

Chancen und Probleme von Beschleunigungssensoren

Beschleunigungssensoren sind heute in Technik und Alltag weit verbreitet. Es gibt Beschleunigungssensoren, die das Auslösen eines Airbags steuern oder die die Festplatte des Laptops bei harten Stößen oder Stürzen zur Vermeidung von Beschädigungen abschalten, und Beschleunigungssensoren zur Steuerung moderner Videospiele. In Smartphones und Tablet-PCs werden Beschleunigungssensoren in verschiedensten Apps genutzt. Smartphones sind in 23 % der Haushalte Jugendlicher vorhanden und 14 % der Jugendlichen besitzen selbst ein Smartphone (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2010). Expertenschätzungen gehen davon aus, dass in wenigen Jahren konventionelle Handys komplett vom Markt verschwunden sind.

Für den Physikunterricht sind Beschleunigungssensoren in zweierlei Hinsicht interessant: 1. als authentischer Anwendungskontext von physikalischen Inhalten und 2. als authentisches Messgerät für physikalische Größen. Chancen und Probleme beider Möglichkeiten sollen hier in einem Überblick vorgestellt werden.

Beschleunigungssensoren als authentischer Anwendungskontext von Physik

Inhalte des Physikunterrichts können im Kontext von Beschleunigungssensoren behandelt bzw. angewandt werden. Es geht dabei darum, das Wissen an einem authentischen Anker zu verankern („Anchored-Instruction“). Der Grundaufbau aller Beschleunigungssensoren ist gleich: Ein Probekörper ist über elastisch verformbare Halterungen befestigt, die bei Beschleunigungen verformt werden. Gemessen wird dann die Auslenkung des Probekörpers gegenüber dem Gehäuse. Es können kapazitive Sensoren als Anwendung des Plattenkondensators, Hall-Effekt-Sensoren als Anwendung des Hall-Effekts und piezoresistive Beschleunigungssensoren als Anwendung der Abhängigkeit des Widerstandes von der Form des Leiters behandelt werden (Watzka, Scheler & Wilhelm, 2012).

Beim kapazitiven Beschleunigungssensor führt die Auslenkung des Probekörpers zu einer Änderung der Kapazität der Anordnung, da sich der Abstand zwischen den Kondensatorelektroden ändert. Die Abhängigkeit der Kapazität vom Abstand der Kondensatorplatten ist ein übliches Thema im Physikunterricht. Tatsächlich verwendet man zur Linearisierung einen Differentialkondensator aus drei Platten, wobei die Mittelelektrode den Probekörper bildet. Zur Erhöhung der Kapazität des Kondensators wird noch die Fläche der Elektroden vergrößert, indem sie kammförmig gestaltet werden. Mit Hilfe eines Modellexperiments kann die Wirkungsweise plausibel gemacht werden. Dazu hängt man eine bewegliche Platte zwischen zwei festen Kondensatorplatten. Eine Feder bewirkt, dass die Auslenkung proportional zur beschleunigenden Kraft ist. So sind sogar qualitative Messungen möglich (Watzka, Scheler & Wilhelm, 2012).

Beim Hall-Effekt-Sensor ist der Probekörper ein Dauermagnet, der ausgelenkt wird, und darüber ist ein Hall-Sensor, der das Magnetfeld misst. Auch der Hall-Effekt ist Teil des Physikunterrichts und die Funktionsweise kann mit einem Dauermagnet und einem Hall-Effekt-Sensor gezeigt werden (Watzka, Scheler & Wilhelm, 2012).

Bei piezoresistiven Sensoren wird die Änderung des elektrischen Widerstands bei Verformung verwendet. Die Gleichung $R = \rho \cdot l / A$ wird häufig im Physikunterricht behandelt. In Dehnungsmessstreifen aus Metall ist die Änderung der Leitergeometrie entscheidend, in Halbleiter-Dehnungsmessstreifen ist die Änderung des spezifischen Widerstands ausschlaggebend (Watzka, Scheler & Wilhelm, 2012).

Kompliziert wird es leider dadurch, dass man Tricks zur Linearisierung (z.B. Differentialkondensator) sowie Tricks zur Dämpfung der entstehenden Schwingungen verwenden muss

und zur Spannungsmessung meist eine Wheatstone'sche Brückenschaltung braucht, die nicht unbedingt bekannt ist. Folglich braucht man im Unterricht geeignete Elementarisierungen und geeignete Bilder.

Beschleunigungssensoren als authentisches Messgerät für physikalische Größen

Beschleunigungssensoren sind Alltagsgeräte. Benutzt man diese, z.B. im Smartphone, als Messgerät, hat man den Vorteil der Authentizität der Experimentiergeräte (situiertes Lernen). Dabei können die Sensoren auch als Black-Box eingesetzt werden.

Messtechnisch interessant sind 3D-Beschleunigungssensoren, die die Daten entweder per Funk an einen Rechner senden oder wie bei Smartphones und Tablet-PCs in einem kleinen, beweglichen Rechner verbaut sind. Bei Messungen an bewegten Körpern mussten bisher die Daten eines mitgeführten Sensors durch ein Kabel zum Computer übertragen werden oder die Bewegungen wurden z.B. durch Fäden an ruhende Sensoren übertragen. Durch ein mitgeführtes Kabel oder einen Faden wird die zu untersuchende Bewegung aber gestört. Bei berührungslosen Messungen mit einem Ultraschall- oder Lasersensor können nur eindimensionale Bewegungen aufgezeichnet werden. Eine zweidimensionale Messung ist mit einer Videoanalyse möglich, die aber durch zweifaches Ableiten zu sehr ungenauen und schwankenden Beschleunigungswerten führt.

Die nun mögliche kabellose Messung ermöglicht einfachere Versuchsaufbauten und störungsfreie Beschleunigungsmessungen. Außerdem können Bewegungen aus Alltag, Freizeit und Sport analysiert werden, die einen großen Bewegungsradius benötigen. Bei einigen Experimenten kann ein Kabel nicht nur stören, sondern auch ein Unfallrisiko darstellen.

Genannt seien hier vier Beispiele für solche kabellose Messung mit 3D-Beschleunigungssensoren:

- Beim Sensorsystem Cobra4 von Phywe mit der Software measure werden die Daten per Funk vom Sensor an den PC übertragen, wobei ein PC Daten von bis zu 99 Sensoren empfangen kann (Scheler & Wilhelm, 2009).
- Beim Sensorsystem Pasport von Pasco mit der Software Datastudio werden die Daten per Bluetooth vom Sensor an den PC übertragen, wobei an einem PC nur ein Funksensor anschließbar ist (Scheler & Wilhelm, 2009).
- Eine kostengünstige Lösung ergibt sich mit der Wii Remote von Nintendo (Krichenbauer & Hopf, 2010): Der Gamecontroller hat einen 3D-Beschleunigungssensor und überträgt die Daten per Bluetooth (< 10 m), die mit der kostenlosen Software Phymote der Physikdidaktik der LMU München auswertbar sind (www.phymote.org). Allerdings kann man hier nicht gleichzeitig andere Sensoren auslesen.
- Mit verschiedenen Apps können die Beschleunigungssensoren von Smartphones oder Tablet-PCs ausgelesen werden (Vogt, Kuhn & Gareis, 2011). Allerdings können die Bilder der Smartphones nicht auf große Bildschirme übertragen werden und viele Apps bieten nur begrenzte Auswertmöglichkeiten.

Ein Beschleunigungssensor misst eigentlich die Auslenkung eines Probekörpers und diese ist wiederum ein Maß für die auf diesen Probekörper wirkenden Kräfte. Im Allgemeinen sind dies zwei Kräfte: die Gewichtskraft und eine Trägheitskraft. Die auf die Masse bezogene Kraft nennt man dann (meist gedankenlos) Beschleunigung. Wenn beim ruhenden Sensor die Gewichtskraft durch eine Zwangskraft auf das Gerät kompensiert wird, misst man ohne eine stattfindende Bewegung die Erd"beschleunigung". Beim fallenden Sensor misst man dagegen nichts, da sich die beiden Kräfte kompensieren. Sinnvoll ist deshalb, falls möglich, vor Beginn der Bewegung in der Ruhe den Tara-Knopf zu drücken und somit alle Beschleunigungskomponenten auf null zu setzen; nur dann wird die tatsächliche Beschleunigung gemessen – falls der Sensor während der Bewegung nicht verkippt wird. Bei Bewegungen, bei denen der Sensor verkippt wird, wird dagegen die Erdbeschleunigung immer wieder in anderen Richtungen gemessen, eine Nullsetzung ist hier nicht möglich.

Dennoch sind die drei Diagramme der gemessenen Beschleunigungskomponenten oft sehr schwer zu interpretieren. Z.T. ist auch die Richtung bzw. das Vorzeichen verwirrend, da man sich überlegen muss, ob die Richtung der subjektiven Scheinkraft oder der objektiven Beschleunigung angezeigt wird. Des Weiteren werden nicht die drei Beschleunigungskomponenten in die drei ruhenden Raumrichtungen gemessen, sondern drei Beschleunigungskomponenten aus Sicht des Beobachters (senkrecht, seitlich, vorne), d.h. das Koordinatensystem dreht sich mit dem Beobachter, was die Interpretation stark erschweren kann. Die Beschleunigung ist in jedem Fall ein schwieriger Begriff, so dass in Mechanikkonzepten für die Sekundarstufe I auch darauf verzichtet wird (Wilhelm et al., 2012).

Eine Lösung ist das kostenlose App AccelVisu für das iPhone (Lück & Wilhelm, 2011). Hier werden statt Diagramme die beiden Beschleunigungskomponenten in der Bildschirmenebene des iPhones als intuitiver Pfeile dargestellt. Die Bewegung soll hier nur auf der Tischfläche stattfinden (oder bei anderen schiefen Ebenen wird zum Beginn auf null gestellt). Dies ermöglicht Erfahrungen mit der Richtung der Beschleunigung beim Schieben des iPhones mit der Hand auf dem Tisch. Hilfreich ist es aber auch bei klassischen Schulversuchen, wie der konstanten Beschleunigung auf einer ebenen Bahn infolge einer Zugkraft oder bei Drehbewegungen, wobei die Richtung der Beschleunigung gut deutlich wird (Lück & Wilhelm, 2011).

Beschleunigungssensoren können im Physikunterricht z.B. bei Experimenten zur Gleit- und Rollreibung, bei Experimenten zum dritten Newton'schen Gesetz, beim Fall mit Luftreibung und bei harmonischen und anharmonischen Schwingungen eines Stabpendels eingesetzt werden (Scheler & Wilhelm, 2009). Attraktive Lernanlässe sind aber auch verschiedene Fahr-Attraktionen eines Freizeitparks oder Volksfestes, welche den Schülern verdeutlichen können, dass sie auch in ihrer Freizeit mit physikalischen Problemen und Phänomenen konfrontiert werden können. Bei Kreisbewegungen erhält man so in zwei Beschleunigungskomponenten eine Sinusschwingung. Bei der Beschleunigungsmessung auf einer Schiffschaukel erhält man in radialer Richtung eine Schwingung (Schüttler & Wilhelm, 2011). Bei einer Achterbahnfahrt kann man nur den Betrag der „Beschleunigung“ anschauen; da die Gewichtskraft hier nicht rausrechenbar ist, misst man so etwas wie die gefühlte Belastung der Fahrgäste (Schüttler & Wilhelm, 2011). Auch Bewegungen des eigenen Körpers können mit Beschleunigungssensoren vermessen werden. Dazu gehört neben dem Gehen (Scheler & Wilhelm, 2009) auch das Laufen und Springen, wobei die Analyse eines Sprunges nicht einfach ist (Weidt & Wilhelm, 2012).

Literatur

- Lück, S., & Wilhelm, T. (2011): Beschleunigungspfeile mit dem iPhone. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 60, Nr. 7, S. 27 - 29
- Krichenbauer, C., & Hopf, M. (2010): Phymote – kostengünstige Bewegungsmessung mit der Nintendo Wii Remote. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 59, Nr. 7, S. 31ff.
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2010): JIM 2010. Jugend, Information, (Multi-)Media. Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland, www.mpfs.de
- Scheler, S., & Wilhelm, T. (2009): Neue Möglichkeiten durch Funksensoren. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 58, Nr. 7, S. 28 – 35
- Schüttler, M., & Wilhelm, T. (2011): Bewegungsanalyse im Freizeitpark. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 60, Nr. 6, S. 18 – 24
- Vogt, P., Kuhn, J., & Gareis, S. (2011): Beschleunigungssensoren von Smartphones – Beispielerperimente zum Einsatz im Physikunterricht. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 60, Nr. 7, S. 15 - 23
- Watzka, B., Scheler, S., & Wilhelm, T. (2012): Beschleunigungssensoren. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 61, Nr. 7
- Weidt, M., & Wilhelm, T. (2011): Bewegungen des eigenen Körpers – Möglichkeiten der Messwerterfassung im Vergleich. PhyDid-B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Münster 2011, www.phydid.de
- Wilhelm, T., Tobias, V., Waltner, C., Hopf, M., & Wiesner, H. (2012): Design-Based Research am Beispiel der zweidimensional-dynamischen Mechanik. In: Bernholt, S. (Hrsg.): Konzepte fachdidaktischer Strukturierung, Jahrestagung der GDGP in Oldenburg 2011, Band 32, Lit-Verlag, Münster, 2012, S. 31 – 47