

High Speed - slow motion: Experimente unter der (Zeit-)lupe

Michael Vollmer, Klaus-Peter Möllmann

FH Brandenburg, Magdeburgerstr. 50, 14770 Brandenburg, Germany
vollmer@fh-brandenburg.de, moellmann@fh-brandenburg.de

Kurzfassung

Hochgeschwindigkeitsaufnahmen physikalischer Phänomene erforderten früher sehr teures Equipment. Dank digitalerameratechnik wird es zunehmend erschwinglich. Im Folgenden wird ein Experiment beispielhaft beschrieben sowie eine Literaturübersicht gegeben.

1. Einführung:

Viele physikalische Phänomene laufen so schnell ab, dass erst Hochgeschwindigkeitsaufnahmen ihre Natur offen legen. Solche Aufnahmen erforderten früher sehr teures Equipment. Dank digitalerameratechnik wird es zunehmend erschwinglich. Nachdem die Technik moderner Hochgeschwindigkeitskameras, die von preiswerten Amateurkameras für die Schule bis hin zu teuren Profisystemen reicht, ausgiebig beschrieben wurde [1,2] ist in den letzten Jahren eine immer größer werdende Sammlung von schnell ablaufenden Experimenten aus verschiedenen Bereichen der Physik präsentiert und analysiert worden. Die Thematik wurde bereits erfolgreich in vielen Lehrerfortbildungen, insbesondere mit Workshop-charakter, in Deutschland, Österreich und der Schweiz präsentiert. Im Folgenden wird ein Experiment beispielhaft beschrieben sowie eine Literaturübersicht gegeben.

andererseits ändern sich bei schrägem Einfall auf eine Unterlage auch ihre Eigenrotation. Das führt zu interessanten Bewegungsabläufen [3-5] die sich mit Hochgeschwindigkeitskameras gut untersuchen lassen [6,7]. Als ein Beispiel sei folgender Prozess diskutiert: ein Ball wird ohne Eigenrotation schräg auf den Boden geworfen, sodass er nach Reflexion von unten kommend auf ein Brett, z.B. eine Tischplatte, trifft. Man beobachtet – für viele unerwartet – dass der Ball nach einer erneuten Bodenreflexion wieder zurück zum Werfer kommt.

Abb. 1 zeigt zum einen schematisch das Verhalten eines Superballs bei diesem Prozess. Zum anderen ist die tatsächlich aufgenommene Flugbahn dargestellt. Dazu sind einer Momentaufnahme des Balls weitere Positionen zu anderen Zeiten (Zahlen entsprechen Zeiten in ms) überlagert. Die detaillierte Analyse [6,7] gestattet es sowohl die translatorische Geschwindigkeit und somit die kinetische Energie

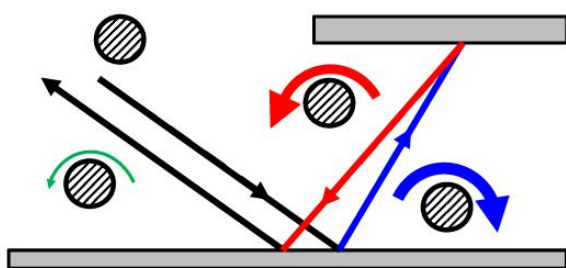


Abb. 1: Schematische Bahnkurve (links) und tatsächliche Flugbahn aus High-Speed-Aufnahmen (rechts) der Retroreflexion eines Superballs zwischen zwei horizontalen Flächen.

2. Beispiel eines Experiments

Superbälle bestehen aus einer mittelharten Gummimischung mit sehr hoher Elastizität. Aufgrund ihrer Materialeigenschaften springen sie einerseits deutlich höher von einer Unterlage weg als andere Bälle,

zu bestimmen als auch die Rotationsfrequenz und somit die Rotationsenergie.

Zunächst trifft der Ball ohne Eigendrehung schräg auf den Fußboden. Bei dem Stoß gewinnt er eine

Rotation im Uhrzeigersinn, bevor er die Tischplatte von unten trifft. Ähnlich einer mit Effet in Richtung Bande gestoßenen Billardkugel erfährt der reflektierte Ball eine Richtungsänderung, die nicht dem einfachen Reflexionsgesetz folgt, verbunden mit einer Drehrichtung im Gegenuhrzeigersinn. Nach der zweiten Kollision mit dem Boden bewegt sich der Ball etwa parallel zur ursprünglichen Einfallrichtung mit wenig Eigendrehung. Der Dreifachstoß führt also quasi zu einer Retroreflexion. Ein Video dieses Vorgangs findet sich als freier Download auf www.phiuz.de Special Features/Zusatzmaterial zu Heft 42/5 (2011) [7].

Im Experiment wurde der Ball (Masse 69,5 g, Durchmesser 5 cm) mit etwa 12,6 m/s und geringer Eigenrotation geworfen, der Abstand der beiden Platten betrug 32 cm. Die Geschwindigkeit nahm nach der ersten und zweiten Kollision ab und nach der dritten wieder zu. Gleichzeitig wurde nach der ersten und zweiten Kollision eine recht hohe Eigenrotation gemessen, die am Ende wieder abnahm. Kontaktzeiten mit den Unterlagen betragen jeweils etwa 2 ms wobei sich der Ball anfangs verformt. Er rollt dann auf der Unterlage ohne Gleiten ab was zur Änderung der Rotation des Balls führt.

Ein ähnlich seltsames Verhalten von Superbällen kann man auch bei anderen Geometrien, z.B. vertikalen Kanälen beobachten siehe [6,7].

3. Zusammenstellung von Arbeiten mit High Speed Aufnahmen für den Physikunterricht

Es gibt mittlerweile eine große Anzahl von weiteren Veröffentlichungen unserer Arbeitsgruppe, die Experimente mit High Speed Kameras für den Physikunterricht behandeln. Insbesondere in den englischsprachigen Beiträgen [7-14] sind auch ausführliche Literaturlisten mit den Arbeiten anderer Autoren zu high speed Experimenten und natürlich auch zu den untersuchten Phänomenen zugrundeliegenden - Physik aufgeführt. Neben einigen kurzen deutschen Beiträgen [15,16] gibt es seit 2011 auch eine Rubrik Rasante Physik in der Zeitschrift *Physik in unserer Zeit*, in der jeweils auf 1-2 Seiten ein Phänomen behandelt wird [6, 17-24].

Weitere Experimente in *Physics Education* [25] sowie in der Rubrik Rasante Physik in der Zeitschrift *Physik in unserer Zeit* [26] sind geplant. In beiden Zeitschriften gibt es auch online als Zusatzmaterial zu den Beiträgen Videobeispiele zum freien download.

4. Literatur

- [1] *High speed—slow motion: technology of modern high speed cameras*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, *Physics Education* 46/2, 191-202 (2011)
- [2] *High Speed – Slow Motion: Technik digitaler Hochgeschwindigkeitskameras*, M. Vollmer,

- K.-P. Möllmann, *Physik in unserer Zeit* 42/3, 144-148 (2011)
- [3] R. Cross, *Grip-slip behavior of a bouncing ball*, *Am. J. Phys.* 70, 1093-1102 (2002), *Enhancing the Bounce of a Ball*, *The Physics Teacher* Vol. 48, 450-452 (2010)
- [4] B. T. Hefner, *The kinematics of a superball bouncing between two vertical surfaces*, *Am. J. Phys.* 72, 875- 883 (2004)
- [5] R.L. Garwin, *Kinematics of an ultraelastic rough ball*, *Am. J. Phys.* 37, 88-92 (1969)
- [6] *Das seltsame Verhalten von Superbällen (Rasante Physik)*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, *Physik in unserer Zeit*, 42/5, 255-256 (2011)
- [7] *Exploding balloons, deformed balls, strange reflections, and breaking rods: slow motion analysis of selected hands-on experiments*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, *Physics Education* 46/4 p.472-485 (2011)
- [8] *Ring falling into a chain: no magic – just physics*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, *The Physics Teacher* 49, 335-337 (2011)
- [9] *Rainbows, water droplets, and seeing—slow motion analysis of experiments in atmospheric optics*: M. Vollmer, K.-P. Möllmann, *Applied Optics* 50/28, pp. F21–F28 (2011)
- [10] *Oscillating droplets and incompressible liquids: slow motion visualization of experiments with fluids*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, *Physics Education* 47, 664-679 (2012)
- [11] *Faster than g – a never ending story?* M. Vollmer, K.-P. Möllmann, *Eur. J. Phys.* 33, 1277–1288 (2012)
- [12] *Vapour pressure and adiabatic cooling from champagne: slow motion visualization of thermodynamics of gases*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, *Phys. Ed.* 47/5, 608–615 (2012)
- [13] *Thermodynamics of gases: combustion processes analyzed in slow motion*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, *Physics Education*, accepted, to be published in 2013
- [14] *Removing coins from a dice tower: no magic – just physics*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, *The Physics Teacher*, accepted, to be published in (2013)
- [15] *Hochgeschwindigkeitskameras im Physikunterricht*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, *MNU* 65/6 349-355 (2012)
- [16] *Der Ring-in-die-Kette Zaubertrick und ein historisches Vakuumexperiment in neuem Gewand: Erkenntnisgewinn durch Hochgeschwindigkeitsaufnahmen*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, *Praxis der Naturwiss. Physik*, 60/5, 30-35 (2011)
- [17] *Verzögerte Wirkung: Retardierung in der Mechanik (Rubrik Rasante Physik)*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, *Physik in unserer Zeit*, 42/3, 150-151 (2011)

- [18] *Von Bällen und Schlägern (Rasante Physik)*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, Physik in unserer Zeit, 42/4, 202-203 (2011)
- [19] *Zersplitterndes Holz auf rohen Eiern (Rasante Physik)*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, Physik in unserer Zeit, 42/6, 305-306 (2011)
- [20] *Feynmans Rätsel der brechenden Spaghetti (Rasante Physik)*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, Physik in unserer Zeit, 43/1, 46-47 (2012)
- [21] *Lorentz-Pendel in der Glühbirne (Rasante Physik)*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, Physik in unserer Zeit, 43/2, 96-97 (2012)
- [22] *Raindrops keep falling on my head (Rasante Physik)*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, Physik in unserer Zeit, 43/4, 200 – 201 (2012)
- [23] *Tropfen auf dem kalten Wein (Rasante Physik)*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, Physik in unserer Zeit 43/5, 252-253 (2012)
- [24] *Prost Neujahr: die Physik von Champagnerflaschen (Rasante Physik)*, M. Vollmer, K.-P. Möllmann, Physik in unserer Zeit, 43/6, 307 – 308 (2012)
- [25] <http://iopscience.iop.org/0031-9120>
- [26] www.phiu.z.de