

Die folgenden Original-Seiten der Zeitschrift „Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule“ wurden mit expliziter Genehmigung des Aulis-Verlages (Dr. Brigitte Abel) und des Friedrich-Verlages (Hubertus Rollfing) auf die Webseite www.thomas-wilhelm.net gestellt. Vielen Dank für die Erlaubnis.

Die exakte Quellenangabe des Zeitschriftenartikels ist:

LÜCK, S.; WILHELM, T.

Beschleunigungspfeile mit dem iPhone

Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 60, Nr. 7, 2011, S. 27 - 29

Beschleunigungspfeile mit dem iPhone

S. Lück u. Th. Wilhelm

1. Hintergrund

Die Beschleunigung ist eine schwerer zu verstehende physikalische Größe. Deshalb wurde vorgeschlagen, auf die Beschleunigung bei der Einführung in die Mechanik zu verzichten und stattdessen die Geschwindigkeitsänderung $\Delta\vec{v}$ in einem Zeitintervall Δt zu betrachten [1+2]. In höheren Jahrgangsstufen wird die Beschleunigung aber von den Lehrplänen gefordert, da sie ein zentraler Begriff der newtonschen Mechanik ist.

Von den Schülern wird der Begriff Beschleunigung in seiner Komplexität oft reduziert. Für sehr viele Schüler ist deshalb Beschleunigung so etwas wie Geschwindigkeit. Bei qualitativen Aufgaben zur Beschleunigung antworten Schüler der Sekundarstufe II (ca. 40 %) dann so, als wäre nach der Geschwindigkeit gefragt worden [3+4]. Für ca. ein Drittel der Oberstufenschüler ist die Beschleunigung meist eine skalare Größe, nämlich die Änderung des Tempos (= Geschwindigkeitsbetrages) $\Delta|\vec{v}|$ oder $\Delta|\vec{v}|/\Delta t$ [3+4]. Welche Vorstellung von der Beschleunigung aktiviert wird – ob $\vec{a} \sim \vec{v}$, $\vec{a} \sim \Delta|\vec{v}|$ oder richtig $\vec{a} \sim \Delta\vec{v}$ – hängt von der Aufgabenstellung ab. Die Hauptschwierigkeit bei der Beschleunigung ist demnach eine korrekte Vorstellung von ihrer Richtung zu bekommen. Hier zeigen selbst deutsche Physikstudienanfänger z. T. schlechtere Ergebnisse als amerikanische High-School-Schüler [5].

Deshalb wurde mehrfach vorgeschlagen und erfolgreich erprobt, die Beschleunigung bei zweidimensionalen Bewegungen zu messen [3+6] und zu behandeln [3+4]. Eine interessante Möglichkeit war, dass Schüler selbst die PC-Maus auf dem Tisch herumfahren und gleichzeitig in Echtzeit am Bildschirm Bahnkurve, Geschwindigkeitspfeile und Beschleunigungspfeile sehen [7+3+4]. Hier konnten die Schüler die als Pfeile dargestellten physikalischen Größen mit ihren eigenen Bewegungen vergleichen – und nicht erst einige Zeit nach der Bewegung, sondern bereits währenddessen. Eine Anpassung der Software an neuere Betriebssysteme fand allerdings nicht statt.

Die Smartphones bieten nun die Möglichkeit, diese Beschleunigungspfeile nicht am Bildschirm, sondern an dem bewegten Objekt selbst zu sehen. Zum Beispiel be-

wegt man sich, hält das Gerät in der Hand und sieht dann in Echtzeit eine Darstellung des Beschleunigungspfeils.

2. Forderungen an das App

Die neuen Smartphones besitzen fast alle einen Beschleunigungssensor, ursprünglich eingeführt, um die Lage des Gerätes im Schwerfeld zu detektieren. Die Daten der Beschleunigungssensoren sind bei den meisten Geräten über Software auslesbar. Leider gab es kein Programm (App), das die Beschleunigungswerte ausliest und dann in Echtzeit als Pfeil in der beschriebenen Art darstellt. Dies wurde zur Grundlage einer Seminararbeit [8] am Gymnasium des Franken Landschulheims in Gaibach, in der der Schüler *Simon Feistel* ein solches Programm entwickelt hat. Das Programm wird auf der Softwareseite des „Lehrstuhls für Physik und ihre Didaktik“ der Universität Würzburg unter der in [9] angegebenen Internetadresse veröffentlicht.

Der Beschleunigungssensor misst eigentlich die Auslenkung einer seismischen Masse und diese Auslenkung ist wiederum ein Maß für die auf diese seismische Masse wirkende Kraft. Und es wirken im Allgemeinen zwei Kräfte: die Gewichtskraft und eine Trägheitskraft. Die auf die Masse bezogene Kraft nennt man meist gedankenlos Beschleunigung, was problematisch ist. So misst man beim fallenden Sensor nichts, da sich die beiden Kräfte kompensieren [10]. Nur wenn die Gewichtskraft durch eine Zwangskraft auf das Gerät kompensiert wird, so dass man keine Trägheitskräfte hat, misst man in Ruhe die Erd„beschleunigung“, was dann wohl eine falsche Bezeichnung ist, da ja nichts beschleunigt wird.

Das App sollte deshalb erstens die Möglichkeit haben, vor Beginn der Bewegung in der Ruhe einen Tara-Knopf zu drücken und somit alle Beschleunigungskomponenten auf Null zu setzen. Nur dann wird die tatsächliche Beschleunigung gemessen, solange das Gerät nicht im Raum kippt wird. Alternativ könnte man das Gerät auch stets horizontal halten, so dass die Gewichtskraft sich nur in der vertikalen Komponente auswirkt, die man dann ignoriert. Zweitens sollte das App das Vorzeichen der Beschleunigungskomponenten umdrehen, denn wir wollen nicht die Rich-

tung der Scheinkraft messen, die der mitbewegte Beobachter aus seiner subjektiven Sicht zu spüren glaubt, sondern die objektive Beschleunigung, die das Gerät hat.

Bei der Beobachtung von Beschleunigungsmessungen über das Handy ist mit den Schülern evtl. auch zu diskutieren, was dargestellt wird. Wird wie in den meisten Beschleunigungs-Apps das Phänomen im mitbewegten und damit beschleunigten Bezugssystem betrachtet? Oder betrachten wir es „von außen“, aus dem unbewegten System, aus der so genannten Laborsicht? So ist es bei diesem App der Fall.

3. Das App

Das Programm, „AccelVisu“ genannt, wurde für das iOS geschrieben und soll im Folgenden beschrieben werden. Das Programm zeigt nach dem Aufruf im oberen Teil die Hauptanzeige (siehe Abb. 1). Dort wird in einem Koordinatensystem die xy-Projektion der gemessenen Beschleunigung blau als Pfeil dargestellt. Außerdem wird die x- und y-Komponente der gemessenen Beschleunigung in Richtung der beiden Achsen jeweils als Linie (grün und rot) dargestellt. Der Beschleunigungsvektor, der sich aus den Komponenten ergibt, kann ein- oder ausgeblendet werden (Schalter „Zeige Vektor?“). Die Messwerte werden in einem Takt von etwa 1/20 Sekunde aufgenommen und sogleich dargestellt.

Unter der Anzeige befindet sich die Anzeige des momentanen Beschleunigungswertes der beiden angezeigten Komponenten (in m/s^2) und noch einige Bedienelemente: Der Button „> 0 <“ bewirkt, dass die aktuelle Lage des Geräts als Nulllage gesetzt wird; die Gravitation wird dann (bezüglich der aktuellen räumlichen Lage) nicht mehr berücksichtigt. Der Button „Gravit“ stellt den Ausgangszustand wieder her, so dass die Gravitationswirkung wieder unverfälscht mit einbezogen wird. Mit dem Schieberegler „Empfindlichkeit“ stellt man die Skalierung der Vektorpfeile und damit die Empfindlichkeit der Darstellung ein (nach rechts nimmt die Empfindlichkeit zu).

Mit dem Druck auf den Button „Aufnahme“ gelangt man zum Aufnahmebildschirm des Programms (siehe Abb. 2). Auf diesem Bildschirm lässt sich oben die Aufnahmezeit und unterhalb der Zeitan-

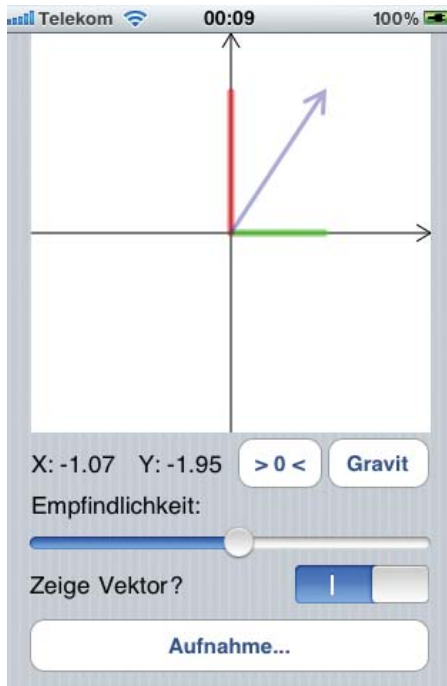


Abb. 1: Hauptbildschirm von „AccelVisu“

zeige die Aufnahmezeit einstellen. Darunter werden die Momentanwerte der drei Komponenten der Beschleunigung angezeigt, die mit Druck auf den Button „Aufnahme starten“ aufgenommen werden. Nach erfolgter Aufnahme lassen sich die Daten durch Drücken auf den Button in der Kopfzeile per E-Mail zur weiteren Verarbeitung versenden. Eine grafische Anzeige der aufgenommenen Werte ist bislang nicht implementiert, da das Programm hauptsächlich zur Pfeil-Visualisierung erstellt wurde.

4. Verwendungsbeispiele

Zunächst kann man sich bei diesem App ein Schnellerwerden aus der Ruhe und ein Abbremsen anschauen. Da aber schon ein leichtes Verkippen das Ergebnis erheblich beeinflussen kann, sollte man das iPhone dazu auf einen horizontalen Tisch legen.



Abb. 2: Aufnahmebildschirm von „AccelVisu“

Bei einem kurzen schnellen Verschieben des iPhones sieht man, dass der Beschleunigungspfeil zuerst in und dann gegen die Bewegungsrichtung zeigt. So kann man bereits feststellen, dass beim Schnellerwerden die Beschleunigung in Bewegungsrichtung zeigt und beim Langsamerwerden dagegen.

Besser ist es jedoch, das iPhone auf einen Fahrbahnwagen zu montieren, an den über eine Umlenkrolle ein Gewichtsstück zieht (siehe Abb. 3). Gibt man dem Wagen gegen die Zugkraft einen kräftigen Stoß, wird er nach dem Stoß wieder gleichmäßig langsamer bis zum Stillstand und anschließend in die andere Richtung wieder gleichmäßig schneller. Dabei ist gut zu sehen, dass der Beschleunigungsvektor während beiden (!) Phasen mit konstantem Betrag in die gleiche Richtung weist – jeweils in die Richtung, in die das Gewichtsstück

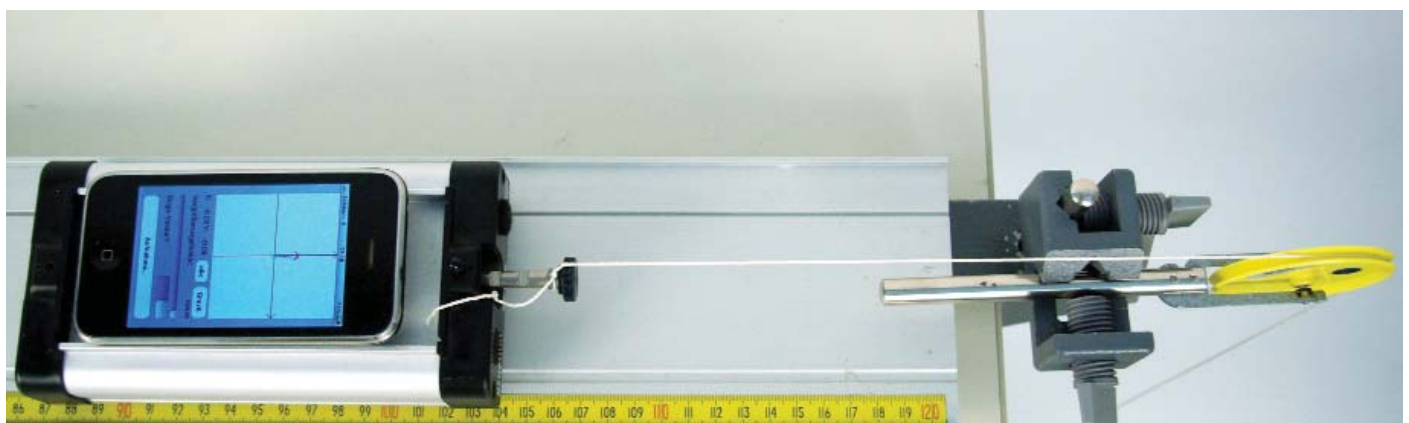
zieht. Sogar am Umkehrpunkt sieht man entgegen der Schülererwartung weiterhin den gleichen Beschleunigungspfeil.

Das Programm lässt sich außerdem sehr gut einsetzen, um die Beschleunigung bei einer Kreisbewegung sichtbar zu machen. Dazu ist nichts weiter nötig, als dass sich die Versuchsperson um die eigene Achse dreht und dabei das Gerät am ausgestreckten Arm so hält, dass der Bildschirm immer eingesehen werden kann. Sehr wichtig ist aber, dass das Handy (oder der iPod) horizontal gehalten wird. Besonders gut werden die Ergebnisse, wenn die Versuchsperson auf einem gut geölten Drehstuhl sitzt und durch eine weitere Person in Rotation versetzt wird. Hier ist die Drehung gleichmäßiger, so dass die angezeigten Pfeile weniger stark schwanken.

Noch besser ist es aber, das iPhone auf einem drehbaren Versuchsaufbau so zu befestigen, dass die eine Komponente stets die Radialbeschleunigung ist und die andere Komponente die Tangentialbeschleunigung (siehe Abb. 4). Wenn der rotierende Teil gut gelagert ist, so dass es kaum Reibung gibt, sieht man nach dem Anstoßen nur noch eine konstante Beschleunigung nach innen, die Zentripetalbeschleunigung. Außerdem kann man feststellen, dass die Länge des Pfeiles von der Rotationsgeschwindigkeit abhängt.

Eine oft diskutierte Frage ist die Beschleunigungsrichtung bei einem Fadenpendel oder Stabpendel. Dazu befestigt man das Gerät so an einer gut gelagert aufgehängten Pendelstange, dass der Bildschirm immer sichtbar ist. Da sich bei einem vertikal aufgehängtem Pendel die Lage des Gerätes im Schwerfeld ändert, muss man das Pendel horizontal aufbauen und entweder durch eine Torsionsfeder oder durch zwei Spiralfedern über Seilzüge für die rücktreibende Kraft sorgen (siehe Abb. 5). Man kann dann mit dem Auge

Abb. 3: Beschleunigte Bewegung auf der Fahrbahn (sowohl bei der Bewegung nach links, als auch bei der Bewegung nach rechts zeigt der Beschleunigungspfeil nach rechts)



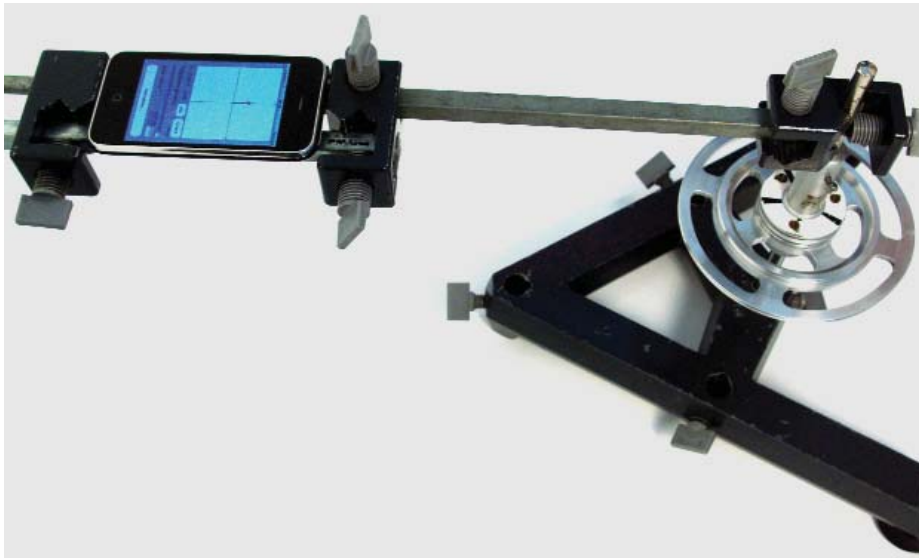


Abb. 4: Beschleunigung bei einem rotierenden iPhone

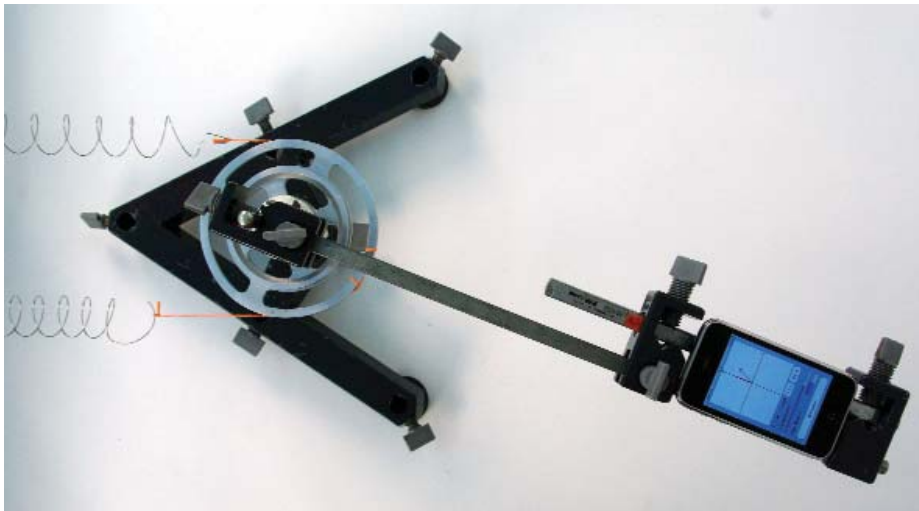


Abb. 5: Beschleunigung beim ebenen, horizontalen Stabpendel

während der Pendelbewegung die Veränderung der Beschleunigungsrichtung beim Pendelvorgang beobachten.

Des Weiteren empfiehlt es sich, die Bewegung mit einer videofähigen Kamera aufzunehmen. Dann kann man später die Aufnahme in Zeitlupe anschauen und auch stoppen und so die Richtung der Beschleunigung mit den Schülern diskutieren. Man sieht, dass die Beschleunigung im Allgemeinen schräg im dargestellten Koordinatensystem liegt, da sich sowohl das Tempo (tangentialer Beschleunigungsanteil) als auch die Richtung (radialer Beschleunigungsanteil) ändert. Nur in den Umkehrpunkten ist sie tangential gerichtet und nur im Nulldurchgang radial (Zentripetalbeschleunigung).

Zu guter Letzt soll noch die Möglichkeit erwähnt werden, mit dem iPhone und dem Programm „AccelVisu“ die Beschleunigung bei Fahrten beobachten zu können. Hier empfiehlt sich besonders der Einsatz in Achterbahnen und anderen Attraktio-

nen in einem Freizeitpark [10], da hier die Beschleunigungen größer sind, als beispielsweise bei einer Autofahrt. Im Auto sind die Beschleunigungswerte so klein, dass der sichtbare Effekt durch die unvermeidbaren Schwankungen durch Handzittern oder Bodenunebenheiten etc., die wesentlich größere Beschleunigungswerte ergeben, überdeckt werden. Das Ergebnis ist, dass der dargestellte Vektorpfeil so stark zittert, dass man wenig erkennen kann. Die Schwierigkeit im Freizeitpark ist allerdings, das iPhone vernünftig zu halten.

5. Fazit

Mit dem Programm „AccelVisu“, das für iPhone und iPod geschrieben wurde, steht eine interessante und gewinnbringende Möglichkeit zur Verfügung, die Beschleunigungspfeile bei unterschiedlichen Bewegungen direkt sichtbar zu machen. Dies kann sehr aufschlussreich für das grundlegende Verständnis von beschleunigten Bewegungen sein. ■

Literatur

[1] Waltner, Christine; Tobias, Verena; Wiesner, Hartmut.; Hopf, Martin; Wilhelm, Thomas: Ein Unterrichtskonzept zur Einführung in die Dynamik in der Mittelstufe, *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 59, Nr. 7, 2010, S. 9 – 22

[2] Wiesner, H.; Wilhelm, T.; Rachel, A.; Waltner, C; Tobias, V.; Hopf, M.: *Mechanik I: Kraft und Geschwindigkeitsänderung*, Reihe Unterricht Physik, Aulis-Verlag, 2011

[3] Wilhelm, T.; Heuer, D.: Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden - durch Beginn mit der zweidimensionalen Bewegung, *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 51, Nr. 7, 2002, S. 29 - 34

[4] Wilhelm, T.: Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung, *Studien zum Physik- und Chemielernen*, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, 2005, ISBN 3-8325-1046-X

[5] Wilhelm, T.: Vektorverständnis und vektorielles Kinematikverständnis von Studienanfängern – In: Nordmeier, V.; Oberländer, A.; Grötzebauch, H. (Hrsg.): *Didaktik der Physik - Regensburg 2007*, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin, 2007, ISBN 978-3-86541-255-3

[6] Wilhelm, T.: Zweidimensionale Bewegungen -Vergleich von vier verschiedenen Möglichkeiten der Messwerterfassung und Evaluationsergebnisse eines Unterrichtseinsatzes – In: Nordmeier, V.; Oberländer, A. (Red.): *Didaktik der Physik - Kassel 2006*, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin, 2006

[7] Reusch, W.; Gößwein, O.; Kahmann, C.; Heuer, D. (2000a): Computerunterstützte Schülerversuche zur Mechanik mit der Computermouse als Low-Cost-Bewegungssensor – In: *Physik in der Schule* 38, Nr. 4, S. 269 – 273

[8] Simon Feistel: iPhone Programm zur vektoriellen Darstellung der Kraftwirkung unter Verwendung des eingebauten Beschleunigungssensors, *Facharbeit 2011 am Gymnasium des Franken-Landschulheims in Gaibach*

[9] <http://did-apps.physik.uni-wuerzburg.de> (sämtliche Programme sind kostenlos verwendbar)

[10] Schüttler, M.; Wilhelm, T.: Bewegungsanalyse im Freizeitpark, *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 60, Nr. 6, 2011

Anschrift des Verfassers:

AR Dr. Thomas Wilhelm, LAss Dr. Stephan Lück, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Physikalisches Institut, Universität Würzburg, Emil-Hilb-Weg 22, 97074 Würzburg, E-Mail: thomas.wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de, stephan.lueck@physik.uni-wuerzburg.de