. 12-21 Uhr, 10.6. 10-13 Uhr) und den Zeitraum ohne Massnahme (10.6. 16-21 Uhr) miteinander verglichen. Tabelle 3 zeigt, dass die Sylomerlagerung überschlägig zu einer Halbierung der Erschütterungen im unterliegenden Grossraumbüro geführt hat.

KB-Werte im Grossraumbüro Erdgeschoss, 2 Decken	Takte Beurteilungszeit	Messpunkt Boden unter Tisch			Messpunkt Boden unter Drucker		
		Anzahl Takte	Q-summe KB_{FTi}	KB_{FTt} Tag	Anzahl Takte	Q-summe KB_{FTi}	KB_{FTt} Tag
09.06. 11:45 bis 09.06. 15:45	480	101	1.538609	0.057	118	1.809066	0.061
09.06. 17:40 bis 09.06. 20:45	669	131	3.646614	0.074	143	4.171832	0.079
10.06. 10:20 bis 10.06. 13:00	320	154	3.495159	0.105	178	4.256372	0.115
CYBEX auf Sylomer SR850	energet. Mittelwert			0.081			0.088
CYBEX ohne Massnahme							
10.06. 15:45 bis 10.06. 21:00	630	398	24.857433	0.199	422	28.837358	0.214

Tabelle 3 Vergleich der Erschütterungen im Grossraumbüro mit Sylomer oben und ohne Massnahme unten (Beurteilungsschwingstärke KB_{FTt} gemäss DIN 4150-2)

6. Irrwege bei der Horizontalfixierung

6.1 Provisorische und definitive Halterung

Der fehlgeschlagene Versuch Mitte Juni 2010 zeigte, dass die CYBEX-Geräte zwingend durch eine adäquate Massnahme in horizontaler Richtung gehalten werden müssen.

Für die Halterung von Sylomer und CYBEX wurde vorerst in Eigenbau eine Holzbox erstellt (siehe Bild links in Figur 8), welche sich bei einem täglichen Test bewährte. Der Betreiber des Fitness-Centers lehnte diese Lösung jedoch aus ästhetischen Gründen ab.

Als nächster Schritt wurde eine Werkstattskizze für ein Chromstahlgehäuse erstellt und insgesamt 24 Gehäuse extern angefertigt. Die Voraussetzungen für eine dauerhafte Lösung waren somit gegeben.



Figur 8 2 Entwicklungsstadien aus Holz und Chromstahl für Halterung von Elastomer und CYBEX, die Sylomerplatte wird jeweils in die Box eingelegt

6.2 Niet des Betreibers

Der Betreiber des Fitness-Centers machte aus eher fadenscheinigen Gründen eine Kehrtwende und gab keine Zustimmung zur elastischen Lagerung seiner CYBEX-Geräte. Er machte hygienische Gründe geltend und gab im Herbst 2010 kein Einverständnis zum Einbau der Blechboxen. Es war leider nicht möglich, einen Ausweg aus dieser (für uns und das betroffene Personal im Grossraumbüro) unbefriedigenden Situation zu finden.

Auch die (schon lange erwogene) noch perfektere Lösung, indem die Vorderräder der CYBEX-Geräte mit Sylomer ummantelt würden, wurde nicht akzeptiert. Diese Variante wäre technisch sicher realisierbar gewesen, hätte aber erhebliche Kosten in der Grössenordnung von mehreren Tausend Franken hervorgerufen.

7. Erkenntnisse aus dem Projekt

- Auch relativ kleine Massen können erhebliche Erschütterungsprobleme verursachen.
- Handelt es sich um dynamische Prozesse, muss die systemimmanente Dynamik ausreichend berücksichtigt werden (Wegwandern der Geräte bei elastischer Lagerung).
- In einem Fitness-Center bestehen spezielle und strengere Anforderungen in hygienischer und auch ästhetischer Sicht.
- Bei der Verwaltung des Gesamtkomplexes sind seit einem Jahr keine Klagen des Grossraumbüros eingegangen.
- Die einzig plausible Erklärung besteht darin, dass dank dem kurzfristig erfolgenden Geräteersatz eine neue Generation von Laufbändern installiert worden ist, die geringere Erschütterungen verursachen (seitens Kunden des FC wird erwartet, dass sie immer die neuesten Geräte benutzen können).
- Das Problem wurde also gewissermassen „ausgesessen“ und hat sich im Laufe der Zeit entschärft.