

EMPA Dübendorf, Freitag, 7.6.2002

5. Symposium

Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessungen

Reduktion der Eisenbahn-Erschütterungsimmissionen mit baulichen Massnahmen

Martin Deuring, Dr. sc. techn., Dipl. Bauing. ETH SIA USIC

Christoph Nay, Dipl. Bauing. ETH SIA

1. Das Projekt

Die Stadt Winterthur entwickelt sich von der Industrie- zur Dienstleistungs-, Hochschul-, Wohn- und Freizeitstadt. Deutlich sichtbar wird dies im Sulzer-Areal in der Stadtmitte, wo viele der markanten Stahlskelettbauten mit ihren ästhetisch anspruchsvollen Backsteinfassaden neuen Nutzungen zugeführt werden und damit das frühere Industrieareal, das eine gleich grosse Fläche wie die Altstadt aufweist, neu belebt wird. Die neue Mischnutzung mit Wohnen, Gewerbe, Einkaufen und Büros in den ehrwürdigen Industriehallen sowie die spannenden Aussenräume führen zu einer neuen Arbeits- und Wohnqualität.

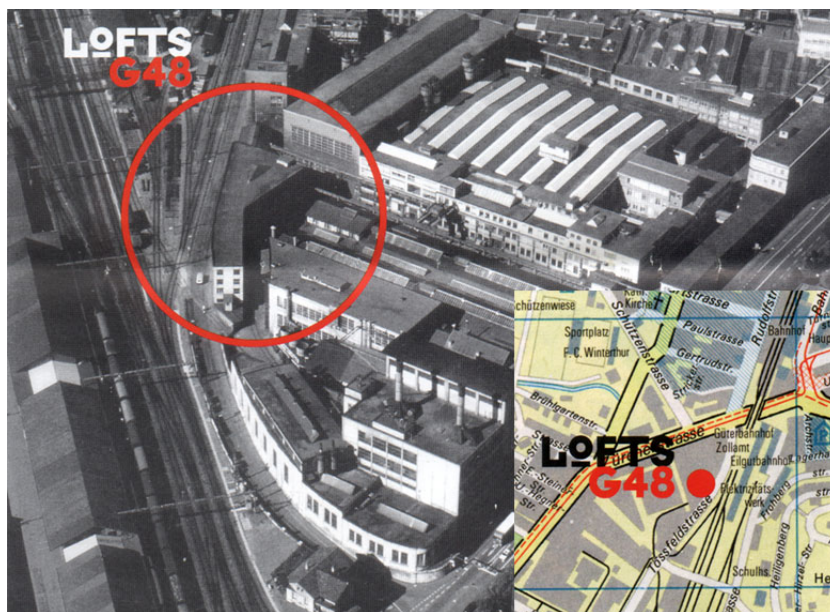


Bild 1

Nördlicher Teil des Sulzer-Areals in der Stadtmitte. Das Loftsgebäude G48 im Nordwesten liegt nur wenige Gehminuten vom Stadtzentrum und dem Bahnhof entfernt.

Der erste Wohnraum auf dem Areal wurde im Fabrikgebäude G48 realisiert (Bild 1). Nach erfolgter Altlastensanierung konnte die Realisierung im April 2000 gestartet werden, bereits im Dezember des gleichen Jahres durften die ersten Käufer ihre Lofts beziehen. Knapp ein Jahr nach Baubeginn waren alle 22 Lofts sowie 500 m² für Läden und Gewerbe bereit, ein Gebäudevolumen von 19'000 m³ konnte einer neuen Nutzung zugeführt werden.

Im Jahre 2002 wurde das Loftprojekt G48 für die Auszeichnung "Wegweisender Wohnungsbau in Winterthur 2001 / 2002" nominiert, ein Preis des Stadtmarketing Winterthur für intelligente Bauinvestitionen mit der Jury unter dem Vorsitz von Dr. Benedikt Loderer.

2. Die Herausforderungen

Ein grosser und umsichtiger Einsatz aller Beteiligten wie Behörden, Planer sowie Bauausführende war erforderlich, um den vielen Anforderungen zu genügen, die teilweise grosse gegensätzliche Interessen auslösten:

- Hohe Anforderungen an die Architektur und die Denkmalpflege
- Umsetzen vielfältiger Nutzerwünsche
- Genügen vorhandener behördlicher Auflagen
- Erforderliche Sicherheit gegen aussergewöhnliche Einwirkungen infolge Brand oder Erdbeben
- Immissionen der Eisenbahn wie Elektromog, Lärm sowie Vibrationen
- Altlasten als Folge der jahrzehntenlangen industriellen Nutzung

Im Folgenden soll ein Bereich näher beleuchtet werden, die Immissionen infolge Erschütterung durch die Eisenbahn. Bilder 1 und 2 verdeutlichen, wie nahe das Loftsgebäude G48 an der Eisenbahnstrecke Zürich – Winterthur gelegen ist. Bevor Massnahmen umgesetzt wurden, waren subjektiv gut bis teilweise stark fühlbare und damit störende Erschütterungen in verschiedenen Lofts zu registrieren.



Bild 2

Zwischen dem Loftsgebäude G48 und der stark befahrenen Eisenbahnstrecke Zürich – Winterthur liegt nur noch die Tössfeldstrasse.

3. Die Tragstruktur



Bild 3

Tragstruktur

Das Gebäude weist eine Grundfläche von 1'000 m² auf. Lofts sind im Erd- und den drei Obergeschossen sowie dem neuen Galeriegeschoss untergebracht. Etwa ein Drittel der Gebäudefläche ist unterkellert.

Bild 3 verdeutlicht die Tragstruktur des Loftsgebäudes G48. Der Stahlskelettbau besteht aus 6 – 7 m langen Sekundärträgern, die auf den Hauptträgern aufliegen. Letztere sind in der Regel als Zweifeldträger ausgebildet, in der Mitte sowie bei beiden Fassaden sorgen Stützen für die Abtragung der Vertikalkräfte. Die horizontale Aussteifung wird mit neuen Treppenhaus-/Liftkernen sichergestellt.

Die in Kap. 2 beschriebenen wahrnehmbaren Erschütterungen konnten v.a. im Erdgeschoss festgestellt werden, und zwar dort, wo der Boden nicht direkt auf dem Erdreich auflagert, sondern eine Unterkellerung vorhanden ist. Hauptsächlich betroffen waren damit vier im Erdgeschoss angeordneten Lofts auf der Nordseite des Gebäudes.

4. Die Messungen

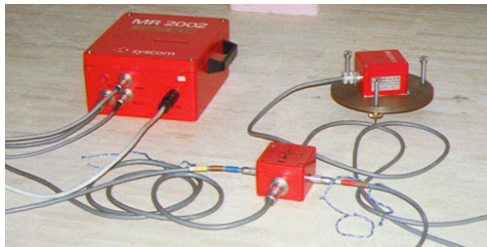


Bild 4

Messgerät SYSCOM MR 2002

Für die Erschütterungsmessungen durch die Ziegler Consultants wurde das Messgerät MR2002 (Bild 4) von SYSCOM mit folgenden Kenndaten verwendet:

- Aufnehmer: 3 vertikale Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer (Geophone)
- Abtastfrequenz: 400 Messwerte pro Sekunde
- Frequenz: 1 bis 150 Hz
- Amplitude: 0.003 bis 100 mm/s

Für die Beurteilung vor der Sanierung wurden während 24 Stunden mit dem auf "automatische Aufzeichnung" geschalteten Messgerät alle Erschütterungen über einen eingestellten Schwellenwert aufgezeichnet. Zwei Messpunkte waren dabei je in Feldmitte der Sekundärträger auf den Decken über EG sowie über UG, der dritte Messpunkt im Untergeschoss direkt neben der Aussenwand angeordnet. Die abschliessende Beurteilung erfolgte mit der gleichen Messanordnung, wobei nur noch während einer Stunde gemessen werden konnte.

Für die Körperschall-Messung wurde ein PC-basiertes Daten-Akquisitionssystem zusammen mit dem 16-Kanal-Signal-Conditioner MZ 1600 von SYSCOM verwendet. Als Erschütterungssensoren kamen die Schwinggeschwindigkeitssensoren MS2003 von SYSCOM und für die Schallmessung die Mikrophone Typ 4130 von B+K sowie der Präzisions-Schallpegelmesser Typ 2232 von B+K zum Einsatz. Die wichtigsten Kenndaten lauten wie folgt:

- Signal-Conditioner: MZ 1600
- Aufnehmer: MS2003: Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer (Geophon)
- Abtastfrequenz: 1100 Messwerte pro Sekunde
- Frequenz: 1 bis 500 Hz
- Amplitude: MS2003: 0.0003 bis 100 mm/s

Die Körperschallmessungen wurden im Erdgeschoss mittels kombinierter Schallpegel- und Erschütterungsmessung für 15 Zugdurchfahrten vorgenommen, wobei die Schwinggeschwindigkeit des Bodens im EG, der Schalldruck in Raummitte je im EG und im 1. OG sowie der Schallpegel in Raummitte im EG aufgenommen wurden.

Für die Diskussion der detaillierten Messergebnisse wird auf die entsprechenden Berichte der Ziegler Consultants hingewiesen.

5. Die Beurteilung vor der Sanierung

In Tabelle 1 sind die gemessenen bzw. berechneten Werte für Erschütterungen und Körperschall zusammen mit den für Mischgebiet geltenden Anhaltswerten der DIN 4150/2 bzw. mit den Grenzwerten der BEKS (Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen) dargestellt.

Zu beachten ist, dass die definierten Grenzwerte für Neuanlagen gelten. Für bestehende Schienenanlagen enthält DIN 4150/2 folgenden Kommentar: "An bestehenden Schienenwegen werden die Anhaltswerte vielerorts überschritten. Verfahren zur Erschütterungsminderungen stehen zur Zeit nur begrenzt zur Verfügung. Daher müssen den Anwohnern oft Erschütterungsimmissionen zugemutet werden, die oberhalb des Niveaus liegen, ab dem mit zunehmender Wahrscheinlichkeit erhebliche Belästigungen auftreten können."

Der Vergleich mit den Grenzwerten führt zu folgenden Ergebnissen:

- Die Erschütterungsimmissionen im 1. OG überschreiten die Anhaltswerte der DIN 4150/2 für Mischgebiet sowohl tags als auch nachts leicht.
- Die Erschütterungsimmissionen im EG überschreiten die Anhaltswerte der DIN 4150/2 für Mischgebiet sowohl tags als auch nachts recht stark.

- Aufgrund der durchgeführten Prognose für den Körperschall ist nicht mit einer Ueberschreitung der Grenzwerte der BEKS zu rechnen.

Ort	Zeitraum	Grösse	Messwert	Grenzwert
Erschütterungen				
1. OG	tags	KB_{FTr}	0.196	0.15
		KB_{Fmax}	0.712	5.0
	nachts	KB_{FTr}	0.114	0.105
		KB_{Fmax}	0.65	0.6
EG	tags	KB_{FTr}	0.253	0.15
		KB_{Fmax}	1.152	5.0
	nachts	KB_{FTr}	0.150	0.105
		KB_{Fmax}	0.95	0.6
Körperschall				
1. OG	tags	16 Std. L_{eq}	27.0	45
	nachts	1 Std. L_{eq}	27.0	35
EG	tags	16 Std. L_{eq}	26.9	45
	nachts	1 Std. L_{eq}	26.9	35

Tab. 1 Messwerte im Vergleich mit den Grenzwerten

6. Die Sanierung

Aus den Ergebnissen in Kap. 5 kann klar gefolgert werden, dass, um eine gute Wohnqualität sicherstellen zu können, die Situation im Erdgeschoss wesentlich zu verbessern war. Die Situation im Obergeschoss kann ohne Massnahmen akzeptiert werden.

Zur Reduktion der Erschütterungen im Erdgeschoss wurde die UG-Decke mittels insgesamt 12 Stahlstützen zusätzlich unterstützt. Die Stützen sind bei jedem zweiten Sekundärträger angeordnet. Vor dem Untergiessen wurde eine geringe Vorspannung aufgebracht.

Mit dieser Massnahme könnte sich jedoch, wegen der Erhöhung der Deckeneigenfrequenz, eine Erhöhung des Körperschallpegels ergeben.

Entsprechend wurde die Massnahme vorerst bei einer Loft getestet. Nachdem der Erfolg mittels neuen Messungen aufgezeigt werden konnte und sich nicht anderweitig negative Folgen zeigten, erfolgte der Einbau der übrigen Stützen.

Im Untergeschoss sind heute die Kellerabteile für die einzelnen Lofts untergebracht. Die neuen Stützen entlang der Unterteilungen dieser Abteile führen daher zu keiner Nutzungseinschränkung.



Bild 6

Stahlstützen im Untergeschoss, jeweils in Feldmitte der Sekundärträger

7. Die Beurteilung nach der Sanierung

Für eine abschliessende Beurteilung wurden die Erschütterungen aller Züge während einer Stunde gemessen, wobei die Zeit zwischen 17.30 und 18.30 mit Absicht in eine verkehrsintensive Phase gelegt wurde. Für eine gesicherte Aussage über den KB-Wert müsste wiederum während 24 Stunden gemessen werden.

Die Werte in Tab. 2 können entsprechend nicht mit denjenigen in Tab. 1 verglichen werden. Hingegen ist die relative Veränderung zwischen den Werten im EG und im 1. OG von Interesse.

Ort	Zeitraum	Grösse	Messwert
Erschütterungen			
1. OG	17.30 – 18.30	KB_{FTr}	0.326
		KB_{Fmax}	0.857
EG	17.30 – 18.30	KB_{FTr}	0.271
		KB_{Fmax}	0.937

Tab. 2 Messwerte nach der Sanierung

Die Erschütterungen im EG liegen nun im Mittel 17 % tiefer als im 1. OG. Vor der Sanierung waren die Werte um 30 % höher. Daraus folgt, dass mit dieser sehr einfachen und kostengünstigen Massnahme eine starke Reduktion der Erschütterungen im Bereich von ca. 50 % erzielt werden konnte.

Die Hauptfrequenz der UG-Decke wurde mit dieser Massnahme von 20 Hz auf 30 Hz angehoben. Die Dämpfung liegt bei 3.6 %. Bei der Analyse des Körperschalls wird das Amplitudenspektrum des Schalldruckes in Raummitte mit dem Amplitudenspektrum der Erschütterung des Bodens verglichen. Dieser Vergleich zeigt, dass der Schalldruck mit seiner Hauptfrequenz bei 20 Hz nicht durch die Vibrationen der UG-Decke verursacht wird. Der Körperschall wird durch die Sanierungsmassnahme nicht relevant erhöht.

8. Die Beteiligten

Bauherr: Kamata Immobilien Design GmbH, 6340 Baar

Architektur: Baldinger Architekten GmbH, 8045 Zürich

Bauingenieur: Dr. Deuring + Oehninger AG, Dipl. Bauingenieure ETH SIA USIC, 8400 Winterthur

Beratung Bauwerksdynamik, Erschütterungsmessungen: Ziegler Consultants, 8032 Zürich

Geologie: Dr. H. Jäckli AG, Geologie/Geotechnik/Grundwasser, 8400 Winterthur

Bauphysik: zehnder & kälin, akustik und bauphysik, 8400 Winterthur

29.05.02 De/CN