

Smartphone Physics: Beschleunigungsmessungen im Physikunterricht - Lernanlässe oder Lernhindernisse? -

Patrik Vogt

Pädagogische Hochschule Freiburg, Kunzenweg 21, 79117 Freiburg
patrik.vogt@ph-freiburg.de

Kurzfassung

In den letzten Jahren wurde vielfach vorgestellt, wie die in Smartphones und Tabletcomputern verbauten Beschleunigungssensoren für quantitative Versuche in Schule und Lehrerbildung eingesetzt werden können [1]. Die publizierten Beispiele sind sehr vielfältig und betreffen z. B. den freien Fall, die Radialbeschleunigung, verschiedene Pendelexperimente sowie die experimentelle Erschließung von Alltagskontexten. Neben den zweifelsfrei vorhandenen Vorzügen des Messmittels „Smartphone“ (insb. hohe Verbreitung bei den Schülern und Studierenden, hohe Mobilität sowie intuitive Bedienbarkeit) ist speziell der Einsatz der Beschleunigungssensoren auch kritisch zu sehen. Infolge ihrer Wirkungsweise (tatsächlich handelt es sich um Kraftsensoren, welche lediglich Beschleunigungswerte anzeigen) ist ihre Nutzung nur unter bestimmten Voraussetzungen sinnvoll. Selbst bei einfachen und gut kontrollierten Bewegungen (z. B. Faden- oder Federpendel) können Messwerte u. U. nicht sinnvoll interpretiert werden, was anhand bereits veröffentlichter Experimente aufgezeigt wird. Der Smartphone-Einsatz ist „chic“ und lernpsychologisch gut legitimiert (Situierendes Lernen), fachdidaktische Aspekte dürfen bei seiner Bewertung jedoch nicht unberücksichtigt bleiben.

1. Einleitung

Die Vorteile des Messmittels „Smartphone“ wurden bereits vielfach erörtert und die einschlägigen Physikdidaktikzeitschriften haben sich schon heute ausführlich dem Thema „Smartphone Physics“ angenommen (z. B. die Themenhefte „Physik mit Handy und Smartphone“ [3] und „Tablet-PCs im Physikunterricht“ [4] in PdN-PhiS, das Material- und Methodenheft „Smartphones“ [5] in UP, die Kolumne „iPhysicsLabs“ [6] in TPT oder die Artikelreihe „Smarte Physik“ [7] in PhiuZ). Dabei steht meist der Nutzen der mobilen Endgeräte im Vordergrund (insb. vollwertiges Messwerterfassungssystem bei intuitiver Bedienbarkeit, hoher Verbreitung und Mobilität der Geräte [2]), eine kritische Auseinandersetzung findet nur an wenigen Stellen statt. Darauf, dass der Einsatz von Beschleunigungssensoren aber auch kritisch zu sehen ist, weisen bereits Wilhelm [8] und Hall ([9], [10]) hin. Aufgezeigt an konkreten Versuchsbeispielen greift der vorliegende Beitrag die genannten Probleme auf und ergänzt diese um weitere. Nur wenn diese bei der Unterrichtsplanung berücksichtigt werden, können Beschleunigungsmessungen mittels Smartphones gewinnbringend sein und die fachdidaktischen wie lernpsychologischen Vorteile in vollem Umfang nutzen.

2. Messen wir Beschleunigungen oder Kräfte?

Um die Messwerte richtig interpretieren zu können, muss die prinzipielle Funktionsweise der Sensoren bekannt sein. Es handelt sich dabei um Mikrosysteme, die mechanische und elektrische Informationen verarbeiten, sogenannte Micro-Electro-Mechanical-Systems (MEMS). Im einfachsten Fall besteht ein solcher Beschleunigungssensor aus einer seismischen Masse, die über Spiralfedern so aufgehängt wird, dass sie in einer Richtung frei beweglich ist. Wirkt in diese Richtung eine beschleunigende Kraft, so wird die Masse m um die Strecke x ausgelenkt. Die Änderung der Position kann mit piezoresistiver, piezoelektrischer oder kapazitiver Methoden gemessen werden und ist ein Maß für die vorliegende Beschleunigung [11]. Meist erfolgt die Messung der Auslenkung jedoch kapazitiv. Ein vereinfachter Aufbau eines solchen Sensors zeigt die Abb. 1. Drei parallel angeordnete, über Spiralfedern miteinander verbundene Platten aus Silizium bilden eine Reihenschaltung zweier Kondensatoren. Die beiden äußeren Platten sind fixiert, die mittlere – sie dient als seismische Masse – ist beweglich. Bei Beschleunigungsvorgängen oder dem Einwirken der Gewichtskraft ändern sich die Plattenabstände, was bekanntlich zu Kapazitätsänderungen führt. Diese werden gemessen und in einen Beschleunigungswert umgerechnet. Strenggenommen handelt es sich also nicht um Beschleunigungs-, sondern um Kraftsensoren, welche lediglich Beschleunigungswerte anzeigen.

Die Wirkungsweise der Kraftsensoren führt u. a. dazu, dass im unbeschleunigten Fall in lotrechter Richtung eine Beschleunigung von $1 g$ gemessen wird, da sich die bewegliche mittlere Kondensatorplatte unter Einwirkung ihrer Gewichtskraft näher an der unteren Platte befindet. Im freien Fall ist die Platte kräftefrei, sie geht in die mittlere Position zurück und es wird keine Beschleunigung mehr gemessen. Bei der Untersuchung horizontaler Bewegungen tritt das Problem nicht auf, da die horizontale Komponente der Beschleunigung separat ausgelesen werden kann. In diesem Fall werden also die tatsächlich vorhandenen Beschleunigungen (bzgl. des ruhenden Bezugssystems Erde) angezeigt.

Im Folgenden werden nun die mit den Beschleunigungssensoren verbundenen Probleme näher beschrieben und ein Fazit für den Unterrichtseinsatz gezogen.

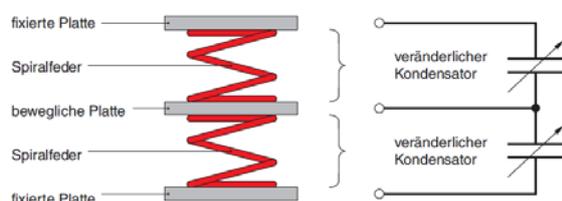


Abb. 1: Funktionsweise der Beschleunigungssensoren [1]

3. Problem 1: Messbereich auf $\pm 2g$ begrenzt

Der Messbereich der in den Smartphones verbauten Beschleunigungssensoren ist i. d. R. auf $\pm 2 g$ begrenzt, weshalb eine Vielzahl interessanter Alltagskontexten nicht untersucht werden kann. Beispiele sind z. B. Beschleunigungsvorgängen bei Achterbahnen, im Sport oder beim Zusammenstoß zweier Autoscooter; die Durchführung einer Videoanalyse wäre dagegen problemlos möglich.

4. Problem 2: Beschränkung der Messrate auf 100 Hz

Ein kleineres Problem stellt die maximale Messfrequenz dar, welche größtenteils auf 100 Hz begrenzt ist. Diese reicht für die meisten Experimente völlig aus, verursacht aber bei schnell ablaufenden Prozessen Probleme. Ein Beispiel ist die Untersuchung von Stoßvorgängen entsprechend Abb. 2 [12]: Ein Wagen wird durch Anstoßen mit der Hand beschleunigt und fährt auf einen zunächst ruhenden Wagen mit $0,40 \text{ m/s}$ auf. Verbunden über einen Klettverschluss bewegen sich beide Wagen nach dem Stoß gemeinsam weiter. Da die Massen der Wagen übereinstimmen, sollte sich unter Berücksichtigung des Energie- und Impulserhaltungssatzes eine Geschwindigkeit von $0,20 \text{ m/s}$ einstellen. Tatsächlich liegt die gemessene Geschwindigkeit jedoch bei $0,23 \text{ m/s}$. Die Abweichung ist zwar nur gering, man würde aber nicht erwarten, dass die gemessene Geschwindigkeit die theoretisch zu erwartende übersteigt. Aus Abb. 3 geht hervor, dass der erste Zusammenstoß – durch die Klettverschlussverbindung kommt es danach zu

einer Oszillation – lediglich drei Messwerte umfasst. Bei einer höheren Messrate hätte der Beschleunigungsspeak möglicherweise einen betragsmäßig höheren Maximalwert erreicht – und so auch das Integral über dem Beschleunigungsspeak (= Geschwindigkeitsänderung).



Abb. 2: Versuch zum unelastischen Stoß

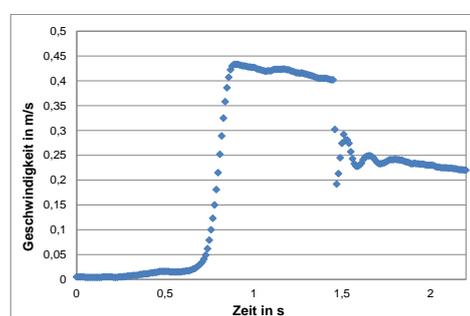


Abb. 3: Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm von Wagen 1 [12]

5. Problem 3: Beschleunigungen wenig anschaulich

Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Größe „Beschleunigung“ für die Lernende ein schwieriger Begriff ist und weit weniger anschaulich als die Größen „Strecke“ und „Geschwindigkeit“. Unter anderem deshalb, spielen Beschleunigungsverläufe im Physikunterricht kaum eine Rolle, im Fokus des Mechanikunterrichts stehen dagegen $s(t)$ - und $v(t)$ -Zusammenhänge – dies wird u. a. durch die Sichtung einschlägiger Schul- und Lehrbücher bestätigt. Beispiele hierfür sind Pendelbewegungen (meist wird das $y(t)$ -Diagramm thematisiert), Wurfbewegungen (x - y -Diagramm, Betrachtung von $v_x(t)$ und $v_y(t)$), Stoßprozesse ($v(t)$ -Zusammenhänge), freie Fall, mit und ohne Reibung ($v(t)$ -Diagramm). Zum Teil kann durch numerische Integration aus dem gemessenen Beschleunigungsverlauf ein $v(t)$ - bzw. $s(t)$ -Diagramm gewonnen werden (Abb. 3, Abb. 5 und Abb. 6), nicht immer liefert die numerische

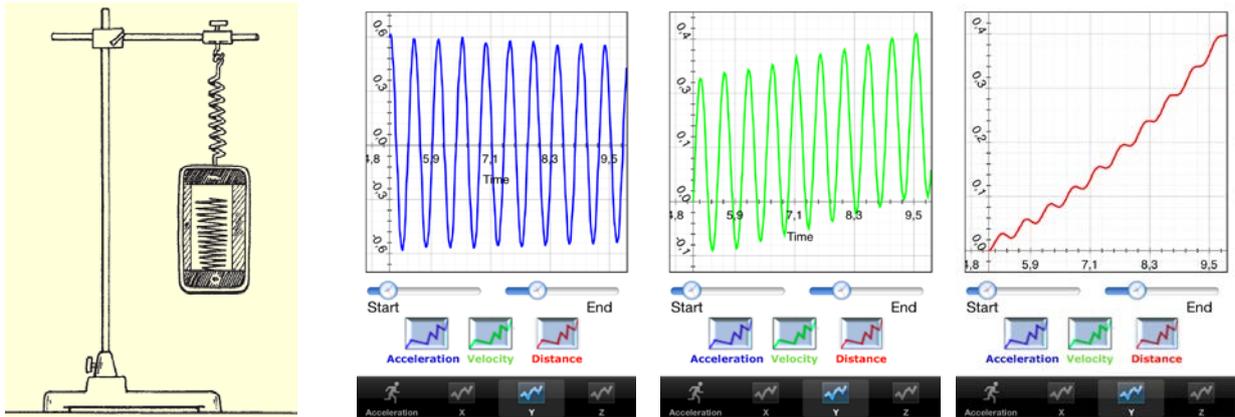


Abb. 4: Beschleunigungsmessung beim Federpendel und das Ergebnis einer numerischen Integration, durchgeführt mit der App „Acceleration“

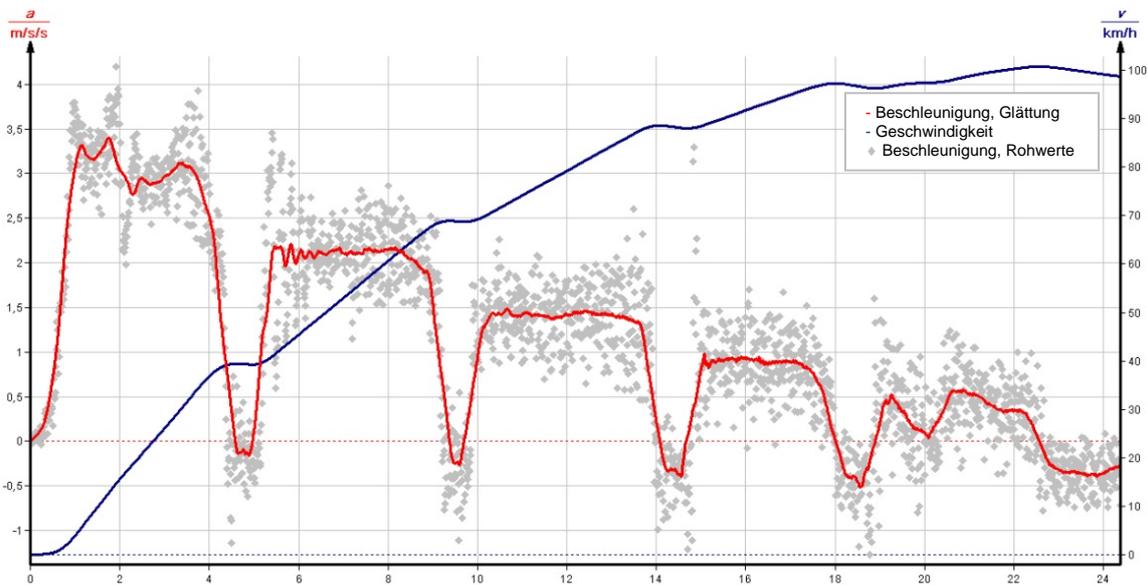


Abb. 5: Beschleunungsverlauf einer Autofahrt (rot); durch numerische Integration bestimmter Geschwindigkeitsverlauf (blau) [13]

Integration jedoch zufriedenstellende Ergebnis. Ein Beispiel hierfür ist das Federpendel, bei dem die Geschwindigkeit und die Strecke „weglaufen“ anstatt um die t -Achse zu oszillieren (Abb. 4).

Eine Videoanalyse führt dagegen stets unmittelbar auf ein gut zu interpretierendes $y(t)$ - bzw. $v(t)$ -Diagramm, was die Sinnhaftigkeit der Beschleunigungsmessung im Physiksaal (von wenigen Beispielen abgesehen, bei denen man sich unmittelbar für die Beschleunigung interessiert, z. B. Fahrbahnversuch zu $F = m \cdot a$ oder die Atwoodsche Fallmaschine) in Frage stellt.

6. Problem 4: Kräfteüberlagerung

Wohl der größte mit den Beschleunigungssensoren einhergehende Nachteil ist in ihrer Funktionsweise begründet. Wie oben erläutert, handelt es sich um Kraftsensoren, die lediglich Beschleunigungen anzeigen. Ist der Sensor zur Horizontalen geneigt, so wird stets die Überlagerung der wirkenden Trägheitskraft und der winkelabhängigen Komponente der Gewichtskraft gemessen, weshalb – von wenigen

Ausnahmen abgesehen – lediglich horizontale und vertikale Bewegungen analysiert werden können. Ändert das Smartphone bei seiner Bewegung die Orientierung, so ist unklar, welcher Anteil die Erdbeschleunigung an dem gemessenen Wert ausmacht. Eine Reihe von Bewegungen, z. B. im Sport, können allein deshalb schon nicht mit den Beschleunigungssensoren analysiert werden.

7. Fazit

Neben den Vorzügen des Messmittels Smartphones sind Beschleunigungsmessungen auch mit erheblichen Nachteilen verbunden. Die Sinnhaftigkeit des Einsatzes muss daher stets kritisch überprüft und ggf. auf eine andere Möglichkeit der Messwertfassung zurückgegriffen werden; beispielsweise auf die Videoanalyse, auf welche die genannten Probleme nicht zutreffen.

Gewinnbringend erscheinen Beschleunigungsmessungen insb. außerhalb des Physiksaals, vorwiegend bei mitbewegtem Beobachter, bei eindimensionalen Bewegungen und bei Beschleunigungen unterhalb

von 2 g (z. B. Auto (Abb. 5), Straßenbahn, ICE, Flugzeug, Aufzug (Abb. 6)).

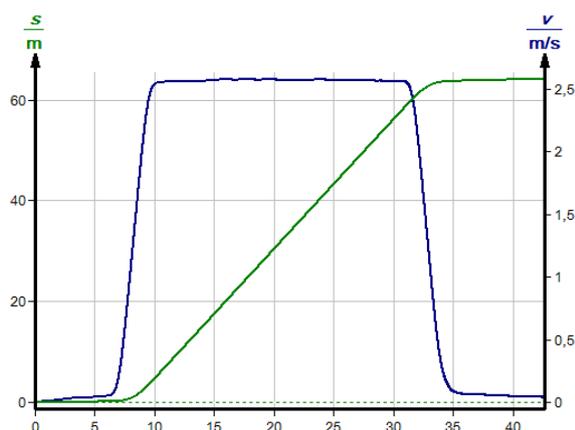


Abb. 6: Aus dem Beschleunigungsverlauf ermitteltes $v(t)$ - bzw. $s(t)$ -Diagramm einer Fahrstuhlfahrt [2]

8. Literatur

- [1] Vogt, P.; Kuhn, J. & Gareis, S. (2011): Beschleunigungssensoren von Smartphones: Beispieleexperimente zum Einsatz im Physikunterricht. In: PdN-PhiS. 7/60, S. 15-23.
- [2] Vogt, P. (2014): Tablet-Computer als Mess- und Experimentiermittel im Physikunterricht. In: A. Bresges, L. Mähler & A. Pallack (Hrsg.): Unterricht mit Tablet-Computern lebendig gestalten. (Themenspezial MINT). MNU Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen e. V., Verlag Klaus Seeberger: Neuss, S. 66-78.
- [3] Wilhelm, T. (Hrsg.) (2012): PdN-PhiS 60/7, Themenheft „Physik mit Handy und Smartphone“.
- [4] Wilhelm, T. (Hrsg.) (2014): PdN-PhiS 63/6, Themenheft „Tablet-PCs im Physikunterricht“.
- [5] Kuhn J. (Hrsg.). (in Vorbereitung): Unterricht Physik 145, Materialien & Methoden: Smartphones.
- [6] Kuhn, J., & Vogt, P. (2012): Analyzing Diffraction Phenomena of Infrared Remote Controls. Phys. Teach., 50, 118-119.
- [7] Kuhn, J., Wilhelm, T., & Lück, S. (2013): Smarte Physik: Physik mit Smartphones und Tablet-PCs. Physik in unserer Zeit (PhiuZ), 44(1), 44-45.
- [8] Wilhelm, T. (2013): Chancen und Probleme von Beschleunigungssensoren. In: Bernholt, S. (Hrsg.): Inquiry-based learning - Forschendes Lernen, GDGP, Jahrestagung Hannover 2012, Band 33, S. 443-445.
- [9] Hall, J. (2012): iBlackBox? In: The Physics Teacher 50, S. 260
- [10] Hall, J. (2013): More smartphone acceleration 51, S. 6.
- [11] Glück, M. (2005): MEMS in der Mikrosystemtechnik: Aufbau, Wirkprinzipien, Herstellung und Praxiseinsatz mikroelektromechanischer Schaltungen und Sensorsysteme. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- [12] Vogt, P. & Kuhn, J. (angenommen). Elastische und inelastische Stöße mit den in Smartphones verbauten Beschleunigungssensoren. In: PdN-PhiS.
- [13] Vogt, P. & Kuhn, J. (2013): Beschleunigungen im Alltag. In: MNU 66 (4), 252.