

# Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser 3D-BTA

Der Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser besteht aus drei Beschleunigungsmessern von -5 bis +5 g, welche in einem kleinen Block montiert sind. Mit der entsprechenden Hardware und Software zur Messwerterfassung ist es möglich, jede dieser Komponenten zu plotten oder den Betrag der Nettobeschleunigung zu berechnen.

Der Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser kann für eine Vielzahl von Versuchen und Demonstrationen innerhalb wie außerhalb des Labors verwendet werden.



Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser

## Lieferumfang

- Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser mit drei Anschlussleitungen
- Handbuch (dieses Dokument)

## Typische Anwendungen:

- Die drei enthaltenen Beschleunigungsmesser können selbstverständlich auch einzeln ausgelesen werden, um einfache, unidirektionale Versuche durchzuführen.
  - Beschleunigungsmessung auf einer schiefen Ebene oder unter Einwirkung einer konstanten Kraft.
  - Beschleunigungsmessung über der Zeit in bewegten Objekten (wie Aufzügen, ferngesteuerten Autos, Fahrrädern oder PKWs usw.)
  - Erfassung der Schräglage eines Objektes. Die Genauigkeit des Sensors ist ein Grad. Da jeder Kanal die vertikale Komponente der Erdanziehung misst, wird sich der Messwert beim Kippen von horizontaler zu vertikaler Ausrichtung ändern.
- Ebenso sind komplexe Versuche mit Beschleunigung in drei Dimensionen möglich:
  - In Fahrgeschäften wie in Achterbahnen, (Schiff-)Schaukeln oder Walzerbahnen.
  - Bei 'Bungee-Sprüngen' mit Puppen oder Objekten.
  - Beschleunigungsmessung beim Wurf.

Bitte beachten Sie, dass die Produkte von Vernier speziell für Unterrichtszwecke entwickelt werden. Sie sind für Industrie-, Medizin-, Forschungs- und Produktionszwecke nicht geeignet.

## Kompatibilität mit Datenloggern

Aufzeichnung der Messwerte von Beschleunigungssensoren								
Referenz	LabQuest2	LabQuest	LabQuest Mini mit Computer	GO!Link	Sensor DAQ	TI Nspire / LabCradle	LabQuest Stream <sup>1</sup>	GW Link
ACC-BTA	•	•	•	•	•	•	•	○ <sup>2</sup>
3D-BTA	•	•	•	•	•	•	•	○ <sup>3</sup>
LGA-BTA	•	•	•	•	•	•	•	•

<sup>1</sup> LabQuest Stream überträgt per Bluetooth an mobile Geräte und über USB auch an PCs.

<sup>2</sup> Die Übertragung per Bluetooth an Computer wird für diese Sensoren in Zukunft unterstützt werden.

<sup>3</sup> GW-LINK kann nur einen Kanal übertragen.

Weitere Informationen u.a. zur Verwendung des 3D-Beschleunigungsmessers mit mobilen Endgeräten finden Sie auf der Webseite [www.vernier.com/manuals/3d-bta](http://www.vernier.com/manuals/3d-bta) unter *Sensor Requirements*.

## Benutzung des Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser

Die gängige Methode zur Benutzung des Drei-Achsen-Beschleunigungsmessers:

1. Verbinden Sie den Sensor mit einer kompatiblen Schnittstelle.
2. Starten Sie die Software zur Messwerterfassung und wählen Sie *Datei/Neu*.
3. Die Software erkennt den Sensor und lädt eine Grundeinstellung für die Erfassung.

Sie können nun mit der Messwerterfassung beginnen.

## Kalibrierung

Normalerweise ist keine neue Kalibrierung des differentiellen Drei-Achsen-Beschleunigungsmessers notwendig. Die Messung dieses Sensors ist komplex und kann schwer zu analysieren sein.

**Hinweis:** Beachten Sie, dass die Erdbeschleunigung mit  $9,81 \text{ m/s}^2$  überall wirkt und auch vom Beschleunigungsmesser gemessen wird.

In den meisten Experimenten können Sie einfach die standmäßige Kalibrierung verwenden. Nutzen Sie aber bitte dennoch die Nullstellungsoption und nullen sie den Sensor entlang der Achsen. Wie die meisten Beschleunigungsmesser auch, misst dieser Gravitation wie auch Beschleunigung. Dies kann Ergebnisse zwar schwerer zu interpretieren machen, bietet aber eine einfache Kalibrierungsmethode mittels der Erdbeschleunigung. Um den Sensor zu kalibrieren positionieren Sie ihn so, dass die Pfeilspitze nach unten zeigen. Definieren Sie das Messergebnis dieses ersten Kalibrierungspunktes als  $-9,8 \text{ m/s}^2$  oder  $-1g$ . Drehen Sie das Messgerät um  $180^\circ$  so, dass die Pfeilspitze nach oben zeigt und legen sie den Messwert als zweiten Kalibrierungspunkt auf  $+9,8 \text{ m/s}^2$  oder  $+1g$  fest. Der Beschleunigungsmesser sollte nun in horizontaler Haltung null ausgeben. Wiederholen Sie dieses Vorgehen für jede Achse. Falls Sie den Sensor für Beschleunigung in vertikaler Richtung kalibrieren wollen, folgen Sie der Anleitung von oben, aber definieren sie den ersten Kalibrierungspunkt als null und den zweiten als  $+19,6 \text{ m/s}^2$  oder  $+2g$ .

## Vorgeschlagene Experimente

Da der Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser äquivalent zu drei Beschleunigungsmessern bis 5 g ist, können Sie einfach einen der Kanäle nutzen, um Beschleunigungen entlang einer Achse zu untersuchen. Montieren Sie den Beschleunigungsmesser so, dass eine seiner Achsen in die relevante Richtung zeigt und überwachen Sie nur diesen Kanal. Bei linearer Bewegung bleibt die Analyse einfach.

### Versuche mit Messung in einer Achse

- Beschleunigungsmessung auf einer schiefen Ebene oder unter Einwirkung einer konstanten Kraft.
- Beschleunigungsmessung über der Zeit in bewegten Objekten (wie Aufzügen, ferngesteuerten Autos, Fahrrädern oder PKWs usw.)
- Erfassung der Schräglage eines Objektes. Die Genauigkeit des Sensors ist ein Grad. Da jeder Kanal die vertikale Komponente der Erdanziehung misst, wird sich der Messwert beim Kippen von horizontaler zu vertikaler Ausrichtung ändern.

### Versuche mit Messung in mehreren Achsen

Der Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser lässt sich auch zur Messwerterfassung in komplexeren Versuchsaufbauten eingesetzt werden:

- In Fahrgeschäften wie in Achterbahnen, (Schiff-)Schaukeln oder Walzerbahnen.
- Bei Bungee-Sprüngen mit Puppen oder Menschen.
- In und auf Fahrzeugen, Modellautos, Skateboards, Ski und Schlitten.

### Ballwurf

Beschleunigungsmessung beim Wurf. Der Beschleunigungsmesser und die Schnittstelle werden in einem gepolsterten Karton in die Luft geworfen. Die drei einzelnen Teilbeschleunigungen werden mit der Nettobeschleunigung verglichen.

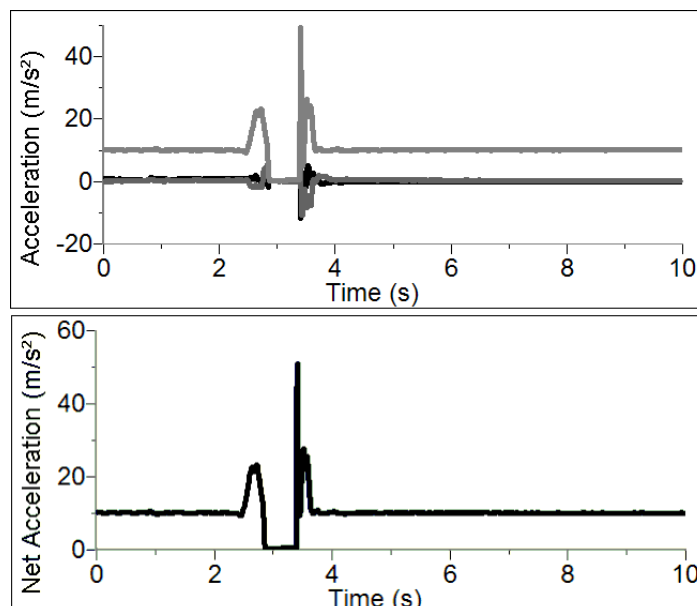


Abb. 5: Drei-Achsen-Beschleunigungsmessers, senkrechter Wurf ohne Rotation

Im Graphen in Abbildung 5 wurde der Karton in die Luft geworfen, aber nicht gedreht. Beachten Sie, dass die Beschleunigung in x- und y-Richtung vor dem Wurf null waren, wohingegen die y-Achsen-Beschleunigung  $9.8 \text{ m/s}^2$  betrug. Während des Wurfes gehen alle drei Teilbeschleunigungen und die Nettobeschleunigung gegen null. Der Graph in Abbildung 6 zeigt einen senkrechten Wurf, bei dem der Sensor auch rotierte. Während des Wurfes verändern sich die Messwerte aller Achsen. Beachten Sie, dass die Nettobeschleunigung aufgrund der Zentripetalbeschleunigung nicht ganz auf null geht.

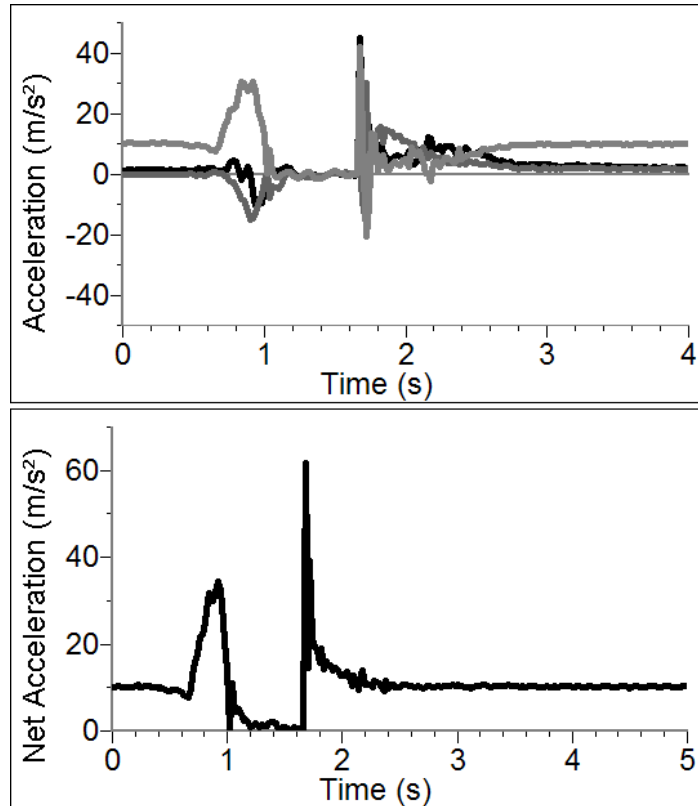


Abb. 6: Drei-Achsen-Beschleunigungsmessers, senkrechter Wurf mit Rotation

## Bungee

Zur Analyse eines Bungee-Sprungs wurde ein Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser verwendet. Die ersten drei Graphen (Abb. 1) zeigen die einzelnen Teilbeschleunigungen während des Sprungs. Der nächste Graph zeigt die berechnete Nettobeschleunigung berechnet als die Wurzel der Summe der Quadrate der Teilbeschleunigungen  $\sqrt{\sum (Teilbeschleunigung_i)^2}$ .

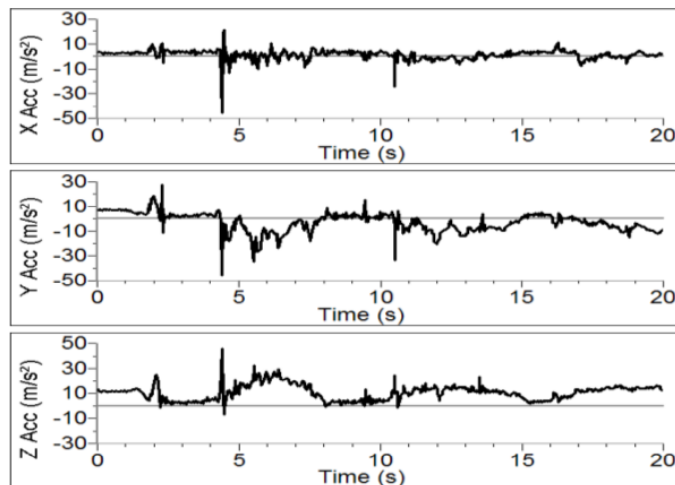


Abb. 0: Teilbeschleunigungen während des Bungee-Sprungs

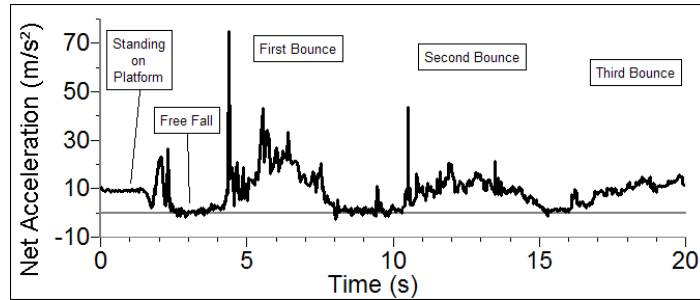


Abb. 1: Berechnete Nettobeschleunigung

## Pendel

Der Graph entstand durch Montage eines Drei-Achsen-Beschleunigungsmessers auf einem Pendel. Da das Pendel in einem großen Winkel schwingt, ändert sich somit auch der Winkel des Beschleunigungsmessers signifikant. Ein einfacher eindimensionaler Beschleunigungsmesser hätte diese Aufgabe nicht in Detailtreue erfüllen können. In Abbildung 2 wurde nur die Nettobeschleunigung gezeichnet

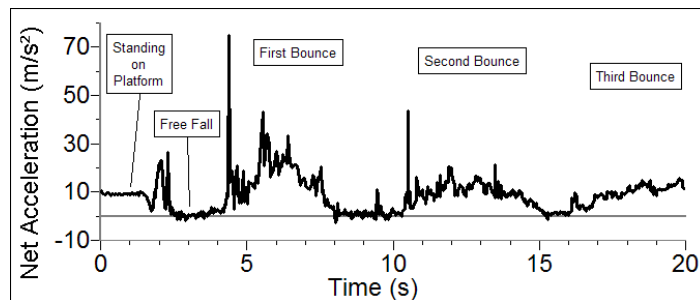


Abb. 2: Nettobeschleunigung einer Pendelschwingung

## Twister

Der Graph in Abbildung 3 zeigt die erfassten Messwerte des Beschleunigungsmessers und eines Barometers in einem Twister<sup>1</sup>.

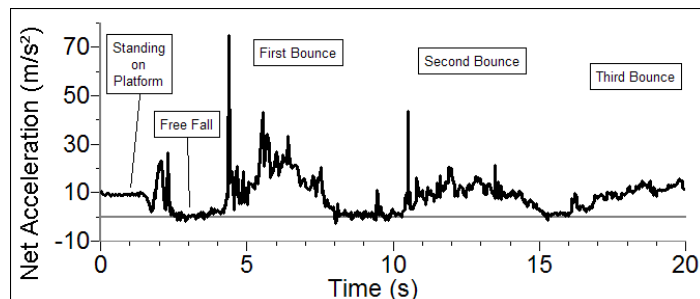


Abb. 3: Daten aus dem Twister

## Videos

Videos zu diesem Produkt finden Sie unter [www.vernier.com/dvp-bta](http://www.vernier.com/dvp-bta).

## Technische Daten

Für jede Achse:	Messbereich:	$\pm 49 \text{ m/s}^2$ ( $=\pm 5g$ )
	Genauigkeit:	$\pm 0,5 \text{ m/s}^2$ ( $=\pm 0,05g$ )
	Antwortrate:	0 - 100 Hz
13bit Auflösung (mit SensorDAQ):		$0,0018 \text{ m/s}^2$
12bit Auflösung (mit LabPro, LabQuest2, LabQuest, LabQuest mini, Go!Link, TI-Nspire Lab Cradle oder EasyLink):		$0,037 \text{ m/s}^2$
10bit Auflösung (mit CBL 2):		$0,15 \text{ m/s}^2$
Versorgungsspannung:		$5 \text{ V}_{DC}$
Aufnahmestrom:		$30 \text{ mA}$ bei $5 \text{ V}_{DC}$
Gespeicherte Kalibrierung:		
	Steigung ( $k_1$ ) =	$30,46 \text{ m/s}^2 / \text{V}$
	Achsenabschnitt ( $k_0$ ) =	$-72,62 \text{ m/s}^2$

<sup>1</sup>Fahrgeschäft mit rotierenden Gondeln

## Funktionsweise

Der Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser besitzt drei beschleunigungssensitive integrierte Schaltkreise (IC's) mit der zugehörigen Elektronik. Funktional ist er identisch zu dreien unserer Beschleunigungsmesser bis 5 g Beschleunigungsmesser (LGA-BTA) in orthogonaler Anordnung. Jeder Sensor misst die Beschleunigung einer Achse, die mit X, Y oder Z beschriftet ist, und erzeugt ein Signal auf einem der drei Ausgänge. Die IC-Sensoren ähneln denen zur Auslösung von Airbags in Autos. Im IC sind sehr feine Finger aus Silizium eingebaut, welche sich bei Beschleunigung biegen. Sie sind verbunden und angeordnet wie die Platten eines Kondensators. Bei Biegung des Fingers ändert sich die Kapazität und eine Schaltung, die diese im IC überwacht, wandelt sie in Spannung um. Ein Operationsverstärker im Schaltkreis verstärkt und filtert das Signal des IC. Die Spannung variiert also linear mit der Beschleunigung.

Jeder der Ausgänge ist mit X, Y oder Z gekennzeichnet, was den abgebildeten Richtungen auf dem Etikett des Sensors entspricht. Die Beschleunigung wird in Metern pro Sekunde<sup>2</sup> ( $m/s^2$ ) oder der Erdbeschleunigung  $g$  ( $9,8m/s^2$ ) gemessen. Der Sensor misst Beschleunigungen im Bereich von  $-5g$  ( $-49 m/s^2$ ) bis  $+5g$  ( $+49 m/s^2$ ) in jeder Richtung. Dies ist der Beschleunigungsbereich, in dem der menschliche Körper keinen Schaden nimmt, weswegen sich dieser Sensor für Versuche eignet, bei dem er am Körper getragen wird. Viele Zusammenstöße erzeugen jedoch deutlich höhere Beschleunigungen. Tatsächlich reicht der Fall des Sensors aus einer Höhe von wenigen Zentimetern aus, um Beschleunigungen von mehreren Hundert  $g$  zu erzeugen. Der Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser wird bei Beschleunigungen bis zu  $1000g$  keinen Schaden nehmen. Der Messbereich ist jedoch kleiner.

Bei richtiger Kalibrierung liest der Kanal  $9,8 m/s^2$  bzw.  $-9,8 m/s^2$  bei senkrechter Ausrichtung des Pfeils, der die Achse repräsentiert, bzw. null bei waagrechter. In den meisten Fällen kann die Messwerterfassungssoftware dazu genutzt werden in einer neuen Spalte den Betrag der resultierenden Nettobeschleunigung zu berechnen. Ein Messwert von  $9,8 m/s^2$  ist äquivalent zu Sensor in Ruhe, ein Messwert von null zum Sensor im freien Fall. Die Orientierung des Drei-Achsen-Beschleunigungsmessers spielt keine Rolle. Zum besseren Verständnis der Funktionsweise, nehmen Sie das Messgerät in die Hand und rotieren Sie es langsam entlang aller drei Achsen. Die Graphen in Abbildung 4 zeigen das Ergebnis dessen mit den drei Teilbeschleunigungen und der Nettobeschleunigung. Beachten Sie, dass die Nettobeschleunigung die ganze Zeit nahe der  $9,8m/s^2$  bleibt.

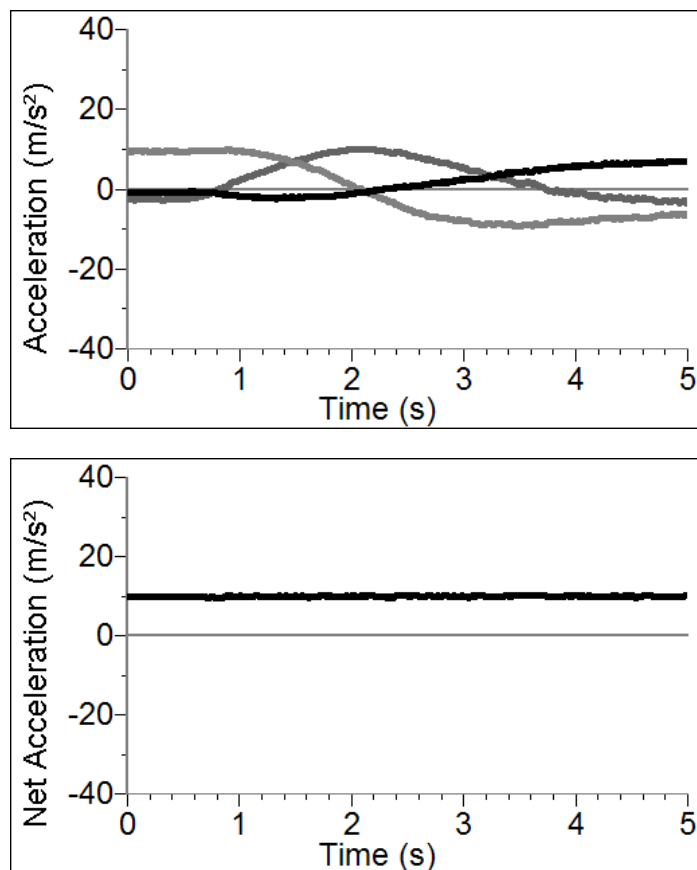


Abb. 4: Rotation des Drei-Achsen-Beschleunigungsmessers

Der Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser ist darauf ausgelegt, kleine Beschleunigungen mit minimalem Stromrauschen zu messen. Typischer Weise liegt das Rauschen in der Größenordnung von  $0,5 m/s^2$  (Peak zu Peak). Die Offset-Spannung (Spannungsausgabe bei  $0m/s^2$ ) variiert abhängig von der Temperatur.

## Verwandte Produkte

Vernier stellt drei weitere Beschleunigungsmesser her:

- 25-g Beschleunigungsmesser (ACC-BTA).  
Zum Einsatz bei Kollisionsexperimenten oder für Zentripetalexperimente mit höherer Beschleunigung.
- Beschleunigungsmesser bis 5 g (LGA-BTA).  
Eine eindimensionale Version des hier beschriebenen Drei-Achsen-Beschleunigungsmessers.
- Wireless Dynamics System Sensor (WDSS).  
Ein Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser, Höhenmesser und Kraftsensor in einem Gerät, mit drahtloser Übertragung an den Computer.



25-g Beschleunigungsmesser

## Gewährleistung

Vernier gibt auf dieses Produkt fünf Jahre Garantie ab dem Tag der Auslieferung an den Kunden. Die Garantie ist beschränkt auf fehlerhaftes Material oder fehlerhafte Herstellung. Fehler durch falsche Handhabung sind von der Garantie ausgeschlossen.



Mehr  
Dokumentation  
in  
deutscher  
Sprache



<http://de.vernier.education>

### Vernier Software & Technology

13979 S.W. Millikan Way • Beaverton, OR 97005-2886 (888) 837-6437 • (503) 277-2299 • FAX (503) 277-2440  
info@vernier.com • www.vernier.com

Logger Pro, Logger Lite, Vernier LabQuest, Vernier LabPro, Go!Link, Vernier EasyLink, Go Wireless, Graphical Analysis und andere aufgeführte Marken sind unsere Warenzeichen oder Warenzeichen, die in den USA registriert sind.

Alle anderen hier aufgeführten Marken, die nicht in unserem Besitz sind, gehören den jeweiligen Eigentümern, die uns möglicherweise angegliedert oder mit uns verbunden sind oder die möglicherweise von uns gefördert werden.

Stand 26. November 2016