

# Erschütterungsüberwachung mit dem neuen MR3000

Cosmas Savary  
Ziegler Consultants  
Asylstr. 41  
CH-8032 Zürich

savary@z-c.ch

Tel +41 44 260 70 13

## 1 Einführung – Erschütterungsüberwachung allgemein

Die Problematik der Erschütterungseinwirkung auf benachbarte Bauwerke im Zusammenhang mit Baumassnahmen hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung zugenommen. Grössere Bauvorhaben im dichtbesiedelten Gebiet oder in der Nähe von empfindlichen Einrichtungen sind ohne Überwachung der Erschütterung kaum mehr möglich.

Einerseits ist es so, dass der Mensch heute stärker durch störende Immissionen belastet ist, und deshalb eine Überwachung gefordert wird. In der Schweiz gibt es heute (noch) keine Norm für die Einwirkung von Erschütterungen durch den Baustellenbetrieb auf den Menschen. Die Norm SN 640 312 deckt den Aspekt der Schäden an den Bauwerken ab. Zunehmend geht es aus der Sicht des Bauherren auch um die Abwendung von ungerechtfertigten Schadensforderungen im Zusammenhang mit Baumassnahmen. Eine permanente Überwachung der Erschütterungen während der gesamten Dauer der Baumassnahmen garantiert eine objektive Beurteilung der Immissionen.



Bild 1-1 MR2002 mit externem Sensor und GPRS Alarm



Bild 1-2 MR3000 mit externer Batterie

Andererseits ist die Erschütterungsüberwachung durch die moderne Technik auch sehr viel einfacher und billiger geworden. Die Familie der MR Geräte der Firma SYSCOM Instruments SA und die neuen Möglichkeiten der Mobiltelefonie haben wesentlich zur Verbreitung der Erschütterungsüberwachung in der Schweiz beigetragen.

Wäre es vor 10 Jahren noch undenkbar gewesen, ein Messgerät über Monate auf der Baustelle zu betreiben ohne Besuch vor Ort, ist dies heute zum Normalfall geworden. Die Alarmierung erfolgt per SMS und die Messdaten werden automatisch auf einen Server übertragen und sind dort jederzeit – auch mit dem Handy – abrufbar.

## 2 Überwachungskonzept

Die für eine erfolgreiche Erschütterungsüberwachung notwendigen Schritte sind im folgenden zusammengestellt. Für einfache Aufgaben können einzelne Schritte entfallen.

### 2.1 Abschätzung des betroffenen Bereichs

Dies erfolgt aufgrund von Erfahrungswerten oder Abminderungsfunktionen für einzelne Bautätigkeiten, wie z.B. Gleisschläge mit schweren Maschinen in Bild 2-1.

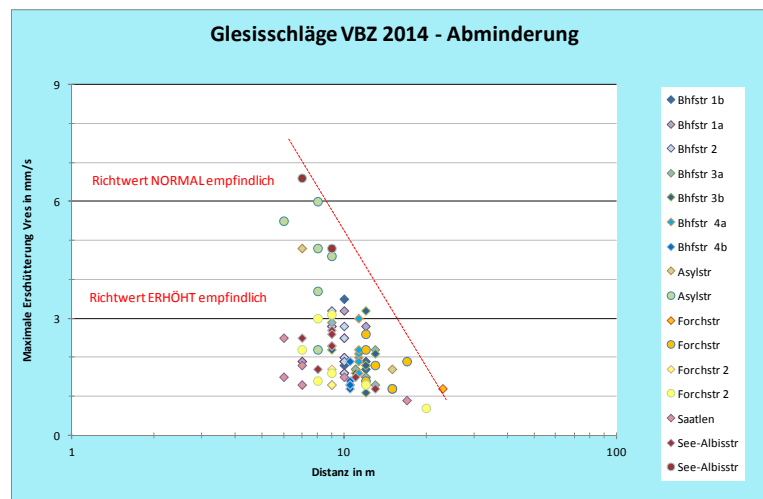


Bild 2-1: Abminderungsfunktion für Gleisschläge

### 2.2 Definition der kritischen Objekte

Dies geschieht idealerweise bei einer Besichtigung vor Ort. In der Planungsphase kann auch auf Pläne oder Karten zurückgegriffen werden. Für jedes Objekt wird die Empfindlichkeit gegenüber Erschütterungen festgelegt. Dabei werden nicht nur Bauwerke, sondern auch andere erschütterungsempfindliche Einrichtungen, wie Maschinen für die Präzisionsfertigung, medizinische Geräte, Computeranlagen usw. berücksichtigt.

### 2.3 Festlegen der Grenzwerte

Dies erfolgt aufgrund der Empfindlichkeit der Objekte. Für Bauwerke erfolgt dies gemäss SN 640 312. Für empfindliche Anlagen sind die entsprechenden Angaben beim Hersteller der Anlage zu beschaffen. Ist dies nicht möglich, kann auch eine Nullmessung vor Beginn der Bauarbeiten durchgeführt werden.

### 2.4 Festlegen der zu überwachenden Objekte

Aus den kritischen Objekten werden repräsentative Objekte ausgewählt bei denen Messgeräte installiert werden sollen. Es sind so viele Objekte mit Messgeräten zu versehen, dass keine Unsicherheit über die Erschütterungsimmissionen im betroffenen Bereich bestehen. Es muss nicht jedes Gebäude im Projektperimeter instrumentiert werden, aber in speziellen Fällen können auch mehrere Messgeräte in einem Gebäude erforderlich sein (z.B. am Fundament und bei einer empfindlichen Anlage). Wir empfehlen, die Messgeräte während der gesamten Baumassnahme an Ort und Stelle zu belassen.

## 2.5 Erstellen eines Alarmkonzepts

Die Alarmierung ist ein wichtiger Teil eines jeden Überwachungskonzeptes. Ziel der Alarmierung ist es, Schäden zu verhindern. Die Alarmierung muss deshalb zeitnah erfolgen. Der / die Empfänger der Alarmmeldungen müssen wissen, was im Falle eines Alarms zu tun ist und sie müssen auch in der Lage sein, die nötigen Schritte sofort einzuleiten.

Als Alarm Empfänger sollen nur Leute eingesetzt werden, die das Geschehen auf der Baustelle tatsächlich beeinflussen können. Für Leute die sich interessieren, was auf der Baustelle passiert, empfehlen wir, einen Link auf den Pegelschrieb der VIB-Link Plattform abzugeben.

Die Alarmschwellen werden sinnvollerweise tiefer als der Richtwert angesetzt. Wir verwenden, einen Aufmerksamkeitswert (low Alarm) bei ca. 50 % des Richtwerts und den Alarm (high Alarm) bei ca. 70 % des Richtwerts. So wird sichergestellt, dass die Richtwerte nicht überschritten werden.

## 2.6 Installation der Messgeräte

Die Messgeräte werden entsprechend den Vorgaben der zu berücksichtigenden Normen (z.B. am Deckenrand für SN 640 312 oder in der Nähe der zu überwachenden Anlage) aufgestellt. Für Dauermesstellen muss auch die kontinuierliche Stromversorgung sichergestellt werden. Bei der Installation muss geprüft werden, dass das vorgesehene Medium für die Übertragung der Alarmmeldungen und der Messwerte wunschgemäss funktioniert (Handyempfang prüfen, Testmeldung, Probealarm).

## 2.7 Testbetrieb

Sinnvollerweise werden die Messgeräte ein paar Tage vor Beginn der eigentlichen Bauarbeiten aufgestellt. So können Erschütterungen, die nicht vom Baubetrieb stammen erfasst (z.B. Erschütterungen durch den Normalbetrieb einer Maschine, Eisenbahn vor dem Haus) und später bei der Auswertung der Messergebnisse berücksichtigt werden. Bei besonders heiklen Bauaufgaben können auch Probeläufe (z.B. Testsprengungen, Arbeiten mit verschiedenen Maschinen oder verschiedene Verfahren) durchgeführt werden.

## 2.8 Bauphase

Während der Bauphase muss das Funktionieren der Messgeräte (Aufzeichnung und Alarmierung) immer sichergestellt sein. Sinnvollerweise schicken die Messgeräte tägliche Statusmeldungen, bzw. Warnungsmeldungen, wenn der Betrieb der Messgeräte eingeschränkt ist (z.B. Stromausfall, Speicher bald voll).

Ein Verschieben von Geräten während der Bauphase soll die Ausnahme sein. Ein Versetzen eines Messgerätes ist dann notwendig, wenn zu viele Störungen auftreten.

Idealerweise werden die Messdaten (Pegelschrieb und Registrierungen) während der Bauphase in Echtzeit auf einem Web-Server dargestellt (VIB-Link) und stehen so unmittelbar für alle beteiligten zur Verfügung. Messberichte werden regelmässig, insbesondere auch unmittelbar nach erschütterungsintensiven Arbeiten erstellt. Damit einhergehend findet auch eine Bereinigung der Daten statt.

## 2.9 Abschluss

Die Ausserbetriebnahme und Demontage der Messgeräte erfolgt nach Abschluss aller erschütterungsintensiven Arbeiten. Ein Schlussbericht gibt Auskunft über den Einsatz der Messgeräte und beinhaltet eine Zusammenfassung der Messergebnisse.

### 3 MR3000 – Messtechnik auf dem neuesten Stand

Der MR3000 ist ein kompaktes Erschütterungsmessgerät mit eingebautem GSM/UMTS Modul für die Datenübertragung. Die Verbesserungen gegenüber dem Vorgängermodell beziehen sich nicht so sehr auf die Messgenauigkeit oder den Dynamikbereich – da sind die Geräte vergleichbar – sondern vielmehr auf das Benutzerinterface, die Schnittstellen, die Kommunikation und die Datenspeicherung.

Auch der neue MR3000 hat als Bedienelement nur einen Knopf zum Ein- und Ausschalten des Gerätes, das Einstellen der Geräteparameter erfolgt über ein WEB-Interface. Dies ermöglicht die Bedienung des Messgerätes durch eine Vielfalt von Geräten (z.B. Smartphone, Tablet, Notebook PC). Hierfür ist keine spezielle Software nötig, ein WEB-Browser genügt. Konsequenterweise wurde die RS-232 Schnittstelle des MR2000 ersetzt durch ein Ethernet- und WLAN Interface. Für die Speicherung der Daten wird eine Speicherkarte (SD-Card) mit 4 GByte Kapazität verwendet. Auf eine solche Karte passen die Messdaten von mehreren Jahren.

Im Gegensatz zum MR2000 ist beim MR3000 der Sensor direkt in den Datenlogger eingebaut. Bedingt durch die grosse Masse ist der Akku zur Pufferung von Stromunterbrüchen extern. Der MR3000 kann auch mit einem Netzteil betrieben werden.

Normalerweise ist der MR3000 mit einer SIM-Karte ausgestattet und kommuniziert über das Handynet (GSM/EDGE/UMTS). Der MR3000 kann aber auch via Kabel an einen anderen Internetzugang (ADSL- oder Kabelmodem oder Firmennetz) angeschlossen werden. In beiden Fällen baut der MR3000 eine Verbindung zum FTP Server auf, wo er die Daten zeitnah ablegt. Ein Zugriff auf die Geräteparameter ist über eine VPN Verbindung möglich.

Die Alarmierung mit dem MR3000 erfolgt (wie beim MR2000) unmittelbar nach einer Registrierung - so werden die wichtigsten Messgrößen (Spitzenwerte, Vektorsumme und falls erwünscht Hauptfrequenz) ermittelt und können in der Alarmmeldung integriert werden. Der Versand einer täglichen Testmeldung gibt die Gewissheit, dass das Gerät und die Kommunikationskette funktionieren.

Mehrere MR3000 können in ein Netzwerk integriert werden. Dabei handelt es sich um ein virtuelles Netz, ohne Verkabelung. Die Netzwerkfunktionalität umfasst:

- Common timing/common sampling: Die Uhr eines MR3000 im Netzwerk (Master) synchronisiert die anderen MR3000. Common sampling ermöglicht eine synchrone Aufzeichnung der Erschütterungen an verschiedenen Messpunkten.
- Common trigger: Diese Funktion stellt sicher, dass bei Ansprechen des Triggers (Erschütterungen stärker als Schwellwert) bei allen Geräten im Netzwerk eine Aufzeichnung erfolgt. So ist es z.B. möglich, die Erschütterungen in Deckenmitte eines Raumes nur dann zu messen, wenn die Erschütterung von einem zweiten Sensor am Fundament festgestellt wird. Allfällige Aktivitäten von Personen im Raum führen nicht zu einer Registrierung.
- Common alarm: Mit der Alarmlogik ist es möglich qualifizierte Alarmmeldungen zu erzeugen (z.B. 2 von 3 Logik). Nur wenn an 2 Standorten der Alarmschwellwert überschritten wird, erfolgt eine Alarmmeldung - so kann sichergestellt werden, dass einfaches Anstossen des Sensors nicht zu einem Alarm führt.

Auf der Softwareseite kommt im MR3000 ein "embedded LINUX" zum Einsatz. Dadurch wurde die Implementierung von Standardprotokollen zum Datenhandling wesentlich vereinfacht. Aktuell bietet der MR3000 folgende Schnittstellen:

- WEB-Server - zur Bedienung des Gerätes
- FTP-Client - zur automatischen Datenübertragung auf einen FTP-Server – "FTP-Push"
- SFTP-Server - zur interaktiven Datenübertragung
- OpenVPN und DynDNS-Client - zur Fernbedienung des Gerätes übers Internet
- NTP-Client - zur Synchronisation der Uhr übers Internet
- E-Mail-Client - für die Alarmierung
- SMS-Sender - für die Alarmierung
- Gängige LINUX Schnittstellen wie SSH zur Diagnose des Gerätes

Beim Fileformat der Messdaten wurde die Kompatibilität zu den Vorgängermodellen gewahrt.

Für Tagesmessungen und spezielle Aufgaben bietet der MR3000 eine Darstellung der Messwerte in Echtzeit an, da dabei relativ viel Daten übertragen werden erfordert dies eine schnelle Verbindung zum Messgerät. Für spezielle Messaufgaben steht – wie schon beim MR2000 eine Aufzeichnung nach Zeitplan (timed recording) zur Verfügung.

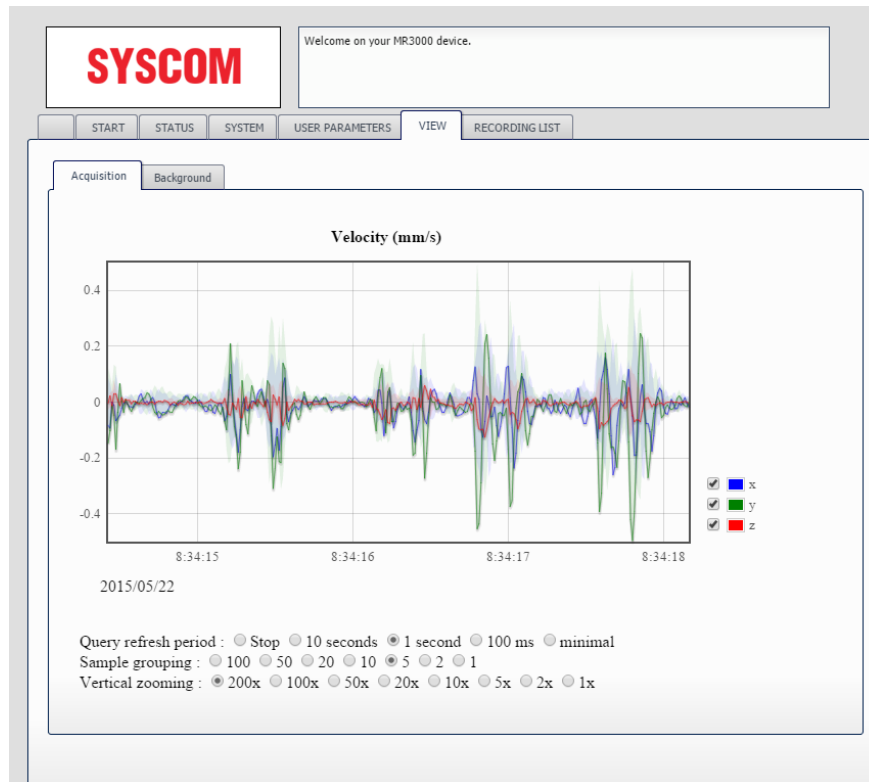


Bild 3-1:

Darstellung der Messwerte in Echtzeit (Durchfahrt eines Trams). Die Messwerte sind gruppiert. Die schattierte Fläche markiert die Spitzenwerte

## 4 Software

Drei Software Pakete unterstützen Sie bei der täglichen Arbeit mit den Messgeräten:

- VIB-Link überträgt die Daten vom Messgerät auf einen im Internet zugänglichen Rechner und stellt graphische Darstellungen des Pegelschriebs und der Zeitverläufe auf einem WEB-Server zur Verfügung.
- VIB-Dat bietet alle Funktionen die zum Verwalten der Messdaten und zum Erstellen von Messberichten notwendig sind.
- VIB-View (bekannt als VIEW2002) stellt weitere Funktionen zur vertieften Auswertung der Daten zur Verfügung.

### 4.1 VIB-Link

VIB-Link ist eine Sammlung von Programmen, die auf unserem Server laufen und die Messdaten von MR2000 und MR3000 Messgeräten auf einer WEB-Oberfläche zur Verfügung stellen.

VIB-Link erstellt für jedes Messgerät eine graphische Darstellung des Peakfiles der letzten 30 Tage (Pegelschrieb). Mehrere Messgeräte können in ein Projekt zusammengefasst werden und deren Pegelschriebe gemeinsam für einen beliebigen Zeitraum in einer Grafik dargestellt werden (siehe Bild 4.1-1). VIB-Link bietet zudem eine einfache graphische Darstellung der Eventfiles (Registrierungen). Die Nutzung der Daten von VIB-Link erfolgt von einem Smartphone/Tablet oder von einem PC aus. Sämtliche Graphiken von VIB-Link können problemlos auf einer WEB-Seite von Dritten (z.B. WEB-Portal eines grösseren Monitoringprojekts) dargestellt werden.

VIB-Link kommuniziert permanent mit den Messgeräten und transferiert die Files der MR2000. Der MR3000 schickt die Files selber an den Server. VIB-Link ermöglicht den einfachen und schnellen Zugriff auf die aktuellen Daten der Messgeräte. Die Daten werden dabei vom VIB-Link Server geholt, nicht vom Messgerät. Dies geht wegen der hohen Übertragungsrates viel schneller. Einzelne Registrierungen können auf der WEB-Oberfläche dargestellt werden (siehe Bild 4.1-2). Erfolgt der Zugriff vom PC aus, werden die Daten heruntergeladen und mit der entsprechenden PC-Software dargestellt.

Die wichtigsten Parameter in den Messgeräten können über VIB-Link über einen geschützten Zugang angepasst werden.

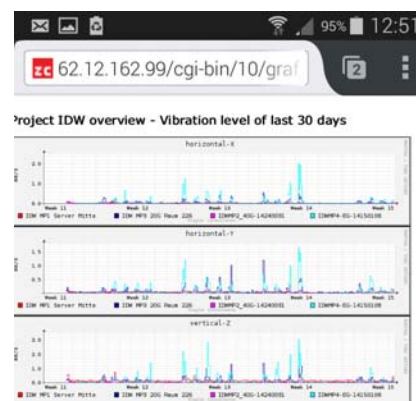


Bild 4.1-1: Pegelschrieb letzte 30 Tage (Darstellung auf Smartphone)

File	Type	Date/Time	Peak X	Peak Y	Peak Z	Download	Preview
9	p	2015-04-09 09:08:06	0.206 mm/s	0.121 mm/s	0.382 mm/s	15093009.BMS	
1	n	2015-04-08 11:27:04	0.344 mm/s	0.621 mm/s	1.072 mm/s	15098001.XMS	show
6	p	2015-04-08 09:08:06	0.344 mm/s	0.621 mm/s	1.072 mm/s	15098008.BMS	
7	p	2015-04-07 09:08:06	0.100 mm/s	0.234 mm/s	0.257 mm/s	15097007.BMS	
6	p	2015-04-06 09:08:06	0.091 mm/s	0.088 mm/s	0.092 mm/s	15095006.BMS	
5	p	2015-04-05 09:08:05	0.042 mm/s	0.023 mm/s	0.039 mm/s	15095005.BMS	
4	p	2015-04-04 09:08:05	0.031 mm/s	0.026 mm/s	0.040 mm/s	15094004.BMS	
3	p	2015-04-03 09:08:05	0.031 mm/s	0.019 mm/s	0.045 mm/s	15093003.BMS	
17	n	2015-04-02 13:00:46	1.991 mm/s	1.493 mm/s	2.147 mm/s	15092012.XMS	show
16	n	2015-04-02 10:05:48	0.426 mm/s	0.624 mm/s	1.182 mm/s	15092016.XMS	show
15	n	2015-04-02 10:05:16	0.494 mm/s	0.714 mm/s	1.029 mm/s	15092015.XMS	show
2	p	2015-04-02 09:08:05	1.991 mm/s	1.493 mm/s	2.147 mm/s	15092002.BMS	
14	n	2015-04-02 08:17:02	2.025 mm/s	1.025 mm/s	2.375 mm/s	15092014.XMS	show
13	n	2015-04-02 08:16:55	1.492 mm/s	1.554 mm/s	2.565 mm/s	15092013.XMS	show

Bild 4.1-2: File Liste (Darstellung auf Smartphone)

## 4.2 VIB-Dat

VIB-Dat bietet die Funktionalität, die für die Bearbeitung von Überwachungsaufgaben notwendig ist. Sobald die Daten von der VIB-Link Plattform heruntergeladen sind, werden sie in VIB-Dat eingecheckt. VIB-Dat verwaltet alle Files eines Projekts in einer Datenbank. Typische Auswertungen wie:

- Darstellung des Pegelschriebs über einen beliebigen Zeitraum
- Vergleichende Darstellung des Pegelschriebs von mehreren Messpunkten
- Darstellung von Registrierungen
- Auswertung nach Normen, z.B. SN 640 312 (Peak versus Frequency Diagramme mit Darstellung der Richtwerte)

werden in Report-Form generiert. Der Report kann mit weiteren Angaben, z.B. aktuelles Alarmierungskonzept, Standort der Messgeräte usw. individuell ergänzt werden.

VIB-Dat greift für alle Auswertungen immer auf die Original Messdaten zurück. Die Original Daten sind nicht in der "Cloud" gespeichert, sondern liegen auf ihrem PC oder Server.

## 4.3 VIB-View

VIB-View bietet weitere Funktionen für die Analyse von Messdaten im Zeitbereich und im Frequenzbereich sowie statistische Auswertungen an.

- Differentiation / Integration
- Filterung
- Vektorsumme
- Gleitende Effektivwerte
- Auswertungen nach Norm, z.B. DIN 4150
- Vergleich von Messpunkten (Addition / Subtraktion von Messwerten)
- Frequenzanalyse (Amplitudenspektren, Terzbandspektren)
- Mittelwertspektren über Serien von Registrierungen (z.B. Zugdurchfahrten)

## 5 Praktisches Beispiel – Schnelle Interpretation der Messdaten bei Alarm

Die Auswertung und Interpretation der Messdaten gehört in die Hände von Fachleuten. In den meisten Fällen genügt es nicht, sich auf die 7 Zahlen (Spitzenwert der 3 Achsen, Spitzenwert der Vektorsumme und Hauptfrequenzen der 3 Achsen) in der SMS (siehe Bild 5-1) abzustützen. Idealerweise werden die Bauarbeiten nach Eingang der SMS durch die Baustelle gestoppt, ist dies nicht der Fall, muss der für die Überwachung Verantwortliche sofort entscheiden ob die Arbeiten weitergeführt werden sollen oder ob die Baustelle zu stoppen ist. Ein Stoppen der Baustelle ist immer mit Kosten verbunden und sollte deshalb nicht leichtfertig erfolgen.

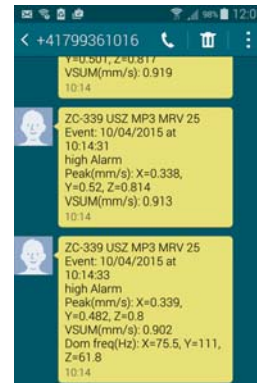


Bild 5-1: Alarmierung durch SMS – was tun ?

Ein erster Schritt besteht darin, sich Zugang zu den aktuellen Messdaten zu verschaffen. Der MR3000 bietet mit der Option "FTP-Push" ein hervorragendes Instrument, indem nämlich die Daten gar nicht erst vom Messgerät geholt werden müssen, sondern die aktuellen Messdaten bereits auf dem FTP Server vorhanden sind. Der Zeitgewinn durch den schnellen Zugriff auf die Messdaten ist erheblich. Beim MR2000 wird diese Funktionalität von der Software VIB-Link sichergestellt.

In einem zweiten Schritt werden die aktuellen Messdaten analysiert. Idealerweise hat man dazu einen Pegelschrieb (Daten des Peak-Files in Echtzeit) der Messgeräte auf der Baustelle, wie dies VIB-Link anbietet. Gibt es nur bei einem Messgerät auf der Baustelle hohe Erschütterungen, liegt mit grosser Wahrscheinlichkeit ein Fehlalarm vor.

Das Bild 5-2 (Pegelschrieb von einer Mess-Station) alleine ist nicht eindeutig: Die Alarmschwelle wurde überschritten, aber stammen die Erschütterungen wirklich von der Baustelle?

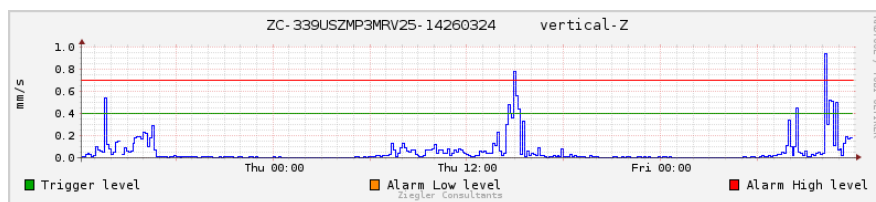


Bild 5-2:

Pegelschrieb 48 Stunden eines Messgerätes (MP 3)  
grün: Triggerschwelle  
rot: Alarmschwelle

Bild 5-3 zeigt einen kürzeren Ausschnitt des Pegelschriebs von zwei benachbarten Stationen: Es sind zwar bei beiden Messpunkten Erschütterungen vorhanden aber nur bei einem Messpunkt (blaue Kurve) wird die Alarmschwelle überschritten.

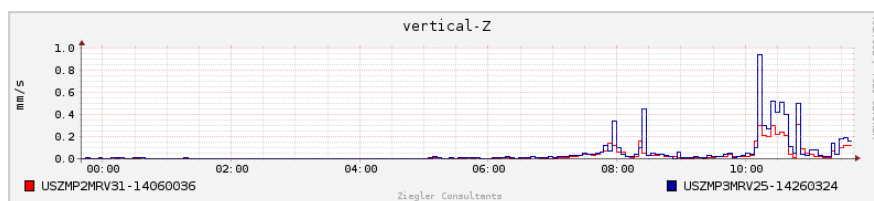


Bild 5-3:

Pegelschrieb 12 Stunden von 2 benachbarten Messgeräten  
blau: MP3 mit Alarm  
rot: benachbarte Messtelle



Die Visualisierung der Erschütterungen (Zeitverlauf) in Bild 5-4 zeigt, dass die Erschütterungen eindeutig von Spitzarbeiten auf der Baustelle stammen – die Arbeiten müssen gestoppt werden.

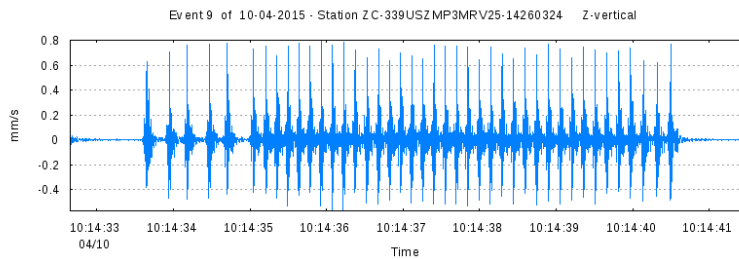


Bild 5-4:

Darstellung der  
Registrierung der  
Erschütterungen beim MP3

Mit Hilfe der Funktionalität von VIB-Link konnte der Entscheid in weniger als 5 Minuten – auch ohne PC – gefällt werden. Die Informationen konnten alle mit dem Smartphone abgerufen werden.

## 6 Zusammenfassung

- Die Erschütterungsüberwachung hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen.
- Dank moderner Mess- und Kommunikationstechnik ist die Reaktionszeit viel kürzer geworden.
- Die Messgeräte der neuesten Generation sind einfach zu bedienen und schnell zu installieren.
- Die Kosten für die Erschütterungsüberwachung sind gesunken.
- Die Beurteilung der Messergebnisse gehört in die Hände von Fachleuten.