Erschütterungsüberwachung bei Grossprojekten

VIBRA DB: EINE SOFTWARE FÜR DAS SPEICHERN, VERWALTEN UND ANALYSIEREN VON DATEN MIT EINEM MASSGEBLICHEN ANSATZ

Vincenza Barbaro, Angelo Bernasconi, Dario Bozzolo - IFEC Consulenze SA Rivera

1 Einführung

Die Überwachung der Erschütterungen bei Grossbaustellen stellt eine hohe Herausforderung dar. Sie ist sowohl durch ihre räumliche Ausdehnung (mehrere Kilometer) als auch durch ihre zeitliche Dauer (mehrere Jahre) gekennzeichnet. Normalerweise kommen mehrere Schwingungssensoren gleichzeitig zum Einsatz (etwa 10 bis 60 oder mehr) und sie müssen während des Verlaufs der Bauarbeiten mehrmals neu positioniert werden.

	Grosse Baustelle	Kleine Baustelle		
Beispiele	Tunnelbau	Hochbau		
Richtzahl der einzusetzenden Sensoren	40 - 60	1-3		
Festverbindung zwischen Sensoren	selten (oft unmöglich)	häufig		
Grösse der Datenbank	Tabellen mit Millionen von Zeilen	Tabellen mit Tausenden von Zeilen		
Geographische Ausdehnung	regionale Skala (> 1 km)	örtliche Skala		
Dauer des Monitorings	lang (≥ 1 Jahr)	kurz (< 1 Monat)		

Tabelle 1 - Unterschiede zwischen kleinen und grossen Baustellen in Bezug auf das Monitoring.

In der Praxis stellt sich für grosse Baustellen Folgendes heraus:

- 1. Die Sensoren können im allgemeinen nicht miteinander fest verdrahtet werden (zu grosse Abstände, lange Messzeiten an den gleichen Standorten, oft in Wohnhäuser), somit ist ein Master-Slave-Betrieb meistens nur über Funk möglich;
- Die Sensoren müssen sowohl periodische kontinuierliche Angaben liefern (z.B. maximale Erschütterungswerte, sogenannte "Peaks", bei einem vorgegebenen Takt) als auch detaillierte mit höher Zeitauflösung gekennzeichnete Information bei einzelnen Ereignissen wiedergeben (z.B. Vibrogramme bzw. zeitlicher Verlauf der Geschwindigkeitskomponente beim Überschreiten einer vorgegebenen Schwelle);
- 3. Die Sensoren übertragen die gesamte Information via Modem (GMS oder GPRS) an eine zentrale Stelle, welche hauptsächlich eine Sammel-Funktion ausübt;
- 4. Die gelieferte Information enthält viele Störsignale (Grundgeräusch), welche herausgefiltriert werden sollen, damit die **Qualität** der Messwerte gewährleistet wird. Ein Paar Beispiele dazu:
 - o die maximalen Schwinggeschwindigkeitswerte in einer Entfernung von etwa 1'000 m vermischen sich mit Störsignalen, welche von den Hausbewohnern selber erzeugt werden (siehe Bild links in Abbildung 1). Nur eine Art von Kreuzkorrelation mit einem anderen in der Nähe positionierten Sensor erlaubt eine Filterung des Nutzsignals (siehe Bild rechts in Abbildung 1);
 - o die Überwachung der aus einem Sprengvortrieb verursachten Erschütterungen neben einer Bahnlinie ist von den Störsignalen überdeckt, welche von den Zugvorbeifahrten selbst erzeugt

werden. Nur eine Master-Slave-Konfiguration erlaubt in diesem Falle die Sprengsignale allein zu registrieren;

- 5. Die Datenmenge der gesammelten Information ist enorm und ohne besondere Hilfsmittel schwer überblickbar und bewältigbar. Ihre weitere Verarbeitung und Beurteilung soll möglichst automatisch erfolgen, damit einerseits Fehler reduziert werden anderseits menschliche Ressourcen nur wo zwingend nötig eingesetzt werden;
- Bei speziellen Verhältnissen müssen die Signale in kurzer Zeit bearbeitet, geprüft und, je nach Resultat, als Alarmmeldungen und provisorische Messprotokolle an den zuständigen Verantwortlichen weiter geleitet werden.

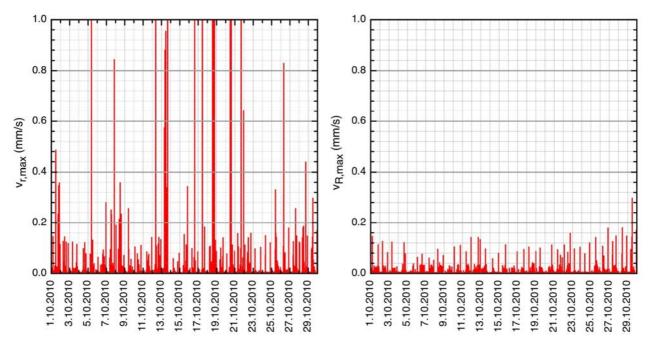


Abbildung 1 - Links sind die Rohdaten (Messpunkt "BI-1752.01" für die Periode 1.10.2010-30.10.201) graphisch dargestellt; rechts sind die Daten nach der Anwendung eines auf einer Art von Kreuzkorrelation arbeitenden Filters (s. Testprozedur AQC 2 in 2.1) graphisch dargestellt.

Um den Anforderungen 4 bis 6 entgegenzukommen, hat IFEC Consulenze SA ein robustes und flexibles Informationssystem (VIBRA DB) entwickelt, welches die Datenspeicherung / Archivierung, ihre Befragung und ihre kritische Beurteilung erlaubt, damit sowohl die Zusammenhänge zwischen Messgrössen als auch das allgemeine Verständnis zur Geltung kommen. VIBRA DB besteht somit hauptsächlich aus einer Datenbank und verschiedenen Hilfsprogrammen für die Qualitätskontrolle, die Analyse und die grafische Darstellung der erfassten Daten.

2 Software-Design

Die Struktur des informativen Systems VIBRA DB ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Sie wurde mit besonderer Aufmerksamkeit auf die Bedürfnisse einer grossen Baustelle entwickelt, in der auch die langjährige, innerhalb von IFEC gesammelte Erfahrung integriert wurde.

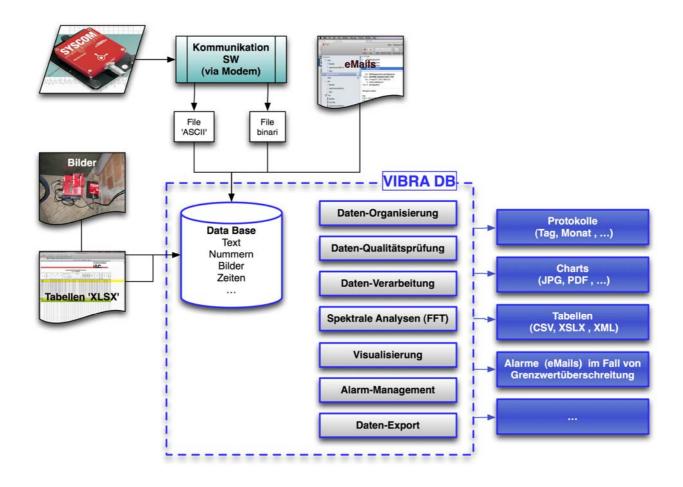


Abbildung 2 - Schematische Darstellung der Struktur des informativen Systems VIBRA DB.

Eine vorrangige Aufgabe bei der Entwicklung der Software bestand darin, ein flexibles Werkzeug aufzubauen. Weiterhin muss die graphische Schnittstelle besonders benutzerfreundlich sein und die Software muss beim Zugang, bei graphischen Darstellungen und bei Exportfunktionen in der Lage sein, mit grossen Datenmengen (auch mehr als 1 Million pro Messpunkt) umzugehen.

Ausserdem wollte man mit VIBRA DB ein vollständiges informatives System realisieren. Die Fähigkeit, **alle** zu einem Objekt gehörigen Informationen behandeln zu können, war von Anfang an eine wichtige Pflicht. Das Software kann daher mit verschiedenen Typen von Dokumenten umgehen:

- Text-File (ASCII);
- Numerische Daten (in Binary-Files wie z.B. Excel-Tabellen);
- Bilder und Photo;
- Geographische Daten;
- eMails.

2.1 Datenqualitätssicherung

Wenn die gemessenen Daten zum informativen System übertragen werden, müssen sie überprüft werden. Das Ziel ist dabei, die hohe Datenqualität zu gewährleisten, was als unentbehrliche Voraussetzung für jegliche Nutzung gilt.

Um ganz allgemein die Qualität der Daten sichern zu können, muss ein System eine Reihe von Tests vorsehen. VIBRA DB stützt sich auf eine Kette von Tests (s. Abbildung 3) mit entsprechendem Niveau für die Qualität der Daten (s. auch Tabelle 2).

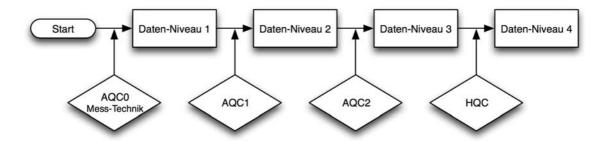


Abbildung 3 - Kette von Tests mit entsprechenden Qualitätsniveaus der Daten.

Auf der Ebene der Messtechnik (AQC0) bezieht man sich nicht auf die statistische Datenverarbeitung, sondern auf alle innerhalb von Kalibrierungen und Wartungsarbeiten der Geräte gesammelten Informationen. Solche Tests dienen dazu, eine hohe Qualität der Rohdaten zu sichern. Die Daten werden von den Messgeräten zusammen mit ev. Status-Markern (bezüglich Fehlfunktionen der Geräte) heruntergeladen.

Ab dem Niveau 1 (Rohdaten) werden verschiedene Qualitätskotrollen (QC) durchgeführt: sie können vom System automatisch (Automatic Quality Control - AQC) oder manuell vom technischen Personal mit der Unterstützung des Systems (Human Quality Control - HQC) durchgeführt werden.

Mit Hilfe von geeigneten Testprozeduren und von einem einheitlichen System von Niveau- und Status-Indikatoren (Status Index), ist es möglich zu verschiedenen Zeitpunkten, Informationen über die Qualität zu rekonstruieren (s. Tabelle 2).

Test	Niveau	Beschreibung	Status
Kein	1	Rohdaten	0
AQC1	2	Mit AQC1 nicht konforme Daten (unbrauchbar)	1
		Verdächtige Daten	2
		Mit AQC1 konforme Daten	3
AQC2	3	Verdächtige Daten	4
		Mit AQC2 konforme Daten	5
HQC	4	Unbrauchbare Daten	6
		Daten sind mit einer grossen Korrektur versehen	7
		Leicht korrigierte Daten	8
		Gute Daten (ev. spezielle Ereignisse)	9
		Hohe Datenqualität (visuelle Inspektion)	10

Tabelle 2 - Definition von Niveau und Status-Indikatoren (Status Index). Alle möglichen End-Status sind mit grauem Hintergrund gekennzeichnet.

Eine erste Reihe von automatischen Test-Prozeduren (AQC 1) wird durchgeführt, sobald eine genügende Anzahl von Daten vorhanden ist. Solche Test-Prozeduren stützten sich auf verschiedene statistische Indikatoren, wie zum Beispiel:

- <u>Die Verfügbarkeit</u>: die Messreihe eines bestimmten Parameters muss innerhalb des beobachteten Zeitfensters vollständig sein;
- Das erwartete Intervall (Range): für jeden Messpunkt werden aufgrund der Erfahrung und der physikalischen Eigenschaften minimale und maximale Werte festgelegt. Das Minimum ist immer gleich Null gesetzt, das Maximum wird hingegen aus den historischen Messreihen (z.B. aus den Daten des letzten Monats) hergeleitet. Darüber hinaus ist es wichtig, zu bemerken, dass die Perzentilen besonders geeignet sind, um robuste Schätzungen der höchsten Werten zu bekommen. Die Abbildung 4 zeigt auf einer halb-logarithmischen Skala die Ergebnisse einer solchen statistischen Auswertung. Dabei wurden

- die während eines Monats in Minutenintervall erfassten maximalen Schwing-geschwindigkeiten (Messpunkt "BI-1752.01") berücksichtigt. Man merke, dass das 100° Perzentil mit dem Maximum übereinstimmt und beträgt in diesem Fall ca. 6 mm/s. Wenn man in diesem Beispiel als Schwelle einen Wert von 0.5 mm/s wählen würde, würde man etwa 200 verdächtige Messergebnisse erhalten.
- Die Beständigkeit (Stabilität): mit dieser Testfunktion möchte man überprüfen, ob das von einem Messgerät gelieferte Signal eine minimale Variabilität aufweist. Ein solches Verhalten auch wenn innerhalb eines vernünftigen Intervalls könnte ein Hinweis für eine schlechte Arbeitsweise des Sensors sein. Die Schwierigkeit, einen solchen Test zu implementieren, besteht darin, dass bei einigen Standorten wo die Hintergrundsschwingungen gemessen werden das Signal auch beim korrekten Ablauf der Messung eine hohe Stabilität aufweisen könnte. Als statische Grösse für den Nachweis der Stabilität wird die Standard-Abweichung eingesetzt.

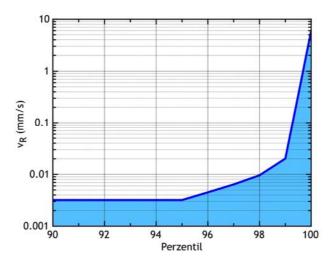


Abbildung 4 - Perzentile (oberhalb 90°) berechnet für die 1-Minut-Werte eines Monats (Oktobers 2010 Messpunkt "BI-1752.01")

Ein zweiter Typ von automatischen Testprozeduren (AQC 2) stützt sich auf den Begriff der "homogenen Sensorgruppen" (s. Abbildung 5).

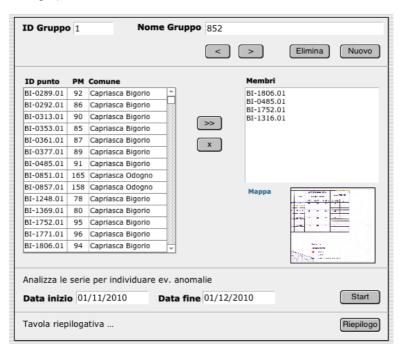


Abbildung 5 - Schnittstelle für die Definition der "homogenen Sensor-Gruppen".

Für eine vom Benützer frei wählbare Periode (typischerweise 1 Monat) werden die möglichen Ausreisser gesucht, indem man alle Messwerte mit Erschütterungsgeschwindigkeit $v_R \ge 0.02$ mm/s oder $v_R \ge 98^\circ$ Perzentilwert der gemessen 1-Minut-Werte (eines Tages) heraussucht. Für diese Messwerte – ein beschränkter Datensatz (vgl. Abbildung 4) – wird überprüft, ob sie (mit einem Spielraum \pm 1 Minute) für mindestens 2 Sensoren gleichzeitig vorkommen. Falls diese Bedingung nicht erfüllt ist, ist der AQC 2 Test nicht bestanden. Ein Beispiel der Anwendung dieser Art von Kreuzkorrelation ist in Abbildung 1 dargestellt.

Ein dritter Typ von Qualitätskontrolle (HQC) kann nur vom Spezialist durchgeführt werden. Die Software erlaubt dem Benützer, die Daten manuell zu validieren oder zu verwerfen, wobei im letzteren Fall Bemerkungen zu dieser Entscheidung eingefügt werden können.

2.2 Automatisierte Vorgänge

Die automatisierten Vorgänge stellen ebenfalls einen wichtigen Teil des SW Designs. Sie erlauben eine kontinuierliche Überwachung (24 Stunden pro Tag) unabhängig von der Anwesenheit eines Supervisors. VIBRA DB bietet insbesondere folgende automatischen Vorgänge:

- Daten-Import der aus verschiedenen Sensoren stammenden Messwerte: die Daten-Files mit Hintergrundbelastung oder hoch aufgelöster Aufnahme von Ereignissen werden von VIBRAD DB automatisch erkannt und differenziert behandelt;
- Alarmmeldungen via e-Mail mit allen nützlichen Informationen bezüglich eines registrierten Ereignisses, mit dem Ziel, die Bauleitung und alle möglichen Beteiligten rechtzeitig zu informieren. Die e-Mails können mit einem ad-Hoc definierten Protokoll begleitet werden. Im Protokoll werden die erfassten Daten (v_{R,max}, Frequenzen, ...) mit Hilfe von einfachen Tabellen und/oder graphischen Darstellungen zusammengefasst und mit Normwerten verglichen;
- Backup von Daten mit einem vom Benutzer vordefinierten Timing.

Diese periodischen automatischen Abläufen werden auf dem Server (wo auch die Datenbank abgespeichert ist) mit Hilfe von Filemaker Server durchgeführt. Zur Datenbank kann man gleichzeitig mit einer praktisch unbegrenzten Anzahl von Clients (mit Anwendung von Filemaker Pro) greifen. Dies ist möglich sowohl in einem lokalen Netzwerk (LAN) wie auch in einem erweiterten Netzwerk (WAN).

VIBRA DB ist ein Hilfsinstrument zum Management von grossen Projekten, indem es nützliche und zeitgerechte Informationen zu allen Beteiligten liefern kann. Dabei können die verschiedenen Outputs personalisiert werden und an verschiedene Bedürfnisse – z.B. einer Bauleitung, eines Juristen oder eines Erschütterungsspezialisten – angepasst werden.

3 Gegenwärtige Eigenschaften

VIBRA DB besteht aus einem *dynamischen* informativen System. Mit diesem System ist es möglich, sowohl die von den Erschütterungssensoren erfassten Messreihen ordnungsgemäss abzulegen, als auch die schon gespeicherten Daten ständig abzurufen. VIBRA DB kann dank der folgenden aufgelisteten Eigenschaften als *dynamisch* bezeichnet werden:

- erlaubt eine aktive Verwaltung der gesamten Datenmenge, die in der Datenbank gespeichert ist;
- zahlreiche Vorgänge von VIBRA DB können durch verschiedene externe Einwirkungen betätigt werden d.h:
 - von Fachleuten, wie zum Beispiel von Technikern oder Ingenieuren;
 - Durch weitere Software, wie zum Beispiel "FileMaker Server". (mit "FileMaker Server" ist es möglich, periodischen Prozeduren zu einem bestimmten Zeitpunkt des Tages durchführen zu lassen. Während der Nacht können zum Beispiel die anspruchsvollsten und zeitintensivsten Auswertungen automatisch ausgeführt werden);
 - Durch eine spezifische Apparatur, wie z.B. Sensoren, die automatische Nachrichten erzeugen können, welche vom System gelesen werden (z.B. e-Mails). In Abhängigkeit des Inhalts der Nachricht reagiert das System völlig automatisch unter Beachtung von vorgegebenen Bedingungen, die mit den Beteiligten (Auftraggeber, Bauherr, Bauleitung, usw.) festgelegt worden sind;
- erlaubt die Filterung von Daten, die automatisch oder manuell ausgeführt werden können. Unter anderem ist es auch möglich, die zu verwaltenden Daten manuell auszuwählen und zu visualisieren;
- erstellt Outputs, die durch verschiedene Spezifizitätsniveaus und Komplexität charakterisiert sind.

In der Entwicklung von VIBRA DB wurde das Schwergewicht auch auf ein promptes Ausliefern der angeforderten Daten gestellt. In Abhängigkeit der Anforderungen des Auftraggebers ist es möglich, die Antwortgeschwindigkeit einzustellen. Dank dieser Eigenschaft erlaubt das Informative System die Verwendung eines Monitoring, um z.B. die Lademenge bei Tunnelbohrungen schrittweise zu kalibrieren, so dass die im Voraus festgelegten Grenzwerte nicht erreicht werden. Dies ist dank der automatisierten Prozeduren möglich, die im System festgelegt werden können. Im Fall einer Überschreitung der eingestellten Grenzwerte, informiert das System die Bauleitung in einer begrenzten Zeitspanne, indem es eine e-Mail mit den gemessenen Werte schickt. Nachfolgend wird ein Protokoll erzeugt, wo die allfälligen Überschreitungen der Norm-Grenzwerte graphisch markiert sind.

3.1 Verwaltung der Messpunkte

VIBRA DB sieht mehrere Organisationsniveaus vor. Das Organisationsniveau hängt z.B. von der Auftragsnummer, vom Messpunkt (MP) und/oder von einem bestimmten Los ab (im Fall vom Monitoring bei Grossbaustellen). Für jeden MP können verschiedene Informationen hochgeladen werden d.h.: die geographischen Koordinaten, welche eine direkte Verbindung mit Google Maps erlauben (vgl. Abbildung 6), die Abbildungen betreffend der Lage des Sensors (vgl. Abbildung 6), das Datum der Inbetriebnahme des Sensors und weitere Informationen, welche die Verlegungsstelle des Sensors angehen.

Dieses Archivierungssystems erlaubt jedem Beteiligten, einen Überblick über die Erschütterungs-Situation sowohl unter dem technischen als auch unter dem manageriellen Gesichtspunkt zu bekommen.

VIBRA DB kann auch als leistungsfähiges Kataster abgerufen werden. VIBRA DB kann in der Zeit abgefragt werden, um neuen Kenntnissen über Erschütterungs-Phänomene zu extrapolieren.

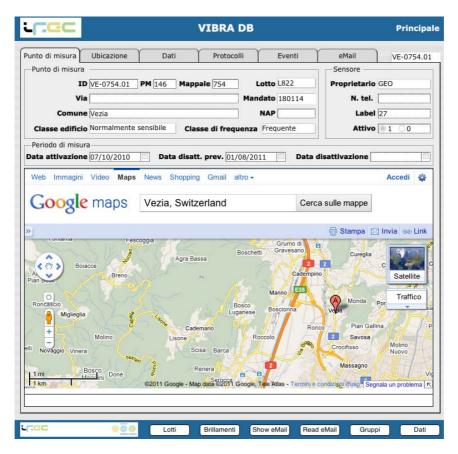


Abbildung 6 - Grundinformationen über den Messpunkt.

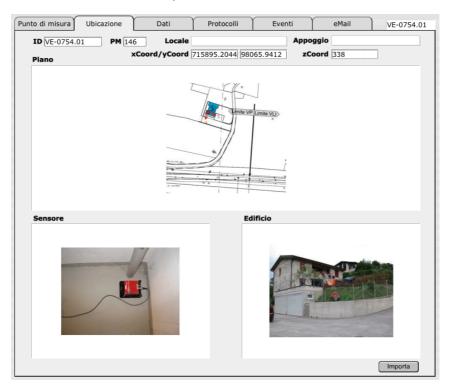


Abbildung 7 - Zusatzinformationen betreffend des Messpunktes.

3.2 Datenverwaltung und Datenvisualisierung

Das Importieren von Daten, einzeln oder in Messpunkte gruppiert, kann auf verschiedenen Ebenen geschehen. Dies kann manuell oder automatisch gesteuert werden, in Abhängigkeit der Anforderungen.

Eine erste Ebene ermöglicht das Importieren von ASCII Files (siehe Abbildung 2) mit den aufgenommenen Daten jeder Minute: somit importiert man sowohl Hintergrund-Erschütterungen als auch Erschütterungen die von externen Ereignissen induziert sind.

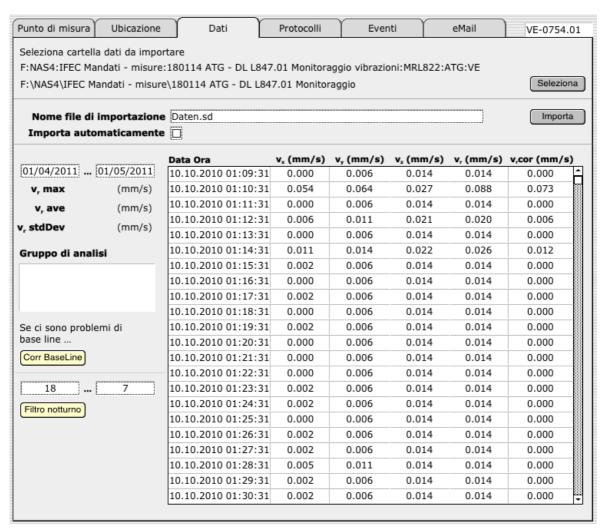
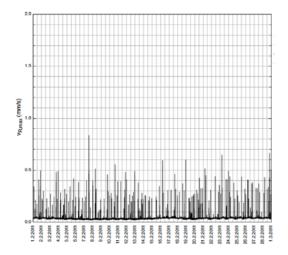


Abbildung 8 - Daten mit ASCII File importieren: Das Programm erlaubt die Angabe des Pfades und des zu importierenden Files für jeden Messpunkt, wie auch die Option für den automatischen Import. Die Daten sind direkt im Import-Fenster ersichtlich.

Das Programm erlaubt die direkte Visualisierung der importierten Daten: wenn einmal der zu analysierende Zeitraum gewählt ist, erstellt VIBRA DB eine zusammenfassende Tabelle der importierten Daten. Es ist möglich, diese Tabelle zu exportieren (beispielweise für Microsoft Excel) oder die Daten direkt in VIBRA DB zu verarbeiten, was auch eine Visualisierung von Informationen bezüglich Qualität der Daten beinhaltet, wie auch die Möglichkeit, vordefinierte Analysen durchführen zu können.

Es ist beispielsweise möglich, Daten-**Filter** einzufügen, die an den Zeitraum des Ereignisses gebunden sind. Daten, die ausserhalb des zu überwachenden Zeitraumes aufgenommen worden sind, kommen somit nicht ins Output. Es ist an dieser Stelle wichtig, zu erwähnen, dass die Daten nie gelöscht werden, sie werden nur gefiltert.

Weiter verfügt das Programm über den sogenannten "Baseline correction" der bei Geräten mit Offset benutzt werden kann (s. Abbildung 9). Mit dieser Funktion wird die Nullachse automatisch berechnet, mittels Bestimmung des Minimum des registrierten Signals und die daraus folgende Korrektur (Subtraktion). Das Verfahren arbeitet auf täglicher Basis, da die Nullachse zeitabhängig sein könnte.



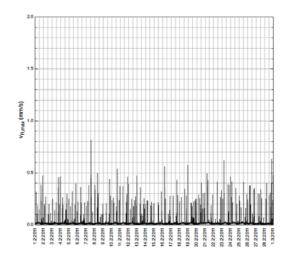


Abbildung 9 - Beispiel von monatlichen grafischen Darstellungen (44640 Werte für jedes Monat und Messpunkt). Die linke graphische Darstellung zeigt, wie die Erschütterungsgeschwindigkeiten nie die Nullachse berühren. Rechts sind die gleichen Daten nach der "baseline correction" graphisch dargestellt.

Eine zweite Ebene erlaubt das Importieren von binären Files, wo die Daten mit hoher Auflösung (generell 1/800 s) gespeichert sind. Wie in Abbildung 10 ersichtlich, ist es auch hier möglich, die Daten zu selektieren welche automatisch importiert werden sollen. Der Filemaker Server wird dann am bestimmten Zeitpunkt (meistens in der Nacht) in den einzelnen Ordnern die den Ereignisse der letzten 24 Stunden entsprechenden Files suchen. Nachdem die Daten importiert worden sind, berechnet VIBRA DB das Schmalbandspektrum (mittels eines FFT Algorithmus) und daraus das Terzbandspektrum.

Punt	to di misura	Ubicazio	one	Dati	Υ	Protoco	olli	Eventi		eMail		VE-422A.0
Pe	Permetti importazione automatica file XMR $\ oxedown$											
da	da cartella F:NAS4:IFEC Mandati - misure:180114 ATG - DL L847.01 Monitoraggio vibrazioni:MRL854-VEZIA:ATG:VE-422A.01:											
Vis	Visualizza dati del periodo: 01/03/2011 31/05/2011											
	Data	Ora	vx,max (mm/s)	fx,max (Hz)		vy,max (mm/s)		Ay,max (mm/s)			Az,max (mm/s)	vr,max (mm/s)
(20-05-11	10:55:46	2.65	136.5	0.008	3.89	79.7	0.010	1.59	136.5	0.010	4.06
(20-05-11	08:02:41	4.24	154.4	0.010	2.76	66.4	0.011	1.76	134.7	0.011	4.62
(19-05-11	11:58:45	2.25	198.4	0.009	2.31	79.8	0.014	1.55	131.2	0.007	3.78
(19-05-11	08:16:18	2.62	108.3	0.010	2.36	243.5	0.012	1.98	142.8	0.013	4.19
(18-05-11	14:44:45	2.17	80.5	0.009	2.38	80.5	0.015	1.15	130.7	0.006	2.89
(18-05-11	10:23:54	2.62	93.6	0.010	2.46	93.8	0.014	2.23	132.7	0.011	3.92
(18-05-11	08:01:07	2.15	82.0	0.009	3.18	78.2	0.020	1.58	131.4	0.007	4.31
(17-05-11	14:08:05	1.55	82.5	0.005	2.19	97.1	0.013	0.96	137.5	0.006	2.85
(17-05-11	13:43:15	3.37	205.4	0.010	3.24	245.5	0.016	2.56	143.7	0.013	5.22

Abbildung 10 - Importieren mittels binärer Files: das Programm ermöglicht für jeden Messpunkt die Angabe des Ordners mit den Daten Files, wie auch die Option für die Automatisierung. In einer Tabelle werden die historischen Daten angezeigt (im vom Benutzer definierten Zeitraum).

Abbildung 9 zeigt, wie der Zeitraum gewählt wird und somit die sogenannte "time history" angezeigt wird, ausgehend aus einer praktisch unbegrenzten Filesanzahl. Die Daten des gewählten Zeitraums sind in eine Tabelle zusammengefasst, mit Datum und Uhrzeit, maximaler Geschwindigkeiten ($v_{x,max}$, $v_{y,max}$ und $v_{z,max}$), Hauptfrequenzen und entsprechenden Amplituden (für die 3 Komponenten der Erschütterungsgeschwindigkeit). Dazu wird der Betrag der Resultierenden $v_{R,max}$ angegeben (hilfreich für Normprüfungen).

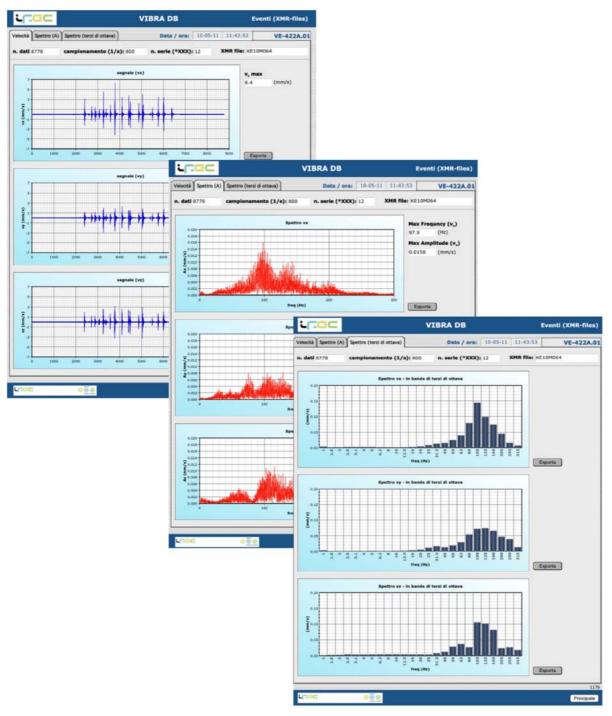


Abbildung 11 – Beispiele von Erschütterungsgeschwindigkeiten, vom Schmalbandspektrum und vom Terzbandspektrum, die jedes Ereignis begleiten.

Aus der Tabelle können detaillierte Informationen für jedes Ereignis entnommen werden. Wenn man auf den blauen Knopf (neben jeder hochgeladenen File) drückt, ist es nämlich möglich, eine vertiefte Analyse des Phänomens zu bekommen. Wie in der Abbildung 11 ersichtlich ist, (Ereignis des 10.05.2011 um 11:43:53) wird mit dieser Operation eine Graphik-Reihenfolge von Daten dargestellt, wie die Erschütterungsgeschwindigkeit, das Schmalbandspektrum (Frequenzanalyse, FFT) und das Terzbandspektrum für jede Komponente (x, y, z).

Die graphischen Darstellungen können in Berichten oder Präsentationen einfach mittels copy/paste eingefügt oder mit der Export-Option als JPEG gespeichert werden. Die Basisdaten können als CVS exportiert werden und mit anderen Tools verarbeitet werden, wie zum Beispiel Microsoft Excel.

3.3 Protokollierung

Nachdem die Daten gespeichert, verarbeitet und verifiziert worden sind, kann man leicht zusammenfassende Outputs über lange oder kurze Zeiträume gewinnen, die den Verlauf der Erschütterungen zeigen. Deswegen ist es möglich, verschiedene Layouts zu definieren und diese in mehrere Formate zu exportieren, PDF oder andere Programspezifische Datenformate, wie zum Beispiel für Pro Fit¹.

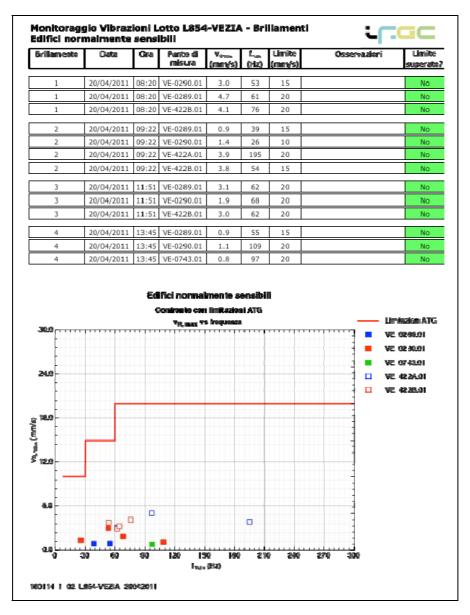


Abbildung 12 - Beispiel eines täglichen Protokolls.

3.3.1 <u>Tägliche Protokolle</u>

Die täglichen Protokolle (siehe Abbildung 12) sind für eine sofortige Übermittlung der aufgenommen Daten entwickelt worden, und dienen zur Kalibrierung der erschütterung-induzierenden Ereignisse. Dieses Werkzeug erweist sich sehr nützlich bei der Spreng-Überwachung: die Verwendung von Sprengladungen, insbesondere in Wohngebieten, erfordert eine sehr aufmerksame und dauernde Kontrolle mit unmittelbarer

Pro Fit, ein Produkt der Firma QuantumSoft (cfr. www.quansoft.com): arbeitet auf Macintosh Plattform, ermöglicht die Darstellung und die wissenschaftliche Analyse der Daten.

Übermittlung der registrierten Daten. Somit kann das zuständige Unternehmen die Ladungen dementsprechenden kalibrieren.

3.3.2 Monatliche und jährliche Protokolle

Mit monatlichen und jährlichen Protokollen kann man eine Übersicht der zeitlichen Evolution der oszillierenden Phänomene bekommen. Wie in Abbildung 13 ersichtlich ist, ermöglicht VIBRA DB nicht nur die Einstellung gewisser Protokoll-Parameter, wie das Ein- oder Ausblenden der Normgrenzen, den vertikalen Masstab und die Periode, sondern erlaubt auch einen einfachen Zugriff auf die Mittel- und Langzeitprotokolle für den analysierten Messpunkt. Der Benutzer hat somit in einfacher Weise (es genügt eine Zeile in der entsprechenden Tabelle zu wählen) Zugriff auf die zeitliche Entwicklung eines Messpunktes. Diese Eigenschaft eignet sich sehr für Systeme mit Schwerpunkt auf die Rückverfolgbarkeit der Informationen.

3.3.3 Ad-Hoc Protokolle

In Abhängigkeit von den Anfragen des Auftragsgebers, kann der Benutzer ein eigenes Protokoll-Modell erstellen.

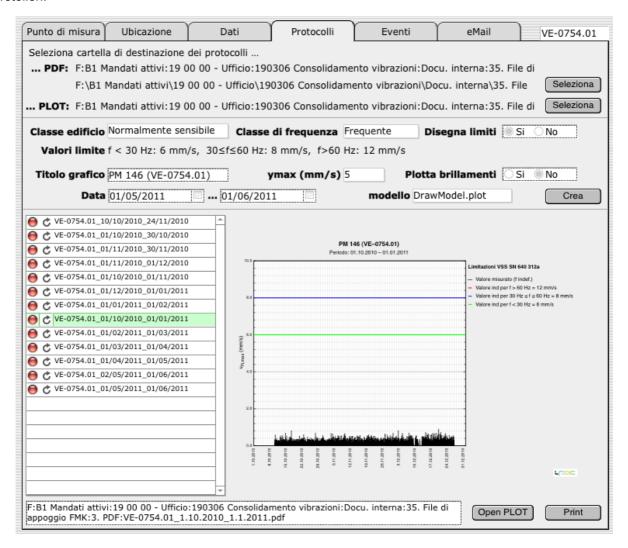


Abbildung 13 - Monatliche und jährliche Protokolle: die Abbildung zeigt die Schnittstelle für die Erstellung von Langzeitprotokollen. Der Benutzer kann den Zeitraum, den vertikalen Massstab und das Ein- oder Ausblenden der Grenzwerte wählen. In der Tabelle hat er schnellen Zugriff auf vorherige Protokolle und die Möglichkeit diese eventuell zu löschen (rote Taste).

4 Einigen Beispielen von VIBRA DB-Anwendungen

4.1 Monitoring entlang der Baustelle AlpTransit Gotthard (ATG, Ceneri-Basistunnel)

VIBRA DB wurde in Zusammenhang mit der Überwachung der von der Baustelle des Ceneri-Basistunnels erzeugten Erschütterungen ausgearbeitet. Zu bestimmten Zeiten waren bei dieser Baustelle bis zu 50 Sensoren vernetzt und gleichzeitig in Betrieb. Im Fall eines so komplexen Netzes ist die Funktionsweise der Sensoren bereichsspezifisch und von den verschiedenen Lose abhängig.

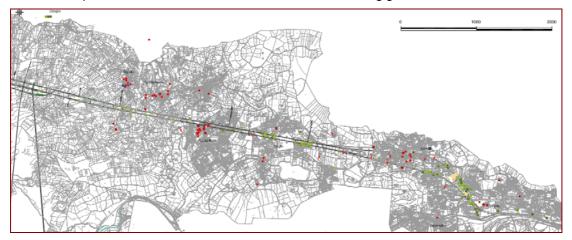


Abbildung 14 – Auszug des Lageplans: Lage einiger Sensoren (siehe rote Punkte) entlang der Teilstrecke Süd des Ceneri-Basistunnels.

Dank VIBRA DB wurden verschiedene Erschütterungsprotokoll-Typen für den Auftraggeber entwickelt, so dass die verschiedenen Anforderungen der einzelnen Lose erfüllt wurden (in Abbildung 14 sind die Lose 854 und teilweise 852 des Ceneri-Basistunnels dargestellt). Ein Erschütterungsprotokoll-Beispiel, das sich über einigen Monaten ausdehnt, ist in Abbildung 15 dargestellt. Ausser der Möglichkeit, flexible Diagramme mit einer beinahe unbegrenzten Anzahl Messwerte erzeugen zu können (im vorliegenden Fall sind mehr als 90'000 Messwerte dargestellt), gibt es die Möglichkeit, die Diagrammen von Hand zu verändern. In Abbildung 15 wurde zum Beispiel die Beschriftung "f= 277 Hz" hinzugefügt, um ein verständlicher Vergleich mit den Richtwerten der Norm VSS SN 640 312a zu veranschaulichen.

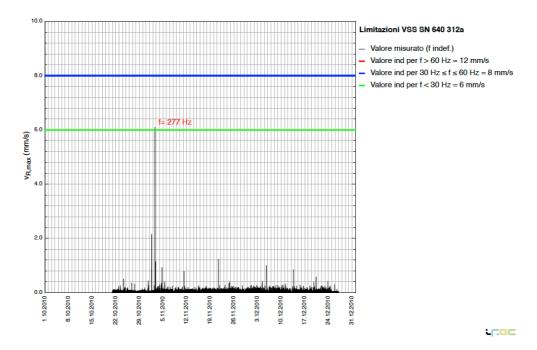


Abbildung 15 - Vierteljährliches Protokoll (Oktober - Dezember 2010) des Sensors "VE-0106.01".

Die Leistungsfähigkeit von VIBRA DB beschränkt sich nicht nur auf die Datenverwaltung im Rahmen von einzelnen Projekten. Dank der systematischen Sammlung und Speicherung der Daten eines Erschütterungsereignisses und dank der Qualitätskontrolle der erfassten Daten, können aus der Datenbank die gewünschten Messreihen abgerufen und wie gewünscht zusammengestellt werden. Daraus können nützliche Hinweise über das Verhalten von verschiedenen Schwingungsphänomene gewonnen werden. Zum Beispiel ist es möglich gewesen, die Erschütterungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit des Terzbandspektrum des Los 854 mit dem Abstand zwischen Sensor und Vortriebsfront (Sprengungspunkt) in Verbindung zu bringen. Das Resultat der Zusammensetzung dieser Informationen ist im Diagramm von Abbildung 16 dargestellt.

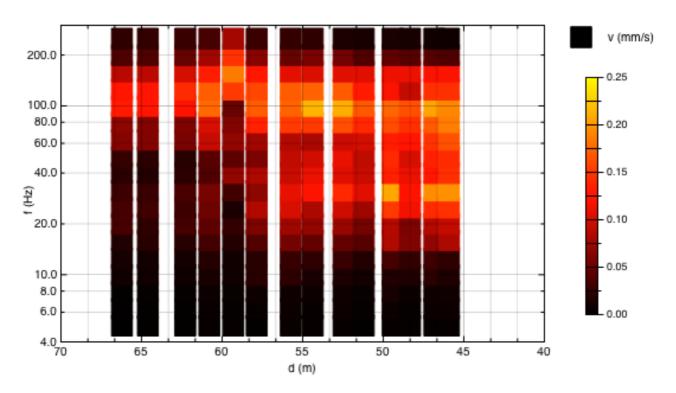


Abbildung 16 – Spektralanalyse des MP 8 (VE-422B.01) in Abhängigkeit des Abstand vom Sprengungspunkt. Auf der Abszissenachse ist der Abstand von der Vortriebsfront aufgetragen, auf der Ordinatenachse ist die Frequenz aufgetragen und auf der z-Achse ist die Erschütterungsintensität (Erschütterungsgeschwindigkeit in mm/s) mit Farben dargestellt.

4.2 Überwachung im Rahmen eines Hochbaus

VIBRA DB lässt sich auch für die Überwachung von kleineren Baustellen verwenden, auf denen Erschütterungen durch verschiedene Bauabläufe verursacht werden können, wie z.B.: Abbruch mit Hydraulik-Hammer, Abbrucharbeiten oder Betonmischungsarbeiten, u.s.w.

Ein Beispiel aus der Praxis von IFEC betrifft das Monitoring in einer Wohnung während der Abbrucharbeiten im oberen Stockwerk. Für die Vorbereitung von Berichten und Expertisen sind die allgemeinen Angaben (s. Abbildung 17) über den Messstandort, die Überwachungsperiode, die Gebäudeklasse und die Auftritthäufigkeit des Ereignisses nach Norm VSS SN 640 312a sehr nützliche Informationen. Weitere nützliche Informationen sind Mappenauszüge und photographische Aufnahmen mit Bilder des Gebäudes und des Messpunktes. Damit kann man sofort mögliche Beziehungen zwischen Messort und gemessenen Werten zum Ausdruck bringen.

In diesem Fall wurde das End-Protokoll spezifisch an den Bedürfnissen des Auftrages angepasst. Mit einem

neuen Modell war es möglich, die Daten der 3 eingesetzten Sensoren auf eine graphische Darstellung zu bringen (s. Abbildung 18).



Abbildung 17 - Standort Beschreibung und photographische Dokumentation eines der drei eingesetzten Sensoren (Messpunkt "MU-0323.01").

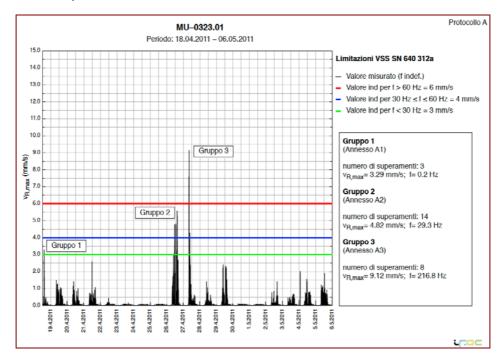


Abbildung 18 - Ad-Hoc Protokoll für den Messpunkt "MU-0323.01" (Periode: 18.04.2011 - 06.052011).

5 Zukunftsaussichten

Zur Zeit laufen einige Funktionalitäten von VIBRA DB nur auf der Mac OS Plattform. In Zukunft soll die Windows Plattform noch besser unterstützt werden. Gleichzeitig soll sich die Entwicklung auch an den neuen Informatik Technologien orientieren, und insbesondere möchte man auch einen vereinfachten Zugang mit Smart-Phone oder Tablet-Computer (wie z.B. iPad) zu VIBRA DB garantieren. Einige Versuche in dieser Richtung wurden bereits gemacht (s. Abbildung 19).

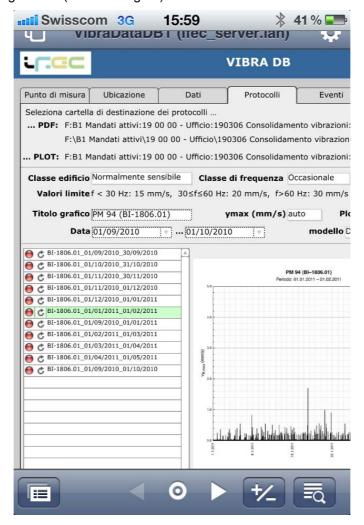


Abbildung 19 - VIBRA DB auf iPhone: die ersten Versuche sind bereit erfolgsreich.

Man könnte sich z.B. ein 'App' für die Alarmierung der Interessenten wie z.B. der von einer Baustelle berührten Einwohner oder Autofahrer, ... vorstellen. Auch im Hinblick auf solche Anwendungen wäre es wichtig, eine direkte Verbindung mit den Sensoren in VIBRA DB zu programmieren.

Weitere Entwicklungen sind in den horizontalen Analysen zwischen Daten von verschiedenen Sensoren vorstellbar, um mehr Kenntnisse über die Natur der oszillierenden Phänomene zu gewinnen.