URBANHome - Neubau MFH Zürich
Elastische Gebäudelagerung

Pascal Fleischer
TROMBIK Ingenieure AG, Zürich

1. EINLEITUNG

An der Neufrankengasse in Zürich erstellt die SBB AG als Bauherrin zurzeit das Wohnhaus URBANHome (Rohbauende: Ende Juni 2012). Das Grundstück des Projekts liegt direkt neben der Bahnlinie Zürich Langstrasse – Aussersihl; zudem wird in Zukunft ein Teil des Verkehrs der sich ebenfalls im Bau befindenden Durchmesserlinie auf den direkt angrenzenden Geleisen geführt werden; das neue Mehrfamilienhaus wird somit relativ starken Erschütterungen ausgesetzt sein.

Überbauung URBANHome, Ansicht Nordfassade (EM2N Architekten)

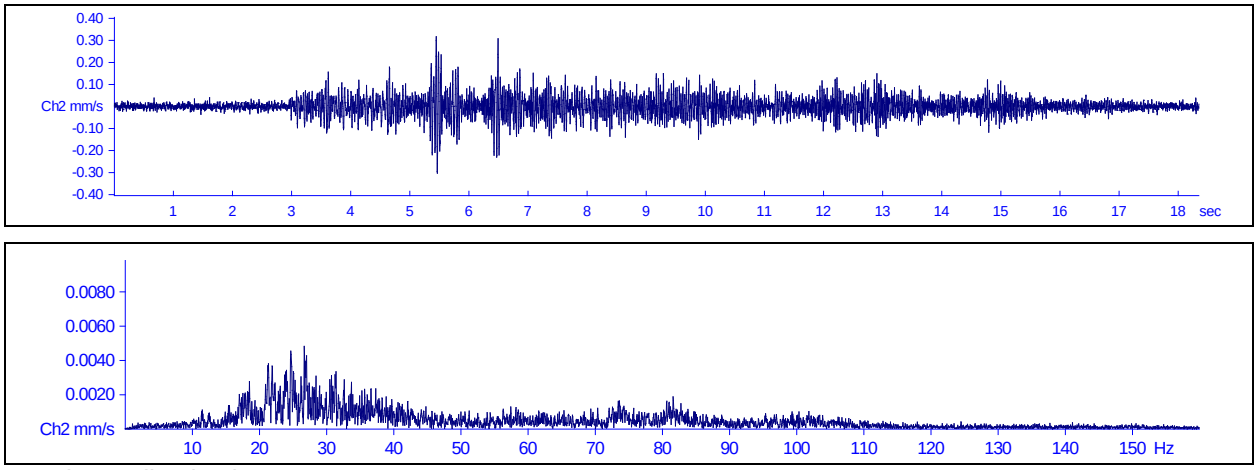
Bei erhöhten Erschütterungs- und Körperschallimmissionen, meist in Verbindung mit sehr hohen Komfortansprüchen, stellt sich jeweils die Frage nach möglichen Verbesserungs- und / oder Sanierungsmassnahmen. Hier hat sich der Stand der Technik stark entwickelt; quell-, ausbreitungs- und empfängerseitige Massnahmen können heute gezielt geplant und ausgeführt werden. Beim vorliegenden Mehrfamilienhaus wurden Massnahmen beim Empfänger umgesetzt: Das ganze Gebäude wurde mittels einer elastischen Trennlage unterhalb der Bodenplatte elastisch entkoppelt.

2. VORUNTERSUCHUNGEN

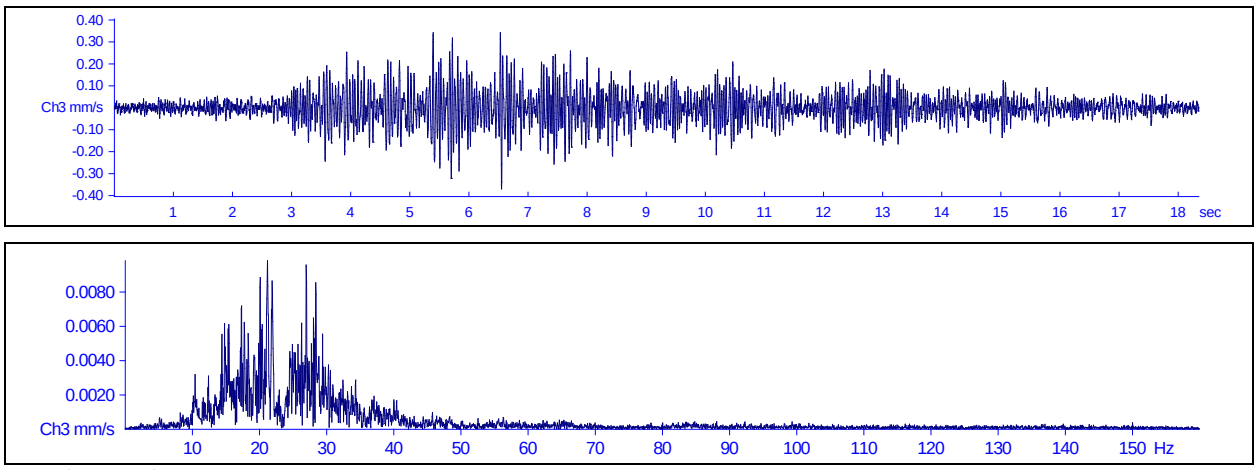
Bei der Bearbeitung der hier vorliegenden Erschütterungs- und Körperschallproblematik wurden die Prognoseberechnungen anhand von Messungen kalibriert: Auf Messdaten abgestützte / kalibrierte, so genannte semi-empirische Ausbreitungsmodelle haben sich in der Praxis bestens bewährt, da wesentliche Emissions- und Übertragungsspektren extrahiert und ins Modell eingeführt werden können.

2.1. Erschütterungs- und Körperschallmessungen

Am 28. Oktober 2009 wurde eine Messkampagne für die Registrierung der bestehenden Erschütterungssituation in der sich damals auf der betroffenen Parzelle befindenden Liegenschaft Neufrankengasse 10/10A infolge der schienengebundenen Verkehrsträger (Erschütterungsquellen) angeordnet. Die Erschütterungsmessungen erfolgten für den Messquerschnitt je Messort einkanalig (vertikale Richtung); die Körperschallmessungen erfolgten in Raummitte, 1.20 m ab Boden; es wurden dieselben Räume wie bei den Schwingungsmessungen verwendet. Während einer Beobachtungsdauer von 3.5 Stunden wurden gegen 100 Einzelereignisse (Zugvorbeifahrten) aufgezeichnet. Nachfolgend einige typische Messaufzeichnungen:



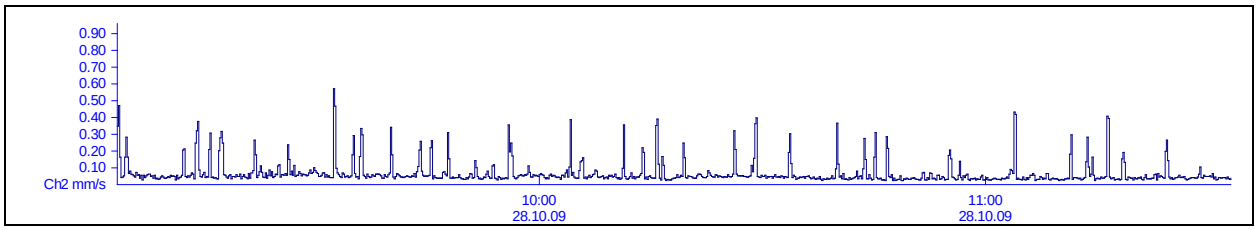
Kanal Y: Keller (EG)



Kanal Z: Boden 2. OG

Zeitverläufe und Frequenzspektren: Bsp. Personenzug, Gleis 3

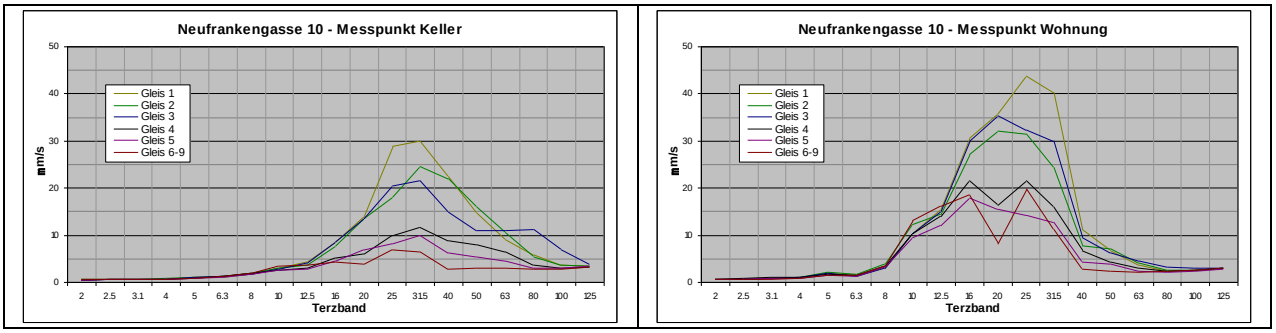
Zusätzlich wurde zur Registrierung der einzelnen Vorbeifahrten während der Beobachtungsdauer eine Dauerüberwachung mittels Aufzeichnung der maximalen Schwinggeschwindigkeiten durchgeführt. Der Streubereich und der zeitliche Abstand der Spitzenwerte entsprechen den Einzelmessungen der Zugs-Vorbeifahrten; andere massgebende, regelmässige Erschütterungsereignisse konnten nicht erkannt werden.



Kanal Y: Keller (EG)

Dauerüberwachung

Da für die Immissionsberechnungen Emissionsspektren benötigt werden, wurden anschliessend sämtliche massgebenden Personenzugs-Bahnvorbeifahrten pro Gleis frequenzanalysiert und gemittelt. Nachfolgend als Extrakt die massgebenden Emissionsspektren:

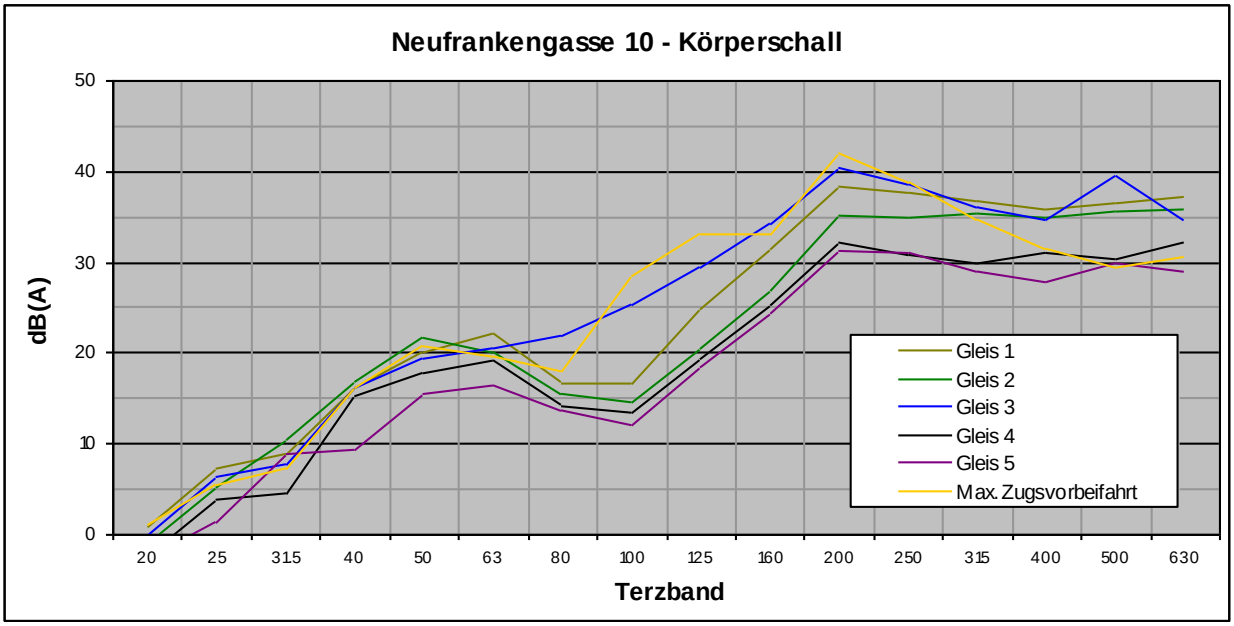


ES-Messungen: Massgebende Terzbandspektren

Parallel zu den Erschütterungsmessungen wurde in der Wohnung der abgestrahlte Körperschall aufgezeichnet. Die Zugsvorbeifahrten wurden ebenfalls frequenzanalysiert und gemittelt. Bei der Unterscheidung Aussenlärm / Körperschall wurde das vereinfachte Vorgehen angewandt: Die Unterscheidung zwischen direkt einfallendem Aussenlärm und indirekt übertragenem abgestrahltem Körperschall geschieht dadurch, dass aus dem gesamten im Rauminneren gemessenen Schallpegel die für den Körperschall hauptsächlich verantwortlichen Terzbänder im Bereich 40/50/63/80/100 Hz mit Hilfe von Frequenzanalysen ”herausfiltriert” und separat als Summenpegel extrahiert werden.

Terzbänder 20 - 100 Hz			20	25	31.5	40	50	63	80	100
Gleis 1	Leq =	26.2	1.0	7.3	8.8	16.3	20.1	22.2	16.7	16.6
Gleis 2	Leq =	25.8	-0.9	5.3	10.6	16.8	21.7	20.2	15.5	14.5
Gleis 3	Leq =	28.8	-0.1	6.3	7.7	16.1	19.5	20.6	22.0	25.4
Gleis 4	Leq =	23.6	-2.3	3.8	4.6	15.3	17.9	19.1	14.1	13.4
Gleis 5	Leq =	21.4	-2.5	1.3	8.9	9.4	15.5	16.5	13.7	12.2
Max. Zugsvorbeifahrt	Leq =	30.2	1.2	5.5	7.4	16.1	20.8	19.6	18.1	28.6

Summenpegel durchschnittlicher Körperschall [dBA]



KS-Messungen: Massgebende Terzbandspektren

Bemerkung zu den Messresultaten: Das ursprünglich bestehende Wohngebäude „Neufrankengasse 10/10A“ wurde im Rahmen des Streckenausbaus „Bahn 2000“ verschoben und bereits elastisch gelagert.

2.2. Prognoseberechnungen (Vibra-2)

Die für die Berechnung der Situation „Neufrankengasse Zürich“ verwendeten Daten basieren einerseits auf den vorgehend beschriebenen Messungen, andererseits auf einer Grosszahl von früheren Erschütterungsmessungen, kombiniert mit theoretischen Ansätzen über die Erschütterungsausbreitung, sowie auf Literaturangaben.

Für eine Untersuchung werden üblicherweise aus der Vielzahl von möglichen Parametervariationen betreffend dem schienengebundenen Verkehr, der Gleisführung, dem Baugrund und der Bauweise der Gebäude entlang der Gleisstrecke einige „typische Kategorien“ definiert, anhand welcher die Erschütterungs- und Körperschallimmissionen berechnet werden. Durch die Messung am Gebäudefundament sind im Messresultat die Parameter „Emission“ (Bahntyp, Gleisart, Gleisunterbau, usw.) und „Ausbreitung“ (Transferfunktion im Baugrund) bereits enthalten, so dass diese relativ genau berücksichtigt werden können. Die „Gebäudeankoppelung“ wurde entsprechend modelliert.

Bei der Bestimmung der verschiedenen Betriebszustände wurde zwischen Güterzügen (GZ) und Personenzügen (PZ), sowie zwischen den verschiedenen Gleisen unterschieden (Berücksichtigung Zugsart und Gleisabstand). Die kategorienweise pro Gleis gemittelten Werte (schichttypische Mittelwerte) dienten zusammen mit den effektiven Zugsvorbeifahrten (Anzahl und Gleis gemäss Messprotokoll) für die Umrechnung auf die effektiven Immissions-Durchschnittswerte.

Die Zugsdaten Z0 und Z25 wurden gemäss SBB (UVB Durchmesserlinie, Gesamtprojekt) für die Betrachtung der Belastungszustände verwendet. Ab Gleise 4 wurden die Zugsvorbeifahrten in der Modellierung nicht mehr berücksichtigt, der Einfluss infolge grösseren Gleisabständen erhöht die Ausbreitungsdämpfung und führt zu keiner wesentlichen Veränderung der Berechnungsresultate. Referenzabstand Gleis 2: 11.75 m (DML „Gleis 1“).

2.3. Ausführungsvariante Elastische Trennlage

Zur Dämmung der Erschütterungs- und Körperschallimmissionen wurde der Einbau einer elastischen Trennung vorgesehen: Vollflächige Lagerung des gesamten Gebäudekomplexes auf Matten; Auslegung auf eine Abstimmfrequenz der Lagerung auf einen Wert um 14 Hz. Die einzelnen Vorbeifahrtspegel werden durch die Lagerung stark reduziert und erfahrungsgemäss können bei vollständigen Entkoppelungen deutlich reduzierte Körperschallwerte erreicht werden: Verringerung des abgestrahlten Körperschalls um ca. 7.0 - 10.0 dB. Die einzelne Vorbeifahrt ist somit auch bei ruhiger Umgebung durch den Menschen kaum mehr wahrnehmbar. Bei ein Lagerung mittels Stahlfedern können die Immissionen noch einmal deutlich reduziert werden: Punktuelle Lagerung der Liegenschaft; Abstimmfrequenz: 5 – 10 Hz.

2.4. Beurteilung nach BEKS

BEKS: Die Beurteilung der Erschütterungs- und Körperschallsituation erfolgt einerseits mittels der „Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen vom 20.12.1999 (BEKS, herausgegeben von BAV und BUWAL)“. Da es sich um eine Neuprojektierung handelt, gelangen beim Körperschall die Planungsrichtwerte zur Anwendung, bei den Erschütterungen die einheitlichen Richtwerte der DIN 4150/2. Zonenmässig wird von einer Mischzone ausgegangen. Zu der BEKS-Weisung ist zu erwähnen, dass eine Beurteilung der Erschütterungs- und Körperschallsituation anhand dieser Richtlinie streng genommen „freiwillig“ geschieht, da die BEKS-Weisung eigentlich nicht für den vorliegenden Fall anwendbar ist, sondern nur für die SBB als Verursacher gilt.

Ohne Massnahmen

	Erschütterungen			**Körperschall**		
	„mm/sec“	berechnet	zulässig	dB(A)	berechnet	zulässig
Tags	KB_{FTr}	0.068	0.100	16 Std. L_{eq}	27.4	40.0
Nachts	KB_{FTr}	0.034	0.070	1 Std. L_{eq}	24.3	30.0

→ Die Anforderungen der BEKS-Weisung werden erfüllt.

Elastische Gebäudelagerung

	Erschütterungen			**Körperschall**		
	„mm/sec“	berechnet	zulässig	dB(A)	berechnet	zulässig
Tags	KB_{FTr}	0.052	0.100	16 Std. L_{eq}	16.3	40.0
Nachts	KB_{FTr}	0.026	0.070	1 Std. L_{eq}	13.2	30.0

→ Die Anforderungen der BEKS-Weisung werden erfüllt.

Eine Überschreitung der Tag-/Nacht-Richtwerte (gemäss BEKS) für Erschütterungen und Körperschall infolge des nahe liegenden Bahnbetriebs kann für die geplante Wohnüberbauung „Neufrankengasse, Zürich“ auch ohne Massnahmen bei einer Einstufung in die „Mischzone“ grundsätzlich praktisch ausgeschlossen werden. Dies gilt für die Gesamtheit aller Züge, und auch bei Inbetriebnahme der Durchmesserlinie.

2.5. Wahrnehmbarkeit einzelner Zugsvorbeifahrten (Gleis 2, DML)

	Erschütterungen		**Körperschall**
	[KB_{FTi}]	[v_{max}]	[dBA]
Ohne Massnahmen	0.12	0.40	39.6
Elastische Gebäudelagerung	0.10	0.35	28.5

Die prognostizierten Erschütterungen für Einzelvorbeifahrten liegen im Bereich „spürbar“, der prognostizierte abgestrahlte Körperschall liegt bei einer Ausführung ohne Massnahmen im Bereich „gut hörbar“: Die einzelnen Vorbeifahrten selbst können insbesondere bei ruhiger Umgebung und guter Dämmung des direkten Luftschalls weiterhin als abgestrahlten Körperschall wahrgenommen werden. Prognostizierter Wert einer Zug-Vorbeifahrt auf dem Gleis 2: Leq = ca. 40 dB(A).

2.6. Beurteilung nach SIA 181:2006

Im Zusammenhang mit abgestrahltem Körperschall stützt sich die SIA 181 auf die künftige eidgenössische Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen ab (Art. 3.2.4). Zusätzlich sind betreffend abgestrahlten Körperschalls, die Anforderungen für „Geräusche haustechnischer Anlagen und fester Einrichtungen im Gebäude“ zu erfüllen.

emissionsseitige Geräuschart (Senderaum)	Einzelgeräusche		Dauergeräusche Funktions- oder Benutzungsgeräusche
	Funktionsgeräusche	Benutzungsgeräusche	
Lärmempfindlichkeit	Anforderungswerte L_H [dBA]		
gering	38	43	33
mittel	33	38	28
hoch	28	33	25

SIA 181:2006, Tabelle 6: Mindestanforderungen an den Schutz gegen Geräusche haustechnischer Anlagen und fester Einrichtungen in Gebäude. Erhöhte Anforderungen: Es gelten gemäss SIA 181:2006, Art. 3.2.3.4 die um 3 dBA verringerten Werten. Dazu gilt 25 dBA als Kleinstwert.

Einzelne Zugsvorbeifahrten auf den nahe liegende Gleisen überschreiten somit die Anforderungen gemäss SIA 181:2006 bei einer Beurteilung betreffend „Geräusche haustechnischer Anlagen und fester Einrichtungen im Gebäude“.

Es ist anzumerken, dass Vorgaben zu Immissionsrichtwerten in der Regel Zonen- bzw. Nachbarschafts-(Vorbelastungs-)spezifisch gelten und zwischen verschiedenen Anforderungsstufen (z.B. zwischen normalen und erhöhten Anforderungen) unterscheiden. Eine genaue Definition dieser Einstufungsparameter erscheint insbesondere dann von spezieller Bedeutung, wenn sich bei einem eher höheren Kostenniveau eines Bauvor-

habens entsprechende Vermietungen und Verkäufe nur in Verbindung mit sehr hohen Komfortansprüchen realisieren lassen. Oder, mit anderen Worten, aus Nutzersicht werden „normale“ Normenanforderungen oft als ungenügend eingestuft.

3. AUSLEGUNG DER GEBÄUDELAGERUNG

Basierend auf den Voruntersuchungen hat sich die Bauherrschaft entschieden, das Gebäude elastisch zu lagern: Empfängerseitiger Schutz des Gebäudes gegen die Einleitung von externen Schwingungen, insb. Bahnerschütterungen. Die projektierten Wohneinheiten liegen im oberen Preissegment; die Anforderungen an die Wohnqualität fallen daher entsprechend hoch aus. Für den Planer stellte sich nun die Aufgabe, das Gebäude so zu errichten, dass insbesondere auch die Einzelgeräusche (abgestrahlter Körperschall) bei Zugsvorbeifahrten (Güterzugvorbeifahrt auf dem Gleis 1) deutlich reduziert werden.

Die zu erwartende Wirksamkeit der elastischen Lagerung ist eine Systemgrösse, die durch die dynamischen Lagereigenschaften, die mitwirkende Gebäudemasse und den Schwingungswiderstand des Untergrundes (hohe mechanische Eingangsimpedanz) bestimmt wird. Je nach Steifigkeit der Lager und der wirksamen Gebäudemasse stellt sich die Abstimmfrequenz der Lagerung ein. Damit eine möglichst grosse Masse dynamisch wirksam werden kann, sollte das Gebäude im Bereich der Lager sehr steif sein. Massgebend für die Festlegung der Abstimmfrequenz ist das Frequenzspektrum der Anregung. Die Abstimmfrequenz wird so gewählt, dass die bestimmenden Frequenzanteile der Anregung ausreichend isoliert werden. Grundlage für die Prognoseberechnungen ist ebenfalls das vor Ort gemessene Anregungsspektrum. Neben der Abstimmfrequenz der Lagerung stellen sich im fertigen Gebäude natürlich eine Vielzahl von Resonanzfrequenzen ein. So können z.B. an Decken und Wänden Strukturschwingungen entstehen, die die Wirksamkeit der Massnahme entscheidend beeinflussen können. Für eine genaue Prognose der zu erwartenden Schwingungen im Gebäude ist die Tragstruktur des projektierten Gebäudes entsprechend zu berücksichtigen.

3.1. Wahl der Lagerebene und des Lagermaterials

Die Auslegung einer elastischen Gebäudelagerung erfolgt vereinfacht ausgedrückt über das physikalische Modell eines Ein-Massen-Schwingers. Zur Annäherung an dieses mechanische Gebäudemodell sollte ein möglichst kompakter und steifer Baukörper errichtet werden. Die Kellergeschosse der geplanten Überbauung bilden einen Betonkörper mit hoher Steifigkeit und sind somit als aussteifende „Box“ für den Einbau von Lagerelementen gut geeignet. Das Gebäude wird auf den kompakten Untergrund flach fundiert (Schotter, kein Grundwasser): Ein genügend steifer Untergrund steht somit ebenfalls zur Verfügung.

Die Anordnung der elastischen Lagerebene wurde in Zusammenarbeit mit der Bauherrschaft im Fundamentbereich (unterhalb der Bodenplatte) festgelegt. Das Gebäude wir somit vollflächig auf Elastomeren gelagert. Dies hat den Vorteil, dass das Gebäude nach Abschluss der Arbeiten im Fundamentbereich weitgehend herkömmlich errichtet

werden kann. Auch gegenüber einer Ausführung ohne elastische Lagerung sind nur geringfügige Änderungen notwendig. Für eine vollständige Entkoppelung des Gebäudes müssen ebenfalls alle Wände oberhalb der elastischen Lagerung, die mit dem Erdreich Kontakt haben, elastisch getrennt sein.

3.2. Frequenzabstimmung

Kenngrösse für die zu erwartende Wirksamkeit der Massnahme ist die Abstimmfrequenz der elastischen Lagerung. Je nach Gebäudeabmessungen und –masse kann bei einer Lagerdicke von 25 mm in etwa eine Abstimmfrequenz von 14 Hz erreicht werden. Bei den massgebenden Bahnverkehrimmissionen handelt es sich hauptsächlich um Erschütterungen im Frequenzbereich zwischen 25 und 80 Hz. Bereits bei einer Lagerstärke von 25 mm liegt die Abstimmfrequenz somit deutlich unterhalb den massgebenden Frequenzen und es darf eine wirksame Dämmung, insbesondere hinsichtlich des abgestrahlten Körperschalls erwartet werden.

Die Transferspektren „Gebäudeankoppelung“ werden über die translatorischen und rotativen Eigenfrequenzen des Festkörpers „Gebäude“ berechnet. Die unbekannten Boden- und Bauwerksimpedanzen, aber auch das nichtlineare Lagermaterialverhalten, der Einfluss der Schubbelastung des Materials u. ä. sind bei der Bestimmung des Dämmwertes entsprechend zu berücksichtigen. Die Berechnung der neuen d.h. reduzierten durch Bahnverkehr verursachten Erschütterungs- und Körperschallimmissionen erfolgte anhand des vorhandenen und kalibrierten semi-empirischen, frequenzabhängigen Ausbreitungsmodells **„VIBRA-2“** über die entsprechende Wahl des Transferspektrums „Gebäudeankoppelung“; die Veränderung der Immissionen ist nur auf die elastische Gebäudelagerung zurückzuführen.

3.3. Auslegungsgrundlagen / Lagermaterial

Für die Auslegung der elastischen Gebäudelagerung wurden PUR-Werkstoffe eingesetzt. Als Lagermaterial, insbesondere für die Bereiche mit erhöhten Spannungen ist ein bewährtes / in seinen Eigenschaften bekanntes Material einzusetzen. Dieses soll sich durch folgende Eigenschaften auszeichnen:

- volumenkompressibel
- breit gefächertes Typen-Programm
- dynamische Steifigkeit weitgehend unabhängig von der Anregungsamplitude
- günstiges Verhältnis von dynamischer zu statischer Steifigkeit
- hydrolysestabil, sowie beständig gegenüber den üblicherweise am Bau auftretenden Chemikalien, verdünnten Laugen und den gebräuchlichen Ölen.
- keine Schädigung durch Wasser und Schmutz.
- konstruktive Aspekte: Lagerfläche als verlorene Schalung (ggf. eine Abdeckfolie vorsehen), Anpassungen vor Ort mit bauüblichen Werkzeugen möglich, etc.
- gutes Dauerstandverhalten: keine Versteifung der Lager, zusätzliche Einfederung unter Dauerlast (Kriechen) ist bekannt

Bei einem Produktevergleich ist zu überprüfen, dass insbesondere vergleichbare System-Abstimmfrequenzen und Dämmkurven über den Frequenzbereich erreicht werden können. Zudem sind die Materialkennwerte, hauptsächlich das statische und dynamische Verhalten in Abhängigkeit der Materialbelastung inkl. des Nachweises des Langzeitverhaltens, gestützt auf Berichte von anerkannten Prüfstellen ausführlich dokumentieren zu lassen.

3.4. Dimensionierung

Für die Auslegung der Lagerung ist die Materialbelastung in Form der **statischen Dauerlast** massgebend. Als Belastung ist das tatsächlich zu erwartende Gebäudegewicht sowie ein Teil der Nutzlasten gemäss Angaben des Bauingenieurs anzunehmen. Die erdberührten Wände übernehmen im Endzustand die Erddruckruhelast. Nur zeitweise auftretende Lasten, wie z.B. Wind- und Schneelast, sind nicht zu berücksichtigen.

Die Belastung ergibt sich aus der Lagerfläche und dem wirksamen Gewicht des fertigen Gebäudes. Über eine Variation der Lagerfläche wird die spezifische Belastung so eingestellt, dass sie möglichst nahe an der Lastgrenze für die statische Dauerlast liegt (Optimierung der Lagerpressung durch eine Kombination verschiedener Typen). Bei gleicher Dicke ergibt sich dann für alle Lager eine einheitliche Einfederung. Der Verlegeplan ist unter anderem auch in Abhängigkeit der Lagermattengrössen zu erstellen.

3.5. Ausführungs- / Anschlussdetails

Die nachfolgenden Ausführungs-, resp. Anschlussdetailsbeschriebe wurden als Input für die Ausarbeitung der Detailpläne zusammen getragen:

- Die Steifigkeit des Untergrundes wurde nach erfolgtem Baugrubenaushub kontrolliert (bei ungenügender Steifigkeit ist mit einem Einbruch der Dämmeigenschaften zu rechnen) und gleichzeitig wurde die Sickerfähigkeit des Baugrundes beurteilt. Die Lagerebene darf in keinem Fall im Wasser liegen.
- Als Unterlagsbeton unter der Erschütterungsdämmung wurde ein Beton mit Mischabbruchgranulat eingebracht. Am Rande des Unterlagsbetons wurde zur Gewährleistung der Wasserversickerung ein rund 10 cm breiter Streifen frei gelassen und mit Splitt aufgefüllt (Einlage Kantholz). Zusätzliche Entwässerungsstutzen wurde insbesondere bei Fundamentvertiefungen, Liftunterfahrten und Schachtvertiefungen angeordnet.
- Alle Kanalisationsleitungen unterhalb Bodenplatten wurden einbetoniert und mit der Bodenplatte verbunden: Die Leitungsvertiefungen wurden mit dem Dämmmaterial komplett eingepackt. Die (horizontalen und vertikalen) Dämmmaterialien wurden neben den Gebäudelasten auch auf den Betonierdruck ausgelegt.
- Alle Fundamentvertiefungen und Schächte (Liftschäfte, Schlammsammler, Hebeanlagen, etc.) wurden ebenfalls ‚mit eingepackt'. Es wurde somit keine Trennung zwischen den Schächten und der Bodenplatte vorgesehen.
- Die Bodenplatte wurde in mehreren Etappen erstellt. Die Lagerung musste auf diese abgestimmt und die Anschlussdetails entsprechend ausgearbeitet werden.

- Erdberührte Wände: Bahnzugewandt sowie seitlich des Gebäudes: Vollflächige Abdeckung plus Sickerschicht. Bahnabgewandt: Vollflächige Abdeckung -> Streifen auf Höhe der Bodenplatte, oberhalb: Enkadrain (als Dämm- und Entwässerungsschicht).
- Sämtliche Schächte (Lichtschächte, Fluchtröhre Schutzraum, etc.) wurden eingepackt: Die Dämmschicht wurde um die mit der Tragstruktur starr verbundenen Elemente geführt.
- Der Schutz des Lagermaterials ist beim Hinterfüllen besondere Beachtung zu schenken; ohne Schutz kann grobkörniges Material die Lagerebene lokal zusammenstauchen und die Dämmwirkung entscheiden verringern.
- Die Unterlage / die Oberfläche der Rühlwände wurde für das Aufbringen der Entwässerungsschicht und des Dämmaterials entsprechend vorbereitet, insb. die Bereiche der abgespitzten Einfüllnasen der Rühlwände sowie die Übergänge Stahlprofil-Rühlwand mussten nachbearbeitet werden. Als Sickerschicht auf den Rühlwandausfachungen wurde eine Noppenbahn vorgesehen. Die punktuellen Besfestigungen wurden mit demselben Material auf eine Fläche von mind. 20x20cm zusätzlich abgedeckt. Die Lagermaterialien wurden neben dem Erddruck auch auf den Betonierdruck ausgelegt.
- Die Leitungseinführungen wurden infolge Wasserdichtigkeit starr durch die Wände geführt und auf mind. eine Strecke von 2.00m im Erdreich eingepackt.
- Die Gebäudelasten wurden möglichst direkt in den Untergrund geleitet. Die Übergänge zwischen hochbelasteten und niedrigbelasteten Bereichen mussten jedoch in Abhängigkeit der Steifigkeiten (Lagerung, Untergrund und Bodenplatte) und den Bauzuständen entsprechend ausgebildet werden: Berücksichtigung der Verformungen der erhärteten Bodenplatte bei Baufortschritt.

3.6. Ausführungsdokumentation

Verlegeplan „Bodenplatte Ost“ (Plan N°09.03188.EDP.001.B)

Die konstruktive Durchbildung der vorgesehenen elastischen Gebäudelagerung, inkl. Erstellung der Ausführungsdokumentation (Verlegeplan, Lagerdetails, Arbeitsablauf,

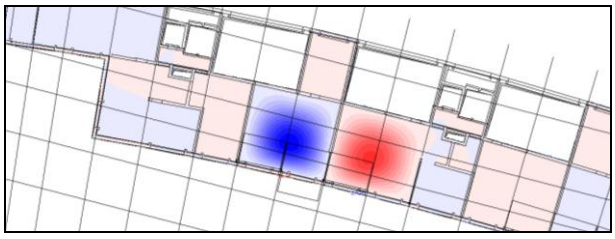
Entwässerungskonzept, usw.) wurden in Zusammenarbeit zwischen beauftragtem Bauingenieur, Architekt und Lagerlieferant erstellt. Der Einbau der Lagermaterialien wurde streng überwacht und vor dem Betonieren wurde der korrekte und fehlerfreie Einbau jeweils sorgfältig abgenommen.

3.7. Deckeneigenfrequenzen

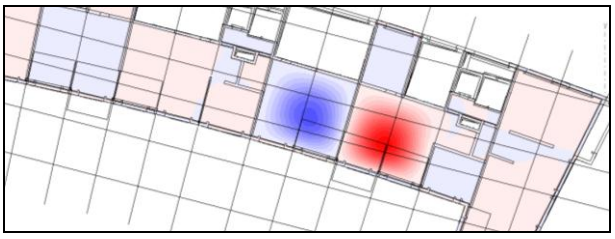
Im Rahmen des Erschütterungs- und abgestrahlten Körperschallschutzes und insbesondere in Bezug zu den Eigenschaften der elastischen Gebäudelagerung wurde seitens der Bauherrschaft eine **minimale Deckeneigenfrequenz von 18 Hz** festgelegt. Die Berechnungen zeigten, dass nicht alle Decken dieser Anforderung genügten und es mussten, nach Absprache mit den entsprechenden Fachplanern, Massnahmen angeordnet werden: hauptsächlich Ausbildung von tragendenen Zwischenwänden, Vergrösserung der Deckenstärken

Eigenform N°	Kreisfrequenz ω [rad/s]	Frequenz f [Hz]	Periode T [s]	Partizipations-faktor PF	PF^2 [t]
1	114.7	18.3	0.0548	0.422	0.18
2	116.3	18.5	0.0540	1.107	1.23
3	122.9	19.6	0.0511	6.278	39.41
4	127.8	20.3	0.0492	7.488	56.07
5	130.6	20.8	0.0481	7.199	51.82
6	159.6	25.4	0.0394	5.613	31.51
7	184.1	29.3	0.0341	0.085	0.01
8	193.9	30.9	0.0324	4.368	19.08
9	230.3	36.7	0.0273	0.48	0.23
10	234.8	37.4	0.0268	4.179	17.46
Summe					217.0
Totale Masse					671.5

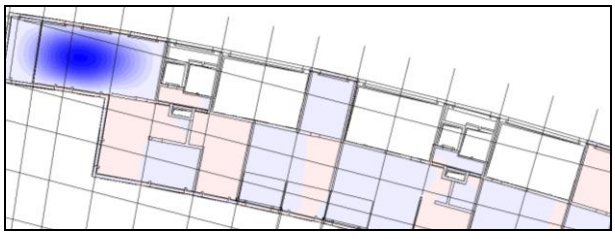
Decke über EG: Übersicht Eigenfrequenzen 1 bis 10



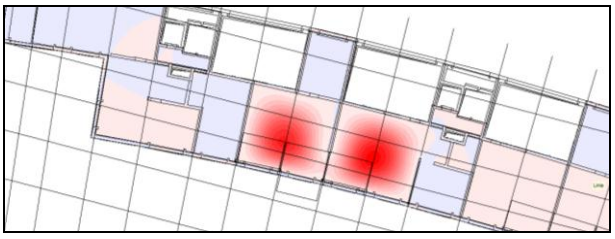
1. Eigenform: f_1 = 18.3 Hz



2. Eigenform: f_2 = 18.5 Hz



3. Eigenform: f_3 = 19.6 Hz



4. Eigenform: f_4 = 20.3 Hz

4. AUSFÜHRUNGSÜBERWACHUNG

4.1. Hauptabnahmen und Kontrollmessungen

Im Rahmen der Ausführungsüberwachung wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

- Abnahme 2.UG, Bodenplatte, alle Etappe: Abnahme der verlegten Lagerplatten, vor dem Aufbringen der Abdeckfolie.
- Zwischenmessung Bodenplatte 2.UG, nach dem Betonieren der letzten Etappe der Bodenplatte.
- Abnahme 2.UG, Wände, 1. Wandetappe: Abnahme der verlegten Lagerplatten, vor dem Aufbringen der Abdeckfolie.
- Abnahme 1.UG, Wände, 1. Etappe: Abnahme vor dem Aufbringen der Abdeckfolie.
- Schlussmessungen, nach Fertigstellung des Gebäudes (noch ausstehend).

Nr.	Bauteil / Etappe	Zeitpunkt / Kontrolle durch	Kontrollen / Bemerkungen
3	Bodenplatte: 1. Etappe, einzelne Vertiefungen	03.08.2011 04.08.2011 P. Fleischer	Ausführung gemäss Konzeptplanung: i.O. Verlegung gemäss Verlegeplan: Korrektur bei Kanalisationsvertiefung gegen Schacht bei Aussentreppe (Achse E6): ISOLMER 400 auch in der Vertiefung. Kontrolle auf evtl. Beschädigungen: Beschädigungen im Plastik infolge Verlegens der Bewehrung werden abgeklebt. Dichtigkeit von Stössen: i.O.
4	Bodenplatte: 1. Etappe, Liftunterfahrten	08.08.2011 P. Fleischer S. Mammana	Ausführung gemäss Konzeptplanung: i.O. Verlegung gemäss Verlegeplan: i.O., keine Bemerkungen Kontrolle auf evtl. Beschädigungen: Isolmer hat sich in beiden Liftvertiefungen infolge Wasser gewölbt, Wasser wird abgepumpt. Dichtigkeit von Stössen: i.O.

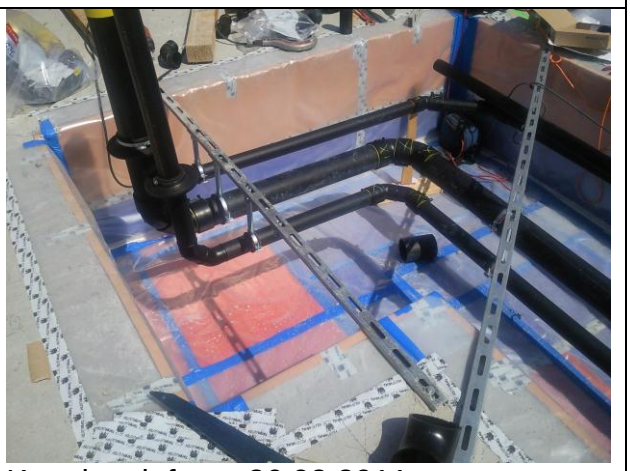
Auszug Abnahmeprotokoll

Die Verlegung der Isolmerplatten und Abdichtung erfolgte nach Vorgabe von HBT Isol und wurde i. A. sehr sauber und korrekt ausgeführt. Kleinere Einbauschwierigkeiten / -mängel konnten telefonisch und/oder direkt während den Abnahmen besprochen und behoben werden.

Bodenplatte, 23.08.2011

Fundamentvertiefung, 29.07.2011

Detail Arbeitsfuge, 11.08.2011



Kanalvertiefung, 26.08.2011

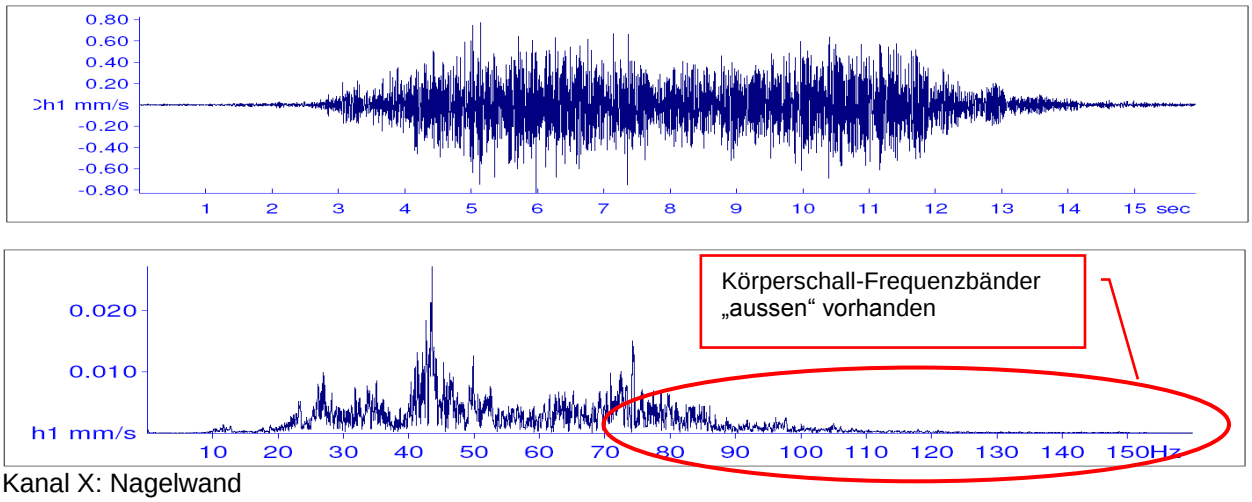
Pumpensumpf, 29.07.2011

Pumpensumpf, 16.08.2011

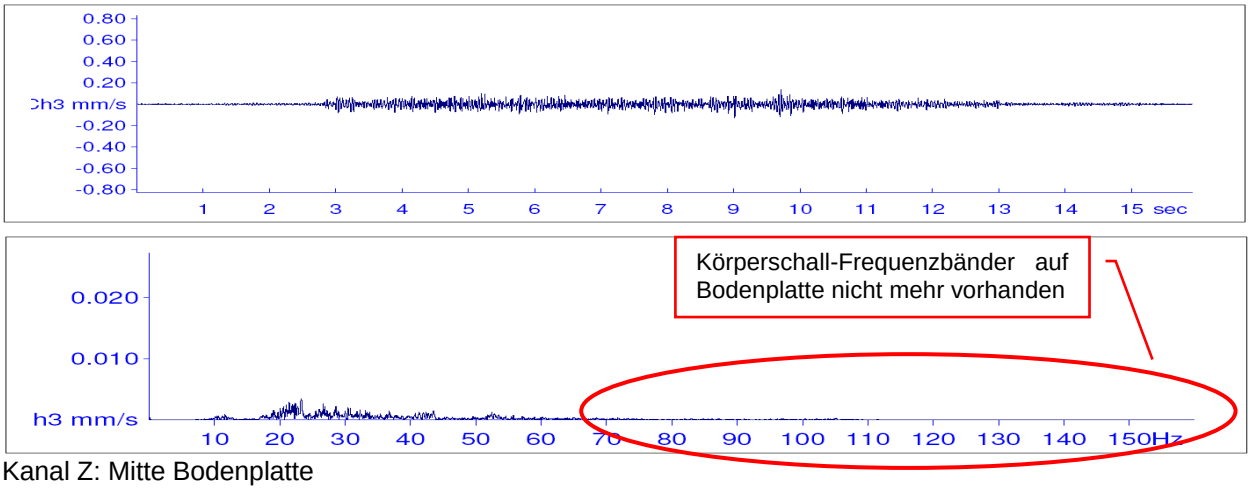
Einbau Isolmerplatten: Ausgewählte Bilder

4.2. Kontrollmessungen (Schalldämm-Messung)

Nach dem Verlegen der elastischen Gebäudelagerung und der Kontrolle der korrekten Ausführung wurde ebenfalls eine Kontrollmessung der Lagerdämmeigenschaften durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt waren die Bauarbeiter im Untergeschoss mit Ausschalen der Wände beschäftigt. Die erhaltenen Resultate sind vom Baufortschritt abhängig; auch ohne die oberen Geschosse kann man die gute Funktionsweise der elastischen Lagerung erkennen.



Kanal X: Nagelwand



Kanal Z: Mitte Bodenplatte

Zeitverläufe und Frequenzspektren: Bsp. Personenzugvorbeifahrt

Die Kontroll- / Erschütterungsmessungen zeigen, dass höhere Frequenzen gedämmt werden: Es kann davon ausgegangen werden, dass die elastische Teilentkoppelung im Endzustand die Körperschall-Immissionen im geplanten Rahmen reduziert.

Die Schlussfolgerungen basieren auf den Resultaten der Zwischenmessungen. Diese zeigten bereits eine sehr gute Körperschalldämmung für den Frequenzbereich > 80Hz (die Erschütterungen werden in diesem Bereich praktisch zu 100% gedämmt). Infolge der noch fehlenden Gebäudemasse liegt die Grundeigenfrequenz bei ca. 40 Hz. Nach Bauvollendung kann davon ausgegangen werden, dass diese in den Bereich der Auslegungsfrequenz zu liegen kommt (ca. 15 Hz) und damit die Körperschalldämmung noch einmal erheblich verbessert wird.