



**TROMBIK INGENIEURE AG**

Dipl. Ing. ETH/SIA/USIC

Limmattalstrasse 344

CH - 8049 Zürich

Tel: 044 344 41 71

Fax: 044 344 41 72

Mail: [trombik@trombik.ch](mailto:trombik@trombik.ch)

Web: [www.trombik.ch](http://www.trombik.ch)

---

**LV Schaffhausen: Annahmegütergleis 750m  
Stellwerk SpDrs  
Erschütterungen Bahnbetrieb und Bauarbeiten**

**Voruntersuchungen / Beurteilung Varianten**

Erschütterungsmessungen, Auswertungen, Folgerungen

**Bericht Nr.: 18.04044.EDS.001.0**

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>3</b>
1.1.	Problemstellung.....	3
1.2.	Allgemeines.....	4
1.3.	Grundlagen .....	4
<b>2.</b>	<b>BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN.....</b>	<b>5</b>
2.1.	Erschütterungsempfindliche Geräte .....	5
2.2.	Schäden an Bauwerken .....	6
<b>3.</b>	<b>MESSKAMPAGNE.....</b>	<b>7</b>
3.1.	Messkampagne .....	7
3.2.	Ausgewählte Messresultate .....	8
<b>4.</b>	<b>BEURTEILUNG ERSCHÜTTERUNGEN.....</b>	<b>12</b>
4.1.	Ist-Zustand Bahnerschütterungen.....	12
4.2.	Prognosen Bahnerschütterungen .....	12
4.3.	Bau-Zustand .....	13
4.4.	Vorschlag von Grenzwerten (ohne Massnahmen) .....	14
4.5.	Belästigung des Menschen .....	15
4.6.	Schäden an Bauwerken .....	15
<b>5.</b>	<b>MÖGLICHE MASSNAHMEN .....</b>	<b>16</b>
5.1.	Empfängerseitig: Elastische Trennlage / Luftfederlagerung.....	16
5.2.	Bauarbeiten.....	16
5.3.	Bauüberwachung .....	17
<b>6.</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN.....</b>	<b>18</b>
<b>7.</b>	<b>BEILAGE: BEISPIEL LAGERUNG AUF LUFTFEDERN .....</b>	<b>20</b>

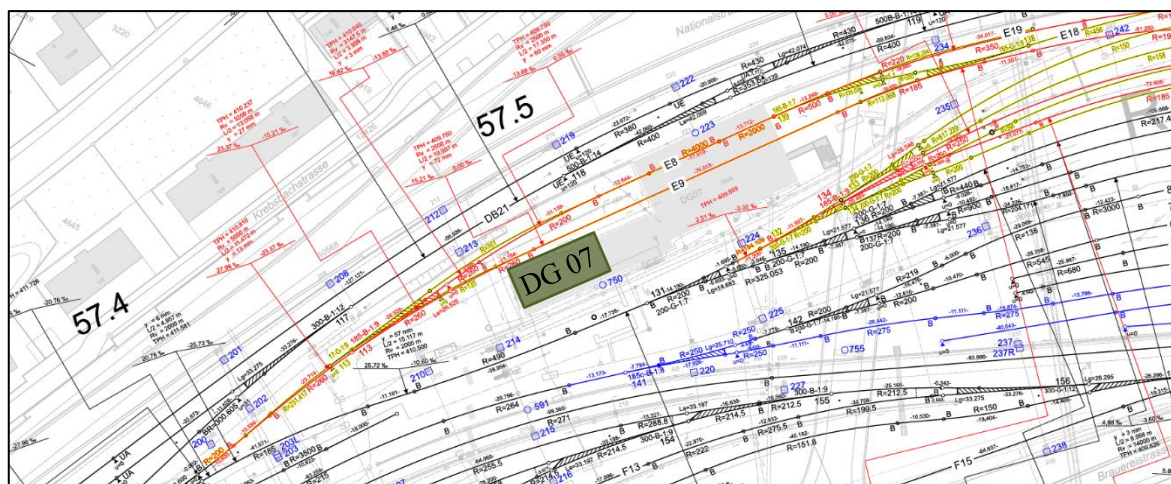
## 1. EINLEITUNG

### 1.1. Problemstellung

Im Rahmen des Studiums «LV Schaffhausen: Annahmegütergleis 750m» werden vier Ausbauplanvarianten untersucht. Unter anderem wird dabei die Durchleitung von Zügen durch die bestehende Remise geprüft, welche infolge der beiden ausgebauten Gleise / höheren Fahrgeschwindigkeiten zu einer Erhöhung der Erschütterungen im Dienstgebäude führt. Für das erschütterungsempfindliche Stellwerk werden folgende beide Varianten hinsichtlich den Erschütterungsimmissionen untersucht:

- Var. 1a: Verbindung R7-E9 mit Vorbeifahrt Bereich abzubrechendes Gebäudeteil DG07
- Var. 2b: Ohne Gebäudedurchfahrt / Gleis R8 frei

Beide Varianten sehen einen Schotteroberbau vor.



*Situation Dienstgebäude DG 07 / Stellwerk (Planausschnitt Amtsvariante)*

Während der Bau- und Betriebsphase darf es zu keinen erschütterungsbedingten Störungen bei den empfindlichen Elektroinstallationen im Stellwerk kommen. Dazu wurde das Stellwerk auf seine Vorbelastung in Bezug auf Erschütterungsimmissionen untersucht; d.h. es wurde die Vorbelastung als Folge der Erschütterungsquellen durch den Bahnbetrieb auf den angrenzenden Gleisen sowie bei normalen Tätigkeiten im Stellwerk festgestellt und mit gängigen Richtwerten verglichen werden. Da sich Erschütterungsprobleme abzeichnen, werden mögliche Verbesserungsmassnahmen für die Bauphase vorgeschlagen.

Die Firma TROMBIK Ingenieure AG, Zürich wurde beauftragt, entsprechende Untersuchungen durchzuführen. Die Untersuchungsergebnisse sind im vorliegenden Bericht in Kurzform zusammengefasst. Für weitergehende Betrachtungen stehen die Unterlagen im Büro zur Verfügung.

## 1.2. Allgemeines

Bei Vorbeifahrten von Schienenverkehr sowie bei Bauarbeiten werden Schwingungen erzeugt, die über den Untergrund abgeleitet werden. Bei der Übertragung vom Boden auf ein Fundament und bei der weiteren Ausbreitung im Gebäude werden die Schwingungen je nach Baugrund und Bauweise gedämpft oder verstärkt.

Erregung und Ausbreitung von Schwingungen aus dem Bau- und Bahnbetrieb hängen von den folgenden Faktoren ab:

- Baumethode und Art des Baugeräts (Bau)
- Dynamische Kräfte zwischen Rad und Schiene, Art des Oberbaus (Betrieb)
- Eigenschaften des Erdbodens
- Abstand zwischen Erregungsort und Gebäude
- Übertragungsbedingungen Erdboden-Fundament-Gebäudewand
- Schwingverhalten der Geschossdecke

Die Gebäudeschwingungen können verschiedene nachteilige Auswirkungen haben, dazu gehören unter anderem Funktionsstörungen von schwingungsempfindlichen Geräten/Anlagen und Schäden am Gebäude (z.B. Risse im Verputz).

Neben äusseren Einflüssen sind auch betriebsinterne Erschütterungen zu beachten, durch die im Normalfall keine Störungen der schwingungsempfindlichen Geräte/Anlagen zu erwarten sind. So erzeugen z.B. normale Unterhaltsarbeiten an Geräten (Schaltschränken) zum Teil erhebliche Schwingungen wie das Öffnen oder Schliessen von Schrank- oder Gebäudetüren.

Der massgebende Frequenzbereich bei der Beurteilung von Erschütterungen bei Geräten/Anlagen geht von ca. 1 Hz bis 200 Hz. Im tieffrequenten Bereich reagieren die Geräte normalerweise empfindlicher auf Erschütterungen.

## 1.3. Grundlagen

Für die Durchführung der vorliegenden Untersuchung standen insbesondere die folgenden Unterlagen und Berichte zur Verfügung:

- Erstellungspläne (1966, resp. 1967) Ansicht und Grundriss DG07
- Colin G. Gordon: „Generic Criteria for Vibration-Sensitive Equipment“; Proceedings of International Society for Optical Engineering (SPIE), Vol. 1619, San Jose, CA, November 4-6, 1991, pp. 71-85
- SBB-Dokument „Knoten Zürich: Grenzwerte für Schwingungen und Stösse beim Stellwerk“, 30.03.2009
- SBB-Dokument „Externe Bedingungen zum Stellwerksystem SpDrs-SBB“, Nr. A25100-X1-A510-1.0-25 ExtBed SpDrS-SBB, Version 1.0 (29.02.2016)

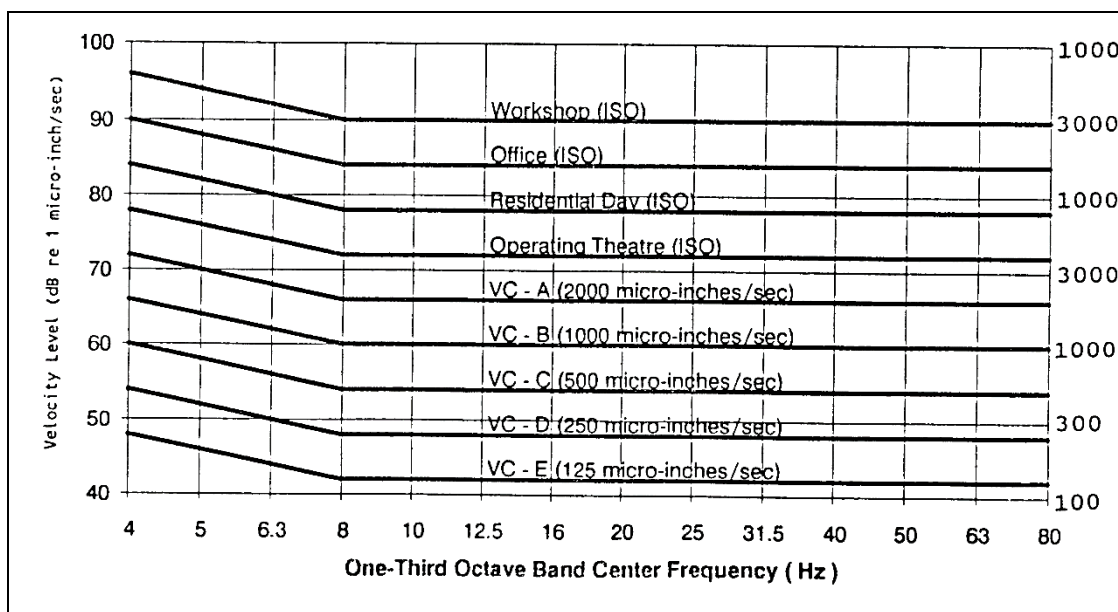
## 2. BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN

Nachfolgend werden die Anforderungen an (z.B. durch Bauarbeiten verursachten) Erschütterungsimmissionen in Kurzform zusammengefasst.

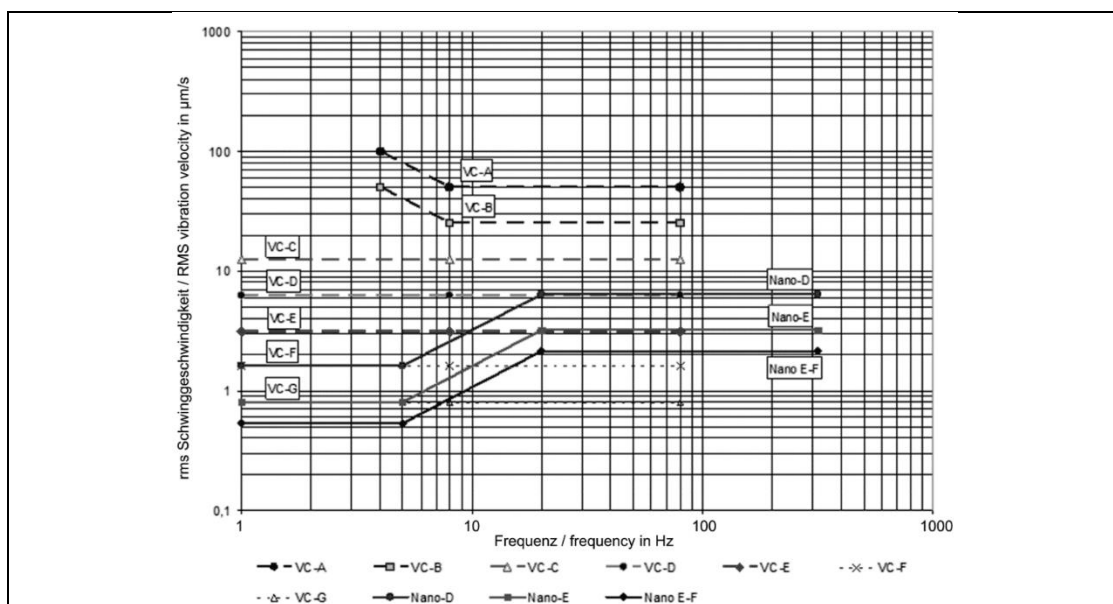
### 2.1. Erschütterungsempfindliche Geräte

Grenzwerte sind von Anlage zu Anlage stark unterschiedlich und müssen spezifisch definiert werden (zulässigen Schwinggeschwindigkeiten bezüglich des Frequenzbereichs: Zulässiges Amplitudenspektrum).

- Das SBB-Dokument „Externe Bedingungen zum Stellwerksystem SpDrs-SBB“ lässt sich wie folgt zusammenfassen:
  - **Für Sinusschwingungen von 2-200 Hz 1,0 mm (Wegamplitude)**
  - **Für Stösse werden 10 m/s<sup>2</sup> bis 100 ms (20-50 Hz) angegeben.**
- Das SBB-Dokument „Knoten Zürich: Grenzwerte für Schwingungen und Stösse beim Stellwerk“ lässt sich für ‘im Gebäude’ wie folgt zusammenfassen:
  - **Für Sinusschwingungen von 2-9 Hz 1,5 mm Wegamplitude und von 9-200 Hz 5 m/s<sup>2</sup> Schwingbeschleunigung**
  - **Für Stösse werden 40 m/s<sup>2</sup> bis 22 ms angegeben.**
- Basierend auf diesen beiden Dokumenten empfiehlt Trombik Ingenieure AG, Zürich folgende Anforderungen zu verwenden:
  - **Sinusschwingungen von 2-9 Hz 1,0 mm Wegamplitude und von 9-200 Hz 3.35 m/s<sup>2</sup> Schwingbeschleunigung**
  - **Stösse von 20-50 Hz 10 m/s<sup>2</sup> bis 100 ms.**
- Gordon hat für erschütterungsempfindliche Geräte sogenannte VC-Kurven (vibration criterion) definiert. Diese VC-A bis VC-E Kurven sind vor allem für optische Instrumente entwickelt worden und liegen unterhalb der Grenzwertkurven für Betriebe, Büro, Wohnen, Theater der ISO Norm. Die ISO-Kurve für Wohnen tagsüber wird üblicherweise auch für die Beurteilung von Computeranlagen verwendet. Von 8-80 Hz erlaubt diese Kurve Terzbandwerte der rms-Schwinggeschwindigkeit von 8000 microinches/s, was gerade 0.2 mm/s entspricht.
- Angaben von Herstellern von EDV-Anlagen geben Spezifikationen zu Erschütterungen über Frequenzbereiche mit Wegamplituden (Frequenzen zw. ca. 2 und 20 Hz) und Beschleunigungen (Frequenzen zw. ca. 5 und 500 Hz) an, bei denen ihre Apparaturen noch ohne Störungen betrieben werden können. Meist wird zwischen länger anhaltenden Schwingungen und Stössen/Impulsen unterschieden. Kurze Impulse dürfen um Größenordnungen stärker sein als sinusförmige Schwingungen. Die Wegamplituden liegen im Bereich von 0.2-0.5 mm, die Beschleunigungen zwischen 0.2 und 0.5g (g = Erdbeschleunigung) für sinusförmige Schwingungen.



ISO- und VC-Kurven (alte Darstellung)



VC- und Nano-Linie (VDI 2038 Blatt 2, Bild 10)

## 2.2. Schäden an Bauwerken

Die Beurteilung „Schäden an Bauwerken“ gemäss SN 640 312a „Erschütterungseinwirkung auf Bauwerke“ bezieht sich auf das Maximum des resultierenden Vektors der Schwinggeschwindigkeit für unterschiedliche Frequenzen.

**Für ein normal empfindliches Gebäude betragen die Richtwerte für häufige Einwirkungen:** <30 Hz  $V_R = 6 \text{ mm/s}$ ; 30-60 Hz  $V_R = 8 \text{ mm/s}$ ; >60 Hz  $V_R = 12 \text{ mm/s}$ .



### 3. MESSKAMPAGNE

#### 3.1. Messkampagne

Die Aufnahme der heutigen Erschütterungssituation wurde anhand von drei Erschütterungsmesspunkten im Stellwerk durchgeführt. Es wurde jeweils die Vertikalkomponente der vorhandenen Schwingungen gemessen:

Messpunkte:

- MP 1 vertikal: Messpunkt Deckenrand (Kanal 1).
- MP 2 vertikal: Messpunkt Mittel Decke (Kanal 2).
- MP 3 vertikal: Messpunkt auf einem Schaltgehäuse (Kanal 3).

Die Messkampagne zur Erfassung der Schwinggeschwindigkeiten [mm/s] fand am 6. November 2018 statt. Am Messort wurden während einer Beobachtungsdauer zwischen ca. 09:30 Uhr und 10:30 Uhr mehrere Zugsvorbeifahrten sowie einzelne Erschütterungsimmissionen der Unterhaltsarbeiten im Stellwerk mittels manueller Messauslösung erfasst.



*Aussenansicht Schaltzentrale*



*Verstrebung / Halterungen (oben)*



*Messpunkte 2 und 3*

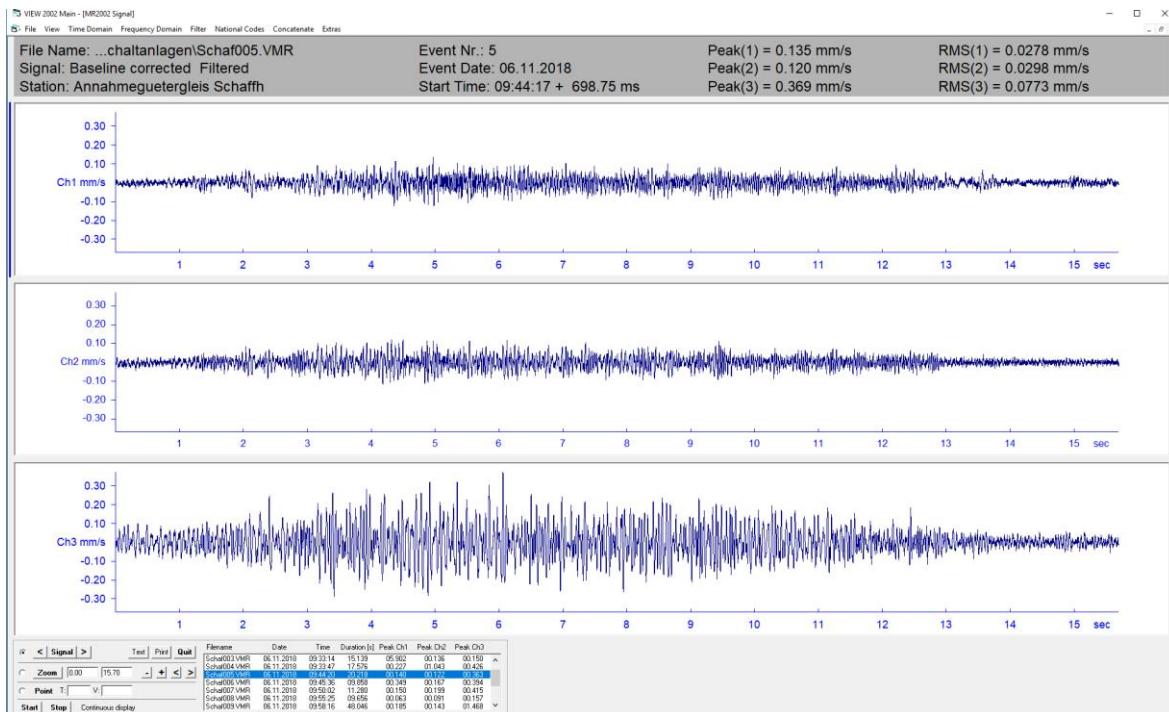


*Lagerung / Abstützpunkte (unten)*

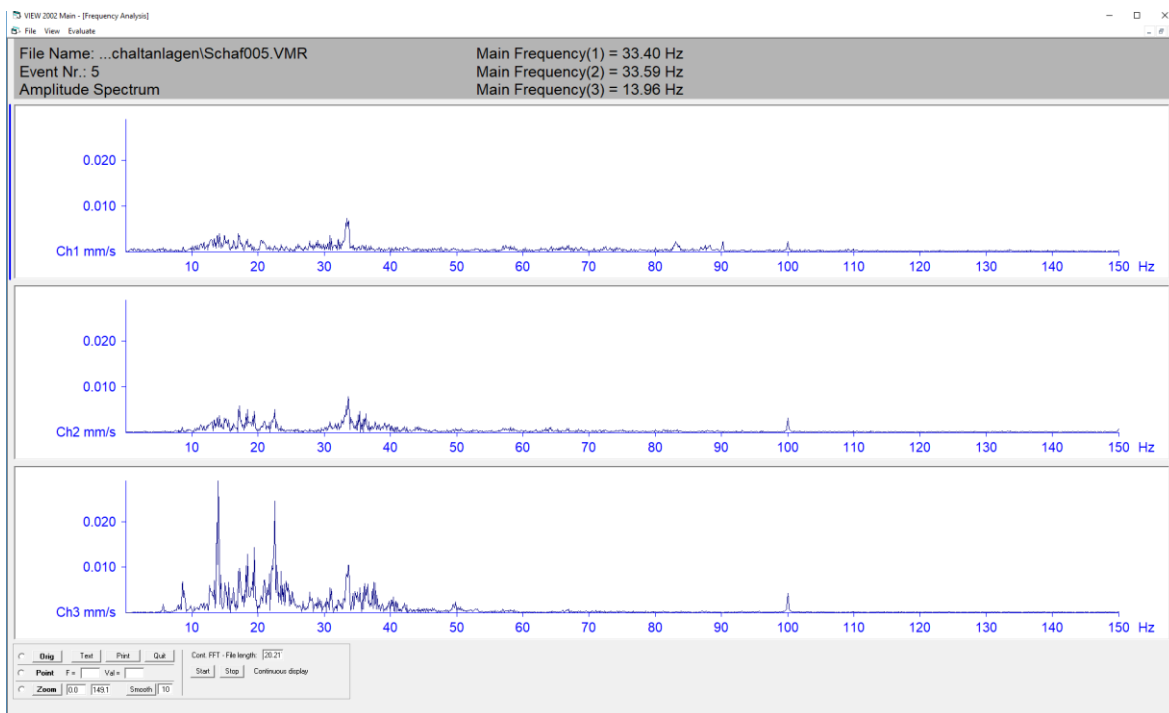
Die Messungen und Resultatauswertungen fanden mit Hilfe von hochwertigen Messgeräten und unter Beachtung der gängigen Verfahren statt.

### 3.2. Ausgewählte Messresultate

Nachfolgend einige typische Messaufzeichnung für die drei Messpunkte / -kanäle:

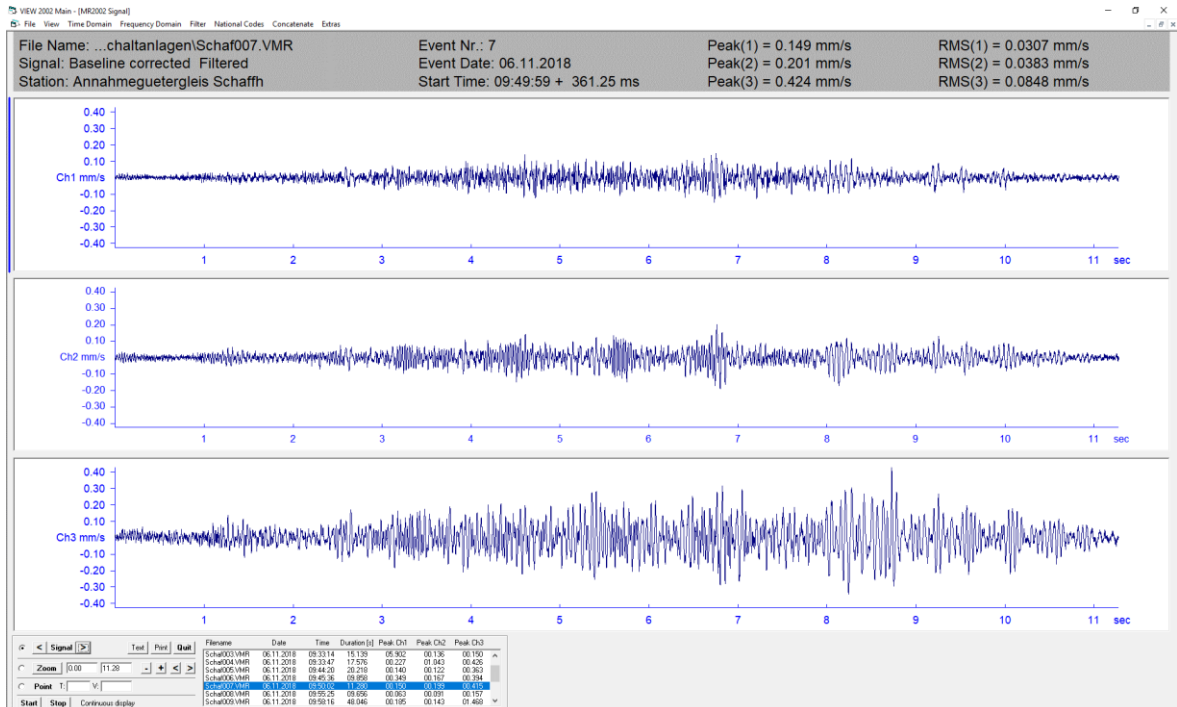


*Zeitverläufe, Personenzug-Vorbeifahrt Gleis 4*

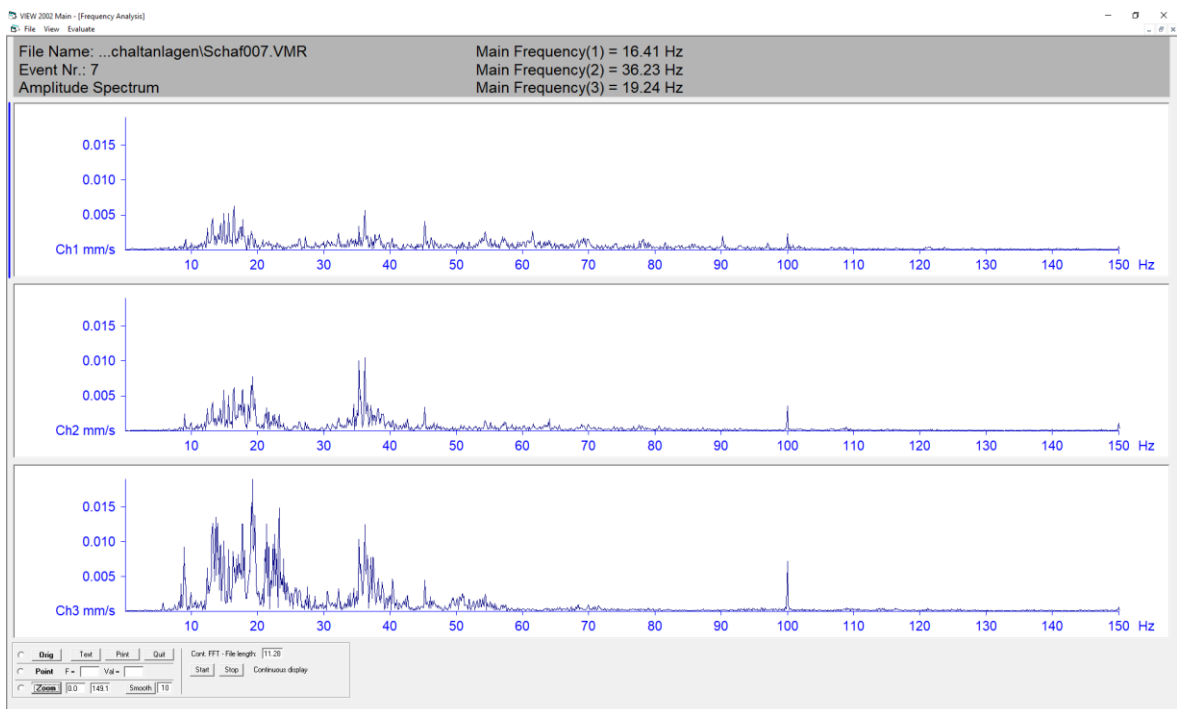


*Schmalbandspektren, Personenzug-Vorbeifahrt Gleis 4*

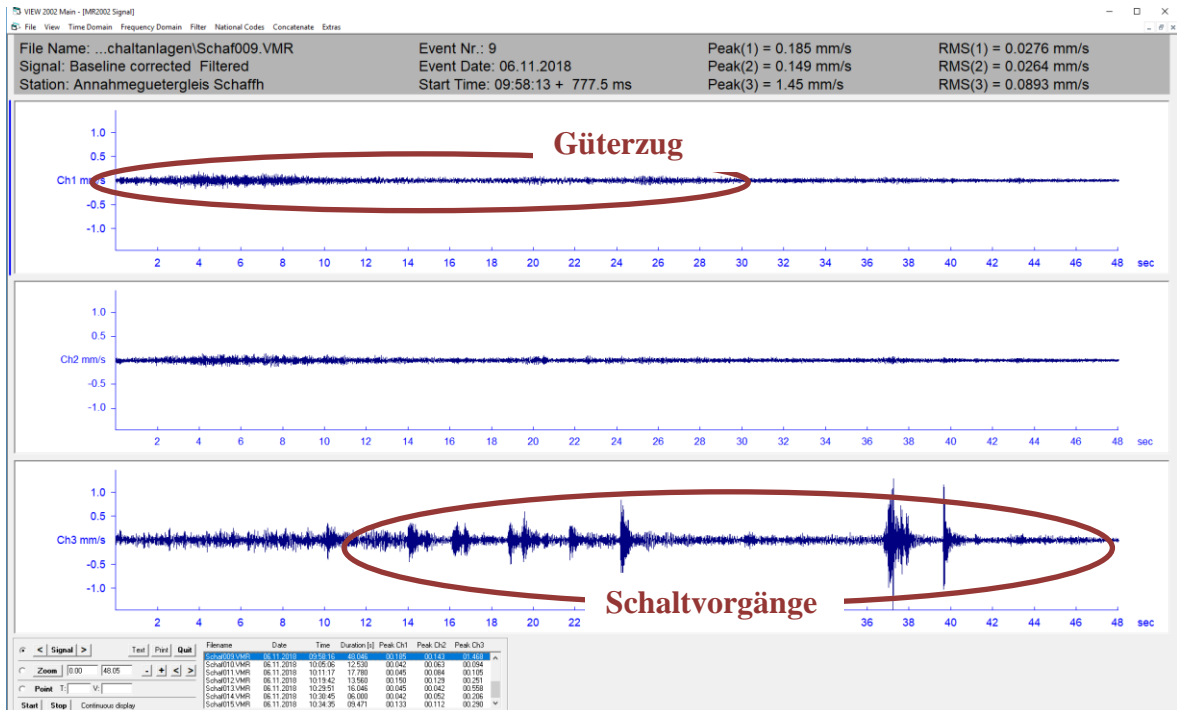




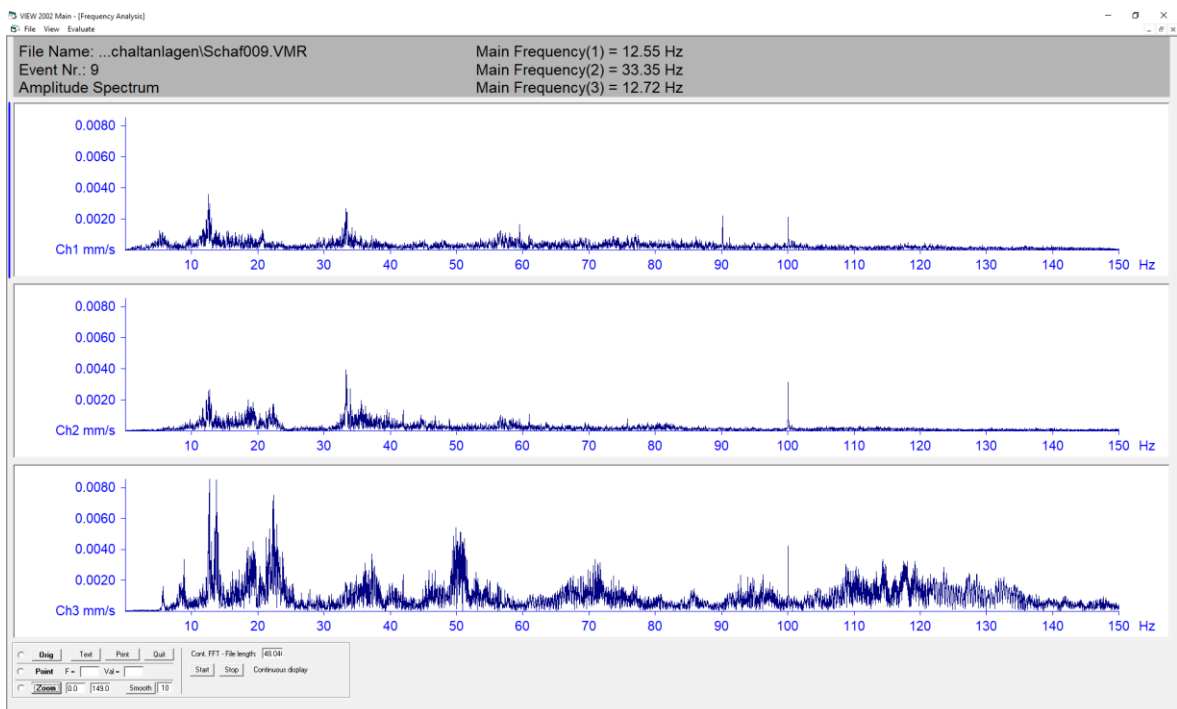
Zeitverläufe, S-Bahn-Vorbeifahrt Gleis 3



Schmalbandspektren, S-Bahn-Vorbeifahrt Gleis 3

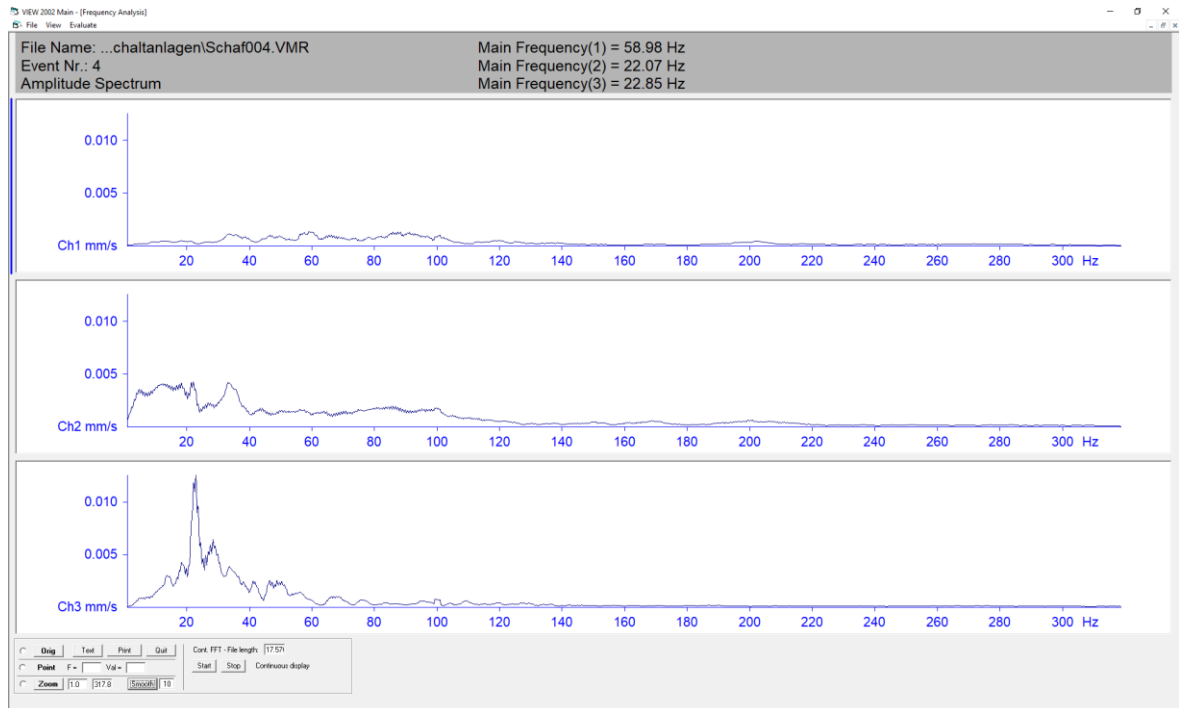


Zeitverläufe, Güterzug-Vorbeifahrt Gleis 3 und Schaltvorgänge



Schmalbandspektren, Güterzug-Vorbeifahrt Gleis 3 und Schaltvorgänge

**Die maximalen Amplituden der ausgewerteten Züge liegen auf dem Boden (Beurteilungspunkt) im Bereich von 0.2 mm/s und auf den Apparaturen im Bereich von 0.4 mm/s; die erste Eigenfrequenz liegt im Bereich von 23 Hz in z-Richtung, in horizontaler Richtung wurden die Werte nicht aufgezeichnet.**



*Schmalbandspektren (geglättet), Fersenhübe Deckenmitte*

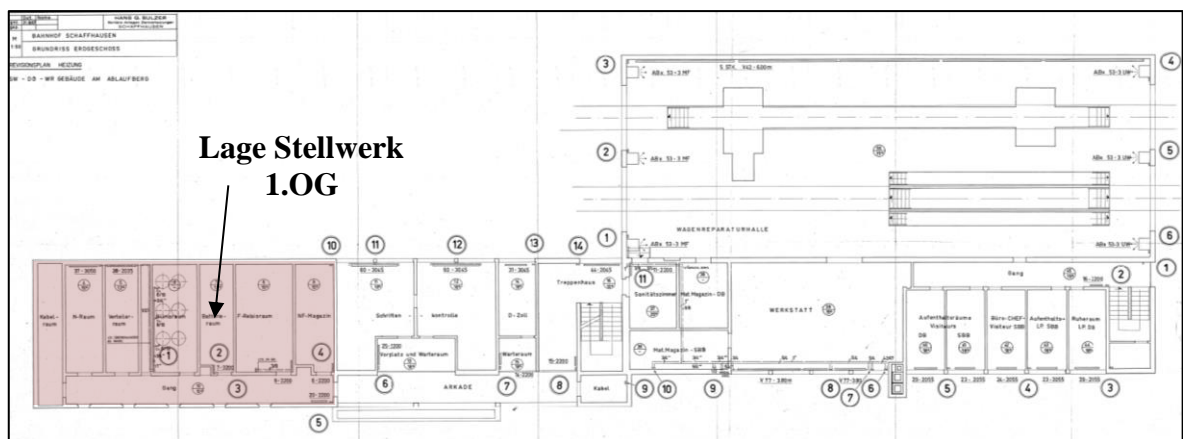
Die Erschütterungssignale der Zugsvorbeifahrten wurden frequenzanalysiert und entsprechend gemittelt. Zwischen den Terzbandspektren der Aufzeichnungen auf den Apparaturen und dem Boden könnten für jede Komponente Übertragungsfunktionen bestimmt. Damit kann die Stärke von anderen Signalen, die auf dem Boden gemessen werden, die Stärke auf den Apparaturen abgeschätzt werden. Im Rahmen dieser Untersuchungen / zum jetzigen Zeitpunkt wurden auf detaillierte Prognoseberechnungen verzichtet.

## 4. BEURTEILUNG ERSCHÜTTERUNGEN

### 4.1. Ist-Zustand Bahnerschütterungen

Im Stellwerk werden am Boden und auf den Apparaturen (Gehäuse) bereits heute im Normalzustand deutliche Erschütterungen festgestellt. Bei den Zügen können Schwingungen über mehrere Sekunden auftreten und die Relais-Schaltvorgänge führen zu etwa 3x höheren Erschütterungen auf den Apparaten als bei Zugsvorbeifahrten. Zwischen Boden und Apparaturen wurden im Mittel eine Verstärkung der Schwingungsamplituden um den Faktor 2.3 gemessen. Unterhalts- / Montagearbeiten an den Gehäusen wurde nicht simuliert. Es ist jedoch zu erwarten, dass auch solche Tätigkeiten bei den 'weichen' Gestellen zu hohen Schwingungsamplituden führen.

Der Boden des 1. Obergeschosses kann als steif betrachtet werden: Zwischen Deckenrand und Deckenmitte wurden keine Verstärkungen der Schwingungsamplituden gemessen. Die Querwände im Erdgeschoss reduzieren die Deckenspannweiten massgebend. Für eine elastische Entkoppelung (Massnahmen empfängerseits) wäre der Boden gut geeignet.



Grundriss Erdgeschoss

Sensitivitätsbetrachtungen: Es ist zu erwähnen, dass mit den Kurzzeitmessungen nicht die stärksten Erschütterungsereignisse, die im Ist-Zustand auftreten können, erfasst wurden. Es kann aber festgehalten werden, dass die Richt- / Grenzwerte deutlich eingehalten werden.

### 4.2. Prognosen Bahnerschütterungen

Der heutigen (und gemessene) Bahnverkehr findet auf den Gleisen 3 (DB21) und 4 (DB22) statt. Zu beurteilen ist die Situation / die massgebende Variante 1a bei Durchfahrten auf den Gleisen 1 (E9) und 2 (E8). Die Gleisachsen weisen folgende Abstände auf:

- Gleis 1 (E9): ca. 4.0m, Weichenherz Abstand 17m
- Gleis 2 (E8): ca. 6.9m, Weichenherz Abstand 17m
- Gleis 3 (DB21): ca. 15m
- Gleis 4 (DB22): ca. 19m

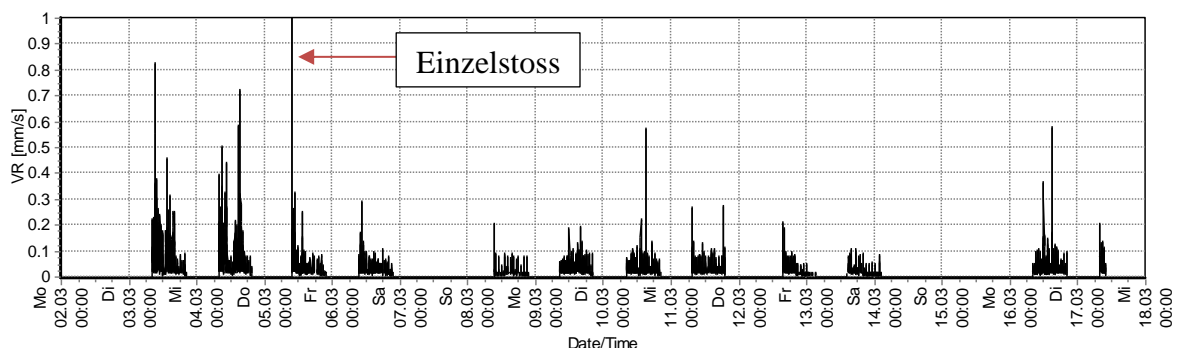
Überschlägige Prognoseberechnungen (VIBRA-1-Studien) zeigen, dass insbesondere mit den veränderten Abständen und der naheliegenden Weiche mit einer Erhöhung der Schwingungsamplituden um einen Faktor 5 auszugehen ist. Somit ist bei Bahnbetrieb durch die bestehende Remise von folgenden Schwingungsamplituden auszugehen: **Maximalen Amplituden auf dem Boden (Beurteilungspunkt) im Bereich von 1.0 mm/s und auf den Apparaturen im Bereich von 2.0 mm/s.**

### 4.3. Bau-Zustand

Vor allem während Baugrubenarbeiten ist mit stärkeren Erschütterungen zu rechnen. Bohrungen für Rühlwandträger sind jedoch nicht so erschütterungsintensiv wie Spundwandvibrieren. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass es zu impulsartigen Immissionen kommen wird, die in den Bereich der Richtwerte kommen werden. Detaillierte Angaben zu den vorgesehenen Bauarbeiten sind zum jetzigen Zeitpunkt nicht vorhanden. Ein kürzlich von Trombik Ingenieure AG überwachter Bohrvorgang knapp neben einem Nebengebäude eines Schulhauses zeigte für den Bohrvorgang nur relativ geringe Erschütterungsimmersionen am Boden des Gebäudes bis höchstens  $V_R = 0.8 \text{ mm/s}$ .



*Beispiel Überwachung einer Bohrung*



*Beispiel Überwachung einer Bohrung, Messresultate Resultierende Erschütterungen am Boden, Einzelpeak eines Stosses bis  $V_R = 7.3 \text{ mm/s}$*

Zur Vermeidung bzw. Reduktion unzulässiger Erschütterungen gibt es die Möglichkeit einer Erschütterungsüberwachung und allenfalls eine elastische Lagerung der empfindlichen Apparaturen.

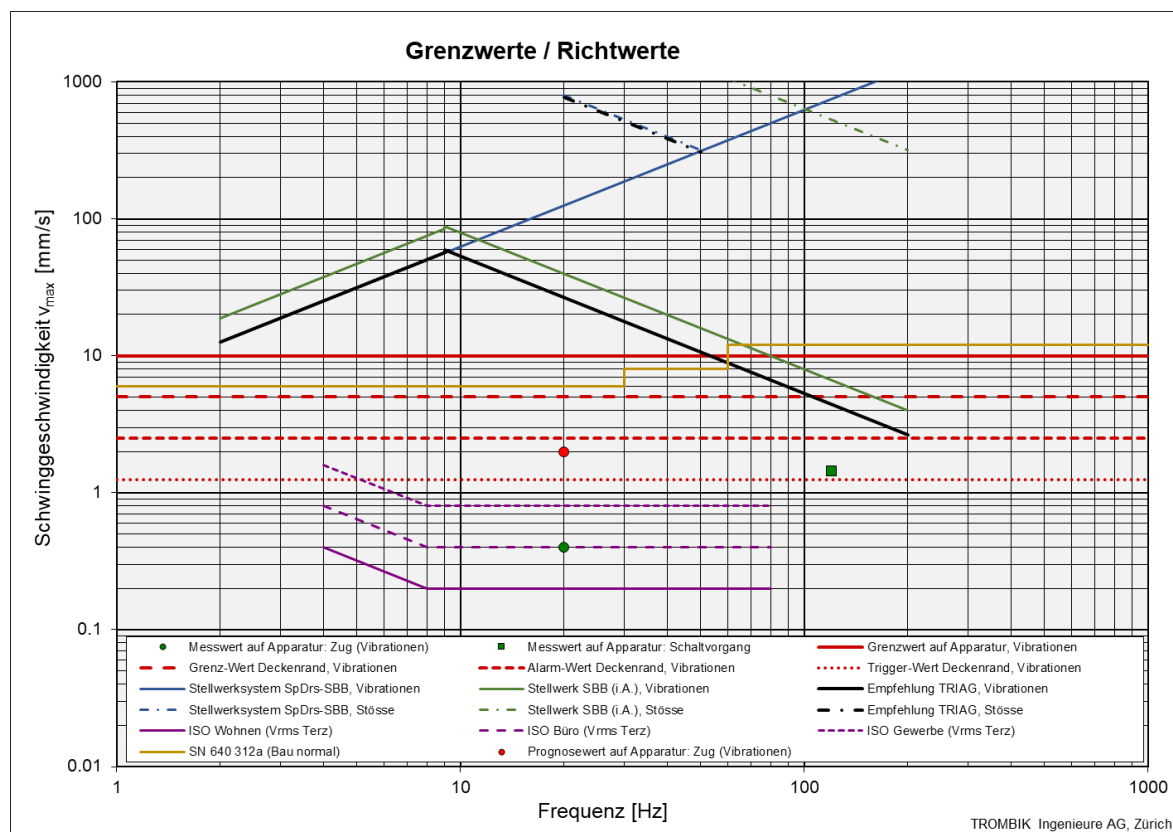


#### 4.4. Vorschlag von Grenzwerten (ohne Massnahmen)

Die gemessenen Schwinggeschwindigkeitsamplituden für Züge auf dem nächsten Gleis liegen deutlich unterhalb der Anforderungen. Herstellerangaben sind im Allgemeinen als Bereiche garantierter Funktionstüchtigkeit anzusehen, ein Überschreiten der dort definierten Grenzwerte führt nicht zwingend zu Schäden an Anlagen; die in die Anforderungswerte eingebaute Sicherheit ist unbekannt. Impulse möglicher Unterhaltsarbeiten im Stellwerk liegen ebenfalls deutlich tiefer als gemäss Herstellerangaben toleriert.

Gemessene Maximalwerte von Einzelereignissen (,Impuls / Stoss') sind zu taxieren und gesondert zu betrachten. Bei länger andauernden Erschütterungen (,Vibrationen') sind die Grenzwerte entsprechend tiefer anzusetzen.

Generell sind zulässige Werte in Abhängigkeit der Frequenz zu definieren. Im Sinne einer Vereinfachung werden nachfolgend nur maximale Schwinggeschwindigkeiten definiert, diese gelten somit über den ganzen Frequenzbereich. Die nachfolgend vorgeschlagenen Grenzwerte für den Bodenmesspunkt (MP 1) berücksichtigen die gemessene Verstärkung / Amplifikation auf die Apparaturen:



*Grenzwerte Bahntechnikanlagen (Betonboden);  
Trigger-, Alarm- und Grenz-Werte Vibrationen*

Für einen Messwert auf der Apparatur (ohne Berücksichtigung der Verstärkung vom Boden aus / konservative Annahme) kann die dunkelrot ausgezogene Grenzwertlinie definiert werden. Die im Diagramm ebenfalls aufgeführten Vergleichswerte der Norm SN 640 312a gelten für normal empfindliche Bauwerke bei ,häufigen' Einwirkungen. Dabei handelt es sich

um Festkörperschwingungen: Messung am Deckenrand bzw. Fundament. Die vorgeschlagenen Grenzwertkurven beruhen auf dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis. Mit Herstellerangaben zu den im Stellwerk tatsächlich vorhandenen Apparaturen könnten die Grenzwertkurven noch entsprechend angepasst werden.

**Grenzwerte Technikgebäude (Messpunkt Boden / Deckenrand), ohne Massnahmen**

<b>Anregungsart</b>	<b>Trigger-Wert</b>	<b>Alarm-Wert</b>	<b>Grenz-Wert</b>
<b>Impuls / Stoss</b>	<b>5.00 mm/s</b>	<b>10.0 mm/s</b>	<b>20.0 mm/s</b>
<b>Vibrationen</b>	<b>1.25 mm/s</b>	<b>2.5 mm/s</b>	<b>5.0 mm/s</b>

#### **4.5. Belästigung des Menschen**

Die Beurteilung „Belästigung des Menschen“, resp. Gemäss BEKS (Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen) war nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Die prognostizierten Erschütterungseinwirkungen deuten jedoch auf kein mögliches Schädigungspotential hin.

#### **4.6. Schäden an Bauwerken**

Die Beurteilung „Schäden an Bauwerken“ gemäss SN 640 312a „Erschütterungseinwirkung auf Bauwerke“ war nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Die prognostizierten Erschütterungseinwirkungen deuten jedoch auf kein mögliches Schädigungspotential hin.

## 5. MÖGLICHE MASSNAHMEN

In Anbetracht des vorliegenden Bauvorhabens und den prognostizierten Erschütterungs- und insbesondere Körperschallimmissionen können folgende Massnahmen überprüft werden:

### 5.1. Empfängerseitig: Elastische Trennlage / Luftfederlagerung

Zur Dämmung der Erschütterungsmissionen kann eine horizontale Trennlage zwischen den Stahlrahmen der Gestelle umgesetzt werden (Empfänger-isolierung: Vollständige Entkoppelung der erschütterungsempfindlichen Geräte). Die Abstimmfrequenz der Lagerung hat auf einen Wert von unter 5 Hz zu erfolgen.

Die bereits heute relativ tiefen Eigenfrequenzen der Gestelle können durch zusätzliche Streben mit vernünftigem Aufwand noch etwas erhöht werden.

Durch die sehr weiche Lagerung können sich beim Hantieren an den Schränken bzw. am Batteriegestell bei Unterhaltsarbeiten grössere Bewegungen ergeben, was für die Funktionalität der Apparaturen aber kein Problem darstellen sollte. Bei entsprechender Handhabung lassen sich diese Bewegungen aber auch vermeiden.

In der Beilage wird ein Beispiel einer Luftfederlagerung bei einer Serveranlage gezeigt. Nach dem Einbau wurde die Wirkung der Lagerung mit einer Schwingungsmessung überprüft. Durch einen Sensor am Boden neben und auf der gelagerten Serveranlage können die Unterschiede im Zeitverlauf und im Spektrum deutlich gemacht werden. Die Amplituden der Frequenzen über der Eigenfrequenz werden deutlich gemindert.

### 5.2. Bauarbeiten

Das Abgeben einer zuverlässigen und allgemein gültigen Prognose über die zu erwartenden Erschütterungsmissionen über die gesamte Dauer der Bauarbeiten ist praktisch unmöglich. Relevante Quellen von Erschütterungen sind im Allgemeinen Baumethoden wie z.B. Sprengen, Rammen und Spunden (Baugrube), Einsatz schwerer Abbauhämmer, Meisselarbeiten oder andere Schlaggeräte, Entfernen von Hindernissen beim Aushub, Verdichten (z.B. Plattenvibratoren), der Materialumschlag (z.B. an Übergabestellen) sowie in Einzelfällen (enge Durchfahrten) auch der Transportverkehr darstellen.

Grundsätzlich sind im Bereich des Stellwerkes erschütterungsarme Baumethoden vorzusehen; dies ist bereits im Rahmen der Submission und der Detailplanung der Bauabläufe zu präzisieren und bei der Vergabe der Bauarbeiten zu berücksichtigen. Vorversuche, resp. begleitete Erschütterungsmessungen beim Einsatzbeginn von emissionsintensiven Bauarbeiten sind vorzusehen.

Als primäre Gefährdung werden für den vorliegenden Fall Erschütterungen betrachtet, welche bei den Abbruch- und Aushubarbeiten (insb. beim Erstellen der Baugrubensicherung)

entstehen. Die Erschütterungen können je nach Bautyp des betroffenen Gebäudes, dem Abstand zur Erschütterungsemission und dem Aufbau des Untergrundes unterschiedliche Auswirkungen auf das betroffene Gebäude und der Apparaturen im Innern haben.

Im Bereich des Stellwerkes ist ein Wechsel auf ‘erschütterungsarme’ Arbeitsprozesse zu überprüfen. Der genaue Ort bzw. Zeitpunkt zum Wechsel der Baumethoden kann durch die im Stellwerk installierte Bauüberwachung (siehe nächstes Kapitel) festgelegt werden.

### 5.3. Bauüberwachung

Während den erschütterungsintensiven Bauphasen sind die Erschütterungsimmissionen im Stellwerk permanent zu überwachen und eine Alarmierung beim Erreichen der Grenz- / Alarmwerte ist vorzusehen. Die Überwachung, resp. Alarmierung ist basierend auf folgenden Schema auszuarbeiten:

- Trigger-Wert (25% des Grenzwertes): Aufzeichnung des Ereignisses (jedoch keine Alarmierung); Beobachtungen verifizieren, allenfalls Messintervalle und Intervalle der Beurteilung verdichten.
- Alarm-Wert / Interventionswert (50% des Grenzwertes): Alarmierung der am Bau Beteiligten (gemäss Alarmierungsliste) mittels Natel (SMS) sowie Vorbereiten von Massnahmen in Abstimmung auf die Situation vor Ort und den Baufortschritt.
- Grenz-Wert: Dieser soll, wenn immer möglich, nicht erreicht werden.

## 6. SCHLUSSFOLGERUNGEN

### Bahnerschütterungen

- Es ist davon auszugehen, dass mit der die als Emission verursachten Erschütterungen über die erdberührte Bodenplatte auf die Apparaturen im Innern des Stellwerkes verstärkt übertragen werden.
- Erschütterungsmessungen neben und auf den Apparaturen im Ist-Zustand aufgrund des Bahnverkehrs haben gezeigt, dass die Erschütterungen von der Bodenplatte über die Eigenfrequenzen der Gestelle verstärkt werden.
- Im Ist-Zustand lassen sich die Apparaturen ohne Störungen betreiben. Die Erschütterungen durch den Bahnverkehr aber auch durch Unterhaltsarbeiten direkt an den Apparaturen sind tolerabel. Relais-Schaltvorgänge führen zu etwa 3x höheren Erschütterungen auf den Apparaten als bei Zugvorbeifahrten.
- Es kann davon ausgegangen werden, dass auch im Ausbauzustand (Durchleitung von Zügen durch die bestehende Remise) die Schwinggeschwindigkeiten unterhalb der Anforderungen liegen (Voraussetzung: Schotteroberbau vor). Die Bahnerschütterungen werden jedoch deutlich stärker auftreten und können von Personen als belästigend empfunden werden.
- Für den Bahnbetrieb sind keine besonderen Massnahmen zum Schutz der Schaltanlagen erforderlich.


### Bauarbeiten

- Bauarbeiten verursachen voraussichtlich deutlich stärkere Erschütterungsimmissionen als Zugvorbeifahrten. Je nach erforderlichen Bauarbeiten sind Massnahmen empfängerseits / bei den Gestellen zu überprüfen, so dass keine Störungen an den Apparaturen auftreten werden.
- Es werden verschiedene Massnahmen zur Immissionsminderung empfohlen: messtechnische Bauüberwachung, erschütterungsarme Baumethoden in der Nähe des Technikgebäudes und allenfalls elastische Lagerung der empfindlichen Apparaturen (der kompletten Gestelle).
- Durch die Bauüberwachung mit Alarmierung aufgrund festgelegter Grenzen können Erschütterungen, die in einen unzulässigen Bereich kommen können, vorzeitig vermieden werden. Durch den Wechsel von 'normalen' auf 'erschütterungsarme' Baumethoden ab einem bestimmten Abstand zum Technikgebäude, wird die Erschütterungsemission verringert.



- **Durch eine elastische Lagerung der erschütterungsempfindlichen Apparaturen auf Luftfedern wird erreicht, dass die Amplituden im bauüblichen Frequenzbereich deutlich reduziert werden und damit die Bauvorgänge nicht unnötigerweise verzögert oder verteuert werden.**

Zürich, 4. Dezember 2018

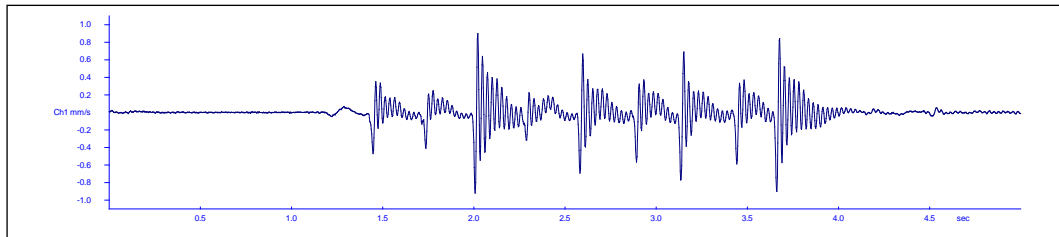


P. Fleischer  
Dipl. Ing. ETH/HTL/SIA, MSc Hazards

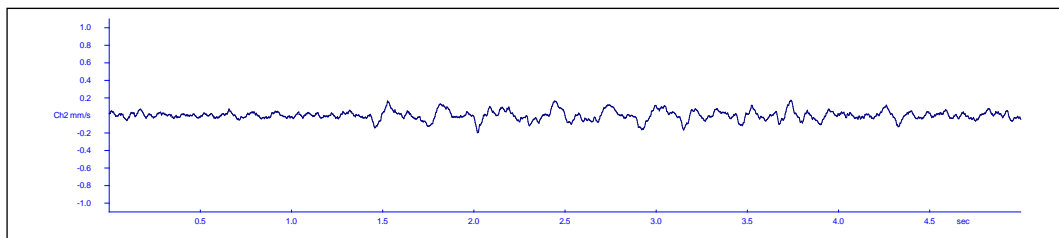
## 7. BEILAGE: BEISPIEL LAGERUNG AUF LUFTFEDERN

### Serveranlage: Schwingungsmessung mit Luftfederlagerung

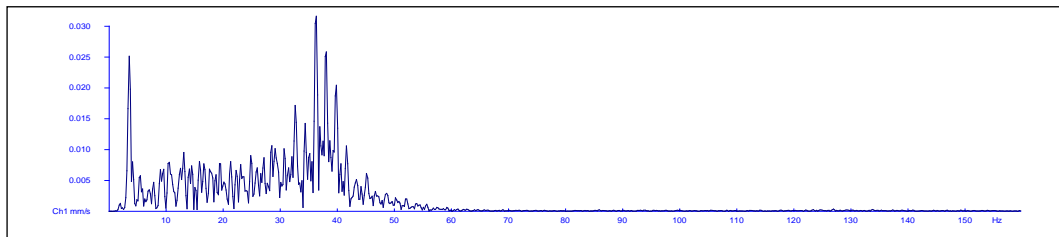
Sprunganregung: Messung nach dem Einbau



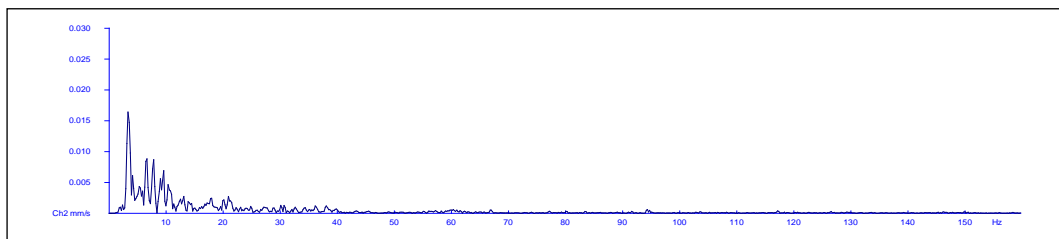
Zeitverlauf Kanal X: Betondecke



Zeitverlauf Kanal Y: Stahlrahmen



Amplitudenspektrum Kanal X: Betondecke



Amplitudenspektrum Kanal Y: Stahlrahmen

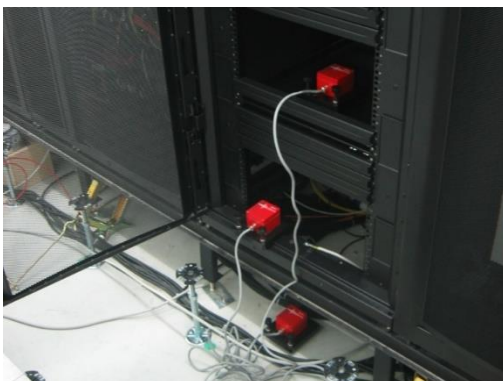


Foto Messanordnung



Foto Luftfederlagerung