

## **Baustellenüberwachung bei erschütterungsempfindlichen Standorten**

C. Savary, ZC Ziegler Consultants AG, Zürich, CH

### **Abstract**

In den meisten Fällen erfolgt die Überwachung von Erschütterungen im Hinblick auf die Vermeidung von Schäden an Gebäuden. Dafür gibt es in der Schweiz die Norm VSS 40 312. Diese sieht vor, dass die Erschütterungen im Gebäude bei einer tragenden Struktur gemessen und mit den Richtwerten verglichen werden. In Spezialfällen können auch mehrere Messpunkte im gleichen Gebäude nötig sein. Die Norm legt die Richtwerte fest, bei deren Einhaltung ein bestimmter Gebäudetyp durch die in Häufigkeit, Amplitude und Frequenz spezifizierten Erschütterungen nicht beschädigt werden sollte.

Sinnvollerweise umfasst das Monitoring auch das Absetzen von Alarmmeldungen, wenn die Erschütterungsimmissionen in die Nähe der Richtwerte kommen – dies zur Vermeidung von Schäden. Ist tatsächlich die Bautätigkeit Ursache der Erschütterung, ist es empfehlenswert, die Arbeiten kurzfristig einzustellen und abzuklären, ob schonender gearbeitet werden kann oder ob es allenfalls andere Bauverfahren gibt, die zu weniger Erschütterungsemissionen führen. Falls dies nicht möglich oder erwünscht ist, sollten die Verantwortlichkeiten für die Regelung von allfälligen Schäden geklärt werden.

Im Beitrag geht es um das Monitoring von besonders erschütterungsempfindlichen Standorten, bei denen zusätzlich zu den Richtwerten der Norm noch weitere Kriterien einzuhalten sind. Bei empfindlichen Standorten sind die zulässigen Erschütterungen meistens um Grössenordnungen geringer, als die zulässigen Erschütterungen nach der Norm für Schäden an Gebäuden.

Es werden Aspekte bei der Wahl der Mess-Standorte, beim Aushandeln, bzw. Festlegen von Richtwerten im Einverständnis zwischen Bauherrn und Betroffenen sowie die Anwendung genereller Kriterien für heikle Standorte (VC-Kurven) behandelt.

Für die Phase des Monitorings werden Möglichkeiten zur Visualisierung der Messdaten in Echtzeit, die Aufbereitung der Messergebnisse für die Erstellung der Messberichte sowie Hinweise zur Alarmierung an konkreten Projekten gezeigt. Insbesondere wird auch die Master-/Slave Trigger und Alarmlogik erklärt und deren Nutzen für die Alarmierung und die Berichterstellung an konkreten Messdaten erläutert.

Nach dem allgemeinen Teil wird gezeigt, wie eine solche Überwachung mit den Messgeräten MR3000 und MR3003 von SYSCOM Instruments eingerichtet und betrieben werden kann.

# Erschütterungsmonitoring an empfindlichen Standorten

Cosmas Savary, ZC Ziegler Consultants AG

## 1 Abstract

In den meisten Fällen erfolgt die Überwachung von Erschütterungen im Hinblick auf die Vermeidung von Schäden an Gebäuden. Dafür gibt es in der Schweiz die Norm VSS 40 312. Diese sieht vor, dass die Erschütterungen im Gebäude bei einer tragenden Struktur gemessen und mit den Richtwerten verglichen werden. In Spezialfällen können auch mehrere Messpunkte im gleichen Gebäude nötig sein. Die Norm legt die Richtwerte fest, bei deren Einhaltung ein bestimmter Gebäudetyp durch die in Häufigkeit, Amplitude und Frequenz spezifizierten Erschütterungen nicht beschädigt werden sollte.

Sinnvollerweise umfasst das Monitoring auch das Absetzen von Alarmmeldungen, wenn die Erschütterungsimmissionen in die Nähe der Richtwerte kommen – dies zur Vermeidung von Schäden. Ist tatsächlich die Bautätigkeit Ursache der Erschütterung, ist es empfehlenswert, die Arbeiten kurzfristig einzustellen und abzuklären, ob schonender gearbeitet werden kann oder ob es allenfalls andere Bauverfahren gibt, die zu weniger Erschütterungsemissionen führen. Falls dies nicht möglich oder erwünscht ist, sollten die Verantwortlichkeiten für die Regelung von allfälligen Schäden geklärt werden.

Im Beitrag geht es um das Monitoring von besonders erschütterungsempfindlichen Standorten, bei denen zusätzlich zu den Richtwerten der Norm noch weitere Kriterien einzuhalten sind. Bei empfindlichen Standorten sind die zulässigen Erschütterungen meistens um Grössenordnungen geringer, als die zulässigen Erschütterungen nach der Norm für Schäden an Gebäuden.

Es werden Aspekte bei der Wahl der Mess-Standorte, beim Aushandeln, bzw. Festlegen von Richtwerten im Einverständnis zwischen Bauherrn und Betroffenen sowie die Anwendung genereller Kriterien für heikle Standorte (VC-Kurven) behandelt.

Für die Phase des Monitorings werden Möglichkeiten zur Visualisierung der Messdaten in Echtzeit, die Aufbereitung der Messergebnisse für die Erstellung der Messberichte sowie Hinweise zur Alarmierung an konkreten Projekten gezeigt. Insbesondere wird auch die Master-/Slave Trigger und Alarmlogik erklärt und deren Nutzen für die Alarmierung und die Berichterstellung an konkreten Messdaten erläutert.

Nach dem allgemeinen Teil wird gezeigt, wie eine solche Überwachung mit den Messgeräten MR3000 und MR3003 von SYSCOM Instruments eingerichtet und betrieben werden kann.

## 2 Erschütterungsempfindliche Standorte

### 2.1 Wahl der Messorte

Für die Überwachung von erschütterungsempfindlichen Standorten braucht es im Vergleich zu einer normalen Überwachungsaufgabe zusätzliche Mess-Stationen, nämlich Mess-Stationen an Standorten von empfindlichen Gerätschaften, bzw. Standorten mit erschütterungssensitiver Nutzung. An solchen Standorten können Erschütterungen durch normale Aktivitäten im entsprechenden Raum von vergleichbarer Grössenordnung sein, wie Erschütterungen, die durch die Baustelle verursacht werden.

Um festzustellen, ob eine Erschütterung tatsächlich von der Baustelle stammt, wird eine Mess-Station auf der Bodenplatte des Gebäudes in der Nähe der Baustelle vorgesehen. Diese misst die durch das Erdreich auf das Gebäude übertragenen Erschütterungen und kann zugleich auch als Standort im Sinne der Norm (VSS 40 312) verwendet werden.

Bei den erschütterungsempfindlichen Standorten (Labore, Operationssäle, Präzisionsmaschinen, etc.) soll die Mess-Station da platziert werden, wo die Erschütterungen stören (z.B. direkt bei den empfindlichen Gerätschaften). Dabei gilt es zu beachten, dass die Erschütterungen in vertikaler Richtung in der Mitte eines Deckenfeldes wesentlich stärker sein können, indem die Decke in ihren Eigenformen angeregt wird – auch durch die Erschütterungen der Baustelle. Viele Bauwerke weisen ein regelmässiges Stützenraster auf, sodass in den benachbarten Deckenfeldern mit ähnlich starken Erschütterungen gerechnet werden kann.

Auch Erschütterungen in horizontaler Richtung können in den Obergeschossen durch die Eigenschwingungen des gesamten Gebäudes, die durch die Erschütterungen der Baustelle angeregt werden, stärker sein als auf der Bodenplatte.

Ein weiterer Aspekt der Wahl des Standortes ist psychologischer Natur: Wenn der Nutzer sagt, wo die Erschütterungen stark stören könnten, soll nach Möglichkeit auch da gemessen werden. Wie erwähnt, sind die Erschütterungen in den benachbarten Deckenfeldern wohl ähnlich stark, das Vertrauen in die Messung ist aber wesentlich besser, wenn an der vom Nutzer bezeichneten Stelle gemessen wird.

Unter Berücksichtigung dieser Kriterien sind für ein Gebäude mit empfindlicher Nutzung mindestens 2 Mess-Stationen notwendig. Im Beispiel (siehe Bild 2.1, unten) wurden in einem 4 geschossigen Laborgebäude 4 Mess-Stationen installiert, MP20 auf der Bodenplatte im 2. UG in der Nähe der Baustelle, MP 21 in Deckenfeldmitte an der Decke über dem 2. UG zur Messung der Erschütterungen im nicht leicht zugänglichen darüberliegenden Raum im 1. UG, eine weitere Mess-Station im 1. UG innerhalb des Stützenkerns und 1 Mess-Station in einem typischen Deckenfeld im 4. OG.



Abbildung 2.1 Wahl der Standorte (von links nach rechts): 2. UG: auf Bodenplatte Seite Baustelle, 1. UG: typische Deckenfelder, 4. OG typisches Deckenfeld oberstes Geschoss – gelb und blau eingezeichnet: Standort mit empfindlicher Nutzung (Labor, Versuchstierhaltung, etc.)

## 2.2 Festlegen der Richtwerte

Das Festlegen der Richtwerte muss unbedingt vor Start der Arbeiten, besser noch in der Planungsphase erfolgen, da das Einhalten von tiefen Richtwerten einen erheblichen Einfluss auf die möglichen Bauverfahren haben kann. Ist die Baustelle gestartet, ist es meist nicht oder nur unter grossem Aufwand möglich, Bauverfahren oder -abläufe so anzupassen, dass eine Reduktion der Erschütterungen erreicht wird. Verbindliche Richtwerte gehören unbedingt in eine schriftliche Vereinbarung mit den betroffenen Nutzern bzw. Betroffenen und dem Baumeister, der idealerweise zu diesem Zeitpunkt auch schon feststeht. Das Festlegen von Richtwerten kann ein langer Prozess sein.

Das Festlegen der Richtwerte erfolgt individuell für jeden Standort in Abstimmung mit dem Nutzer. Meistens weiss dieser nicht, wie viel Erschütterungen für die empfindliche Nutzung oder empfindliche Gerätschaften zulässig sind. Im Idealfall gibt es Datenblätter oder Anforderungen des Herstellers eines erschütterungsempfindlichen Gerätes an die Erschütterungsarmut des Standortes. Diese dienen für das Festlegen der Richtwerte als Richtgrösse – es ist empfehlenswert an einem solchen Standort eine Nullmessung vor Beginn der Arbeiten durchzuführen und zu verifizieren, ob diese Richtwerte im Normalbetrieb eingehalten sind – erfahrungsgemäss ist dies nicht immer der Fall.

Wichtig ist, dass die Richtwerte in gegenseitigem Einverständnis festgelegt werden – oft ist es deshalb zielführend, einen Richtwert durch ein möglichst einfaches, auch durch den Nutzer leicht nachzuprüfendes Verfahren (z.B. Spitzenwert) abzubilden. Ebenso soll festgehalten werden, ob und wie häufig Überschreitungen des Richtwertes zulässig sind.

Für die Beurteilung der Erschütterungsempfindlichkeit können bei Fehlen von Erfahrungswerten oder gerätespezifischen Anforderungen auch generelle Kriterien, wie z.B. die VC-Kurven (VC = *Vibration Criteria*) nach Colin G. Gordon, *Generic Vibration Criteria for Vibration-Sensitive Equipment* herangezogen werden. Diese definieren Richtwerte für typische Standorte, z.B. Operationssäle oder für typische Produktionsprozesse und sind weitherum anerkannt (siehe Bild 2.2, unten). Die Richtwerte der VC-Kurven sind bezogen auf Terzbandspektren festgelegt.

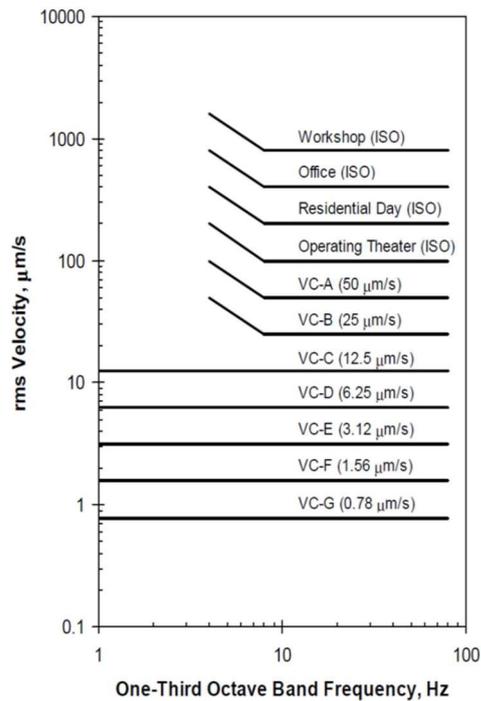


Abbildung 2.2 VC-Kurven nach Colin G. Gordon, *Generic Vibration Criteria for Vibration-Sensitive Equipment*

Nebst Amplitude und Frequenzgehalt sind auch die Dauer und die zeitliche Verteilung der Erschütterungsimmissionen massgebend beim Festlegen der Richtwerte. Es ist ein Unterschied, ob eine Erschütterung kurzzeitig (impulsartig - 1-2 Lastwechsel) oder lange andauernd (mehrere hundert Lastwechsel) einwirkt. Der erste Fall ist erst bei hohen Amplituden störend und kann auch im Normalbetrieb gelegentlich auftreten (z.B. Absetzen von Lasten in unmittelbarer Nähe). Durch die Baustelle kann es eine Zunahme von solchen Ereignissen geben (z.B. Absetzen von schweren Lasten wie Mulden auf der Baustelle – dabei werden die Erschütterungen durch die Gebäudestruktur übertragen). Langeanhaltende Erschütterungen können auch bei geringen Amplituden zu Resonanzphänomenen führen, die noch eine zusätzliche Verstärkung der Erschütterungen bewirken. Gewisse Tätigkeiten (z.B. Arbeiten am Mikroskop) können bei langeanhaltenden, auch schwachen Erschütterungen nicht durchgeführt werden.

Geht es generell um die Einwirkung von Erschütterungen auf den Menschen, kann die DIN 4150–Teil 2 herangezogen werden. Diese ist in der Schweiz allerdings nicht verbindlich. Es braucht also auch in diesem Fall eine spezielle Vereinbarung zwischen dem Bauherrn und den Betroffenen.

### 2.3 Monitoring

Nachdem die Standorte festgelegt und die Richtwerte bekannt sind, ist der Betrieb der Messgeräte zu definieren. Moderne Messgeräte lassen sich flexibel einstellen und liefern die Messdaten in Echtzeit. Dazu muss eine stabile und leistungsfähige Kommunikation zwischen den Messgeräten und dem Server, der die Daten sammelt und aufbereitet, sichergestellt sein. Idealerweise kann dazu eine vorhandene Netzwerkinfrastruktur (LAN oder WiFi) verwendet werden, da die Menge der zu übertragenen Daten sehr umfangreich sein kann. Ist dies nicht der Fall muss eine gute Anbindung an das Mobilfunknetz sichergestellt sein, alternativ kann während der Bauphase das Einrichten einer proprietären Netzwerkinfrastruktur erforderlich sein.

Die Erschütterungen müssen ab einer bestimmten Stärke (Registrierschelle oder Trigger-Schwelle) als Zeitsignal für die Dokumentation und die spätere Auswertung festgehalten werden. Sehr hilfreich ist auch eine Funktion, die die stärksten gemessenen Erschütterungen in jedem Zeitintervall aufzeichnet (Pegelschrieb). Die vergleichende Darstellung des Pegelschriebs von mehreren Mess-Stationen rund um die Baustelle zeigt schnell, ob die Baustelle Ursache von Erschütterungen ist. In Bild 2.3a (unten) sind die Aktivitäten der Baustelle bei allen Messpunkten ausser 61-57 (rot) am 2. Tag zwischen 10 Uhr und der Mittagspause mit einem kurzen Unterbruch gut zu erkennen (rote Markierung). Andererseits zeigt die Mess-Station 61-59 (violett) mehrfach starke Ausschläge auch wenn es keine Aktivitäten auf der Baustelle gibt.

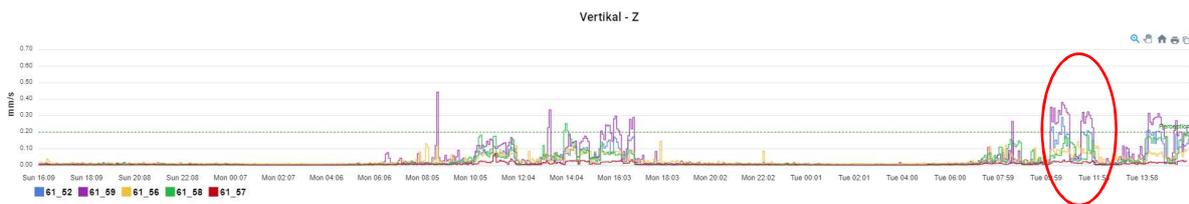


Abbildung 2.3a Pegelschrieb mehrerer Mess-Stationen im Überblick – Messpunkte auf der Bodenplatte von mehreren Gebäuden rund um die Baustelle

Die Vernetzung der Geräte ermöglicht zusätzliche Funktionalitäten wie "Common Trigger" oder "Common Alarm". Im ersten Fall kann ein Gerät innerhalb einer Gruppe von Geräten bei den anderen Geräten in der Gruppe eine Registrierung der Signale auslösen (Mess-Station auf der Bodenplatte lässt auch die Mess-Stationen in den Obergeschossen aufzeichnen) auch wenn bei diesen Geräten das Kriterium für die Registrierung nicht erfüllt ist und die Erschütterungen da schwächer sind als die Registrierschwelle. Im zweiten Fall werden die Alarmmeldungen der einzelnen Mess-Stationen logisch verknüpft und führen so zu einem "qualifizierten" Alarm. Wenn das Alarm-Kriterium bei der Mess-Station auf der Bodenplatte und gleichzeitig bei einer zweiten Mess-Station erreicht wird, kann davon ausgegangen werden, dass die Erschütterung tatsächlich von der Baustelle stammt. Spricht nur die Mess-Station im Obergeschoss an, ist möglicherweise eine andere Ursache für die Erschütterungen verantwortlich. Bei Mess-Stationen in Deckenfeldmitte können bestimmte Arbeiten im entsprechenden Raum (z.B. Absetzen einer Last, siehe vorne) zu Erschütterungen führen die stärker sind als das Alarm-Kriterium. Bild 2.3b zeigt eine solche Situation – im 4. OG (gelbe Kurve) wird der Richtwert von 0.3 mehrmals täglich überschritten, auf der Baustelle gibt es keinerlei Aktivitäten (blaue Kurve Mess-Station auf der Bodenplatte).

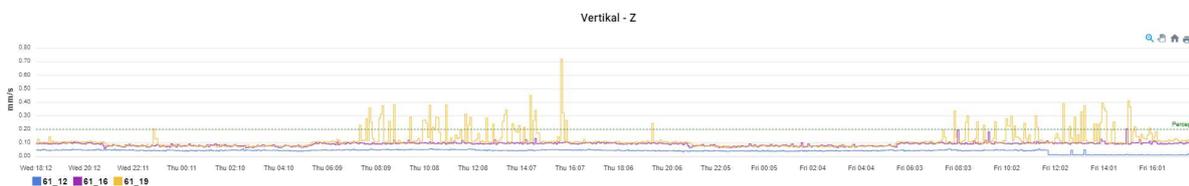


Abbildung 2.3b Pegelschrieb mehrerer Mess-Stationen im Überblick – Messpunkte im gleichen Gebäude auf verschiedenen Etagen

Eine gute Dokumentation der von der Baustelle verursachten Erschütterungen gehört zum Monitoring. Idealerweise gibt es eine Visualisierung der Erschütterungen in Echtzeit auf einem WEB-Server. Das Freischalten dieser Information für die Betroffenen erhöht das Vertrauen in die Messungen. Die Messdaten sollen periodisch in konsolidierter Form (z.B. Entfernen von Störsignalen und Interpretation von typischen Tätigkeiten auf der Baustelle) als Bericht abgelegt werden. Eine zeitnahe Auswertung ist zwingend - zu einem späteren Zeitpunkt ist das Wissen, was genau passiert ist auf der Baustelle

kaum mehr vorhanden. Die Berichtform gibt zudem für einen allfälligen späteren Rechtsstreit oder zur Abwehr von ungerechtfertigten Forderungen eine klare Basis.

Die mit dem Monitoring betrauten Personen müssen zudem täglich die volle Funktionsfähigkeit aller Mess-Stationen aktiv überprüfen – nicht selten wird da und dort mal ein Kabel ausgesteckt und die Mess-Station ist offline oder ohne Strom. Es kommt auch vor, dass die Mess-Stationen verschoben werden.

## 2.4 Alarmierung

Die Alarmierung (Versenden von SMS oder E-Mails) dient in erster Linie dazu, die Baustelle zeitnah zu informieren, dass es im Moment starke, bzw. zu starke Erschütterungen gibt. Die dazu notwendige Funktionalität ist in den Messgeräten integriert, d.h. das Messgerät verschickt die Alarmmeldungen selbständig.

Auf einer kleinen Baustelle mag es ausreichen, diese Alarmmeldungen einfach an den Polier zu schicken und dieser leitet die nötigen Massnahmen ein. Wenn eine Flut von Alarmmeldungen auf ihn einprasseln, wird er diese vermutlich irgendwann ignorieren – an dieser Stelle muss die mit dem Monitoring betraute Stelle eingreifen.

Auf einer grösseren Baustelle braucht es ein Alarmkonzept. Darin wird festgehalten, wer (Funktion) die Alarme erhalten soll und an wen (Person) sie geschickt werden. Die Unterscheidung ist wichtig, denn die gleiche Funktion kann durch verschiedene Personen erledigt werden (z.B. bei Ferienabwesenheit). Auch muss klar geregelt sein, was im Falle eines Alarmes zu tun ist.

Auf der Baustelle im Beispiel wird ein zweistufiges, eigentlich dreistufiges Alarmschema verwendet (siehe Bild 2.4a, unten). Die beiden Stufen sind: Stufe 1 "Aufmerksamkeitsschwelle AS" und Stufe 2 "Interventionsschwelle IS". Bei Stufe 1 ist kein direktes Eingreifen notwendig, die Alarmmeldung macht lediglich darauf aufmerksam, dass die Erschütterungen ein heikles Niveau erreicht haben. Auch bei Erreichen von Stufe 2 erfolgt kein unmittelbares Eingreifen, wenn es aber mehrere Alarme der Stufe 2 innerhalb einer bestimmten Zeitspanne gibt (z.B. 3 Alarme innerhalb 15 Minuten – Stufe 3) wird die Baustelle vorübergehend gestoppt.

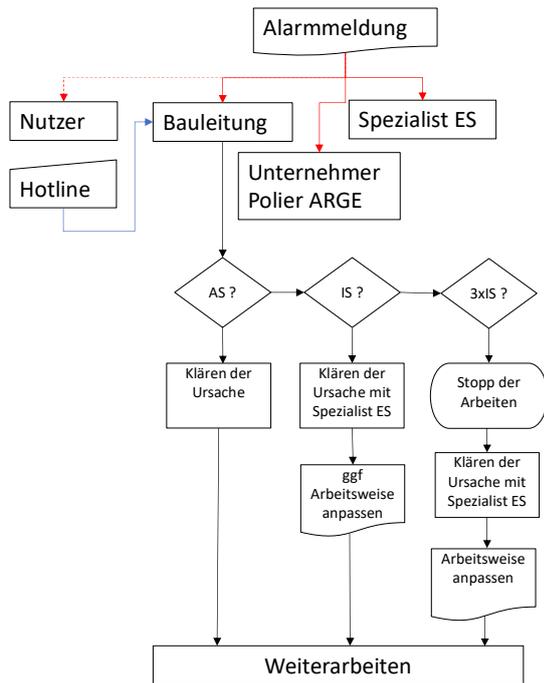


Bild 2.4a Alarmschema

Nach einem Stopp der Baustelle ist die mit dem Monitoring betraute Stelle unmittelbar gefordert, es müssen die Daten von mehreren Mess-Stationen analysiert werden um Entscheidungsgrundlagen zu liefern, wie auf der Baustelle weitergearbeitet werden kann. In einer solchen Situation ist es sehr hilfreich, wenn die Daten bereits auf einem Web-Server übertragen worden sind und somit ein schneller Zugriff möglich ist. Eine vergleichende Darstellung des Pegelschriebs von allfälligen weiteren Mess-Stationen auf der Baustelle erlaubt es, die Erschütterungsquelle zu lokalisieren und die Registrierungen der entsprechenden Mess-Stationen zu beurteilen. Die Analyse der Daten kann auch zum Schluss führen, dass es sich um einen Fehlalarm handelt und die Erschütterungen gar nicht von der Baustelle stammen.

Fehlalarme sind ärgerlich, aber nicht immer zu vermeiden. Fehlalarme können Kostenfolgen haben, zudem schmälern sie bei häufigem Auftreten das Vertrauen in das Monitoring, so dass in Zukunft auch bei echten Alarmen nicht mehr reagiert wird. Zur Vermeidung von Fehlalarmen gibt es im Wesentlichen zwei Möglichkeiten: Den "qualifizierten" Alarm (Verknüpfung der Alarme von mehreren Mess-Stationen) oder ein Alarmkriterium, das auf Störungen weniger anfällig ist.

Das Alarmkriterium bei einer Mess-Station ist erfüllt, wenn die Erschütterungen einen bestimmten Schwellwert überschreiten. Je nach Einstellung der Alarmierung verschickt die Mess-Station selbständig eine Alarmmeldung via E-Mail der SMS. Die Alarmlogik einer speziellen Mess-Station ("Master") prüft kontinuierlich das Alarmkriterium bei den mit ihr verknüpften Mess-Stationen ("Slaves"). Ist eine der festgelegten Bedingungen erfüllt, verschickt der Master eine Alarmmeldung ("qualifizierter" Alarm).

Moderne Messgerät bieten ausgefeilte Alarmkriterien an, z.B. die Bewertung nach einer Norm. Im Falle der VSS 40 312 berechnet die Mess-Station während einer Aufzeichnung die Vektorsumme und ermittelt die Hauptfrequenz auf den 3 Messkanälen und kann mit diesen Grössen einen direkten Vergleich mit den Richtwerten der Norm vornehmen. Dementsprechend kann der Alarm beispielsweise auf 80% des Richtwertes für "normal empfindlich", "häufig" eingestellt werden.

Für die Alarmierung an empfindlichen Standorten, bei denen der Richtwert aufgrund der VC-Kurven festgelegt worden ist, kann auch nach diesem Kriterium alarmiert werden. Dafür wird das Zeitsignal der Erschütterungen in Echtzeit durch eine Filterbank in mehrere bandpassbegrenzte Zeitsignale aufgeteilt. Diese beinhalten jeweils nur den Anteil der Erschütterungen mit Frequenzen innerhalb des entsprechenden Terzbandes. Die Signale in den Terzbändern werden während eines wählbaren Zeitfensters beurteilt, dabei wird entweder der Spitzenwert (Peak) oder der Mittelwert (RMS) für dieses Zeitfenster ermittelt. Wenn die Erschütterungen in einem der Terzbänder, die gemäss gewählter VC-Kurve relevant sind, den Schwellwert derselben überschreiten, ist das Alarmkriterium erfüllt.

Auf der Baustelle im Beispiel verwenden wir 4 Sekunden Zeitfenster und RMS Bewertung. Bei dieser Einstellung führen insbesondere sehr kurzzeitige, impulsartige Anregungen, wie sie z.B. durch Fallenlassen eines Gegenstandes auf den Boden entstehen können, nicht zum Ansprechen des Alarmkriteriums, da solche Erschütterungen bei der Bildung des RMS Wertes über das vorgegebene Zeitfenster stark abgemindert werden. Bei der Wahl des Zeitfensters ist dementsprechend sorgfältig vorzugehen.

Der Pegelschrieb der Mess-Station umfasst den Spitzenwert (RMS oder Peak) für jedes Terzband und für jedes Zeitfenster. Dieser wird auf der DATAVIS Plattform in Echtzeit dargestellt.

Bild 4.2b zeigt oben den klassischen Pegelschrieb einer Mess-Station in Deckenfeldmitte (Spitzenwert in jedem 4 Minuten Intervall), in der Mitte die Erschütterungen in jedem Terzband (dominierend ist das 16 Hz Band, dies ist die Eigenfrequenz der Decke), unten werden die Erschütterungen in den von der VC-Kurve "ISO-Residential Day" abgedeckten Terzbändern in Prozent des zulässigen Richtwertes dargestellt. Im 16 Hz Terzband erreichten die Erschütterungen maximal 51 % des Richtwertes in diesem Terzband. In den Nachtstunden gibt es Vibrationen durch den Betrieb irgendeines Gerätes, das die Eigenfrequenz der Geschossdecke bei 16 Hz anregt.

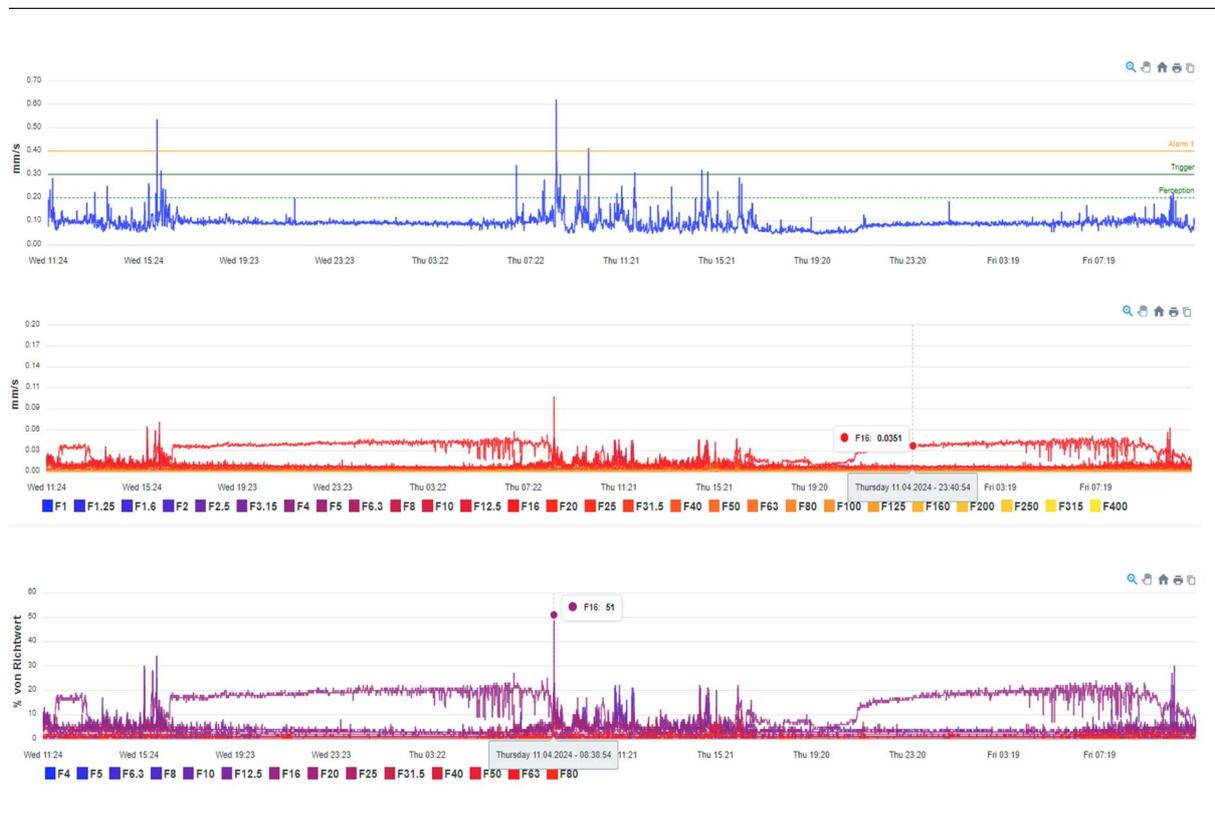


Bild 2.4b Pegelschriebe (DATAVIS) der letzten 2 Tage (von oben nach unten) als Spitzenwert, nach Terzband und in Prozent des Richtwertes

Die Erschütterung vom 11.4.24 um 8:38 Uhr erreicht den einfachen Schwellwert Alarm von 0.5 mm/s (Alarmkriterium 1, gelbe Linie im obersten der Bilder 2.4b). Bezogen auf den Richtwert für die VC-Kurve "ISO-Residential Day" (Alarmkriterium 2) wird 51% des Richtwertes erreicht (unterstes der Bilder 2.4b).

Bild 2.4c zeigt die Aufzeichnung des Zeitverlaufs und das Amplitudenspektrum dieser Erschütterung.

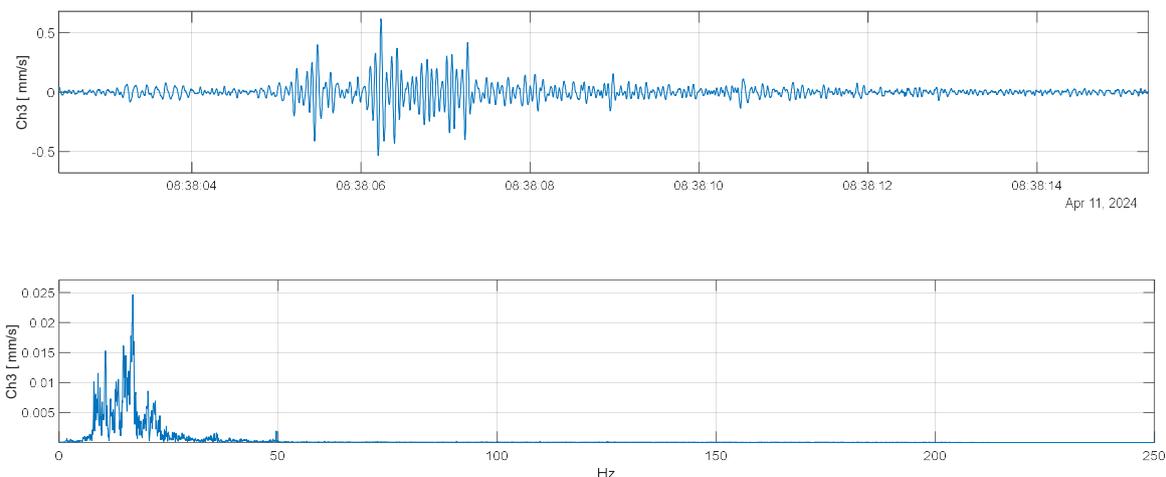


Bild 2.4c Registrierung der stärksten Erschütterung – Zeitverlauf (oben) und Amplitudenspektrum (unten).

### 3 Einstellungen am MR300x

#### 3.1 Master-/Slave-Netzwerk

Die "Master/Slave"-Funktionalität ist optional - bei einem Standardinstrument ist diese Registerkarte nicht verfügbar. Um diese Funktion zu nutzen, müssen alle Geräte eine IP Adresse aus dem gleichen physischen (bei direkter Verbindung via Kabel zu einem Router) oder virtuellen Sub-Netz (VPN via Kabel oder 4G-Netz) haben und die Option muss in einem der MR300x aktiviert sein. Dieser MR300x wird "Master" genannt. Die anderen MR300x sind Standard-Instrumente, die "Slaves". Für diese Funktionalität ist eine gute Synchronisation der MR300x im Sub-Netz unerlässlich, d.h. alle Uhren der MR300x müssen mit dem gleichen NTP-Server synchronisiert sein.

Mit dieser Funktion können bis zu 32 MR300x in ein Master-/Slave-Netzwerk integriert werden, um eine gemeinsame Aufzeichnung ("Common Trigger") auszuführen und einen "qualifizierten" Alarm ("Common Alarm") zu generieren. Dies erfolgt unabhängig von der Registrierung und der Alarmierung in den einzelnen MR300x, d.h. das lokale Registrier-, bzw. die lokalen Alarmkriterien werden in der jeweiligen Mess-Station eingestellt. Bild 3.1 zeigt beispielhaft das Einrichten eines Master-/Slave Netzwerks am Master. In einem ersten Schritt werden die Geräte für das Master-/Slave Netzwerk ausgewählt.

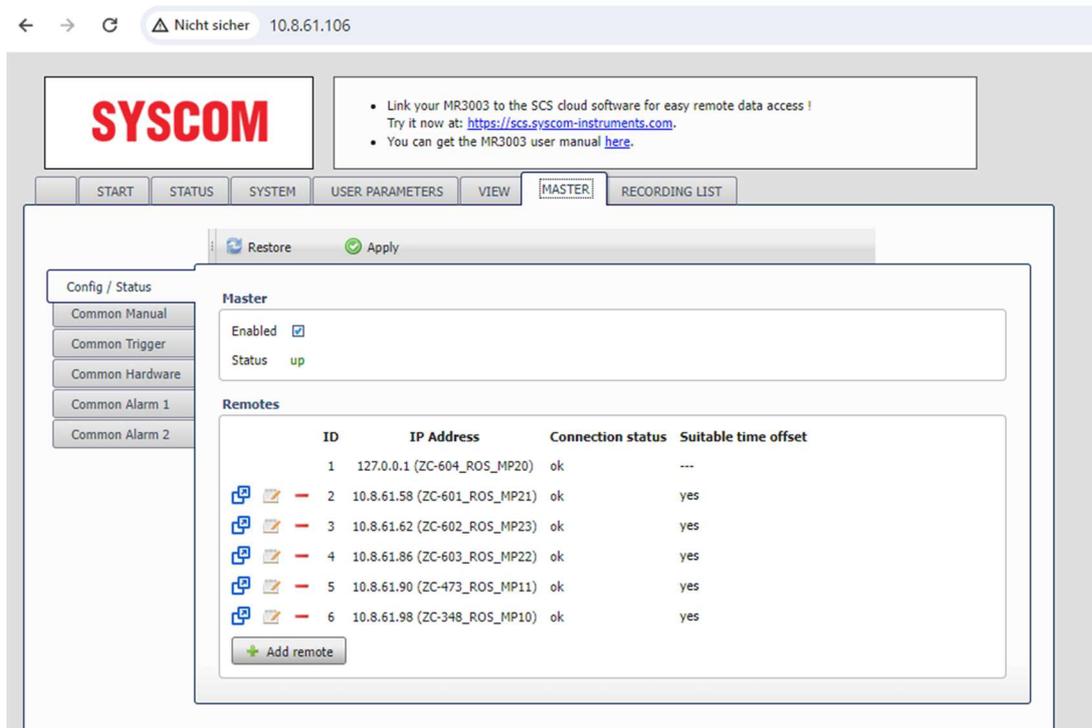


Bild 3.1 Einrichten des Master-/Slave-Netzwerks am Master

### 3.2 Common Trigger

Der "Common Trigger" bewirkt, dass alle MRs im Netzwerk mit der Aufzeichnung beginnen, wenn ein einzelner MR300x oder eine Gruppe von MR300x das lokale Trigger-Kriterium erfüllen. Eine Gruppe wird durch eine logische UND-Verknüpfung der einzelnen MR300x definiert – entspricht einer Zeile im Bild 3.2, unten. Es ist möglich, mehrere Gruppen zu definieren. Die Gruppen sind durch eine logische ODER-Bedingung verknüpft. Bild 3.2 zeigt das Einrichten von mehreren "Common Trigger" Bedingungen am Master. In der untersten Zeile "Logic Function" werden die UND- und ODER-Bedingungen kompakt angezeigt.

Im Bild 3.2 wird dementsprechend in der ersten Zeile des Feldes "Combination" festgelegt, dass alle 6 Geräte gemäss Bild 3.1 die Registrierung starten, wenn bei Mess-Station 1 (ZC-604 ROS MP20 - auf der Bodenplatte) UND bei Mess-Station 2 (ZC-601 ROS MP21 - in Deckenfeldmitte) *gleichzeitig* das lokale Trigger-Kriterium erfüllt ist.

Bei diesen beiden Mess-Stationen erfolgen 2 Registrierungen: Eine Registrierung gemäss dem lokalen Trigger-Kriterium und eine weitere, zeitlich teilweise überlappende Registrierung, gemäss der Auslösung durch den Master. Letztere deckt bei allen 6 Geräten im Master-/Slave Netzwerk den gleichen Zeitraum ab. Gleiches erfolgt auch wenn die oben beschriebene Bedingung für die Mess-Station 1 UND 3 erfüllt ist, ODER für die Mess-Station 1 UND 4.

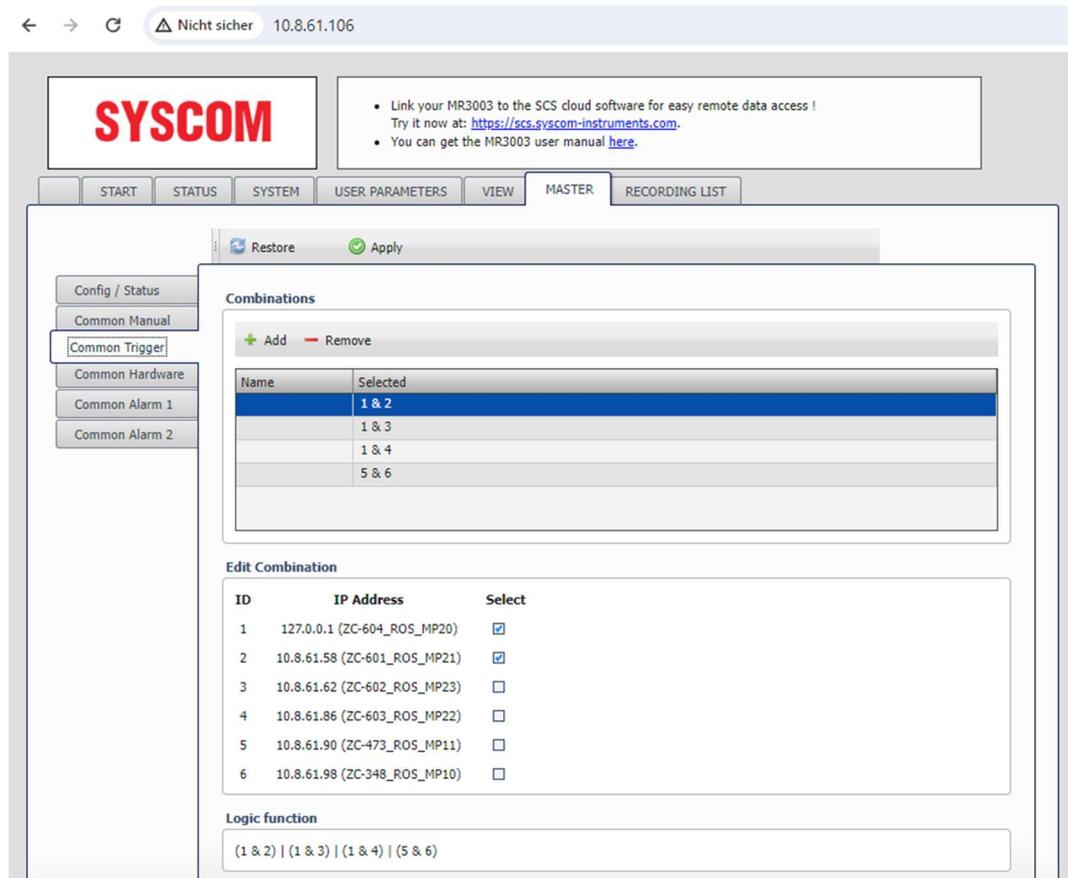


Bild 3.2 Master-/Slave-Netzwerk – Bedingungen für Common Trigger

### 3.3 Common Trigger – Auswertung der Messdaten

Die Aufzeichnungen an allen Mess-Stationen ermöglicht bei der Auswertung und der Erstellung der Messberichte eine klare Unterscheidung zwischen Erschütterungen der Baustelle und solchen aufgrund von (lokalen) Aktivitäten bei der jeweiligen Mess-Station, die nichts mit der Baustelle zu tun haben.

Bild 3.3a unten zeigt den Pegelschrieb einer Mess-Station an einem empfindlichen Standort. Die dunkelblauen Punkte entsprechen dem Spitzenwert der gemessenen Schwinggeschwindigkeit in jedem 4 Minuten Intervall (Pegelschrieb). Erfolgte zu einem bestimmten Zeitpunkt eine Registrierung (nur lokales Trigger-Kriterium erfüllt) wird dies als hellblaues Kreuz dargestellt. Registrierungen die aufgrund eines "Common Triggers" erfolgten, werden als rote Punkte dargestellt. Diese stammen mutmasslich von der Baustelle.

Es ist gut ersichtlich, dass zu Beginn der Messperiode täglich auf der Baustelle gearbeitet wurde, die Erschütterungen aber klar weniger stark waren als die Erschütterungen durch Aktivitäten in der Nähe der Mess-Station.

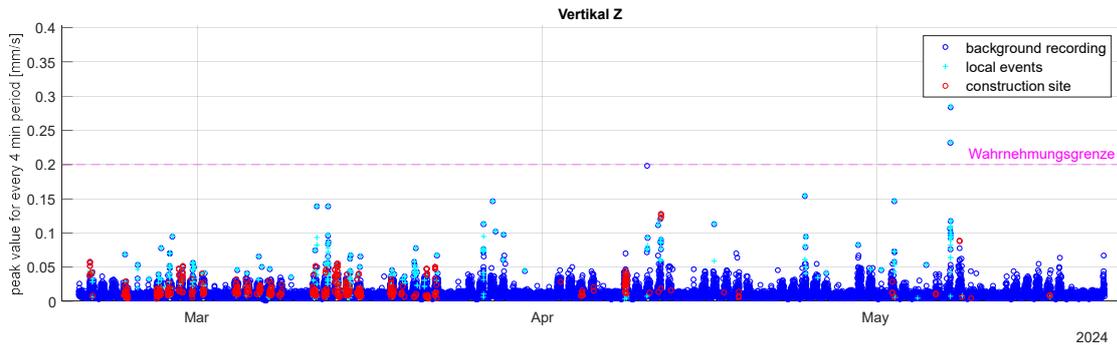


Bild 3.3a Maximale Schwinggeschwindigkeiten in vertikaler Richtung. Die blauen Kreise zeigen den höchsten gemessenen Wert in jedem 4 Minuten Zeitfenster, die roten Kreise zeigen die Maximalwerte der durch den Messpunkt im Nebengebäude (in der Nähe der Baustelle) ausgelösten Registrierungen. Die hellblauen Kreuze zeigen die Maximalwerte der nur lokal bzw. von einer anderen Mess-Station im gleichen Gebäude getriggerten Aufzeichnungen. Der Schwellwert bei beiden Messgeräten im Gebäude mit empfindlicher Nutzung liegt bei 0.04 mm/s

Bild 3.3b unten zeigt die maximalen Schwingungsamplituden in vertikaler Richtung in Abhängigkeit der Hauptfrequenz. Erschütterungen, die auch beim Nebengebäude registriert wurden und die mutmasslich von der Baustelle stammen, sind rot gekennzeichnet.

Man erkennt, dass die meisten und insbesondere die stärksten Erschütterungen der Baustelle sehr tieffrequent sind (< 20 Hz). Die hochfrequenten Erschütterungen > 120 Hz stammen offensichtlich von Aktivitäten in der Nähe der Mess-Station. Die Tatsache, dass keine dieser Erschütterungen zufälligerweise zeitlich mit einer Erschütterung der Baustelle zusammenfällt, lässt darauf schliessen, dass diese zu Zeiten erfolgten, bei denen die Baustelle nicht aktiv war – tatsächlich erfolgten diese meistens in den Randstunden – wie eine Analyse der Registrierungen zeigte.

Die Frequenzen im mittleren Bereich – insbesondere der Peak bei 100 Hz stammen von Geräten am Standort der Mess-Station (Kompressor der beim Ein- oder Ausschalten etwas unruhig läuft). Im Gegensatz zu den hochfrequenten Signalen gab es hier einige "Zufallstreffer", d.h. die lokale Erschütterung war vorhanden und stärker als die Erschütterungen der Baustelle, die zu diesem Zeitpunkt auch vorhanden waren – zumindest waren Sie bei der Mess-Station im Nebengebäude in der Nähe der Baustelle stark genug um einen "Common Trigger" auszulösen.

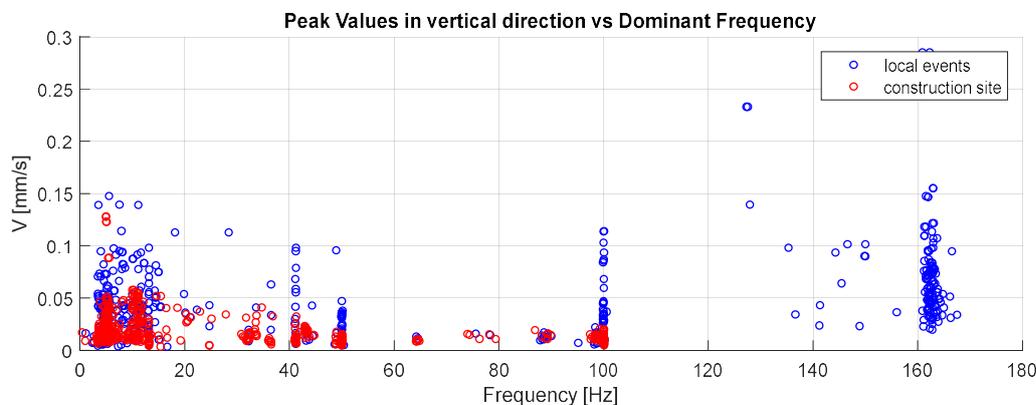


Bild 3.3b Maximale Schwingungsamplituden in Funktion der Frequenz. Die Kreise zeigen für jede Registrierung den Betrag des Maximalwertes der Schwinggeschwindigkeit in vertikaler Richtung und die Hauptfrequenz der Erschütterung. Rot eingezeichnet die Erschütterungen der Baustelle, blau eingezeichnet Erschütterungen durch lokale Aktivitäten ausgelösten Registrierungen.

### 3.4 Common Alarm

Der "Common Alarm" erzeugt einen Sammelalarm. Die Konfiguration erfolgt - gleich wie beim "Common Trigger" - durch logische UND- und ODER-Bedingungen. Auch beim Alarm gilt, die Bedingung für die Erfüllung der Alarmkriterien wird lokal in jeder Mess-Station festgelegt. Der Master prüft ob eine der logischen Bedingungen erfüllt ist und löst dann den "Common Alarm" ("qualifizierter" Alarm) aus. Der Master versendet dann auch diese Alarmmeldung – siehe Einstellungen in Bild 3.4

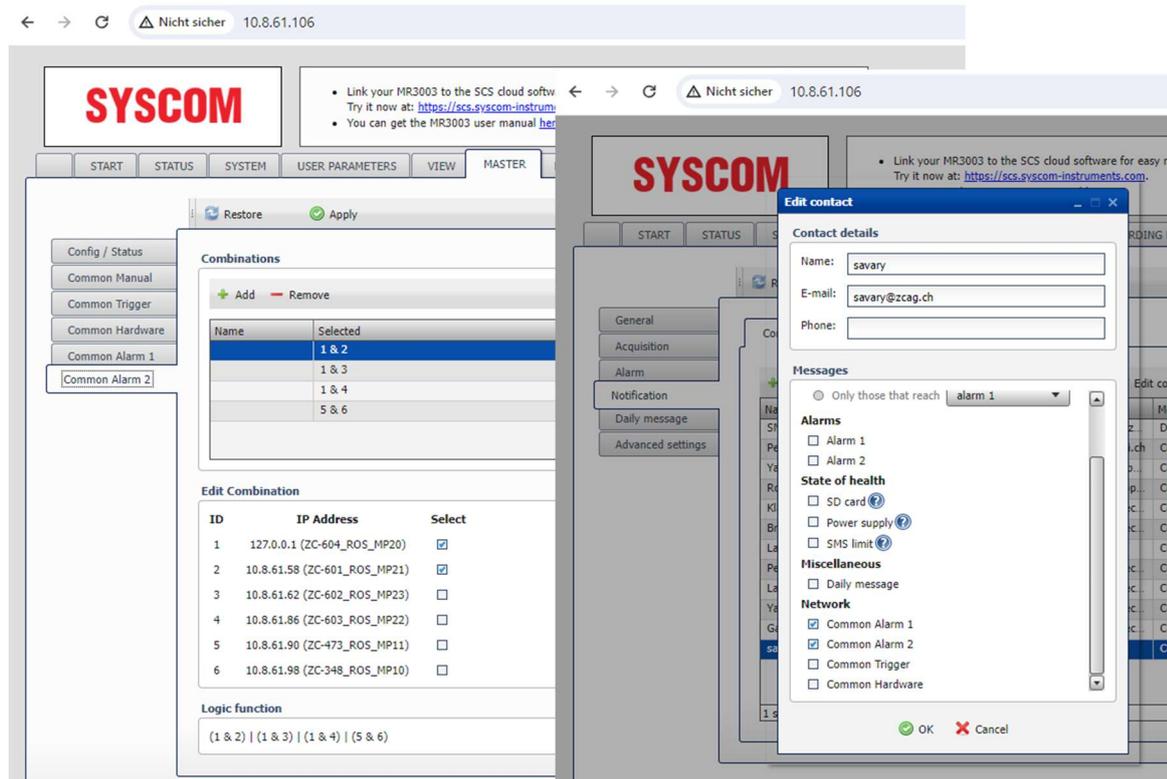


Bild 3.4 Master-/Slave-Netzwerk – Bedingungen für "Common Alarm" und Einrichten eines Alarm-Kontakts für den Sammelalarm

Sie können entweder nur den "Common Trigger" oder den "Common Alarm" oder beides verwenden.

### 3.5 Aufzeichnung und Alarmierung nach VC-Kurven

Wie in Kapitel 2.4 erwähnt, können weitere Kriterien für die Bewertung von Erschütterungen herangezogen werden. Im MR3003 (nicht im MR3000) ist die Bewertung nach VC-Kurven implementiert. Dazu wird im MR die Hintergrundaufzeichnung (Background recording) Peak und Terzband ("Peak + 1/3 Octave") eingestellt. Hinweis: Die Aufzeichnung erfolgt nicht im BMR sondern im ASCII-Format, das muss im Menu User Parameters > Advanced settings vorgängig so eingestellt werden.

Es kann wahlweise der Peak-Wert oder der RMS-Wert in jedem Zeitfenster und für jedes Terzband ermittelt werden. Die Dauer des Zeitfensters hat insbesondere bei der RMS-Bewertung eine über die zeitliche Auflösung des Pegelschriebs hinausgehende, wesentliche Bedeutung (siehe Kapitel 2.4).

Bei der Alarmierung kann angegeben werden, mit welcher der VC-Kurven die Bewertung erfolgen soll und – wie bei den anderen Alarmen – kann in Prozenten eingestellt werden, ob der Alarm schon vor Erreichen des Richtwertes abgeschickt werden soll.

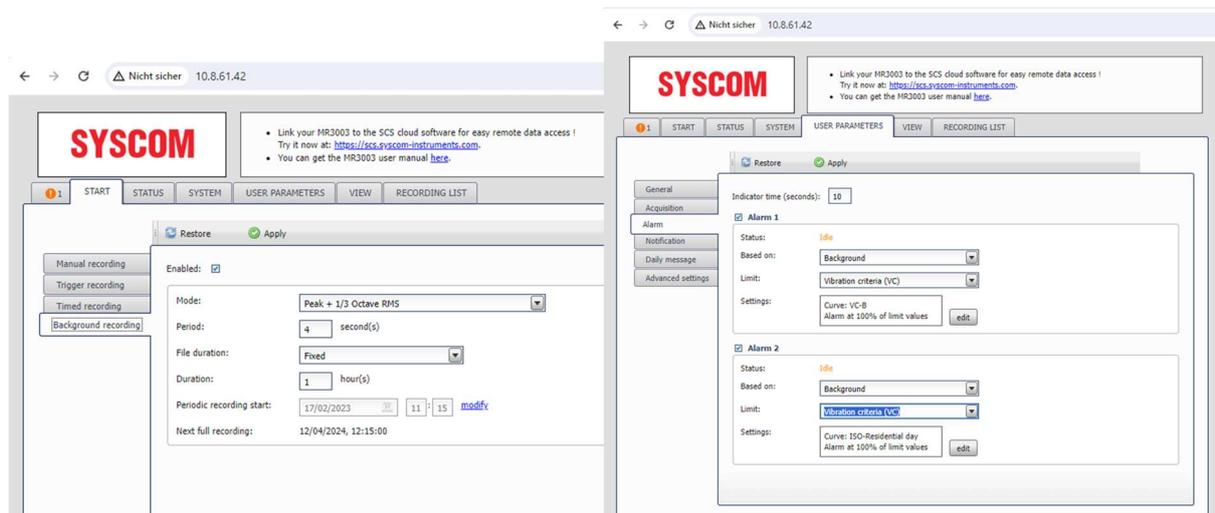


Bild 3.2a Einstellungen für die Aufzeichnung von Terzbandspektren (links) und die Alarmierung mit Terzbandspektren.

Beim Einrichten der Kontakte für die Alarmempfänger muss dazu "Alarm 1" oder "Alarm 2" angewählt werden.

Zur Aufzeichnung des Pegelschriebs in Terzbändern wird im MR3003 das Signal des Zeitverlaufes mit einer Filterbank in schmalbandige (entsprechend den Terzbändern) Signale zerlegt. Der Pegelschrieb beinhaltet für jedes Zeitfenster ("Period") den RMS oder den Peak Wert für jedes Terzband und den Spitzenwert des ungefilterten Signals ("Original").

Bild 3.2b zeigt das Originalsignal und beispielhaft die gefilterten Signale für 5 ausgewählte und in diesem Fall relevante Terzbänder.

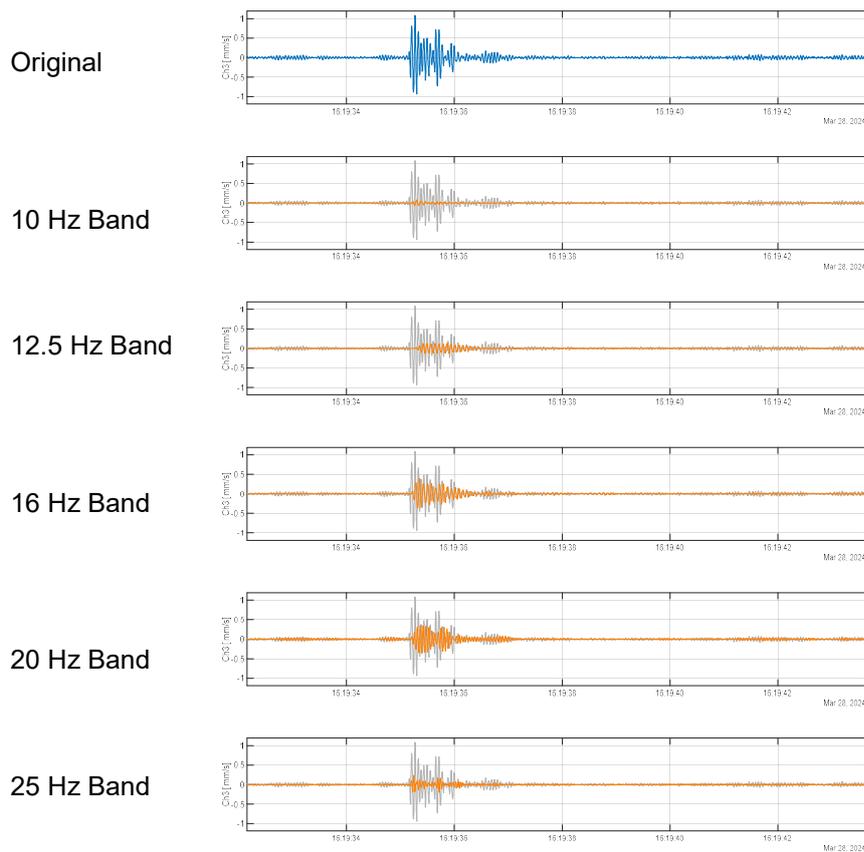


Bild 3.2b Pegelschrieb – Zerlegung eines Signals in Terzbänder – in den Terzbändern ist gefilterte das Signal orange dargestellt, das Originalsignal ist grau hinterlegt