

► Der Bewegungssensor – ein Werkzeug zum Verstehen von Zeit-Weg-Diagrammen

Hildegard Urban-Woldron, Jörg Bussmann



Zusammenfassung

Der Artikel stellt Anwendungsmöglichkeiten für den Einsatz des Bewegungssensors sowohl für den Mathematik- als auch für den Physikunterricht vor. Der Schwerpunkt der vorgeschlagenen Unterrichtsideen liegt auf dem „Nachgehen“ vorgegebener Zeit-Weg-Diagramme und der Interpretation von Bewegungsdiagrammen durch die Schülerinnen und Schüler. Durch die gleichzeitige Visualisierung der eigenen Bewegungen und der Veranschaulichung des zugeordneten Graphen auf dem Handheld oder Computer-Bildschirm, wird die Verbindung zwischen dem realen Vorgang und der graphischen Repräsentation besonders unterstützt. Je nach Einstieg und Vorgangsweise ist das Unterrichtsvorhaben in verschiedenen Jahrgangsstufen möglich, wobei auch hier entsprechend nach Leistungsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler differenziert werden kann. Abschließend werden Möglichkeiten der inhaltlichen Vertiefung und Erweiterung angeboten.

Lernziele

Schülerinnen und Schüler sollen ...

- aus Zeit-Weg-Diagrammen die für Bewegungsabläufe relevanten Informationen ablesen und kommunizieren können (Position des Körpers zu einem bestimmten Zeitpunkt aus den Koordinaten der einzelnen Punkte; zurückgelegter Weg in einem bestimmten Zeitintervall durch Differenzenbildung; Richtung der Bewegung; Schnelligkeit)
- Diagramme zu verbalen Beschreibungen von Bewegungen zuordnen können und umgekehrt
- Vorgegebene und aus realen Bewegungsvorgängen aufgenommene Diagramme interpretieren können
- Fehler beim „Nachgehen“ vorgegebener Graphen erkennen und korrigieren können
- Zwischen Schnelligkeit und Geschwindigkeit unterscheiden können – erste Hinführung zur Geschwindigkeit als vektorielle Größe

1. Einstiegsmöglichkeiten

Im Folgenden werden drei verschiedene Zugänge A, B und C beschrieben. Für Schülerinnen und Schüler ohne Vorerfahrungen zum Koordinatensystem und zum Funktionsbegriff bietet sich ein exploratives Vorgehen an. Dabei bewegen sich die Schülerinnen und Schüler vorerst einmal möglichst gleichförmig vor einem Bewegungssensor, wobei ihr Abstand zum Sensor in Abhängigkeit von der Zeit simultan aufgezeichnet wird. Wenn Schülerinnen und Schüler schon mit Funktionsgraphen aus dem Mathematikunterricht vertraut sind, eignet sich das Anbieten von ausgewählten Zeit-Weg-Diagrammen und entsprechenden Fragestellungen mit der Intention, den Zusammenhang zwischen der Steigung eines Funktionsgraphen und der physikalischen Größe

Geschwindigkeit zu motivieren. Alternativ kann in jeder Altersklasse natürlich auch das Programm „Motion Match“ als spielerischer Einstieg gewählt werden, ohne vorherige Analyse. Durch einfaches „Probieren“ erkennen die Lernenden schnell, wie sie Ihre Bewegungsabläufe gemäß dem vorgegebenen Graphen zu koordinieren haben.

A) Erzeugen und Analysieren verschiedener Graphen durch gleichförmige Bewegung

Die Schülerinnen erhalten die Aufgabe sich vor einem Bewegungssensor 6 Sekunden lang möglichst mit konstanter Geschwindigkeit in eine Richtung zu bewegen. Das simultan auf dem Bildschirm entstehende Zeit-Weg-Diagramm (vgl. Abb. 1) kann mit Hilfe der Trace-Funktion genauer untersucht werden. Besonders empfehlenswert wäre die Darstellung über einen Beamer, sodass alle Lernenden zur aktiven Mitarbeit angeregt werden. Beim Abtasten des Graphen sollen die Schülerinnen und Schüler eine Verbindung zwischen der realen Position der Versuchsperson und den mathematischen Koordinaten des jeweiligen Punktes im Streudiagramm herstellen.

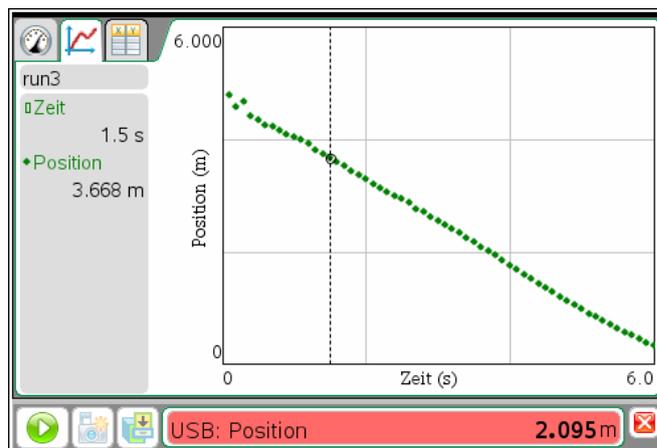


Abb. 1: Versuchsperson bewegt sich auf den Sensor zu

Selbst bei diesem einfachen Diagramm lässt sich ermitteln, wie schnell sich die Versuchsperson bewegt. Im konkreten Beispiel legt die Versuchsperson in 6 Sekunden etwa 4,5 m zurück; in einer Sekunde also etwa 0,75 m. Diese Vorgangsweise führt intuitiv zum Begriff der Geschwindigkeit.

Abb. 2 stellt das Zeit-Weg-Diagramm einer Versuchsperson dar, die sich in 6 Sekunden ca. 2,1 m vom Sensor wegbewegt. Die Versuchsperson legt nun pro Sekunde 0,35 m zurück. Beim Vergleichen der beiden Graphen kann den Schülerinnen und Schülern einsichtig gemacht werden, dass man eine zusätzliche Information als Unterscheidungskriterium für die Richtung der Bewegung benötigt. Das entspricht der Tatsache, dass der physikalische Begriff Geschwindigkeit als vektorielle Größe nicht nur über die Schnelligkeit einer Bewegung Auskunft gibt. Die Versuchsperson in Abb. 3 legt in einer Sekunde etwa 0,15 m

zurück. Sie bewegt sich vom Sensor weg. Das korrespondierende Zeit-Weg-Diagramm stellt eine Gerade mit positiver Steigung dar. Die Richtung der Bewegung findet sich im Vorzeichen der Steigung des zugeordneten Bewegungsgraphen.

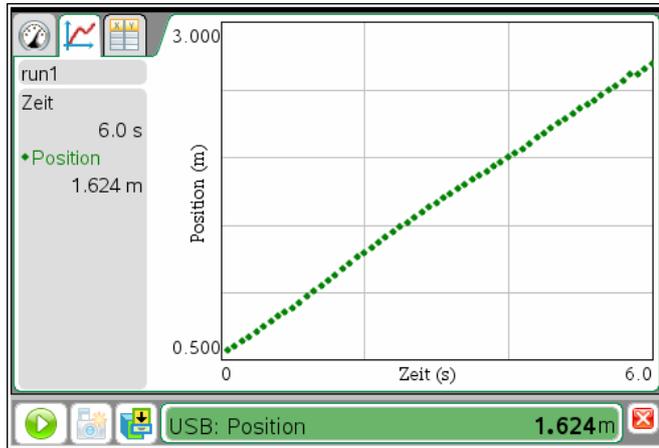


Abb. 2: Versuchsperson bewegt sich vom Sensor weg

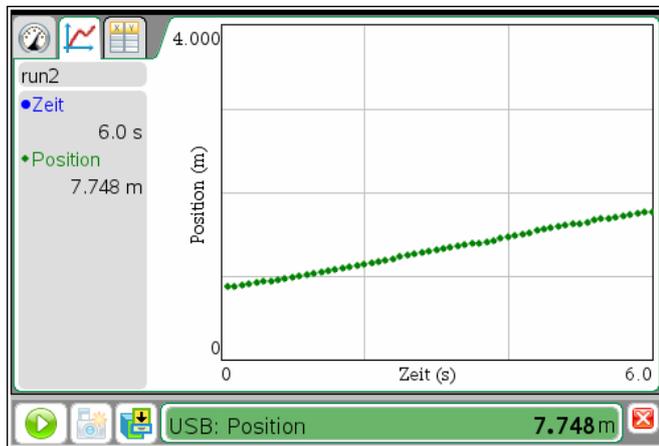


Abb. 3: Versuchsperson bewegt sich langsam vom Sensor weg

Die Schülerinnen und Schüler erkennen aus den vorgestellten Beispielen, dass eine Bewegung vom Sensor weg mit einer ansteigenden Geraden korrespondiert und dass die Steilheit der Geraden etwas mit der Schnelligkeit zu tun hat. Um die Notwendigkeit einer kritischen Auseinandersetzung mit den in den Abbildungen 1 bis 3 dargestellten Diagrammen zur Ermittlung der Schnelligkeit der Bewegungsabläufe zu forcieren, wurden bewusst verschiedene Skalierungen und Nullpunkte verwendet.

B) Aus vorgegebenen Zeit-Weg-Diagrammen relevante Informationen ermitteln

In den Abb. 4 und 5 sind Bewegungsdiagramme für einen Zeitraum von jeweils 6 Sekunden dargestellt, die sich in drei Phasen unterteilen lassen. Die Positionen des Körpers zu jeder Sekunde lassen sich jeweils aus den Koordinaten der sieben Punkte ermitteln. Zu Beginn kann der Schwerpunkt auf die globale Beschreibung der drei Bewegungsabschnitte gelegt werden. Die Auseinandersetzung der Schülerinnen und Schüler mit den vorgegebenen Diagrammen könnte u. a. durch folgende Fragen angeregt werden:

- Bewegt sich der Körper immer gleich schnell?

- Welche Bewegungsabschnitte können identifiziert werden?
- Um wie viele Meter bewegt sich der Körper in 6 Sekunden?
- Wie schnell bewegt sich der Körper in Abb. 5 in folgenden Zeitintervallen: [0s; 1s], [1s;4s] und [4s;6s]?
- In welche Richtung (in Bezug auf den Bewegungssensor) bewegt sich der Körper in Abb. 4?
- Welche Geschwindigkeit hat der Körper in den Abb. 4 und 5 jeweils nach 3 s?
- Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Graphen sind zu erkennen?
- Welche Informationen lassen sich aus den beiden Graphen in den Abb. 4 und 5 noch gewinnen?

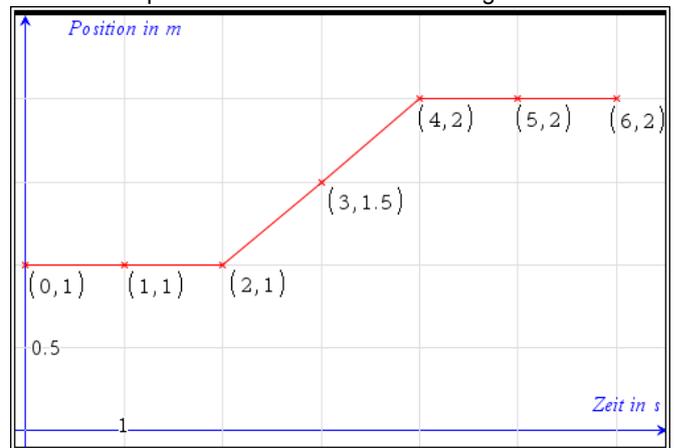


Abb. 4: Zeit-Weg-Diagramm (1)

Aus den vorgegebenen Daten lassen sich daher auch die Schnelligkeiten und die Richtungen beider Bewegungen ermitteln. Schließlich können auf diesem Wege der Begriff der Geschwindigkeit physikalisch definiert und die einzelnen Teilgeschwindigkeiten aus den Steigungen der jeweiligen Abschnitte berechnet werden.



Abb. 5: Zeit-Weg-Diagramm (2)

C) Lernen durch „Probieren“ (Trial & Error)

Eine spielerische Alternative zu obigen Einstiegen bietet sich jahrgangsstufenübergreifend an. Hierbei sollen die Lernenden einen vorgegeben Zeit-Weg-Graphen direkt versuchen abzulaufen, ohne ihn vorher besprochen oder analysiert zu

haben (vgl. Abb. 6). Damit es hier nicht nur bei einem Bewegungsspiel bleibt, ist die Diskussion innerhalb der Lerngruppe mit anschließender Reflexion und Ergebnissicherung wichtig.

Mit zwei Bewegungssensoren lassen sich sogar Wettbewerbe unter den Schülerinnen und Schülern durchführen. Dabei treten immer zwei Lernende zeitgleich gegeneinander an. Gewonnen hat derjenige, der einen vorgegebenen Graphen am besten „getroffen“ hat beziehungsweise „nachgegangen“ ist.

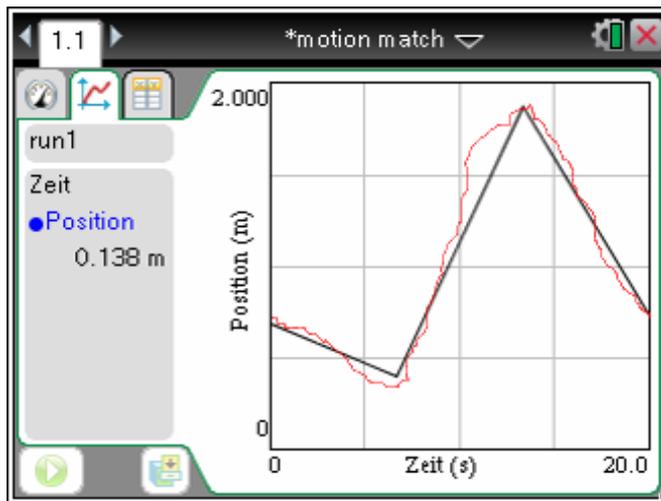


Abb. 6: Zeit-Weg-Diagramm und ausgezeichnete Bewegungsgraph

2. Zu vorgegebenen Graphen reale Bewegungen ausführen

Die Schülerinnen und Schüler erhalten die Aufgabe, die in den Abb. 7 und 8 durch abschnittsweise definierte lineare Funktionen dargestellten Zeit-Weg-Diagramme „nachzugehen“¹. Für die erfolgreiche Bewältigung dieser Aufgabe müssen die Lernenden im Vorfeld aus dem Zeit-Weg-Diagramm mehrere Informationen ermitteln und verarbeiten:

- Ermittlung der Startposition
- Ermittlung der Bewegungsrichtung
- Ermittlung der Schnelligkeit der Bewegung für die einzelnen Abschnitte

Einen besonderen Mehrwert, der sich didaktisch nutzen lässt, stellt die während der realen Bewegung simultane Darstellung des Graphen auf dem Bildschirm dar, sodass die Lernenden eine unmittelbare Rückmeldung erhalten und damit zur Reflexion und eventuellen Korrektur ihrer eigenen Ergebnisse angeregt werden. Durch einen Vergleich des aufgezeichneten und ursprünglich vorgegebenen Bewegungsgraphen identifizieren die Lernenden die Übereinstimmung oder erkennen, was verändert werden muss. Wie in den Abb. 7 und 8 zu sehen ist, wurde erkannt, dass in allen Zeitintervallen, bei denen der Graph eine Parallele zur Zeitachse darstellt, keine Bewegung erfolgen darf. Ebenso

wurde die Geschwindigkeit (Schnelligkeit und Richtung) richtig gewählt. Im ersten Fall setzte sich die Versuchsperson etwas zu spät in Bewegung, während im zweiten Fall der Startpunkt zu nahe am Sensor gewählt wurde.

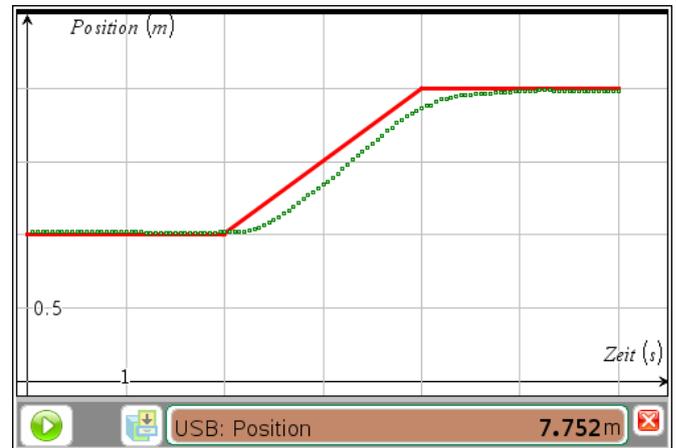


Abb. 7: Zeit-Weg-Diagramm (1) und reale Bewegung

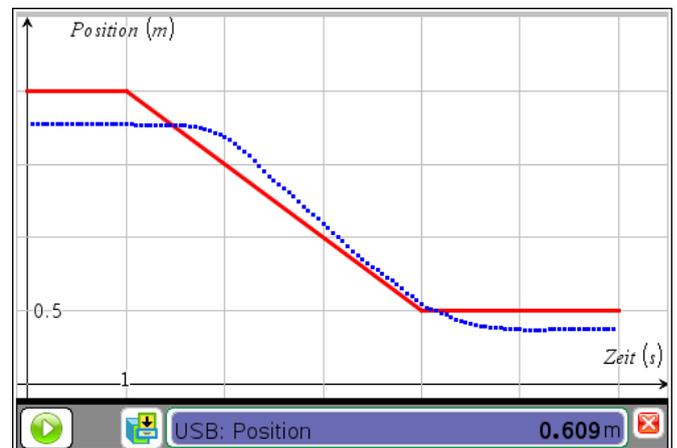


Abb. 8: Zeit-Weg-Diagramm (2) und reale Bewegung

3. Reflexion – Vertiefung und Erweiterung – Ausblick

Im Sinne einer *Vertiefung* lassen sich zum Beispiel anhand der vorgestellten sehr einfachen Diagramme weitere Analysen durchführen. So könnte etwa eine Regressionsgerade der in Abb. 1 dargestellten selbst aufgenommenen Daten bestimmt werden. Aus der Funktionsgleichung lassen sich die Zuordnungen der Parameter zu den physikalischen Gegebenheiten (Abstand der Versuchsperson zum Sensor für $t = 0$ s, Schnelligkeit und Richtung der Bewegung) herleiten. Eine spezifische Schwierigkeit stellen die Übergänge zwischen Ruhe und Bewegung an den „Knickstellen“ der einzelnen Graphen dar, die so in der realen Bewegung praktisch nicht zu leisten sind und daher Anlass für Diskussionen mit Schülerinnen und Schülern liefern könnten.

Vernier DataQuestTM ermöglicht auch die zufällige Auswahl vorgegebener Bewegungsgraphen zum Nachgehen (vgl. Abb. 10).

¹ Hinweis: Eine kurze Anleitung zur praktischen Umsetzung der Aktivität befindet sich im Anhang.

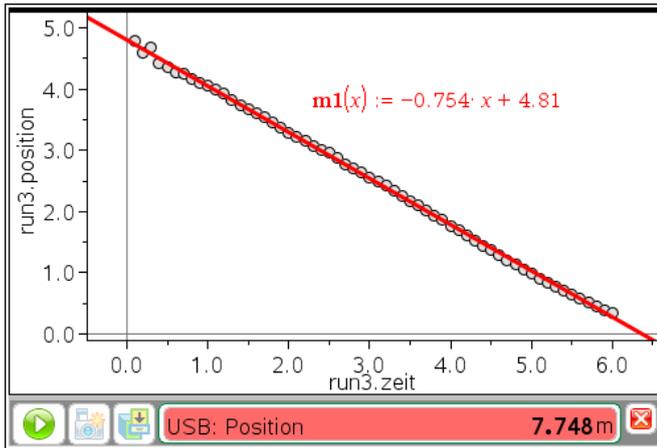


Abb. 9: Regressionsgerade zu Daten aus Abb. 1

Beispielgraphen können auf folgende Weise angezeigt werden: Wechseln Sie in die graphische Ansicht der Messwertaufzeichnungs-Applikation, indem man auf den zweiten Reiter klickt. Anschließend wählt man b 4A2, um ein vorgegebenes Zeit-Weg-Diagramm einzufügen (Motion Match neu).

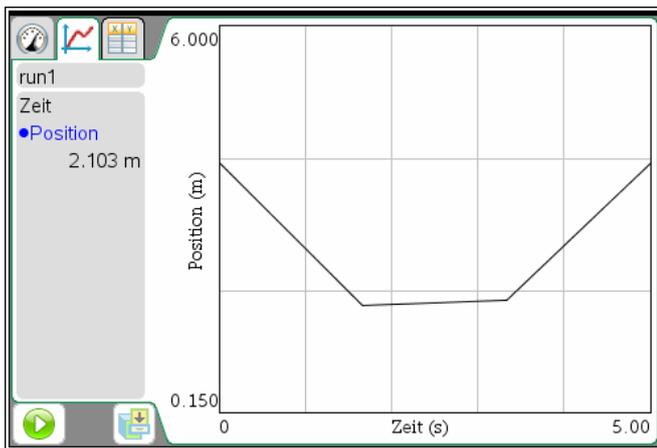


Abb. 10: Beispiel aus Motion-Match

Im Sinne einer Erweiterung lassen sich folgende Möglichkeiten realisieren:

a) Beliebige Bewegungsabläufe einsetzen, wie z. B. in Abb. 11 und 12 dargestellt. So bieten nicht-lineare Funktionen einen besonderen Reiz für die Schülerinnen und Schüler, da sie nach mehrmaligem Probieren schnell verstehen, dass sie mit konstanter Bewegungsgeschwindigkeit den Graphen aus Abb. 11 nicht so einfach „nachgehen“ können. Neben Parabeln und Exponentialfunktionen, lassen sich z. B. auch ansteigende Sinusfunktionen, wie in Abb. 12 dargestellt, verwenden. Anschließend kann direkt der Einstieg in beschleunigte Bewegungsabläufe durch die Lehrkraft erfolgen.

b) Für Zeit-Geschwindigkeitsdiagramme die Bewegung beschreiben und die Graphen „nachgehen“. Dabei können Zeit-Geschwindigkeitsdiagramme am einfachsten unter b 4A3 in der Applikation Vernier DataQuest™ erhalten werden (hier ohne Abb.).

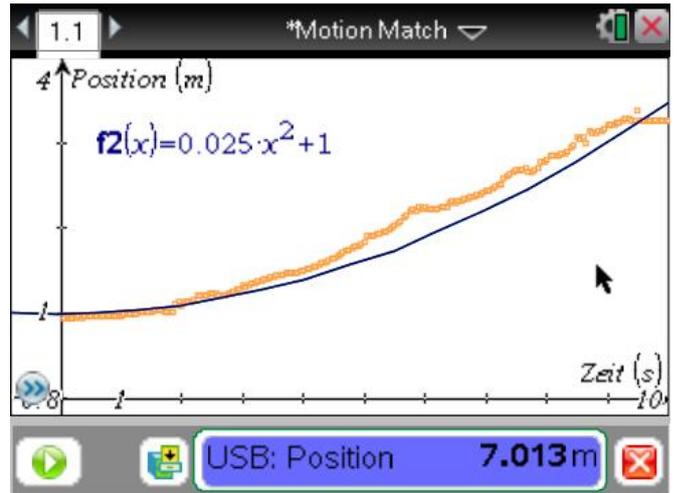


Abb. 11: Motion-Match mit nicht-gleichförmigen Bewegungen (1)

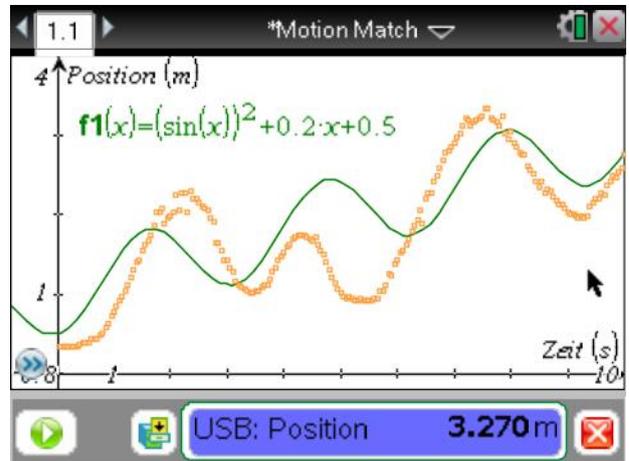


Abb. 12: Motion-Match mit nicht-gleichförmigen Bewegungen (2)

c) Anhand von Zeit-Geschwindigkeitsdiagrammen Positionen zu bestimmten Zeitpunkten und zurückgelegte Wege in entsprechenden Zeitintervallen ermitteln. Je nach mathematischen Vorkenntnissen der Lernenden kann hier auch bereits der Zusammenhang zwischen Weg und Geschwindigkeit über die Fläche unter dem Graphen bzw. über das Integral erarbeitet werden.

Anhang: Technischer Hinweis zur Verwendung des Sensors unter der Applikation Graphs

- 1) Schließen Sie den Bewegungssensor über das Messwertaufzeichnungs-Interface **Lab Cradle** oder direkt über den USB-Port an den **TI Nspire Handheld** oder den **PC** an.
- 2) Öffnen Sie dann die Applikation „Graphs“ in einem neuen Fenster.
- 3) Drücken Sie dann „**Strg+D**“, um die Data-Konsole auf dem Bildschirm anzuzeigen.

Autoren:

PD Dr. Hildegard Urban-Woldron, Pädagogische Hochschule Niederösterreich

hildegard.urban-woldron@ph-noe.ac.at

Jörg Bussmann, OStR, Koblenz (D)

bussmann@hilda-gymnasium.de

