

Stroboskopbilder mit „Live Video Strobe“

Thomas Wilhelm, Michael Suleder

Stroboskopbilder

Ein Stroboskopbild zeigt ein bewegtes Objekt zu verschiedenen Zeitpunkten in ein und demselben Bild. Ein fotografisches Stroboskopbild entsteht durch eine Langzeitaufnahme einer Bewegung, d.h. die Blende der Fotokamera bleibt während der gesamten Bewegung geöffnet. Um die daraus resultierende Bewegungsunschärfe zu vermeiden, wird die Aufnahme in einem abgedunkelten Raum gemacht und das bewegte Objekt mit einer Stroboskoplampe angeblitzt. Meistens wird als Hintergrund eine schwarze Wand gewählt, so dass das Licht im Idealfall nur durch das Objekt und nicht durch den Hintergrund gestreut wird. So entstehen in ein und derselben Aufnahme mehrere scharfe Abbilder des Objekts entlang seiner Bahnkurve. Wenn die Stroboskoplampe in konstanten Zeitabständen blitzt, dann lässt sich aus dem Bild auch das Zeit-Ort-Verhalten des Objekts ablesen, wobei sowohl qualitative als auch quantitative Auswertungen möglich sind. Solche fotografischen Stroboskopbilder sind allerdings in der Erstellung sehr aufwändig und man erhält das Ergebnis erst nach Ende der Bewegung.

Digitale Stroboskopbilder lassen sich mit geringem Aufwand aus Videoclips herstellen [1]. Da die Einzelbilder eines digitalen Videos in der Regel in konstanten Zeitabständen aufgenommen werden, können auch hier die Bahnkurve und das Zeitverhalten abgelesen werden. Auch bei den digitalen Stroboskopbildern aus zu erstellenden Videoclips ist noch ein gewisser Aufwand nötig. Auch hier erhält man das Stroboskopbild erst nach Aufnahme der Bewegung.

Der Vorteil des Stroboskopbildes gegenüber der Realbewegung bzw. dem Videoclip liegt darin, dass schnell ablaufende Bewegungsvorgänge – wie beispielweise der Wurf eines Balles – quasi eingefroren werden und so in aller Ruhe betrachtet und ausgewertet werden können. Darüber hinaus kann ein Stroboskopbild leicht ausgedruckt und an Schüler verteilt werden. Neben der Ermittlung von Messwerten können Stroboskopbilder auch zur Einführung der Geschwindigkeit und als Hinführung zu Diagrammen und ihrer Interpretation verwendet werden [2, 3].

Prof. Dr. Thomas Wilhelm war Gymnasiallehrer für Mathematik und Physik, promovierte an der Universität Würzburg über ein verändertes Mechanikkonzept, habilitierte dort über die Videoanalyse von Bewegungen, hatte eine Professur an der Universität Augsburg und ist nun Professor und Geschäftsführender Direktor am Institut für Didaktik der Physik der Universität Frankfurt. E-Mail: wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Dipl.-Phys. StR Michael Suleder studierte Physik an der Universität Karlsruhe, arbeite am Lehrstuhl für Didaktik der Physik der Universität Würzburg und ist seit 2004 in Bayern Gymnasiallehrer für Mathematik und Physik. Bekannt wurde er als Programmierer der Software „FeldLab“ und der Videoanalysesoftware „measure dynamics“.

Die Software „Live Video Strobe“

Bisher war es nur möglich, Stroboskopbilder nach Ablauf der Belichtungszeit zu betrachten. Mit dem neuen Freeware Programm „Live Video Strobe“ wird das stroboskopische Bild während des Bewegungsablaufs in Echtzeit generiert. Der Benutzer sieht schon während der Bewegung, wie aus dem Video das Stroboskopbild entsteht. Beispielsweise entsteht die Stroboskopaufnahme eines geworfenen Balles vor den Augen des Betrachters, während sich der Ball noch in der Luft befindet. Gleich nach der Bewegung kann mit dem fertigen Bild gearbeitet werden.

Systemvoraussetzungen für die Benutzung der Software „Live Video Strobe“ sind ein PC mit Windows-Betriebssystem ab Windows XP und eine Kamera, die im Live-Modus an den Computer angeschlossen werden kann, d.h. eine Webkamera oder PC-Kamera.

Die Software besteht nur aus einer ausführbaren Datei (exe-Datei) und kann von Festplatte, CD oder USB-Stick direkt gestartet werden – eine Installation ist nicht notwendig. Sofern eine Schreibberechtigung besteht, speichert das Programm einige Einstellungen in einer Konfigurationsdatei (ini-Datei) am selben Ort wie die ausführbare Datei. Beim ersten Start werden für den Nutzer Benutzungsbedingungen und -hinweise eingeblendet.

Nach dem Start der Software muss zunächst die Verbindung zur Kamera hergestellt werden. Dies geschieht durch Auswahl der Videoquelle aus einer Liste und anschließendes Klicken des Knopfes „Verbinden“. Es erscheint das Livebild der Kamera. Der Knopf „Spiegeln“ ermöglicht es, das Bild entweder wie beim Blick in einen Spiegel oder wie aus der Sicht einer gegenüber stehenden Person erscheinen zu lassen. Die Stroboskopaufnahme kann durch die Knöpfe „Start“ und „Stop“ begonnen und beendet werden (siehe Abb. 1). In den „Einstellungen“ kann vorher gewählt werden, jedes wievielte Kamerabild für das Stroboskopbild verwendet wird (Schrittweite n bedeutet: jedes n -te Kamerabild wird verwendet). Außerdem kann eingestellt werden, dass die Bildrate im Stroboskopbild eingeblendet wird. Sie liegt üblicherweise bei 25 Bildern pro Sekunde (PAL-Standard) bei Webcams sind auch abweichende Werte möglich. Alle Aufnahmen können automatisch in ein frei wählbares Verzeichnis gespeichert werden. Alternativ können die zehn letzten Aufnahmen über eine Bildleiste am unteren Bildschirmrand betrachtet werden (siehe Abb. 1).

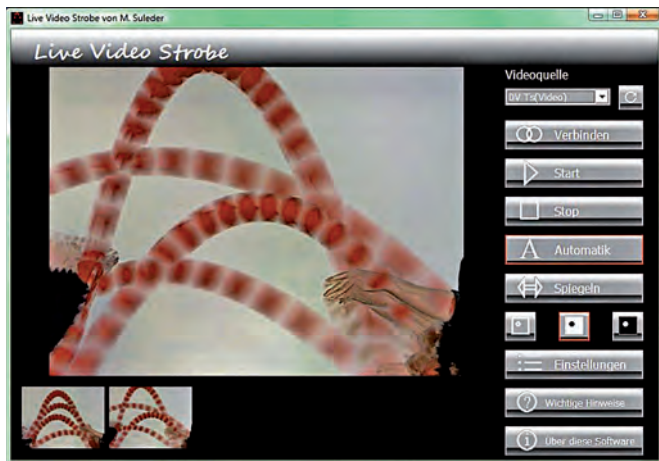


Abb. 1: Programmfenster „Live Video Strobe“.

Alternativ zur Start/Stop-Steuerung kann der Knopf „Automatik“ betätigt werden, um in bestimmten Zeitabständen automatisch neue Stroboskopbilder aufzunehmen. Die Aufnahmedauer T (in Sekunden) und die Schrittweite können auch hier vorher in den Einstellungen festgelegt werden und zwar getrennt für die Modi „schnelle Bewegung“ (Standardeinstellungen: $n = 1$; $T = 4$), „mittlere Bewegung“ (Standardeinstellungen: $n = 2$; $T = 6$) und „langsame Bewegung“ (Standardeinstellungen: $n = 4$; $T = 8$). Im Automatikmodus wird zunächst ein Countdown bis zur nächsten Aufnahme gezeigt, dessen Dauer in Sekunden ebenfalls einstellbar ist. Dies ermöglicht dem Benutzer, sich oder sein Experiment in die Ausgangssituation für die aufzeichnende Bewegung zu bringen. Danach beginnt die Stroboskopaufnahme mit der gewählten Schrittweite und Aufnahmedauer. Das fertige Stroboskopbild bleibt noch einige Sekunden (ebenfalls in den Einstellungen wählbar) zur Betrachtung stehen. Nach einer kurzen Einblendung des „About“-Fensters beginnt der Vorgang dann erneut.

Der Automatikmodus startet standardmäßig in Vollbilddarstellung und bedarf keiner weiteren Interaktion durch die Benutzer, so dass sich das Programm auch sehr gut für Physikausstellungen eignet. Sofern den Benutzern die Verwendung der Maus gestattet wird, kann während des Countdowns ein Fenster zur Auswahl der Aufnahmemodi „schnell“, „mittel“ und „langsam“ eingeblendet werden. Bei Benutzung des Vollbildmodus können die zehn letzten Aufnahmen erst nach Beenden des Automatikmodus gesehen werden.

Die Aufnahme sollte in jedem Fall in einem gut ausgeleuchteten Raum durchgeführt werden, um lange Verschlusszeiten der Kamera und damit Bewegungsunschärfen zu vermindern. In den mit „Live Video Strobe“ erzeugten Stroboskopbildern erscheinen die bewegten Objekte in der Regel halbtransparent, da der gesamte Raum beleuchtet wird und nicht nur das bewegte Objekt. Gute Aufnahmen erhält man, wenn Objekte mit hoher Farbsättigung vor einer weißen Wand bewegt werden. Die Einstellung „helle Wand“ bewirkt dann, dass die Objekte nicht mehr halbtransparent sondern opak erscheinen.

Eine andere Möglichkeit sind Aufnahmen heller bzw. leuchtender Objekte vor einer dunklen Wand bzw. in einem abgedunkelten Raum. Dann wird die Einstellung „dunkle Wand“ empfohlen.

Anwendungen

Spaßbilder

Ermöglicht man Kindern mit dieser Software Bilder zu erzeugen, dann versuchen diese zunächst, durch verschiedene Lauf- und Sprungbewegungen interessante Bilder zu erzeugen und haben dabei einigen Spaß (siehe Abb. 2).



Abb. 2: Spielerische Bewegung einer Person vor der Kamera.

Auch dabei kann schon einiges gelernt werden. Für besonders interessante Bilder sind einige Überlegungen nötig. So kann damit experimentiert werden, dass manche Körperteile unbewegt bleiben, während andere bewusst bewegt werden. So entstand auch die Abb. 3, bei der die Person wie ein Engel aussieht.



Abb. 3: Spaßbild Engel

Qualitative Analysen

Im Physikunterricht eignen sich die Stroboskopbilder gut für qualitative Betrachtungen, da sowohl die Bahnkurve als

auch das Zeitverhalten abgelesen werden kann. Die Ortsänderung zwischen zwei Teilbildern zeigt die Geschwindigkeit (Tempo und Richtung). Änderungen der Geschwindigkeit lassen wiederum auf Einwirkungen schließen. Beispielsweise zeigt Abb. 4 die Bahnkurve eines schiefen Wurfes, die wie eine Parabel aussieht. An den Abständen zwischen den Teilbildern sieht man, dass der Ball beim Hochsteigen langsamer wird und beim Herunterfallen schneller wird. In Abb. 2 wird dagegen die Person beim Aufsteigen schneller und beim Absinken langsamer.

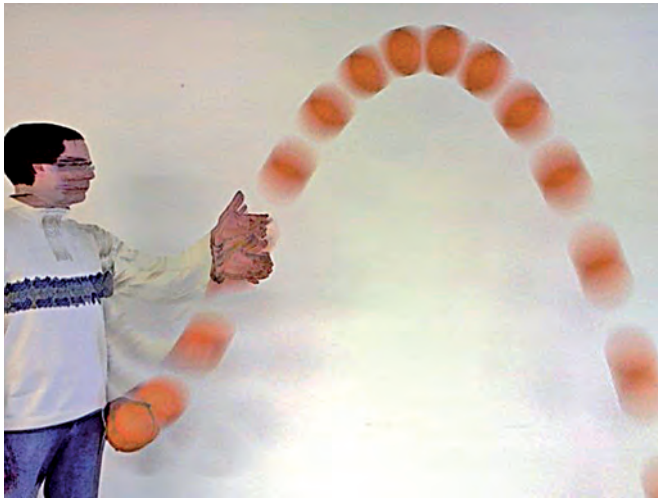


Abb. 4: Bahnkurve beim schiefen Wurf

Auch ein Vergleich verschiedener Bewegungen ist möglich. So sieht man beim Fallen des Balles in Abb. 5, dass die Bewegung ständig schneller wird. Dagegen zeigt Abb. 6 einen Bahrdtschen Fallkegel [4], der bereits nach sehr kurzer Fallstrecke mit einer nahezu konstanten Geschwindigkeit fällt.



Abb. 5: Fallbewegung einer Kugel

Auch anspruchsvollere Bewegungen wie Gehen oder Laufen können betrachtet werden. In Abb. 7 geht eine Person durchs Bild, die zur Verdeutlichung noch einen Maßstab wie ein Gewehr über der Schulter trägt. Man sieht in diesem Stroboskopbild an dem Maßstab, dass die horizontale Komponente der Geschwindigkeit des Kopfes fast konstant ist, während man an den dunklen Haaren sieht, dass der Kopf

in vertikaler Richtung eine fast harmonische Schwingung vollführt. Dies ist sowohl beim Gehen als auch beim Laufen so, damit die Beschleunigungen für das Gehirn möglichst klein sind [5]. Betrachtet man dagegen die Bewegungen der Füße oder Knie, erhält man völlig andere Bewegungen mit großen Beschleunigungen [5, 6].

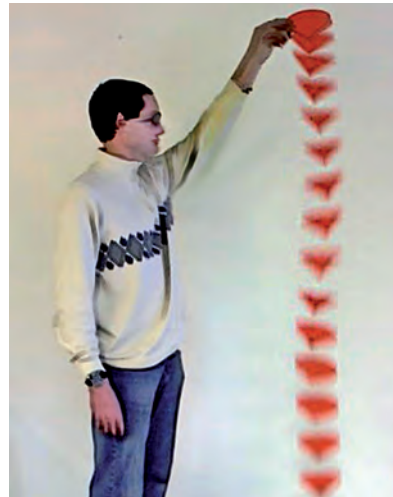


Abb. 6: Fallbewegung eines Papierkegels



Abb. 7: Gehen einer Person mit Maßstab im Arm

Quantitative Analysen

Legt man wie in Abb. 8 einen Maßstab ins Bild, lässt sich die Ortsänderung $\Delta \vec{r}$ zwischen zwei Teilbildern auch quantitativ bestimmen. Hat man vorher unter „Einstellungen“ → „Bilder“ eingestellt, dass die Bildrate ins Stroboskopbild eingeblendet werden soll, kann man nun auch die Zeit Δt zwischen zwei Teilbildern und damit das Tempo ν berechnen. Zusammen mit der Bewegungsrichtung hat man damit auch die Geschwindigkeit \vec{v} [3, S. 55]. Bestimmt man zwei aufeinander folgende Geschwindigkeiten, kann man auch die Geschwindigkeitsänderung bzw. Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v}$ zeichnerisch bestimmen [3, S. 79] und daraus auch die Beschleunigung \vec{a} [7, S. 114]. Interessiert nur die Richtung der Größen, aber nicht ihr Wert, kann man die

Pfeile für die Ortsänderungen $\Delta\vec{r}$ zwischen zwei Teilbildern als Geschwindigkeitspfeile auffassen und daraus Geschwindigkeitsänderungspfeile konstruieren. Betrachtet man stattdessen nur die x - oder y -Komponente, kann man auch die Abhängigkeiten $y(x)$, $x(t)$, $y(t)$, $v_x(t)$, $v_y(t)$, $a_x(t)$ oder $a_y(t)$ ermitteln [7, S. 90+114].

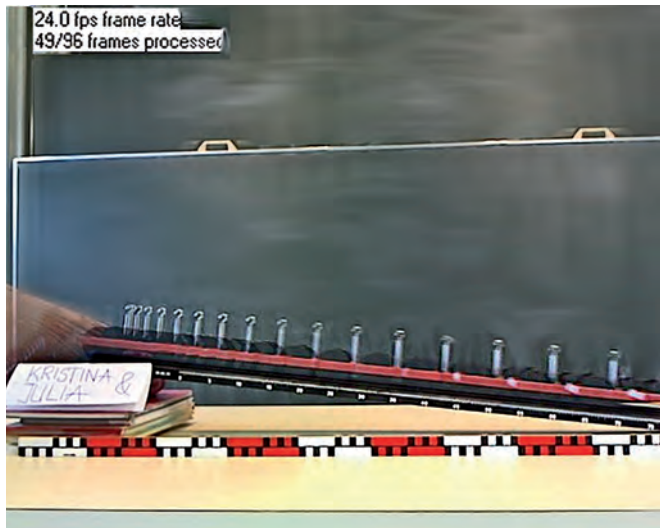


Abb. 8: Von Schülern angefertigtes Bild eines Wagens auf der schiefen Ebene. Für die Auswertung befindet sich ein Meterstab im Bild. Links oben ist die Bildrate eingeblendet.

Abb. 8 zeigt eine Stroboskopaufnahme an einer schiefen Ebene, die im Physikunterricht einer 10. Jahrgangsstufe entstanden ist. Zu Beginn einer Doppelstunde recherchierten die Schüler über die Fallrinnenversuche Galileo Galileis zur Erforschung beschleunigter Bewegungen, z.B. in [8]. Insbesondere wurde diskutiert, wie mit Hilfe kleiner Glöckchen zeitlich gleich weit auseinander liegende Streckenabschnitte markiert werden können. Die folgende Einführung in das Programm „Live Video Strobe“ verdeutlichte, dass einem Stroboskopbild das gleiche Prinzip zugrunde liegt – es werden in konstanten Zeitintervallen Objektpositionen markiert. Im Anschluss bauten die Schüler in Gruppen selbst schiefe Ebenen auf und ließen entweder Fahrbahnwagen oder Kugeln hinabrollen, während im Automatikmodus Stroboskopbilder aufgenommen wurden.

Jede Schülergruppe erhielt einen Ausdruck ihres Stroboskopbildes zur Auswertung. Unter Anleitung ermittelten die Schüler aus dem Bild die zurückgelegten Strecken, die Geschwindigkeiten und schließlich die Beschleunigung innerhalb jedes Zeitintervalls. Zuletzt konnte mit Hilfe des Neigungswinkels der Bahn, der ebenfalls aus dem Bild ermittelt wurde, näherungsweise auf die Fallbeschleunigung g geschlossen werden.

Außerunterrichtlicher Einsatz

„Live Video Strobe“ eignet sich nicht nur für den Physikunterricht, sondern auch außerhalb des Unterrichts für eine spielerische Begegnung mit Physik.

Tag der offenen Tür

Abb. 2 zeigt den Aufbau von PC, Kamera, Bildschirm und Beamer für den Tag der offenen Tür des Bertha-von-Suttner-Gymnasiums in Neu-Ulm. Die Besucher bewegen sich vor einer weißen Wand. Ihnen gegenüber steht der PC mit Kamera und Bildschirm, so dass sie die Bewegungen am Monitor verfolgen können und gleichzeitig in Richtung Kamera blicken. Für die umstehenden Besucher wird das Bildschirmbild zusätzlich per Beamer an die seitlich angrenzende Wand projiziert. Vor allem Kinder und Jugendliche aller Jahrgangsstufen experimentierten mit viel Begeisterung vor dem Bildschirm. Dabei wurden in erster Linie Hüpf- und Sprungbewegungen, sowie Fall- und Wurfbewegungen mit verschiedenen Gegenständen (Bälle, Luftballons, hantelförmige Körper) erforscht. Auf eine Beleuchtung zusätzlich zur vorhandenen Flurbeleuchtung wurde verzichtet.



Abb. 9: Zwei Schüler werfen sich Bälle zu. Rechts PC mit Kamera, im Hintergrund die Beamerprojektion.

Science-Center ExperiMINTa

Das Frankfurter Science Center ExperiMINTa ist ein noch junges Mitmach-Museum, das am 1. März 2011 durch das ehrenamtliche Engagement von Frankfurter Bürgerinnen und Bürgern eröffnet wurde und in vielen Bereichen in ehrenamtlichem Einsatz läuft [9]. Im Jahr 2012 gab es bereits ca. 90.000 Besucher. Etwa 120 Experimentierstationen sind zehn Themenkreisen zugeordnet.

2013 wurde in der ExperiMINTa eine neue Station mit „Live Video Strobe“ erstellt. Besucher sehen an einer Wand eine Kamera und einen großen Touchscreen, auf dem die Software im Automatikmodus läuft (Abb. 10 oder 11). Sie können sich nun vor der gegenüberliegenden weißen Wand bewegen oder sich Jonglierbälle oder Fallkegel ausleihen und damit experimentieren.



Abb. 10: Die Experimentierstation „Live Video Strobe“ in der ExperiMINTa: Links die Kamera, mittig der Touchscreen und rechts eine Schülerin, die ein Bild von sich mit vierzehn Armen erzeugt – ähnlich der indischen Göttin Durga oder Kali.



Abb. 11: Die Experimentierstation „Live Video Strobe“ in der ExperiMINTa: Rechts der Touchscreen, mittig die Kamera und links eine Schülerin, die ein Rad schlägt.

Diese Station ist für Schüler sehr attraktiv, insbesondere für Mädchen (siehe Abb. 10 und 11). Dabei werden kaum physikalische Abläufe wie Fall- und Wurfbewegungen untersucht, sondern vor allem versucht, attraktive Bilder mit dem eigenen Körper zu erzeugen – auch im Teamwork. Diese Bilder werden währenddessen zunehmend attraktiver, da die Schüler beim Experimentieren dazulernen.

Die ExperiMINTa bietet außerdem experimentelle Bühnenshows an. Für diesen Zweck wurde ein Computer mit Kamera auf einem fahrbaren Tisch vorbereitet, der bei einer solchen Experimentiershow eingesetzt werden kann. Lehrkräfte können mit ihren Schulklassen hier auch bestimmte Angebote bestellen. So ist es möglich, die Bühne nur für die Erstellung und Behandlung von Stroboskopbildern zu buchen.

Erfahrungen

Die Echtzeitstroboskopbilder haben bei Erprobungen in verschiedenen Schulklassen große Begeisterung hervorgerufen. Das Miterleben des Entstehungsprozesses der Bilder schien dabei eine besondere Rolle zu spielen. Vermutlich wirkt hier die zeitliche Korrelation zwischen dem Ablauf des realen Experiments und des fotorealistischen, durch frühere Objektabbildungen angereicherten Stroboskopbildes so motivierend. Auch viele Lehrkräfte äußerten sich sehr positiv darüber, dass die Entstehung eines Stroboskopbildes in Echtzeit mitverfolgt werden kann. Vor allem schätzen sie an der Software, dass man sehr schnell ohne viele Einstellungen zu einem Stroboskopbild kommt. Dies gilt insbesondere für Lehrkräfte, die nicht computeraffin sind und deshalb nicht mit Videoanalyse und digitalen Stroboskopbildern aus Videoclips arbeiten wollen.

Downloadmöglichkeiten

Die Software „Live Video Strobe“ wird vom Autor für nicht-kommerzielle Zwecke unter <http://www.thomas-wilhelm.net/software.htm> und <http://www.videoanalyse.lima-city.de> kostenlos zur Verfügung gestellt. Die Verwendung in Ausstellungen und Science Centern ist mit schriftlicher Genehmigung des Autors möglich.

Literatur

- [1] Suleder, Michael (2009): Stroboskopbilder – lehrreich und leicht gemacht. In: Mathematischer und naturwissenschaftlicher Unterricht MNU 5/62, S. 285-287
- [2] Suleder, Michael (2010): Videoanalyse und Physikunterricht, Aulis Verlag, Hallbergmoos
- [3] Wiesner, Hartmut; Wilhelm, Thomas; Waltner, Christine; Tobias, Verena; Rachel, Alexander; Hopf, Martin (2011): Mechanik I: Kraft und Geschwindigkeitsänderung, Reihe Unterricht Sek. I Physik, Band 5, Aulis Verlag, Hallbergmoos
- [4] Wilhelm, Thomas (2000): Der alte Fallkegel – modern behandelt. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik 49, Heft 6, S. 28 – 31
- [5] Weidt, Martin, Wilhelm, Thomas (2011): Bewegungen des eigenen Körpers – Möglichkeiten der Messwerterfassung im Vergleich. In: PhyDid-B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Münster 2011, (www.phydid.de)
- [6] Scheler, Stefan; Wilhelm, Thomas (2009): Neue Möglichkeiten durch Funksensoren. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 58, Nr. 7, S. 28 – 35
- [7] Wilhelm, Thomas; Wiesner, Hartmut; Hopf, Martin; Rachel, Alexander (2013): Mechanik II: Dynamik, Erhaltungssätze, Kinematik, Reihe Unterricht Sek. I Physik, Band 6, Aulis-Verlag, Hallbergmoos
- [8] Homepage des Museo Galileo, Florenz: <http://catalogue.museogalileo.it/object/InclinedPlane.html> (Stand 8/2015)
- [9] <http://www.experiminta.de>