

Grundlagen zur Beschleunigungsmessung mit den Datenloggern MSR145, MSR165, MSR175, MSR175plus

1 Einleitung/Übersicht

Physikalische Einflüsse zu messen ist in vielen Anwendungen von grösstem Interesse, um Informationen über mechanische Belastungen und die Beanspruchungen auf Objekte wie Güter, Waren, Werkstücke, Teile etc. zu erhalten.

Während die verursachenden Belastungen, entstanden durch die äusseren Einflüsse, als weitgehend unabhängig vom betrachteten Objekt anzusehen sind, sind die resultierend auf das Objekt wirkenden Beanspruchungen direkt abhängig vom untersuchten Objekt und können auch nur unter Bezugnahme auf das konkrete Objekt beschrieben werden.

Ein wichtiger Parameter bei der Beurteilung von wirkenden Beanspruchungen ist die mechanisch-dynamische Belastung, d.h. der zeitliche Verlauf der belastenden Beschleunigung auf das Objekt. Diese kann mit Hilfe von Beschleunigungssensoren verschiedenster Bauart und Qualität geeignet gemessen und mit Datenspeichern zur weiteren Analyse aufgezeichnet werden.

Einsatzgebiete sind u.a. Transportüberwachungen, Fehlerdiagnosen und Belastungstests.

2 Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung/Übersicht	1
2	Inhaltsverzeichnis.....	1
3	Definitionen	2
3.1	Beschleunigungs-Datenlogger.....	2
3.2	Beschleunigungsmessung	3
3.3	Sensoren	3
3.2.2	Lagebestimmung	4
3.2.3	Vibration	4
3.2.4	Stoss/Schock	5
3.2.4.1	Intensität & Impulszeit – Hilfe beim Ranking von Stossereignissen	7
3.2.4.2	Intensity over Threshold – IoT (max) und IoT (total).....	8
3.2.4.3	Time over Threshold – ToT (max) und ToT (total).....	9
3.2.5	Damage Boundary Curve.....	10
3.2.6	Messrate/Abtaste/Fast Peak	12
4	Datenlogger MSR145, MSR165, MSR175 und MSR175plus	15
5	Ausblick	16

3 Definitionen

3.1 Beschleunigungs-Datenlogger

Ein Beschleunigungs-Datenlogger ist ein automatisches Aufzeichnungs- und Messgerät, das stochastisch auftretende Stösse oder Vibrationen über einen bestimmten Zeitraum autonom in Form unverfälschter Rohdaten aufzeichnet. Die Stoss- und Vibrationsdaten lassen sich nach dem Aufzeichnen abrufen, anschauen und auswerten.



Abbildung 1: MSR-Mini Logger mit integriertem Beschleunigungssensor zur Transportüberwachung

Ein Beschleunigungs-Datenlogger besteht aus digitalen Beschleunigungssensoren, einem Speichermedium, dem Prozessor und einer Stromversorgung. Die Sensoren messen die aktuell auf sich selbst wirkende Beschleunigung, z.B. während eines Stosses oder bei Vibrationen. Dabei werden die einzelnen Messungen in bestimmten Zeitintervallen durchgeführt und mit dem zugehörigen Zeitwert gespeichert. Diese Messraten können zwischen 1 Messung alle paar Sekunden und im hohen kHz-Bereich (z.B. 5 kHz – 1 Messung alle $5'000^{-1}$ sec) je nach Sensortyp frei gewählt werden. Je höher die Messrate ist, desto feiner kann der tatsächliche Verlauf des Beschleunigungsereignisses aufgelöst werden. Nachteilig ist bei hohen Messraten, dass es zu einem sehr hohen Datenaufkommen kommt, so dass ggf. schnell die Speicher- und Leistungsgrenzen des Loggers erreicht sind. Insbesondere bedingt die kontinuierliche Messung und Verarbeitung resp. Speicherung der Daten einen hohen Stromverbrauch, was die mobilen Einsatzzeiten des Loggers begrenzt.

Der Prozessor im Datenlogger verarbeitet die Messdaten und speichert sie mit den zugehörigen Messzeiten auf dem Speichermedium ab. Dadurch lassen sich die Daten nach der Messung abrufen, entweder direkt am Logger oder über eine Schnittstelle, z.B. an einem Computer. Software stellt die Messdaten in Tabellen oder Diagrammen dar und bietet Funktionen, um die Messdaten auszuwerten. Eine gängige Auswertemethode ist neben der Betrachtung und Analyse der einzelnen Werte für die Beschleunigungen und deren Dauer z.B. das Beschleunigungs-Zeit-Diagramm mit anwendungsspezifisch ermittelter DBC (Damage Boundary Curve – s.u.).

Die Stoss- und Vibrationsdaten können auch basierend auf Ereignissen, die gewisse Kriterien erfüllen, erfasst werden. Mit einer ereignisbasierten Messung lassen sich gezielt Stösse aufzeichnen, die eine kritische Zeitdauer und/oder Stärke überschreiten. Dies bietet neben der besseren Übersichtlichkeit bei Langzeitmessungen weiter den Vorteil, dass nur relevante Ereignisse aufgezeichnet werden und somit Energie und Speicherkapazität effektiver genutzt werden.

Beschleunigungs-Datenlogger verwenden meist nichtflüchtige Speichermedien, um die Messdaten zu speichern. Deshalb bleiben die Messdaten erhalten, auch wenn die Stromversorgung ausfällt.

[Quelle: Auszüge aus Wikipedia, Ergänzungen MSR Electronics GmbH]

Detaillierte Informationen zum Messen und Auswerten von mechanisch-dynamischen Belastungen, wie Transportüberwachung mit automatischen Aufzeichnungsgeräten zur Messung stochastisch auftretender Stösse, können z.B. auch DIN EN 15433-6 entnommen werden.

Beschleunigungs-Datenlogger werden unter anderem verwendet, um:

- Empfindliche und wertvolle Güter auf Transporten oder im Lagerumschlag zu überwachen.
- Beschleunigungen in Kraftfahrzeugen zu messen, zum Beispiel für die Rekonstruktion von Verkehrsunfällen.
- Maschinen im produktiven Einsatz zu überwachen, die empfindlich auf Stösse oder Vibrationen reagieren.
- Dynamische Belastungen für und auf Menschen zu ermitteln.
- Beschleunigungen für Gegenstände auf Förderbändern zu bestimmen.

3.2 Beschleunigungsmessung

Bei Beschleunigungen handelt es sich meist um dynamische Signale. Oft treten Frequenzen im Bereich von 100 Hz... 50 kHz auf. Beschleunigungssignale können durch Vibrationen und Stösse bzw. Schläge verursacht werden.

3.3 Sensoren

Ein Beschleunigungssensor (auch *Beschleunigungsmesser*, *Accelerometer*, *Akzelerometer*, *B-Messer* oder *g-Sensor*) ist ein Sensor, der seine eigene Beschleunigung misst. Dies erfolgt meistens, indem die auf eine Testmasse wirkende Trägheitskraft bestimmt wird. Somit kann z.B. bestimmt werden, ob eine Geschwindigkeitszunahme oder -abnahme stattfindet. Der Beschleunigungssensor gehört zur Gruppe der Inertialsensoren.

[Quelle: Wikipedia „Beschleunigungssensor“]

Zur Messung von Beschleunigungen werden Sensoren mit verschiedenen Messprinzipien angewendet, meist mit piezoelektrischen Sensoren oder als MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) aufgebaut. Die Sensoren wiegen häufig nur wenige Gramm und haben Messbereiche von einigen g bis zu 1'000 g und mehr.

3.2.2 Lagebestimmung

Zur Bestimmung der Lage des Objektes (aufrecht, liegend, auf der Seite und alle Lagen dazwischen) sind drei Beschleunigungssensoren erforderlich. Diese sind vorzugsweise entlang der Objekt-Achsen x, y, z senkrecht zueinander angebracht und messen die quasi statische, entlang der Achse wirkende einfache Erdbeschleunigung. Ändert das Objekt seine Lage, verändern sich die Anteile der je Achse wirkenden Erdbeschleunigung.

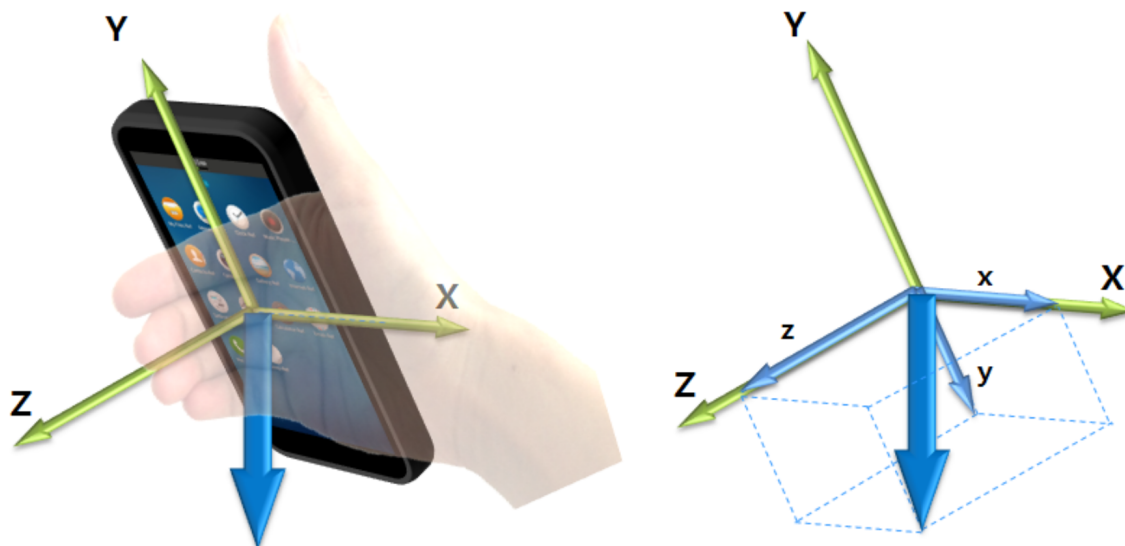


Abbildung 2: Raumachsen bei der Lagebestimmung

3.2.3 Vibration

[Quelle: Wikipedia und MSR Electronics GmbH]

Vibrationen sind periodische, meist mittel- bis höherfrequente und niederamplitudige (mechanische) Schwingungen von Stoffen und Körpern. Die Vibrationen werden durch ihre Frequenz beschrieben. Zudem werden die max. Beschleunigungen angegeben, denen das Gerät ausgesetzt ist. Diese werden meist als ein Vielfaches der Erdbeschleunigung angegeben. Bei niedrigen Frequenzen wird die Schwingung nicht über die Beschleunigung, sondern über Amplitude (Auslenkung) des Objektes definiert. Je nach Frequenzbereich der Vibration können bei längerem Auftreten von mechanischen Schwingungen Materialermüdungen auftreten.

Besonders starke Vibrationen wirken beispielsweise an Kompressoren und mobilen Arbeitsmaschinen oder während eines sehr „holprigen“ Transportes. Vom Beschleunigungs-Datenlogger werden Schwingungen als eine zeitliche Aneinanderreihung einzelner g-Werte gemessen und abgespeichert. Die Zeiten zwischen den einzelnen Messwerten werden durch die Messrate (Anzahl Messungen je Zeiteinheit) bestimmt.

Hinweis:

Um Vibrationen mit Hilfe von Beschleunigungssensoren korrekt erfassen zu können, sind entsprechend hohe und zur Schwingung passende Messraten für die Messungen zu wählen.

Ansonsten kann es bei hohen Schwingungsfrequenzen am Messobjekt passieren, dass die Schwingung unzureichend abgebildet wird (siehe Abb. 3 und folgendes Kapitel).

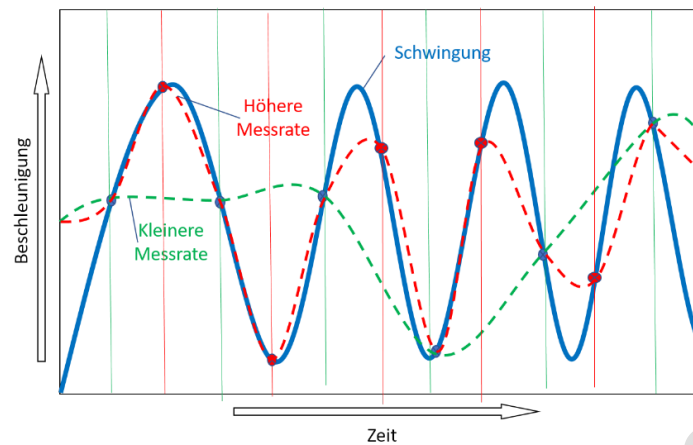


Abbildung 3: Schwingung – aufgelöst mit niedriger und höherer Messrate

3.2.4 Stoss/Schock

Ist ein Objekt kurzzeitig einzelnen starken Geschwindigkeitsänderungen (Beschleunigungen) ausgesetzt, spricht man von einem mechanischen Schock. Dies geschieht z. B. bei Autounfällen oder nach einem Sturz, wenn das Objekt auf dem Boden aufkommt und schlagartig abgebremst wird.

Schocks werden mit einem Vielfachen der Erdbeschleunigung [$g=9,81\text{m/s}^2$] angegeben. Ebenso wird die Einwirkdauer dieser Belastung aufgeführt. Standardwerte liegen hier bei bis zu mehreren Hundert g für einige Millisekunden.

Charakterisiert werden Stöße durch:

- Beschleunigungsachsen x , y , z der drei rechtwinklig zueinander liegenden Messrichtungen
- Beschleunigungswerte a_x , a_y , a_z in Richtung der Beschleunigungsachsen
- Beschleunigungsspitzenwerte für die x,y,z -Achsen oder den Raumvektor
- Hauptachse xyz (max) – Raumachse, die den grössten Beschleunigungsspitzenwert \hat{a} aufweist
- Beschleunigungswert a_R des zufällig ausgerichteten Raumvektors der Beschleunigung des Stossereignisses

$$a_R = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

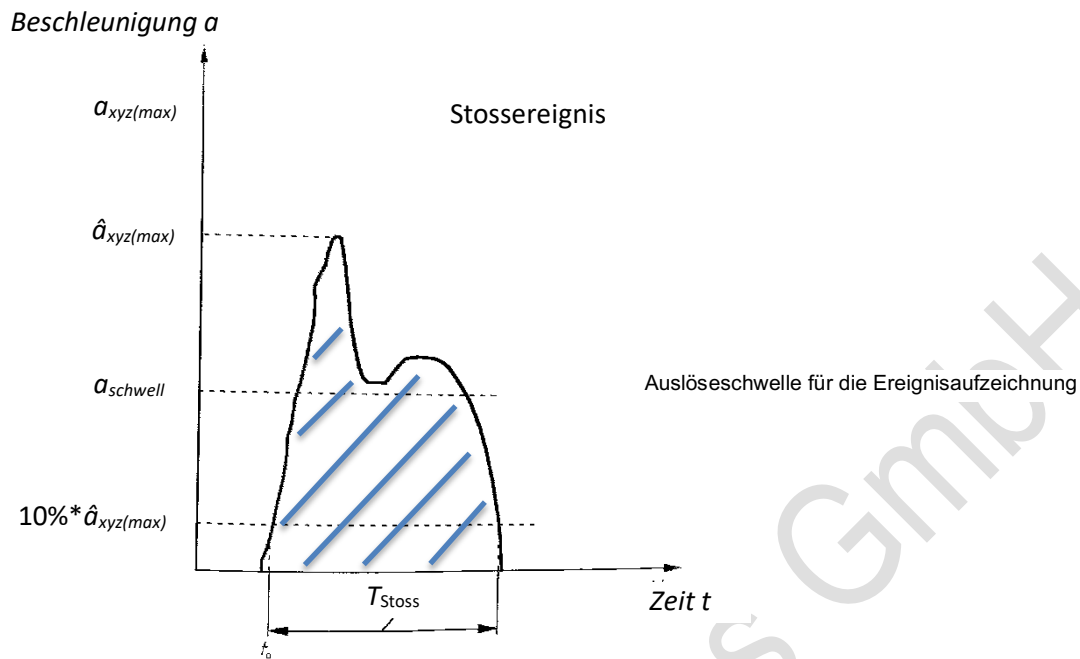


Abbildung 4: typischer Verlauf eines Stossereignisses

[analog Quelle: DIN EN 15433-6:2008-02]

Beispiele für auf die Last von aussen einwirkende Transportstöße:

[Quelle: Ladungssicherungs- Informations- System (LIS), BAM, Stand: Juni 2003]

Transportmittel	Horizontale Beschleunigung			Vertikale Beschleunigung	
	In Fahrtrichtung	Entgegen der Fahrtrichtung	Quer zur Fahrtrichtung	Nach oben	Nach unten
Straßenfahrzeuge (LKW)	0,8 g	0,5 g	0,5 g	k.A.	1,0 g
Schienenfahrzeuge ¹	4,0 g	1,0 g	0,5 g	0,3 g	k.A.
Schienenfahrzeuge ²	1,0 g	1,0 g	0,5 g	0,3 g	k.A.
Seeschiff	0,4 g	0,4 g	0,8 g	k.A.	k.A.

Tabelle 1 Maximale Beschleunigung bei den einzelnen Verkehrsträgern

[Quelle: DIN EN 15433-6:2008-02 und MSR Electronics GmbH]

Transportart	Messbereich [m/s ²]	Stossdauer [ms]	Frequenzen [Hz]
Strasse, z.B. Schlagloch	100	5	ca. 10 bis 15
Schiene, z.B. Rangierstöße	100	20	ca. 120

Da jede Last/jedes Objekt auf spezifische Weise auf die auf sie einwirkende Beanspruchung reagiert, gilt grundsätzlich, dass die mechanischen Beanspruchungen und die tatsächliche Wirkung auf das Objekt mit Beschleunigungssensoren während der (möglichst) realen Belastung (z.B. Transport) experimentell ermittelt werden sollten.

Bei einem Stoss reicht die Kenntnis des Spitzenwertes für die Beschleunigung oft nicht aus, vielmehr ist die zugehörige Dauer des Stosses ebenso relevant, da sich hieraus die Intensität des Stosses direkt oder im Vergleich zu weiteren Stössen am Objekt ermitteln lässt.

In der Abbildung 4 ist die **Intensität** (auch: „Stärke“, „Impuls“, „Energie“) des Stosses durch die Fläche (blau schraffiert) unter der Kurve über der Zeitachse gekennzeichnet. Eine grosse Fläche markiert hierbei einen intensiven Stoss, das heisst meist einen „lang“ andauernden Stoss mit hohen Beschleunigungswerten.

Hintergrund:

Das Zeitintegral der Beschleunigung innerhalb der Stossdauer T_{Stoss} entspricht der mit dem Stossereignis verbundenen Geschwindigkeitsänderung des Objektes:

$$\Delta v = \int_{t_0}^{t_0 + T_{\text{Stoss}}} a_{xyz(\text{max})} dt$$

Die Objektgeschwindigkeit v findet sich in den Formeln für den Impuls I

$$I = \text{Masse } m * v$$

und für die kinetische Energie E

$$E = \frac{m}{2} v^2$$

wieder und ist somit das variable Element im konkreten Objektstoss.

Hinweis:

Zwei Stösse mit gleicher Intensität können unterschiedliche Auswirkungen auf das Objekt haben, da immer auch die absoluten Werte für Stossdauer und Beschleunigung die Auswirkung am Objekt bestimmen.

3.2.4.1 Intensität & Impulszeit – Hilfe beim Ranking von Stossereignissen

Der maximale Beschleunigungswert in einem Stossereignis ist, wie beschrieben, grundsätzlich ein hilfreicher Wert, um einen Schock zu bewerten. Insbesondere im Rahmen von längeren Messungen, z.B. bei Transportüberwachungen, reicht für einen Vergleich verschiedener Stossereignisse miteinander dieser Wert im Allgemeinen aber nicht aus (vgl. oben).

Es ist daher sinnvoll, ein Ranking mehrerer erfasster Stossereignisse in einer Messreihe, neben den reinen maximalen Beschleunigungswerten, durch berechnete Werte für die

Intensität Werte für die **Impuls-Intensität – Intensity over Threshold – IoT (max)** bzw. **IoT (total)** und die **Impulszeit – Time over Threshold – ToT (max.)** bzw. **ToT (total)** zu ermöglichen.

Hinweis:

Diese Möglichkeiten existieren z.B. in der MSR-Software für die Datenlogger MSR165, MSR175 und MSR175plus (ShockViewer / Dashboard etc.). Mit Hilfe der Werte für Intensity (IoT) und Impulszeit (ToT) ist eine Sortierung der Schockereignisse nach der für den Anwendungsfall sinnvollsten Filterung individuell möglich, um sich so auf die gravierendsten Ereignisse in der Analyse der Messreihe konzentrieren zu können.

3.2.4.2 Intensity over Threshold – IoT (max) und IoT (total)

Die Intensität des Schockereignisses wird in der jeweiligen MSR-PC-Software (z.B. MSR ShockViewer) ermittelt. Hierbei wird die Fläche zwischen der g-Wert-Kurve des einzelnen Schockereignisses und dem für den g-Wert eingestellten unteren Schwellwert (Threshold) über die Zeit integriert und für das gesamte Ereignis summiert.

Die g-Wert-Kurve selbst ist immer positiv, da Werte des resultierenden g-Wert-Raumvektors betrachtet werden (siehe oben). Die Intensität wird ohne Dimension angegeben. Zu beachten ist, dass die hier ermittelte Intensität **nicht** der tatsächlich auftretenden Gesamtenergie des einzelnen Schocks entspricht, da nur die Fläche zwischen dem ersten und letzten Messpunkt der Amplitude des resultierenden Gesamt-g-Wertes oberhalb des Thresholds betrachtet wird, der Anteil der Energie zwischen 1 g und dem Threshold also nicht gewertet wird (siehe Abbildung 5). Diese Betrachtung bietet aber für die Detailanalyse die Möglichkeit, über den zu Beginn der Messreihe festgelegten Threshold einzelne Schockereignisse einer Messreihe einfach miteinander zu vergleichen und eine Vorauswahl zu treffen bzw. einen Anzeigefilter zu setzen.

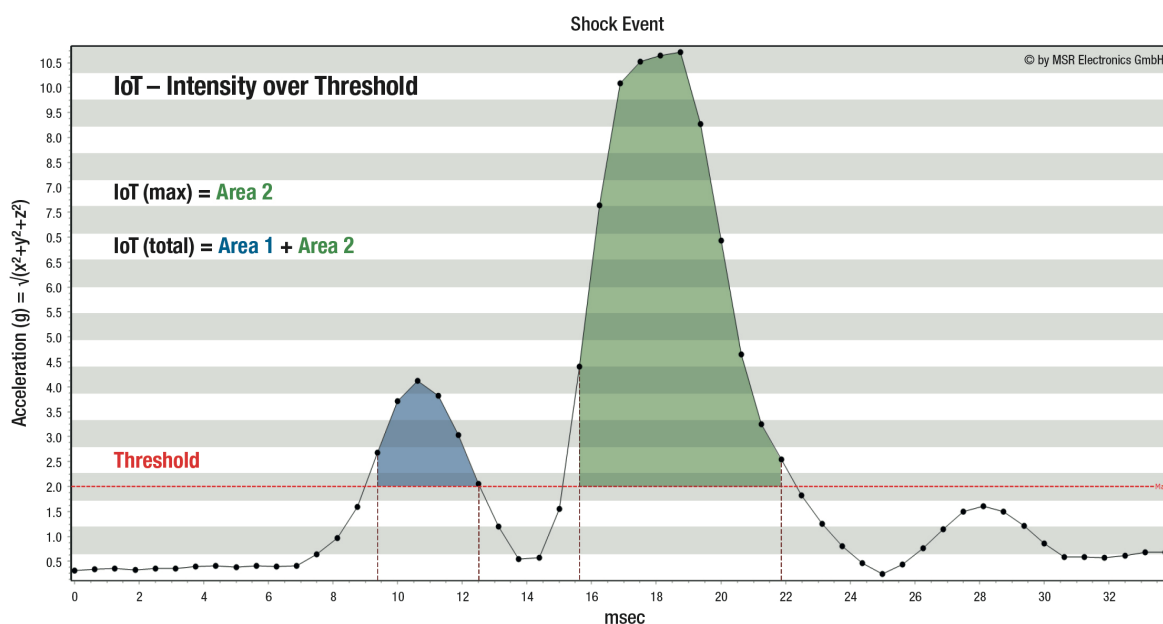


Abbildung 5: Bestimmung der Ereignis-Intensität

Die Summe aller Bereiche Area 1 + Area 2 +...+ Area n ergibt die Intensität **IoT (total)** des gesamten Schockereignisses.

Hinweis:

Ein Schockereignis ist in der MSR-Auswertesoftware auf eine maximale Dauer von ca. 200 ms begrenzt, danach beginnt ggf. ein neues Ereignis, daher können hohe Gesamt-Intensitäten IoT (total) für Schockereignisse auf Schüttel- bzw. Vibrationsbelastungen am Objekt hinweisen.

Der Wert für **IoT (max)** entspricht der grössten Einzel-Intensität Area n eines Schockereignisses, also Area 2 in Abbildung 5. Hohe Werte für IoT (max) sind meistens von besonderem Interesse, da sie verantwortlich für schädigende Einflüsse am betrachteten Objekt sein können, selbst wenn die gesamte Intensität des Ereignisses in Summe vergleichsweise klein ist.

3.2.4.3 Time over Threshold – ToT (max) und ToT (total)

Für jedes aufgezeichnete Schockereignis werden die Impulszeiten (**Time over Threshold – ToT (total oder max)** in msec) bestimmt, in der die Schockamplitude den voreingestellten g-Wert-Schwellwert (Threshold) (aus dem MSR Datalogger PC-Konfigurator) überschritten hat und anschliessend wieder unterschreitet. Ist dies in einem Schockereignis mehrfach der Fall (siehe Abbildung 6), werden die Zeiten zum -ToT (total) addiert.

Zu beachten ist, dass die hier ermittelte Impulszeit zwischen dem ersten und letzten Messpunkt der Amplitude des resultierenden Gesamt-g-Wertes oberhalb des Thresholds ermittelt wird (Abbildung 6).

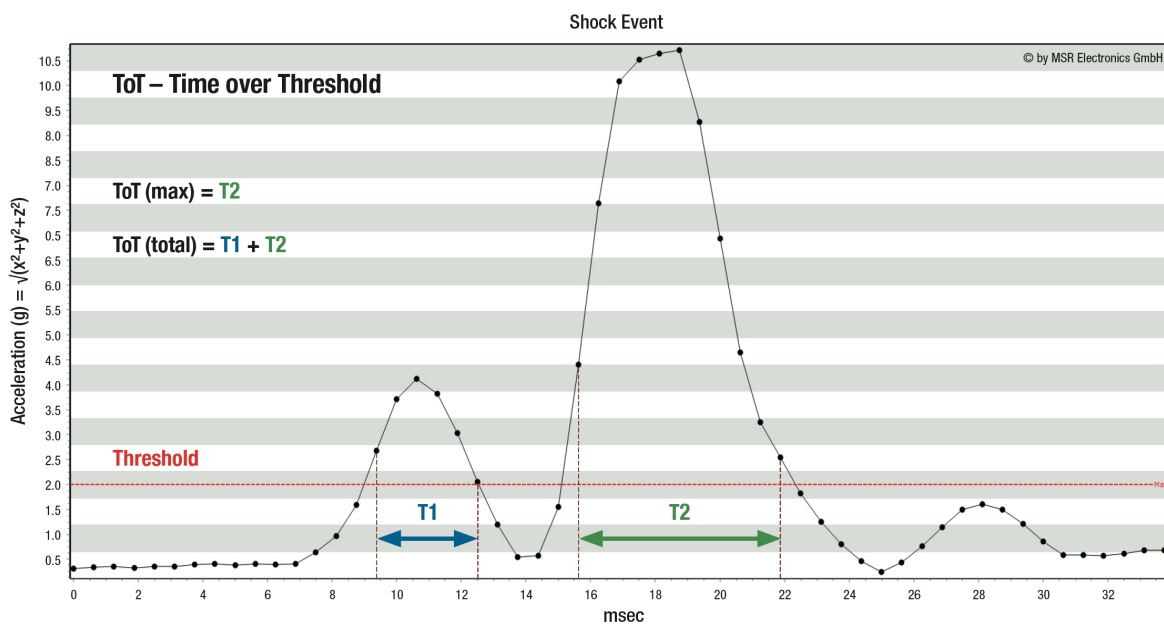


Abbildung 6: Bestimmung der Time over Threshold ToT

Die Summe aller Zeiten $T_1+T_2+\dots+T_n$, die der Wert des Beschleunigungsgesamtvektors während des Ereignisses über der eingestellten Schwelle liegt, ergibt die ToT (total) des betreffenden Schockereignisses (siehe Abbildung 6).

Der Wert für das **ToT (max)** entspricht dem längsten Zeitintervall T_n eines einzelnen ToT (total), also T_2 in Abbildung 6.

Hohe Werte für ToT (max), also relativ lange Einwirkdauern der unerwünschten g-Last, sind meistens von besonderem Interesse, da sie verantwortlich für schädigende Einflüsse am betrachteten Objekt sein können, selbst wenn die ToT (total) des Schockereignisses in Summe vergleichsweise klein ist.

Hinweis:

Ein Schockereignis ist in der MSR-Auswertesoftware auf eine maximale Dauer von ca. 200 ms begrenzt, danach beginnt ggf. nahtlos ein neues Ereignis, daher können hohe ToT (total) Werte für Schockereignisse auf Schüttel- bzw. Vibrationsbelastungen am Objekt hinweisen.

3.2.5 Damage Boundary Curve

[Quelle: Wikipedia und MSR Electronics GmbH]

Die Damage Boundary Curve (DBC) ist eine Methode, um durch Stösse verursachte Schäden an einem Gegenstand zu entdecken. Die DBC trennt ein Stosstdiagramm in zwei Bereiche, in einen unkritischen und kritischen Stossbereich. Ein Stoss, der den kritischen Bereich berührt, kann auf einen Gegenstand zerstörend wirken.

Theorie:

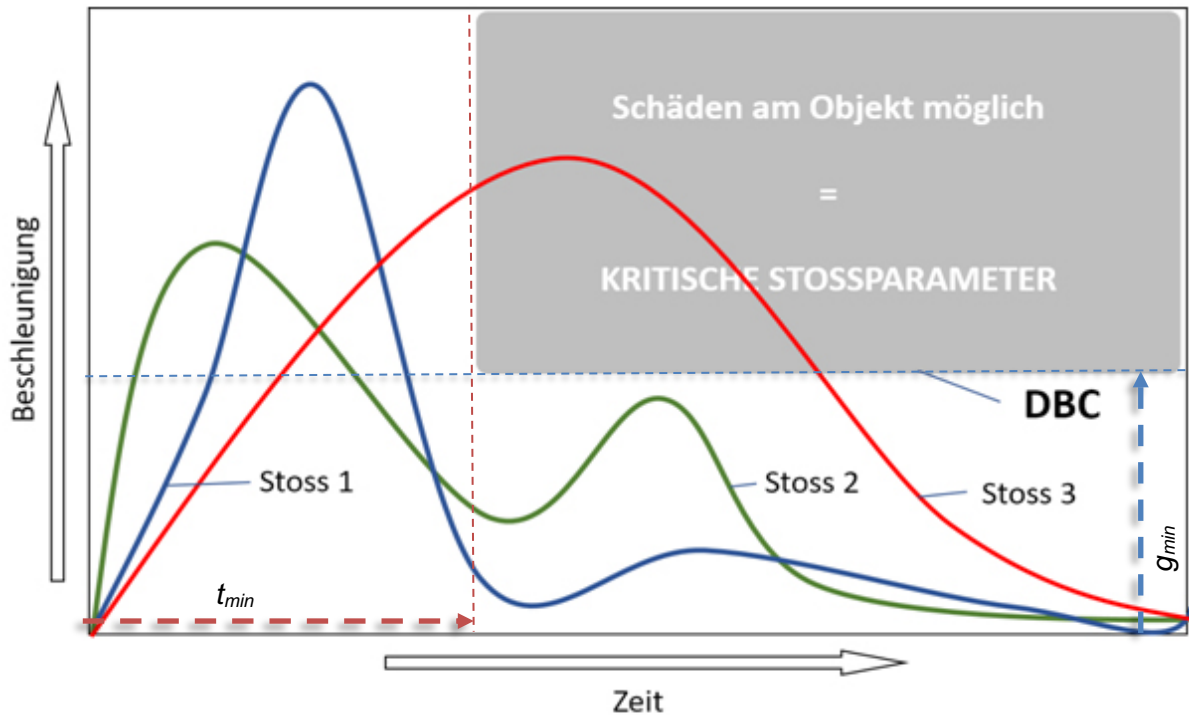


Abbildung 7: Stossdiagramm mit einem kritischen, potentiell schädigendem Stoss

Damit ein Stoss kritisch wird, muss er im Stossereignis eine bestimmte Mindestbeschleunigung g_{min} (Stoss) und eine Mindestzeitdauer t_{min} (Stoss) aufweisen. Was für ein bestimmtes Objekt kritisch ist, ist für jedes Objekt unterschiedlich und hängt von seinem jeweiligen Zustand ab. Je nachdem, wie sensibel ein Gegenstand auf Stöße reagiert, wird sich die DBC im Diagramm anders darstellen. Ist im Diagramm ein Stoss vorhanden, der den kritischen Bereich berührt, muss mit Schäden am Gegenstand gerechnet werden (Stoss 3 in Abbildung 7).

Um eine geeignete Klassifizierung der auf ein Objekt einwirkenden Belastungen zu ermöglichen, sind daher die kritischen Bedingungen für die Mindestdauer und die Mindestbeschleunigung anzugeben. Nötigenfalls sind diese Kombinationen im Vorfeld experimentell zu ermitteln. Prüfvorschriften hierfür finden sich in z.B. DIN EN 15433 ff.

Praxis:

Stossdiagramme mit DBC werden unter anderem verwendet, um empfindliche und wertvolle Gütertransporte, Beanspruchungen auf Gegenstände in Produktionsanlagen oder Beanspruchungen auf Maschinen im produktiven Einsatz zu untersuchen. Dazu zeichnen Beschleunigungs-Datenlogger Stöße auf, die auf den zu untersuchenden Gegenstand einwirken. Die Aufzeichnungen werden in einem Stossdiagramm dargestellt. Je nach Bauart der Logger werden nur DBC relevante Stöße erfasst oder es können im Rahmen der Auswertung der ganzheitlich erfassten Daten die unteren Grenzen für Beschleunigung und Zeitdauer bei der Auswertung festgelegt werden.

Für die Nutzung von MSR Datenloggern bedeutet dies, dass eine DBC-Auswertung mit Hilfe der individuell einstellbaren Schwellen für die zu erfassenden/erfassten g-Werte und der

Mindestdauer für die Einwirkzeit t_{min} (Stoss) = ToT (max) realisiert werden kann. Eine zusätzliche Betrachtung der Intensitäten der Schockereignisse mittels der Werte für IoT (max) kann dann die DBC-Auswertung sinnvoll unterstützen.

3.2.6 Messrate/Abtastrate/Fast Peak

Eine Beschleunigungsmessung wird durch den Messbereich des Beschleunigungssensors und die mögliche bzw. angewendete Messrate (auch Abtastrate) für die Messung bestimmt.

Der Messbereich bezeichnet die maximal erfassbaren g-Werte (z.B. ± 200 g). Dieser ist bauartbedingt je nach Sensortyp vorgegeben. Je nach Messaufgabe ist ein Beschleunigungssensor mit entsprechendem Messbereich zu wählen.

Als Mess- bzw. Abtastrate wird die Anzahl der g-Wert-Messungen je Zeiteinheit (meist je Sekunde – Einheit Hz) bezeichnet. Durch die Messrate wird die Genauigkeit in der Erfassung des Beschleunigungsereignisses vorbestimmt. So ist bei der Detektion von Lageänderungen eine relativ niedrige Messrate ausreichend, da es sich häufig um langsam verlaufende Vorgänge handelt. Bei Stössen und Schwingungen hingegen ist eine möglichst hohe Messrate zur guten Abbildung der g-Wert-Verläufe des Ereignisses erforderlich. Hierbei gilt: je höher die Messrate, desto genauer wird der tatsächliche Verlauf abgebildet.

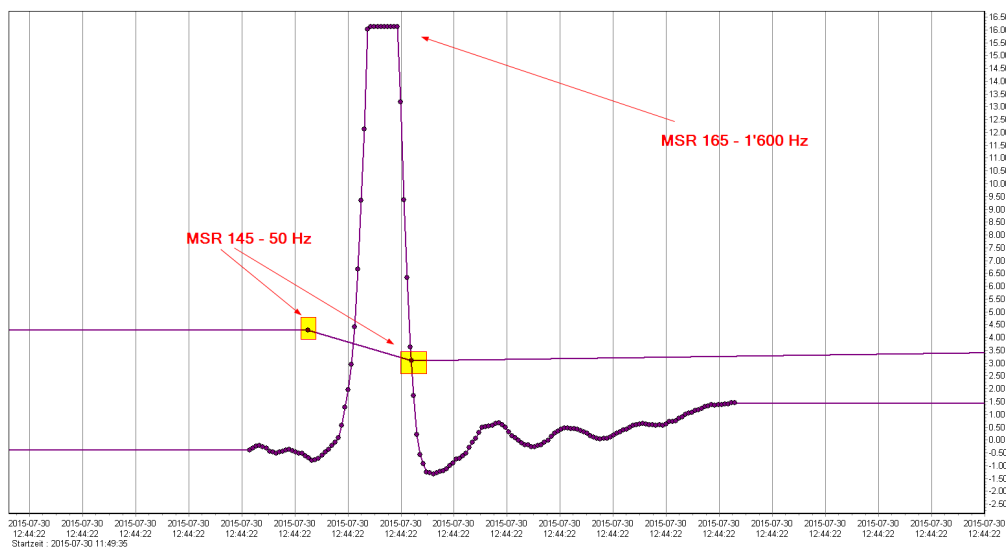


Abbildung 8: Auflösung eines Schockereignisses mit niedriger und höherer Messrate [Hz]

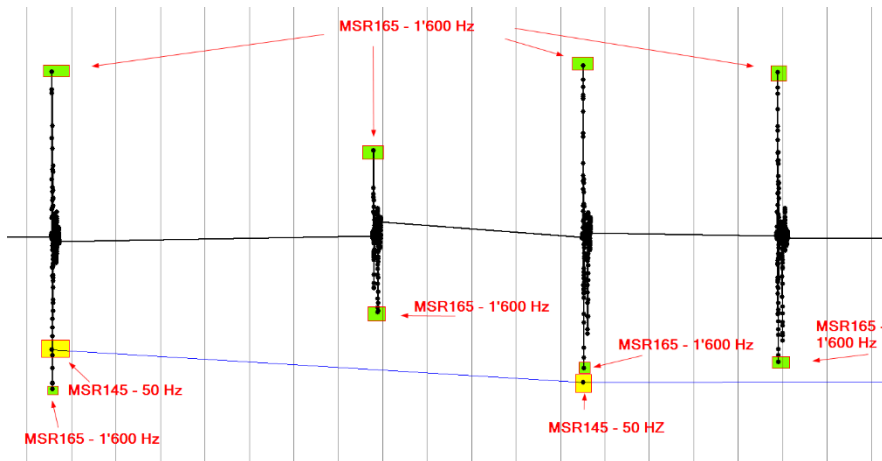


Abbildung 9: Auflösung mehrerer Schockereignisse mit niedriger und höherer Messrate [Hz]

In Abb. 8 und 9 ist zu erkennen, dass durch eine geringe Messrate (50 Hz) Informationen über den Verlauf und die Beschleunigungsspitzenwerte des/der Schockereignisse(s) schlecht (Abb. 8) bzw. gar nicht (siehe Abb. 9) erfasst werden können. Anders verhält sich dies bei einer hohen Messrate (1'600 Hz). Verlauf und Spitzenwerte werden besser abgebildet und können entsprechend sinnvoll ausgewertet werden (*Anmerkung:* Die in Abb. 8 gezeigten Spitzenwerte sind bauartbedingt auf 16 g begrenzt).

Nachteilig bei einer hohen Messrate ist allerdings, dass, wenn kontinuierlich gemessen wird, eine entsprechend grosse Datenmenge erzeugt wird, die die Speicherkapazität des Beschleunigungs-Datenloggers schnell erschöpft und damit dessen Einsatzdauer stark begrenzt. Insbesondere, wenn nicht kurzfristige Stoss- und Schwingungsanalysen im Fokus der Messaufgabe stehen, sondern Langzeitüberwachungen wie z.B. bei Transportprozessen durchgeführt werden sollen, ist dies unerwünscht. Hier soll nur das eigentliche Schadensereignis möglichst akkurat erfasst werden.

Um diese Aufgabe möglichst effektiv zu realisieren sind grundsätzlich folgende Ansätze verbreitet:

1. Es werden nur Ereignisse erfasst und gespeichert, die einen bestimmten voreingestellten g-Wert („Threshold = `adx1_level_on`“ in Abbildung 10) und eine Mindest-Stossdauer (ToT) überschreiten. Hierbei ist es sinnvoll, einige zeitlich vor und nach dem Ereignis liegenden g-Werte (z.B. 32 Messwerte) ebenfalls mit abzuspeichern, um die Daten für das gesamte Ereignis auswerten zu können (findet bei MSR-Datenloggern automatisch so statt). Dieses Vorgehen spart Speicherkapazität, da nur die relevanten Ereignisse gespeichert werden. Allerdings setzt dies eine gute Kenntnis der relevanten Ereignisse voraus, um durch die Voreinstellung keine interessanten Ereignisse in der Aufzeichnung zu verlieren.

Hinweis zu Abbildung 10:

Zurzeit ist nur ein Threshold für den g-Wert einstellbar, d.h. „`adx1_level_on`“ und „`adx1_level_off`“ sind identisch.

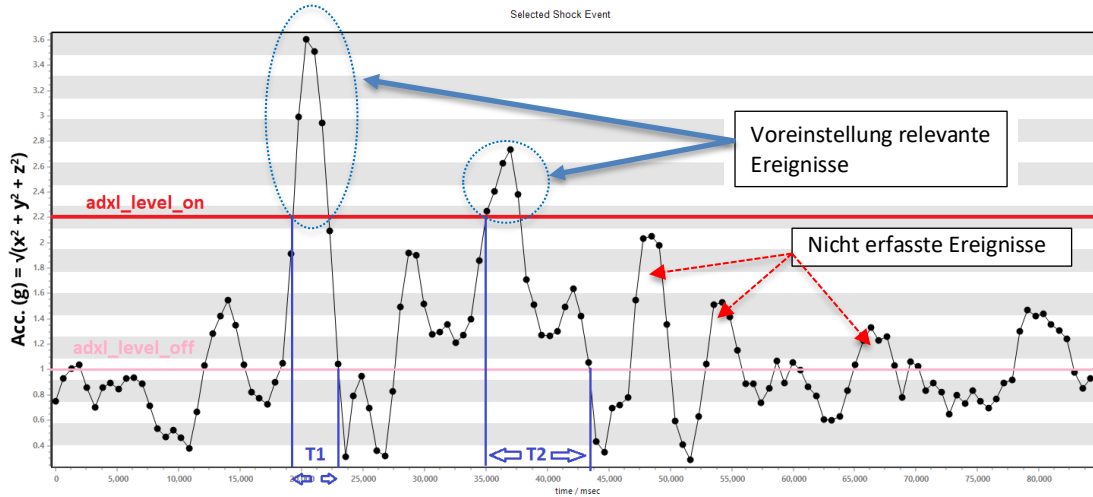


Abbildung 10: relevante Ereignisse bei voreingestellter g-Wert-Schwellwert

- Bei der Funktion „Fast Peak“ ist die Messrate auf z.B. 1 kHz eingestellt. Es wird dann ein beliebiges Messintervall gewählt, an dessen Ende der jeweils im Intervall gemessene g-Maximalwert für die Beschleunigung abgespeichert wird. Das Messintervall (=Speicherrate) kann dabei von z.B. „max. 50 Speicherungen pro Sekunde“ bis auf „einmal Speichern alle 12 Stunden“ eingestellt werden.

Wird beispielsweise die Speicherrate 1/s gewählt, wird die Beschleunigung mit 1 kHz abgetastet und einmal pro Sekunde der Maximalwert (= betragsmässiger Maximalwert der letzten 1'000 Messwerte) abgespeichert.

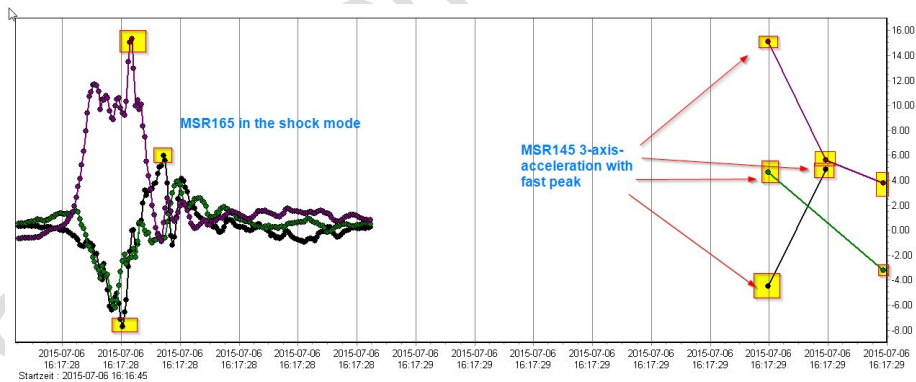


Abbildung 11: Vergleich hohe Messrate vs. Fast Peak - Ereignismaximalwerte

In Abb. 11 ist zu erkennen, dass bezogen auf die Ereignismaximalwerte die Fast Peak-Methode gute Ergebnisse liefert. Allerdings wird der Verlauf des relevanten Schockereignisses nicht erfasst und geht somit verloren. In Anwendungen, in denen es nur auf die Maximalwerte der Belastung und deren Richtung ankommt, ist dieses Verfahren gut geeignet, die Speicherkapazität zu schonen, ohne die Gefahr zu laufen, relevante Ereignisse aufgrund ungünstig eingestellter Schwellwerte nicht zu erfassen. Im Gegenzug werden aber auch Maximalwerte für die g-Werte im eingestellten Zeitintervall kontinuierlich mit aufgezeichnet, die nicht von Interesse sind.

4 Datenlogger MSR145, MSR165, MSR175 und MSR175plus

Der erforderliche Messbereich eines Datenloggers ist stets in Abhängigkeit von der jeweiligen Messaufgabe festzulegen.

So ist für die Ermittlung von Beschleunigungswerten, wie sie beispielsweise während des Transportes auf der Ladefläche eines Fahrzeugs entstehen, in der Regel ein relativ geringer Messbereich ausreichend. Für die Überwachung von z.B. Paletten-Versänden, also für die Messung von Schwingungen und leichten Stössen ($< \pm 15$ g), erweist sich der MSR145 Mini-Datenlogger deshalb in der Regel als sehr gut geeignet. Insbesondere die Variante „Fast Peak“ findet in diesem Segment eine Anwendung, da die Stossmaxima mit einer Messrate von 1 kHz über den gesamten Messzeitraum erfasst werden.

Für kurze und intensivere Stösse, z.B. 75 g mit 8 ms, wie sie beim Einzelversand auftreten können, sind hingegen die speziell für Transportüberwachungen empfohlenen Datenlogger MSR165 und MSR175 dem universellen MSR145 überlegen. Mit 1600/s bzw. bis zu 6400/s erlauben diese dem Anwender hier deutlich mehr Messungen als der MSR145 (50/s); die Transportbelastungen können so mit einer viel grösseren Auflösung erkannt werden. Die Speicherkapazität des MSR165 von zwei Millionen Messwerten reicht zur Aufzeichnung von über 10'000 Stössen aus, die des MSR175 für mindestens 1'000, mittels microSD Karte lässt sich die Speicherkapazität des MSR165 auf über 1 Milliarde Messwerte erweitern. Zusätzlich hilfreich: 32 Messwerte werden bereits vor dem Ereignis gespeichert. Eine Schock-Überwachung ist mit dem MSR165 und mit MSR175 Datenlogger bis max. ± 15 g oder bis ± 200 g möglich. Beim MSR175plus werden beide Messbereiche gleichzeitig erfasst.

Nebst dem MSR165 bieten insbesondere die speziell für die Schocküberwachung bzw. -aufzeichnung entworfenen Transport-Datenlogger MSR175 und MSR175plus eine effiziente Art der Dokumentation von Transportschäden.

Datenlogger-Typ	Messbereich	Messrate	Speicherrate
MSR145	± 15 g; $-20...+65$ °C	50/s bis alle 12 h	50/s bis alle 12 h
MSR145 Fast Peak	± 15 g; $-20...+65$ °C	1000/s (Fast Peak) 50/s bis alle 12 h	50/s bis alle 12 h
MSR165 Shock Mode	± 15 g; $-20...+65$ °C ± 200 g; $-20...+65$ °C	1600/s bis 100/s	1600/s bis 100/s (nur die relevanten Ereignisse)
MSR165 Vibration Mode	± 15 g; $-20...+65$ °C ± 200 g; $-20...+65$ °C	1600/s bis alle 12 h	1600/s bis alle 12 h
MSR175 Shock Mode	± 15 g; $-20...+65$ °C	1600/s	1600/s
	± 200 g; $-20...+65$ °C	3200/s 6400/s	3200/s 6400/s
MSR175plus Shock Mode	± 15 g; $-20...+65$ °C	1600/s	1600/s
	± 200 g; $-20...+65$ °C	6400/s	6400/s

[Tabelle: Daten der für die Messung von 3-Achsen-Beschleunigung verwendeten Datenlogger-Typen MSR145, MSR165, MSR175 und MSR175plus](#)

5 Ausblick

Hinweise und Erläuterungen zum Einsatz und für die Anwendung der erwähnten Schock- und Vibrationslogger MSR145, MSR165, MSR175, MSR175plus sowie die Möglichkeiten mit Hilfe der MSR eigenen S/W-Analysertools (MSR Dashboard, MSR ShockViewer etc.) die gesammelten Daten einer Messreihe zu verarbeiten, finden sich auf der MSR-Website:

www.msr.ch

Hier finden sich z.B. unter dem Punkt „**Support**“ die folgenden Themen:

- Liste der häufig gestellten Fragen (FAQ)
- Download der MSR Datenblätter
- Download der Benutzerhandbücher
- MSR PC-Software
- MSR Firmware-Updates
- MSR DataLogger App
- kostenloser Newsletter per E-Mail

Als Hilfestellung bei der Anwendung z.B. des MSR ShockViewer finden Sie im **YouTube Channel „MSR Electronics GmbH“** sowie auf unserer msr.ch-Website eine Reihe von **Video Tutorials**:

msr.ch -> [Support](#) -> [MSR PC-Software](#) -> [MSR ShockViewer](#) ->

„[Link zu den Tutorials im Abschnitt Software-Support](#)“

Bitte nehmen Sie zur Kenntnis, dass dieses Grundlagenpapier nicht die kompetente Beratung eines MSR-Verkaufsberaters ersetzt, alle Angaben ohne Gewähr und Irrtümer und Änderungen vorbehalten sind. Für eine persönliche Beratung wenden Sie sich bitte an einen der 90 MSR Vertriebspartner in weltweit über 50 Ländern: <https://www.msr.ch/de/kontakt/>

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei Ihren Messaufgaben!

MSR Electronics GmbH