

MR2002 CE: Funktion und Neuentwicklungen

Cosmas Savary, Syscom Instruments SA, Zürich,

1 TECHNISCHE BESCHREIBUNG DES MR

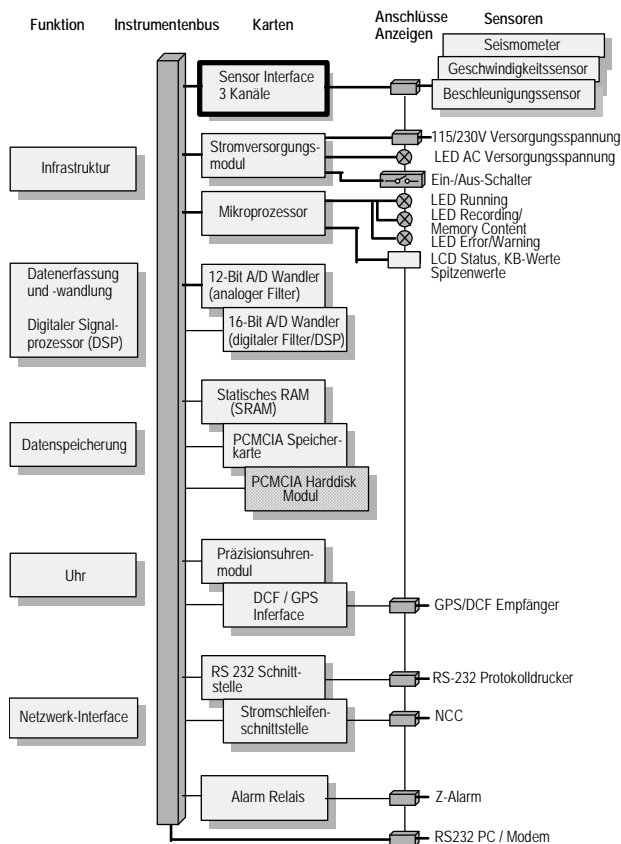
1.1 Geschichte des MR als Starkbebenmessgerät

Der MR2002 (MR = Motion Recorder) wurde 1990-92 als sogenanntes Strong-Motion-Gerät entwickelt und hat sich auf dem Markt seither sehr erfolgreich etabliert. Strong-Motion-Geräte werden als Sicherheitssysteme (in Staudämmen, Gebäuden und Kernkraftwerken) eingesetzt und müssen deshalb sehr zuverlässig sein. Sie sind oft über lange Zeiträume unbeaufsichtigt im Einsatz und zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Geringer Stromverbrauch, um Stromausfälle durch eine interne Batterie während mehr als 2 Tagen überbrücken zu können
- Äusserst robust und zuverlässig
- Datenkomprimierung
- Nahezu wartungsfreier Betrieb für mehrere Jahre
- Leicht transportierbar

1.2 Der Aufbau des MR2002-CE

Der MR2002-CE hat einen modularen Aufbau, bestehend aus



- A/D-Wandler / Filter (Wandlung der Sensorsignale, Filterung, Bewertung)
- Mikroprozessormodul (Kommunikation, Steuerung, Anzeige)
- Stromversorgungsmodul (Netzfilter, Transformator, Batterieladeelektronik)

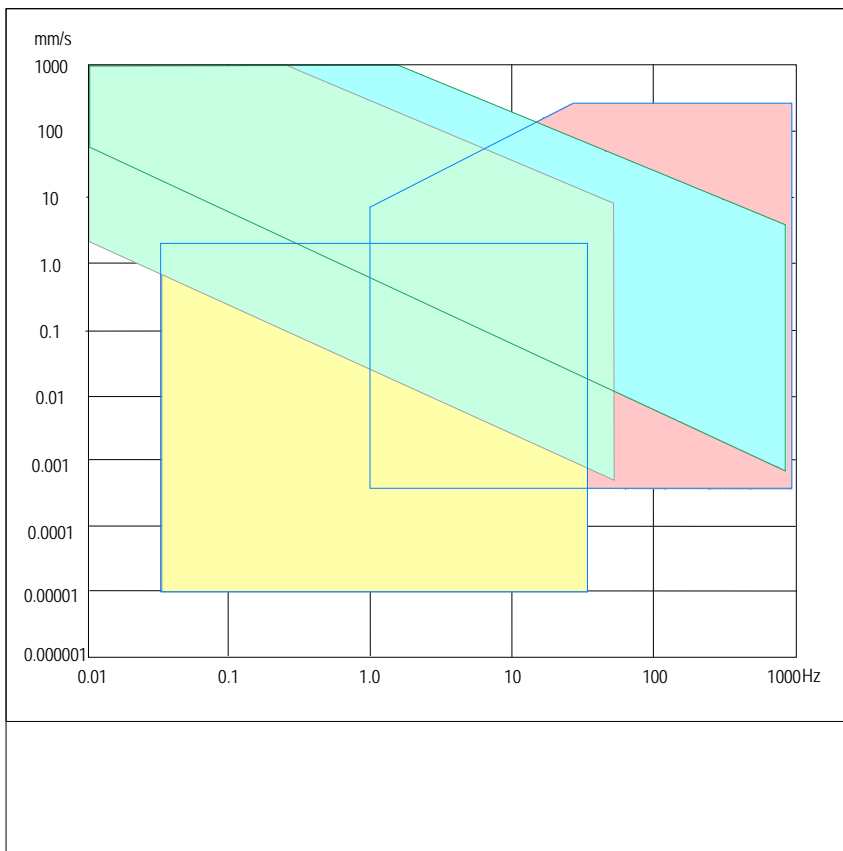
- Speicher (Aufzeichnung)

und kann problemlos mittels Steckkarten erweitert werden. Die zusätzliche Funktionalität umfasst

- Alarmausgänge (je 1 Relais für 2 Alarmwerte und für Fehler)
- eine zusätzliche serielle Schnittstelle für einen Protokolldrucker
- eine Schnittstelle für die Einbindung in ein Messnetz mit dem NCC2002 (Network Control Center).

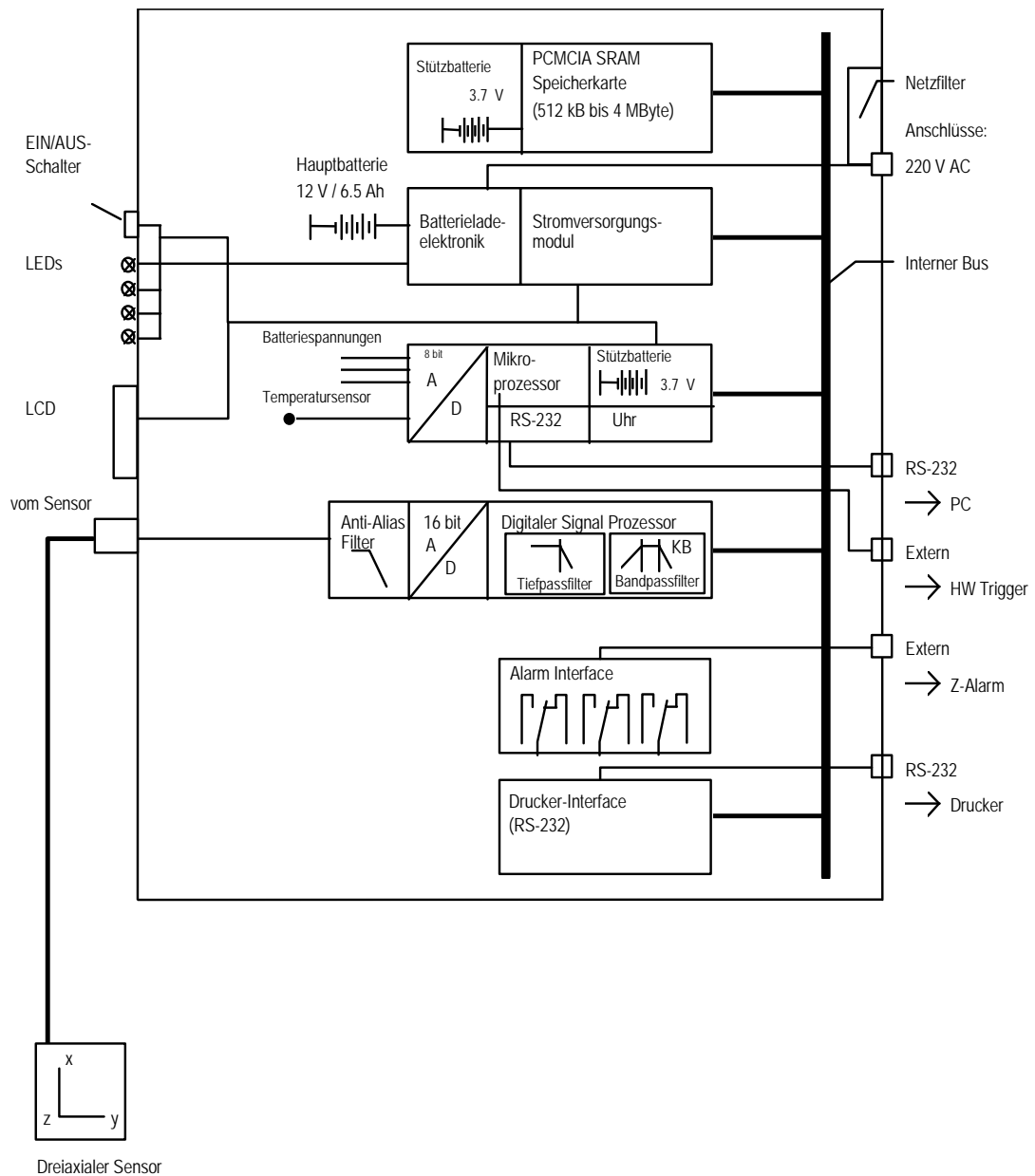
1.3 Sensoren

Der MR2002-CE kann je nach Einsatz mit einem Beschleunigungsaufnehmer oder einem Geschwindigkeitsaufnehmer betrieben werden und erkennt selbständig den angeschlossenen Sensortyp.



- Geschwindigkeitssensor MS2003: ■
- Geschwindigkeitssensor WB2000: ■
- Beschleunigungssensor MS2002: ■
- Beschleunigungssensor MS2004: ■

1.4 Blockschaltbild MR



1.4.1 Verarbeitung der Sensorsignale im MR (A/D-Wandlung und Filterung)

Die analogen Signale vom Sensor werden

- analog tiefpass gefiltert (Anti-Aliasing Filter - 2 poliges Filter, -3 dB Punkt bei ca. 350 Hz)
- digitalisiert (Abtastrate 3200 sps für jeden Kanal, A/D-Wandler mit 16 Bit Auflösung = 96 dB Dynamik)
- digital gefiltert (digitales FIR Filter, FIR=Finite Impulse Response).

1.4.2 Speicherung der Signale

Über den System-Bus gelangen die Daten in den Zirkularspeicher (Pre-Event Memory), wo sie in komprimierter Form abgelegt werden.

Der MR wird von einem CMOS-Prozessor (Motorola 68HC11) gesteuert; das Programm befindet sich in einem EPROM und die Geräte-Parameter sind in einem EEPROM abgelegt. Der MR verfügt über eine interne Uhr, die eine zeitliche Zuordnung der Aufzeichnungen ermöglicht. Der Microprozessor erfüllt neben der Speicherung der Daten noch weitere wichtige Aufgaben, so bedient er die serielle Schnittstelle zum PC und steuert die LED- und LCD-Anzeigen.

Als Aufzeichnungsmedium dienen PCMCIA SRAM (=statischer Direktzugriffsspeicher) Karten mit Stützbatterie.

1.4.3 Stromversorgung

Die Stromversorgung erfolgt über das 230 V Netz. Eine eingebaute Batterieladeelektronik stellt sicher, dass der Bleiakkumulator nachgeladen wird. Steht kein Strom zur Verfügung, läuft der MR mittels interner Batterie (Autonomie ca. 60 Stunden). Bei entladener Batterie stellt sich das Gerät selbständig ab, während alle Parameter und Registrierungen erhalten bleiben und die interne Uhr weiter läuft.

1.4.4 Batterien

Batterien halten nicht ewig! Nach spätestens 3-5 Jahren - je nach Einsatz - ist ein präventiver Austausch aller Batterien im MR notwendig. Die Hauptbatterie (ein Bleiakkumulator, wie er bei Motorrädern Verwendung findet) wird am meisten belastet. Tiefe und sehr hohe Temperaturen (< -20° und > 50°C) machen ihm besonders zu schaffen. Im Gegensatz zu NiCd-Akkumulatoren, wie bei Notebooks und Handies eingesetzt, kennen Bleiakkumulatoren keinen Memory-Effekt, der die Kapazität der Akkumulatoren bei nicht vollständigen Lade-/Entladezyklen stark einschränkt.

Bei den Stützbatterien für die interne Uhr und die PCMCIA Speicherkarte handelt es sich um Lithiumzellen. Diese werden nur belastet, wenn der MR ausgeschaltet ist. Zur Schonung dieser Batterien sollte der MR - auch ohne Sensor - wenn möglich immer eingeschaltet sein.

1.4.5 Selbsttest

Der MR besitzt eine eingebaute Selbsttestfunktion. Wir empfehlen, einen solchen Test in Abständen von ca. 1-2 Monaten manuell auszulösen. Der Selbsttest umfasst alle vitalen Funktionen des MR2002, insbesondere auch die verbleibende Kapazität der Stützbatterien.

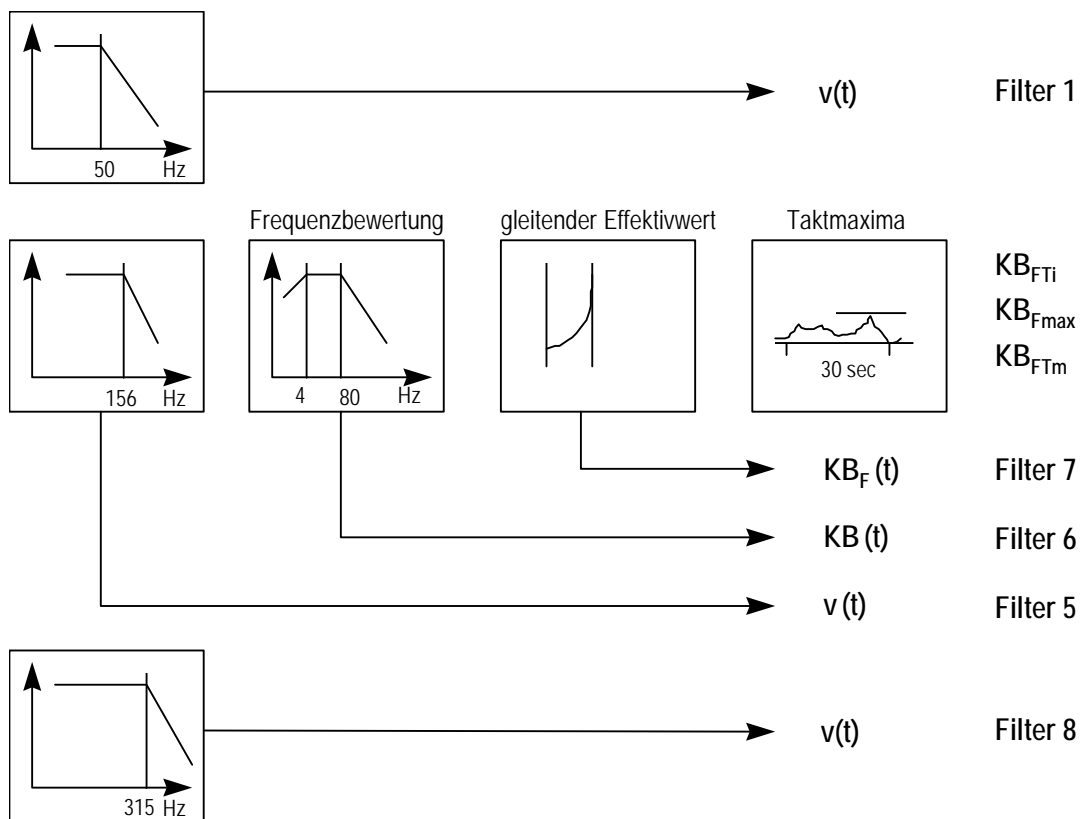
Stellt der MR beim Selbsttest eine Fehlfunktion fest, wird dies auf dem Display angezeigt, zudem blinkt die rote 'ERROR'-LED.

2 FILTERUNG DER SIGNALE

Der MR2002-CE hat fünf verschiedene, eingebaute, digitale Filter:

- 50 Hz Tiefpassfilter bei 200 Abtastungen pro Sekunde
- 156 Hz Tiefpassfilter bei 400 Abtastungen pro Sekunde
- 315 Hz Tiefpassfilter bei 800 Abtastungen pro Sekunde
- 4-80 Hz Bandpassfilter (=KB-Filter)
- KB-Filter mit Bildung des gleitenden Effektivwerts

Da für jeden der 3 Kanäle unabhängig voneinander zwei Filter zur Verfügung stehen, kann der MR2002-CE während lange andauernder Immissionsmessungen (im KB oder VM Modus) gleichzeitig auch Ereignisse aufzeichnen.



3 AUFZEICHNUNGSARTEN

Es stehen folgende Aufzeichnungsarten zur Verfügung:

- Ereignisaufzeichnung, gesteuert über Schwellwert-Trigger
- Immissionsmessungen nach DIN4150, Teil 1 und 2 (= KB - Modus) bei gleichzeitiger Ereignisaufzeichnung
- Verzögert startende Immissionsmessung nach DIN4150
- Langzeit-Messung (VM-Modus) bei gleichzeitiger Ereignisaufzeichnung (neu)
- Ereignisaufzeichnung mit nachträglicher Frequenzbewertung (neu)

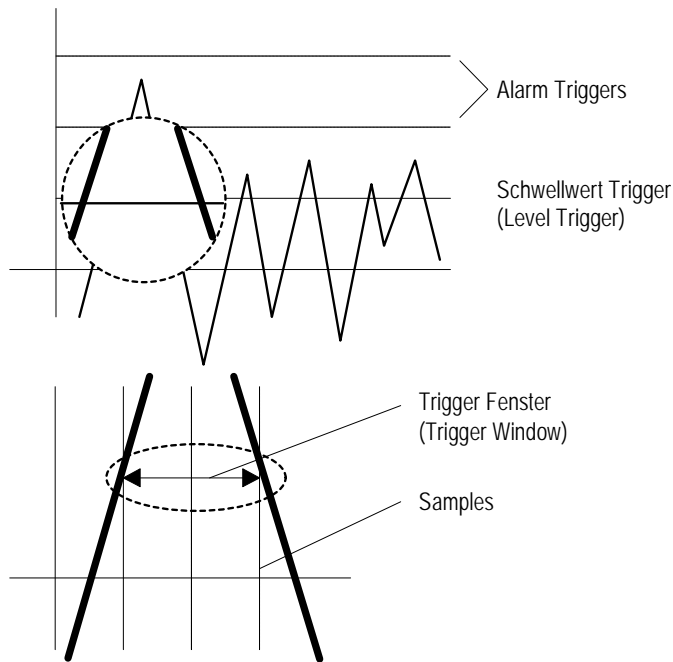
3.1 Ereignisaufzeichnung

Die Ereignisaufzeichnung des MR2002-CE wird über einen Schwellwert-Trigger gesteuert: Überschreiten die Erschütterungen den eingestellten Schwellwert, zeichnet der MR2002-CE auf, wobei dank des eingebauten Ringspeichers auch Erschütterungen aufgezeichnet werden, die vor dem Erreichen des Schwellwerts stattgefunden haben.

Die Schwellwerte können im Menu PARAMETER von COM2002 für jeden Kanal einzeln eingestellt werden. Zudem können zwischen den einzelnen Kanälen logische Verknüpfungen eingestellt werden, z.B. X OR Y (nur horizontale Achsen sind für Registrierung massgebend) oder X & Y & Z (auf allen Kanälen muss gleichzeitig die Registrierschwelle überschritten sein um die Aufzeichnung zu starten). Vor- und Nachregistrierzeit (pre-, und post-event time) werden in Sekunden eingestellt.

3.1.1 Trigger-Fenster

Der einfache Schwellwert-Trigger-Algorithmus kann durch das Setzen eines Trigger-Fensters verfeinert werden. Nur wenn der Schwellwert während mehrerer Abtastungen nacheinander überschritten worden ist, startet die Registrierung. Das Trigger-Fenster hat die Funktion eines Tiefpass-Filters, d.h. hochfrequente Störsignale lösen keine Registrierung aus. Die Einstellungen für das Trigger-Fenster werden ab Version 122.04 auch für das Auslösen der Alarme verwendet.

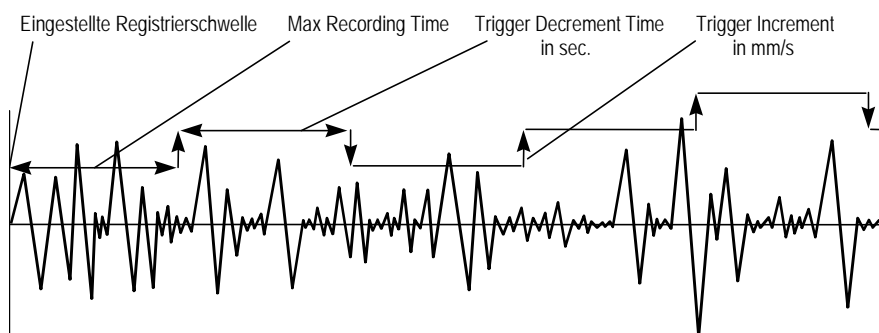


Die Länge des Trigger-Fensters kann im Menu PARAMETER von COM2002 in Sekunden eingestellt werden.

3.1.2 Smart-Trigger

Eine weitere Verfeinerung des Schwellwert-Trigger-Algorithmus ist die 'Smart-Trigger'-Funktion. Der MR2002-CE passt den Schwellwert selbständig an die am Messort vorherrschenden Erschütterungen an. Dies stellt sicher, dass jeweils nur die stärksten Ereignisse aufgezeichnet werden.

Wird die Aufzeichnung eines Ereignisses unterbrochen, bzw. ein Ereignis in zwei Registrierungen aufgeteilt weil die maximale Aufzeichnungszeit (max. recording time) erreicht ist, erhöht sich der eingestellte Schwellwert um das 'Trigger Inkrement'. Findet während der 'Trigger Decrement'-Zeit keine Aufzeichnung statt, wird der Schwellwert schrittweise bis auf den ursprünglich eingestellten Schwellwert herabgesetzt.



Dieser einzigartige Algorithmus ermöglicht auf einfachste Weise eine flexible Einstellung des Schwellwert-Triggers. Eine ähnliche Funktion kommt bei Seismikgeräten zum Einsatz (STA/LTA = Short Term Average / Long Term Average), allerdings erfordert das Einstellen dieses Algorithmus sehr viel Erfahrung.

Die Werte für 'max. recording time' (in Sekunden), 'trigger increment' (in der Messeinheit, z.B. mm/s) und 'trigger decrement time' (in Sekunden) können mit COM2002 im Menu PARAMETER eingestellt werden. Im INFO und PARAMETER Menü von COM2002 werden für den Trigger die eingestellten Werte gezeigt, nicht die vom MR errechneten (höheren) Trigger Werte. In den Kopfdaten des Ereignisses (Header) werden die vom MR errechneten (zum Zeitpunkt der Registrierung des Ereignisses gültigen) Werte gezeigt.

3.1.3 Ereignisaufzeichnung mit nachträglicher Frequenzbewertung (B-Modus)

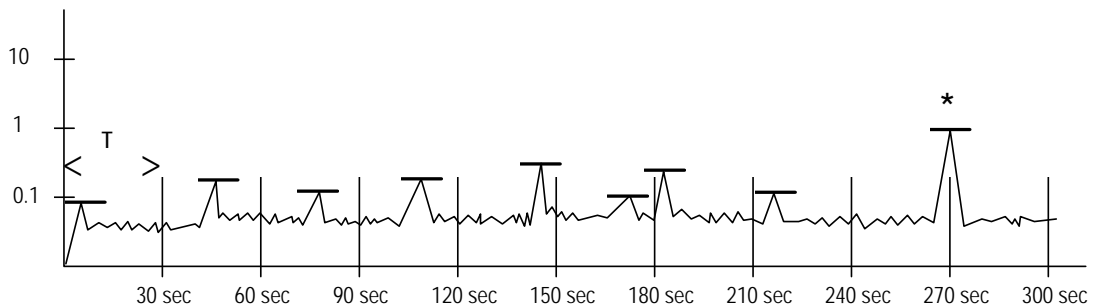
In der Aufzeichnungsart SPRENGUNG wird nach beendeter Aufzeichnung des Zeitverlaufs automatisch eine Frequenzbewertung der aufgezeichneten Signale durchgeführt. Die Frequenzbewertung erfolgt gemäss dem in der DIN 4150, Teil 3, Anhang D2 (Manuskript, 1988) beschriebenen Verfahren.

Der errechnete Höchstwert des normierten Betragsspektrums wird dabei zusammen mit dem Spitzenwert des Zeitverlaufs der Schwinggeschwindigkeit für jeden Kanal auf dem Display des MR2002-CE dargestellt. Mit dem Protokolldrucker können die Messergebnisse an Ort und Stelle ausgedruckt werden. Die vom MR errechneten Frequenzen werden von VIEW2002 nicht dargestellt, dafür steht die volle Aufzeichnung des Zeitverlaufs für eine genauere Analyse im Büro zur Verfügung.

Diese Aufzeichnungsart benötigt eine spezielle Hardware.

Die Aufzeichnungsart SPRENGUNG wird in COM2002 über den Menübefehl EXTRAS gestartet. Beim Starten dieser Aufzeichnungsart setzt der MR automatisch die richtigen Filter.

3.2 KB-Modus



		Anzeige auf dem MR
→	Taktmaximum für jeden Takt	KB_{FTi} (3 Kanäle)
*	Maximalwert	KB_{Fmax} (3 Kanäle)
	Taktmaximal-Effektivwert	KB_{FTm} (3 Kanäle)

Im KB-Aufzeichnungsmodus werden die Maxima des gleitenden Effektivwerts des frequenzbewerteten Signals innerhalb eines 30 Sekunden dauernden Taktes aufgezeichnet (gemäss DIN4150, Teil 2).

Die wichtigsten Messgrößen werden während der Aufzeichnung auf dem Display dargestellt. Mit dem Protokolldrucker können die Messergebnisse an Ort und Stelle ausgedruckt werden. Mit VIEW2002 können die KB-Registrierungen graphisch dargestellt werden.

Diese Aufzeichnungsart braucht sehr wenig Speicherplatz. Der MR2002-CE kann darin bis zu 90 Stunden aufzeichnen. Beim Start der Messung wird der für die Aufzeichnung benötigte Speicherplatz reserviert, d.h. die Aufzeichnung wird auf jeden Fall für die eingestellte Dauer durchgeführt. Der verbleibende Speicherplatz steht für die Aufzeichnung von Ereignissen zur Verfügung. Durch eine gleichzeitige Ereignisaufzeichnung können Transientensignale - wie z.B. das Stossen gegen den Sensor - einwandfrei von den echten Immissionen unterschieden und entsprechend dokumentiert werden.

Die KB-Aufzeichnungsart wird in COM2002 über den Menubefehl EXTRAS gestartet. Dabei kann neben der Dauer der Aufzeichnung auch festgelegt werden, ob die Aufzeichnung sofort, oder später - beim nächsten Einschalten des Geräts - beginnen soll. Eine laufende Aufzeichnung kann mit demselben Befehl oder durch Ausschalten des Gerätes beendet werden. Beim Starten der Aufzeichnungsart KB, setzt der MR automatisch die richtigen Filter.

3.3 Verzögerte KB-Aufzeichnung

Der MR startet die KB-Aufzeichnung beim nächsten Einschalten.

3.4 VM-Modus

In der Aufzeichnungsart VM (Langzeitüberwachung) werden die absoluten Maxima des Verlaufs der Schwinggeschwindigkeit innerhalb eines Taktes aufgezeichnet. Die Länge des Taktes ist variabel und in Sekunden (1-255) einstellbar. Wenn die Aufzeichnung nicht vorzeitig abgebrochen wird, werden immer 10'200 Takte aufgezeichnet, d.h. die maximale Aufzeichnungszeit beträgt ca. 30 Tage.

Die wichtigsten Messgrößen - analog zur KB-Aufzeichnung - werden während der Aufzeichnung auf dem Display dargestellt. Mit dem Protokolldrucker können die Messergebnisse an Ort und Stelle ausgedruckt werden. Mit VIEW2002 können die VM-Registrierungen graphisch dargestellt werden.

Diese Aufzeichnungsart braucht sehr wenig Speicherplatz. Der MR2002-CE kann darin bis zu 1 Monat aufzeichnen. Beim Start der Messung wird der für die Aufzeichnung benötigte Speicherplatz reserviert, d.h. die Aufzeichnung wird auf jeden Fall für die eingestellte Dauer durchgeführt. Der verbleibende Speicherplatz steht für die Aufzeichnung von Ereignissen zur Verfügung.

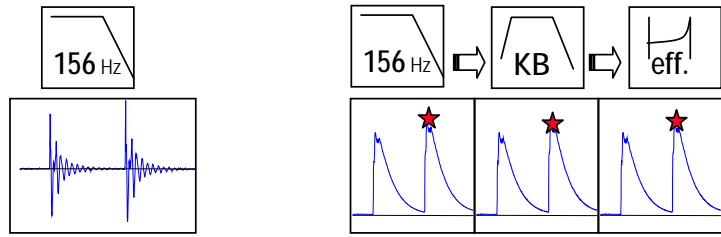
Die VM-Aufzeichnungsart wird in COM2002 über den Menubefehl EXTRAS gestartet. Dabei kann die Länge eines Taktes in Sekunden festgelegt werden. Eine laufende Aufzeichnung kann mit demselben Befehl oder durch Ausschalten des Gerätes beendet werden. Der eingestellte Filter wird durch den Start der VM Aufzeichnung nicht geändert.

3.5 Übersicht der Messmodi

- Frequenzband: fix
- Taktlänge fix (30 s)

KB

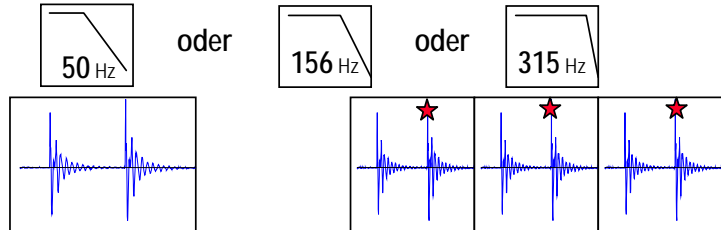
nach DIN 4150 Teil 2



- Frequenzband: variabel
- Taktlänge: variabel

VM

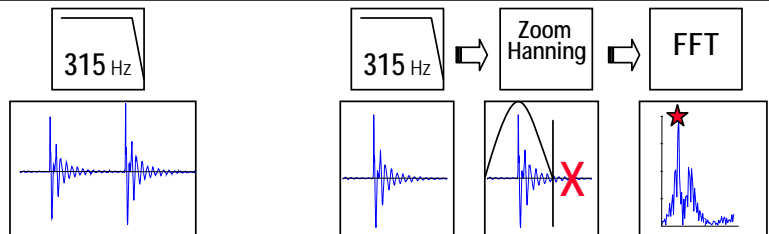
Langzeitüberwachung



Frequenzband: fix

Sprengung

nach DIN 4150 Teil 3



4 NEUE FUNKTIONEN MR 122.05

Im Rahmen der Produktpflege wurden mehrere neue Funktionen in den MR eingebaut. Die bestehenden Geräte können problemlos mit der neuen Firmware nachgerüstet werden.

- VM-Aufzeichnungsmodus (wie oben beschrieben)
- B- Aufzeichnungsmodus mit Frequenzbewertung (wie oben beschrieben) Diese Aufzeichnungsart benötigt eine DSP-Karte mit Speicher.
- Verbessertes Timing im KB Aufzeichnungsmodus
- Verbesserter Algorithmus bei der Berechnung der Null-Linie (Offsetkorrektur)
- Die Anzeige der Spitzenwerte auf dem Display weist neu bei Werten < 10 eine Nachkommastelle auf (In allen Aufzeichnungsmodi).
- Wieder implementiert wurde die Anzeige der Spannung der Hauptbatterie (dieses Feld wurde in der Version 122.03 irrtümlicherweise unterdrückt)
- Die Aktivierung der Alarmrelais kann während der Nacht ausgesetzt werden (Befehl AQ). Die Einstellungen erfolgen mit COM2002 im Menu 'PARAMETER'

Cosmas Savary
SYSCOM Instruments SA
8037 Zürich

Tel: +41 1 362 05 00
E-Mail: savary@syscom.ch

Seismische Instrumentierung des Staudammes Zillergründl

Cosmas Savary, Syscom Instruments SA, Zürich

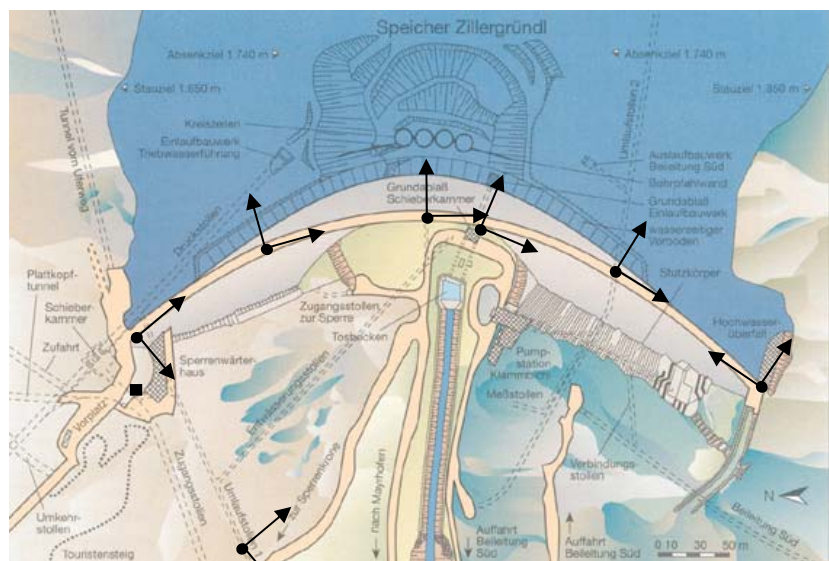
SEISMISCHE INSTRUMENTIERUNG DES STAUDAMMES ZILLERGRÜNDL

1. Beschreibung der Staumauer Zillergründl

Die Bogenstaumauer Zillergründl befindet sich in den Zillertaler Alpen, nahe der österreichisch-italienischen Grenze. Die Sperre wurde in den Siebzigerjahren erstellt. Es ist eine Bogenmauer von 186 m Mauerhöhe. Die Kronenlänge beträgt 506 m. Die Sperre besteht aus 24 Blöcken, die durch Längsfugen von den benachbarten Blöcken getrennt sind. Der Nutzinhalt der Sperre beträgt 86.7 Mio m³.

2. Die seismische Instrumentierung

Im Jahre 1997 wurde die Firma SYSCOM Instruments SA beauftragt, ein Beschleunigungs-Messnetz in der Sperre einzurichten. Ziel dieser Starkbebeninstrumentierung ist es, die Anregung sowie das generelle Schwingverhalten während eines lokalen Erdbebens zu messen und aufzuzeichnen. Zu diesem Zweck wurden 7 MR2002 Starkbebenmessgeräte und eine Zentraleinheit NCC installiert. Die Zentraleinheit



NCC befindet sich im Sperrenwärterhaus. 2 MRs wurden auf der Höhe des obersten Kontrollganges, ca. 30 m unterhalb der Dammkrone, an beiden Widerlagern plaziert. 3 MRs befinden sich unmittelbar unter der Dammkrone in vom obersten Kontrollgang aus über Vertikalschächte zugänglichen Nischen. 1 MR steht am Fuss der Sperre und ein weiterer MR am Ausgang des Entwässerungstollens, ca 200 m von der Mauer entfernt. Letzterer soll die vom Bauwerk möglichst unbeeinflusste Bodenbewegung registrieren (Freifeldgerät).

3. Besonderheiten bei der Installation

Ein besonderes Problem in den Talsperren sind neben der Feuchtigkeit die durch Blitzschläge verursachten Überspannungen auf den Stromversorgungsleitungen sowie die grossen Potentialdifferenzen zwischen den einzelnen Messstellen. Die Feuchtigkeit stellt für die MRs kein Problem dar, da die empfindliche Elektronik von einem robusten und spritzwasserfesten Gehäuse umgeben ist. Zum Schutze vor Störungen über die Stromversorgungsleitung ist jeder MR - nebst dem serienmässig eingebauten Feinschutz - zusätzlich mit einem externen Überspannungsschutz versehen. Durch die Verwendung von Glasfaserkabeln für die Verbindung zwischen MR und NCC ist gleichzeitig ein perfekter Überspannungsschutz mit vollkommener galvanischer Trennung der einzelnen Messstellen sichergestellt. Das Glasfaserkabel ist zudem leichter und widerstandsfähiger als ein Kupferkabel mit derselben Übertragungskapazität und deshalb wesentlich einfacher zu installieren.

Die Beschleunigungsaufnehmer MS und die Registriergeräte MR wurden wegen der engen Platzverhältnisse an den Wänden der Kontrollgänge, bzw. in den Nischen befestigt. Bei den Sensoren handelt es sich

um kapazitive Aufnehmer (MS2002), die sich durch einen linearen Frequenzgang und einen vernachlässigbaren Phasenfehler im relevanten Frequenzbereich sowie durch eine exzellente Langzeitstabilität auszeichnen. Insbesondere ist keine Nachkalibrierung dieser Sensoren notwendig. Als Registriergeräte sind in der Mauer MR2002 mit 12-Bit Auflösung und analoger Filterung eingesetzt worden. Das Freifeldgerät ist ein MR2002 mit 16-Bit Auflösung und digitaler Filterung (ähnlich dem MR2002-CE).

Jeder MR ist mit der Zentraleinheit NCC direkt verbunden (sternförmiges Netzwerk). Die MR registrieren selbstständig seismische Ereignisse. Sie arbeiten als autonome Einheiten, deren Aktivitäten vom NCC koordiniert werden.

Für die genaue Analyse des dynamischen Verhaltens der Sperre ist eine Korrelation der Signale, die von den einzelnen MR registriert werden, unerlässlich. Dies ist nur möglich, wenn die digitale Abtastung in den einzelnen MRs genau synchronisiert ist ('common sampling'). Dazu verteilt das NCC jede Minute Zeitmarken an alle MRs. Das NCC ist seinerseits mit einer Funkuhr verbunden, welche vom Langwellen-Sender DCF in Frankfurt gesteuert wird. Damit wird nicht nur die für den Baudynamiker wichtige relative Synchronisation, sondern auch die von den Seismologen geforderte absolute Synchronisation ('common timing') im ganzen Netzwerk gewährleistet.

Das NCC ermöglicht eine logische Verknüpfung der Trigger-Kriterien der einzelnen MRs ('common trigger'). Damit wird sichergestellt, dass während eines Erdbebens alle Geräte aufzeichnen, unabhängig davon, ob an der jeweiligen Messstelle die Triggerbedingung erfüllt ist oder nicht. Diese logische Verknüpfung, z.B. 3 von 7 verhindert gleichzeitig, dass wegen Arbeiten in der Nähe einer einzigen Messstelle das ganze Netzwerk getriggert wird. Mit der gleichen Auswahllogik wird das Überschreiten der Alarmschwellen an den einzelnen Messstellen vom NCC zu einem qualifizierten Alarm ('common alarm') zusammengefasst.

Das NCC kommuniziert permanent mit den MRs im Netzwerk in einem 'Polling' Verfahren (d.h. das NCC fragt und der MR gibt Antwort). Damit ist eine permanente, aktive Überwachung des ganzen Netzwerks sichergestellt.

Das NCC verfügt über drei Melderelais mit denen die Meldungen 'Störung', 'Registrierung' und 'Alarm' an die Warte in Mayrhofen weitergeleitet werden.

Zudem ist es über das NCC möglich, mit allen MRs in der Staumauer zu kommunizieren, d.h. aufgezeichnete Daten abzufragen oder Parameter zu verändern. Das NCC ist mit einem Modem ausgestattet, so dass die ganze Anlage fernbedient werden kann. Dies ist eine absolute Notwendigkeit, da die Mauer im Winter oft während mehreren Tagen nicht erreichbar ist.

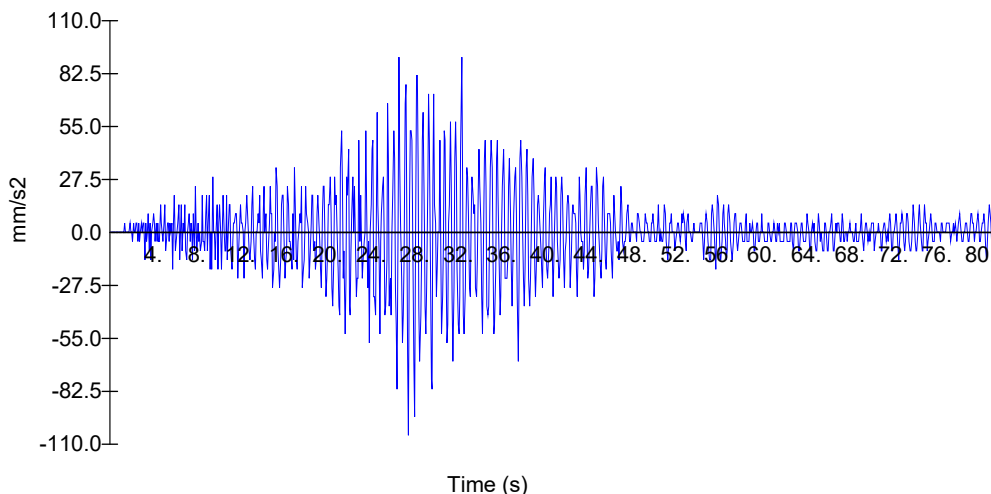
Im Gegensatz zu Erschütterungsmessgeräten, die oft Ereignisse aufzeichnen, warten Starkbebenüberwachungsgeräte in der Staumauer u.U. mehrere Jahre auf die erste echte Registrierung. Durch diesen Umstand erhalten die eingebauten Selbsttestfunktionen eine ganz besondere Bedeutung. In der Sperre Zillergründl führen die MRs alle 20 Tage einen kompletten Selbsttest durch. Entdeckt die Selbsttestfunktion eine Störung, wird diese via NCC an die Warte in Mayrhofen gemeldet und sofort deren Behebung in die Wege geleitet. Dadurch wird die gewünscht hohe Verfügbarkeit der Messanlage sichergestellt.

4. Erste Registrierungen

Die erste Registrierung in der Mauer erfolgte ca. 7 Monate nach der Installation der Anlage. Bei diesem Ereignis handelt es sich nicht um ein lokales Beben - wofür die Instrumentierung eigentlich gedacht ist - , sondern um ein Erdbeben der Stärke ML 5.8 mit Epizentrum im nordwestlichen Slowenien, ca. 150 km von der Mauer entfernt.

Die Auswirkungen des Erdbebens waren beim Freifeldgerät aufgrund der kleinen Beschleunigungen kaum messbar. Allerdings wies die Erschütterung - typisch für die relativ grosse Distanz zum Epizentrum - einen grossen Anteil an tiefen Frequenzen auf. Da diese mit der Eigenfrequenz der Mauer gut übereinstimmen, wurde die Mauer so stark angeregt, dass dies an der Dammkrone zu einer gut spürbaren Erschütterung führte, die von den MRs aufgezeichnet wurden. Das Signal unten zeigt den Beschleunigungsverlauf quer zur Staumauer, gemessen in der Mitte der Staumauer auf Kronenhöhe.

Acceleration Signal of Ch1 for Event 1

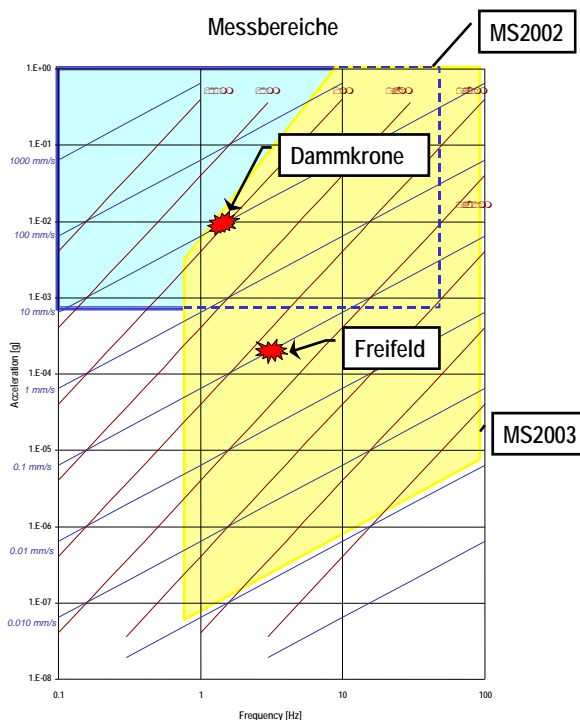


5. Diskussion der Resultate

Anhand der Registrierungen in der Staumauer und mit dem Freifeldgerät lassen sich die Unterschiede bezüglich Empfindlichkeit und beim Messbereich zwischen einem Beschleunigungsaufnehmer und einem Geschwindigkeitsaufnehmer sehr anschaulich zeigen.

Bei der Messung auf der Dammkrone wäre der MR2002-CE mit dem Geschwindigkeitsaufnehmer MS2003 während des Erdbebens praktisch voll angesteuert gewesen (aufgrund des eingeschränkten Messbereichs bei tiefen Frequenzen), während der MR2002 mit dem Beschleunigungsaufnehmer MS2002 erst auf 1.2% des Vollausschlages kommt. Der MS2003 ist bei tiefen Frequenzen also sehr viel empfindlicher als der MS2002 Beschleunigungsaufnehmer. Für Messungen auf der Krone der Staumauer genügt bei einem MS2003 auch der Wind als Anregung um die Eigenschwingung der Mauer aufzuzeichnen.

Die Messung am Standort des Freifeldgerätes wäre mit dem MR2002-CE voll geglückt, während der Beschleunigungsaufnehmer ein fast nicht erkennbares Signal liefert.



Trotzdem wurden nicht etwa die falschen Sensoren installiert, denn die Seismikinstrumentierung soll auch während eines starken lokalen Bebens das Verhalten der Mauer unverzerrt und sauber aufzeichnen.

Cosmas Savary
SYSCOM Instruments SA
8037 Zürich

Tel: +41 1 362 05 00
E-Mail: savary@syscom.ch