Bedienungsanleitung

Schwingungs-analysator

VM80

für Geräte ab Version 001.016

Metra Meß- und Frequenztechnik Radebeul
GmbH & Co. KG

Meißner Str. 58a - D-01445 Radebeul

Tel. +49-351 836 2191 Fax +49-351 836 2940

Email: Info@MMF.de Internet: www.MMF.de

Herausgeber:
Metra Meß- und Frequenztechnik Radebeul GmbH & Co. KG
Meißner Str. 58a
D-01445 Radebeul
Tel. 0351-836 2191
Fax 0351-836 2940
Email Info@MMF.de
Internet www.MMF.de

Hinweis: Die jeweils aktuellste Fassung dieser Anleitung finden Sie als PDF unter https://mmf.de/produkt/vm80

Änderungen vorbehalten.
© 2026 Metra Meß- und Frequenztechnik Radebeul GmbH & Co. KG
Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung.

Nov. 26

Inhalt

1. Verwendungszweck....3
2. Eigenschaften....4
3. Bedienung....4
3.1. Anschlüsse und Bedienelemente....4
3.2. Ein-/Ausschalten und Reset....5
3.3. Menüleiste....5
3.4. Sensoren....5
3.5. USB-Anschluss....7
3.6. Laden des Akkumulators....7
3.7. Speicherkarte und Dateisystem....8
4. Messmodule....9
4.1. Lizenzen....9
4.2. Modul Amplitude/Zeit....10
4.2.1. Kennwertmessung....10
4.2.2. Einstellungen....11
4.2.3. Speicherung....14
4.3. Modul Frequenzanalyse....15
4.3.1. Spektrale Leistungsdichte (PSD)....21
4.3.2. Spektrale Energiedichte (ESD)....22
4.3.3. Frequenz-Übertragungsfunktion (FRF)....22
4.3.4. Wasserfall-Modus....25
4.3.5. Spektrogramm-Modus....26
4.3.6. Speicherung....27
4.4. Modul Amplitude/Drehzahl....28
4.4.1. Grundlagen....28
4.4.2. Einstellungen....29
4.4.3. Messung....31
4.4.4. Speicherung....32
4.5. Modul Maschinenschwingung....33
4.5.1. Grundlagen....33
4.5.2. Anlegen von Messrouten....34
4.5.3. Anlegen von Messpunkten in einer Route....35
4.5.4. Assistent für ISO-Normen zur Schwingstärkemessung....37
4.5.5. Messung von Maschinenschwingungen....38
4.5.5.1. Messbildschirm öffnen....38
4.5.5.2. Messung der Schwingstärke....39
4.5.5.2.1 Anzeige von Kennwerten und Phasenwinkeln....39
4.5.5.2.2 Kurzzeittrend der Kennwerte....41
4.5.5.2.3 Frequenzspektrum (FFT)....41
4.5.5.2.4 Anzeige der Langzeittrends von Schwingstärke und Phase....42
4.5.5.3. Messung von Wälzlagerschwingungen....43
4.5.5.3.1 Anzeige der Schwingungskennwerte....44
4.5.5.3.2 Kurzzeittrend des Spitzenwerts....44
4.5.5.3.3 Hüllkurvenspektrum....45
4.5.5.3.4 Frequenzbänder....46
4.5.5.3.5 Anzeige der Langzeittrends....46
4.5.6. Speicherung....47
4.6. Modul Hüllkurvenanalyse....50

4.6.1. Grundlagen....50
4.6.2. Messung....50
4.6.3. Speicherung....54
4.7. Modul Auswuchten....55
4.7.1. Grundlagen....55
4.7.2. Messung....57
4.7.3. Speicherung....71
4.7.4. Hinweise zum Auswuchten....72
4.8. Modul Terzbandanalyse (VC- und Nano-Kriterien)....73
4.8.1. Grundlagen....73
4.8.2. Sensoren für VC- und Nano-Kriterien....75
4.8.3. Messung....76
4.8.4. Speicherung....78
4.9. Modul Humanschwingung....81
4.9.1. Einführung....81
4.9.2. Hand-Arm-Schwingung....81
4.9.2.1. Grundlagen....81
4.9.2.2. Hand-Arm-Stoßvibration nach ISO 5349-3....83
4.9.2.3. Hand-Arm-Sensoren....84
4.9.3. Ganzkörper-Schwingung....85
4.9.3.1. Grundlagen....85
4.9.3.2. Ganzkörper-Sensoren....88
4.9.4. Messung von Humanschwingung....93
4.9.4.1. Messbildschirm....93
4.9.4.2. Einstellmenü....93
4.9.4.3. Reset vor der Messung....95
4.9.4.4. Messdaueranzeige....95
4.9.4.5. Messwerte....95
4.9.4.6. Zeitverlaufsdiagramm....96
4.9.4.7. Signalformdiagramm....97
4.9.4.8. Anzeige der Expositionszeit....97
4.9.5. Speicherung....98
4.9.6. Prüfung am Einsatzort....99
5. Messwertspeicherung und NFC-Funktion....100
5.1. Ordner und Dateinamen....100
5.2. NFC-Messstellenerkennung....102
5.3. Speichern als Bitmap-Bildschirmfoto....103
5.4. Speichern im CSV-Format....103
5.5. Ansehen gespeicherter Messdaten....104
5.6. Rohdatenaufzeichnung im WAV-Format....105
6. Voreinstellungen....108
7. Sonstige Einstellungen....109
7.1. Anzeigeeinstellungen....109
7.2. Datum und Uhrzeit....110
7.3. Anzeigesprache....110
7.4. Signalton....110
7.5. Tastensperre....110
7.6. Werkseinstellungen....111
7.7. Gerätedaten anzeigen....111

8. Firmware-Update.....112
9. Probleme und deren Ursachen.....115
10. Technische Daten.....117

Anlagen: Garantie
CE-Konformitätserklärung



Vielen Dank, dass Sie sich für ein Schwingungsmessgerät der Firma Metra entschieden haben!

1. Verwendungszweck

Der Schwingungsanalysator VM80 eignet sich für viele Aufgaben der Schwingungsmessung. Dazu gehören:

- Allgemeine Kennwertmessungen im Zeitbereich mit Aufzeichnung von Zeitverläufen
- Frequenzanalyse (FFT)
- Amplituden-/Drehzahlmessung
- Messung von Maschinenschwingungen
- Wälzlagerdiagnose mittels Hüllkurvenanalyse
- Auswuchtung
- Messung extrem geringer Amplituden im Terz-Spektrum nach den „VC“- und „Nano“-Kriterien
- Hand-Arm- und Ganzkörper-Schwingungsmessung mit Gesundheits- und Komfortbewertungen, Messung von Schwingungen auf Schiffen nach ISO 6954. Das Gerät entspricht den Festlegungen für Humanschwingungsmesser nach ISO 8041-1.

2. Eigenschaften

Das Gerät kann auf bis zu vier Kanälen gleichzeitig messen. Es arbeitet mit allen marktüblichen IEPE-Beschleunigungssensoren. TEDS-Sensoren werden erkannt. Zusätzlich kann eine Reflex-Lichtschranke zur Drehzahlmessung angeschlossen werden. Zur Messpunkterkennung kann das Gerät NFC-Tags berührungslos lesen.

Die Bedienung erfolgt ausschließlich über den berührungsempfindlichen Bildschirm und ist dadurch einfach und intuitiv. Zur Messwertspeicherung ist intern eine Speicherkarte vorhanden. Zum Datentransfer dient eine USB-Schnittstelle. Die Speicherung von Messdaten erfolgt im CSV-Format. Dadurch können übliche Tabellenkalkulationsprogramme zur Weiterverarbeitung auf dem PC genutzt werden.

3. Bedienung

3.1. Anschlüsse und Bedienelemente

An der Gehäuseseite finden Sie die Anschlüsse, die Einschalttaste, die Resettaste und eine Funktionstaste.

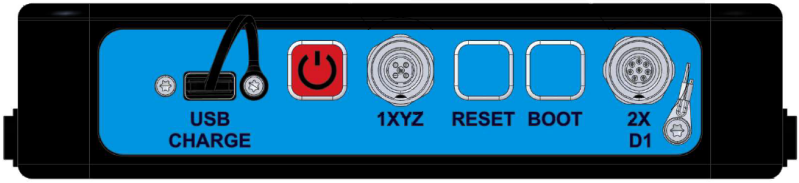


Bild 1: Seitenansicht

Die USB-C-Buchse dient zum Laden und zur Datenübertragung.

Die 4-polige Sensorbuchse eignet sich für den Anschluss eines Triaxialsensors (X/Y/Z). Bild 2 zeigt den Blick von außen auf die Anschlüsse.

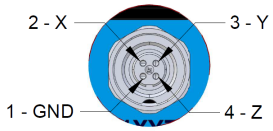


Bild 2: Sensorbuchse

Es handelt sich um Standard-IEPE-Eingänge.

Ein Triaxialsensor benötigt drei Eingänge. Alle Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer von Metra sind mit ihren Standardkabeln anschließbar. Alternativ können drei einachsige Sensoren angeschlossen werden. Dazu ist ein Adapterkabel auf drei BNC-Kupplungen als Zubehör lieferbar.

Die 8-polige Mehrzweckbuchse (Bild 3) hat folgende Funktionen:

- Vierter IEPE-Eingang (2X).
- Tacho-Eingang (D1) zur Drehzahlmessung, 24 V-Versorgung vorhanden. Weitere Angaben finden Sie in Kapitel 10.
- USB-Schnittstelle für Firmware-Updates (FS USB).

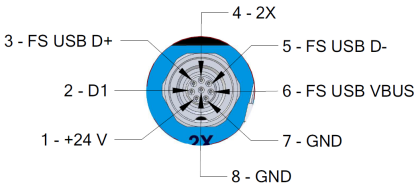


Bild 3: Mehrzweck-Buchse

3.2. Ein-/Ausschalten und Reset

Das VM80 wird durch kurzes Drücken der roten Taste auf dem seitlichen Tastenfeld eingeschaltet (Bild 1). Es startet immer mit den zuletzt gewählten Einstellungen und ist sofort einsatzbereit im Messbetrieb. Sollte die Akku vollständig entladen sein, kann der Anschluss eines Ladegeräts zum Starten erforderlich sein.

Zum Ausschalten berühren Sie das Ein-/Aus-Symbol oben links auf dem Bildschirm.

Bei angeschlossenem Ladegerät oder USB-Verbindung wird das Gerät über eine Bildschirmtaste gestartet.

Sollte das Gerät einmal nicht auf normale Weise starten, führen Sie einen Werks-Reset durch, indem Sie es mit der Taste einschalten und die Taste danach für mindestens 5 s gedrückt halten.

Durch Drücken der **Reset**-Taste kann das Gerät aus jedem Programmpunkt heraus neu gestartet werden. Vorher gemachte Eingaben bleiben erhalten.

3.3. Menüleiste

Alle Funktionsmodule verwenden eine einheitliche Menüleiste am oberen Rand des Bildschirms (Bild 4).



Bild 4: Menüleiste

Die Menüleiste enthält folgende Komponenten:

- Aus-Schaltfläche
- Funktionsmenü: Berühren Sie den Menütext, um ein Dropdown-Menü mit allen Funktionsmodulen zu öffnen. Nicht lizensierte Funktionen sind ausgegraut. Durch Berühren eines Menüpunkts wählen Sie die Funktionsart. Wird keine Auswahl getroffen, schließt sich das Menü nach einigen Sekunden wieder.
- Die Menü-Schaltfläche öffnet eine Menüstruktur mit diversen Einstellungen.
- Die Speicher-Schaltfläche öffnet das Menü zur Datenspeicherung auf Speicherkarte (vgl. Abschnitt 7). Wird keine Speicherkarte erkannt, erscheint das Symbol durchgestrichen.
- Das USB-Symbol dient zum Herstellen einer Datenverbindung zum PC.
- Das Batteriesymbol zeigt den aktuellen Ladezustand des Gerätes. Bei fortgeschrittener Entladung wird der Anzeigebalken gelb und bei kritischem Ladezustand rot. Bei angeschlossenem Ladegerät wird stattdessen das Ladesymbol angezeigt. Nach Abschluss des Ladens erscheint rechts ein Steckersymbol für Batterieunterstützung (vgl. Abschnitt 3.6).
- Die Menüleiste zeigt das Datum und die Uhrzeit an.

3.4. Sensoren

Das Sensormenü (Bild 5) öffnet sich durch Auswahl des Punkts Sensoren (Sensors) im Hauptmenü.

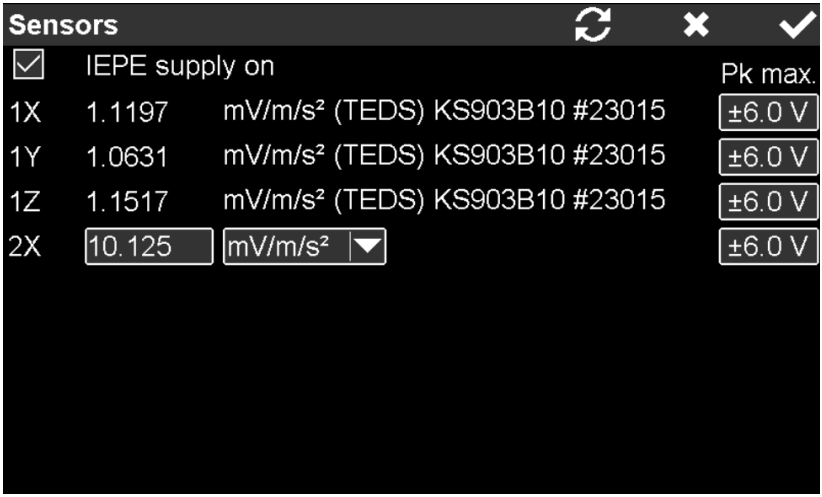


Bild 5: Sensormenü mit TEDS-Triaxialaufnehmer an Eingang 1

Es zeigt die Empfindlichkeiten der verbundenen Sensoren an. 1X, 1Y und 1Z sind die Sensoren an der vierpoligen Buchse. 2X ist der vierte Kanal an der Mehrzweckbuchse. Diese Kanalbezeichnungen werden in allen Messmodulen verwendet.

Bei Eingängen ohne Sensor erscheint „Kein Sensor“.

Das VM80 unterstützt TEDS-Sensoren. TEDS steht für „Transducer Electronic Data Sheet“ und ist nach IEEE 1451.4 standardisiert. Dabei sind im Sensor die wichtigsten Daten digital gespeichert und können vom Messgerät automatisch ausgelesen werden. Messfehler durch Verwechslungen oder falsche Eingaben werden dadurch ausgeschlossen. Unterstützt wird die Standard-Datenanordnung für Beschleunigungsaufnehmer nach „Template 25“. Wird ein TEDS-Aufnehmer erkannt, zeigt das Sensormenü dessen Empfindlichkeit, Typenbezeichnung und Seriennummer an. In Bild 5 ist dies für einen TEDS-Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer gezeigt. Die Empfindlichkeit von TEDS-Sensoren ist im Menü nicht editierbar.

Bei herkömmlichen Sensoren öffnet sich bei Berührung der Empfindlichkeit ein numerisches Eingabefeld zum Eintragen der Empfindlichkeit. Die Maßeinheit kann in mV/Pa für Druckaufnehmer und Messmikrofone bzw. mV/N für Kraftaufnehmer geändert werden. Die Maßeinheiten Pascal oder Newton werden dann in bestimmten Betriebsarten an Stelle der Beschleunigung angezeigt. Einige Betriebsarten, z.B. die Auswuchtung und Humanschwingung, verlangen nach Beschleunigungsaufnehmern.

Mit werden die Sensoren neu eingelesen.

Die Sensorerkennung findet auch bei jedem Einschalten des Gerätes im Hintergrund statt. Nach Wechsel eines TEDS-Sensors muss das Sensormenü somit nicht geöffnet werden. Es dient lediglich zur manuellen Eingabe der Empfindlichkeit und zur Kontrolle.

Für jeden Sensor kann unter „Pk max.“ die maximale Ausgangsamplitude in Volt gemäß Sensor-Datenblatt eingetragen werden. IEPE-Sensoren haben typischerweise

eine Maximal-Aussteuerung zwischen ±4 V und ±8 V. Bei Überschreitung der Maximalamplitude zeigt das VM80 Übersteuerung an. Damit ist gewährleistet, dass der Sensorausgang nicht unbemerkt in die Sättigung gerät.

Das Kästchen oberhalb der Sensordaten dient zum Ausschalten der IEPE-Konstantstromversorgung für alle Kanäle. Dies ist nur in seltenen Fällen erforderlich, wenn das VM80 mit Wechselspannungsquellen statt mit IEPE-Sensoren arbeiten soll. Das Gerät warnt dann bei jedem Einschalten „IEPE-Versorgung aus - Keine IEPE-Sensoren nutzbar!".

3.5. USB-Anschluss

An der Seite des Geräts finden Sie den USB-Anschluss (Bild 1. Es handelt sich um eine USB-C-Buchse. Diese dient zum Laden der Batterie und zur Datenübertragung. Zum Übertragen der auf der Speicherkarte gespeicherten Dateien schließen Sie das VM80 über ein USB-Kabel an einen PC an. Zum Aktivieren der Datenübertragung drücken Sie in der Menüleiste auf das USB-Symbol (Bild 6). Danach öffnet sich ein Fenster entsprechend Bild 7.



Bild 6: USB-Datenübertragung starten



Bild 7: USB-Verbindung

Das VM80 befindet sich nun im USB-Massenspeichermodus. Es benötigt keinen Gerätetreiber und verhält sich wie ein USB-Stick, indem es das Dateisystem der Speicherkarte bereitstellt.

➔ Für empfindliche Messungen sollte das USB-Kabel abgesteckt werden.

3.6. Laden des Akkumulators

Der eingebaute Nickel-Metallhydrid-Akkumulator wird über die USB-C-Buchse aufgeladen (Bild 1). Zum Laden kommt ein USB-Steckernetzgerät zum Einsatz, das mindestens 3 A aus 5 V liefern sollte. Anderenfalls wird nicht der volle Ladestrom bereitgestellt und die Ladezeit verlängert sich.

Wird die USB-Versorgung im ausgeschalteten Zustand des VM80 angeschlossen, öffnet sich der Ladebildschirm. Dieser wird nach kurzer Zeit wieder abgedunkelt. Durch Berühren des Bildschirms können Sie prüfen, ob das Gerät noch geladen wird.

Im Ladebetrieb bei eingeschaltetem Gerät zeigt die Statusleiste rechts oben abwechselnd das Ladesymbol und den tatsächlich in den Akkumulator fließenden Ladestrom an. Der USB-Strom kann je nach verwendetem USB-Anschluss oder Ladegerät zwischen 0,5 A und ca. 2,5 A variieren. Etwa 0,5 A werden davon für die Versorgung des Gerätes abgezweigt. Standard-USB-2.0-Anschlüsse geben nur 0,5 A ab, was u.U. kaum ausreicht, um das Gerät im Messbetrieb zu versorgen, wodurch der Akkumulator trotz angeschlossenem Ladegerät nicht geladen wird.

Ist das Laden beendet, erscheint das Batterie-/Steckersymbol . Bei fortgeschrittener Entladung wird der Anzeigebalken gelb und bei kritischem Ladezustand rot.

➔ Durch Reduzierung der Anzeigehelligkeit (vgl. Abschnitt 7.1) lässt sich die Akkumulator-Betriebsdauer beträchtlich verlängern.

➔ Für empfindliche Messungen sollte das Ladegerät abgesteckt werden.

➔ Nach versehentlicher Tiefentladung, z.B. durch lange Lagerung, kann es erforderlich sein, durch Ab- und Anstecken des USB-Kabels den Ladevorgang mehrmals zu starten, bevor die volle Ladekapazität wieder erreicht wird.

3.7. Speicherkarte und Dateisystem

Die Speicherkarte dient als Messdatenspeicher. Sie befindet sich im Inneren des Gerätes und ist nicht zum Wechsel durch den Anwender vorgesehen. Mitgeliefert wird eine Speicherkarte mit 4 GB, Klasse 10. Das V800 verwendet das FAT-Dateisystem (nicht FAT32). Auf die Dateien können Sie über USB von einem PC aus zugreifen (vgl. Abschnitt 3.5).

Näheres zur Messwertspeicherung finden Sie in Abschnitt 5.

➔ Es wird dringend empfohlen, regelmäßig Sicherungskopien der auf der Speicherkarte gespeicherten Daten anzulegen.

➔ Öffnen Sie von Ihrem PC aus die Dateien nicht direkt vom VM80. Beginnen Sie immer, indem Sie die Datei zunächst in einen Ordner auf dem PC kopieren.

➔ Das Speichern zusätzlicher Dateien oder das Anlegen neuer Ordner auf der Speicherkarte mit Hilfe anderer Geräte wird nicht empfohlen.

4. Messmodule

4.1. Lizenzen

Das VM80 unterstützt eine Reihe von Aufgaben, die in Messmodule gegliedert sind. Bild 8 zeigt die verfügbaren Module.

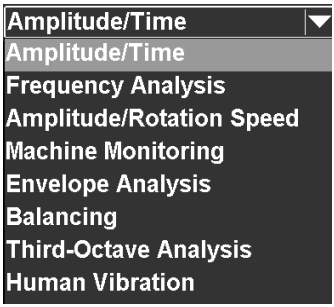


Bild 8: Messmodule

Standardmäßig vorinstalliert sind Amplitude/Zeit (Amplitude/Time) und Frequenzanalyse (Frequency Analysis). Die anderen Funktionen können durch Erwerb von Freischaltcodes (Lizenzen) aktiviert werden. Dies geschieht durch eine Textdatei mit der Bezeichnung VM80_xxxxxx licence.key, die im Hauptverzeichnis der Speicherkarte abgelegt werden muss. Dabei steht x...x für die 6-stellige Seriennummer des Geräts gemäß Typenschild bzw. Gerätedatenmenü (vgl. Abschnitt 7.7). Diese Lizenzdatei erhalten Sie vom Hersteller. Sie wird nur zum einmaligen Einlesen der Lizenzen benötigt. Das Einlesen erfolgt automatisch nach dem Einschalten des Gerätes. Die Lizenzdatei wird danach nicht mehr benötigt, kann aber auf der Speicherkarte verbleiben. Für jede neu hinzugefügte Lizenz wird ein Hinweis angezeigt.

4.2. Modul Amplitude/Zeit

4.2.1. Kennwertmessung

Dieses Modul ist standardmäßig vorinstalliert und eignet sich für Kennwertmessungen im Zeitbereich. Im oberen Teil befindet sich die einheitliche Menüleiste, die in Abschnitt 3.3 beschrieben wird. Links werden bis zu neun Schwingungskennwerte angezeigt. Rechts werden die Kennwerte als Amplitudenverlauf grafisch dargestellt.

Das Modul kann zusätzlich die Drehzahl messen und anzeigen. Voraussetzung dafür ist der Anschluss einer Reflex-Lichtschranke VM100-LS (vgl. Bild 79 auf Seite 57) an den Eingang „RPM“ des VM80. Die Amplitudenskala der Schwingungskennwerte befindet sich links am Diagramm, die Skala für die Drehzahl rechts. Bild 9 zeigt ein Beispiel für 6 Schwingungskennwerte, die im Verlauf einer Drehzahlrampe aufgezeichnet wurden.

Das Schreiben der Amplitudenverlaufskurven beginnt erst nach 15 s nach Start des Moduls, um Einschwingvorgänge zu unterdrücken. Durch Berühren der diesbezüglichen Meldung im Diagramm kann die Wartezeit übersprungen werden.

➔ Für empfindliche Messungen sollte das USB-Kabel abgesteckt werden.

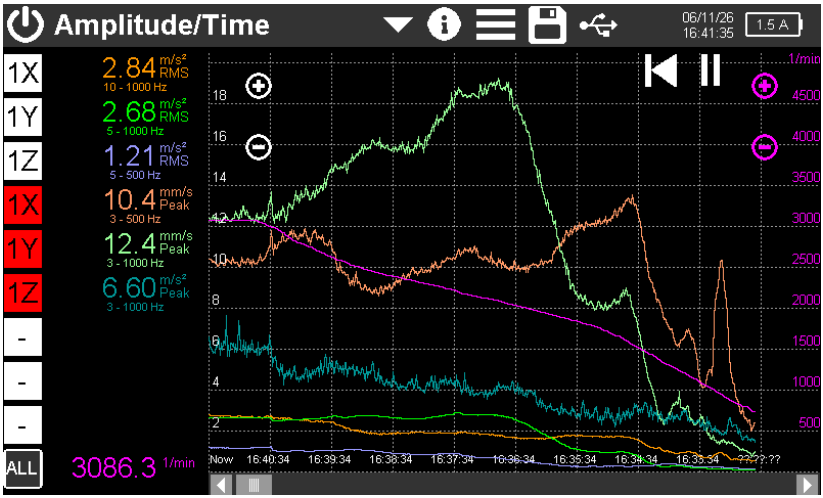


Bild 9: Messwertanzeige im Modul Amplitude/Zeit

4.2.2. Einstellungen

Durch Berühren einer der **Kanalschaltflächen** am linken Rand öffnen Sie das Menü zur Einstellung des Messkanals (Bild 10).

Alternativ können Sie durch Berühren der untersten Schaltfläche „ALL“ alle Kanäle auf einmal mit den gleichen Einstellungen versehen. Einstellungen, die dabei nicht gewählt werden können, bleiben unverändert (Bild 11). In diesem Menü können Sie auch die Drehzahleinheit zwischen 1/min oder Hz wählen.

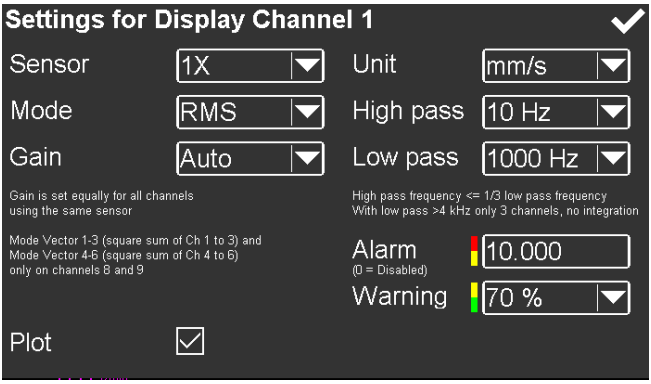


Bild 10: Kanaleinstellungen

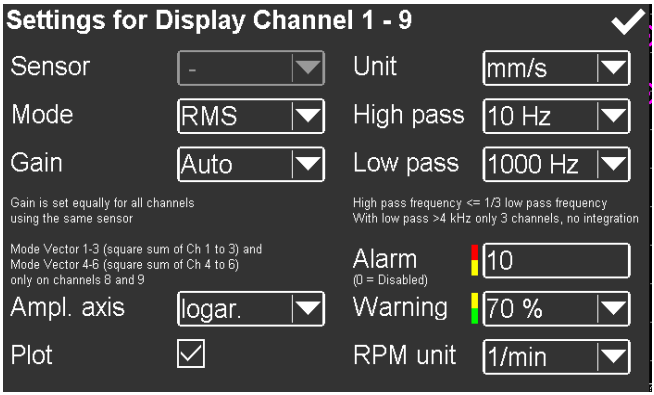


Bild 11: Einstellungen für alle Kanäle gleichzeitig

Die Anzeigekanäle 1 bis 9 können frei mit den Sensoreingängen 1X, 1Y, 1Z und 2X verbunden werden. Die Auswahl im Menü **Sensor** verbindet den Anzeigekanal mit einem einem Sensoreingang. Für einen Sensor können zum Beispiel verschiedene Kennwerte oder Frequenzbänder angezeigt werden.

Unter **Modus** (Mode) wird der anzuzeigende Kennwert gewählt. Folgende Kennwerte sind messbar:

RMS	Effektivwert mit 1 s Mittelungsdauer
RMS(T)	Effektivwert mit unbegrenzter Mittelungsdauer
Peak	Spitzenwert (0 – Peak) mit 1 s Haltezeit
Pk-Pk	Spitze-Spitze-Wert (Peak – Peak) mit 1 s Haltezeit
Pk hold	Maximal-Spitzenwert (0 – Peak) mit unbegrenzter Haltezeit
Crest	Scheitelfaktor (Peak/RMS)
Frequ.	Hauptfrequenz (Frequenz bei der größten FFT-Amplitude), nur bis 4 kHz Bandbreite und auf maximal 3 Anzeigekanälen
Vector 1	Wurzel der Quadratsumme (Schwingungsgesamtwert) der Amplituden von Anzeigekanal 1, 2 und 3; nur auf Anzeigekanal 8 oder 9 wählbar
Vector 2	Wurzel der Quadratsumme (Schwingungsgesamtwert) der Amplituden von Anzeigekanal 4, 5 und 6; nur auf Anzeigekanal 8 oder 9 wählbar

Die „Vector"-Werte werden aus der Quadratsumme der entsprechenden drei Anzeigewerte ermittelt, wobei nicht auf gleichen Modus, Filter etc. geachtet wird.

Im Menü **Einheit** (Unit) kann gewählt werden, ob nicht, einfach oder doppelt integriert wird. Integration ist nur in Verbindung mit Beschleunigungsaufnehmern sinnvoll. Einfache Integration liefert die Schwinggeschwindigkeit (mm/s), doppelte Integration den Schwingweg (µm). Imperiale Einheiten sind ebenfalls einstellbar.

Weiterhin können **Hochpass-**Filter (High pass) zwischen 0,2 und 5000 Hz sowie **Tiefpass-**Filter (Low pass) von 10 bis 24 000 Hz gewählt werden. Dabei gelten folgende Einschränkungen:

- Die höchste einstellbare Hochpassfrequenz liegt bei einem Drittel der Tiefpassfrequenz.
- Der maximale Frequenzbereich für Einfachintegration erstreckt sich von 1 bis 2000 Hz.
- Der maximale Frequenzbereich für Doppelintegration erstreckt sich von 2 bis 300 Hz.
- Mit Tiefpassfiltern über 4000 Hz kann nur dreikanalig mit fester Kanal-/Sensorzuordnung gemessen werden. Frequenzen über 4000 Hz sind nur auf den oberen drei Anzeigekanälen (1X/1Y/1Z) wählbar. Die Hochpässe 2, 3 und 4 Hz sind in diesem Fall nicht verfügbar. Hauptfrequenz und Wurzel der Quadratsumme stehen nicht zur Verfügung.

Die Hoch- und Tiefpässe sind Butterworth-Filter zweiter Ordnung mit einer Dämpfung von 40 dB pro Frequenzdekade. Eine Ausnahme bilden die Tiefpässe 4 kHz und 24 kHz. Bei diesen wird das steilere Digitalfilter der Analog-Digitalwandler wirksam. Die Dämpfung liegt bereits bei der 1.5-fachen Grenzfrequenz über 100 dB. In Bild 12 sehen Sie die Amplitudenfrequenzgänge mit einigen Filtern sowie Integratoren, bezogen auf die Sensor-Messgröße Beschleunigung.

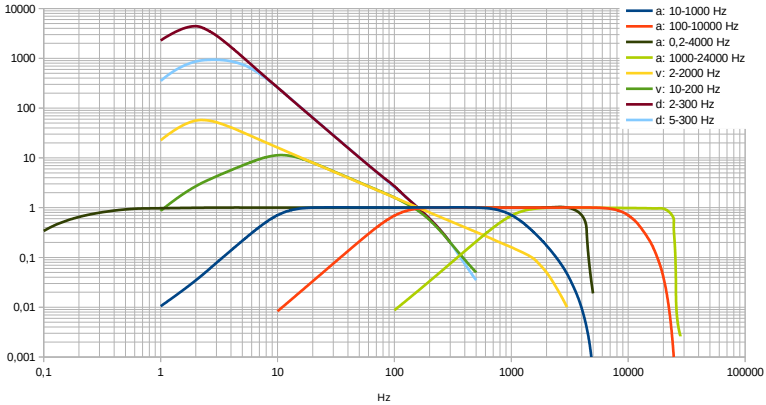


Bild 12: Amplitudenfrequenzgänge (Auswahl)

Im Menü **Verstärkung** (Gain) kann zwischen automatischer Verstärkungseinstellung und den festen Verstärkungen 1, 10 und 100 gewählt werden. In der Regel ist die Einstellung „Auto“ empfehlenswert. Nur bei stark schwankenden Amplituden ist eine feste Verstärkung zweckmäßig, um ein fortwährendes Umschalten zu vermeiden.

Mit **Plotten** (Plot) kann gewählt werden, ob der Kanal im Zeitdiagramm angezeigt wird. Jeder Kanal hat eine Kennfarbe, die für den Messwert und den Zeitgraph verwendet wird. Wird ein Kanal nicht im Zeitdiagramm angezeigt, erscheint sein Messwert in Weiß.
Alle Einstellungen bleiben auch nach dem Ausschalten des Geräts oder dem Wechsel des Messmoduls erhalten.

Die Menüs **Warnung** (Warning) und **Alarm** dienen zur Eingabe von Grenzwerten, bei denen die Kanalanzeige von grün auf gelb bzw. rot wechselt (vgl. Bild 9). Bei Alarm wird ein Amplitudenwert eingetragen. Die Warngrenze wird in Prozent vom Alarmwert angegeben. Ist der Alarmwert Null, findet kein Farbwechsel statt und die Kanalanzeige bleibt weiß.

Im Setup-Menü für alle Kanäle (Bild 11) kann mit **Ampl.-achse** (Ampl. axis) die Werteachse des Zeitdiagramms logarithmisch oder linear eingestellt werden.

In diesem Setup-Menü kann auch die Drehzahlanzeige zwischen Hz und 1/min umgeschaltet oder deaktiviert werden.

Im Zeitdiagramm wird für jeden gemessenen Wert ein Datenpunkt erzeugt. Das Diagramm wird von links beginnend gezeichnet. Am linken Rand befindet sich immer der aktuelle Aufzeichnungszeitpunkt. Nach rechts hin werden die Messdaten älter. Der sichtbare Diagrammbereich umfasst 10 Minuten. Mit dem Scroll-Balken können Sie den gesamten Aufzeichnungsbereich von bis zu 10 Stunden durchsuchen. Nach 10 Stunden werden die ältesten Messdaten aus dem Speicher herausgeschoben.

Mit den Diagramm-Schaltflächen ⊕ und ⊖ lässt sich die Amplitudenachse skalieren. Die Achseneinheiten entsprechen denen der Messwerte.

Die Messwertanzeige kann mit ⏸ und ▶ pausiert bzw. neu gestartet werden. Dabei läuft die Messung im Hintergrund weiter.

Die Schaltfläche ⏮ startet den Plotter neu.

4.2.3. Speicherung

Die Messwertspeicherung erfolgt unabhängig vom Diagramm als CSV-Datentabelle. Dazu öffnen Sie mit [💾] das Speichermenü und wählen CSV-Speicherung (vgl. Abschnitt 5). Der Speicherknopf erscheint darauf in gelb mit dem Text „LOG“. Die Messwerte werden nun im Sekundentakt in eine Datei geschrieben. Der Dateiname und die Messwertanzahl werden am oberen Rand des Diagramms angezeigt. Zum Beenden der Aufzeichnung berühren Sie erneut die Speicher-Schaltfläche.

Nach 24 Stunden wird die CSV-Datei geschlossen und automatisch eine neue begonnen. Diese erhält den gleichen Dateinamen mit der Ergänzung „..._a.csv“, die nächste „..._b.csv“, bis die Aufzeichnung nach 27 Tagen bei „..._z.csv“ beendet wird.

Eine CSV-Datei endet mit der Zeichenkette „<END>“. Wurde der Abbruch der Speicherung durch Entladung der Batterie herbeigeführt, endet die Aufzeichnung mit „<BAT>“. Eine zehnstündige Aufzeichnung hat eine Größe von ca. 5 MB.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Amplitude/Time										
2	Instr.:	VM100A	Ser.:	221236							
3	Comment:										
4	NFC Id:										
5	Sensor 1X:	KS903B100	Ser.:	23029	Sensit.:	1,012	mV/m/s²				
6	Sensor 1Y:	KS903B100	Ser.:	23029	Sensit.:	1,004	mV/m/s²				
7	Sensor 1Z:	KS903B100	Ser.:	23029	Sensit.:	1,054	mV/m/s²				
8	Sensor 2X:	KS903B100	Ser.:	23030	Sensit.:	11,0585	mV/m/s²				
9	Sensor 2Y:	KS903B100	Ser.:	23030	Sensit.:	10,1982	mV/m/s²				
10	Sensor 2Z:	KS903B100	Ser.:	23030	Sensit.:	10,8255	mV/m/s²				
11											
12											
13											
14	Date:	03/01/25	Time:	16:51:23	Temp.:	23	°C				
15											
16											
17	Input:	1X	1Y	1Z	2X	2Y	2Z	3X	3Y	3Z	RPM
18	HP (Hz):	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
19	LP (Hz):	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	
20	Mode:	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RPM
21	Unit:	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	1/min
22	03/01/25 16:51:24	24,828	24,737	25,134	0,185	0,151	0,255	IEPE!	IEPE!	IEPE!	0
23	03/01/25 16:51:25	24,856	24,773	25,157	0,186	0,143	0,253	IEPE!	IEPE!	IEPE!	0
24	03/01/25 16:51:26	24,851	24,757	25,169	0,181	0,134	0,242	IEPE!	IEPE!	IEPE!	0
25	03/01/25 16:51:27	24,86	24,761	25,171	0,181	0,141	0,239	IEPE!	IEPE!	IEPE!	0
26	03/01/25 16:51:28	24,844	24,754	25,159	0,182	0,14	0,237	IEPE!	IEPE!	IEPE!	0
27	03/01/25 16:51:29	24,843	24,771	25,166	0,182	0,135	0,231	IEPE!	IEPE!	IEPE!	0
28	<END>										

Bild 13: Beispiel für eine CSV-Messwertaufzeichnung

Bild 13 zeigt ein Beispiel für eine CSV-Aufzeichnung. Im Kopfteil finden Sie Angaben zum Messgerät und den verwendeten Sensoren. Die Messwerttabelle beginnt mit den Kanaleinstellungen, wie Filter, Kennwerte und Maßeinheiten. Ab Zeile 22 folgen die aufgezeichneten Messwerte von 9 Kanälen und Drehzahl mit Zeitstempel. Für Kanäle ohne Sensor wird statt der Messwerte „IEPE!“ gespeichert.

Alternativ kann das Diagramm als BMP-Bildschirmfoto gespeichert werden.
Näheres zur Messwertspeicherung finden Sie in Abschnitt 5.

Die gespeicherten Dateien finden Sie auf der Speicherkarte im Verzeichnis „AMPTIME“.

4.3. Modul Frequenzanalyse

Dieses Modul ist standardmäßig vorinstalliert. Es führt eine Fouriertransformation (FFT) durch und dient der Darstellung der spektralen Zusammensetzung des Signals der drei Kanäle 1X, 1Y und 1Z. Im oberen Teile befindet sich die einheitliche Menüleiste, die in Abschnitt 3.3 beschrieben wird.

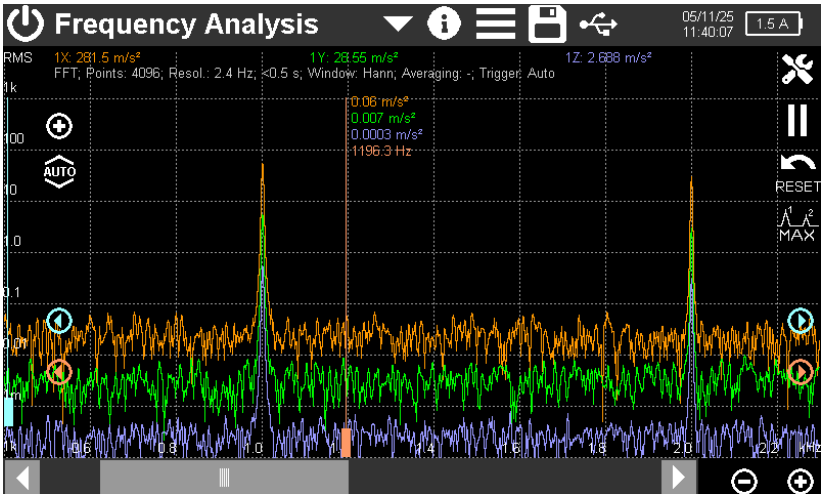


Bild 14: Frequenzanalyse für drei Kanäle

Die Amplituden sind als Spitzenwerte (Peak) skaliert.

Wahlweise kann das Spektrum der Beschleunigung oder der Geschwindigkeit gemessen werden. Außerdem ist die Messung der spektralen Leistungsdichte (PSD) und der Übertragungsfunktion (FRF) möglich.

Der Frequenzbereich des Spektrums für Beschleunigung und Leistungsdichte erstreckt sich bis maximal 22 kHz. Bei der Geschwindigkeit und der Übertragungsfunktion ist die Bandbreite 4,4 kHz.

Zur Darstellung des Spektrums (Bild 14) wird die gesamte Bildschirmbreite von 800 Punkten genutzt. Rechts unten sehen Sie zwei Zoomtasten zum Vergrößern bzw. Verkleinern des sichtbaren Frequenzbereichs. Im gewählten Frequenzbereich kann mit dem Scrollbalken navigiert werden. Eine Ausnahme bildet die niedrigste Zoomstufe, in der der gesamte Frequenzbereich auf einer Breite von 460 Punkten dargestellt wird.

Die Skalierung der Amplitudenachse erfolgt über die Plus-/Minus-Tasten links oben. Mit AUTO wird die Y-Asche automatisch skaliert.

Oberhalb vom Diagramm, bzw. bei 1024 Punkten rechts davon, werden die Spitzen- bzw. Effektivwerte der drei Kanäle angezeigt. Bitte beachten Sie, dass die drei Amplituden über die gesamte Bandbreite im Zeitbereich bestimmt werden und daher nicht zwingend der größten Spektrallinie entsprechen müssen.

Außerdem sehen Sie dort die Punktanzahl, mit der die FFT berechnet wird. Sie kann je nach Zoomstufe zwischen 1024 und 32768 liegen und beträgt etwa das 2,2-fache

der ausgegeben Punktanzahl. Daraus ergibt sich die Frequenzschrittweite je Punkt, welche ebenfalls angezeigt wird. Hinzu kommen Fensterfunktion, Mittelungs- und Triggermodus.

Der orange und der blaue Messcursor werden an ihrem breiteren unteren Ende bewegt. Zusätzlich sind links und rechts orange bzw. blaue Pfeiltasten zum Bewegen des Cursors in Einzelschritten vorhanden. Im oberen Bereich des Cursors werden die drei Amplituden und die Frequenz am gewählten Punkt ausgegeben, beim blauen Cursor zusätzlich die Frequenzdifferenz zum orangen Cursor.

Alle grafischen und Zahlenwertausgaben erfolgen in der Kennfarbe des jeweiligen Messkanals.

➔ Je höher die Punktanzahl, desto länger dauert die Berechnung des Spektrums.

Mit den Tasten ⏸ bzw. ▶ kann die FFT-Berechnung gestoppt bzw. fortgesetzt werden.

Durch Drücken von MAX öffnet sich ein Fenster mit den fünf größten Amplituden und dazugehörigen Frequenzen der drei Kanäle. Dieses Fenster kann verschoben werden.

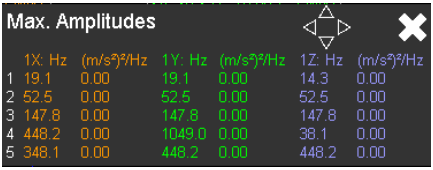


Bild 15: Größte Amplituden

Mit der Schaltfläche RMS öffnet sich ein Fenster zur Effektivwertmessung im Frequenzbereich zwischen Cursor 1 und 2. Diese Funktion ist nur in den Betriebsarten FFT und FFT Geschwindigkeit und nicht bei Wasserfall-Darstellung verfügbar. Das Fenster lässt sich mit ✥ verschieben.

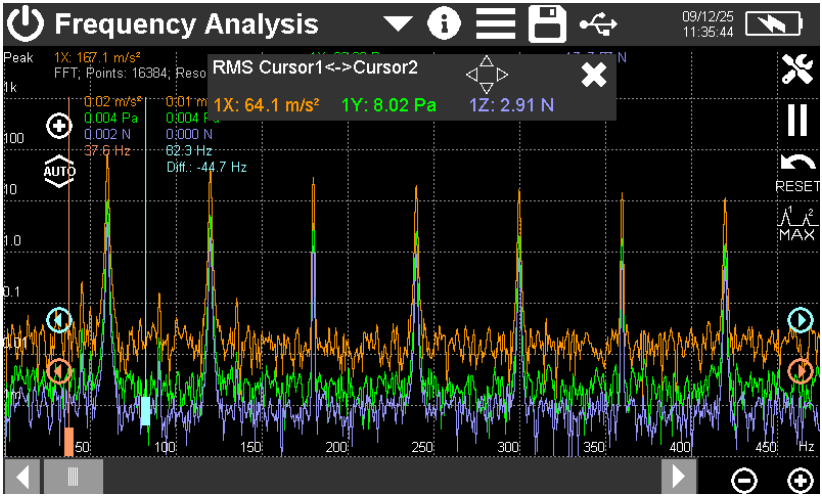


Bild 16: Effektivwertmessung zwischen Cursor 1 und 2

Über die Schaltfläche öffnen Sie das FFT-Menü (Bild 17).

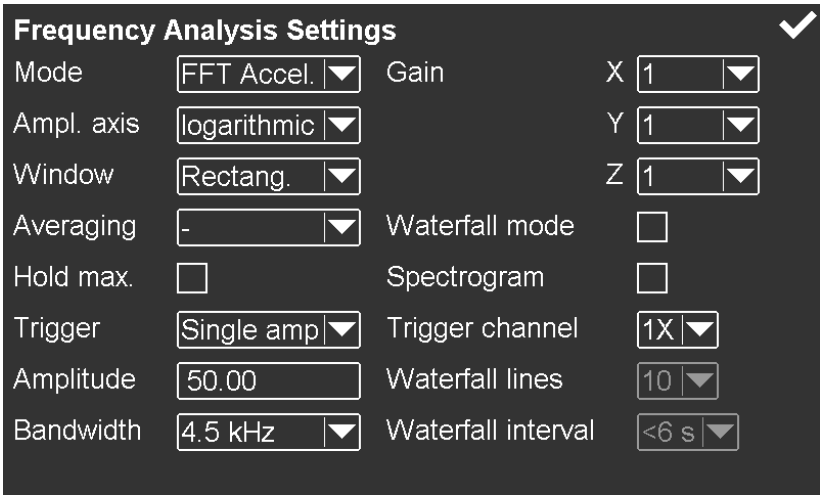


Bild 17: FFT-Menü

Das Menü für den Betriebsmodus (Bild 18) hat 10 Auswahlmöglichkeiten. Neben der FFT von Beschleunigung und Geschwindigkeit sind dies die spektrale Leistungsdichte (PSD), spektrale Energiedichte (ESD) und Übertragungsfunktionen (FRF) für Beschleunigung, Geschwindigkeit und Weg sowie die jeweils inverse Übertragungsfunktionen.



Bild 18: Modus

Bei Beschleunigung, PSD und ESD zeigt das Gerät die Maßeinheiten des verwendeten Sensors an, z.B. m/s², N oder Pa. Bei Geschwindigkeit wird hingegen immer die Maßeinheit mm/s angezeigt, da die Integration nur für Beschleunigung sinnvoll ist.

Die spektrale Leistungsdichte (engl. power spectral density, PSD) charakterisiert die Leistungsverteilung eines Signals über den Frequenzbereich (vgl. Abschnitt 4.3.1).

Die spektrale Energiedichte (engl. energy spectral density, ESD) stellt die Energieverteilung eines Signals über den Frequenzbereich dar (vgl. Abschnitt 4.3.2).

Die Übertragungsfunktion (FRF) wird zum Identifizieren von Resonanzen, Dämpfungen und Schwingungsmoden einer Struktur verwendet (vgl. Abschnitt 4.3.3).

Die Einteilung der Amplitudenachse (Ampl. axis) kann zwischen linear und logarithmisch umgeschaltet werden. Weiterhin kann zwischen der Anzeige als Effektivwert (RMS) oder Spitzenwert (Peak) gewählt werden (Bild 19). Letzteres bezieht sich sowohl auf die Skalierung des Spektrums als auch auf die Cursorwerte und die Maxima oberhalb des Diagramms. Der gewählte Modus

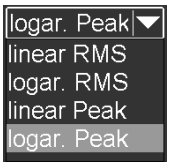


Bild 19: Amplitudenachse

wird links oben angezeigt (Bild 20). Bei PSD und ESD steht nur der Effektivwert zur Verfügung.



Bild 20: Effektiv- und Spitzenwertanzeige

Die Fensterung (Window) bestimmt, mit welcher Gewichtung die gewonnenen Abtastwerte innerhalb eines Ausschnittes (Fenster) in nachfolgende Berechnungen eingehen. Bedingt durch die blockweise Verarbeitung des Signals kommt es in den Randbereichen eines Blocks zu sog. Leck-Effekten, welche die Spektralanteile zu breit erscheinen lassen. Durch die Verwendung einer geeigneten Fensterfunktion lässt sich der Effekt vermindern. Die Fensterfunktion beeinflusst außerdem die Frequenzselektivität und den spektralen Fehler. Die Auswahl der Fensterfunktionen ist ein Kompromiss zwischen Seitenbandunterdrückung und Breite der Spektrallinien (Bild 21).

Das Rechteck-Fenster (Rectangular) ist eigentlich keine Fensterfunktion, denn es lässt das Spektrum unverändert. Es kann vorteilhaft sein, wenn einzelne Impulse analysiert werden.

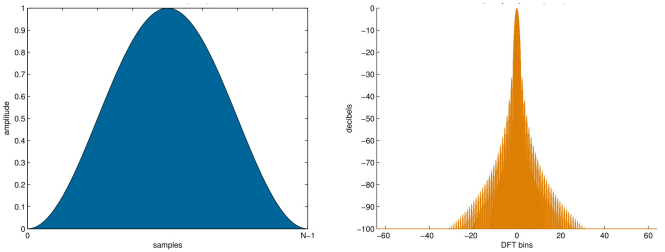
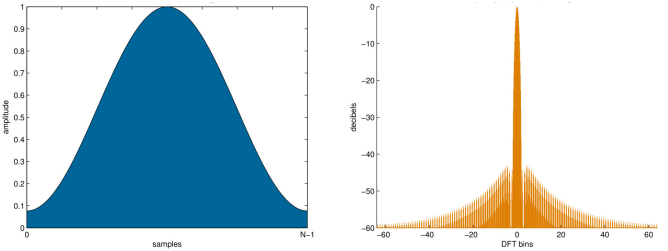
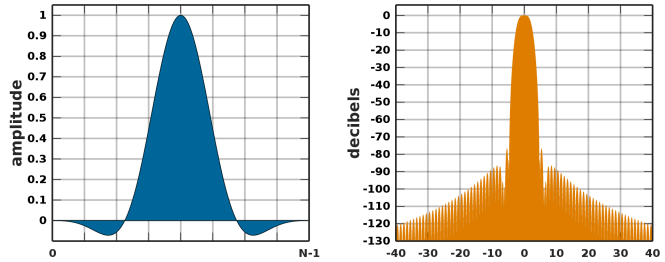
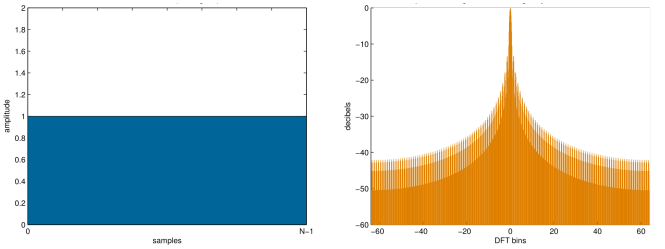
Fensterfunktion und Auswirkung im Frequenzspektrum	
Hann(ing)	 Guter Kompromiss für viele Anwendungen
Hamming	 Gute Trennung eng zusammen liegender Frequenzanteile
Flattop	 Beste Amplitudengenauigkeit
Rechteck (keine Fensterung)	 Hohe Frequenzgenauigkeit

Bild 21: Im VM80 verwendete Fensterfunktionen (Grafiken: Wikimedia)

Eine Mittelung (Averaging) von 2 bis 16 Spektren ist möglich. Damit kann der „Rauschteppich“ zufälliger Signalanteile deutlich verringert werden und die Schärfe

der Darstellung verbessert werden. Nachteilig wirkt sich die Mittelung auf die Reaktionszeit nach Signaländerungen aus.

Mit der Taste RESET wird die Mittelung neu gestartet

Mit Max. halten (Hold max.) werden die vorherigen FFTs nicht gelöscht, sondern übereinander dargestellt (Bild 22). Dadurch können Veränderungen in der spektralen Zusammensetzung des Signals sichtbar gemacht werden. Die früheren Spektren erscheinen dabei in gedämpften Farben.

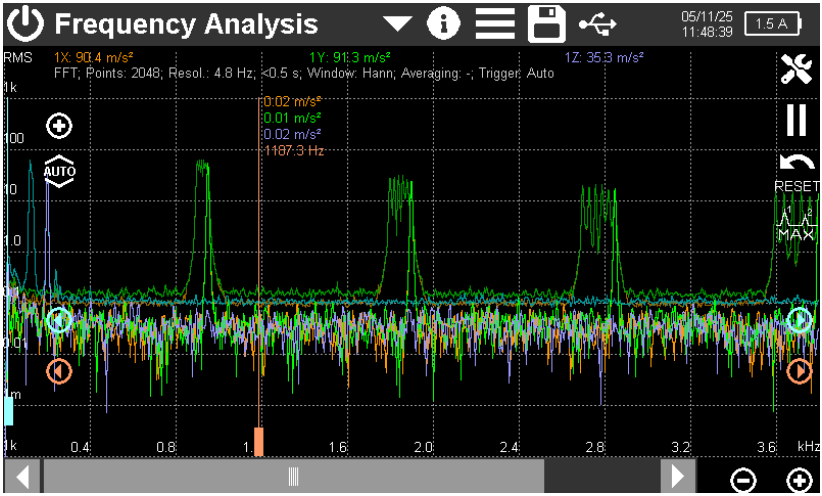


Bild 22: FFT mit Maximalwerthaltung

Im Menü Triggerung (Triggering) kann festgelegt werden, unter welchen Bedingungen eine Frequenzanalyse angezeigt wird.

- Auto: Die Ausgabe erfolgt fortwährend in dem durch die Frequenzauflösung bestimmten Zeitintervall
- D1-Impuls: Die Ausgabe erfolgt, wenn am Drehzahleingang ein Impuls erfasst wurde.
- Amplitude: Die Ausgabe erfolgt fortwährend, sobald die Amplitude eines Samples den festgelegten Grenzwert übersteigt.
- Einzelamlitude: Die Ausgabe erfolgt einmalig, nachdem die Amplitude eines Samples den festgelegten Grenzwert übersteigt. Für eine weitere Messung muss Reset gedrückt werden.

Der triggernde Kanal für Amplituden-/Einzelamplituden-Triggerung wird im Menü „Trigger-Kanal“ gewählt. Im FRF-Modus wird immer auf Impulshammer-Kanal 1X getriggert.

In den Triggermodi Amplitude und Einzelamplitude wird die Analyse so durchgeführt, dass der Triggerzeitpunkt in der Mitte des FFT-Fensters liegt. Die Berechnung des Spektrums beginnt also vor dem Triggermoment. Das hat den Vorteil, dass auch kurze Impulse nicht durch die Fensterung bedämpft werden und gut reproduzierbare Ergebnisse entstehen.

Die Triggeramplitude wird als Zahlenwert unterhalb des Trigger-Menüs eingegeben. Im FRF-Modus ist dies der Kraft-Auslösewert an Kanal 1X beim Anschlagen des Impulshammers.

In den Trigger-Modi D1 und Amplitude bleibt das zuletzt gemessene Spektrum auf dem Bildschirm stehen, bis ein neues Triggerereignis auftritt. Über dem Diagramm wird die Anzahl der Triggerauslösungen angezeigt (Bild 23). Das Fenster mit den größten Amplituden (Bild 15) zeigt die zum Triggerzeitpunkt gemessenen Maxima. Die Zeile mit den Maximalamplituden über dem Diagramm wird auch ohne Triggerung weiter aktualisiert und zeigt die aktuell gemessenen spektralen Maxima. Dies kann hilfreich sein, um eine geeignete Triggeramplitude festzulegen.

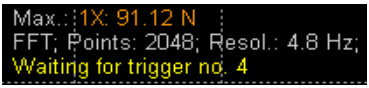


Bild 23: Amplitudentrigger



Bild 24: Einzelamplitudentrigger

Bei Veränderung der Frequenzauflösung wird das gehaltene Spektrum gelöscht.

Mit der Reset-Taste werden die gehaltenen Messdaten gelöscht und der Einzelamplitudentrigger gelöst (Bild 24).

Die Bandbreite (Bandwidth) kann bei Beschleunigung und PSD zwischen 4,4 und 22 kHz umgeschaltet werden. Dabei handelt es sich jeweils um die höchste messbare Frequenz. Eine Bandbreite von 4,4 kHz ist vorzuziehen, wenn höhere Frequenzen nicht von Interesse sind, denn dadurch erhöht sich die Frequenzauflösung. Bei Beibehaltung der Auflösung wird die Messung schneller.

Die **Verstärkung** (Gain) kann zwischen automatischer Verstärkungseinstellung und den festen Verstärkungen von 1, 10 und 100 umgeschaltet werden. In der Regel ist die Einstellung „Auto“ empfehlenswert. Nur bei stark schwankenden Amplituden und Transienten, zum Beispiel beim Messen der Impulsantwort mit FRF, ist eine feste Verstärkung zweckmäßig, um ein fortwährendes Umschalten zu vermeiden.

4.3.1. Spektrale Leistungsdichte (PSD)

Die spektrale Leistungsdichte (engl. power spectral density, PSD) charakterisiert die Leistungsverteilung eines Signals über den Frequenzbereich. Es erfolgt eine Normierung des Spektrums. Die Leistungsdichte der Beschleunigung besitzt die Einheit $(m/s^2)^2/Hz$, resultierend aus der Berechnung der Leistungsdichte als Quadrat des Effektivwertes geteilt durch den Abstand der Frequenzlinien.

Die Leistungsdichte eignet sich besonders, um zufällige Signale zu analysieren, d.h. Signale, welche aus nicht periodischen Komponenten bestehen.

Mit der PSD ist es außerdem möglich, Messungen bei unterschiedlichen Abtastraten zu vergleichen, denn die Normierung auf den Abstand der Frequenzlinien sorgt für eine unabhängige Energieskala.

Das VM80 misst die spektrale Leistungsdichte auf bis zu drei Kanälen.

4.3.2. Spektrale Energiedichte (ESD)

Für Signale mit endlicher Energie, zum Beispiel kurzzeitig auftretende Schwingungen (Transienten) kann die spektrale Energiedichte nützlich sein. Sie wird durch Multiplikation der spektralen Leistungsdichte (PSD) mit der Messdauer je Spektrum ermittelt. Dadurch wird die Amplitude des angezeigten Spektrums unabhängig von der gewählten Frequenzauflösung. Die Maßeinheit am Beispiel der Messgröße Beschleunigung ist folglich $(m/s^2)^2s/Hz$.

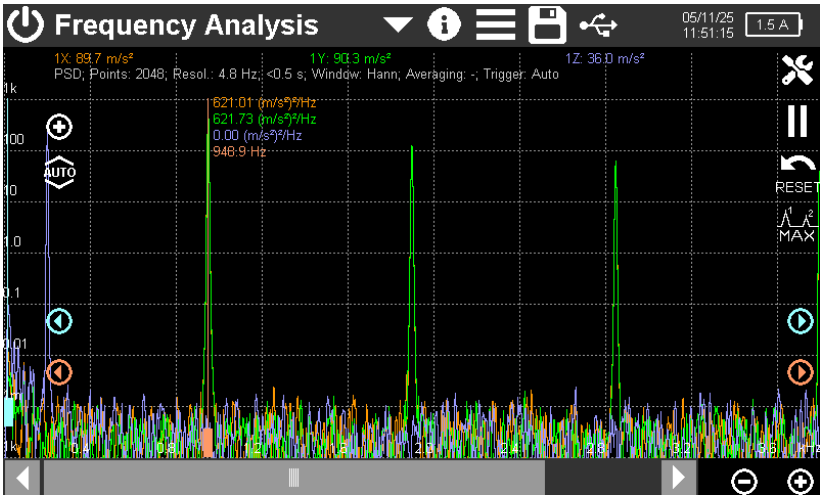


Bild 25: Spektrale Leistungsdichte

Die Ausgabe der spektralen Leistungsdichte in Wasserfall-Darstellung ist für einen Kanal möglich.

4.3.3. Frequenz-Übertragungsfunktion (FRF)

Die Übertragungsfunktion (FRF) wird zum Identifizieren von Resonanzen, Dämpfungen und Schwingungsmoden einer Struktur verwendet Sie stellt die Beziehung zwischen einem eingeleiteten Kraftimpuls (Impulshammer) und der resultierenden Schwingung in der Struktur dar.

Für die einzelnen FRF-Typen sind folgende Bezeichnungen gebräuchlich:

Beschleunigung durch Kraft (a/F):	Akzeleranz, Inertanz
Kraft durch Beschleunigung (F/a):	Dynamische Masse
Geschwindigkeit durch Kraft (v/F):	Mobilität, Admittanz
Kraft durch Geschwindigkeit (F/v):	Mechanische Impedanz, Mitgang
Weg durch Kraft (x/F):	Dynamische Nachgiebigkeit
Kraft durch Weg (F/x):	Dynamische Steifigkeit

Ein Impulshammer mit eingebautem Kraftaufnehmer ist an Eingang 1X anzuschließen.

Bei Auswahl eines der FRF-Modi erscheint im FFT-Menü ein Diagramm zur Darstellung des Anregungsimpulses (Bild 26). Durch versuchsweises Anschlagen der Struktur können Sie damit eine geeignete Triggeramplitude ermitteln, bei der die

Berechnung der Übertragungsfunktion beginnt. Das Diagramm stellt die letzten 16 Impulse dar. Die unter „Triggerung“ eingegebene Amplitude wird im Impulsdiagramm als blauer Punkt dargestellt.

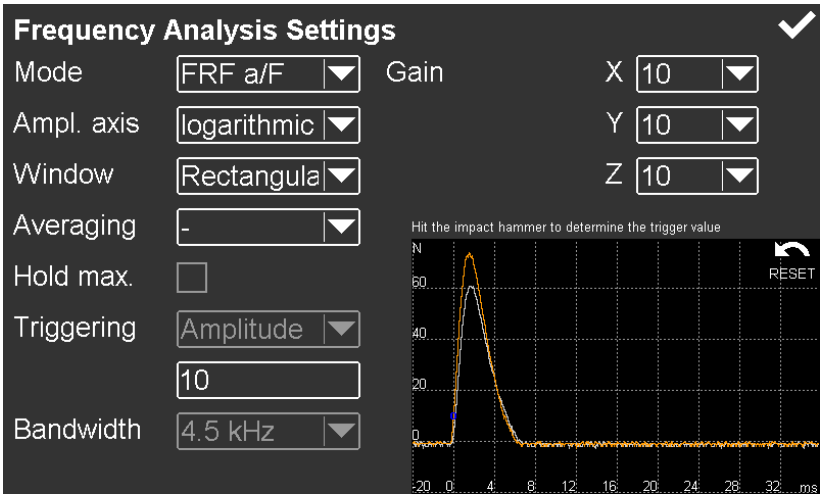


Bild 26: FFT-Menü mit Impulsdiagramm für FRF-Modus

An 1Y und bei Bedarf an 1Z werden die Beschleunigungsaufnehmer angeschlossen, die auf der Struktur befestigt sind. Die Struktur wird angeschlagen. Überschreitet die eingeleitete Kraft die eingegebene Triggeramplitude, beginnt die Berechnung der FFT für alle drei Kanäle. Durch den im Hammer eingebauten Kraftaufnehmer ist die Stärke des eingeleiteten Impulses bekannt. Unter Einbeziehung der Kraft ist auch bei variierender Anschlagstärke das resultierende Übertragungsspektrum der Sensoren 1Y und 1 Z annähernd konstant.

➔ Für die FRF wird das Rechteck-Zeitfenster (Rectangular) verwendet.

Durch Wahl der Hammerspitze kann die Impulsform und damit die Breite des angeregten Spektrums verändert werden. Je härter die Spitze, desto breiter das angeregte Spektrum.

➔ Ein Prellen des Hammers ist unbedingt zu vermeiden.

Aus den Spitzen des Antwortspektrums (bzw. den Einbrüchen bei der inversen Funktion) können Resonanzfrequenzen der untersuchten Struktur abgelesen werden (Bild 27).

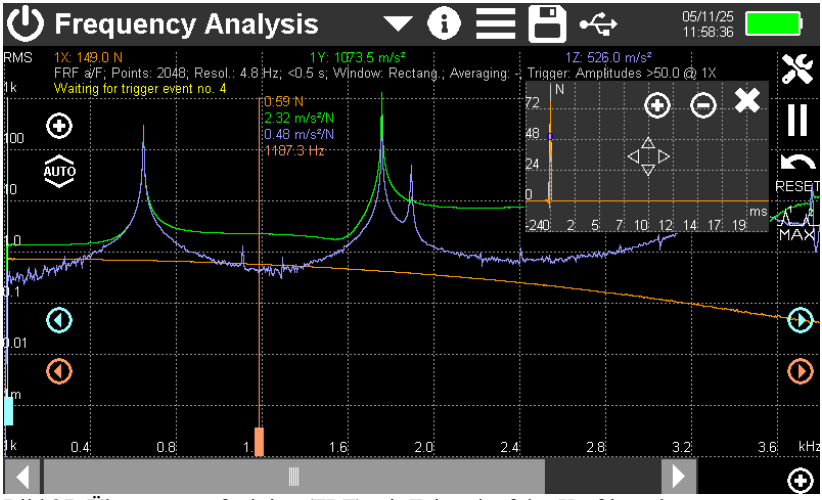


Bild 27: Übertragungsfunktion (FRF) mit Zeitverlauf des Kraftimpulses

Auch in der Übertragungsfunktion wird der Zeitverlauf des Anregungsimpulses eingeblendet. Das Fenster kann bei Bedarf verschoben oder geschlossen werden. Mit  lässt sich das Fenster wieder öffnen.

Auch das Spektrum des Anregungsimpulses (Kanal 1X, orange) wird dargestellt.

Mit  werden die fünf größten Spektralamplituden der Größe nach sortiert ausgegeben (Bild 28).

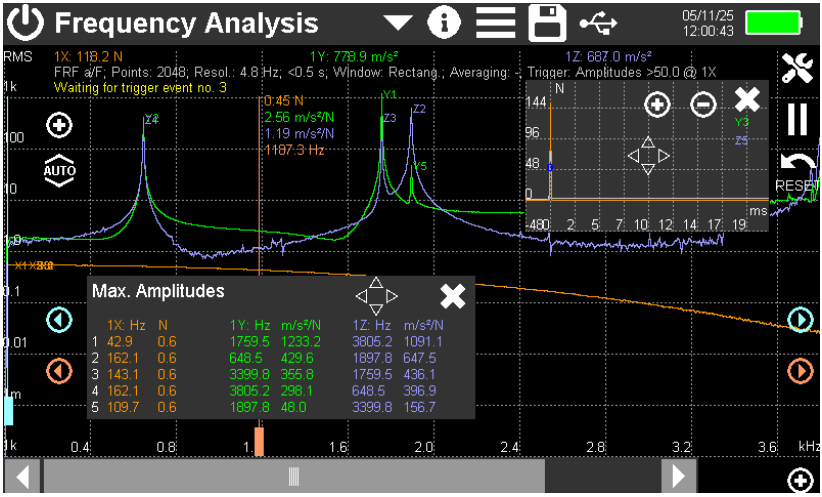


Bild 28: Anzeige der größten Spektralamplituden

Durch Mittelung über mehrere Anschläge kann die Auflösung erhöht werden.

4.3.4. Wasserfall-Modus

Im Wasserfall-Modus (Waterfall mode) erfolgt eine Pseudo-3D-Darstellung der Spektren. Dies können Spektren der Beschleunigung, Geschwindigkeit oder die spektrale Leistungsdichte sein. Im „Hintergrund“ des aktuell gemessenen Spektrums werden dabei bis zu 50 vorangegangene Spektren abgebildet. Das kann zweckmäßig sein, um beispielsweise beim Hochlaufen oder Auslaufen einer Maschine Resonanzstellen sichtbar zu machen (Bild 29).

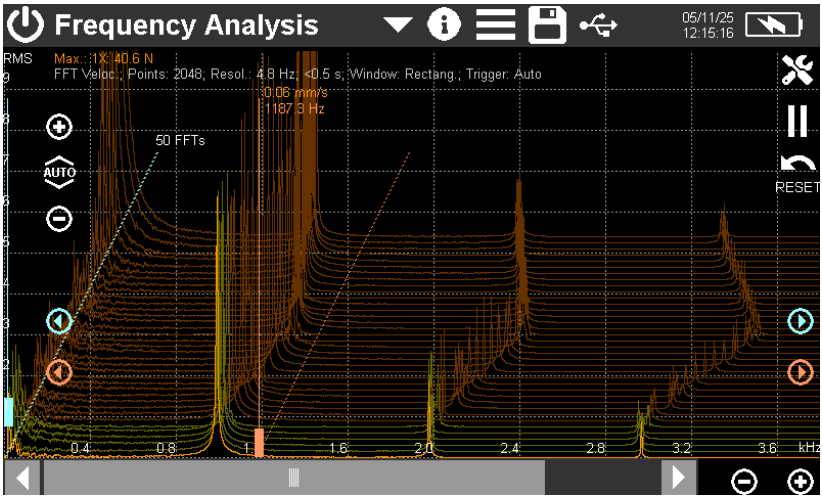


Bild 29: FFT mit Wasserfall-Darstellung

Die Wasserfall-Darstellung ist nur für einen Kanal möglich. Dieser wird im Menü „Anzeige-Kanal“ ausgewählt. Die Zahl der dargestellten Spektren kann zwischen 10 und 50 eingestellt werden. Das Zeitintervall zwischen zwei benachbarten Spektren ist zwischen 5 und 50 s wählbar.

Zur Wasserfall-Darstellung empfiehlt sich die Wahl einer linearen Amplitudenachse, da so übersichtlichere Grafiken entstehen.

Mit der Taste RESET wird die Historie gelöscht und die Aufzeichnung neu gestartet.

Der Cursor vermisst das aktuell gemessene Spektrum.

4.3.5. Spektrogramm-Modus

Im Spektrogramm-Modus wird ebenfalls die Veränderung von Spektren über die Zeit sichtbar. Dies können Spektren der Beschleunigung, Geschwindigkeit oder die spektrale Leistungsdichte sein. Jede Bildpunktzeile enthält ein Spektrum. Bis zu 340 Spektren können abgebildet werden (Bild 30). Die Amplituden werden als Farben dargestellt. Die höchsten Amplituden sind dabei rot, die geringsten schwarz. Im oberen Bildbereich sehen Sie eine Farbskala mit Beschriftung der Amplituden. Übersteuerte Werte erscheinen als rosa Bildpunkte. Mit den Plus-/Minus-Tasten wird der Amplitudenbereich verändert. Die Ausgabegeschwindigkeit hängt von der Auslösung bzw. Punktzahl ab.

Die Spektrogramm-Darstellung ist nur für einen Kanal möglich. Dieser wird im Menü „Anzeige-Kanal“ ausgewählt.

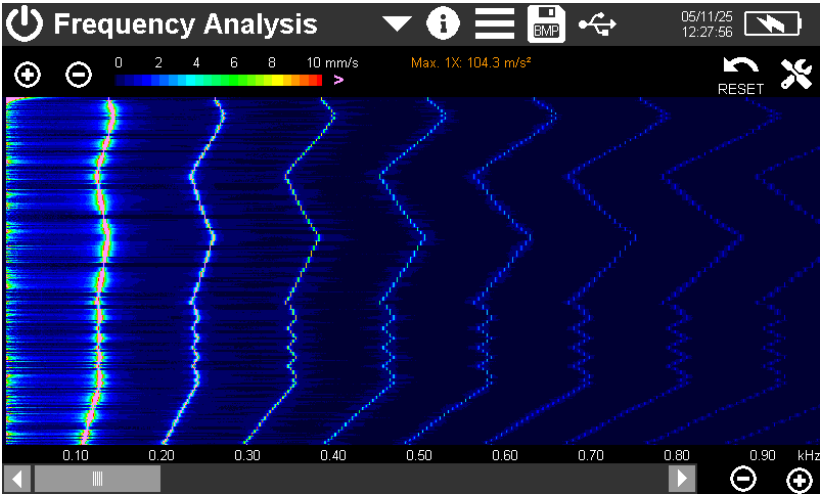


Bild 30: Spektrogrammdarstellung

4.3.6. Speicherung

Zur Speicherung (Taste ) stehen folgende Optionen zur Verfügung: Als CSV-Datei wird das Spektrum in einer Wertetabelle gespeichert (Bild 31). In den Kopfdaten befinden sich Angaben zu Messgerät, Sensor und FFT-Einstellungen. Ab Zeile 22 folgen die Frequenzpunkte und die zugehörigen Amplituden der drei Kanäle. Die Zeilenzahl hängt von der gewählten Punktanzahl ab.

In den Modi FFT und FFT integriert werden auch die Effektivwerte im Frequenzbereich zwischen Cursor 1 und Cursor gespeichert (vgl. Bild 16).

Wasserfall- und Maximalwert-Daten werden nicht als CSV exportiert. Das CSV-Datenformat ist in diesen Modi mit der normalen FFT identisch. Eine CSV-Datei endet mit der Zeichenkette „<END>“.

Um Spektren zu speichern, die in den Anzeigemodi „Wasserfall“, „Spektrogramm“ oder „Maximalwert halten“ gemessen wurden, eignet sich die Speicherung als Bildschirmfoto (BMP).

Die gespeicherten Dateien befinden sich auf der Speicherkarte im Verzeichnis „FFT“. Weitere Hinweise zum Speichern finden Sie in Abschnitt 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	FFT									
2	Instr.:	VM80	Ser.:	123456						
3	Comment:									
4	NFC Id:									
5	Sensor 1X:		Ser.:		Sensit.:	1.0000	mV/m/s²			
6	Sensor 1Y:		Ser.:		Sensit.:	8.0000	mV/Pa			
7	Sensor 1Z:		Ser.:		Sensit.:	22.0000	mV/N			
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14	Date:	09/12/25	Time:	11:31:59						
15	Points:	16384								
16	Window:	Hann								
17	Trigger:	Auto				RMS between cursors				
18	Magnitude:	Peak		Cursor1:	37.6	Hz	X: m/s²	Y: Pa	Z: N	
19	Averaging:	1x		Cursor2:	82.3	Hz	64.096	8.022	2.909	
20										
21	Hz	X: m/s²	Y: Pa	Z: N						
22	0.6	0.000	0.000	0.000						
23	1.2	0.036	0.006	0.002						
24	1.8	0.037	0.006	0.001						
25	2.4	0.036	0.005	0.002						
26	3.0	0.005	0.002	0.002						
27	3.6	0.022	0.004	0.002						
28	4.2	0.048	0.008	0.002						
29	4.8	0.034	0.004	0.002						
30	5.4	0.018	0.004	0.001						
31	6.0	0.006	0.007	0.001						

Bild 31: FFT-Speicherung als CSV-Tabelle (nur erste Frequenzen gezeigt)

4.4. Modul Amplitude/Drehzahl

4.4.1. Grundlagen

Dieses Messmodul stellt den Verlauf von bis zu neun Schwingamplituden und Phasenwinkeln in Abhängigkeit von der Drehzahl grafisch dar. Die Hauptanwendung liegt im Auffinden von Resonanzen bei so genannten Hochlauf-/Auslauf-Versuchen. 32 zeigt die Bildschirmausgabe einer Beispielmessung mit einem Sensor. An der Resonanzstelle bei ca. 2100 min^{-1} ist der erwartete Phasensprung um 180 ° sichtbar.

Voraussetzung für die Messung ist der Anschluss einer Reflex-Lichtschranke VM100-LS (vgl. 79 auf Seite 58), die als Drehzahlsensor dient, an die Mehrzweck-Buchse des VM80. Der Drehzahlimpuls liefert auch den Bezugswinkel für die Phasenmessung.

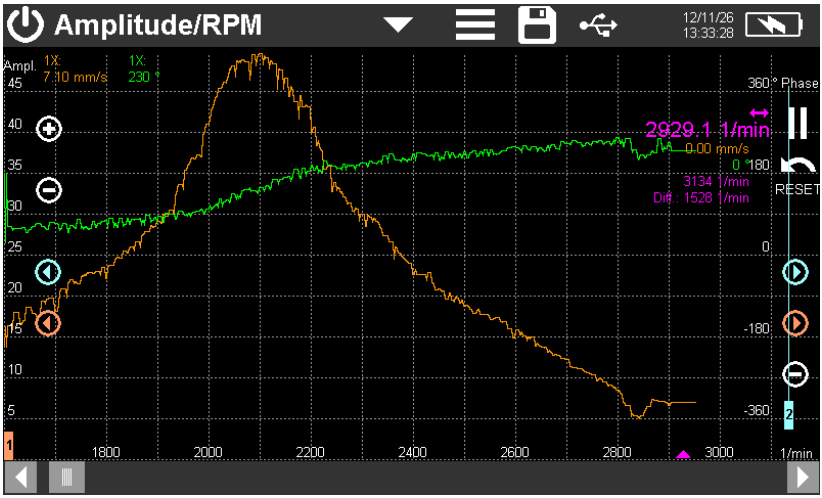


Bild 32: Amplitude und Phase in Abhängigkeit von der Drehzahl

4.4.2. Einstellungen

Über die Taste öffnen Sie das Einstellungsmenü (Bild 33).

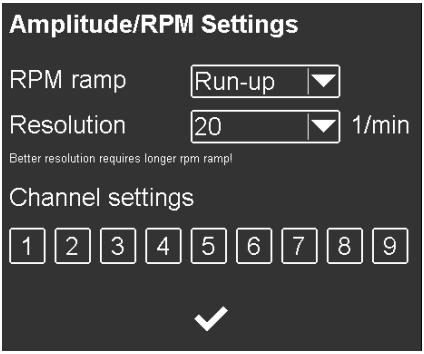


Bild 33: Amplitude/Drehzahl-Menü

Die Einstellung der **Drehzahlrampe** (RPM ramp) bestimmt, in welche Richtung sich die Drehzahl verändern muss, damit die zugehörigen Amplituden aufgezeichnet werden. Zur Auswahl stehen:

- Unbestimmt (Undefined): Sowohl höher werdende als auch abfallende Drehzahlen werden berücksichtigt.
- Hochlauf (Run-up): Nur sich erhöhende Drehzahlen werden berücksichtigt.
- Auslauf (Coast-down): Nur sich verringernde Drehzahlen werden berücksichtigt.

Unter **Auflösung** (Resolution) können Sie bestimmen, wie breit ein Drehzahlschritt im Diagramm sein soll. Je höher der Wert, desto stufiger erscheinen die Amplitudenverläufe. Kleine Werte für die Auflösung liefern kontinuierlichere Verläufe, erfordern aber andererseits eine langsamere Veränderung der Drehzahl, da die Ermittlung der Drehzahl und die dazu gehörigen Messungen eine gewisse Zeit beanspruchen. Gelingt es dem Messgerät nicht, eine Messung in einem Drehzahlintervall zu erfassen, erscheinen dort Lücken im Verlauf.

Die **Kanaleinstellungen** (Channel settings) erfolgen einzeln für bis zu neun Kanäle (Bild 34).

Jeder Kanal kann mit einem der vorhandenen **Sensor**-Eingänge verbunden werden. Dabei ist es auch möglich, einen Sensor mehrfach zu verwenden, um verschiedene Kennwerte zu bilden.

Die **Verstärkung** (Gain) kann fest eingestellt oder automatisch angepasst werden. Sie braucht für jeden Sensor nur einmal eingestellt werden und gilt dann für alle Kanäle, die diesen Sensor verwenden.

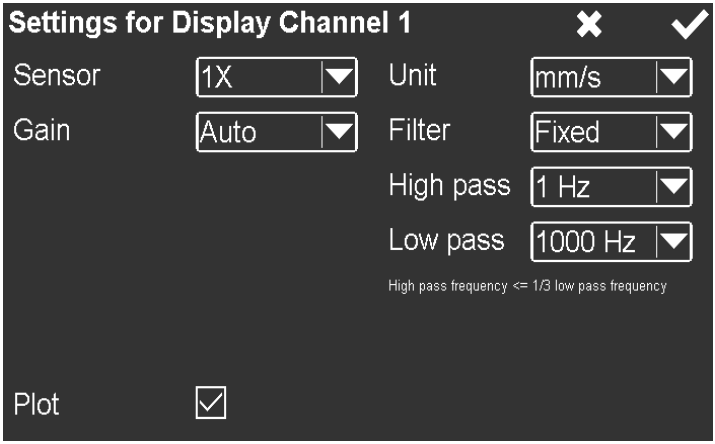


Bild 34: Kanaleinstellungen

Die **Einheit** (Unit) bestimmt die zu messende Schwinggröße. Es kann zwischen Beschleunigung, Geschwindigkeit und Weg gewählt werden. Letztere werden durch einfache bzw. doppelte Integration der Beschleunigung gebildet. Es stehen auch imperiale Maßeinheiten zur Auswahl. Außerdem kann der Phasenwinkel angezeigt werden.

➔ Schwingweg oder Schwinggeschwindigkeit liefern oft klarere Aussagen bei Resonanzen.

Für das **Filter** stehen zwei Optionen zur Auswahl:

Fest (Fixed): Es kann eine Hochpass- und Tiefpassfrequenz eingegeben werden. Das Filter ist unabhängig von der Drehzahl. Der maximale Frequenzbereich ist 0,2 bis 4000 Hz für Beschleunigung, 1 bis 2000 Hz für Geschwindigkeit und 2 bis 300 Hz für Weg. Die höchste einstellbare Hochpassfrequenz liegt bei einem Drittel der Tiefpassfrequenz.

Tracking: Die Messung erfolgt mit einem Schmalbandfilter (Bild 35). Die Bandmittenfrequenz wird auf die gemessene Drehfrequenz eingestellt. Somit werden nur Frequenzen gemessen, die der Drehfrequenz entsprechen. Mit dem **Faktor** (Factor) kann das Bandfilter auf ein beliebiges Vielfaches (Ordnung) der Drehfrequenz eingestellt werden.



Bild 35: Tracking-Filter

Mit **Plot** wird festgelegt, ob der Messkanal als Graph im Diagramm dargestellt, oder nur als Messwert angezeigt wird.

4.4.3. Messung

Im oberen Teil befindet sich die einheitliche Menüleiste, die in Abschnitt 3.3 beschrieben wird.

Am oberen Rand des Drehzahl-Diagramms (vgl. Bild 32) werden die aktuell gemessenen Amplituden der Messkanäle in der Plotfarbe angezeigt. Messwerte von nicht geplotteten Kanälen sind weiß. Kanäle ohne Sensor werden nicht ausgegeben. Auf der rechten Seite wird die Drehzahl angezeigt. Wenn keine Impulse erfasst werden, erscheint dort „Keine Rot." („No rotation"). Der Pfeil darüber kennzeichnet die gewählte Drehzahlrampe.

Am linken Rand befindet sich die Skala für die Amplituden, rechts für den Phasenwinkel.

Mit der Reset-Taste RESET wird der Diagramminhalt gelöscht.

Sobald Umdrehungen erfasst werden, beginnt die Aufzeichnung der Amplitudengrafik. Ein violetter Pfeil auf der Drehzahlachse markiert die aktuelle Drehzahl.

Die Messung wird entweder durch Anhalten der Rotation oder durch die Taste **II** beendet.

Der orange Messcursor wird mit dem breiteren unteren Ende bewegt. Zusätzlich sind links und rechts orange Pfeiltasten zum Bewegen des Cursors in Einzelschritten vorhanden. Im oberen Bereich des Cursors werden die Amplituden und die Drehzahl am gewählten Punkt ausgegeben.

Mit den Schaltflächen ⊕ und ⊖ lässt sich die Amplitudenachse skalieren. Die Phasenachse ist fest auf ±360° eingestellt.

Während der Aufzeichnung des Diagramms sind keine Einstellungen möglich. Dazu muss die Messung mit Taste **II** angehalten oder die Rotation gestoppt werden.

4.4.4. Speicherung

Zur Speicherung mit  stehen folgende Optionen zur Verfügung: Als **CSV-Protokoll** wird das Diagramm in einer Wertetabelle gespeichert (Bild 36). In den Kopfdaten befinden sich Angaben zu Messgerät, Sensor und Einstellungen. Ab Zeile 22 folgen die Drehzahlwerte mit zugehörigen Amplituden bzw. Phasenwinkeln aller aktiven Kanäle. Die CSV-Datei endet mit der Zeichenkette „<END>“.

Alternativ kann das Diagramm als **BMP-Bildschirmfoto** gespeichert werden.

Die gespeicherten Dateien befinden sich auf der Speicherkarte im Verzeichnis „AMP-RPM“.

Weitere Hinweise zum Speichern finden Sie in Abschnitt 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Amplitude/RPM									
2	Instr.:	VM100B	Ser.:	123456						
3	Comment:									
4	NFC Id:									
5	Sensor 1X:	KS97B100	Ser.:	22018	Sensit.:	10,2811	mV/m/s²			
6	Sensor 1Y:	KS97B100	Ser.:	23009	Sensit.:	9,7729	mV/m/s²			
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14	Date:	12/11/26	Time:	16:01:46						
15										
16										
17	Input:	1X	1X	1Y	1Y	-	-	-	-	-
18	LP (Hz):	Tracking	Tracking	1000	Tracking	-	-	-	-	-
19	HP (Hz):	Tracking	Tracking	1	Tracking	-	-	-	-	-
20	Mode:	RMS	Phase	RMS	Phase	-	-	-	-	-
21	RPM	mm/s	°	mm/s	°	°	°	°	°	°
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	2	0,186	100,132	0,32	90,543	0	0	0	0	0
24	4	0,186	100,132	0,32	90,543	0	0	0	0	0
25	6	0,186	100,132	0,32	91,543	0	0	0	0	0
26	8	0,186	100,132	0,32	92,543	0	0	0	0	0
27	10	0,186	100,132	0,32	93,543	0	0	0	0	0
28	12	1,899	120,184	0,47	120,961	0	0	0	0	0
29	14	1,899	120,184	0,47	120,961	0	0	0	0	0
30	16	1,899	120,184	0,47	120,961	0	0	0	0	0
31	18	1,899	120,184	0,47	120,961	0	0	0	0	0
32	20	1,899	120,184	0,47	120,961	0	0	0	0	0

Bild 36: Als CSV gespeicherte Drehzahl-Amplituden-Messdaten (Ausschnitt)

4.5. Modul Maschinenschwingung

4.5.1. Grundlagen

Die von Maschinen erzeugten Schwingungen können Informationen über den Wartungszustand liefern. Schwingungsüberwachung kann nützlich sein, um Maschinenfehler vorherzusagen und damit unerwartete Ausfälle oder größere Folgeschäden zu verhindern. So zeigen sich zum Beispiel Lockerungen, Deformationen oder Unwuchten im Schwingungsverhalten.

Um solche Aussagen zu treffen, ist es nicht unbedingt erforderlich, einen bestimmten Grenzwert einzuhalten. Oft liefert bereits der Verlauf oder Trend der Schwingamplituden über die Zeit ein Aussage über sich anbahnende Probleme. Als „Gut"-Zustand kann ein Basiswert dienen, der im eingelaufenen Neuzustand der Maschine aufgenommen wird. Liegen solche Werte nicht vor, kann auf Entscheidungskriterien aus Normen zurückgegriffen werden, wie sie sich zum Beispiel in der Normenreihe ISO 10816 / ISO 20816 finden.

- ISO 20816-2: Stationäre Gasturbinen, Dampfturbinen und Generatoren über 40 MW mit Gleitlagern und Nenndrehzahlen von 1500 min^{-1}, 1800 min^{-1}, 3000 min^{-1} und 3600 min^{-1}
- ISO 20816-3: Industriemaschinen mit einer Leistung über 15 kW und Betriebsdrehzahlen zwischen 120 min^{-1} und 30000 min^{-1}
- ISO 20816-5: Maschinensätze in Wasserkraft- und Pumpspeicheranlagen
- ISO 20816-6: Hubkolbenmaschinen
- ISO 10816-7: Kreiselpumpen für den industriellen Einsatz
- ISO 20816-8: Hubkolbenkompressoren
- ISO 20816-9: Getriebe
- ISO 14694: Industrieventilatoren

Den oben genannten Normen gemeinsam ist der Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit als Überwachungsgröße. Eine Ausnahme bildet die Messung an Hubkolbenkompressoren, bei der zusätzlich der Schwingweg und die Schwingbeschleunigung erfasst werden.

Die Trendüberwachung kann mit dauerhaft installierter Messtechnik erfolgen, z.B. mit den Schwingungswächtern M12, M14 oder VS11 von Metra. Oft ist aber die Installation von Dauerüberwachungen nicht lohnend, nicht möglich oder aus anderen Gründen unerwünscht. In solchen Fällen kommen so genannte Messrouten zur Anwendung, auf denen in möglichst regelmäßigen Zeitabständen an einer festgelegten Anzahl von Maschinen an den immer gleichen Messpunkten Schwingwerte erfasst werden.

Das VM80 hat zwei Überwachungsmodi, die sich grundlegend unterscheiden:

1. Überwachung der Schwingstärke (Geschwindigkeit) in drei Richtungen (X/Y/Z) zur Beurteilung von Unwuchten und Laufruhe nach den oben genannten Normen
2. Überwachung von Wälzlagern durch einkanalige Messung der Schwingbeschleunigung bis 24 kHz, Effektiv- und Spitzenwerte, spektrale Verteilung, und Hüllkurvenanalyse

4.5.2. Anlegen von Messrouten

Die Messung von Maschinenschwingungen mit dem VM80 erfolgt ein- oder dreiachsig mit dem Beschleunigungsaufnehmer an Eingang 1, Kanal X bzw. X/Y/Z. Metra empfiehlt robuste, elektrisch isolierte Industrietypen, z.B. die einachsigen KS84.100 und KS74C100 oder den dreiachsigen KS813B.

Eine Messroute ist eine Liste zu erfassender Messpunkte, die sich zueinander in räumlicher Nähe befinden. Sie erlaubt eine effektive Erfassung des Zustands vieler Maschinen.

Bild 37 zeigt den Bildschirm nach dem ersten Aufruf des Moduls Maschinenschwingung. Sie sehen die Messroute in Form einer Liste, die zunächst noch leer ist, da keine Messpunkte angelegt wurden. Die Messroute wird unter dem Standard-Dateinamen routes.csv gespeichert. Sie können diese Routendatei zunächst verwenden oder eine neue anlegen.

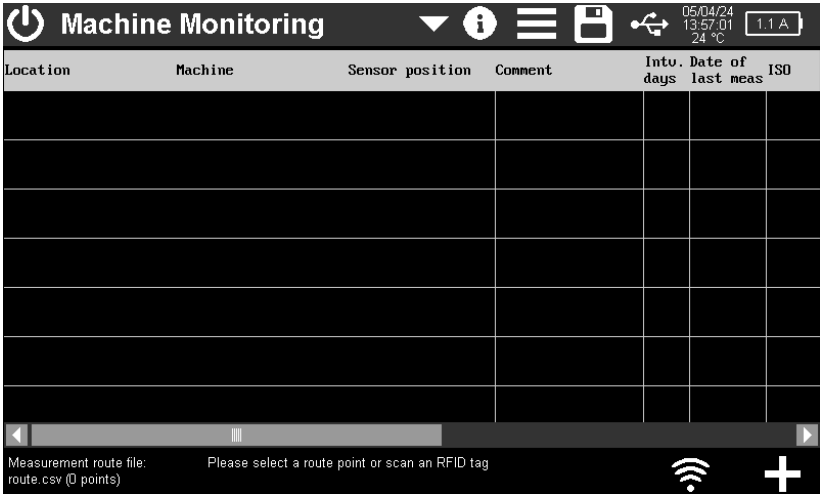


Bild 37: Modul Maschinenschwingung, Messroute noch ohne Messpunkte

Zum Anlegen einer neuen Routendatei berühren Sie die Speicher-Schaltfläche [💾]. Geben Sie den Dateinamen für die neue Routendatei ein (Bild 38). Messrouten werden immer als CSV-Datei im Ordner ROUTES der Speicherkarte gespeichert. Die Dateiendung wird nicht eingegeben.

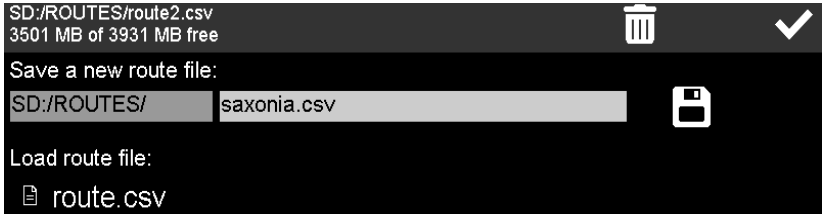


Bild 38: Anlegen einer Messroutendatei

4.5.3. Anlegen von Messpunkten in einer Route

Jeder Messpunkt wird als CSV-Datei im Ordner TREND der Speicherkarte angelegt. Als Dateiname wird die Messpunkt-ID verwendet. Außerdem wird die Messpunkt-ID in der zugehörigen Messroutendatei gespeichert.

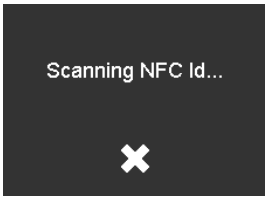


Bild 39: NFC-Erkennung

Das VM80 bietet die Möglichkeit der Messstellenidentifikation mit NFC-Tags. Insbesondere bei umfangreicheren Messrouten bzw. einer großen Anzahl von Messobjekten kann dies sehr hilfreich sein, um den Überblick zu bewahren. Sie müssen dazu lediglich ein NFC-Tag am Messort anbringen. Berühren Sie zum Starten der Erkennung (Bild 39). Dazu halten Sie die Rückseite des VM80 an das NFC-Tag (vgl. Abschnitt 5.2). Wurde das NFC-Tag erkannt, bestätigen Sie das Anlegen eines neuen Messpunkts. Als Messpunkt-ID erhält dieser die NFC-Seriennummer.

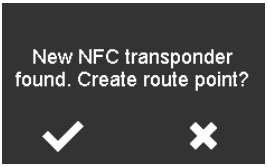


Bild 40: NFC-Tag erkannt

Zum Anlegen eines Messpunkts ohne NFC berühren Sie . Die Messpunkt-ID wird in diesem Fall aus aktuellem Datum und Uhrzeit gebildet.

Es öffnet sich ein Fenster zur Eingabe der Messpunktdaten (Bild 42). Hier geben Sie eine Beschreibung ein und legen Messgröße, Grenzwerte sowie Messintervall fest. Das Messintervall dient zur Kennzeichnung überfälliger Messpunkte (vgl. S. 48).

➔ Wenn Sie vor dem Anlegen eines neuen Messpunkts, auch mit NFC-Tag, einen existierenden Messpunkt mit ähnlichem Beschreibungstext durch Berühren der betreffenden Zeile auswählen, werden dessen Beschreibungsdaten als Vorbelegung in den neuen Messpunkt übernommen. Dies kann ggf. die Eingabe vereinfachen.

Unter Ort, Maschine, Position und Kommentar machen tragen Sie mit der Bildschirmtastatur Angaben zum Messpunkt ein, die idealerweise einer Hierarchie vom Allgemeinen hin zum Detail folgt.

Nun wählen Sie einen Überwachungsmodus (Bild 41). Sie können auswählen, ob Effektivwerte (RMS) oder Spitzenwerte (Peak) gemessen werden, in beiden Fällen dreikanalig für X/Y/Z. In den Menüs darunter stellen Sie Integration und Filterung ein. Für die Messung der Schwingstärke können Sie zum Beispiel die gebräuchliche Einstellung RMS, einfache Integration, Hochpass 10 Hz und Tiefpass 1000 Hz wählen.

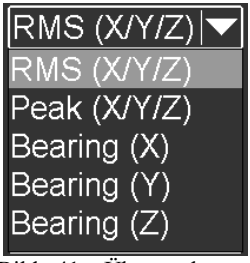


Bild 41: Überwachungsmodus

Alternativ können Sie den Lager-Modus (Bearing) wählen, wenn Sie den Zustand eines Wälzlagers überwachen möchten. Diese Messung erfolgt einkanalig. Die drei Menüeinträge dienen zur Festlegung des verwendeten Sensorausgangs, falls ein dreiachsiger Sensor verwendet wird.

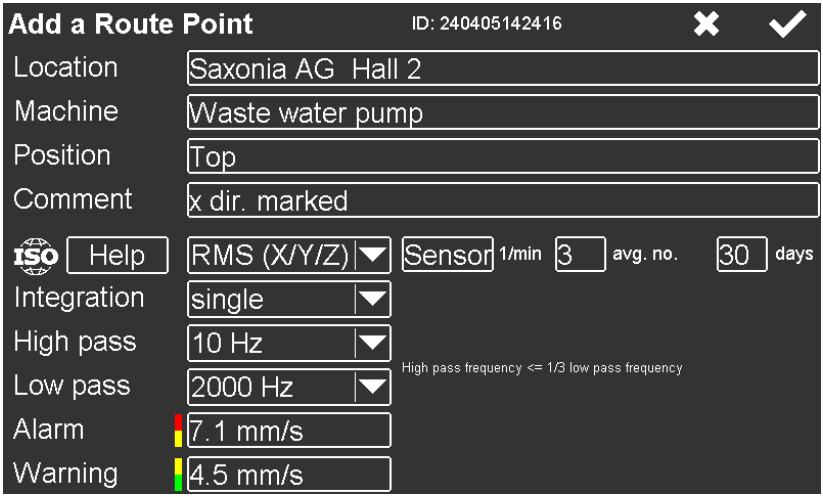


Bild 42: Messpunkt anlegen

Im Lager-Modus wird immer Beschleunigung gemessen. Integration steht daher nicht zur Auswahl. Der Tiefpass wird fest auf die höchste Frequenz von 24 kHz eingestellt, um ein möglichst breites Spektrum von Schadfrequenzen zu erfassen. Der Hochpass kann frei gewählt werden. Er dient dazu, tieffrequente Unwuchtvibrationen anderer Maschinenkomponenten fernzuhalten. In vielen Fällen ist ein Hochpass mit 1 kHz zweckmäßig, da Wälzlager-Schadfrequenzen erst bei höheren Frequenzen in Erscheinung treten.

Schwingungsmessungen an Maschinen werden häufig von mehreren Komponenten beeinflusst und können dadurch Kurzzeitschwankungen aufweisen. Für reproduzierbare Messergebnisse kann die Mittelung über eine vorgegebene Anzahl von Anzeigeperioden sinnvoll sein. Der Eintrag 1 avg. no. bestimmt, wie viele Messungen von je einer Sekunde Dauer gemittelt werden. Die Mittelung wird für die Anzeige und die Speicherung der Messwerte angewendet. Bei Eintragung von 1 erfolgt keine Mittelung.

Eine Schwingungsmessung gewinnt an Aussagekraft und Vergleichbarkeit, wenn die Drehzahl mit erfasst wird. Das VM80 erlaubt den Anschluss einer Reflex-Lichtschranke VM100-LS (vgl. Bild 79 auf Seite 57) an die Mehrzweckbuchse. Erforderlich dafür ist eine Reflexmarke am Rotor. Unter Sensor 1/min wird angegeben, ob die Drehzahl gemessen werden soll. In diesem Fall wird „Sensor“ angezeigt. Falls die Drehzahl bekannt oder konstant ist, kann hier deren Wert in 1/min eingegeben werden und es erfolgt keine Messung. Zurück zur Anzeige von „Sensor“ gelangt man, indem man eine Null eingibt.

Schließlich wird bei 30 days noch das geforderte Messintervall in Tagen angegeben. Es dient zur Erinnerung an eine fällige Messung. Überfällige Messpunkte werden in der Routentabelle rot markiert.

Nun müssen noch Grenzwerte für Voralarm bzw. Warnung und Alarm eingegeben werden.

Nachdem Sie das Messpunktmenü mit ✓ geschlossen haben, erscheint der neu angelegte Messpunkt mit allen Einstellungen in der Messroutentabelle (Bild 43).

➔ Bei jeder Änderung einer Messroutendatei (*.csv) wird die vorherige Datei unter gleichem Namen mit der Endung „bak“ gesichert. Durch Umbenennung der Endung in „csv“ kann die alte Routendatei wieder hergestellt werden.

Die Zeilen der Messroutentabelle erscheinen alphabetisch geordnet nach den Angaben für Ort, Maschine und Sensorposition. Die Sortierrichtung kann durch den Pfeil im Tabellenkopf geändert werden.

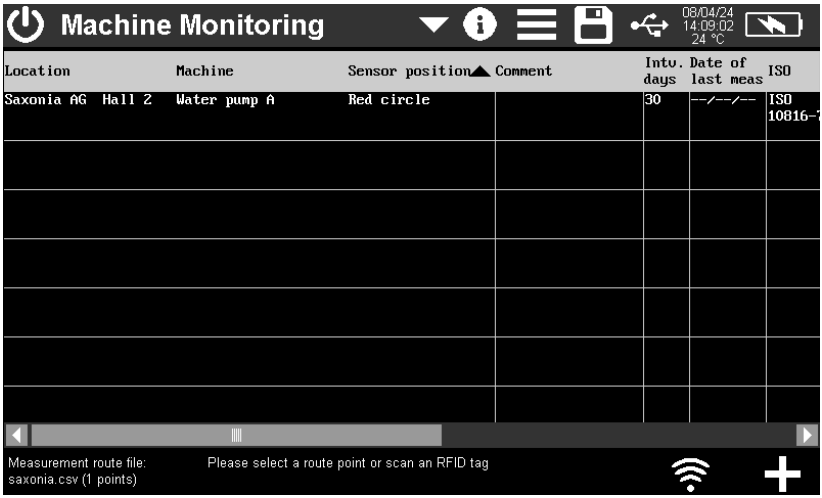


Bild 43: Messroute mit angelegtem Messpunkt

4.5.4. Assistent für ISO-Normen zur Schwingstärkemessung

Liegen keine Erfahrungswerte für die Warn- und Alarmgrenze vor, kann bei Schwingstärkeüberwachung mit ISO Help auf die Grenzwerte aus einschlägigen ISO-Normen zurückgegriffen werden.

Es öffnet sich ein Auswahlmenü mit den gebräuchlichsten ISO-Normen zur Schwingstärkemessung an unterschiedlichen Maschinen und den darin enthaltenen Auswahlkriterien (Bild 44). Nach erfolgter Auswahl werden die zugehörigen Grenzwerte für Warnung und Alarm angezeigt. Durch Beenden mit ✓ werden diese in das Messpunktmenü übernommen. Auch die Messgrößeneinstellungen erfolgen entsprechend der gewählten Norm.

Für die Wälzlagerüberwachung stehen keine Grenzwertempfehlungen aus ISO-Normen zur Verfügung.

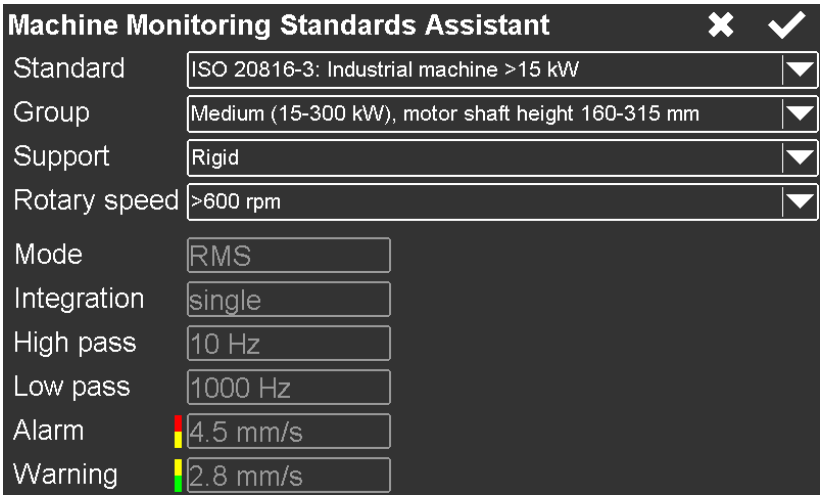


Bild 44: ISO-Normen-Assistent

4.5.5. Messung von Maschinenschwingungen

4.5.5.1. Messbildschirm öffnen

Nachdem ein Messpunkt angelegt wurde, können Messwerte zur Trendüberwachung erfasst werden. Durch Berühren der Zeile mit dem gewünschten Messpunkt in der Routentabelle wird dieser ausgewählt. Die Hintergrundfarbe erscheint danach blau hinterlegt (Bild 45).

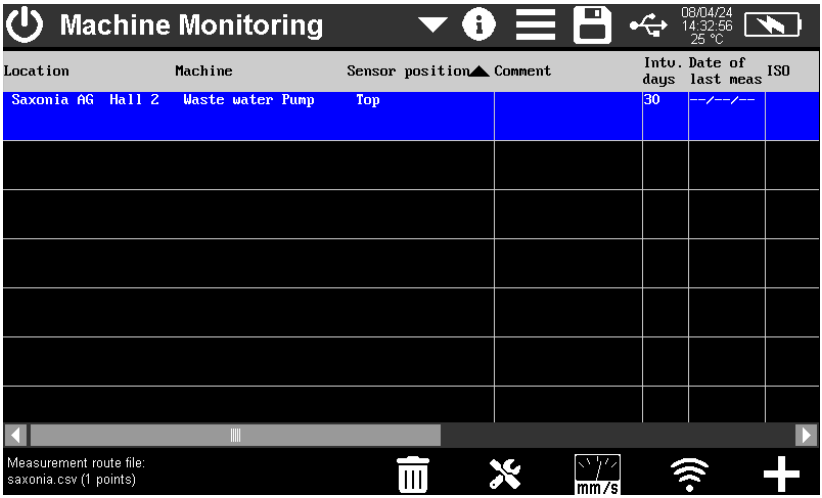


Bild 45: Messroute mit ausgewähltem Messpunkt

Wurde der Messpunkt mit einem NFC-Tag angelegt, können Sie den Messpunkt nach Berühren von und Einlesen der NFC-Seriennummer auch automatisch auswählen lassen.

Über die Schaltfläche können Sie den gewählten Messpunkt nachträglich bearbeiten. Dies betrifft Ort, Maschine, Position, Kommentar, Drehzahl, Mittelung, Messintervall und Grenzwerte. Die Angaben zur Messgröße können aus Gründen der Konsistenz mit bereits gespeicherten Messungen nicht mehr bearbeitet werden.

Mit lässt sich der ausgewählte Messpunkt aus der Messroute löschen.

➔ Die Datei mit den Messwerten wird dadurch nicht von der Speicherkarte gelöscht.

Berühren Sie TREND, um in die Mess- und Trendansicht zu wechseln (Bild 46).

4.5.5.2. Messung der Schwingstärke

Im Folgenden wird zunächst die Anzeige zur Schwingstärkemessung im RMS-/Peak- bzw. ISO-Modus erläutert (Bild 46).

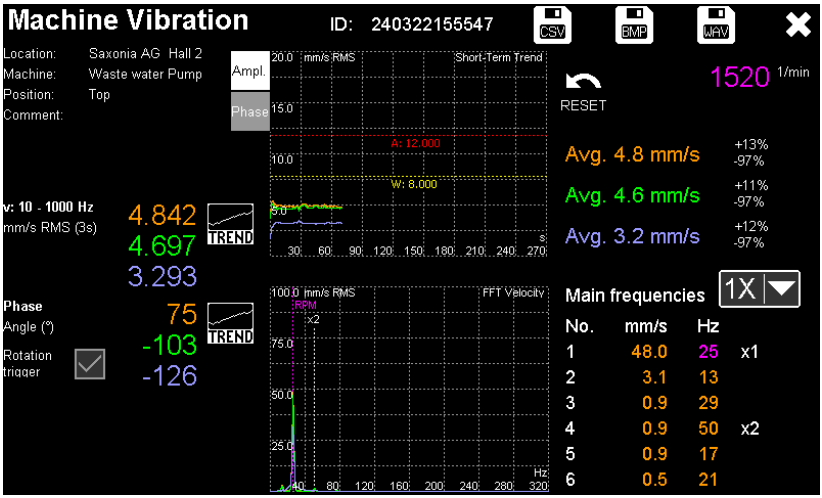


Bild 46: Schwingstärkemessung im RMS-/Peak-/ISO-Modus

4.5.5.2.1 Anzeige von Kennwerten und Phasenwinkeln

Nach einer 15-sekündigen Einschwingzeit sehen Sie im linken Bereich unter den Angaben zur Messstelle die aktuell gemessenen Schwingwerte für X/Y/Z in der Maßeinheit der gewählten Schwinggröße. Dies können Effektiv- oder Spitzenwerte von Beschleunigung, Geschwindigkeit oder Weg sein. Die eingestellten Filter werden ebenfalls angezeigt. Die Messwerte werden gemäß Einstellung gemittelt (Klammerwert in Sekunden). Die Filter- und Messgrößeneinstellungen der drei Richtungswerte X/Y/Z sind immer gleich.

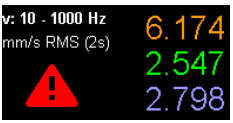


Bild 47: Alarmsymbol

Der Amplitudenwerte werden mit mit den in der Routentabelle hinterlegten Warn- und Alarm-Grenzwerten vergli-

chen. Bei Überschreitung erscheint ein gelbes warn- bzw. rotes Alarmsymbol (Bild 47).

Darunter finden Sie die Phasenwinkel der drei Messwerte. Die Beobachtung der Phasenwinkel über einen längeren Zeitraum liefert feinfühlige Informationen bei Änderung des Maschinenzustands. Relevant sind dabei nicht die absoluten Phasenwinkel, sondern die relativen Phasenunterschiede zwischen den drei Kanälen.

Das VM80 unterstützt zwei Verfahren der Phasenmessung:

1. Phase relativ zu einem Triggerimpuls: Dieses Verfahren ist zu bevorzugen, weil es zuverlässigere Ergebnisse liefert, insbesondere bei Überlagerungen verschiedener Schwingfrequenzen und verrauschten Signalen. Den Triggerimpuls liefern ein Drehzahlsensor VM100-LS (vgl. Bild 79 auf Seite 57) an der Mehrzweckbuchse und eine Reflexmarke am Rotor. Das Häkchen bei Rotation trigger aktiviert den Triggerimpuls. Bei Erkennung eines Drehzahlwerts (rechte obere Bildschirmecke) wird es automatisch gesetzt. Ansonsten wird statt der Phasenwinkel „Rot.?“ angezeigt.
2. Phase relativ zwischen den Kanälen X/Y/Z: Besteht nicht die Möglichkeit, einen Drehzahlsensor einzusetzen, können die Phasenwinkel zwischen den Kanälen durch Kreuzkorrelation ermittelt werden. Kanal X liefert die Bezugsphase und wird auf Null gesetzt. Die Kanäle Y und Z zeigen die Phasenlage relativ zu X an.

Der Wertebereich der Phasenmessung ist -180° bis 180°.

➔ Instabile Phasenwinkel oder ein häufiger Vorzeichenwechsel sind Hinweise auf eine unzuverlässige Erkennung der Hauptfrequenz durch überlagerte Störungen.

➔ Bei Messungen nach ISO 20816-8 mit Beschleunigung, Geschwindigkeit und Weg werden aus Platzgründen keine Phasenwinkel ausgegeben (Bild 48).

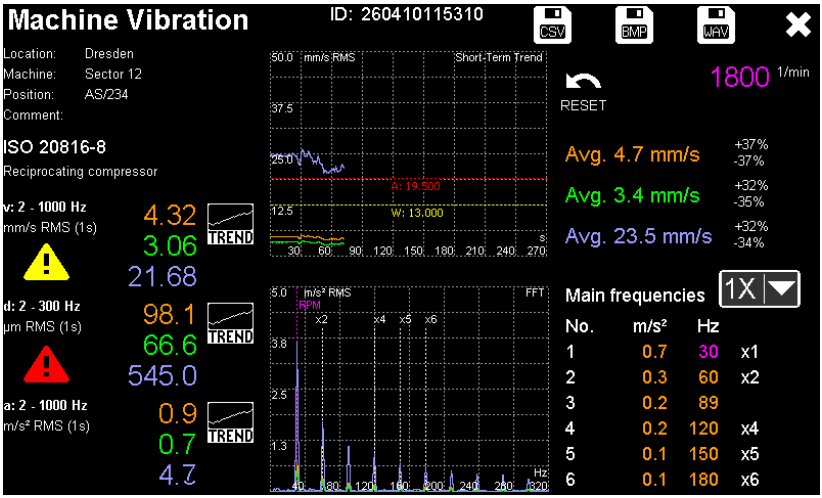


Bild 48: Messwertanzeige für Hubkolbenmaschinen nach ISO 20816-8

4.5.5.2.2 Kurzzeittrend der Kennwerte

In der oberen Bildschirmmitte wird der Kurzzeittrend der drei Schwingwerte der letzten 270 Sekunden grafisch dargestellt. Die Farbzuordnung entspricht der Messwertanzeige. Es handelt sich dabei um die ungemittelten Messwerte. Das Diagramm enthält auch die beiden Grenzwertlinien für Warnung (gelb) und Alarm (rot). Es wird automatisch so skaliert, dass sowohl der Maximalwert als auch die Grenzwerte dargestellt werden.

Rechts neben dem Diagramm werden die drei Mittelwerte und Schwankungsbreiten in Prozent ausgegeben. Die Farbe der Prozentangaben wird gelb ab 50 % und rot ab 100 %.

Der Kurzzeittrend liefert überblicksartig Informationen über Stabilität und Plausibilität der Messwerte. Bei Schwankungen von mehr als 100 % sollte eine sofortige Abklärung auf Messfehler oder akuten Maschinenschaden erfolgen.

Alternativ kann auch auf den Kurzzeittrend der Phasenwinkel umgeschaltet werden (Bild 49).

Die grafische Darstellung der Phase kann auch genutzt werden, um Resonanzstellen bei veränderlicher Drehzahl zu bestimmen.

Mit  wird der Kurzzeittrend gelöscht und die Aufzeichnung neu begonnen.

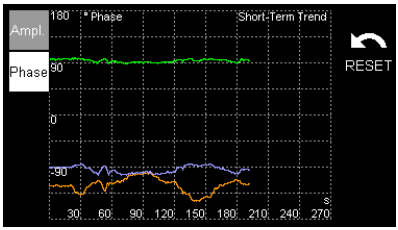


Bild 49: Kurzzeittrend der Phase

4.5.5.2.3 Frequenzspektrum (FFT)

In der unteren Bildmitte finden Sie die spektrale Darstellung der gemessenen Beschleunigung im Bereich von 3 bis 300 Hz (Bild 50). Dies kann helfen, um die Schwingungen bestimmten Komponenten der Maschine zuzuordnen. Die vom Sensor gemessene bzw. fest eingegebene Drehfrequenz wird als Spektrallinie mit der Beschriftung „RPM“ angezeigt. Die Farbzuordnung der Schwingfrequenzspektren entspricht der Messwertanzeige. Rechts neben dem Spektrum finden Sie eine Liste der sechs größten Amplituden für den gewählten Messkanal. Die Drehfrequenz wird in der Farbe der Drehzahl dargestellt und mit der Markierung „x1“ für die Grundschwingung versehen. Eventuell auftretende Harmonische, also ganzzahlige Vielfache der Drehfrequenz, werden ebenfalls markiert. Harmonische treten z.B. durch Ausrichtfehler gekoppelter Rotoren, Zahneingriffsfrequenzen in Getrieben oder Schaufelpassierfrequenzen bei Gebläsen auf. Auch lose Auflagepunkte von Maschinen (Kippfuß) können über Harmonische erkannt werden.

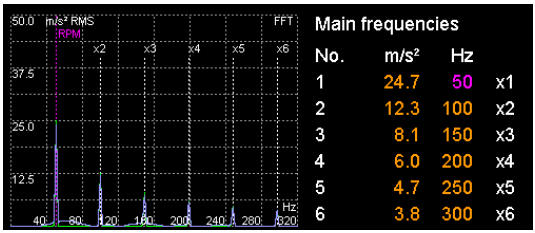


Bild 50: Frequenzspektrum und Hauptfrequenzen

4.5.5.2.4 Anzeige der Langzeittrends von Schwingstärke und Phase

Durch Drücken von TREND in der Messwertanzeige öffnet sich das Trenddiagramm der Schwingstärke bzw. des Phasenwinkels. Es veranschaulicht die Entwicklung der Messwerte und damit des Maschinenzustands über die gesamte Dauer der Überwachung. Das können Wochen, Monate oder auch Jahre sein. Die Daten werden aus der Datei TREND_*.csv aus dem Ordner TREND entnommen. Die Bilder 51 und 52 zeigen ein Beispiel.

Im Diagramm der Schwingstärke werden auch die Warn- und Alarmgrenze eingeblendet.



Bild 51: Langzeittrend der Schwingstärke



Bild 52: Langzeittrend der Phase

4.5.5.3. Messung von Wälzlagerschwingungen

Neben der Schwingstärke können auch die Schwingungen an Wälzlagern gemessen werden. Das VM80 bietet hierzu eine Reihe von Analysefunktionen, mit denen ohne tiefgehende Kenntnis der Wälzlagerdiagnose eine Aussage zum Zustand des Lagers gemacht werden kann. Anders als bei der Schwingstärke werden hier einkanalig hohe Frequenzen im Kilohertzbereich betrachtet, wo sich die Schadensbilder hauptsächlich äußern. Es wird immer die Beschleunigung gemessen. Wie in Bild 41 auf Seite 35 gezeigt, wird der verwendete Sensorkanal (X/Y/Z) beim Anlegen der Messstelle festgelegt. Bild 53 zeigt den Aufbau des Messbildschirms.

Alle Messwerte und Grafiken werden in der Farbe des festgelegten Kanals dargestellt.

➔ Für eine zuverlässige Übertragung hoher Schwingfrequenzen muss der Sensor möglichst nah am Wälzlager befestigt werden. Der Befestigungspunkt muss eben und glatt sein.

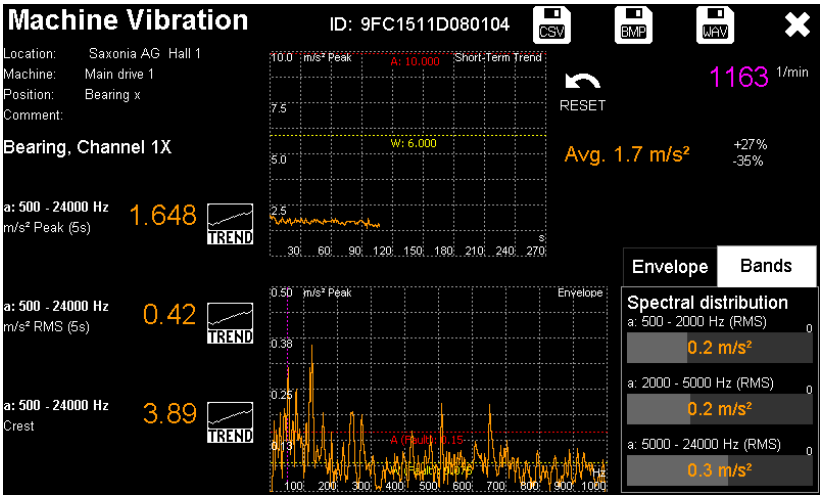


Bild 53: Messung im Wälzlagermodus

4.5.5.3.1 Anzeige der Schwingungskennwerte

Im linken Bildschirmteil, unterhalb der Messstellenangaben, werden die drei für Wälzlager relevanten Breitbandkennwerte Spitzenwert, Effektivwert und Scheitelfaktor der Beschleunigung angezeigt. Sie werden jeweils ab der eingegebenen Hochpassfrequenz bis 24 kHz bestimmt (vgl. Kap. 4.5.3). Es wird die beim Anlegen des Messpunkts eingestellte Mittelung angewendet (Klammerwert in Sekunden).

Der Scheitelfaktor, auch Crest-Faktor genannt, ist der Quotient aus Spitzen- und Effektivwert und demzufolge einheitenlos. Er ist ein Maß für „Spitzenhaltigkeit“ eines Signals. Für eine reine Sinusschwingung beträgt der Scheitelfaktor √2. Sind steilflankige Impulse vorhanden, wie sie beim Überrollen schadhafter Stellen im Wälzlager entstehen, steigt der Scheitelfaktor deutlich an und kann Werte über 10 erreichen.

Der Spitzenwert wird mit mit den in der Routentabelle hinterlegten Warn- und Alarm-Grenzwerten verglichen. Bei Überschreitung erscheint ein gelbes warn- bzw. rotes Alarmsymbol (Bild 54).

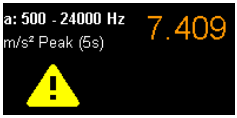


Bild 54: Warnsymbol

4.5.5.3.2 Kurzzeittrend des Spitzenwerts

In der oberen Bildschirmmitte wird der Kurzzeittrend des Spitzenwerts der letzten 270 Sekunden grafisch dargestellt. Es handelt sich dabei um die ungemittelten Messwerte. Das Diagramm enthält auch die beiden in der Routentabelle angegebenen Grenzwertlinien für Warnung (gelb) und Alarm (rot). Die Amplitudenachse wird automatisch so skaliert, dass sowohl der Maximalwert als auch die Grenzwerte dargestellt werden.

Rechts neben dem Diagramm werden der Mittelwert und die Schwankungsbreite in Prozent ausgegeben.

Mit RESET wird der Kurzzeittrend gelöscht und die Aufzeichnung neu begonnen.

Der Kurzzeittrend liefert überblicksartig Informationen über Stabilität und Plausibilität der Messwerte.

4.5.5.3.3 Hüllkurvenspektrum

Die Hüllkurvenanalyse ist ein sehr leistungsstarkes Werkzeug in der Wälzlagerdiagnose. In der unteren Bildschirmmitte sehen Sie das Spektrum der Hüllkurve. Die Hüllkurve wird gebildet, indem man das Signal gleichrichtet und tiefpassfiltert. Das Ergebnis durchläuft eine Frequenzanalyse (FFT), deren Ergebnis Sie im Diagramm sehen. Anders als die Frequenzanalyse des direkten Schwingsignals lässt die Hüllkurvenanalyse periodische Signalanteile, wie sie bei geschädigten Wälzlagern entstehen, besonders deutlich hervortreten.

Die Amplitudenachse ist als Spitzenwert der Beschleunigung skaliert. Im Diagramm werden Warn- und Alarmgrenzen als gelbe und rote Linien dargestellt. Dabei handelt es sich um folgende Erfahrungswerte („Einser-Regel“ nach D. Franke):

- <0,075 m/s²: Keine Fehler
- 0,075 m/s²: Warngrenze für Fehler
- 0,15 m/s²: Alarmgrenze für Fehler
- 0,75 m/s²: Warngrenze für Schäden
- 1,5 m/s²: Alarmgrenze für Schäden

Fehler sind in diesem Zusammenhang verschleißbedingte Veränderungen, mit denen ein Weiterbetrieb möglich ist. Schäden sind hingegen gravierende Veränderungen, die eine Reparatur erforderlich machen.

Je nach vorliegender Maximalamplitude werden entweder die Grenzen für Fehler (Fault) oder für Schäden (Damage) angezeigt.

Die Abbildungen 55 und 56 zeigen den Unterschied zwischen einem leicht verschlissenen und einem schadhaften Kugellager (Amplitudenskalierung beachten).

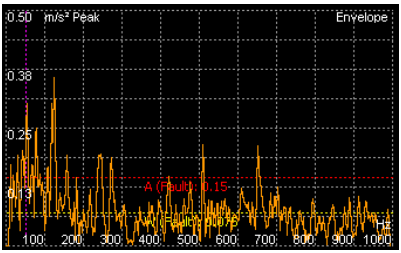


Bild 56: Hüllkurvenspektrum eines leicht verschlissenen Kugellagers ohne Schäden

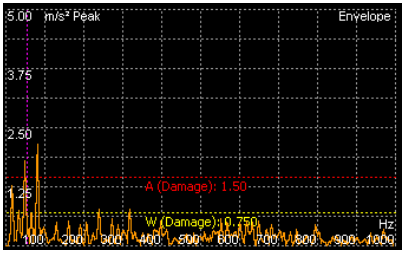


Bild 55: Hüllkurvenspektrum eines baugleichen Lagers mit Innenringschaden

Rechts neben dem Hüllkurvenspektrum werden die sechs größten Spektralamplituden und die zugehörigen Frequenzen angezeigt (Bild 57).

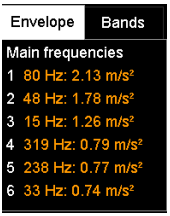


Bild 57: Amplitudenliste

Bei der hier eingesetzten Hüllkurvenanalyse handelt es sich um ein vereinfachtes Werkzeug für Routenmessungen. Sie ist nicht dafür gedacht, Schäden im Detail zu diagnostizieren. Hierzu eignen sich spezielle Analysatoren, wie das Hüllkurven-Modul des VM80 (Abschnitt 4.6).

4.5.5.3.4 Frequenzbänder

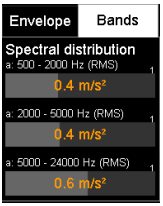


Bild 58: Frequenzbänder

Dieser Anzeigebereich gibt einen Überblick, ob die dominanten Schwingfrequenzen im unteren, mittleren oder oberen Frequenzbereich vorliegen. Bei fortschreitendem Schadensverlauf lässt sich aus dem Trend dieser Messwerte eine Aussage ableiten. Je stärker die Schädigung, desto mehr verlagern sich die Schadfrequenzen in Richtung tieferer Frequenzen.

4.5.5.3.5 Anzeige der Langzeittrends

Durch Drücken von TREND in der Messwertanzeige öffnet sich das Trenddiagramm von Spitzenwert, Effektivwert oder Scheitelfaktor. Es veranschaulicht die Entwicklung der Messwerte und damit des Lagerzustands über die gesamte Dauer der Überwachung. Das können Wochen, Monate oder auch Jahre sein. Die Daten werden aus der Datei TREND_*.csv aus dem Ordner TREND entnommen. Bild 59 zeigt ein Beispiel.

Im Diagramm des Spitzenwerts werden auch die Warn- und Alarmgrenzen eingeblendet.



Bild 59: Spitzenwert-Langzeittrend

4.5.6. Speicherung

Im Messbildschirm finden Sie drei Möglichkeiten der Speicherung (Bild 60).



Bild 60: Speicherfunktionen

- CSV: Alle angezeigten Messwerte werden mit Zeitstempel in einer Tabelle des entsprechenden Messpunkts im CSV-Format auf Speicherkarte im Verzeichnis TREND gespeichert, um eine Trendansicht zu ermöglichen. Die CSV-Dateien können Sie auch in ein Tabellenkalkulationsprogramm einlesen. Bild 66 zeigt ein Beispiel.
- BMP: Ein Abbild (Screenshot) des Messbildschirms, jedoch mit ausgeblendeten Bedienelementen, wird als Bitmap-Grafik (Dateiendung bmp) auf Speicherkarte im Verzeichnis TREND gespeichert. Der Dateiname wird aus „MEAS“, der Messpunktkennung sowie Datum und Uhrzeit gebildet, z.B.:

  MEAS_240410125946_100424_153447.bmp
- WAV: Ermöglicht die Rohdatenaufzeichnung der erfassten Samples eines Messkanals im Wave-Format auf Speicherkarte im Verzeichnis TREND gespeichert. Es wird 20 Sekunden lang ein Kanal mit einer Abtastrate von 48828 Samples/Sekunde mit 24 Bit Auflösung aufgezeichnet (Bilder 61 und 62). Bei den Samples handelt es sich um die Rohdaten des Analog-Digital-Wandlers. Die Verstärkung (1/10/100) kann vor dem Speichern festgelegt werden. Der Aussteuerbereich ist dementsprechend ±10 V, ±1 V oder ±0.1 V. In den Kopfdaten wird ein Kommentarblock ICMT abgelegt, der Informationen zur Gerät und Einstellungen enthält. Beispiel:

  ```
  VM80     52136  001.010  001.042.  001.147  100       1X
  ```

  Enthalten sind der Gerätetyp, dessen Seriennummer, die Sensorempfindlichkeiten 1X/1Y/1Z, die Verstärkung (1/10/100) und der verwendete Kanal. Der Dateiname wird aus „MEAS“, der Messpunktkennung sowie Datum und Uhrzeit gebildet, z.B.:

  MEAS_240410125946_100424_153658.wav

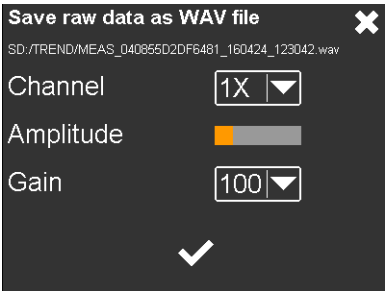


Bild 62: WAV-Rohdatenmenü

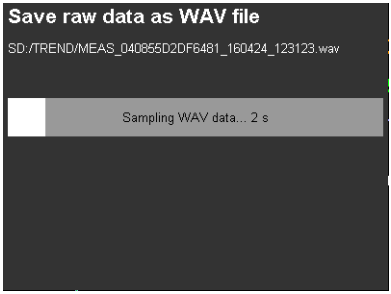


Bild 61: WAV-Rohdatenspeicherung

Das Datum der zuletzt als CSV gespeicherten Messung wird in der der Messroutentabelle für jeden Messpunkt angezeigt. Mit Hilfe des Datums stellt das VM80 fest, ob es noch innerhalb des festgelegten Messintervalls (vgl. Abschnitt 4.5.3) liegt oder ob eine neue Messung fällig ist. Bild 64 zeigt ein Beispiel.

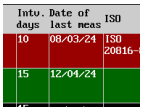


Bild 63: Speicherdatum

Die Farben bedeuten:

Grün:	Die letzte Messung liegt innerhalb des Messintervalls
Orange:	Das Messintervall wurde um maximal 20 % überschritten
Dunkelrot:	Das Messintervall wurde um mehr als 20 % überschritten
Hellrot:	Das Messintervall wurde um mehr als 100 % überschritten

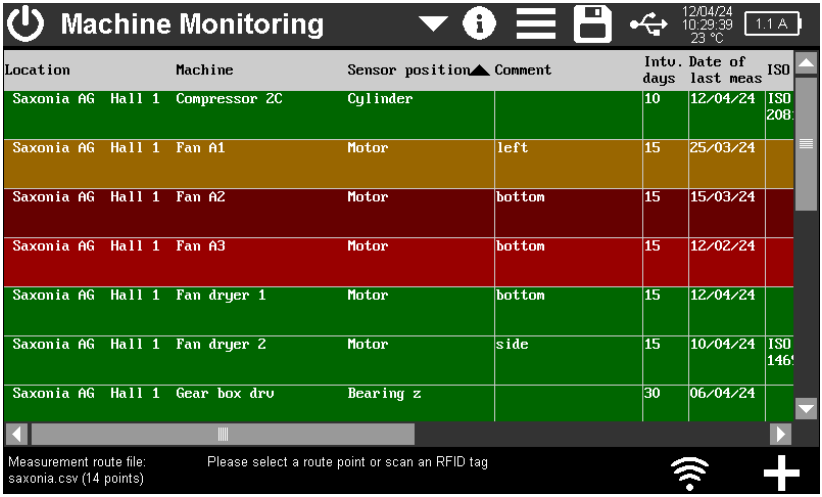
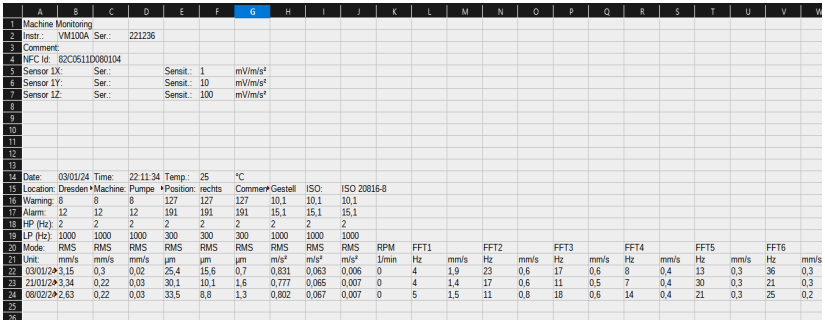
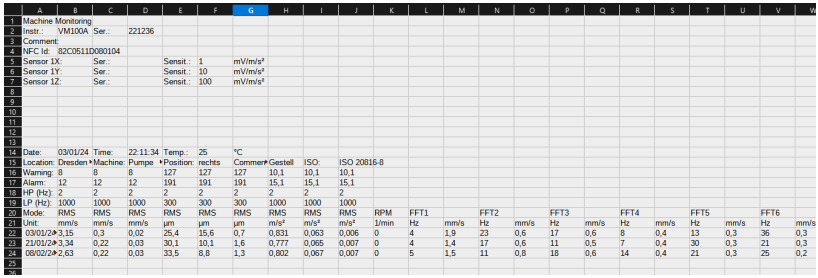


Bild 64: Messroutentabelle mit farblicher Kennzeichnung überfälliger Messpunkte



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	Machine Monitoring																						
2	Instr.:	VM100A	Ser.:	221236																			
3	Comment:																						
4	NFC Id:	82C0511D080104																					
5	Sensor 1X:		Ser.:		Sensit.:	1	mV/m/s²																
6	Sensor 1Y:		Ser.:		Sensit.:	10	mV/m/s²																
7	Sensor 1Z:		Ser.:		Sensit.:	100	mV/m/s²																
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14	Date:	03/01/24	Time:	22:11:34	Temp.:	25	°C																
15	Location:	Dresden	Machine:	Pumpe	Position:	rechts	Commen	Gestell	ISO:	ISO 20816-8													
16	Warning:	8	8	8	127	127	127	10,1	10,1	10,1													
17	Alarm:	12	12	12	191	191	191	15,1	15,1	15,1													
18	HP (Hz):	2	2	2	2	2	2	2	2	2													
19	LP (Hz):	1000	1000	1000	300	300	300	1000	1000	1000													
20	Mode:	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RPM	FFT1		FFT2		FFT3		FFT4		FFT5		FFT6	
21	Unit:	mm/s	mm/s	mm/s	µm	µm	µm	m/s²	m/s²	m/s²	1/min	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s
22	03/01/24	3,15	0,3	0,02	25,4	15,6	0,7	0,831	0,063	0,006	0	4	1,9	23	0,6	17	0,6	8	0,4	13	0,3	36	0,3
23	21/01/24	3,34	0,22	0,03	30,1	10,1	1,6	0,777	0,065	0,007	0	4	1,4	17	0,6	11	0,5	7	0,4	30	0,3	21	0,3
24	08/02/24	2,63	0,22	0,03	33,5	8,8	1,3	0,802	0,067	0,007	0	5	1,5	11	0,8	18	0,6	14	0,4	21	0,3	25	0,2
25																							
26																							

Bild 65: CSV-Messpunktdatei mit Schwingstärke-Messwerten



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	Machine Monitoring																						
2	Instr.:	VM100A	Ser.:	221236																			
3	Comment:																						
4	NFC Id:	82C0511D080104																					
5	Sensor 1X:		Ser.:		Sensit.:	1	mV/m/s²																
6	Sensor 1Y:		Ser.:		Sensit.:	10	mV/m/s²																
7	Sensor 1Z:		Ser.:		Sensit.:	100	mV/m/s²																
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14	Date:	03/01/24	Time:	22.11.34	Temp.:	25	°C																
15	Location:	Dresden	Machine:	Pumpe	Position:	rechts	Comment	Gestell	ISO:	ISO 20816-8													
16	Warning:	8	8	8	127	127	127	10,1	10,1	10,1													
17	Alarm:	12	12	12	191	191	191	15,1	15,1	15,1													
18	HP (Hz):	2	2	2	2	2	2	2	2	2													
19	LP (Hz):	1000	1000	1000	300	300	300	1000	1000	1000													
20	Mode:	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RPM	FFT1		FFT2		FFT3		FFT4		FFT5		FFT6	
21	Unit:	mm/s	mm/s	mm/s	µm	µm	µm	m/s²	m/s²	m/s²	1/min	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s
22	03/01/24	3,15	0,3	0,02	25,4	15,6	0,7	0,831	0,063	0,006	0	4	1,9	23	0,6	17	0,6	8	0,4	13	0,3	36	0,3
23	21/01/24	3,34	0,22	0,03	30,1	10,1	1,6	0,777	0,065	0,007	0	4	1,4	17	0,6	11	0,5	7	0,4	30	0,3	21	0,3
24	08/02/24	2,63	0,22	0,03	33,5	8,8	1,3	0,802	0,067	0,007	0	5	1,5	11	0,8	18	0,6	14	0,4	21	0,3	25	0,2
25																							
26																							

Bild 66: CSV-Datei mit Wälzlager-Messwerten

➔ Es wird dringend empfohlen, regelmäßig Sicherungskopien der auf der Speicherkarte gespeicherten Routendaten anzulegen.

4.6. Modul Hüllkurvenanalyse

4.6.1. Grundlagen

Die Hüllkurvenanalyse ist ein Verfahren zur Wälzlagerdiagnose. Ein Wälzlager, bestehend aus Außenring, Innenring, Wälzkörpern und Käfig, erzeugt bei Rotation bestimmte charakteristische Überrollfrequenzen, die in einem durch die Konstruktion vorgegebenen Verhältnis zur Rotordrehfrequenz stehen. Aus einer erhöhten spektralen Amplitude bei einer dieser charakteristischen Frequenzen lassen sich Rückschlüsse auf Schädigungen ziehen.

Mit einer gewöhnlichen Fouriertransformation (FFT) ist es kaum möglich, die relativ schwach ausgeprägten Überrollimpulse aus dem Schwingspektrum eines Wälzlagers zu extrahieren. Bewährt hat sich zu diesem Zweck die Hüllkurvenanalyse. Durch Bandpassfilterung und schnelle Spitzenwertgleichrichtung wird zunächst die Hüllkurve des Beschleunigungssignals gebildet (Bild 67).

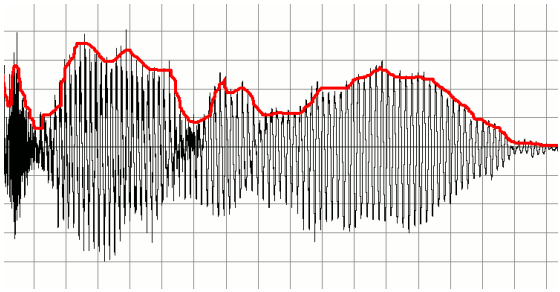


Bild 67: Hüllkurve eines Signals (Wikimedia Commons)

Die Hüllkurve durchläuft im Anschluss eine Fouriertransformation (FFT). Ergebnis ist eine spektrale Darstellung, aus der sich die Überrollfrequenzen deutlich hervorheben.

Ein ungeschädigtes Wälzlager hat in der Regel im Hüllkurvenspektrum nur eine markante Amplitude bei der Rotordrehfrequenz. Bei entstehenden Schäden werden die Überrollfrequenzen als Grundfrequenz sichtbar. Die Amplituden steigen mit zunehmender Schädigung.

Voraussetzung für die Hüllkurvenanalyse sind eine bekannte Rotordrehzahl und die Geometrie des Wälzlagers zur Berechnung der Schadfrequenzen. Wälzlagerhersteller stellen diese Werte in der Regel auf ihren Internetseiten zur Verfügung.

4.6.2. Messung

Zur Messung kommt ein einachsiger Beschleunigungsaufnehmer bzw. eine Achse eines Triaxialaufnehmers zum Einsatz. Empfohlen werden robuste, elektrisch isolierte Industrietypen. Der lineare Frequenzbereich sollte mindestens 10 kHz betragen.

Dieses Modul gibt das Hüllkurvenspektrum eines Messkanals aus (Bild 68).

Im oberen Teil befindet sich die einheitliche Menüleiste, die in Abschnitt 3.3 beschrieben wird.

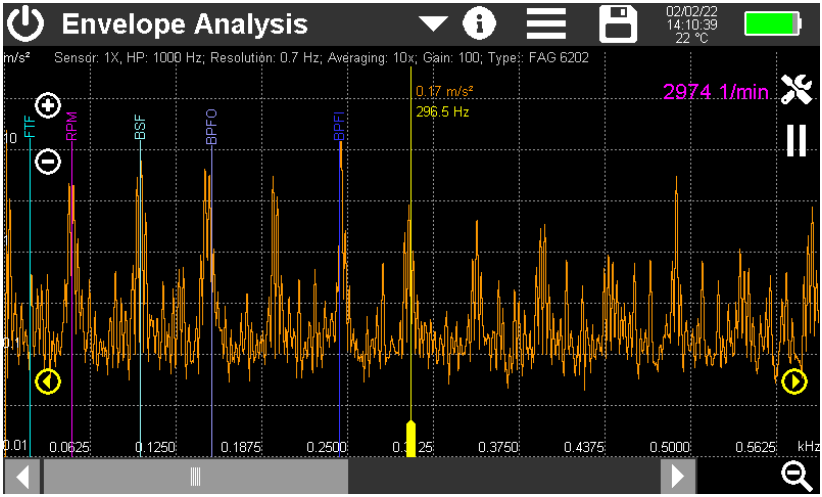


Bild 68: Messwertanzeige im Modul Hüllkurvenanalyse

Zur Darstellung des Hüllkurvenspektrums wird die gesamte Bildschirmbreite von 800 Punkten genutzt. Rechts unten sehen Sie eine Zoomtaste zum Vergrößern bzw. Verkleinern des sichtbaren Frequenzbereichs. Im höher aufgelösten Frequenzbereich kann mit dem Scrollbalken navigiert werden.

Mit den Schaltflächen und lässt sich die Amplitudenachse skalieren. Rechts oben wird die Drehzahl angezeigt. Am oberen Rand des Diagramms werden die gewählten Einstellungen ausgegeben, das sind Messkanal, Hochpassfrequenz, Auflösung, Mittelung, Verstärkung und Wälzlagertyp.

Im Hüllkurvenspektrum werden bis zu fünf farbige Marker angezeigt, deren Position vom gewählten Wälzlager und der Drehzahl abhängt. Diese haben folgende Bedeutung:

RPM (revolutions per minute):	Drehfrequenz
BPFI (ball passing frequency inner race):	Innenring-Schadfrequenz
BPFO (ball passing frequency outer race):	Außenring-Schadfrequenz
BSF (ball spin frequency):	Wälzkörper-Schadfrequenz
FTF (fundamental train frequency):	Käfig-Schadfrequenz

Das Beispiel in Bild 68 zeigt die größte Amplitude beim Marker BPFI, was auf einen Schaden am Innenring des Lagers hindeutet.

Der orange Messcursor wird mit dem breiteren unteren Ende bewegt. Zusätzlich sind links und rechts orange Pfeiltasten zum Bewegen des Cursors in Einzelschritten vorhanden. Im oberen Bereich des Cursors werden Amplitude und Frequenz ausgegeben.

Alle grafischen und Zahlenwertausgaben erfolgen in der Kennfarbe des gewählten Messkanals.

Mit den Tasten ⏸ bzw. ▶ kann die FFT-Berechnung gestoppt bzw. fortgesetzt werden.

Über die Taste öffnen Sie das Einstellmenü (Bild 69).

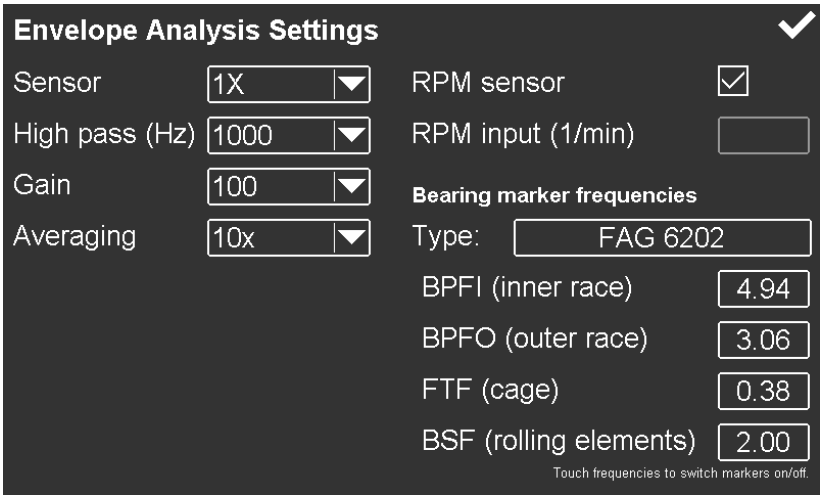


Bild 69: Einstellmenü für die Hüllkurvenanalyse

Mit **Sensor** wählen Sie, welcher Kanal von Eingang 1 analysiert wird.

Der **Hochpass** (High pass) dient zur Unterdrückung tieffrequenter Schwingungskomponenten, z.B. durch Unwuchten.

Im Menü **Verstärkung** (Gain) kann zwischen automatischer Verstärkungseinstellung und den festen Verstärkungen 1, 10 und 100 gewählt werden. In der Regel ist die Einstellung „Auto“ zu empfehlen.

Eine **Mittelung** (Averaging) von 2 bis 16 Spektren ist möglich. Damit kann der „Rauschteppich“ zufälliger Signalanteile deutlich verringert werden und die Schärfe der Darstellung verbessert werden. Nachteilig wirkt sich die Mittelung auf die Messdauer aus.

Wählen Sie **Drehzahlsensor** (RPM sensor), wenn Sie die Drehzahl messen können. Voraussetzung dafür ist der Anschluss einer Reflex-Lichtschranke VM100-LS (vgl. Bild 79 auf Seite 57) an der Mehrzweckbuchse und die Anbringung einer Reflexmarke auf dem Rotor.

Ist die Drehzahl bekannt, kann sie statt einer Messung auch manuell eingetragen werden, nachdem das Häkchen entfernt wurde.

Voraussetzung zur Anzeige der Schadfrequenzen im Spektrum ist die Eingabe der **Wälzlager-Frequenzmarken** (Bearing marker frequencies). Dies geschieht durch Berühren des Feldes **Typ** (Type). Es öffnet sich eine Liste mit den bereits eingetragenen Lagertypen. Auf der Speicherkarte befindet sich diese in der Datei *bearings.csv* im Ordner *BEARINGS*. Dateiname und Ordner sind fest vorgegeben. Befindet sich noch keine solche Datei auf der Speicherkarte, wird sie erstellt und mit einem Demo-Eintrag für das Wälzlager Typ 6202 abgespeichert.

Beim Speichern der geänderten Datei wird die vorherige Version als *bearings.bak* abgelegt. Durch Umbenennung in *bearings.csv* kann nach versehentlichen Änderungen der vorherige Zustand wieder hergestellt werden.



Bild 70: Wälzlagerliste

Berühren Sie ✚, um ein neues Wälzlager hinzuzufügen. Es öffnet sich ein Menü zur Eingabe der Schadfrequenzen (Bild 71).

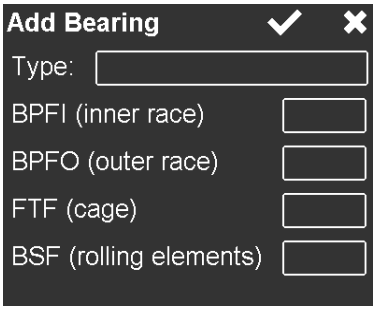


Bild 71: Eingabe der Schadfrequenzen

Die Eintragung des Lagernamens und der Schadfrequenzen erfolgt nach Berühren des entsprechenden Eingabefelds über eine Bildschirmtastatur. Die Schadfrequenzen (vgl. S. 51) werden relativ zur Drehfrequenz als einheitenlose Faktoren eingetragen. Sie finden diese entweder in Listen, die Wälzlagerhersteller auf ihren Internetseiten bereitstellen oder Sie berechnen diese selbst mit ebenfalls im Internet vorhandenen Schadfrequenzrechnern auf Basis der Lagergeometrie, d.h. Wälzkörperzahl und -durchmesser, Mittenabstand zweier gegenüber liegender Wälzkörper (Pitch).

$$BPFO = RPM \frac{N_B}{2}\left(1 - \frac{B_D}{P_D}\cos(\beta)\right) \qquad BPFI = RPM \frac{N_B}{2}\left(1 + \frac{B_D}{P_D}\cos(\beta)\right)$$

$$BSF = RPM \frac{P_D}{B_D}\left[1 - \left(\frac{B_D}{P_D}\cos(\beta)\right)^2\right] \qquad FTF = \frac{RPM}{2}\left(1 - \frac{B_D}{P_D}\cos(\beta)\right)$$

Mit der Taste  können Sie die ausgewählte Zeile löschen.

Durch Berühren der Schadfrequenzwerte im Einstellmenü (Bild 69) lassen sich deren Marker im Messbildschirm ausblenden.

4.6.3. Speicherung

Zur Speicherung (Taste ) stehen folgende Optionen zur Verfügung: Als CSV-Datei wird das Hüllkurvenspektrum in einer Wertetabelle gespeichert (Bild 72). In den Kopfdaten befinden sich Angaben zu Messgerät, Sensor und Wälzlager. Ab Zeile 14 finden Sie die relativen Schadfrequenzen als Faktor und die gemessenen Frequenzen bei der Drehfrequenz. Die gemessene bzw. eingetragene Drehzahl findet sich in Zeile 18. Ab Zeile 20 folgen die Frequenzpunkte und die zugehörigen Amplituden. Die Zeilenzahl hängt von der gewählten Auflösung ab. Die CSV-Datei endet mit der Zeichenkette „<END>“.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Envelope Analysis													
2	Instr.:	VM100A	Ser.:	221236										
3	Comment:													
4	NFC Id:													
5														
6	Sensor 1Y:	KS903B100	Ser.:	23030	Sensit.:	10,1982	mV/m/s²							
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14	Date:	07/01/25	Time:	16:10:15	Temp.:	23	°C							
15	HP:	500	Hz	Averaging	-	Rot. speed:	3000	1/min						
16	Bearing:	6202	BPFI:	4,95	247	BPFO:	3,05	152	FTF:	0,38	19	BSF:	1,99	99
17														
18														
19														
20														
21	Hz	1Y: m/s²												
22	1,5	0,141												
23	3	0,011												
24	4,5	0,003												
25	6	0,004												
26	7,5	0,008												
27	8,9	0,003												
28	10,4	0,002												
29	11,9	0,002												
30	13,4	0,004												
31	14,9	0,003												
32	16,4	0,003												
33	17,9	0												
34	19,4	0,002												
35	20,9	0,001												
36	22,4	0,003												
37	23,8	0,004												
38	25,3	0,002												
39	26,8	0,002												
40	28,3	0,001												
41	29,8	0,003												

Bild 72: CSV-Datei mit Messdaten (nur erste 20 Frequenzpunkte gezeigt)

Alternativ kann das Diagramm als BMP-Bildschirmfoto gespeichert werden.
Näheres zur Messwertspeicherung finden Sie in Abschnitt 5.

Die gespeicherten Daten finden Sie auf der Speicherkarte im Ordner „ENVELOPE“.

4.7. Modul Auswuchten

4.7.1. Grundlagen

Unwuchten treten in Erscheinung, wenn Massen rotieren, deren Masseschwerpunkt nicht auf der Rotationsachse liegt. Es entsteht eine Fliehkraft in Richtung der Unwuchtmasse (Bild 74). Diese Fliehkraft nimmt mit dem Quadrat der Rotationsgeschwindigkeit zu.

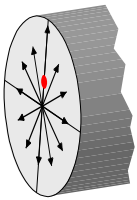


Bild 74: Rotor mit Unwucht

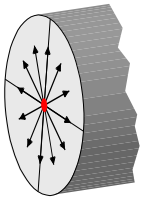


Bild 73: Ausgewuchteter Rotor

Folge davon sind Vibrationen, die oft unerwünscht sind, weil sie die Produktqualität beeinträchtigen, die Lebensdauer verringern oder zu störenden Geräuschen führen. Ziel des Auswuchtens ist die Verringerung der Unwucht durch Veränderung der Masseverteilung (Bild 73).

Der Betrag der außerhalb der Rotationsachse befindlichen Masse multipliziert mit dem radialen Abstand zur Schaftachse wird als Unwucht bezeichnet. Als Einheit wird oft gmm (Gramm-Millimeter) verwendet. Die Unwucht wird außerdem durch ihre Richtung charakterisiert. Die Kombination aus Betrag und Richtung wird als Vektor bezeichnet. Zweckmäßigerweise verwendet man zur grafischen Darstellung einer Unwucht Polarkoordinaten.

Man unterscheidet folgende Typen von Unwuchten:

Eine **Statische Unwucht** tritt auf, wenn die Rotorachse und die Massenachse nicht deckungsgleich sind, aber beide Achsen parallel zueinander liegen. Bild 75 zeigt die Größe und Richtung der entstehenden Unwuchtkräfte. Die Krafteinwirkung auf beide Lager ist gleich.

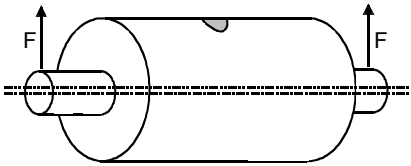


Bild 75: Statische Unwucht

Eine **Momentenunwucht** tritt in Erscheinung, wenn die Rotorachse und die Massenachse nicht deckungsgleich sind und wenn beide Achsen sich im Masseschwerpunkt schneiden. Die entstehende Krafteinwirkung auf die Lager ist betragsmäßig gleich und richtungsmäßig um 180° verschieden (Bild 76).

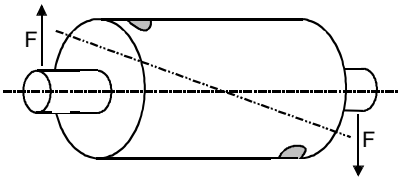


Bild 76: Momentenunwucht

Eine **Dynamische Unwucht** liegt vor, wenn die Rotorachse und die Massenachse nicht deckungsgleich sind und wenn sich beide Achsen außerhalb des Masseschwerpunkts schneiden. Man nennt diesen Fall auch Zweiebenen-Unwucht. Dynamische Unwucht ist eine Kombination aus statischer und Momentenunwucht (Bild 77).

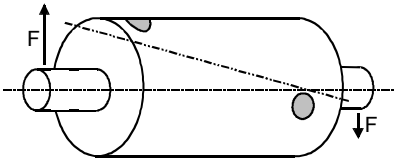


Bild 77: Dynamische Unwucht

Die rotierende Fliehkraft überträgt sich auf die Lagerung des Rotors und kann dort mit Beschleunigungsaufnehmern erfasst werden. Je nachdem, ob man an einer oder zwei Lagerungen misst, spricht man von **Ein- oder Zweiebenen-Auswuchtung**. Für scheibenförmige Rotoren genügt oft die Einebenen-Auswuchtung, während längliche Rotoren in zwei Ebenen gewuchtet werden sollten. Als Faustformel gilt, dass Rotoren mit einer Länge, die größer als der doppelte Durchmesser ist, eine Zweiebenen-Auswuchtung erfordern.

Die Norm **ISO 1940** vermittelt Grundwissen zur Auswuchtung.

Neben ein oder zwei Beschleunigungsaufnehmern ist ein Drehzahlsensor erforderlich, der die Winkelinformation zur Auswuchtung liefert.

Das VM80 unterstützt die Auswuchtung im Betriebszustand. Der Rotor kann im eingebauten Zustand verbleiben und braucht nicht in eine Wuchtbank transportiert zu werden. Das Betriebswuchten verläuft in folgenden Schritten:

3. Im **Urunwuchtlauf** werden die Schwingungen des Rotors im Ausgangszustand erfasst.
4. Im **Testlauf** wird eine bekannte Testmasse bei einer bekannten Winkelposition an einem Ende des Rotors angebracht. Damit erzeugt man eine definierte Unwucht. Das resultierende Schwingverhalten wird erfasst.
5. Bei Zweiebenen-Auswuchtung wird der Testlauf am anderen Ende des Rotors wiederholt.
6. Auf Basis der durchgeführten Messungen errechnet das Auswuchtsystem die erforderlichen **Korrekturen** zum Ausgleich der Unwucht. Dies kann durch Anbringen oder Entfernen von Masse an bestimmten Winkelpositionen erfolgen.
7. In einem **Kontrolllauf** wird der Erfolg der Ausgleichsmaßnahmen überprüft.

Das Messverfahren setzt ein lineares Schwingungssystem voraus. Das heißt, eine Erhöhung des Betrags der Schwingung entspricht einer Erhöhung der Unwucht um denselben Betrag. Weiterhin wird Phasentreue vorausgesetzt, d.h. eine Verlagerung der Testmasse um einen bestimmten Winkel zieht auch eine Verlagerung im Schwingungssignal um denselben Winkel nach sich.

In der Praxis sind diese Voraussetzungen oft nicht gegeben, weil zum Beispiel Resonanzen oder Dämpfungen auftreten, die zu nichtlinearen Zusammenhängen zwischen Schwingungsgrößen und Unwucht führen. Daher ist es in der Regel erforderlich, sich in mehreren Durchgängen dem gewünschten Wuchtziel anzunähern.

4.7.2. Messung

Für die Messung kommen je nach Ebenenzahl ein oder zwei uniaxiale Beschleunigungsaufnehmer zum Einsatz. Empfohlen werden robuste, elektrisch isolierte Industrietypen, z.B. KS84B100 oder KS74C100. In den meisten Fällen sind Typen mit einer Empfindlichkeit von ca. 100 mV/g zu empfehlen. Bei niedrigen Drehzahlen und damit kleineren Fliehkräften sind die Beschleunigungen geringer, was den Einsatz empfindlicherer Sensoren erfordern kann. Die Sensoren werden radial zur Rotationsache montiert, idealerweise direkt auf die Wellenlager. Am VM80 werden die Sensoren an die Messkanäle 1X und 1Y angeschlossen. Im Bediendialog werden die Sensorpositionen als Ebene A und Ebene B bezeichnet.

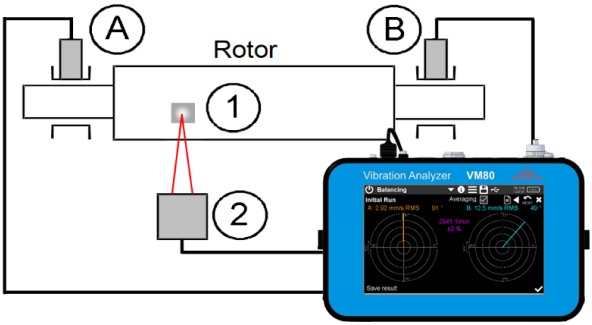


Bild 78: Zweiebenen-Auswuchtung;
A/B: Rotorlager (Ebenen) mit Sensoren; 1: Reflexmarke; 2: Drehzahlsensor

Der Auswuchtalgorithmus benötigt einen Drehzahlimpuls. Dafür wird eine Reflex-Lichtschranke mit Magnetstativ VM100-LS (Bild 79) an die Mehrzweckbuchse des VM80 angeschlossen und eine Reflexmarke auf dem Rotor angebracht. Die Winkelposition der Reflexmarke kann frei gewählt werden. Bitte beachten Sie, dass die Reflexmarke bei höheren Drehzahlen eine gewisse Größe haben muss, um eine messbare Impulslänge zu erzeugen. Zur Reflex-Lichtschranke VM100-LS gehört ein flexibles Magnetstativ. Bei der Justierung auf die Reflexmarke hilft ein roter Leuchtfleck.



Bild 79: VM100-LS

Alle berechneten Winkel für die Masseveränderungen sind entgegen der Drehrichtung zu verstehen (Bild 80). Bezugswinkel oder Nullwinkel ist die Position der Testmasse beim Testlauf. Die Winkelposition der Reflexmarke ist in diesem Zusammenhang nicht relevant.

Im oberen Teil des Auswucht-Bildschirms befindet sich die einheitliche Menüleiste, die in Abschnitt 3.3 beschrieben wird.

Über die Taste  öffnen Sie das Einstellungsmenü (Bild 81).

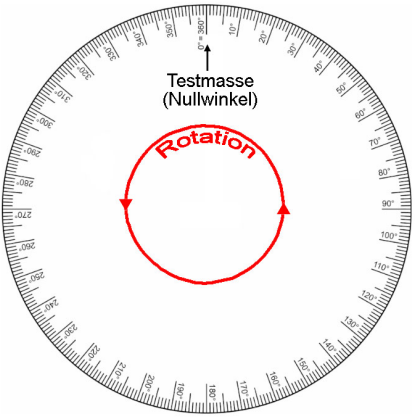


Bild 80: Winkelkonventionen

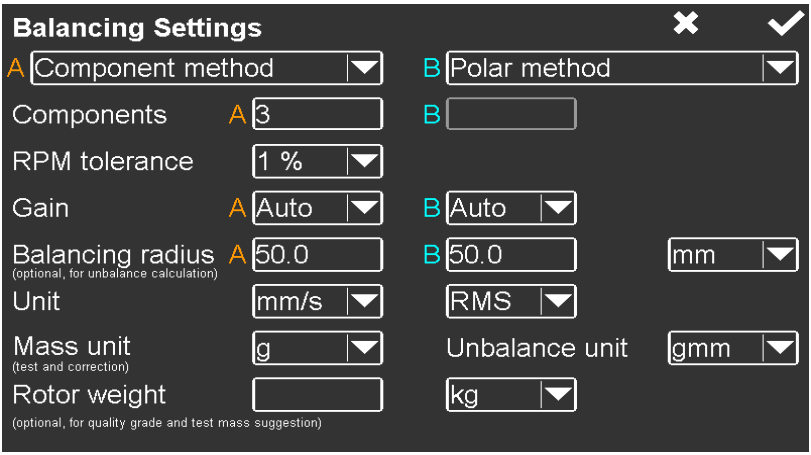


Bild 81: Einstellungen zum Auswuchten (Beispiel für 2 Ebenen)

Die Ebenen werden mit A und B gekennzeichnet. Zur Auswuchtung in nur einer Ebene wird im Dropdown-Menü von B die Einstellung „Aus (1 Ebene)“ gewählt.

Beim Auswuchten wird zwischen dem Komponentenverfahren (Component method) und dem Polarverfahren (Polar method) unterschieden.

Das **Komponentenverfahren** wird verwendet, wenn nur an bestimmten Winkelpositionen Masseänderungen möglich sind. Mitunter werden diese Winkelschritte auch Festorte genannt. Das kann zum Beispiel an Lüfterrädern mit einer bestimmten Anzahl Flügel nützlich sein. Als Ergebnis werden immer zwei Massen für benachbarte Positionen berechnet.

Die Anzahl der Komponenten (Components) wird für jede Ebene separat eingegeben. Es sind mindestens 3 und maximal 72 Komponenten möglich. Die Komponenten werden in Winkelzählrichtung mit „#1“ beginnend durchnummeriert.

Beim **Polarverfahren** ist ein Masseausgleich an jeder Winkelposition möglich.

Der **Auswuchtradius** (Balancing radius) ist der Radius auf dem Rotor, an dem die Test- und Korrekturmassen angebracht bzw. entfernt werden. Eine Angabe ist nicht zwingend erforderlich. Der Radius dient nur zur Berechnung der Restunwucht und um Testmassen vorzuschlagen. Die Maßeinheit für den Radius kann gewählt werden.

Die **Einheit** der Schwingungsmessung (Unit) kann zwischen Schwingbeschleunigung in m/s², Schwinggeschwindigkeit in mm/s oder Schwingweg in µm gewählt werden. In den meisten Fällen ist die Schwinggeschwindigkeit die bevorzugte Messgröße. Die Schwingungswerte können als Effektivwert (RMS), Spitzenwert (Peak) oder Spitze-Spitze-Wert (Pk-Pk) ausgegeben wDas **Komponentenverfahren** wird verwendet, wenn nur an bestimmten Winkelpositionen Masseänderungen möglich sind. Mitunter werden diese Winkelschritte auch Festorte genannt. Das kann zum Beispiel an Lüfterrädern mit einer bestimmten Anzahl Flügel nützlich sein. Als Ergebnis werden immer zwei Massen für benachbarte Positionen berechnet.

Die Anzahl der Komponenten (Components) wird für jede Ebene separat eingegeben. Es sind mindestens 3 und maximal 72 Komponenten möglich. Die Komponenten werden in Winkelzählrichtung mit „#1“ beginnend durchnummeriert.

Beim **Polarverfahren** ist ein Masseausgleich an jeder Winkelposition möglich.erden.

Die **Masseeinheit** (Mass unit) ist die Maßeinheit der einzugebenden Testmassen sowie der ermittelten Korrekturmassen. Sie sollte der Rotorgröße und der angestrebten Wuchtgüte entsprechend sinnvoll gewählt werden.

Die **Unwuchteinheit** (Unbalance unit) ist die Maßeinheit der ausgegebenen Restunwucht.

Die **Rotormasse** (Rotor mass) kann optional angegeben werden, um Testmassen vorzuschlagen und Wuchtgüten zu berechnen.

Sind die Einstellungen gemacht, kann mit dem Auswuchten begonnen werden.

Je nachdem, ob Ein- oder Zweiebenen-Auswuchtung gewählt wurde, zeigt der Bildschirm ein oder zwei Polardiagramme für die Unwuchtvektoren.

Nachfolgend wird an einem Beispiel der Ablauf der Einebenen-Auswuchtung mit Komponentenverfahren dargestellt.

Das Auswuchten beginnt im **Nulllauf** (Initial Run). Nachdem der Beschleunigungsaufnehmer und die Reflex-Lichtschranke montiert sind, starten Sie den Rotor. Das VM100 misst die Drehzahl und ihre Schwankungsbreite während der letzten zehn Sekunden. Liegt die Drehzahlschwankung unter der geforderten Toleranz, wird der Beschleunigungs- bzw. Geschwindigkeitsvektor in m/s², mm/s bzw. µm angezeigt (Bild 82). Außerdem wird im Urunwuchtlauf ein eng begrenztes Bandfilter mit der Drehfrequenz als Mittenfrequenz eingestellt, um nicht mit der Unwucht korrelierende Schwingsignale zu dämpfen.

Mit dem Kontrollkästchen **Mittelung** (Averaging) Averaging ☑ lässt sich die Mittelwertbildung für die Amplituden und Phasenwinkel ein- oder ausschalten. Mit eingeschalteter Mittelung wird die Messung stabiler, aber langsamer. Bevor die ersten Mittelwerte angezeigt werden, erscheint in Bildschirmmitte ein Fortschrittsbalken. Um Schwankungen zu erkennen kann die Mittelung jederzeit ausgeschaltet werden. Mit der Reset-Taste RESET können Sie die Mittelwerte löschen und die Mittelung neu starten.

Ist eine gute Stabilität erreicht, wird die Messung mit ✔ gespeichert und der Rotor angehalten.

➔ Die Drehzahl muss während aller nachfolgenden Läufe konstant bleiben. In den weiteren Läufen wird daher die gemessene Drehzahl und deren Abweichung von der Drehzahl im Urunwuchtlauf angezeigt.

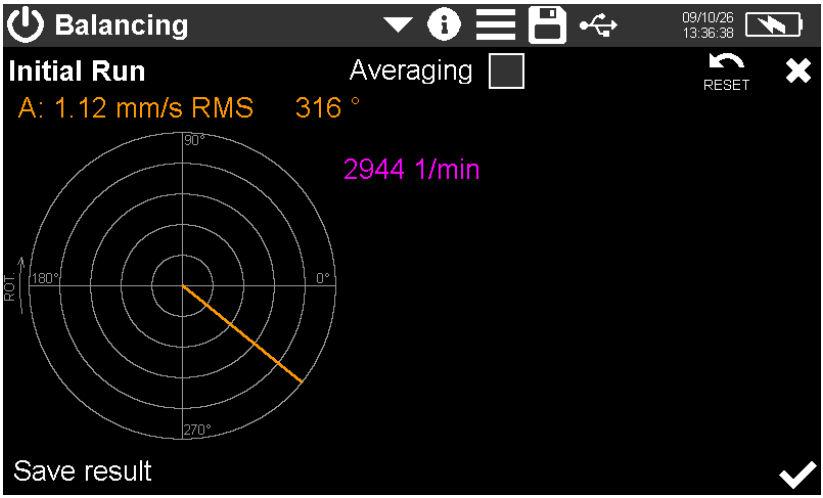


Bild 82: Urunwuchtlauf (1 Ebene)

Nach Stillstand wechselt das Gerät zum **Testlauf** (Test Run). Im Polardiagramm wird die gemessene Urunwucht als Markierung „O“ angezeigt (Bild 84). Sie werden zur Anbringung einer Testmasse aufgefordert. Wurde in den Einstellungen die Rotormasse und der Radius angegeben, steht mit ? ein Vorschlag für die Testmasse auf Basis einer Wuchtgüte von 6,3 nach ISO 1940 zur Verfügung.



Bild 83: Testmassenvorschlag

Die Eingabe der Testmasse mit der vorgegebenen Einheit erfolgt über eine Zahlentatstatur. Die eingegebene Masse wird am Diagramm beim Winkel 0° angezeigt. Der Anbringungswinkel der Testmasse ist der **Bezugswinkel (Nullwinkel)** für alle nachfolgenden Auswuchtschritte.

Die richtige Wahl von Größe und Winkelposition der Testmasse erfordert etwas Übung. Nach Anbringung der Testmasse muss eine hinreichende Änderung des Schwingungsvektors vorliegen. Es ist möglich, dass sich dabei die Unwucht erhöht oder verringert.

Nun beginnt der Testlauf. Ist der Schwingungsvektor stabil, wird die Messung mit ☑ gespeichert. Danach wird der Rotor wieder angehalten.

Es kommt vor, dass die Änderung der Unwucht nach Anbringung der Testmasse zu gering ist. Sollte die Amplitudenänderung weniger als 20 % und gleichzeitig die Winkeländerung unter 10 % betragen, wird ein Warnhinweis angezeigt. Sie können selbst entscheiden, ob Sie fortfahren oder eine andere Testmasse anbringen möchten bzw. einen anderen Winkel dafür wählen möchten.

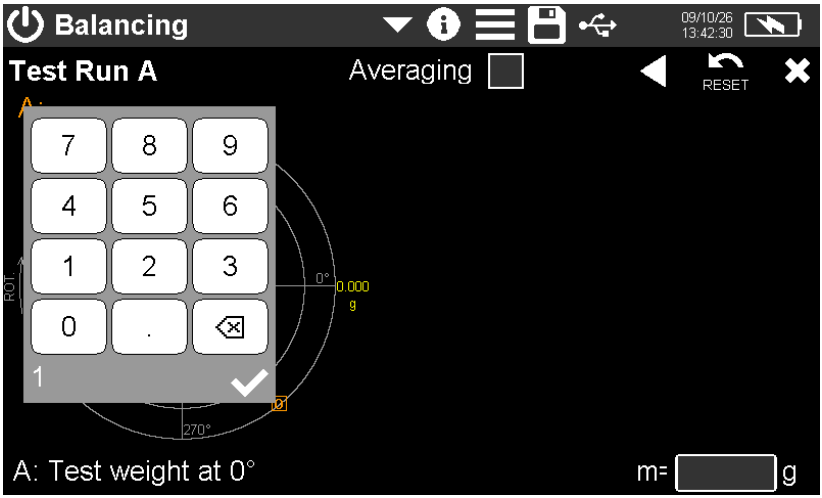


Bild 84: Testmasse eingeben (1 Ebene)

Nach Stillstand werden Sie gefragt, ob die Testmasse am Rotor verbleiben (keep) oder wieder entfernt (remove) werden soll (Bild 85). Ein Verbleib kann beispielsweise sinnvoll sein, wenn die Testmasse angeschweißt wurde. In diesem Fall wird sie in die nachfolgende Korrekturmassenberechnung einbezogen. Anderenfalls entfernen Sie die Testmasse und berühren ☑.

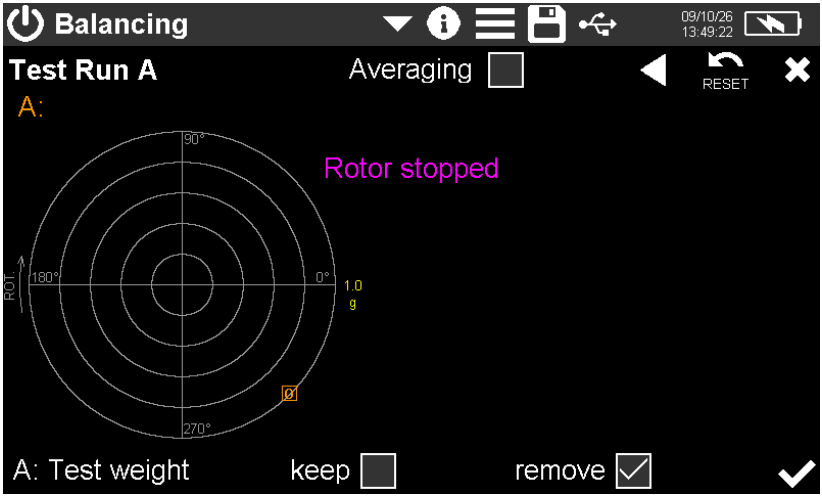


Bild 85: Testmasse behalten oder entfernen (1 Ebene)

Danach zeigt das Gerät die erforderlichen **Korrekturen** an (Bild 86 und Bild 87). Sie haben die Möglichkeit, Massen hinzuzufügen (Add mass) oder zu entfernen (Remove mass). Die Ergebnisse für **Hinzufügen** und **Entfernen** unterscheiden sich nur in einem Winkelversatz von 180°.

Die Winkelangaben beziehen sich auf den Anbringungswinkel der Testmasse und werden entgegen der Drehrichtung gemessen. Beim Komponentenverfahren werden zusätzlich die Komponentennummern angezeigt. Die Komponenten werden in Winkelzählrichtung mit „#1“ beginnend durchnummeriert. Der Winkel „#1“ ist dabei der Nullwinkel, an dem die Testmasse angebracht wurde.

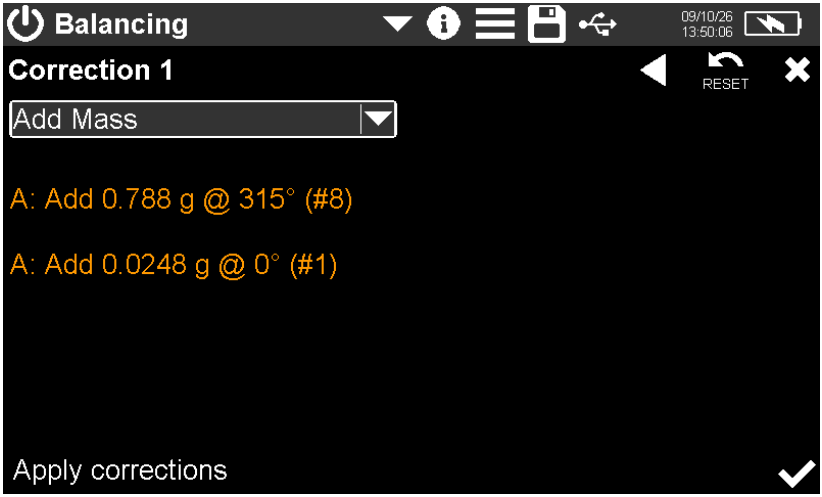


Bild 86: Korrekturen (1 Ebene)

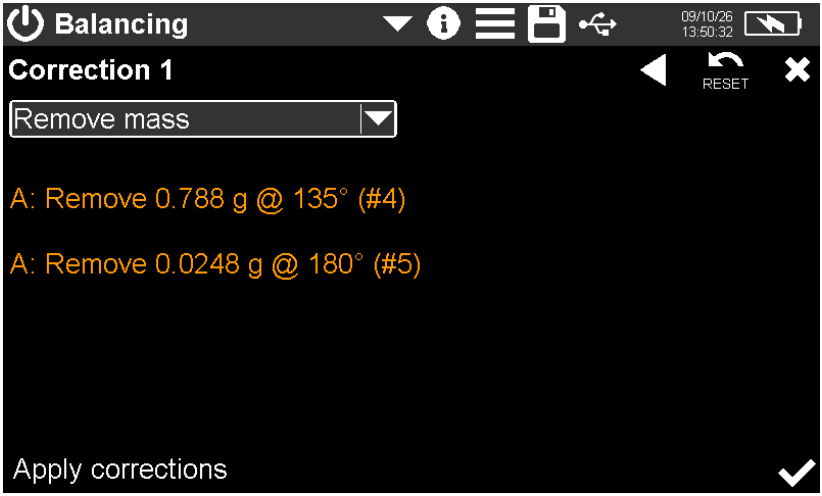


Bild 87: Korrekturen durch Entfernen von Massen (1 Ebene)

Sind die Korrekturen am Rotor erfolgt, bestätigen Sie mit ✔ und starten den Rotor zum **Kontrolllauf** (Check Run) (Bild 88). Sie sehen den resultierenden Unwuchtvektor. Unter Amplitude und Winkel wird der Unterschied zum Urzustand in Prozent angezeigt. Er liefert die Aussage über den Auswuchterfolg. Falls im Einstellmenü der Rotorradius eingegeben wurde, sehen Sie die Restunwucht in Gramm-Millimeter. Speichern Sie das Ergebnis mit ✔ und bringen Sie den Rotor zum Stillstand.

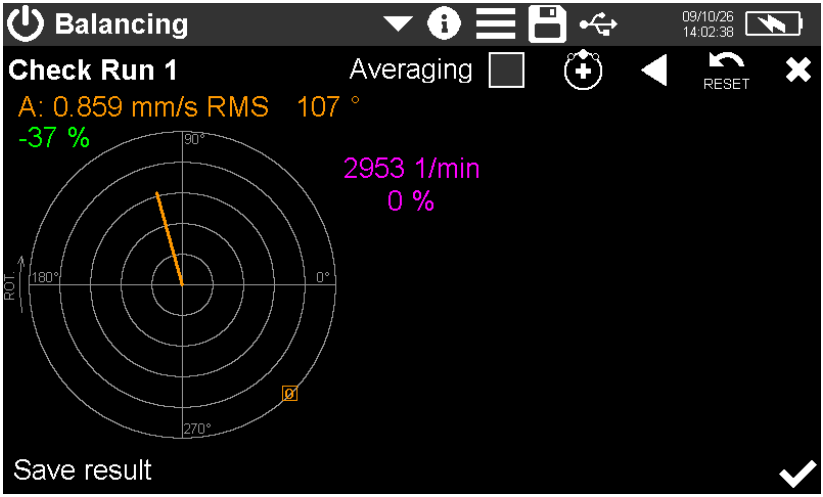


Bild 88: Kontrolllauf (1 Ebene)

Sie werden nun gefragt, ob Sie die Auswuchtung fortsetzen möchten (Bild 89). Wenn Sie mit dem Ergebnis zufrieden sind, können Sie die Auswuchtung mit ✖ beenden oder mit 💾 vorher noch einen Bericht speichern. Wenn Sie die Auswuchtung fortsetzen, werden erneut Korrekturmassen berechnet und ein weiterer Testlauf durchgeführt.

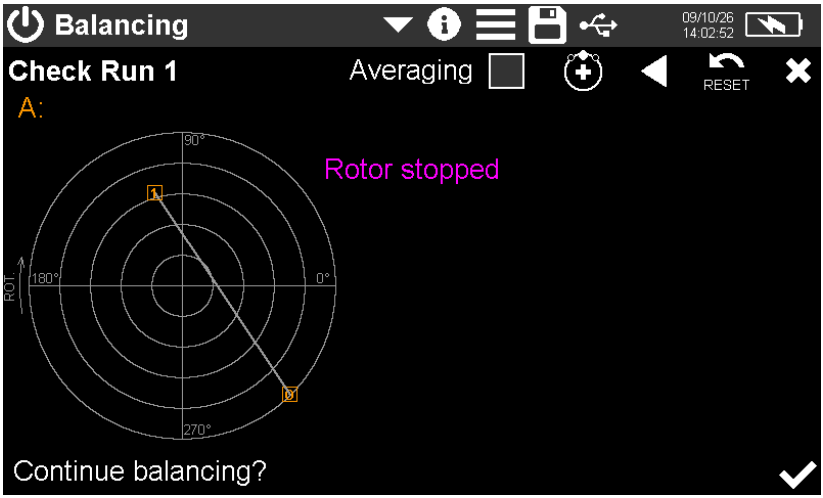


Bild 89: Beenden oder Fortsetzen

Die **Zweiebenen-Auswuchtung** erfolgt in ähnlicher Weise. Hinzu kommt die Anbringung einer zweiten Testmasse sowie ein zweiter Testlauf in Ebene B. Nachfolgend finden Sie einer Kurzbeschreibung des Ablaufs anhand eines Beispiels.

Zunächst wird die Unwucht für beide Ebenen im Ist-Zustand gemessen (Bild 90).

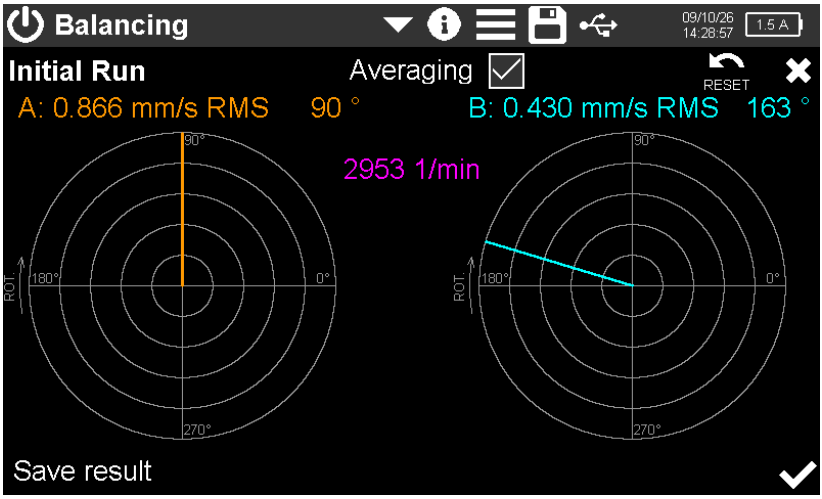


Bild 90: Urunwuchtlauf (2 Ebenen)

Danach erfolgt die Anbringung einer Testmasse in Ebene A und ein erneuter Start der Rotation (Bild 91).

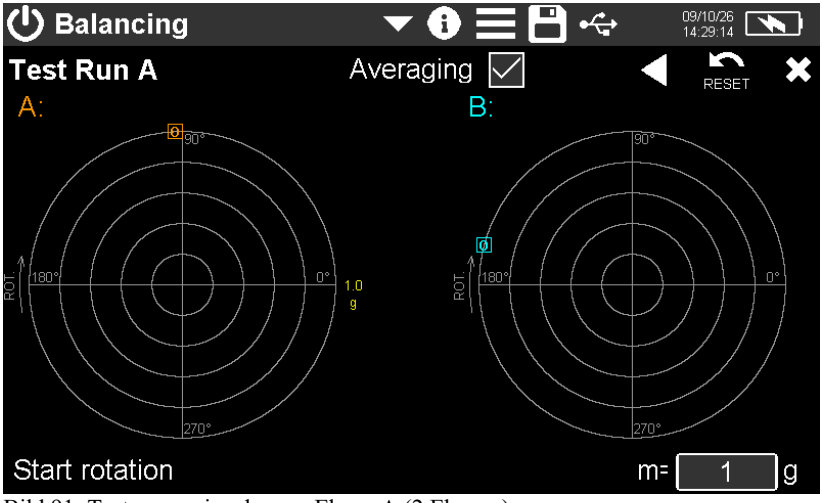


Bild 91: Testmasse eingeben an Ebene A (2 Ebenen)

Die Ergebnisse des Testlaufs an Ebene A werden gespeichert (Bild 92) und die Rotation gestoppt.

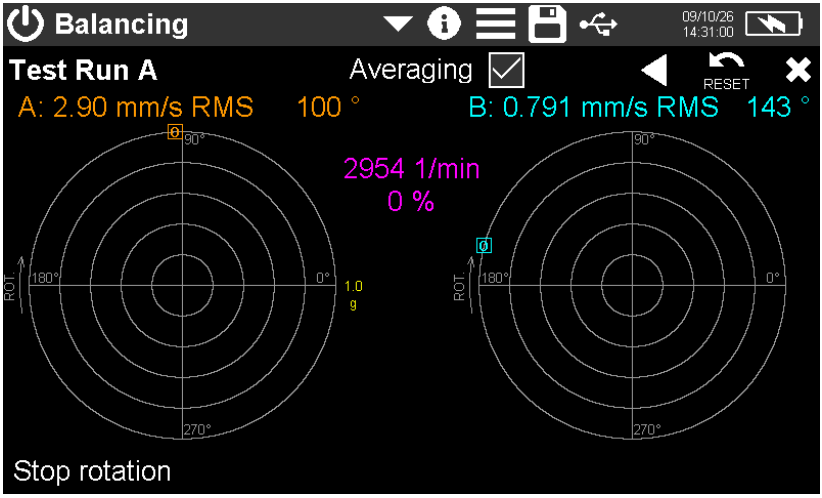


Bild 92: Testlauf Ebene A (2 Ebenen)

Nun entscheiden Sie, ob Sie die Testmasse am Rotor belassen oder wieder entfernen möchten (Bild 93).

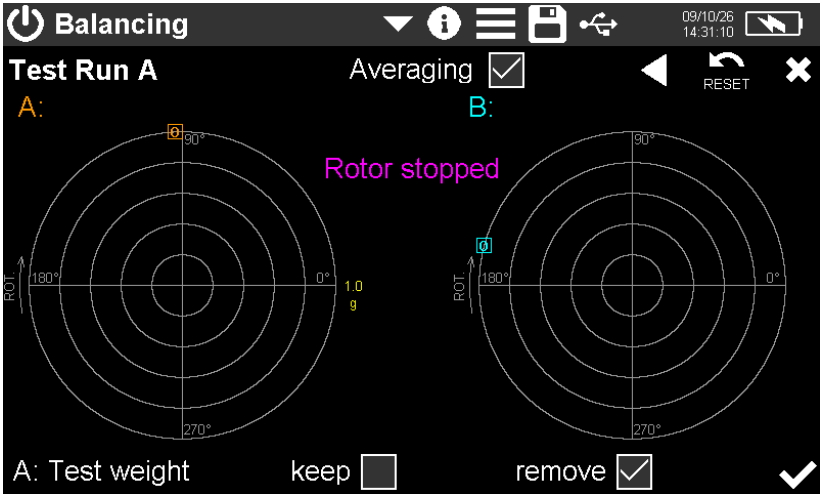


Bild 93: Testmasse von Ebene A behalten oder entfernen (2 Ebenen)

Danach bringen Sie eine Testmasse in Ebene B an und starten die Rotation (Bild 94).

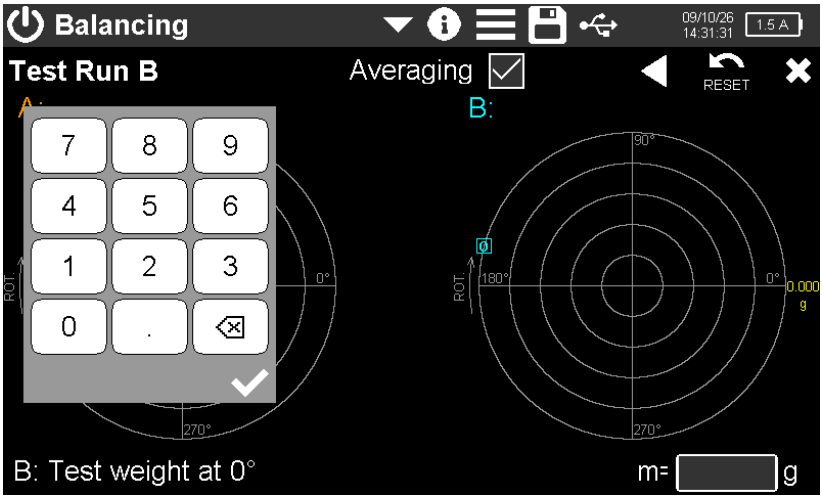


Bild 94: Testmasse anbringen an Ebene B (2 Ebenen)

Nach dem Start der Rotation erfolgt der Testlauf B. Nach der Speicherung und dem Stoppen der Rotation bestätigen Sie, ob Sie die Testmasse in Ebene B entfernt bzw. belassen haben (Bild 95).

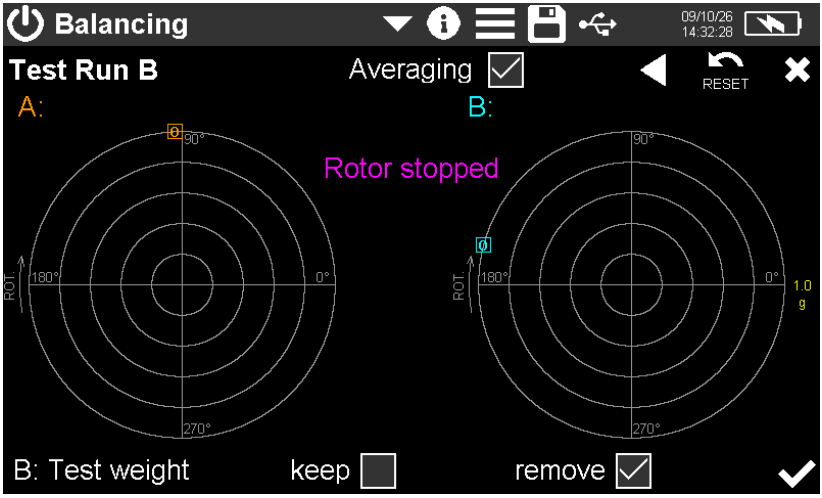


Bild 95: Testmasse von Ebene B behalten oder entfernen (2 Ebenen)

Nun werden die berechneten Korrekturmassen und ihre Winkel für beide Ebenen angezeigt (Bild 96). Im Beispiel wurden 16 Winkelschritte (Festorte) gewählt.

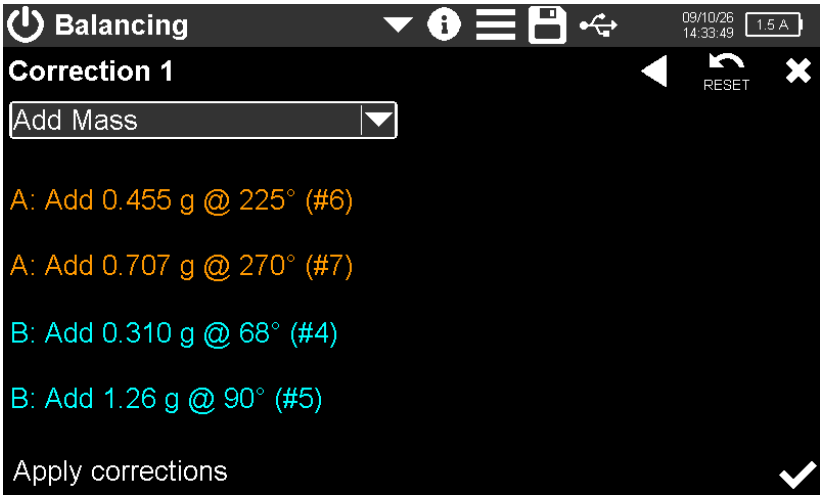


Bild 96: Erste Korrektur (2 Ebenen)

Führen Sie die Korrekturen durch und bestätigen Sie dies. Starten Sie die Rotation zum ersten Kontrolllauf (Bild 97).

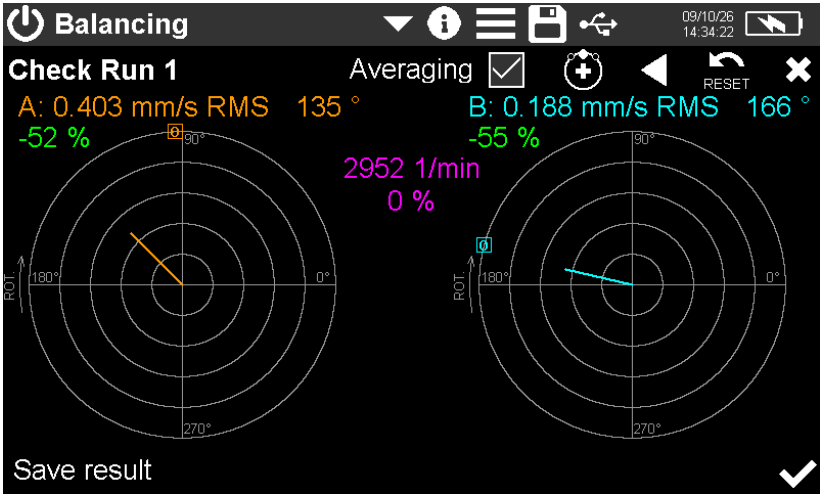


Bild 97: Erster Kontrolllauf (2 Ebenen)

Wenn im Einstellmenü der Rotordurchmesser und die Rotormasse eingetragen wurden, zeigt der Bildschirm zusätzlich die Unwuchten (U) in der gewählten Maßeinheit sowie die Wuchtgüte (G) nach ISO 1940 für beide Ebenen an.

Nach dem Speichern des Ergebnisses und Anhalten der Rotation werden Sie gefragt, ob Sie die Auswuchtung hier beenden oder fortsetzen wollen (Bild 98).

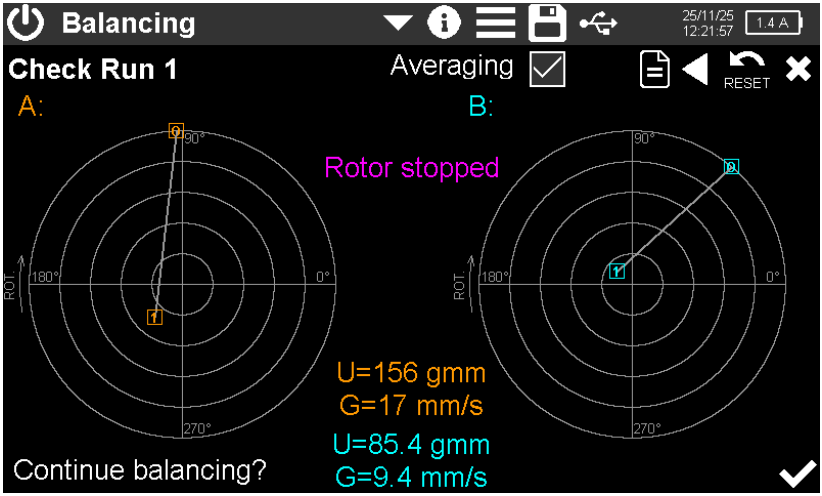


Bild 98: Auswuchtung nach erstem Kontrolllauf fortsetzen (2 Ebenen)

Im Beispiel wird die Auswuchtung fortgesetzt. Es werden weitere Korrekturen für beide Ebenen angezeigt (Bild 99).

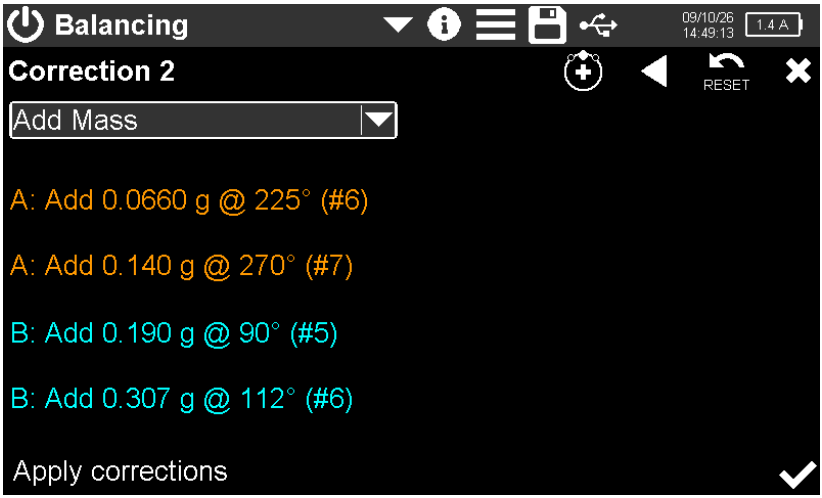


Bild 99: Zweite Korrektur (2 Ebenen)

Im zweiten Kontrolllauf hat sich noch eine Verbesserung ergeben. In den Polardiagrammen werden neben der Urunwucht die nummerierten Vektoren der Kontrollläufe angezeigt (Bild 100).

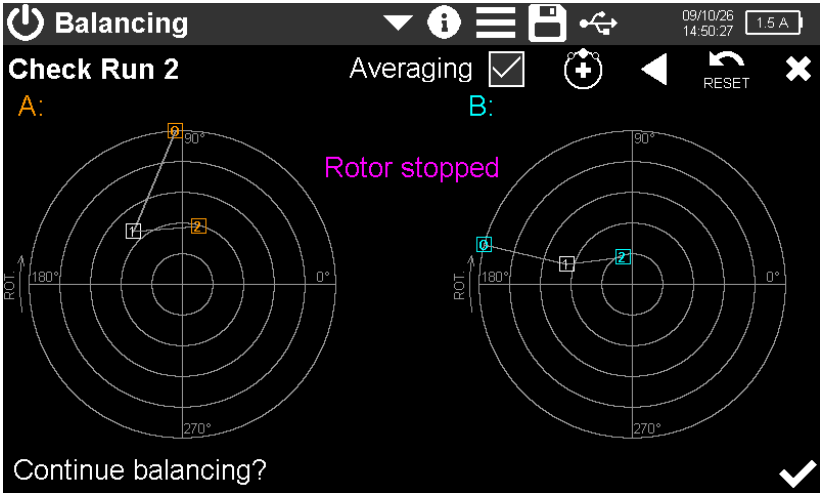


Bild 100: Zweiter Kontrolllauf (2 Ebenen)

Mit  lassen sich die in die angebrachten Korrekturmassen je Ebene in eine bzw. bei Festorten in zwei Massen zusammenfassen (Bild 101). Dazu sind alle angebrachten Korrekturmassen zu demontieren und die berechneten Massen anzubringen. Eventuell am Rotor belassene Testmassen werden davon nicht berührt.

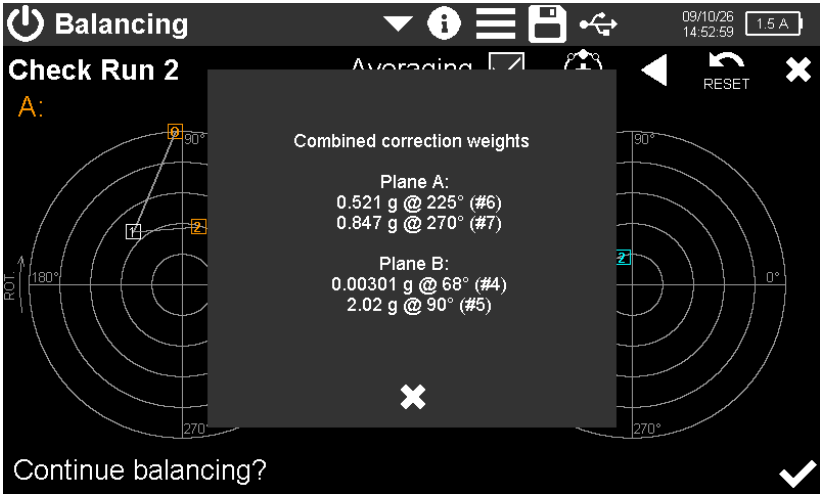


Bild 101: Zusammenfassen von Korrekturmassen

4.7.3. Speicherung

Zur Speicherung des Protokolls berühren Sie  und wählen **CSV-Auswuchtbericht speichern** (Save CSV balancing report). Ein Beispiel für eine gespeicherte CSV-Datei sehen Sie in Bild 102.

Alternativ kann der Anzeigeinhalt in jedem Auswuchtschritt als BMP-Bildschirmfoto gespeichert werden. Die Dateien finden Sie auf der Speicherkarte im Ordner „BAL“.

	A	B	C	D	E	F	G
1	BALANCING REPORT						
2							
3	Instr.:	VM100B	Ser.:	123456			
4	Sensor A:	KS97B100	Ser.:	22018	Sensit.:	10,3	mV/ms^-2
5	Sensor B:	KS97B100	Ser.:	23009	Sensit.:	9,77	mV/ms^-2
6	Date & Time:	09/10/26	14:56:55				
7							
8	Comment:						
9	NFC Id:						
10							
11	Planes:	2					
12	Mode A:	Component method (8)					
13	Mode B:	Component method (16)					
14	Rotary speed:	2954	1/min	<1	%		
15	Angles against rot. direction						
16	Rotor weight:	?					
17	Balancing radius A:	?					
18	Balancing radius B:	?					
19							
20	Initial Run A:	0,843	mm/s	RMS	92	°	
21	Initial Run B:	0,421	mm/s	RMS	165	°	
22							
23	Test weight:	1	g		0	°	
24	Test Run A-A:	2,94	mm/s	RMS	100	°	
25	HAA:	-0,47966343	+	i	2,05035114		
26	Test Run A-B:	0,799	mm/s	RMS	144	°	
27	HAB:	-0,10092451	+	i	1,29348898		
28	After test run:	remove					
29							
30	Test weight B:	1	g		0	°	
31	Test Run B-A:	2,14	mm/s	RMS	94	°	
32	HBA:	-0,24244028	+	i	0,3560099		
33	Test Run B-B:	0,781	mm/s	RMS	133	°	
34	HBB:	-0,12939656	+	i	0,45890558		
35	After test run:	remove					
36							
37	Correction A 1 1:	0,455	g		225	°	
38	Correction A 1 2:	0,707	g		270	°	
39	Correction B 1 1:	0,31	g		68	°	
40	Correction B 1 2:	1,26	g		90	°	
41							
42	Check Run A 1:	0,392	mm/s	RMS	132	°	
43	Check Run B 1:	0,186	mm/s	RMS	163	°	
44							
45	Correction A 2 1:	0,066	g		225	°	
46	Correction A 2 2:	0,14	g		270	°	
47	Correction B 2 1:	0,19	g		90	°	
48	Correction B 2 2:	0,307	g		112	°	
49							
50	Check Run A 2:	0,329	mm/s	RMS	73	°	
51	Check Run B 2:	0,0777	mm/s	RMS	109	°	
52	<END>						

Bild 102: CSV-Auswuchtprotokoll

4.7.4. Hinweise zum Auswuchten

Sollten Sie einmal nicht zum erwarteten Auswuchtziel gelangen, können folgende Maßnahmen hilfreich sein:

- Ändern Sie die Drehzahl, um möglichen Resonanzen auszuweichen.
- Experimentieren Sie mit verschiedenen Massen und Winkelpositionen (Nullwinkel) im Testlauf
- Machen Sie Versuche mit verschiedenen Sensorpositionen (horizontal, vertikal).
- Verwenden Sie eine feste Verstärkung statt Autoranging. Achten Sie darauf, dass keine Übersteuerung auftritt.
- Entfernen Sie ggf. das USB-Kabel.
- Bei stark veränderlichen Messwerten und bei niedrigen Drehzahlen kann ein empfindlicherer Beschleunigungsaufnehmer erforderlich sein.

4.8. Modul Terzbandanalyse (VC- und Nano-Kriterien)

4.8.1. Grundlagen

Dieses Modul dient für Schwingungsmessungen an sehr empfindlichen Ausrüstungen, z.B. Elektronenmikroskopen, Fotolithografieanlagen, Anlagen der Mikroelektronik und der Nanotechnologie. Zur Vereinheitlichung der Aufstellungs- und Betriebsbedingungen dieser Anlagen wurden in den achtziger Jahren die VC-Grenzwerte (Vibration Criteria) entwickelt. Es existieren die Stufen VC-A bis VC-G nach Tabelle 1.

Schwingungs-kriterium	*Schwingpegel im Terzspektrum*	*Anwendung*	*Struktur-größe*
Wahrneh-mungsgrenze	100 µm (4 – 80 Hz)	menschliche Fühlschwelle, für Schlafbereiche, Opernhäuser, Thea-ter, Mikroskope bis 100-fach	30 µm
VC-A	50 µm (4 – 80 Hz)	optische Mikroskope bis 400-fach	8 µm
VC-B	25 µm (1 – 80 Hz)	Inspektionsgeräte, anspruchsvolle Labore, Lithografiegeräte inkl. Step-per	3 µm
VC-C	12,5 µm (1 – 80 Hz)	Mikroskope bis 1000-fach, meiste Lithografie- und Inspektionsgeräte	1 µm
VC-D	6,25 µm (1 – 80 Hz)	sehr hochwertige Elektronenmikro-skope (TEM/SEM), Elektronen-strahlsysteme	0,3 µm
VC-E	3,1 µm (1 – 80 Hz)	Geräte höchster Präzision, schwer einzuhalten, vorzugsweise auf nicht unterkellerten Bodenplatten	0,1 µm
VC-F	1,6 µm (1 – 80 Hz)	extrem ruhige Forschungsräume, sehr schwer erreichbar, nur zur Cha-rakterisierung, kein Auslegungskri-terium	
VC-G	0,8 µm (1 – 80 Hz)	extrem ruhige Forschungsräume, sehr schwer erreichbar, nur zur Cha-rakterisierung, kein Auslegungskri-terium	

Tabelle 1: VC-Kriterien nach VDI 2038-2

Speziell für die Anforderungen der Nano-Technik wurden die sogenannten Nano-Kriterien mit noch schärferen Grenzwerten festgelegt (Tabelle 2).

Schwingungs-kriterium	*Schwingpegel im Terzspektrum*	*Anwendung*	*Struktur-größe*
Nano-D	1,6 µm/s von 1 bis 5 Hz, 6,4 µm/s von 20 bis 100 Hz	Sehr schwer einzuhalten, für REM der Nanotechnik, Obergeschosse mit hohen Anforderungen an Steifigkeit und Eigenfrequenz	1 nm
Nano-E	0,8 µm/s von 1 bis 5 Hz, 3,2 µm/s von 20 bis 100 Hz	Extremes Kriterium für REM der Nanotechnik, nur auf sehr massiven Bodenplatten und nur bei sehr günstigen Baugrundvoraussetzungen einhaltbar	0,2 - 0,5 nm
Nano-EF	0,53 µm/s von 1 bis 5 Hz, 2,1 µm/s von 20 bis 100 Hz	strengstes Kriterium für REM und TEM der Nanotechnik für Auflösungen im Sub-Ångströmbereich, nur unter sehr speziellen Bedingungen und besonderen Baukonstruktionen einhaltbar	<0,1 nm

Tabelle 2: Nano-Kriterien nach VDI 2038-2

Die VC- und Nano-Bewertungen erfolgen im Terz-Spektrum der Schwinggeschwindigkeit zwischen 1 und 100 Hz. Bild 103 zeigt die Grenzwertlinien im Frequenzbereich.

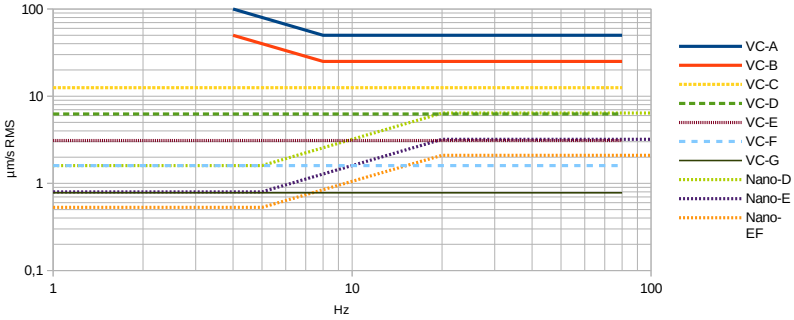


Bild 103: Grenzwertlinien der VC- und Nano-Kriterien

4.8.2. Sensoren für VC- und Nano-Kriterien

Diese Messung stellt höchste Anforderungen an die Auflösung der Schwingungsaufnehmer. Nur piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer mit hoher Empfindlichkeit kommen in Betracht.



Bild 104: Triaxialaufnehmer KS823B



Bild 105: Einachsiger Aufnehmer KS48C



Bild 106: Einachsiger Aufnehmer KB12VD

Der Triaxial- Beschleunigungsaufnehmer KS823B (Bild 104) und der einachsige KS48C (Bild 105) eignen sich für Messungen bis VC-D. Der extrem hochauflösende einachsige KB12VD (Bild 106) kann bis VC-G bzw. Nano-EF eingesetzt werden. Für die Montage einachsiger Sensoren in drei Raumrichtungen bietet Metra Triaxial-Montagewürfel als Zubehör an (Bild 108).

Ein weiteres zweckmäßiges Zubehör für die Sensoraufstellung auf Böden ist die Dreifuß-Bodenplatte Typ 729 (Bild 107).



Bild 107: Dreifuß-Bodenplatte Typ 729



Bild 108: Triaxial-Montagewürfel

Sensoren für das Modul Terzbandanalyse müssen an Eingang 1 angeschlossen werden.

4.8.3. Messung

Das VM80 misst dreikanalig das Terz-Spektrum der Schwinggeschwindigkeit. Damit kann in drei Raumrichtungen (X/Y/Z) oder an drei verschiedenen Positionen gleichzeitig gemessen werden. Bild 109 zeigt beispielhaft die Messwertanzeige.

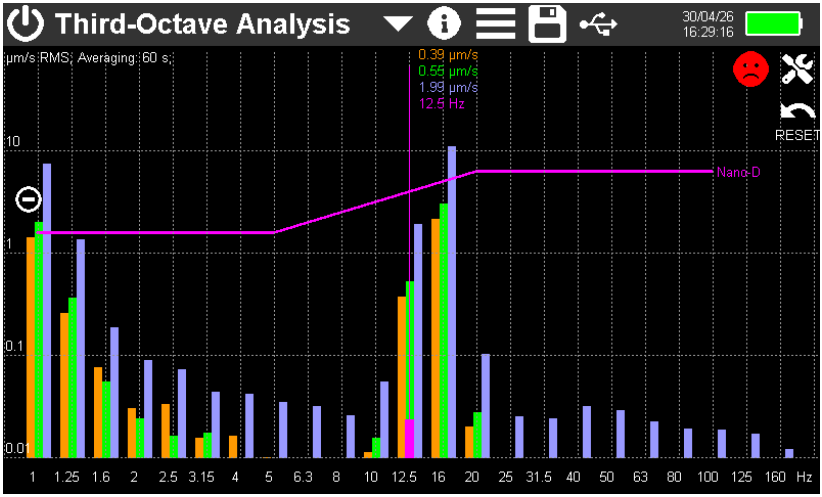


Bild 109: Terzbandanalyse am Beispiel für Nano-D

Im oberen Teil befindet sich die einheitliche Menüleiste, die in Abschnitt 3.3 beschrieben wird.

Es werden für jeden Messkanal 23 Terzbänder von 1 bis 160 Hz angezeigt. Die violette Grenzwertlinie entspricht den Werten aus Tabelle 1 bzw. 2. Der Messcursor kann an seinem unteren Ende über das Spektrum bewegt werden und zeigt am oberen Ende die drei Amplituden und die Frequenz an.

Mit den Tasten +/- können Sie die Skalierung der Amplitudenachse ändern.

In der oberen linken Ecke werden der Anzeigemodus (RMS/Peak) und die Mittelungsdauer angezeigt.

Oben rechts sehen Sie einen Alarmindikator in Form eines Smileys. Dieser erscheint grün, wenn die höchste Amplitude im zu überwachenden Frequenzbereich unter 80 % des Grenzwerts liegt. Zwischen 80 und 100 % ist der Indikator gelb, darüber rot. Amplituden außerhalb des Bereichs der Grenzwertlinie werden nicht berücksichtigt.

➔ Trennen Sie bei hochempfindlichen Messungen immer das VM80 vom USB-Anschluss, um Störungen zu minimieren.

➔ Vermeiden Sie bei sehr empfindlichen Messungen Zugluft oder Temperaturschwankungen an Sensor und Messgerät. Wir empfehlen dazu Schutzhüllen aus Isoliermaterial, z.B. Schaumstoff.

Über die Schaltfläche öffnen Sie das Einstellungsmenü (Bild 110).

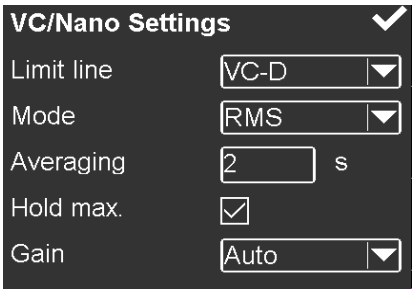


Bild 110: Menü für Einstellungen

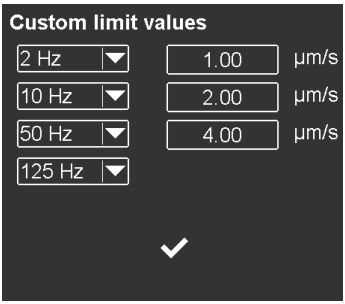


Bild 111: Individuelle Grenzwerte

Im Menü **Grenzlinie** (Limit line) wählen Sie das gewünschte Schwingungskriterium. Es besteht die Möglichkeit, neben den VC- und Nano-Kriterien auch eigene Grenzwerte festzulegen. Dazu wählen Sie „Individuell“ bzw. „Custom“, worauf sich das Menü zur Eingabe der Grenzwerte öffnet (Bild 111). Hier können drei Bereiche definiert werden. Die erste Frequenz ist die tiefste Frequenz, ab der überwacht wird. Spektrallinien darunter werden nicht ausgewertet. Daneben steht die Amplitude, die bis zur zweiten Frequenz gilt usw. Die vierte Frequenz markiert das obere Ende des Überwachungsbereichs. Spektrallinien darüber werden nicht ausgewertet. Die Frequenzen müssen in geordneter Reihenfolge gewählt werden. Die Amplituden können im Bereich von 0,1 bis 1000 µm/s liegen. Bild 112 zeigt die aus dem Beispiel von Bild 111 resultierende Grenzwertlinie.

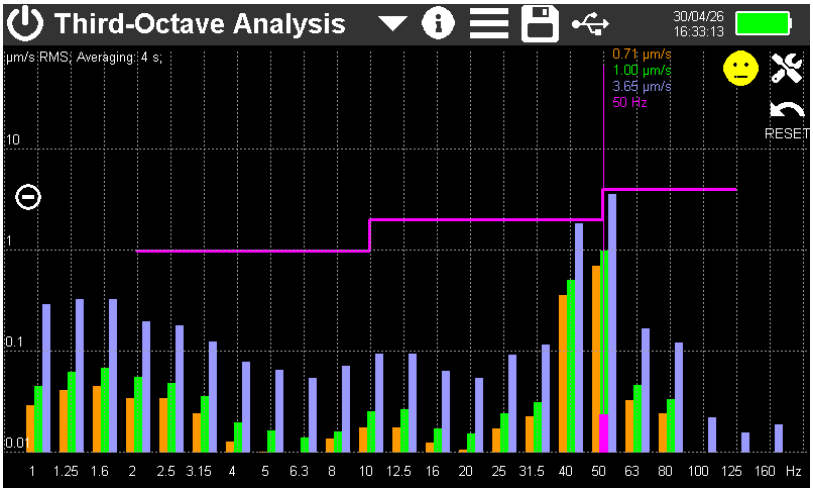


Bild 112: Individuelle Grenzwertlinie aus Bild 111

Im Menü **Modus** (Mode) können Sie wählen, ob das Spektrum der Effektivwerte (1 s Mittelungsdauer) oder der Spitzenwerte gemessen wird.

Unter **Mittelung** (Averaging) stellen Sie ein, über welchen Zeitraum die Spektren gemittelt werden sollen. Je nach ausgewähltem Modus werden die je Sekunde gemessenen Effektivwerte oder die Spitzenwerte gemittelt. Die Mittelung findet für jeden Kanal und jedes Frequenzband separat statt. Die Maximaldauer ist 3600 s (1 h). Bei Eingabe von 1 s erfolgt keine Mittelung.

Mit der Option **Max. halten** (Hold max.) bleiben die jeweils größten Spektrallinien im Diagramm stehen. Sie werden in der jeweiligen Kanalfarbe abgedunkelt ausgegeben (Bild 113). Die Maximalwerte werden vor der Mittelung bestimmt und bilden daher auch kurzzeitige Schwankungen (Transienten) ab.

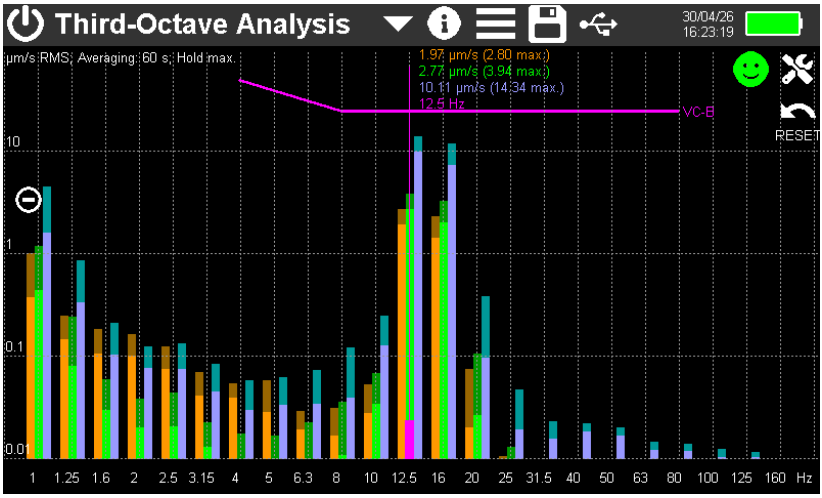


Bild 113: Terzspektrum mit gehaltenen Maximalamplituden

Mit der Reset-Taste RESET wird der Diagramminhalt gelöscht. Die Maximalwerte werden zurückgesetzt und die Mittelung neu begonnen.

Die **Verstärkung** (Gain) wird in der Regel auf Auto oder 100 eingestellt.

4.8.4. Speicherung

Für die Messwertspeicherung gibt es folgende Möglichkeiten (vgl. Speichermenü in Bild 114):

- **Bei Alarm** (at alarm): Bei jeder Überschreitung der Grenzlinie wird eine Messung gespeichert. Um die Speicherung zu starten, öffnen Sie durch Berühren von das Speichermenü und wählen CSV-Speicherung. Sie können hier den Dateinamen eingeben oder die Vorgabe aus Datum und Uhrzeit verwenden (Beispiel: “OCTAVE_260607_100645.csv”). Der Speicherknopf erscheint danach in gelb mit dem Text „LOG“. Bei jedem Überschreiten der Grenzlinie wird eine Zeile an die Datei angehängt. Dies geschieht so lange, bis erneut der Speicherknopf gedrückt wird.
- **Je Sekunde** (per second): In diesem Modus wird auch ohne Überschreitung der Grenzlinie pro Sekunde eine Messung gespeichert. Es werden nur die gemittelten Spektren, nicht aber die Maximalspektren gespeichert. Soll keine Mittelung erfol-

gen, wird im Einstellmenü unter „Mittelung“ 1 s eingegeben. Durch erneutes Berühren von wird die Aufzeichnung beendet. Nach 24 Stunden wird die CSV-Datei geschlossen und automatisch eine neue erstellt. Diese erhält den gleichen Dateinamen mit der Ergänzung „..._a.csv“, die nächste „..._b.csv“, bis die Aufzeichnung nach 27 Tagen bei „..._z.csv“ beendet wird.

- **Einmal** (once) speichert das gemittelte und das Maximalwertspektrum einmalig nach Drücken der CSV-Taste.

Für alle drei Speichermodi kann eine **Verzögerung** (delay) bis zum ersten Speichervorgang von 0 bis 36 000 s (10 h) eingegeben werden.

In den Modi „Bei Alarm“ und „Je Sekunde“ kann auch die **Dauer** (duration) angegeben werden. Bei Eingabe von Null ist die Speicherung unbegrenzt. Die Maximaldauer beträgt 36 000 s (10 h).

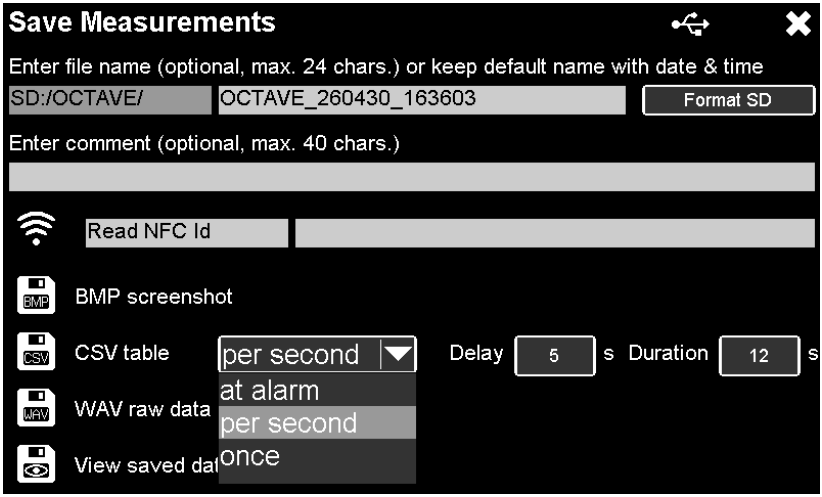


Bild 114: Speichermenü für die Terzbandanalyse

Bild 115 zeigt ein Beispiel für eine CSV-Datei, die im Modus „je Sekunde“ erstellt wurde. Die Kopfdaten enthalten Angaben zu Messgerät und Sensor, Verstärkung, Datum und Uhrzeit sowie das gewählte Schwingungskriterium.

Die Messwerte werden tabellarisch ausgegeben. Im Tabellenkopf stehen für jede Spalte die Frequenz, der Messkanal und der Grenzwert.

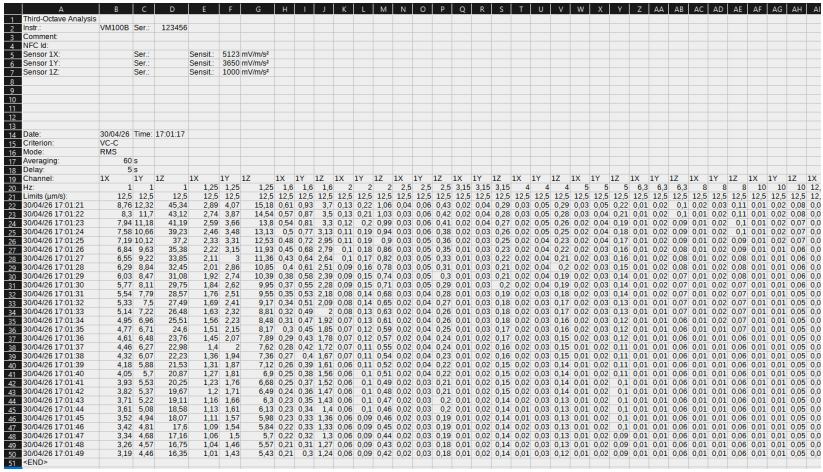
Ab Zeile 22 folgen die Messwerte mit Zeitstempel. An jedem Speicherzeitpunkt werden pro Terzband die drei Schwinggeschwindigkeiten in µm/s ausgegeben.

Die CSV-Datei endet mit der Zeichenkette „<END>“. Wurde der Abbruch der Speicherung durch Entladung der Batterie herbeigeführt, endet die Aufzeichnung mit „<BAT>“.

Im Modus „bei Alarm“ würde die Datei ähnlich aussehen, jedoch wären nur Messdaten vorhanden, bei denen die Grenzlinie überschritten wird.

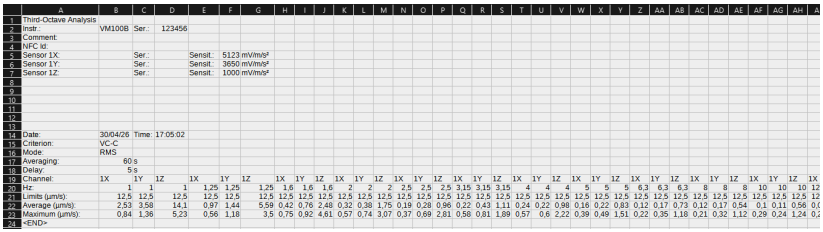
Bild 116 zeigt eine CSV-Datei, die im Modus „einmal“ erzeugt wurde. Anders als in Bild 115 sind bei diesem Modus immer nur zwei Zeilen mit Spektralwerten vorhan-

den. Die erste Zeile enthält das gemittelte Spektrum (Average), die zweite das Maximalwertspektrum (Maximum).



	A	B	C	D	E	F	G
1	Third-Octave Analysis						
2	Instr.:	VM100B	Ser.:	123456			
3	Comment:						
4	NFC Id:						
5	Sensor 1X:		Ser.:		Sensit.:	5123	mV/m/s²
6	Sensor 1Y:		Ser.:		Sensit.:	3650	mV/m/s²
7	Sensor 1Z:		Ser.:		Sensit.:	1000	mV/m/s²
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14	Date:	30/04/26	Time:	17:01:17			
15	Criterion:	VC-C					
16	Mode:	RMS					
17	Averaging:	60 s					
18	Delay:	5 s					
19	Channel:	1X	1Y	1Z	1X	1Y	1Z
20	Hz:	1	1	1	1,25	1,25	1,25
21	Limits (µm/s):	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
22	30/04/26 17:01:21	8,76	12,32	45,34	2,89	4,07	15,18
23	30/04/26 17:01:22	8,3	11,7	43,12	2,74	3,87	14,54
24	30/04/26 17:01:23	7,94	11,18	41,18	2,59	3,66	13,8
25	30/04/26 17:01:24	7,58	10,66	39,23	2,46	3,48	13,13
26	30/04/26 17:01:25	7,19	10,12	37,2	2,33	3,31	12,53
27	30/04/26 17:01:26	6,84	9,63	35,38	2,22	3,15	11,93
28	30/04/26 17:01:27	6,55	9,22	33,85	2,11	3	11,36
29	30/04/26 17:01:28	6,29	8,84	32,45	2,01	2,86	10,85
30	30/04/26 17:01:29	6,03	8,47	31,08	1,92	2,74	10,38
31	30/04/26 17:01:30	5,77	8,11	29,75	1,84	2,62	9,95
32	30/04/26 17:01:31	5,54	7,79	28,57	1,76	2,51	9,55
33	30/04/26 17:01:32	5,33	7,5	27,49	1,69	2,41	9,17
34	30/04/26 17:01:33	5,14	7,22	26,48	1,63	2,32	8,81
35	30/04/26 17:01:34	4,95	6,96	25,51	1,56	2,23	8,48
36	30/04/26 17:01:35	4,77	6,71	24,6	1,51	2,15	8,17
37	30/04/26 17:01:36	4,61	6,48	23,76	1,45	2,07	7,89
38	30/04/26 17:01:37	4,46	6,27	22,98	1,4	2	7,62
39	30/04/26 17:01:38	4,32	6,07	22,23	1,36	1,94	7,36
40	30/04/26 17:01:39	4,18	5,88	21,53	1,31	1,87	7,12
41	30/04/26 17:01:40	4,05	5,7	20,87	1,27	1,81	6,9
42	30/04/26 17:01:41	3,93	5,53	20,25	1,23	1,76	6,68
43	30/04/26 17:01:42	3,82	5,37	19,67	1,2	1,71	6,49
44	30/04/26 17:01:43	3,71	5,22	19,11	1,16	1,66	6,3
45	30/04/26 17:01:44	3,61	5,08	18,58	1,13	1,61	6,13
46	30/04/26 17:01:45	3,52	4,94	18,07	1,11	1,57	5,98
47	30/04/26 17:01:46	3,42	4,81	17,6	1,09	1,54	5,84
48	30/04/26 17:01:47	3,34	4,68	17,16	1,06	1,5	5,7
49	30/04/26 17:01:48	3,26	4,57	16,75	1,04	1,46	5,57
50	30/04/26 17:01:49	3,19	4,46	16,35	1,01	1,43	5,43
51	<END>						

Bild 115: CSV-Datei mit Messwerten in Sekundenintervallen (Ausschnitt bis 10 Hz)



	A	B	C	D	E	F	G
1	Third-Octave Analysis						
2	Instr.:	VM100B	Ser.:	123456			
3	Comment:						
4	NFC Id:						
5	Sensor 1X:		Ser.:		Sensit.:	5123	mV/m/s²
6	Sensor 1Y:		Ser.:		Sensit.:	3650	mV/m/s²
7	Sensor 1Z:		Ser.:		Sensit.:	1000	mV/m/s²
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14	Date:	30/04/26	Time:	17:05:02			
15	Criterion:	VC-C					
16	Mode:	RMS					
17	Averaging:	60 s					
18	Delay:	5 s					
19	Channel:	1X	1Y	1Z	1X	1Y	1Z
20	Hz:	1	1	1	1,25	1,25	1,25
21	Limits (µm/s):	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
22	Average (µm/s):	2,53	3,58	14,1	0,97	1,44	5,59
23	Maximum (µm/s):	0,84	1,36	5,23	0,56	1,18	3,5
24	<END>						

Bild 116: CSV-Datei im Modus "einmal" (Ausschnitt bis 10 Hz)

Alternativ kann das Diagramm als BMP-Bildschirmfoto gespeichert werden.

Die gespeicherten Messungen befinden sich auf der Speicherkarte im Ordner „OCTAVE“.

Weitere Hinweise zur Messwertspeicherung finden Sie in Abschnitt 5

4.9. Modul Humanschwingung

4.9.1. Einführung

Unter Humanschwingung versteht man Schwingungen, die auf den Menschen einwirken. Quellen solcher Schwingungen können zum Beispiel Maschinen oder Fahrzeuge sein. Man bewertet solche Schwingungen unter dem Gesichtspunkt des Arbeitsschutzes (Gesundheitsbewertung) oder des Komforts.

Grundsätzlich wird zwischen Hand-Arm-Schwingung und Ganzkörper-Schwingung unterschieden. Die Unterschiede liegen sowohl in der Sensorik als auch im Messverfahren.

4.9.2. Hand-Arm-Schwingung

4.9.2.1. Grundlagen

Das VM80 unterstützt die Messung von Hand-Arm-Vibrationen nach ISO 5349 und VDI 2057 an einem oder zwei Handgriffen. Es handelt sich dabei um Vibrationen, die über die Hand in den Körper eingeleitet werden. Diese können z.B. Durchblutungsstörungen, Knochen- oder Gelenkschäden und Muskelerkrankungen hervorrufen. Relevant für die Bewertung der so gemessenen Vibrationen ist die EU-Richtlinie 2002/44/EG. Den vollständigen Text erhalten Sie unter https://eur-lex.europa.eu/. Die Richtlinie beinhaltet Mindestanforderungen zum Schutz der Gesundheit von Arbeitnehmern vor Gefährdung durch Vibrationen. Die Hersteller von Maschinen und Geräten sowie Arbeitgeber, die diese einsetzen, sind aufgefordert, eine Risikoanalyse hinsichtlich der Schwingungsbelastung des Bedieners durchzuführen. Die Risikoanalyse kann auf Basis von Herstellerangaben zum Ausmaß der Vibration unter Beobachtung spezifischer Arbeitsweisen oder durch Messung erfolgen. Die Richtlinie legt folgende Grenzwerte fest:

	Hand-Arm, RMS
Auslösewert	2,5 m/s²
Expositionsgrenzwert	5 m/s²

Wird der **Auslösewert** überschritten, sind technische und organisatorische Maßnahmen zur Verringerung der Schwingungsbelastung einzuleiten.

Der **Expositionsgrenzwert** darf keinesfalls überschritten werden. Sollte dies geschehen sein, sind unverzüglich Maßnahmen zur Senkung der Schwingungsbelastung zu treffen.

Die Schwingungsbelastung kann auf Basis von Stichprobenmessungen ermittelt werden.

Die oben genannten Grenzwerte entsprechen dem normierten **Tagesexpositionswert A(8)**, der sich auf einen Arbeitstag von 8 Stunden bezieht. Diese Rechengröße dient zum einfachen Vergleich von Schwingungseinwirkungen. Zur Ermittlung von A(8) ist keine achtstündige Messung erforderlich. Man führt lediglich Kurzzeitmessungen während repräsentativer Arbeitsabschnitte durch und normiert die Ergebnisse auf acht Stunden. Der Tagesexpositionswert errechnet sich nach Gleichung 1.

$$A(8) = a_v \sqrt{\frac{T_e}{T_0}}$$ Gleichung 1

Dabei sind:

A(8) der Tagesexpositionswert

a_v der energieäquivalente Mittelwert (Schwingungsgesamtwert) der frequenzbewerteten Beschleunigung während der Einwirkungsdauer, das heißt, die Vektorsumme der mit dem Filter Wh frequenzbewerteten Effektivwerte in den Richtungen X/Y/Z.

$$a_v = \sqrt{a_{wx}^2 + a_{wy}^2 + a_{wz}^2}$$ Gleichung 2

T_e die Dauer der Schwingungsbelastung pro Arbeitstag

T_0 die Bezugsdauer von 8 Stunden

Der Tagesexpositionswert kann sich aus mehreren Belastungsabschnitten mit unterschiedlichen Schwingamplituden zusammensetzen. Dies trifft zu, wenn z.B. längere Unterbrechungen vorliegen, Arbeitsmittel oder deren Einsatzbedingungen wechseln. Ein Belastungsabschnitt zeichnet sich durch annähernd gleichbleibende Schwingungsbelastung mit einem Anteil von Unterbrechungen unter 10 % aus. Ein aus mehreren Belastungsabschnitten resultierende Tagesexpositionswert berechnet sich nach Gleichung 3.

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^{n} a_{wi}^2 T_{ei}}$$ Gleichung 3

Dabei sind:

A(8) der Tagesexpositionswert

a_{wi} die energieäquivalenten Mittelwerte bzw. Vektorsummen (a_w) der der mit dem Filter Wh frequenzbewerteten Beschleunigungen während der i-ten Tätigkeit

n die Anzahl von Tätigkeiten

T_{ei} die Dauer der i-ten Tätigkeit

T_0 die Bezugsdauer von 8 Stunden

Die Schwingbeschleunigung jeder drei Messachsen (X/Y/Z) wird mit der Frequenzbewertung Wh nach ISO 8041-1 ermittelt. Betrachtet wird der Bereich von 6,3 bis 1250 Hz. Aus Bild 117 ist ersichtlich, dass tiefe Frequenzen stärker in die Bewertung einfließen als hohe.

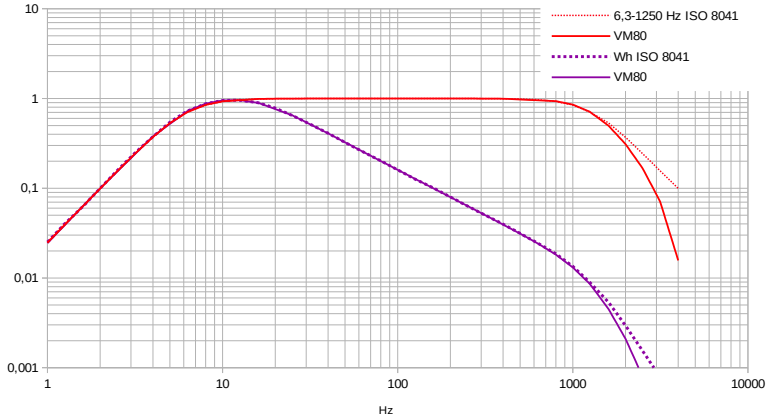


Bild 117: Bandbegrenzung 6,3 – 1250 Hz und Frequenzbewertung Wh

Für Kalibrier- und Testzwecke ist auch eine unbewertete Messung möglich. In diesem Fall wird nur die Bandbegrenzung von 6,3 bis 1259 Hz (-3 dB) wirksam.

4.9.2.2. Hand-Arm-Stoßvibration nach ISO 5349-3

Die überarbeitete EU-Maschinenverordnung (EU) 2023/1230 legt fest, dass ab 2027 die Betriebsanleitung von handgehaltenen oder handgeführten tragbaren Maschinen und dazugehörigen Produkten Angaben über die von ihnen ausgehenden Vibrationen enthalten muss. Es handelt sich dabei um den Schwingungsgesamtwert aus kontinuierlichen Vibrationen (vgl. Abschnitt 4.9.2.1) sowie den Mittelwert der Spitzenamplitude der Beschleunigung aus wiederholten Stoßvibrationen.

Zur Ermittlung von Stoßvibrationen, die auf das Hand-Arm-System einwirken, legt ISO 5349-3 das Messverfahren fest. Die verwendete Messtechnik entspricht dabei ISO 8041-1. Als Messgröße wird die Spitzenamplitude **VPM** (Vibration Peak Magnitude) eingeführt. Sie repräsentiert den mittleren Spitzenwert der Beschleunigung und wird gebildet aus der Summe der sechsten Potenzen der Beschleunigung geteilt durch die Summe der vierten Potenzen. As dem Quotienten wird die Wurzel gebildet:

$$VPM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N} a_i^6}{\sum_{i=1}^{i=N} a_i^4}}$$

Gleichung 4

Der VPM-Wert hat die Maßeinheit m/s². Die Messung der Beschleunigung erfolgt mit dem nach ISO 8041-1 bandbegrenzten, aber unbewerteten Signal (Bild 117).

Zusatzinformationen zur Charakterisierung handübertragener Stoßvibration liefert der Vibration Shock Index **VSI**. Er wird aus dem Quotienten von VPM und Effektivwert berechnet und entspricht etwa dem Scheitelfaktor.

$$VSI = \frac{VPM}{RMS} * \sqrt{2/3}$$ Gleichung 5

Anders als der Scheitelfaktor wird VSI bei rein sinusförmigen Signalen näherungsweise 1.

Zusätzlich kann die Wiederholrate der Stöße **R** ermittelt werden.

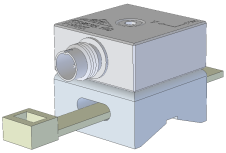
4.9.2.3. Hand-Arm-Sensoren

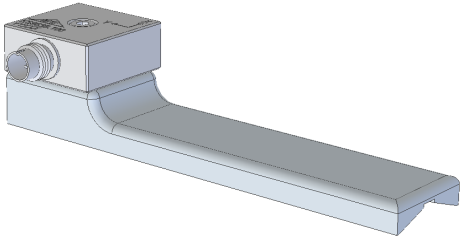
Metra empfiehlt für Hand-Arm-Messungen den Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer KS963B10.



Bild 118: KS963B10

Wählen Sie einen Messpunkt aus, der sich möglichst dicht an den Greifpunkten der Hand befindet, ohne jedoch den normalen Arbeitsvorgang zu behindern. Die Messung soll unter Anwendung von Kräften erfolgen, die typischen Betriebsbedingungen entsprechen. Da die Griffe von Arbeitsgeräten meist keine ebenen Flächen zum Ankleben oder Anschrauben des Sensors aufweisen, bietet Metra Ankoppelzubehör für gewölbte Flächen an.


Bild 120: Spannbandadapter 141B


Bild 119: Handgehaltener Adapter 143B

Der Adapter Typ 141B wird mit einem Kabelbinder befestigt. Der Adapter Typ 143B wird mit der Hand an den Griff gedrückt.

Wichtig ist eine feste Ankopplung des Sensors. Er darf keine Eigenbewegung aufweisen, da dies die Schwingungsmessung verfälschen könnte.

Bild 121 zeigt die Koordinatenausrichtung, die bei der Montage des Sensors zu beachten ist. Bei zylindrischen Griffen liegt die Y-Achse parallel zur Achse des Griffes. Die Z-Achse liegt etwa in der Verlängerung des dritten Mittelhandknochens.

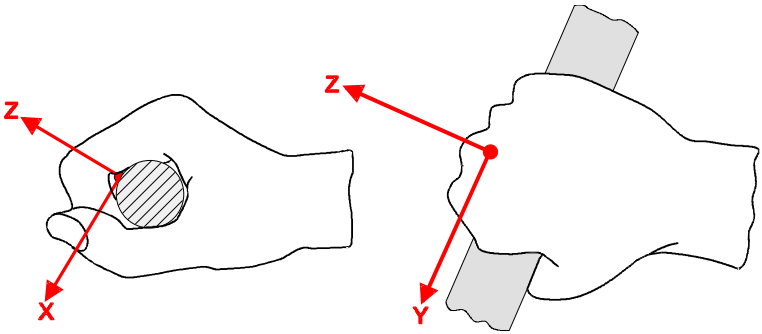


Bild 121: Koordinatensystem der Hand (aus ISO 5349-1)

4.9.3. Ganzkörper-Schwingung

4.9.3.1. Grundlagen

Das VM80 unterstützt die Messung von Ganzkörper-Vibrationen nach ISO 2631. Dabei handelt es sich um Vibrationen, die über Gesäß und Rücken des sitzenden Menschen, die Füße des stehenden Menschen sowie Kopf und Rücken des liegenden Menschen einwirken. Diese können z.B. zu Rückenschmerzen und Schädigungen der Wirbelsäule führen. Relevant für die Bewertung der so gemessenen Vibrationen ist die EU-Richtlinie 2002/44/EG. Die Richtlinie legt folgende Grenzwerte fest:

	Ganzkörper, RMS	**Ganzkörper, VDV**
Auslösewert	0,5 m/s²	9,1 $m/s^{1,75}$
Expositionsgrenzwert	1,15 m/s²	21 $m/s^{1,75}$

Wird der **Auslösewert** überschritten, sind technische und organisatorische Maßnahmen zur Verringerung der Schwingungsbelastung einzuleiten.

Der **Expositionsgrenzwert** darf keinesfalls überschritten werden. Sollte dies geschehen sein, sind unverzüglich Maßnahmen zur Senkung der Schwingungsbelastung zu treffen.

Die Schwingungsbelastung kann auf Basis von Stichprobenmessungen ermittelt werden.

Die oben genannten Grenzwerte entsprechen dem normierten **Tagesexpositionswert A(8)**, der sich auf einen Arbeitstag von 8 Stunden bezieht. Diese Rechengröße dient zum einfachen Vergleich von Schwingungseinwirkungen. Zur Ermittlung von A(8) ist keine achtstündige Messung erforderlich. Man führt lediglich Kurzzeitmessungen während repräsentativer Arbeitsabschnitte durch und normiert die Ergebnisse auf acht Stunden. Der Tagesexpositionswert errechnet sich dann nach:

$$A(8) = a_w \sqrt{\frac{T_e}{T_0}}$$ Gleichung 6

Dabei sind:

$A(8)$ der Tagesexpositionswert

a_w die drei Effektivwerte a_{wx}, a_{wy} und a_{wz},
wobei folgende Frequenzbewertungen erfolgen:
X und Y mit Bewertungsfilter Wd und mit Gewichtungsfaktor 1,4
Z mit Bewertungsfilter Wk und mit Gewichtungsfaktor 1,0

T_e die Dauer der Schwingungsbelastung pro Arbeitstag (Expositionszeit)

T_0 die Bezugsdauer von 8 Stunden

Der Tagesexpositionswert kann sich aus mehreren Belastungsabschnitten mit unterschiedlichen Schwingamplituden zusammensetzen. Dies trifft zu, wenn z.B. längere Unterbrechungen vorliegen, Arbeitsmittel oder deren Einsatzbedingungen wechseln. Ein Belastungsabschnitt zeichnet sich durch annähernd gleichbleibende Schwingungsbelastung mit einem Anteil von Unterbrechungen unter 10 % aus. Ein aus mehreren Belastungsabschnitten resultierende Tagesexpositionswert berechnet sich wie folgt. Für die Richtungen X/Y/Z werden drei separate Tagesexpositionswerte ermittelt. Der größte der drei Werte wird zur Gefährdungsbeurteilung herangezogen, d.h. mit Grenzwerten nach nach der EU-Richtlinie verglichen.

$$A_x(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0}\sum_{i=1}^{n} a_{wxi}^2 T_{ei}} \qquad \text{Gleichung 7}$$

$$A_y(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0}\sum_{i=1}^{n} a_{wyi}^2 T_{ei}} \qquad \text{Gleichung 8}$$

$$A_z(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0}\sum_{i=1}^{n} a_{wzi}^2 T_{ei}} \qquad \text{Gleichung 9}$$

Dabei sind:

$A_{x/y/z}(8)$ die Tagesexpositionswerte der drei Richtungen X/Y/Z

$a_{wx/y/zi}$ die energieäquivalenten Mittelwerte (a_w) der der Beschleunigungen der drei Richtungen X/Y/Z während des i-ten Belastungsabschnitts, wobei folgende Bewertungen erfolgen:
- X und Y mit Bewertungsfilter Wd und mit Gewichtungsfaktor 1,4
- Z mit Bewertungsfilter Wk und mit Gewichtungsfaktor 1,0

n die Zahl der Belastungsabschnitte

T_{ei} die Dauer des i-ten Belastungsabschnitts

T_0 die Bezugsdauer von 8 Stunden

Die gezeigten Berechnungen des Tagesexpositionswerts basieren auf Effektivwerten (RMS).

Alternativ dazu hat sich für Ganzkörper-Schwingung, insbesondere im angelsächsischen Raum, die Berechnung auf Basis von **Schwingungsdosiswerten (VDV)** etabliert. Dabei handelt es sich um die vierte Wurzel aus der Summe der vierten Poten-

zen mit der Maßeinheit $m/s^{1,75}$. Diese Methode bewertet stoßartige Einzelvibrationen stärker als der quadratische Mittelwert.

Die Berechnung des Tagesexpositionswerts VDV(8) erfolgt nach:

$$VDV(8) = VDV \cdot \sqrt[4]{\frac{T_{\exp}}{T_{meas}}} \qquad \text{Gleichung 10}$$

Dabei sind:

VDV(8) der Tagesexpositionswert

VDV der frequenzbewertete Schwingungsdosiswert während der Einwirkung

T_{exp} die Einwirkungsdauer (Expositionszeit)

T_{meas} die Messdauer

Der Tagesexpositionswert auf Basis von VDV-Werten kann sich ebenfalls aus mehreren Belastungsabschnitten mit unterschiedlichen Schwingungsdosiswerten zusammensetzen.

Für die Richtungen X/Y/Z werden drei separate Tagesexpositionswerte ermittelt. Der größte der drei Werte wird zur Gefährdungsbeurteilung herangezogen, d.h. mit den Grenzwerten nach der EU-Richtlinie verglichen.

$$VDV_x(8) = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^{n} VDV_{xi}^4 \cdot \frac{T_{iexp}}{T_{imeas}}} \qquad \text{Gleichung 11}$$

$$VDV_y(8) = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^{n} VDV_{yi}^4 \cdot \frac{T_{iexp}}{T_{imeas}}} \qquad \text{Gleichung 12}$$

$$VDV_z(8) = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^{n} VDV_{zi}^4 \cdot \frac{T_{iexp}}{T_{imeas}}} \qquad \text{Gleichung 13}$$

Dabei sind:

$VDV_{X/Y/Z}(8)$ die Tagesexpositionswerte der drei Richtungen X/Y/Z

$VDV_{x/y/zi}$ die frequenzbewerteten Schwingungsdosiswerte der drei Richtungen X/Y/Z während des i-ten Belastungsabschnitts

T_{exp} die Einwirkungsdauer des i-ten Belastungsabschnitts

T_{meas} die Messdauer während des i-ten Belastungsabschnitts

4.9.3.2. Ganzkörper-Sensoren



Bild 122: KS963B100-S

Zur Messung von Ganzkörper-Vibrationen kommt in der Regel ein dreiachsiger Sitz-Beschleunigungsaufnehmer nach ISO 10326-1 zum Einsatz, der in ein flaches Kissen aus Gummi eingebaut ist. Er passt sich optimal an die Grenzfläche zwischen der Testperson und der Schwingungsquelle an. Metra bietet den Typ KS963B100-S an. Der Sensor muss an Eingang 1 angeschlossen sein.

Folgende Messorte kommen in Betracht:

- Die Sitzfläche bei sitzender Position
- Die Rückenlehne bei sitzender Position
- Unter den Füßen bei sitzender Position
- Unter den Füßen bei stehender Position
- Unter dem Becken bei liegender Position
- Unter dem Kopf bei liegender Position

Bild 123 zeigt die Anordnung der Koordinatenrichtungen gemäß ISO 2631. Es ist ersichtlich, dass immer die X-Achse in Blickrichtung und die Z-Achse längs der Wirbelsäule ausgerichtet ist. Der Schwingungsaufnehmer ist entsprechend auszurichten. Eine Ausnahme bildet die Sensorausrichtung bei Messungen an der Rückenlehne (vgl. Hinweis unter Tabelle 3).

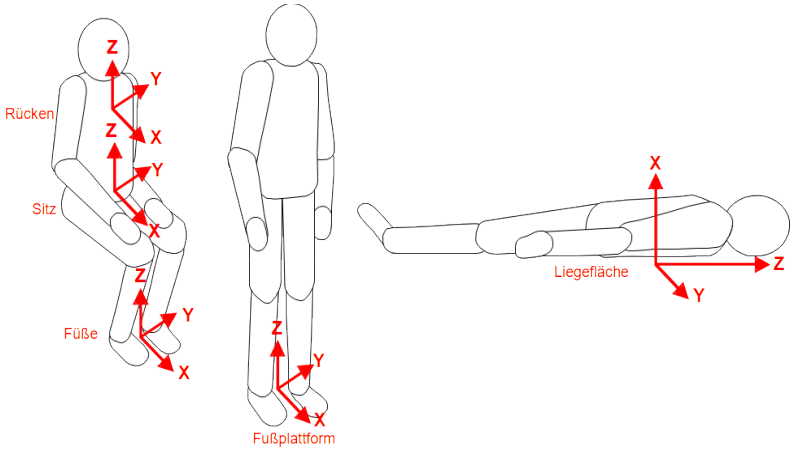


Bild 123: Koordinatensysteme für Ganzkörper-Schwingungen nach ISO 2631

Man unterscheidet bei Ganzkörper-Vibration zwischen Gesundheits- und Komfortbewertung. Je nach Körperhaltung und Bewertung unterscheiden sich die zu verwendenden Bewertungsfilter und Gewichtungsfaktoren. Tabelle 3 zeigt die Zuordnung.

Ganzkörper-Gesundheitsbewertung				
Position	*Messort*	*Sensorachse*	*Frequenz-bewertung*	*Bewertungs-faktor (k)*
Sitzend	Sitzfläche	X / Y Z	W_d W_k	1,4 1
Ganzkörper-Komfortbewertung				
Sitzend	Sitzfläche	X / Y Z	W_d W_k	1 1
	Fußplattform	X / Y Z	W_k	0,25 0,4
	Rückenlehne*	X Y Z	W_d W_d W_c	0,4 0,5 0,8
Stehend	Fußplattform	X / Y Z	W_d W_k	1 1
Liegend	Unter dem Becken	X (vertikal) Y / Z (horizontal)	W_k W_d	1 1
	Unter dem Kopf	X (vertikal)	W_j	1
In Eisenbahnen:				
Stehend Sitzend Liegend	Fußplattform Sitz/Lehne/Füße Liegefläche, Becken/ Kopf	X / Y / Z	W_b	1
Gebäude und Schiffe:				
Unbestimmt	Gebäude/Schiffe	X / Y / Z	W_m	1

Tabelle 3: Bewertungsfilter und -faktoren für Ganzkörperschwingung

* Bei Messungen an der Rückenlehne soll die Z-Achse, wie bei allen Positionen, in Richtung der Wirbelsäule liegen. Wird ein Sitzkissen-Beschleunigungsaufnehmer zwischen Mensch und Rückenlehne platziert, liegt dessen Z-Achse jedoch senkrecht zur Rückenlehne und damit auch zur Wirbelsäule. Um die richtige Achsenzuordnung herzustellen, werden für Messungen an der Rückenlehne im VM80 die Bewertungsfilter und -faktoren für X und Z getauscht, wie in der Tabelle dargestellt.

Für die Messung und Auswertung von Schwingungen auf Fahrgast- und Handelsschiffen im Hinblick auf die Erträglichkeit für den Menschen nach ISO 20283-5 eignet sich der Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer KS823B (Bild 104 auf Seite 75).

Bei der Messung von Ganzkörper-Vibrationen wird der Frequenzbereich von 0,4 bis 100 Hz betrachtet. Je nach Anwendung kommen dabei unterschiedliche Bewertungsfilter zur Anwendung. Die Bilder 124 bis 127 zeigen die im VM80 implementierten Frequenzbewertungen.

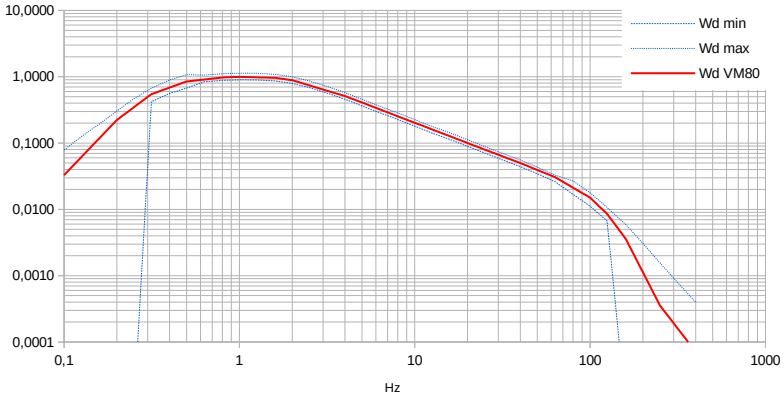


Bild 124: Bewertungsfilter Wd

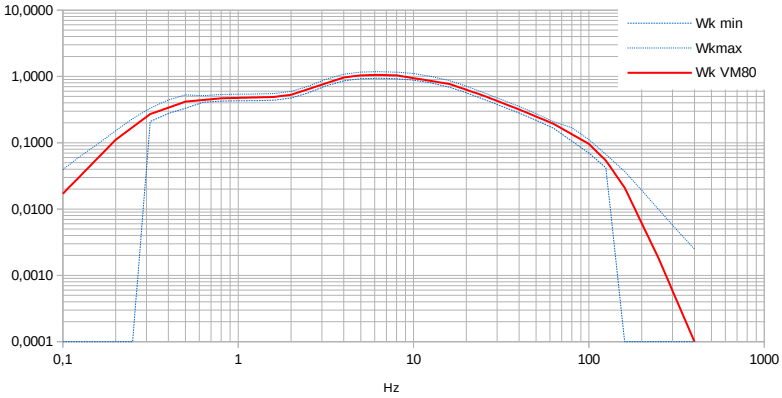


Bild 125: Bewertungsfilter Wk

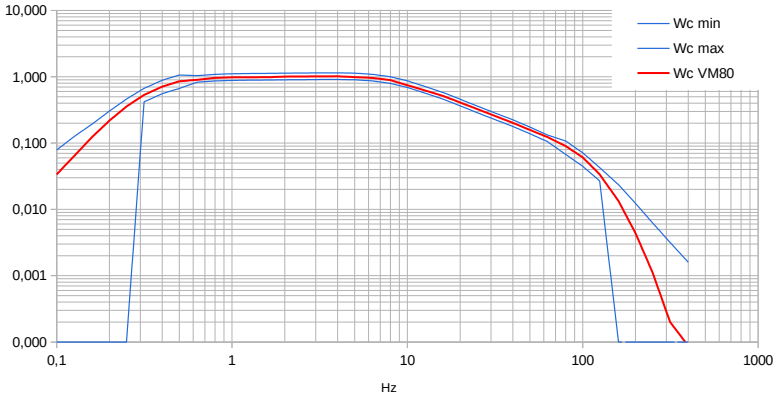


Bild 126: Bewertungsfilter Wc

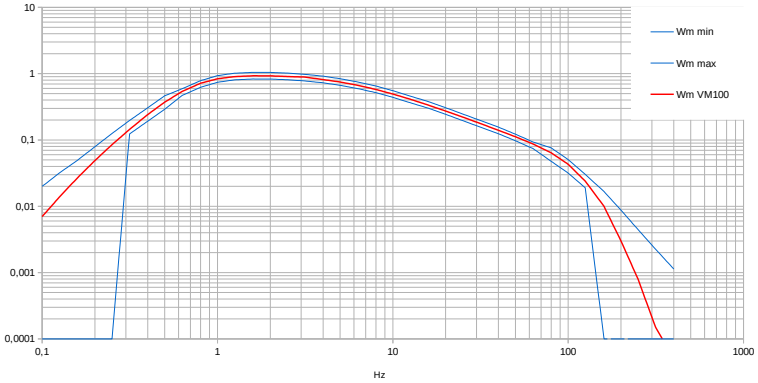


Bild 127: Bewertungsfilter Wm

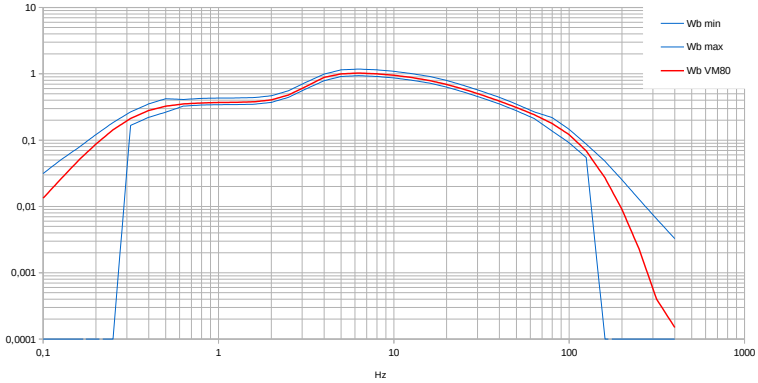


Bild 128: Bewertungsfilter Wb

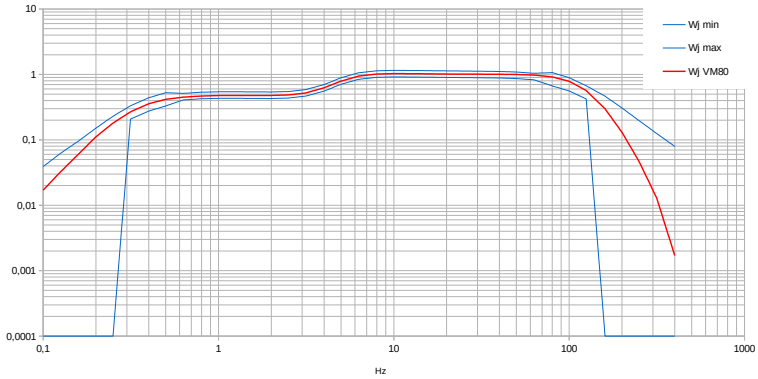


Bild 129: Bewertungsfilter Wj

Für Kalibrier- und Testzwecke ist auch eine unbewertete Messung möglich. In diesem Fall wird nur die Bandbegrenzung von 0,4 bis 100 Hz (-3 dB) wirksam.

4.9.4. Messung von Humanschwingung

4.9.4.1. Messbildschirm

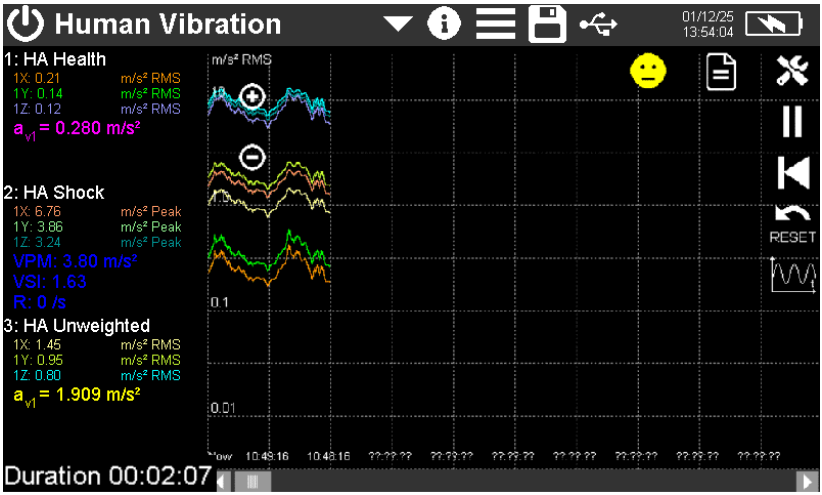


Bild 130: Messwertanzeige für drei Messungen mit einem Sensor

Bild 130 zeigt beispielhaft die Messwertausgabe für die gleichzeitige Messung in drei Hand-Arm-Modi mit nur einem Sensor. Messwert 1 ist Hand-Arm-Schwingung mit Gesundheitsbewertung, Messwert 2 Hand-Arm-Schwingung für stoßhaltige Vibration und Messwert 3 unbewertete Hand-Arm-Schwingung. Ebenso können Messungen mit bis zu drei Ganzkörper-Bewertungen gleichzeitig erfolgen.

Im oberen Teil befindet sich die einheitliche Menüleiste, die in Abschnitt 3.3 beschrieben wird.

4.9.4.2. Einstellmenü

Die Auswahl des Messverfahrens erfolgt im Einstellungsmenü, das Sie durch Drücken von  öffnen (Bild 131).

Zunächst wählen Sie den gewünschten Messmodus aus (Bild 132). Das Menü bietet die Gesundheits- und Komfortbewertungen für Hand-Arm- und Ganzkörper-Messungen sowie die Schwinggeschwindigkeit von 1 bis 100 Hz an. Unter dem Auswahlmenü werden die zugehörigen Bewertungsfilter und Faktoren angezeigt.

Es können bis zu drei verschiedene Auswertungen parallel mit dem Sensor erfolgen.

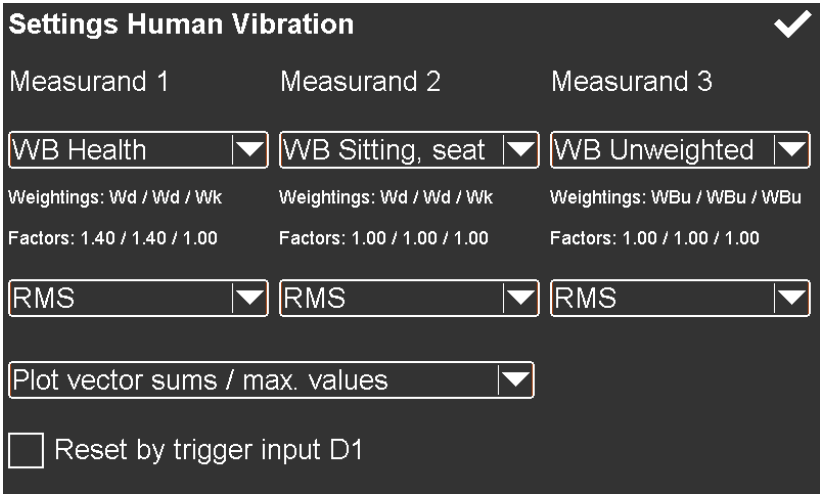


Bild 131: Einstellungsmenü für Humanschwingung

Mit dem Kennwertmenü (RMS/VDV/VPM) wählen Sie bei Ganzkörper-Schwingung, ob der Effektivwert oder der Schwingungsdosiswert (vgl. S. 86) gemessen wird. Bei Hand-Arm-Schwingung stehen RMS und VPM zur Auswahl (vgl. Abschnitt 4.9.2.2).

Das Menü darunter betrifft die Plotgrafik im Messfenster. Sie können dort entweder die Achsen-Effektivwerte pro oder die Summen- bzw. Maximalwerte darstellen. Bei Hand-Arm-Schwingung ist dies die Vektorsumme und bei Ganzkörper-Schwingung der größte der drei Intervall-Effektivwerte.

Bei den im Diagramm dargestellten Achsen-Effektivwerten handelt es sich um gleitende Effektivwerte mit 1 s Mittelungsdauer. Damit zeigt die Plotgrafik auch Kurzzeitschwankungen, die im Intervall-Effektivwert nicht sichtbar werden.

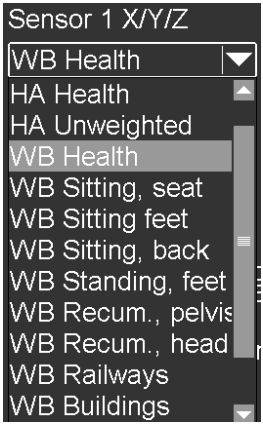


Bild 132: Messmodus

4.9.4.3. Reset vor der Messung

Wichtig: Vor jeder Messung müssen die Messwerte auf Null gesetzt werden. Dies geschieht durch die Reset-Schaltfläche 

auf dem Messbildschirm, nachdem die zu untersuchende Schwingungseinwirkung begonnen hat.

Alternativ kann der Reset auch über einen High-Low-Übergang am Digitaleingang D1 (vgl. Abschnitt 3.1) ausgelöst werden. Dazu wird das Häkchen im Einstellmenü gesetzt (Bild 131). Die Beschaltung des Digitaleingangs für eine externen Reset-Taste zeigt Bild 133.

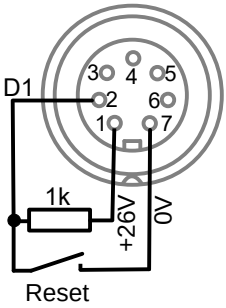


Bild 133: Reset an D1

4.9.4.4. Messdaueranzeige

Unten links sehen Sie die abgelaufene Messdauer. Dies ist die Zeit, während der die gemessenen Effektivwerte oder VDV-Werte gemittelt werden. Je länger die Messung dauert, desto stabiler werden die Ergebnisse. Die Messdauer sollte bei Hand-Arm-Schwingung mindestens eine halbe Minute und bei Ganzkörper-Schwingung mindestens 2 Minuten betragen.

Entscheidend für die Messdauer ist jedoch, dass sich der energieäquivalente Mittelwert nur noch unwesentlich ändert.

4.9.4.5. Messwerte

Im linken Bildschirmbereich werden die Intervall-Effektivwerte der drei Sensorachsen ausgegeben. Das können je nach Gerätetyp und angeschlossenen Sensoren bis zu neun Werte sein.

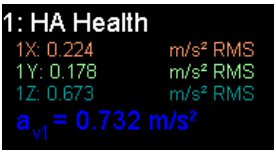
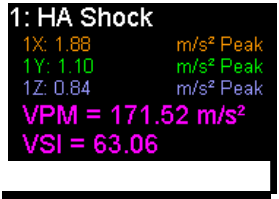


Bild 134: Messwertanzeige bei Hand-Arm-Schwingung

Bei Hand-Arm-Messung wird zu jedem Sensor der energieäquivalente Mittelwert (Schwingungsgesamtwert) a_v angezeigt (Bild 134). Dieser wird zur Berechnung des Tagesexpositionswerts A(8) (vgl. Abschnitt 4.9.2.1) herangezogen.

Für stoßhaltige Hand-Arm-Schwingung (Abschnitt 4.9.2.2) wird der Mittelwert der Spitzenamplitude VPM ausgegeben. Als Zusatzinformation zeigt das Gerät den Vibration Shock Index VSI sowie die Wiederholrate der Stöße R an.



Für Ganzkörper-Schwingung wird der größte der drei Achsenwerte ermittelt, welcher nach ISO 2631 zur Berechnung des Tagesexpositionswerts A(8) herangezogen wird (vgl. Abschnitt 4.9.3.1).

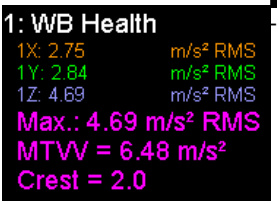


Bild 136: Messwertanzeige bei Ganzkörper-Messung

Nach ISO 2631-1 unterscheidet man zwischen der Basisbewertung über den Intervall-Effektivwert und der Zusatzbewertung über den Schwingungsdosiswert (VDV). Der Schwingungsdosiswert sollte herangezogen werden, wenn die Schwingungen sehr stoßhaltig

sind. Als Entscheidungskriterium empfiehlt ISO 2631-1 den Scheitelwert (Crest-Faktor). Dabei handelt es sich um den Quotienten aus dem Spitzenwert und dem Intervall-Effektivwert. Liegt der Crest-Faktor unter 9, genügt in der Regel die Basisbewertung. Liegt er darüber, sollte der VDV-Wert gemessen werden.

Der MTVV (Maximum Transient Vibration Value) liefert ebenfalls eine Aussage über die Stoßhaltigkeit. Er steht für den größten gemessenen Effektivwert mit 1 s Mittelungsdauer. Crest-Faktor und MTVV werden unter den Effektivwerten ausgegeben (Bild 136).

Bei Messung der Schwinggeschwindigkeit von 1 bis 100 Hz wird die Vektorsumme v_v von X/Y/Z angezeigt.

Bei Übersteuerung des Sensoreingangs wird anstelle des Messwerts „OVER!“ angezeigt. Diese Mitteilung verschwindet wieder, sobald der Messwert im gültigen Bereich ist. Zusätzlich erscheint „OVER!“ in Rot bei den Summen-/Maximalwerten (Bild 137). Diese Meldung verschwindet erst nach Drücken von Reset RESET. Sie zeigt an, dass während der Messdauer ungültige Werte gemessen wurden.

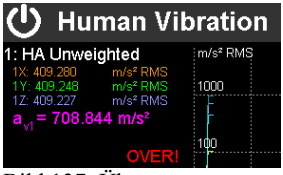


Bild 137: Übersteuerung

4.9.4.6. Zeitverlaufsdiagramm

Den größten Teil des Messbildschirms nimmt das Zeitverlaufsdiagramm ein.

Das Schreiben der Graphen beginnt erst 15 s nach Start des Messung, um Einschwingvorgänge zu unterdrücken. Durch Berühren der diesbezüglichen Meldung im Diagramm kann die Wartezeit übersprungen werden.

Die Messwertanzeige kann mit ⏸ und ▶ pausiert bzw. neu gestartet werden. Dabei läuft die Messung im Hintergrund weiter.

Die Schaltfläche ⏮ startet den Plotter neu.

Mit den Schaltflächen ⊕ und ⊖ lässt sich die Amplitudenachse skalieren.

Alle Messwerte werden in der jeweiligen Kanalfarbe dargestellt.

Anders als bei den Zahlenwerten links handelt es sich bei den Graphen um Effektivwerte mit 1 s Mittelungsdauer. Dadurch werden auch kurzzeitige Veränderungen sichtbar. So lassen sich zum Beispiel Störungen während der Messzeit erkennen oder Einzelereignisse detektieren, wie das Überfahren einer Schwelle mit einem Gabelstapler.

Alternativ können auch die Schwingungsgesamtwerte bzw. Maximalwerte dargestellt werden (vgl. Bild 131).

4.9.4.7. Signalformdiagramm

Mit der Schaltfläche öffnet sich ein Fenster, das die aktuell gemessene Signalform grafisch darstellt. Bild 138 zeigt ein Beispiel für die Signalformausgabe. Die dargestellte Signalform ist ungefiltert und unbewertet.

Die Größe des Diagramms ist mit und veränderbar. Die Amplitudenachse wird automatisch angepasst. Die Zeitachse ist einstellbar.

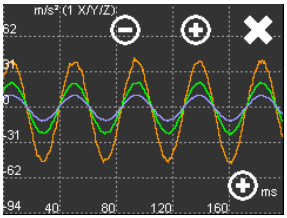


Bild 138: Signalformanzeige

4.9.4.8. Anzeige der Expositionszeit

Das VM80 berechnet die Expositionszeit, bei der mit den aktuell gemessenen Werten der Auslösewert und der Expositionsgrenzwert nach EU-Richtlinie 2002/44/EG erreicht würden. Bei Hand-Arm-Schwingung erfolgt dies auf Basis der energieäquivalenten Mittelwerte, bei Ganzkörper-Schwingung mit dem größten der drei Achsenwerte. Zur Berechnung wird die nach der Expositionszeit umgestellte Gleichung 6 bzw. Gleichung 10 verwendet.

Durch Drücken von öffnen sich ein Fenster mit den Zeiten bis zum Erreichen der Auslösewerte und Expositionsgrenzwerte (Bild 139).

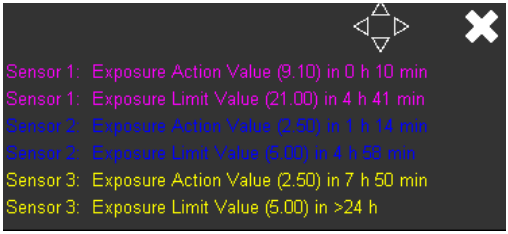


Bild 139: Auslöse- und Expositionsgrenzwerte

Im Diagrammbereich wird mittels grüner, gelber bzw. roter Smileys die Zeit bis zum Erreichen des Expositionsgrenzwerts angezeigt. Entscheidend für die Farbe ist der Sensor mit der kürzesten verbleibenden Zeit. Durch Drücken des Smiley-Symbols öffnet sich ein Menü zur Angabe der zugehörigen Restzeit in Minuten (Bild 140).

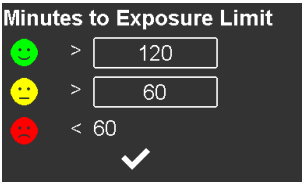


Bild 140: Smiley-Menü

4.9.5. Speicherung

Die Messwertspeicherung erfolgt als CSV-Datentabelle. Dazu öffnen Sie mit das Speichermenü und wählen CSV-Speicherung (vgl. Abschnitt 5). Der Speicherknopf erscheint danach in gelb mit dem Text „LOG“. Die Messwerte werden nun im Sekundentakt in eine Datei geschrieben. Der Dateiname und die Messwertanzahl werden am oberen Rand des Diagramms angezeigt. Zum Beenden der Aufzeichnung berühren Sie erneut die Speicher-Schaltfläche.

Nach 24 Stunden Aufzeichnungsdauer wird die CSV-Datei geschlossen und automatisch eine neue erstellt. Diese erhält den gleichen Dateinamen mit der Ergänzung „..._a.csv“, die nächste „..._b.csv“, bis die Aufzeichnung nach 27 Tagen bei „..._z.csv“ beendet wird.

Die gespeicherten Dateien finden Sie auf der Speicherkarte im Verzeichnis „HUMAN“.

Bild 141 zeigt ein Beispiel für eine CSV-Aufzeichnung mit einer Ganzkörper-Messung. Im Kopfteil finden Sie Angaben zum Messgerät und den verwendeten Sensoren. Die Messwerttabelle beginnt mit den Kanaleinstellungen, wie Filter, Faktoren und Maßeinheiten. Ab Zeile 22 folgen die aufgezeichneten Messwerte von drei bzw. neun Kanälen mit Zeitstempel.

Je nach eingestelltem Modus bleiben einige Spalten leer, z.B. MTVV und Crest bei Hand-Arm-Messung.

Die letzte Spalte enthält ein “X”, falls ein Reset über die Taste RESET oder den Eingang D1 erfolgt ist (vgl. Abschnitt 4.9.4.3).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Human Vibration											
2	Instr.:	VM100B	Ser.:	221236								
3	Comment:											
4	NFC Id:											
5	Sensor 1X:		Ser.:		Sensit.:	1	mV/m/s²					
6	Sensor 1Y:		Ser.:		Sensit.:	1	mV/m/s²					
7	Sensor 1Z:		Ser.:		Sensit.:	1	mV/m/s²					
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14	Date:	04/07/25	Time:	16:23:20								
15												
16												
17	Channel:	1X	1Y	1Z	1X	1Y	1Z					
18	Measurand:	Intv. RMS	Intv. RMS	Intv. RMS	RMS 1s	RMS 1s	RMS 1s	Max	MTVV	Crest	a_v	Reset
19	Filter:	Wh	Wh	Wh	Wh	Wh	Wh					
20	Factor:	1	1	1	1	1	1					
21	Unit:	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	m/s²	
22	04/07/25 16:23:20	0,66	0,727	0,729	1,137	1,257	1,26				1,223	X
23	04/07/25 16:23:21	0,573	0,63	0,631	0,074	0,056	0,035				1,06	
24	04/07/25 16:23:22	0,514	0,566	0,565	0,083	0,103	0,036				0,95	
25	04/07/25 16:23:23	0,47	0,52	0,516	0,085	0,152	0,032				0,87	
26	04/07/25 16:23:24	0	0	0	0	0	0				0	X
27	04/07/25 16:23:26	0,087	0,062	0,034	0,087	0,062	0,034				0,112	
28	04/07/25 16:23:27	0,092	0,053	0,033	0,096	0,043	0,033				0,111	
29	04/07/25 16:23:28	0,092	0,05	0,034	0,094	0,043	0,035				0,11	
30	04/07/25 16:23:29	0,091	0,047	0,034	0,086	0,037	0,034				0,108	
31	04/07/25 16:23:30	0,089	0,045	0,034	0,084	0,038	0,032				0,106	
32	04/07/25 16:23:33	0,075	0,049	0,032	0,075	0,049	0,032				0,095	
33	04/07/25 16:23:34	0,08	0,047	0,035	0,084	0,044	0,038				0,099	
34	04/07/25 16:23:35	0,079	0,044	0,034	0,078	0,04	0,03				0,097	
35	04/07/25 16:23:36	0,081	0,044	0,033	0,086	0,041	0,032				0,098	
36	04/07/25 16:23:37	0,081	0,043	0,033	0,081	0,042	0,034				0,098	
37	<END>											

Bild 141: Beispiel für eine CSV-Messwertaufzeichnung

Die Messwerte sind wie folgt angeordnet:

Spalte 2 – 4: Intervall-Effektivwerte oder VDV von 1X/1Y/1Z
Spalte 5 – 7: gleitende Effektivwerte von 1X/1Y/1Z
Spalten 8: größter RMS oder VDV (Ganzkörper)
Spalten 9: MTVV (Ganzkörper)
Spalten 10: Scheitelfaktor (Crest) (Ganzkörper)
Spalten 11: Vektorsumme (Hand-Arm)
Spalte 12: Reset-Marke „X“

Eine CSV-Datei endet mit der Zeichenkette „<END>“. Wurde der Abbruch der Speicherung durch Entladung der Batterie herbeigeführt, endet die Aufzeichnung mit „<BAT>“.

Weiterhin kann der Bildschirminhalt im Bitmap-Format gespeichert werden.

Die gespeicherten Dateien finden Sie auf der Speicherkarte im Ordner „HUMAN“.

Mehr Informationen zur Messwertspeicherung finden Sie in Abschnitt 5.

4.9.6. Prüfung am Einsatzort

Die Norm ISO 8041-1 beschreibt in Abschnitt 15 die Überprüfung von Messgeräts und Sensor am Einsatzort vor der Messung. Dafür ist der Schwingungskalibrator VC21 von Metra geeignet. Dieser stellt das genormte Referenzsignal für Hand-Arm-Messungen von 10 m/s² mit 80 Hz mit bereit. Der Sensor KS963B10 besitzt Gewinde zur Montage in den Achsenrichtungen X, Y und Z.

Der in ein Sitzkissen eingebaute Ganzkörper-Sensor KS963B100 kann zur Funktionskontrolle ausgebaut und mit 1 m/s² bei 15,92 Hz angeregt werden.



Bild 142: Schwingungskalibrator VC21

5. Messwertspeicherung und NFC-Funktion

5.1. Ordner und Dateinamen

In das Menü zur Messwertspeicherung gelangen Sie durch Berühren von in der Menüleiste. Sein Aussehen kann sich je nach gewähltem Messmodul unterscheiden. Bild 143 zeigt das Speichermenü für Amplitude-/Zeit-Messungen.

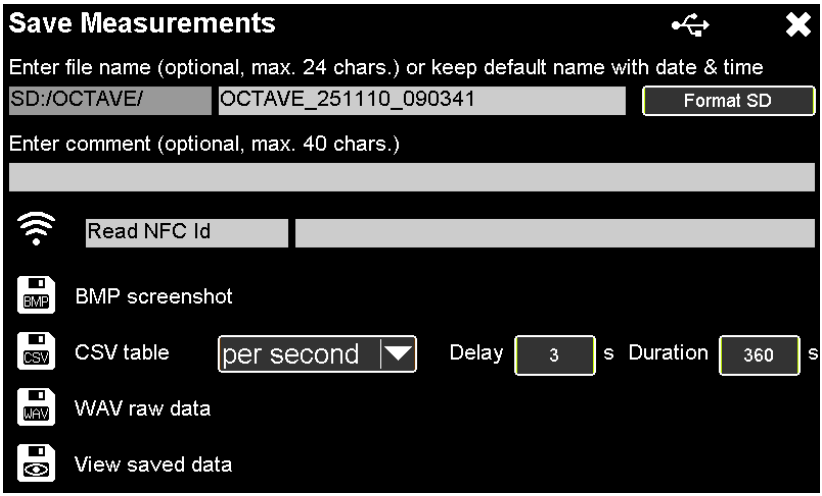


Bild 143: Menü zur Messwertspeicherung

Das VM80 verwendet ausschließlich folgende Standard-Dateiformate:

BMP (Bitmap) ist ein Rastergrafikformat und wird für Bildschirmaufnahmen (Screenshots) verwendet. Bitmap-Dateien können in gängigen Bildbetrachtern geöffnet werden.

CSV (Character-Separated Values) wird für Messwerte benutzt. Trennzeichen ist das Semikolon. Die textbasierten Dateien können in Tabellenkalkulationsprogramme eingelesen werden. In einigen Modulen kann die Speicherung in Zeitintervallen oder bei Überschreitung von Grenzwerten erfolgen. Dabei ist es möglich, eine Startverzögerung vor dem ersten Speichern und die Speicherdauer in Sekunden festzulegen. Die maximal eingebbare Dauer beträgt 10 Stunden (36000 s). Wenn eine Null eingetragen wird, ist die Speicherdauer nur durch den verfügbaren Speicher begrenzt. Die Speicherung beginnt nach dem Drücken des CSV-Symbols.

WAV (WAVE) ist ein Format für Audiodateien. Es wird im VM80 für Rohdaten verwendet. WAV-Dateien können in Audioplayern abgespielt und in viele Signalanalyseprogramme (vgl. Fußnote auf S. 105) eingelesen werden.

Die Daten werden vom VM80 in einer fest vorgegebenen Ordnerstruktur gespeichert. Folgende Ordnernamen werden verwendet:

AMP-TIME	Messdaten aus dem Modul Amplitude/Zeit
FFT	Messdaten aus dem Modul Frequenzanalyse (FFT)
AMP-RPM	Messdaten aus dem Modul Amplitude/Drehzahl
ROUTES	Messrouten aus dem Modul Maschinenüberwachung
TREND	Mess-/Trenddaten aus dem Modul Maschinenüberwachung
ENVELOPE	Messdaten aus dem Modul Hüllkurvenanalyse
BEARINGS	Wälzlagerliste für das Modul Hüllkurvenanalyse
BAL	Messdaten aus dem Modul Auswuchtung
OCTAVE	Messdaten aus dem Modul Terzbandanalyse
HUMAN	Messdaten aus dem Modul Humanschwingung
WAV	Rohdaten
NFC	gespeicherte NFC-Tags

In der oberen Zeile des Speichermenüs finden Sie links den zum Speichern verwendeten Ordner, der sich nach dem Messmodul richtet und fest vorgegeben ist. Dahinter steht der Dateiname ohne Endung, im Beispiel „AMP_TIME_210104_033949“. Dabei handelt es sich um einen vom Gerät generierten Namen, der aus Messmodul, Datum (04.01.21) und Uhrzeit (03:39:49) zusammengesetzt ist. Damit entstehen keine Namensdopplungen. Durch Berühren des Dateinamens können Sie diesen jedoch auch mit der Bildschirmtastatur selbst eingeben.

Darunter kann ein maximal 40 Zeichen langer Kommentartext eingegeben werden, der mit den Messwerten gespeichert wird.

➔ Bitte fügen Sie keine Dateien oder Ordner mittels anderer Geräte hinzu.

➔ Öffnen Sie von Ihrem PC aus die Dateien nicht direkt vom VM80. Beginnen Sie immer, indem Sie die Datei zunächst in einen Ordner auf dem PC kopieren.

➔ Es wird dringend empfohlen, regelmäßig Sicherungskopien der auf der Speicherkarte gespeicherten Daten anzulegen.

5.2. NFC-Messstellenerkennung

Durch Berühren von  aktivieren Sie die Lesefunktion für **NFC-Tags**. Das sind robuste Speicher in Form von Plastikchips, die über Funk ausgelesen werden. Diese können zum Beispiel an Messorten befestigt werden, an denen wiederkehrende Messungen stattfinden. Das VM80 liest NFC-Tags der Typen, A, B, F und V. Jedes NFC-Tag enthält eine eigene Seriennummer, die das VM80 ausliest. Sonstige NFC-Funktionen werden nicht genutzt. NFC-Tags sind in verschiedenen Ausführungen erhältlich. Es gibt Typen zum Anschrauben (auch auf Metall), zum Ankleben oder in Form von Anhängern. Wir geben Ihnen gern Empfehlungen.

Zur Erkennung bringen Sie das VM80 nach Aktivieren der Lesefunktion bis auf wenige Zentimeter mit Rückseite an das NFC-Tag (Bild 144). Bei Erkennung hören Sie einen Signalton und neben der NFC-Taste wird die Seriennummer wird angezeigt.



Bild 144: NFC-Erkennung

Falls gewünscht, können Sie dieser noch einen Klartextnamen zuordnen. Dazu dient das Eingabefeld rechts der Seriennummer. Bei der nächsten Erkennung des NFC-Tags wird dann auch dieser Text angezeigt. Die NFC-Seriennummern und die eingegebenen Namen werden im Verzeichnis „NFC“ unter dem Dateinamen „NFC_IDs.csv“ auf der Speicherkarte abgelegt (Bild 145).

	A	B
1	044E3BD2DF6480	Motor shaft
2	040855D2DF6481	Fan motor bearing
3	04D125D2DF6480	Gearbox drive side
4	04C60E5A0C5B80	Centrifuge 22a

Bild 145: Beispiel für eine Datei NFC_IDs.csv

5.3. Speichern als Bitmap-Bildschirmfoto

Durch Berühren von  speichern Sie ein Bitmap-Bildschirmfoto des Messmoduls, aus welchem Sie das Speichermenü aufgerufen haben. Damit lassen sich auf einfache Weise Grafiken und Texte in einer Standard-Datei speichern. Am oberen Bildrand der Bitmap-Datei finden Sie den eingegebenen Kommentar und ggf. die NFC-Seriennummer sowie den zugehörigen Namen. Die BMP-Datei wird in dem zum Messmodul gehörenden Ordner auf der Speicherkarte gespeichert.

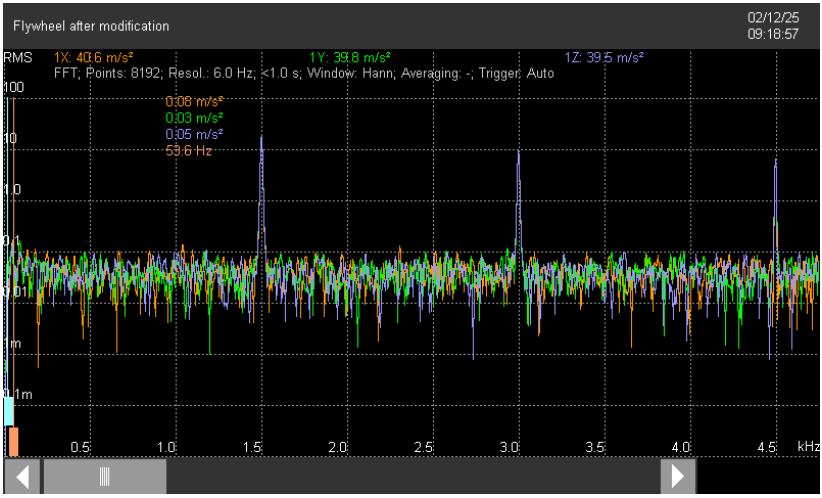


Bild 146: Bitmap-Beispiel

5.4. Speichern im CSV-Format

Mit der Taste  erstellen Sie eine CSV-Datei mit Messwerten. CSV (Character-separated values) ist ein textbasiertes Format, das tabellierte Daten enthält und zum Beispiel in Tabellenkalkulationsprogrammen geöffnet werden kann. Die Kapitel zu den Messmodulen zeigen Beispiele hierfür. Als Trennzeichen dient das Semikolon.
Die CSV-Dateien der einzelnen Funktionsmodule haben eine einheitliche Grundstruktur:

Zeile 1: Modulbezeichnung
Zeile 2: Typ und Seriennummer des Geräts
Zeile 3: Kommentartext, falls eingegeben
Zeile 4: NFC-ID, falls vorhanden
Zeilen 5 – 13:Typ, Seriennummer und Empfindlichkeit der Sensoren
Zeile 14: Datum und Uhrzeit
Zeilen 15 – 21: modulspezifische Angaben sowie Kopfdaten zur Messwerttabelle
Zeile 22: Beginn der Messwerttabelle

Die CSV-Datei wird in dem zum Messmodul gehörenden Ordner auf der Speicherkarte gespeichert. Bei den im Zeitbereich messenden Modulen werden die Werte während der Messung fortlaufend in die CSV-Datei geschrieben. Bei Modulen, die

im Frequenzbereich messen, wird das Frequenzspektrum einmalig als Tabelle abgelegt.

5.5. Ansehen gespeicherter Messdaten

Die Taste [ ] dient zum **Ansehen** der gespeicherten BMP- und CSV-Dateien. Zum Ansehen berühren Sie den betreffenden Ordner und dann den Namen der gewünschten Datei (Bild 147).

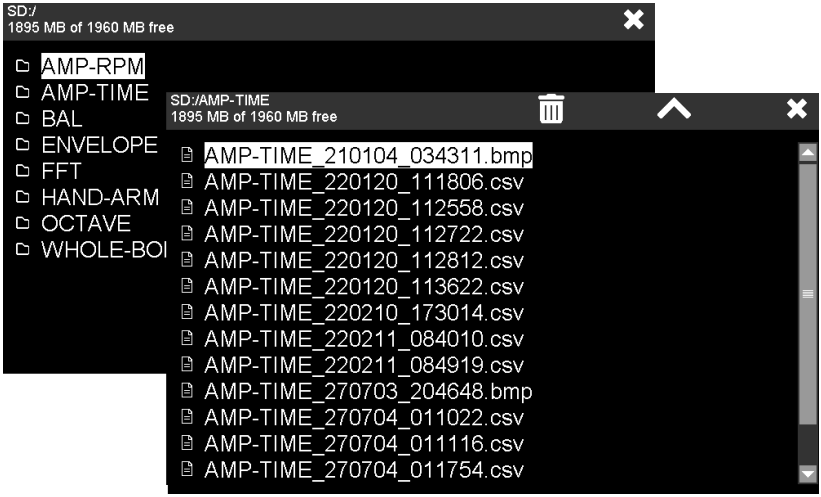


Bild 147: BMP-/CSV-Datei ansehen

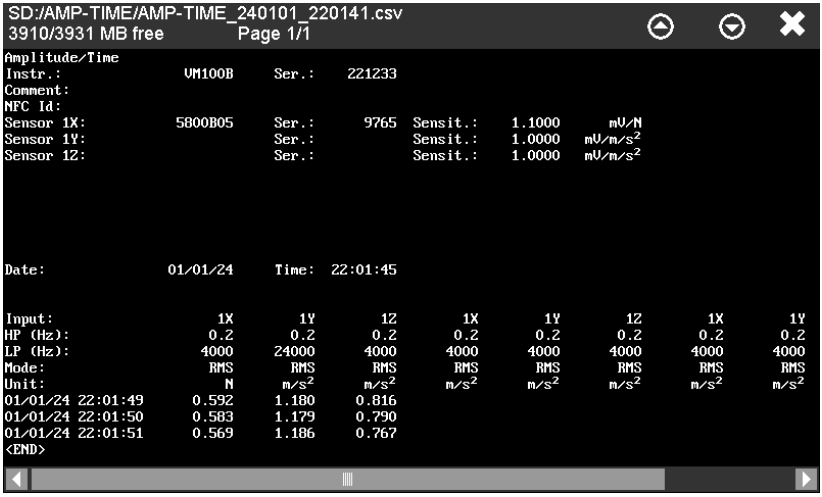


Bild 148: CSV-Daten im Betrachter

In Abschnitt 3.5 wird beschrieben, wie Sie die auf der Speicherkarte gespeicherten Daten über die USB-Schnittstelle auf einen PC übertragen können.

5.6. Rohdatenaufzeichnung im WAV-Format

Unabhängig vom gewählten Messmodul kann das VM80 **Rohdaten** aufzeichnen. Dabei handelt es sich um die ungefilterten Abtastwerte des Analog-Digital-Wandlers. Die Aufzeichnung erfolgt unkomprimiert im WAV-Format (Waveform Audio Format). WAV-Dateien werden von vielen Programmen zur Signalanalyse[1] und von Audioplayern gelesen. Zum Wechsel in die WAV-Datenspeicherung öffnen Sie das Speichermenü und drücken . Bild 149 zeigt die Rohdatenansicht, die der eines Oszilloskops ähnelt. Die Zeitsignale von X/Y/Z werden in den Kanalfarben dargestellt.

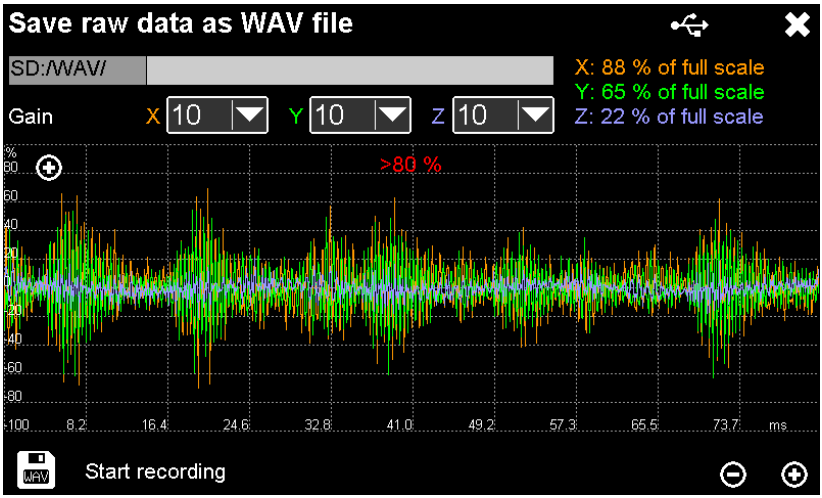


Bild 149: WAV-Menü mit Rohdatenansicht

Die Rohdatenaufzeichnung erfolgt dreikanalig für X/Y/Z von Eingang 1.

Die Verstärkung (Gain) wird so eingestellt, dass das Signal in den Amplitudenbereich passt, ohne zu übersteuern. Rechts oben wird die Aussteuerung der drei Messkanäle angezeigt. Im Diagrammbereich wird bei zu hoher oder zu geringer Aussteuerung eine Warnung angezeigt.

Die Aufzeichnung erfolgt mit 4,4 kHz Bandbreite bei einer Abtastrate von 9765 Samples/s und 24 Bit Auflösung.

Den dargestellten Signalausschnitt können Sie mit den Tasten +/- verändern. Der gewählte Ausschnitt hat keinen Einfluss auf die Speicherung.

Den Dateinamen können Sie über die Bildschirmtastatur selbst eingeben, indem Sie das leere Feld hinter „SD:/WAV/“ berühren. Sollte eine Datei gleichen Namens bereits existieren, wird sie ohne Warnung überschrieben. Wenn Sie den Dateinamen

1 Ein kostenloses Open-Source-Programm zum Betrachten von WAV-Dateien finden Sie unter https://www.sonicvisualiser.org/

nicht eintragen, wird er automatisch aus Datum und Startzeit erzeugt, zum Beispiel: 250204_142128.wav.

Durch Drücken von  starten Sie die Aufzeichnung (Bild 150).

Unten links wird die Aufzeichnungsdauer angezeigt. Die Maximaldauer pro Datei beträgt eine Stunde. Dabei fallen ca. 300 MByte Daten an. Nach einer Stunde wird automatisch eine neue Datei begonnen. Durch Berühren von STOP beenden Sie die Aufzeichnung. Die erfassten Rohdaten befinden sich auf der Speicherkarte im Verzeichnis WAV. In Abschnitt 3.5 wird beschrieben, wie Sie die auf der Speicherkarte gespeicherten Daten über die USB-Schnittstelle auf einen PC übertragen können.

Bild 151 zeigt das Format der erzeugten WAV-Daten.

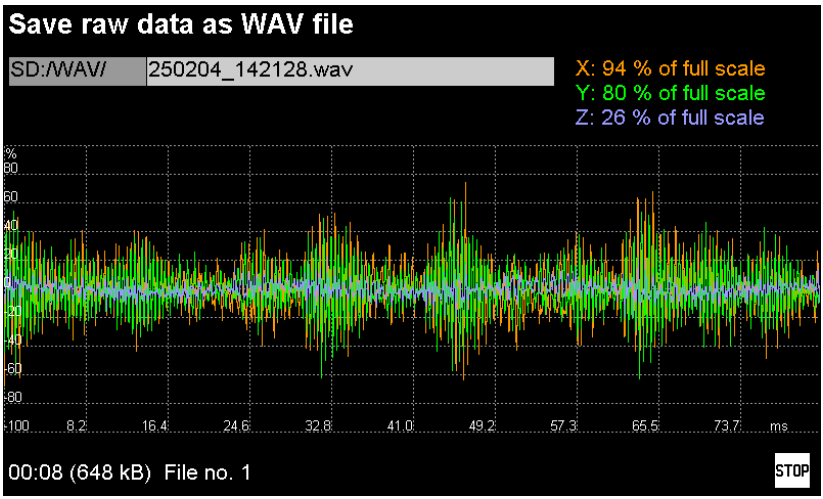


Bild 150: Laufende Rohdatenaufzeichnung

Der Kopf (Header) enthält die fest vorgegebenen Formateinstellungen:

NumChannels = 3

SampleRate = 9765 (0x00002625)

ByteRate = SampleRate * NumChannels * BitsPerSample / 8 = 87885 (0x0001574D)

BlockAlign = NumChannels * BitsPerSample / 8 = 9 (0x0009)

BitsPerSample = 24 (0x0018)

Die folgenden Angaben sind abhängig von den enthaltenen Daten:

a RIFF ChunkSize: Dateigröße (8 Byte)

b ICMT: Kommentarfeld (80 Byte)
Typ; Ser.-Nr.; Empfindl. X Y Z; Verstärkung X Y Z; Messkanäle; 16 Leerzeichen
Beispiel:

```
VM80     221236  001.012 010.110 009.998 001 010 100      1X 1Y 1Z
```

c data ChunkSize: Anzahl der nachfolgenden Messdaten (Bytes)

Nach den Kopfdaten (Header) folgen die eigentlichen Messdaten (Data):

Xl, Xm, Xh, Yl, Ym, Yh, Zl, Zm, Zh: unteres/mittleres/oberes Byte der Samples von X/Y/Z

Zahlen werden als „little endian“ gespeichert (LSB vorn).

Header:

	0x0	0x1	0x2	0x3	0x4	0x5	0x6	0x7	0x8	0x9	0xA	0xB	0xC	0xD	0xE	0xF
0x00	ChunkID = "RIFF"				RIFF ChunkSize				Format = "WAVE"				SubChunkID = "fmt "			
	0x52	0x49	0x46	0x46	a	a	a	a	0x57	0x41	0x56	0x45	0x66	0x6D	0x74	0x20
0x10	fmt ChunkSize = 16				PCM Audio		NumChannels		Sample rate				Byte rate			
	0x10	0x00	0x00	0x00	0x01	0x00	0x03	0x00	0x25	0x26	0x00	0x00	0x4D	0x57	0x01	0x00
0x20	BlockAlign		BitsPerSample		SubChunkID = "LIST"				LIST ChunkSize = 92				ListType = "INFO"			
	0x09	0x00	0x18	0x00	0x4C	0x49	0x53	0x54	0x5C	0x00	0x00	0x00	0x49	0x4E	0x46	0x4F
0x30	INFO Id = "ICMT"				ICMT ChunkSize = 80											
	0x49	0x43	0x4D	0x54	0x50	0x00	0x00	0x00	b	b	b	b	b	b	b	b
0x40	ICMT															
	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
0x50	ICMT															
	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
0x60	ICMT															
	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
0x70	ICMT															
	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
0x80	ICMT								SubChunkID = „data“				data ChunkSize			
	b	b	b	b	b	b	b	b	0x64	0x61	0x74	0x61	c	c	c	c

Data:

0x90	data															
	Xl	Xm	Xh	Yl	Ym	Yh	Zl	Zm	Zh	Xl	Xm	Xh	Yl	Ym	Yh	Zl
0xA0	data															
	Zm	Zh	Xl	Xm	Xh	Yl	Ym	Yh	Zl	Zm	Zh	Xl	Xm	Xh	Yl	Ym
0xB0	data															
	Yh	Zl	Zm	Zh	Xl	Xm	Xh	Yl	Ym	Yh	Zl	Zm	Zh	Xl	Xm	Xh

…

Bild 151: WAV-Datenformat

➔ Die physikalischen Einheiten der Messwerte werden nicht in der WAV-Datei kodiert. Sie müssen manuell in die verarbeitende Software übernommen werden.

Die Kodierung der Amplituden in einer WAV-Datei ist wie folgt:

- Das aufgezeichnete Signal stellt das ungefilterte Sensorsignal nach der Verstärkung dar. Die Verstärkung kann 1, 10 oder 100 betragen.
- Die Amplitudenwerte entsprechen dem Ausgang des 24-Bit-Analog-Digitalwandlers. Die größte positive Amplitude ist somit 0x7FFFFF (dezimal 8388607), die größte negative Amplitude ist 0x800000 (dezimal -8388608).
- Der Amplitudenbereich von 0x7FFFFF bis 0x800000 entspricht Vollaussteuerung von ±12,5 V am Sensoreingang bei Verstärkung 1. Dementsprechend sind es bei 10-facher Verstärkung ±1,25 V und bei 100-facher Verstärkung ±125 mV.
- Die Amplitude entspricht der Eingangsspannung. Es erfolgt keine Korrektur der Sensorempfindlichkeit. Zur Berechnung der tatsächlichen Amplitude müssen die Sensorempfindlichkeiten und Verstärkungen aus dem Feld ICMT der Kopfdaten herangezogen werden.

Beispiel:

Die WAV-Aufzeichnung hat eine positive Spitzenamplitude A von 0x400000 (dezimal 4194304). Die Aufzeichnung erfolgte mit einer Verstärkung von G = 10. Der Sensor hatte eine Empfindlichkeit von S = 0,01 V/m/s². Die aus der Spitzenamplitude resultierende Beschleunigung ist:

$$a = \frac{A \cdot 12{,}5\,V}{2^{23} \cdot G \cdot S} = 62{,}5\,m/s^2$$

6. Voreinstellungen

Sie können bis zu 10 Sätze von Einstellungen abspeichern, um schneller darauf zuzugreifen. Dies geschieht im Hauptmenü unter „Voreinstellungen“ („Presets“). Dabei werden sämtliche Menüeinstellungen und Einstellungen der Messgrafik gesichert.

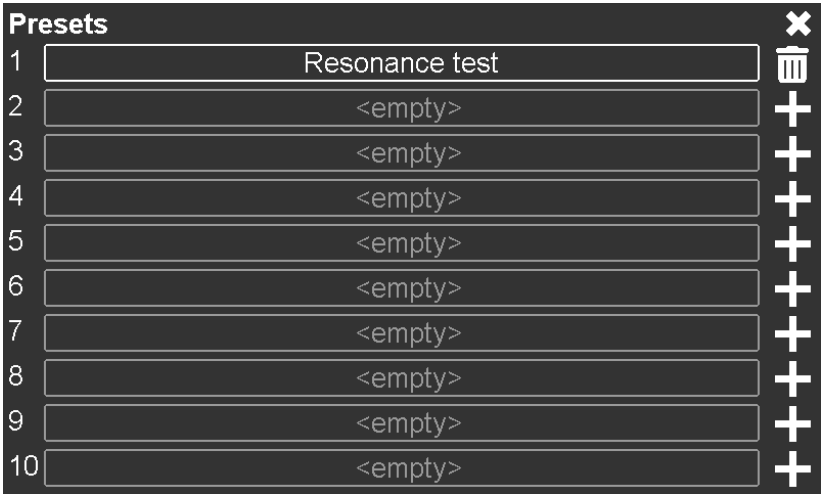


Bild 152: Speichern und Abrufen von Voreinstellungen

Im Auslieferungszustand sind alle Einträge leer. Jede der mit 1 bis 10 nummerierten Schaltflächen kann mit einem Satz Einstellungen belegt werden. Dies geschieht mit der Plus-Schaltfläche . Es öffnet sich die Bildschirmtastatur zur Eingabe des Namens. Die Vorbelegung ist „Preset“ mit der entsprechenden Nummer. Durch Drücken der Enter-Taste der Bildschirmtastatur werden die Einstellungen unter dem eingegebenen Namen gespeichert. Es handelt sich dabei immer um die letzten Einstellungen bevor das Menü geöffnet wurde.

Wenn Sie eine vorhandene Einstellung unter Beibehaltung des Namens ändern möchten, gehen Sie wie folgt vor:

- Öffnen Sie das Menü für Voreinstellungen.
- Drücken Sie die entsprechende Schaltfläche zum Laden der gespeicherten Einstellungen. Das Menü schließt sich und das Gerät wechselt in den Messbetrieb.
- Ändern Sie die gewünschte Einstellung.
- Öffnen Sie erneut das Menü für Voreinstellungen.
- Löschen Sie den zu ändernden Eintrag mit .
- Legen Sie den gleichen Eintrag mit neu an. Als Vorbelegung erscheint der bisherige Name. Bestätigen Sie diesen mit der Enter-Schaltfläche.

➔ Unabhängig von den 10 gespeicherten Voreinstellungen werden vor dem Ausschalten des Gerätes alle Einstellungen gesichert und beim Start neu geladen.

7. Sonstige Einstellungen

7.1. Anzeigeeinstellungen

Öffnen Sie mit ☰ das Hauptmenü und wählen Sie Einstellungen (Settings) sowie Display (Bild 153).

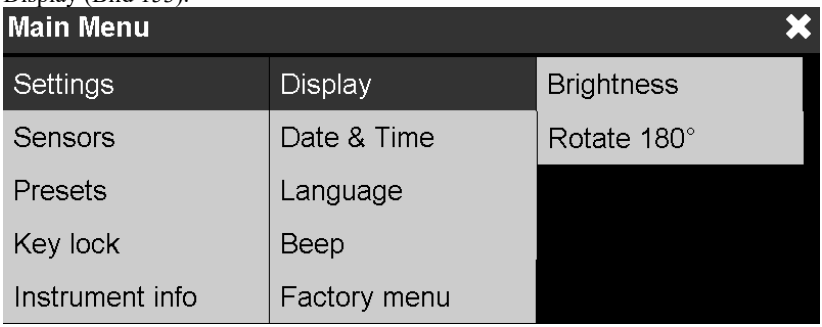


Bild 153: Menü für Anzeigeeinstellungen

Mit Helligkeit (Brightness) öffnen Sie das Menü zur Einstellung der Anzeigehelligkeit (Bild 154). Der Anteil der Hintergrundbeleuchtung kann bis zu 50 % vom Gesamtstromverbrauch des Geräts betragen. Eine Reduzierung der Helligkeit auf das erforderliche Maß ist daher sinnvoll, ebenso die Funktion Abdunkeln nach (Dim out after), mit der die Helligkeit eine vorgegebene Zeit nach der letzten Touch-Bedienung stark abgedunkelt wird.

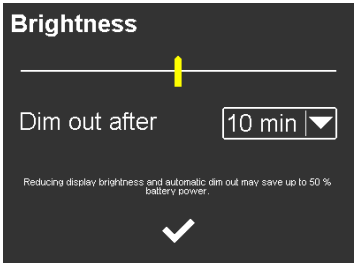


Bild 154: Anzeigehelligkeit

Mit dem Menüpunkt 180° drehen (Rotate 180°) wird der Bildschirminhalt auf den Kopf gestellt. Die Sensoranschlüsse liegen dann an der Oberseite, was u.U. für die Handhabung zweckmäßig sein kann.

7.2. Datum und Uhrzeit

Die Einstellung von Datum & Zeit (Date &Time) nehmen Sie durch Auf- bzw. Abwärtsbewegung im betreffenden Eingabefeld vor (Bild 155).

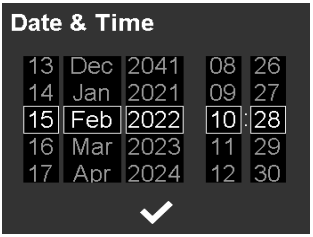


Bild 155: Datum und Zeit

7.3. Anzeigesprache

In Bild 156 sehen Sie, wie die Anzeigesprache (Language) des Geräts gewählt wird. Die Auswahl der Sprache wirkt sich nur auf den Bediendialag aus. Alle gespeicherten Daten bleiben Englisch.

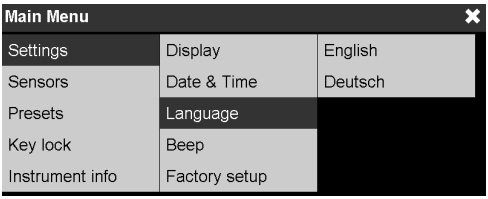


Bild 156: Einstellung der Anzeigesprache

7.4. Signalton

Den Signalton (Beep) können Sie bei Bedarf deaktivieren (Bild 157).

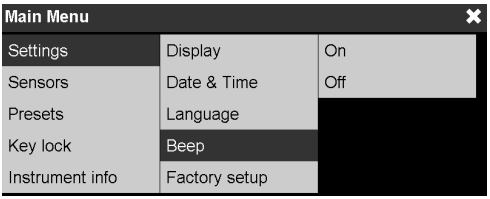


Bild 157: Signalton ein-/ausschalten

7.5. Tastensperre

Nach Auswahl des Menüpunkts „Tastensperre“ (Key lock) startet das Gerät neu, wonach die Touch-Bedienung deaktiviert ist. Ein entsprechender Hinweis wird in der Statusleiste angezeigt. Um die Tastensperre zu deaktivieren, drücken Sie die Taste F1.

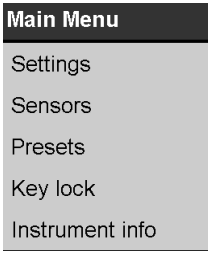


Bild 158: Tastensperre

7.6. Werkseinstellungen

Mit einem Werks-Reset wird das Gerät auf den Auslieferungszustand zurückgesetzt.

Dies erreichen Sie, indem Sie bei gedrückter Taste F1 kurz die Taste RESET drücken oder bei gedrückter Taste F1 die Taste ⏻ drücken (Bilder 1 und Fehler: Verweis nicht gefunden).

Die auf der Speicherkarte abgelegten Daten und die Kalibrierdaten bleiben davon unberührt.

Der Menüpunkt Werkseinstellungen (Factory Setup) im Menü Einstellmenü dient nur für Einstell- und Testzwecke beim Hersteller und ist passwortgeschützt.

7.7. Gerätedaten anzeigen

Unter Geräteinformation (Instrument Info) finden Sie Angaben zu Seriennummer, Version, Kompilierungsdatum und Kalibrierdatum Ihres Gerätes (Bild 159).

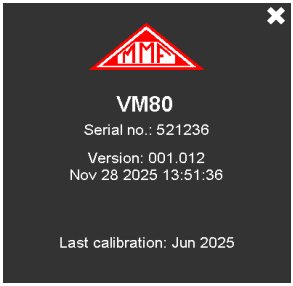


Bild 159: Gerätedaten

8. Firmware-Update

Eine Aktualisierung der Software des VM80 erfolgt über USB im DFU-Modus (Device Firmware Upgrade). Dieses Verfahren erlaubt die vollständige Neuprogrammierung aus jedem Zustand.

Voraussetzung dafür ist die Installation des Programms **STM32CubeProgrammer** auf Ihrem PC. Das Programm steht zum Herunterladen auf unserer Webseite https://mmf.de/produkt/vm80

für Windows-Systeme zur Verfügung. Entpacken und installieren Sie das Programm auf Ihrem PC.

Ebenfalls von unserer Download-Seite erhalten Sie die aktuelle Firmware-Datei **vm80.zip**. Entpacken Sie die darin enthaltene Datei **vm80.hex** und speichern Sie diese in einem Ordner Ihrer Wahl.

➔ **Bitte folgen Sie genau den nachstehenden Anweisungen. Das Firmware-Update betrifft die Speicher-Sektoren 2 bis 7. Die Sektoren 0 und 1 enthalten die Einstellungen und Kalibrierwerte. Sie dürfen nicht gelöscht oder überschrieben werden.**

Starten Sie zunächst den STM32CubeProgrammer (Bild 160).

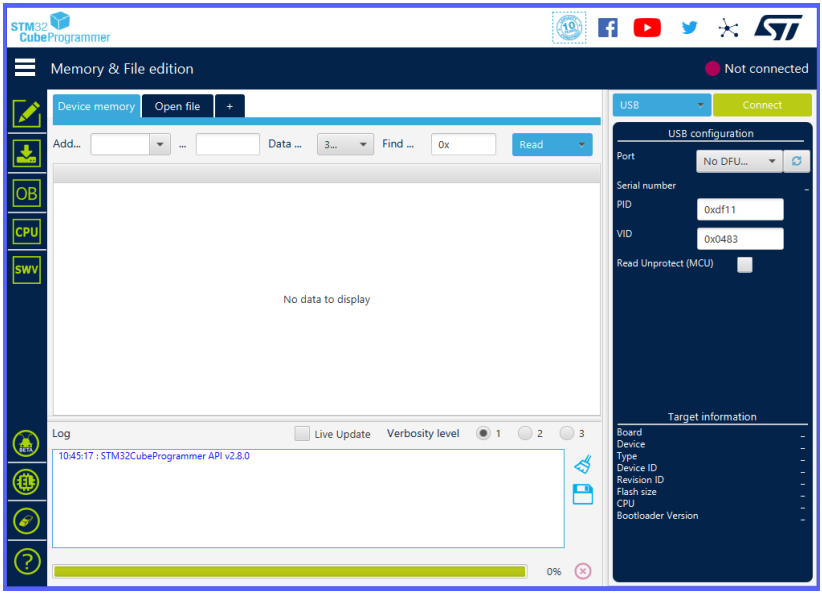


Bild 160: Update-Programm STM32CubeProgrammer

Wählen Sie mit  das Menü „Memory & File edition“

Wählen Sie den Reiter „Open file“ und laden Sie die Datei vm80.hex (Bild 161).

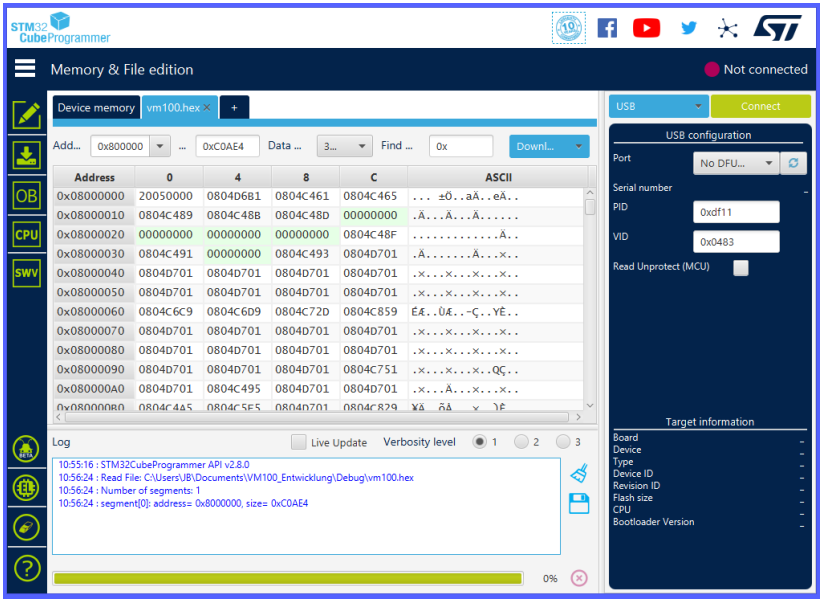


Bild 161: STM32CubeProgrammer mit geladener Firmwaredatei

Nun versetzen Sie das VM80 in den Update-Modus. Dazu schalten Sie das Gerät aus. Schließen Sie das mitgelieferte USB-Updatekabel an die Mehrzweck-Buchse an und verbinden Sie es mit einem PC.

Das Gerät meldet sich mit dem Update-Bildschirm ein, der Hinweise zum Updatevorgang enthält (Bild 163).

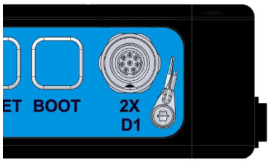


Bild 162: Mehrzweck-Buchse und Boot-Taste

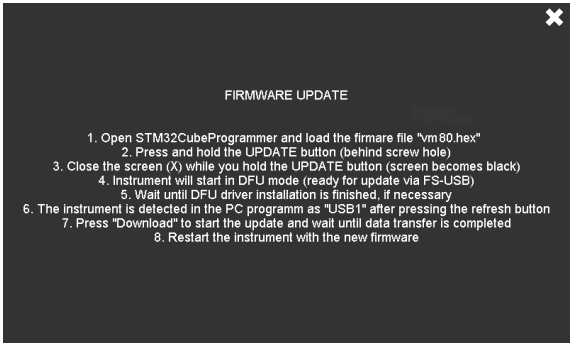


Bild 163: VM80 im Update-Modus

Drücken Sie die Taste BOOT. Während Sie die Taste gedrückt halten, schließen Sie das Fenster mit . Der Bildschirm wird dunkel. Das Gerät befindet sich nun im DFU-Modus.

Der DFU-Gerätetreiber ist Bestandteil des Installationspakets von STM32CubeProgrammer.

Klicken Sie im STM32CubeProgrammer unter „USB“, um die Anzeige zu aktualisieren. Wird das VM80 vom PC als DFU-Gerät erkannt, erscheint es im Update-Programm als Port „USB1“ (Bild 164). Zur Verbindung klicken Sie auf Connect.

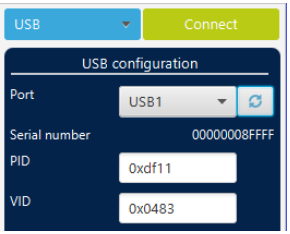


Bild 164: DFU-Verbindung

Mit Download starten Sie die Übertragung der Firmware auf das VM80. Bild 165 zeigt den Abschluss der erfolgreichen Übertragung. Danach können Sie das USB-Kabel abstecken, Reset drücken und das Gerät mit der neuen Firmware starten.

➔ Nach erfolgtem Firmware-Update sollte das Gerät auf Werkseinstellungen zurückgesetzt werden (vgl. Abschnitt 7.6).

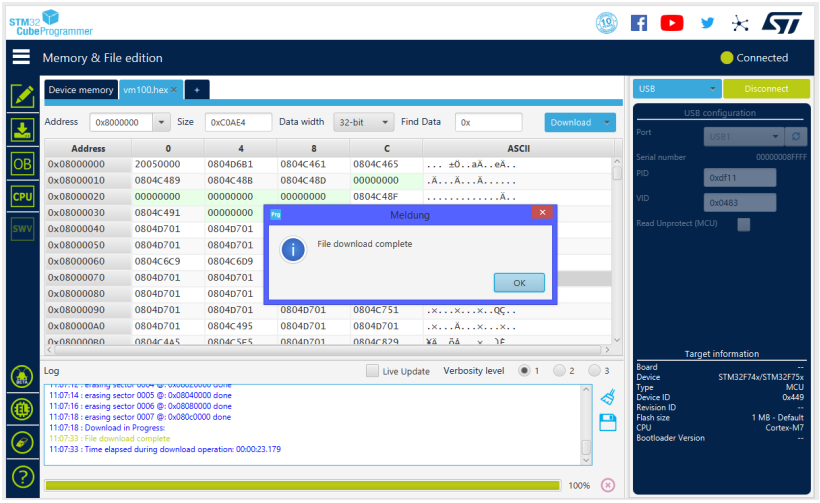


Bild 165: Abschluss des Firmwareupdates

9. Probleme und deren Ursachen

Dateien werden nicht oder fehlerhaft gespeichert.	Daten der Speicherkarte sichern, Karte entnehmen und im PC neu formatieren oder Fehlerüberprüfung durchführen.
Die Messwerte sind störbehaftet.	Für empfindliche Messungen sollte das USB-Kabel abgesteckt werden.
Im Modus Amplitude/Zeit wird keine Drehzahl angezeigt, obwohl ein Drehzahlsensor angeschlossen ist.	In den gemeinsamen Einstellungen für die Kanäle 1 bis 9 (Taste „ALL“) muss eine Einheit für die Drehzahl gewählt werden.

Das Aufladen des Akkus dauert sehr lange.	Das Laden sollte an einem USB-Port oder Ladegerät mit mindestens 2 A Stromabgabe erfolgen. Bei Standard-USB-Anschlüssen erscheint zwar das Ladesymbol, der Strom reicht jedoch nur zum Betrieb des Gerätes.
Die Erkennung der Speicherkarte vom PC über USB dauert lange.	Die Speicherkarte muss mit dem Dateisystem FAT(16) formatiert werden. Ab Werk sind Speicherkarte mit FAT32 formatiert.
WAV-Datenaufzeichnung bricht ab.	Verwenden Sie eine Speicherkarte mit 4 GB Kapazität und Geschwindigkeitsklasse 10.
Die gemessenen Amplituden der FFT sind zu klein.	Beachten Sie die Fensterung. Möglicherweise verwenden Sie ein Rechteck-Fenster, bei dem es zu besonders starken Leck-Effekten zu benachbarten Frequenzpunkten kommt.

10. Technische Daten

Messeingänge	4 IEPE-Eingänge Buchse Binder 712, 4-polig und Binder 712, 8-polig
Eingangsspannung	±10 V max.
IEPE-Versorgung	4 mA / 24 V, abschaltbar Eingangsimpedanz: > 1 MΩ
TEDS-Sensorerkennung	IEEE 1451.4, Templates 25, 27, 28
Messpunkterkennung	NFC mit Transpondern vom Typ A, B, F und V
Tacho-Eingang D1	H: >+15 V; L: <+5 V; U_{max} = +28 V Frequenz: 1 bis 1000 Hz / 60 bis 150 000 min^{-1} Versorgungsspannung: +26 V / < 0,1 A Buchse Binder 712, 8-polig (vgl. Bild 3)
Messbereich	1 µm/s² bis 10 000 m/s² (sensorabhängig)
Analog-Digital-Wandler	Je Kanal ein 24-Bit-Sigma-Delta-Wandler
Analogverstärkung	1 / 10 / 100 oder Autoranging
Messfehler	<1 % (bei Referenzbedingungen)
Amplitudenlinearität	>85 dB (<6 % Fehler)
Übersprechdämpfung	>80 dB (2500 mV_{eff} / 160 Hz am Eingang)
Messmodule	
Amplitude/Zeit	VM80-AMP (vorinstalliert)
Frequenzanalyse	VM80-FFT (vorinstalliert)
Amplitude/Drehzahl	VM80-RPM (Option)
Maschinenschwingung	VM80-MAC (Option)
Hüllkurvenanalyse	VM80-ENV (Option)
Auswuchtung	VM80-BAL (Option)
Terzbandanalyse	VM80-VC (Option)
Humanschwingung	VM80-HUM (Option)

Kennwert-Messungen im Zeitbereich und Humanschwingung (VM80-AMP / VM80-HUM)

Kanalzahl	1 bis 9 mit max. 4 Sensorsignalen
Schwinggrößen	Beschleunigung; Geschwindigkeit (<2 kHz); Weg (<300 Hz)
Kennwerte	Intervall-Effektivwert (unendlich), Effektivwert (1s), Spitzenwert, Spitze-Spitze-Wert, Maximal-Spitzenwert, Scheitelfaktor, Hauptfrequenz, Wurzel der Quadratsumme aus 3 Kanälen, VDV, VPM, VSI
Bandfilter	34 Hochpassfrequenzen von 0,2 bis 5000 Hz 38 Tiefpassfrequenzen von 10 Hz bis 24 kHz
Bewertungsfilter für Humanschwingung	Wb; Wc; Wd; Wh; Wj; Wk; Wm unbewertet: 6,3 - 1259 Hz (H-A); 0,4 - 100 Hz (G-K)
Datenplotter	1 Wert pro Sekunde, max. 9-kanalig

Frequenzanalyse (VM80-FFT)

Kanalzahl	1 bis 3
Frequenzbereich	1 Hz bis 4,4 kHz; 1 Hz bis 22 kHz (nur FFT, PSD, ESD)
Frequenzpunkte	1024 bis 65536
Frequenzauflösung	0,1 bis 48 Hz
Spektrale Funktionen	Beschleunigung, Geschwindigkeit, PSD, ESD, FRF
Fensterung	Hann, Hamming, Flattop, Recatungular
Amplitudenachse	RMS / Peak; linear / logarithmisch; Maximalwert halten
Triggerung	Automatisch, Tacho-Anschluss, Pegeltrigger
Wasserfall-Modus	1 Kanal, bis zu 50 Spektren

Terzbandanalyse (VM80-VC)

Kanalzahl	1 bis 3
Frequenzbereich	1 bis 160 Hz; 23 Terz-Bänder
Amplitudenachse	Schwinggeschwindigkeit in µm/s
Schwingungskriterien	VC-A bis VC-G; Nano-D; Nano-E; Nano-EF

Hüllkurvenanalyse zur Wälzlagerdiagnose (VM80-ENV)

Frequenz-Marker	Drehzahl, BPFI (Innenring), BPFO (Außenring), FTF (Käfig), BSF (Rollkörper)
Drehzahlbestimmung	Tachoeingang mit Reflex-Lichtschranke oder Eingabe
Lagerliste	Bis zu 1000 Wälzlagertypen

Maschinenschwingung (VM80-MAC)

Kanalzahl	1 (Wälzlager), 3 (Schwingstärke)
Frequenzbereich für Wälzlagerschwingung	Beschleunigung 0,2 – 24000 Hz
Frequenzbereiche für Schwingstärke	Beschleunigung 0,2 - 2000 Hz Geschwindigkeit 2 – 4000 Hz Weg 2 – 300 Hz
Messrouten	Messpunktdefinition mit Ort, Maschine, Position und Kommentar; Erkennung mittels NFC-Tags
Trendansicht	Grafik mit Grenzwertlinien
Messfunktionen für Wälzlager	Spitzenwert, Effektivwert, Scheitelfaktor mit Kurzzeittrend, Hüllkurvenanalyse, 3 Frequenzbänder, Drehzahl
Messfunktionen für Schwingstärke	Spitzenwert, Effektivwert von Geschwindigkeit, Beschleunigung oder Weg mit Kurzzeittrend, Phasenwinkel, Frequenzanalyse, Hauptfrequenzen/Harmonische, Drehzahl
ISO-Norm-Assistent für Schwingstärke	ISO 20816-2: Gas- und Dampfturbinen, Generatoren >40 MW ISO 20816-3: Industriemaschinen >15 kW ISO 20816-5: Wasserkraft- und Pumpspeicheranlagen ISO 20816-6: Hubkolbenmaschinen ISO 10816-7: Kreiselpumpen ISO 20816-8: Hubkolbenkompressoren ISO 20816-9: Getriebe ISO 14694: Industrieventilatoren

Auswuchtung (VM80-BAL)

Modi	1 oder 2 Ebenen, Polar- und Komponentenmethode
Drehzahlbereich	100 bis 150 000 min^{-1}
Winkelbestimmung	Tachoeingang mit Reflex-Lichtschranke
Modi	freie Winkel oder Festorte, Massen anbringen oder entfernen
Anzeigewerte	Schwinggeschwindigkeit / -beschleunigung / -weg; Restunwucht; Wuchtgüte

Messwertspeicherung und Schnittstelle

Datenspeicher	Micro-Speicherkarte; 4 GB; Klasse 10, FAT-Filesystem; entnehmbar
Datenformate	CSV für Messdaten BMP für Bildschirmfotos WAV für Rohsignale
USB-Anschluss	USB 2.0 High-Speed, Typ C

Stromversorgung	
Akkumulator	Nickel-Metall-Hydrid; fest verbaut; 4,8 V; 4 Ah
Betriebsdauer	6 bis 8 h
Aufladung	über USB mit Steckernetzgerät 5 V / >2 A; ca. 6 h
Sonstiges	
Bildschirm	5“-RGB-TFT mit Touch-Bedienung; 800 x 480 Bildpunkte
Temperaturbereich	-20 bis 60 °C; < 95 % Luftfeuchte; ohne Kondensation
Schutzgrad	IP65
Abmessungen	160 mm x 100 mm x 36 mm (ohne Anschlüsse)
Masse	0,9 kg
Lieferumfang	Messgerät; USB-C-Kabel; USB-Updatekabel; USB-Ladegerät; Transportkoffer
Optionales Zubehör	
Sensor-Adapterkabel	034-B711-BNCf: Binder 712, 4 -pol. auf 3 x BNC wbl.; 0,5 m Kabel für Kanal 2X: Binder 712, 8-pol. auf BNC wbl., 0,5 m
Reflex-Lichtschranke	VM100-LS mit 5 m Kabel und flexiblem Magnetstativ

Garantie

Metra gewährt auf dieses Produkt eine Herstellergarantie von

24 Monaten.

Die Garantiezeit beginnt mit dem Rechnungsdatum.

Die Rechnung ist aufzubewahren und im Garantiefall vorzulegen.
Die Garantiezeit endet nach Ablauf von 24 Monaten nach dem Kauf, unabhängig davon, ob bereits Garantieleistungen erbracht wurden.

Durch die Garantie wird gewährleistet, dass das Gerät frei von Fabrikations- und Materialfehlern ist, die die Funktion entsprechend der Bedienungsanleitung beeinträchtigen.

Garantieansprüche entfallen bei unsachgemäßer Behandlung, insbesondere Nichtbeachtung der Bedienungsanleitung, Betrieb außerhalb der Spezifikation und Eingriffen durch nicht autorisierte Personen.

Die Garantie wird geleistet, indem nach Entscheidung durch Metra einzelne Teile oder das Gerät ausgetauscht werden.

Die Kosten für die Versendung des Gerätes an Metra trägt der Erwerber.
Die Kosten für die Rücksendung trägt Metra.

CE

Konformitätserklärung

Produkt: Schwingungsanalysator
Typ: VM80
Hiermit wird bestätigt, dass das oben beschriebene Produkt den folgenden Anforderungen entspricht:

EN 61000-4:2019
EN 61000-6:2019
EN IEC 63044-5-2:2019
DIN 45669-1: 2010

Diese Erklärung wird verantwortlich für den Hersteller
Metra Meß- und Frequenztechnik Radebeul GmbH & Co. KG
Meißner Str. 58a
D-01445 Radebeul

abgegeben durch



Michael Weber

Radebeul, den 26. November 2025

Die Baumusterprüfung nach ISO 8041-1 erfolgte im November 2025.