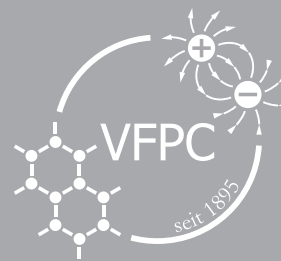


plusLucis

Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts



Videoanalyse von Bewegungen

ISSN 1606-3015

Ausgabe 1/2020

Impressum

PLUS LUCIS, Mitteilungsblatt des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts und des Fachausschusses Physik & Schule der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft (VZR: 668472729)
Erscheint vierteljährlich

Medieninhaber:

Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts
Adr.: AECC Physik Universität Wien,
Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien
Web: <https://www.pluslucis.org>
Mail: schriftenleitung@pluslucis.org

Redaktion:

Mag. Dr. Thomas Plotz (Leitung)
Mag. Sarah Zloklikovits

Verantwortlicher Herausgeber dieser Ausgabe:

Prof. Dr. Thomas Wilhelm
Institut für Didaktik der Physik,
Goethe-Universität Frankfurt am Main
Email: wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

HerausgeberInnenteam:

Univ.-Prof. Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer
Universität Graz, Physikdidaktik
E-Mail: claudia.haagen@uni-graz.at
Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
Universität Wien, Physikdidaktik
E-Mail: martin.hopf@univie.ac.at
Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens
Universität Wien, Chemiedidaktik
E-Mail: anja.lembens@univie.ac.at
Prof. Dr. Thomas Wilhelm
Universität Frankfurt, Physikdidaktik
E-Mail: wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Bezugshinweise:

Das Abonnement der Zeitschrift ist für Vereinsmitglieder im Mitgliedsbeitrag inkludiert.
Ein institutionelles Abonnement (z. B. für Bibliotheken) ist zum Bezugspreis von 40 Euro im Jahr möglich.

Offenlegung nach § 25 des Mediengesetzes Grundlegende Richtung: Fortbildung und fachliche Information für Physik- und ChemielehrerInnen, organisatorische Mitteilungen, Vereinsinterna.

Für die Inhalte der Artikel sind ausschließlich die namentlich genannten AutorInnen verantwortlich.

Titelbild (Umschlag):

misskrume auf Pixabay

Inhalt

Eine kurze Geschichte der Videoanalyse	4
<i>Michael Suleder</i>	
Oberstufenmechanik konsequent mit Videoanalyse.....	7
<i>Thomas Wilhelm & Sebastian Diehl</i>	
Wie man schwerelos werden kann	11
<i>Leo Ludick</i>	
Videoanalyse des Schaukelns.....	12
<i>Shima Fahim und Thomas Wilhelm</i>	
Konstruktion videoexperimentbasierter Lernaufgaben	17
<i>Sebastian Gröber, Stefan Küchemann, Josef Sniatecki & Jochen Kuhn</i>	
Wissenschaft im Bild.....	23
<i>Jan Smrek</i>	
Mobile Videoanalyse im Mechanikunterricht.....	24
<i>Sebastian Becker, Alexander Gößling, Michael Thees, Pascal Klein & Jochen Kuhn</i>	
Videoanalyse in Echtzeit.....	32
<i>Jannis Weber & Thomas Wilhelm</i>	
Da irrt so manches Physikbuch (Teil 1).....	38
<i>Rainer Pippig</i>	

Editorial

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

die „Videoanalyse von Bewegungen“ ist ein altes physikdidaktisches Thema. Die ersten deutschsprachigen Softwareprogramme wurden bereits in den 1990er Jahren als Staatsexamensarbeiten an verschiedenen Universitäten erstellt (DiVA, David, ViMPs). Warum dann jetzt ein Themenheft zu diesem alten Thema? Viel hat sich in den letzten zwanzig Jahren geändert: Heutige Software erkennt das bewegte Objekt automatisch (z. B. measure dynamics, Tracker, Viana.net), zeichnet Pfeile ins Video (z. B. measure dynamics, Tracker, Newton-DV), erzeugt Stroboskopbilder oder läuft auf einem Tablet (z. B. Viana, Newton-DV, VidAnalysis); es gab einige Forschungsstudien zu und mit der Videoanalyse und sie ist in einigen Lehrplänen aufgenommen worden. Die Entwicklung wird sicher noch weitergehen: Software sowie Unterrichtsvorschläge werden weiterentwickelt werden. Dieses Heft kann und will das Thema nicht umfassend behandeln, aber doch ein wenig Rückblick und Ausblick geben und damit auch Anregungen für den aktuellen Physikunterricht geben.

Michael Suleder geht auf die Entwicklungsgeschichte der Videoanalyse ein und zeigt, was sich seit den Anfängen geändert hat. Außerdem stellt er die didaktischen Überlegungen vor, die für den Einsatz der Videoanalyse im Mechanikunterricht sprechen. Schließlich zeigt er, was die aktuelle Generation von Videoanalyseprogrammen für den Physikunterricht bedeutet.

Thomas Wilhelm und Sebastian Diehl meinen, dass die Videoanalyse im Oberstufenunterricht das Medium sein kann, das durch die gesamte Mechanik verwendet wird. Sie zeigen, dass damit auch ein veränderter Kinematik- und Dynamikunterricht möglich ist, indem insbesondere alle Größen an allgemeinen zweidimensionalen Bewegungen eingeführt werden. Sie schlagen vor, mit der Videoanalyse zuerst die kinematischen Größen nur qualitativ zu behandeln, dann die Newton'schen Gesetze zu thematisieren und erst danach die übliche quantitative Behandlung der Kinematik durchzuführen.

Shima Fahim und Thomas Wilhelm führen eine Videoanalyse des Schaukelns auf einem Spielplatz durch. Es zeigt sich, dass beim freien Schwingen der Schaukel eine harmonische Schwingung entsteht, deren Schwingungsdauer von der Pendellänge, aber nicht von der Masse und der Auslenkung abhängt. Analysiert und erklärt wird zudem das Aufschaukeln im Stehen und im Sitzen.

Lernaufgaben sollen kognitive Lernprozesse bei Schülerinnen und Schülern initiieren und steuern. Sebastian Gröber, Stefan Küchemann, Josef Sniatecki und Jochen Kuhn schlagen vor, in der Oberstufenmechanik den Schülern fertige Videos von Experimenten für die Videoanalyse und dazu passende



Thomas Wilhelm

Lernaufgaben zur Verfügung zu stellen. In dem Artikel werden Konstruktionsprinzipien zum Erstellen von solchen videoexperimentbasierten Lernaufgaben aufgezeigt und zwei solcher Lernaufgaben vorgestellt. So können theoretische Überlegungen motiviert und geprüft werden und das Verständnis gefördert werden.

Sebastian Becker, Alexander Gößling, Michael Thees, Pascal Klein und Jochen Kuhn plädieren dafür, dass die Lernenden mit einer App auf dem Smartphone oder Tablet Bewegungen aus ihrer natürlichen Umgebung aufnehmen und auf demselben mobilen Endgerät bezüglich der physikalischen Zusammenhänge eigenständig untersuchen. Sie verwenden die Videoanalyse-App Viana für iPads für die Videoaufnahme und für die erste Analyse der Bewegung. Für Ausgleichskurven verwenden sie noch die App Graphical. Es wird eine Unterrichtssequenz zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung vorgestellt sowie zwei interessante Freihandversuche: ein Fall mit Luftreibung und ein magnetischer Linearbeschleuniger. Schließlich werden empirische Ergebnisse zur Lernwirksamkeit aufgezeigt.

Jannis Weber und Thomas Wilhelm zeigen, dass es mittlerweile möglich ist, Videoanalyse in Echtzeit zu betreiben, d. h. das Programm analysiert das sich bewegende Objekt, das von der Kamera eines Tablets erfasst wird, unmittelbar während der Bewegung und zeigt in Echtzeit verschiedene Messgrößen an. Dazu stellen sie die Software eXperilyser vor, die es für Windows- und Android-Betriebssysteme gibt. Anhand einer Pendelschwingung, eines aufspringenden Balles und der schiefen Ebene wird die Software genauer vorgestellt. Ungeöhnlicher ist die weitere Möglichkeit, Messgeräte mit Hilfe der Kamera auszulesen und die Daten zu loggen und darzustellen. Vorteile und Limitierungen dieser Echtzeit-Videoanalyse und Hinweise für den Unterricht schließen den Artikel ab.

Ich wünsche, dass Sie in diesem Heft Anregungen für Ihren eigenen Mechanikunterricht finden, und hoffe, dass die Beiträge Sie ermutigen, die Videoanalyse von Bewegungen in der einen oder anderen Form im Unterricht einzusetzen bzw. deren Einsatz weiter zu intensivieren.

Thomas Wilhelm

Eine kurze Geschichte der Videoanalyse

Michael Suleder

1. Einleitung

Fast jeder verfügt heute über die Möglichkeit, jederzeit und an jedem Ort digitale Videoclips aufzuzeichnen – sei es mit dem Handy, dem Tablet, der Webcam oder einer Foto- oder Videokamera. Der breite Zuspruch dieses Mediums zeigt sich am Erfolg von Videoportalen im Internet. Für Schülerinnen, Schüler und Studierende ist es selbstverständlich, Videoaufnahmen selbst anzufertigen und vor allem zu konsumieren. Was liegt also näher, als dieses Medium auch im Physikunterricht zu verwenden? Die Videoanalyse ist ein preisgünstiges und berührungsloses Messverfahren zur Erfassung ein- und zweidimensionaler Bewegungsvorgänge. Die Hardware dafür haben praktisch alle Lernenden in der Hosentasche und ist in jedem Physiksaal verfügbar. Videoanalyse ermöglicht situiertes Lernen und Lernen im Kontext, indem neben den üblichen Demonstrationsexperimenten auch alltägliche und lebensweltliche Phänomene in den Physiksaal geholt werden. Selbst eine Kinderschaukel, eine Achterbahn oder eine Stabhochspringerin passen nun ins Klassenzimmer. Physik steckt im Sport, in Spielzeugen und im Straßenverkehr. Schülerinnen und Schüler dürfen und sollen die Vernetzung zwischen Physikunterricht und Lebenswelt vollziehen. Mit herkömmlichen Sensoren wären viele Bewegungen gar nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand analysierbar – man denke nur an die Flugbahn eines Basketballs oder einen Trampolinsprung. Auch unter didaktischen Aspekten ist ein Videoclip ein sinnvolles Lernmedium, denn unter allen visuellen Darstellungsformen besitzt er die größte Realitätsnähe und damit eine hohe Akzeptanz bei Lernenden. Die Arbeit mit Videoanalyse ist für Lernende nicht nur faszinierend und motivierend, sie fördert auch vernetztes und problemlösendes Denken. Das Erfassen und Auswerten von Daten am Computer oder Smartphone vermittelt Einblicke in wissenschaftliche Arbeitsweisen und fördert notwendige Kompetenzen in den MINT-Fächern.

2. Entwicklungsgeschichte

Die Funktionsweise der Videoanalyse beruht darauf, dass ein digitaler Videoclip aus einzelnen Bildern zusammengesetzt ist, die in gleich großen, fest definierten Zeitschritten aufgenommen werden. Durch die Lokalisierung eines bewegten Objekts in jedem Einzelbild erhält man die Bahnkurve und das Zeit-Ort-Verhalten des Körpers. Durch die Bildung von Differenzenquotienten können daraus die Geschwindigkeit und die Beschleunigung in Abhängigkeit der Zeit abgeleitet werden. Schließlich kann bei bekannter Masse des Körpers auf weitere physikalisch relevante Größen geschlossen werden, z. B. Kraft, Impuls und Energie [1].

Die erste Generation solcher Programme verbreitete sich Ende der Neunzigerjahre und trug fantasievolle Namen wie Galileo, David, DiVA oder ViMPs. Sie ermöglichten die Anzeige von Wertetabellen und Diagrammen für Ort, Geschwindigkeit und Zeit. Teilweise waren bereits zusätzliche Funktionen wie Interpolationskurven verfügbar. Die Lokalisierung des bewegten Objekts erfolgte manuell, d. h. die Benutzerin musste in jedem Einzelbild die Position des bewegten Körpers per Mausklick am Bildschirm bestimmen. Durch die manuelle Analyse war die Bedienung zeitraubend und anstrengend; auch die Messgenauigkeit litt mit fortschreitender Analyse durch die Ermüdung von Hand und Auge – bei einem Video von vier Sekunden Länge muss das bewegte Objekt bei gängigen Videoformaten bereits 100 bis 120-mal angeklickt werden. Schließlich verhinderten auch die damals noch vergleichsweise umständlichen Verfahren zur Digitalisierung und Kodierung von Videoclips eine flächendeckende Verbreitung der Videoanalyse. Alles in allem standen bei den ersten Videoanalyseprogrammen die technischen Aspekte im Vordergrund – didaktische Gesichtspunkte wurden bei der Entwicklung noch kaum berücksichtigt.

Moderne Videoanalyseprogramme verfügen neben didaktisch fundierten Visualisierungsmöglichkeiten über automatische Analysealgorithmen. Die Entwicklung solcher Algorithmen begann mit den Nullerjahren und mündete in Programmen wie Coach, Viana, Tracker und measure dynamics. Im Gegensatz zur manuellen Analyse muss bei der automatischen Videoanalyse das Objekt nur einmalig markiert werden. Die Software ermittelt dann die Objektpositionen in allen weiteren Bildern selbstständig. Auch bei langen Videoclips garantiert die automatische Analyse eine gleichbleibend hohe Messgenauigkeit in kürzester Zeit. Andererseits stellen die Analysealgorithmen oft höhere Ansprüche an die Videoqualität, so dass nicht bei jedem Videoclip brauchbare Resultate erzielt werden, beispielsweise aufgrund zu geringer Kontraste oder starker Hintergrundbewegungen bei Außenaufnahmen. Die Videoanalysesoftware measure dynamics verwendet eine Kombination mehrerer Analysealgorithmen und erkennt in der Regel selbstständig, welche Art der Objekterkennung am erfolgversprechendsten ist.

Die Darstellung der Messergebnisse in Diagrammform gehört zum üblichen Funktionsumfang jeder Videoanalysesoftware. Damit ist das didaktische Potenzial der Videoanalyse aber noch lange nicht ausgeschöpft. Measure dynamics ermöglichte bereits bei der Veröffentlichung im Jahr 2007 neben der Diagrammdarstellung mit integriertem Funktionsplotter auch Stroboskopbilder, Streifenbilder und Einblendungen im Video. Entsprechend angereicherte Videos können als Lernvideos

exportiert werden [2]. Measure dynamics war die erste Videoanalysesoftware, die vollständig nach lerntheoretischen Gesichtspunkten entworfen wurde. Die wichtigsten Grundlagen werden im Folgenden beschrieben.

3. Didaktische Grundlagen

Der Begriff des funktionalen Denkens bezeichnet die Fähigkeit, mathematische Gesetzmäßigkeiten in alltäglichen oder fachspezifischen Vorgängen zu beschreiben und mit Hilfe funktionaler Zusammenhänge zu argumentieren und Vorhersagen zu treffen [3]. In der Schule wird dabei der Schwerpunkt auf Diagrammdarstellungen gelegt. Auch in der Physik sind Diagramme das Mittel der Wahl zur visuellen Aufbereitung und Beschreibung des Zusammenhangs zwischen zwei Größen (z. B. Zeit und Ort). So nützlich und aussagekräftig Diagramme sind, so hoch ist aber auch ihr Abstraktionsgrad. Um Schülerinnen und Schüler in die Lage zu versetzen, Diagramme zu interpretieren und mit ihrer Hilfe zu argumentieren, sollte zunächst die Verbindung zwischen dem realen Ablauf und dem Aussehen des Graphen verdeutlicht werden. Dazu eignen sich Stroboskopbilder, Streifenbilder und Einblendungen im Video (Abb. 1).

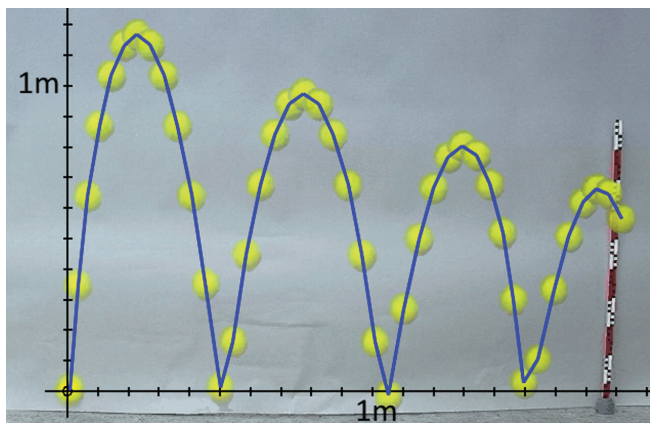


Abbildung 1: Stroboskopbild eines hüpfenden Gummiballs mit Ortstrajektorie und Koordinatensystem

Die Arbeit mit Stroboskopbildern und Streifenbildern ist besonders reizvoll und motivierend, weil sie neben ihrer besonderen Ästhetik – die Bewegung wird quasi eingefroren – auch umfangreiche physikalische Informationen enthalten. Bei einem Stroboskopbild wird das bewegte Objekt statt in vielen Einzelbildern mehrfach in einer einzigen Aufnahme abgelichtet. Früher geschah dies tatsächlich mit einer Langzeitbelichtung und Stroboskopblitz, heutzutage natürlich digital. Die sich ergebende Bahnkurve lässt sich als Vorstufe zum x - y -Diagramm betrachten. Eine Kombination aus Video und Stroboskopbild stellen die sogenannten Stroboskopvideos dar [2, 4]. Eine Möglichkeit, Stroboskopbilder in Echtzeit – also während die reale Bewegung stattfindet – zu generieren, bietet die Software LiveVideoStrobe [5]. Beim Streifenbild werden aus den Einzelbildern des Videos schmale Streifen gleicher Größe ausgeschnitten und mit der langen Seite aneinandergesetzt. Das funktioniert bei rein horizontalen (z. B. Luftkissenfahrbahn)

oder rein vertikalen (z. B. Federpendel) Bewegungen. Das entstehende Gesamtbild ähnelt einer Stroboskopaufnahme, da alle Objektpositionen scheinbar in einem Bild zu sehen sind. Allerdings handelt es sich bei dieser Art "Objektkurve" um eine Zeit-Ort-Kurve, die als Vorstufe zur Interpretation von t - x - bzw. t - y -Diagrammen dienen kann (Abb. 2).

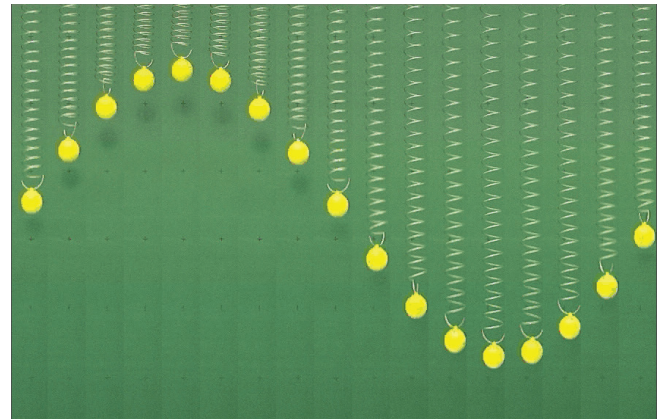


Abbildung 2: Streifenbild eines Federpendels als Vorstufe zum t - y -Diagramm

Einblendungen relevanter Größen in Form ikonischer Repräsentationen direkt im Videobild fördern das physikalische Verständnis durch eine zusätzliche, ebenfalls dynamisch ablaufende Codierungsebene (Multicodierung, z. B. [6]). Die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig, beispielsweise die Einblendung von Ortstrajektorien oder Zeit-Ort-Kurven als Hinführung zur Diagramminterpretation oder die Einblendung von Balken zur Darstellung mengenartiger Größen wie potentielle und kinetische Energie (Abb. 3). Für die Darstellung der wichtigen vektoriellen Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie Impuls und Kraft eignet sich besonders die Einblendung entsprechender Vektorpfeile direkt im Video (Abb. 4). Gerade bei der für Lernende schwierigen Differenzierung zwischen den Größen Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kraft ist die Einblendung von Ortsänderungspfeilen und Geschwindigkeitsänderungspfeilen sehr hilfreich, insbesondere bei der Dynamik zweidimensionaler Bewegungen.

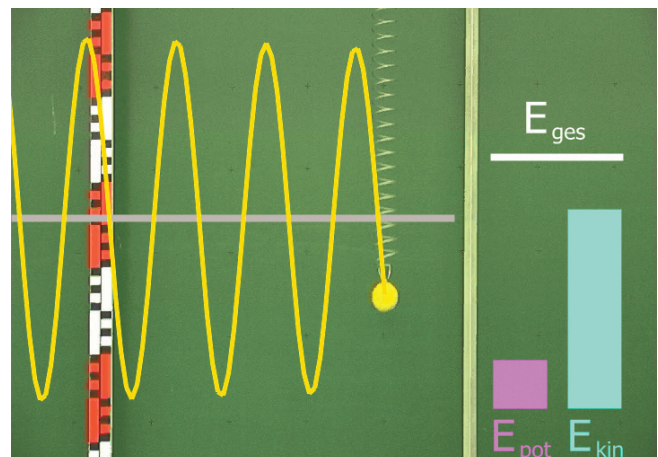


Abbildung 3: Video eines Federpendels mit dynamischer Einblendung der t - y -Kurve und Energiebalken

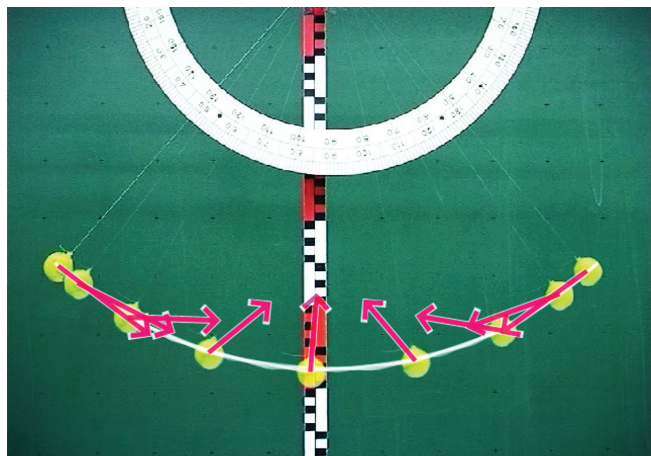


Abbildung 4: Stroboskopvideo eines Fadenpendels mit dynamischer Einblendung der Ortstrajektorie und der Kraftpfeile

Die Kombination verschiedener Darstellungsformen mit unterschiedlichen Abstraktionsgraden kann insbesondere dann erkenntnisfördernd wirken, wenn sie räumlich oder zeitlich korreliert sind (räumliche und zeitliche Kontiguität, z. B. [7]). Leider werden bei fast allen Videoanalyseprogrammen das Videobild und das Messdiagramm in getrennten Fenstern bzw. Tabs dargestellt. Der Bezug zum Gegenstand der Messung (Videodarstellung) geht dabei verloren und die Lernenden werden direkt auf eine kognitive Ebene mit viel höherem Abstraktionsgrad (Diagrammdarstellung) gezwungen. Besser ist eine Gegenüberstellung von Videobild und Diagramm am Bildschirm. Eine Möglichkeit der zeitlichen Korrelation ist die dynamische Diagrammdarstellung, bei der die Messkurve synchron zum Ablauf des Videos dargestellt wird. So können die Lernenden die Entstehung des Diagramms Schritt für Schritt nachvollziehen. Beispielsweise kann der obere Umkehrpunkt beim senkrechten Wurf leicht dem Scheitel der zugehörigen Parabel im Zeit-Ort-Diagramm zugeordnet werden.

4. Videoanalyse heute

Die aktuelle Generation von Videoanalyseprogrammen zielt natürlich auf die Benutzung mit Mobilgeräten ab. Sie ermöglichen die Aufnahme und die Auswertung von Videos in einem Arbeitsgang und in einer einheitlichen Arbeitsumgebung. Eine aufwendige Videobearbeitung im Vorfeld ist nicht mehr notwendig. Allerdings sollten auch hier gewisse Regeln beachtet

werden, um eine erfolgreiche Auswertung zu ermöglichen, z. B. eine ausreichende Beleuchtung, die Verwendung eines Stativs und das Mitfilmen eines Maßstabs.

Da Physikunterricht eher ein Nischenmarkt ist, finden sich nicht viele Videoanalyse-Apps in den gängigen Stores. Häufiger trifft man mit dem Suchbegriff Videoanalyse dagegen auf Apps zur Auswertung von Bewegungsabläufen in Sport und Training. Diese Programme zeichnen aber keine Messwerte auf und zeigen keine Diagramme an, so dass sie für den Physikunterricht ungeeignet sind.

Für Android ist die App VidAnalysis verfügbar, die allerdings nur über eine manuelle Analyse verfügt. Das Antippen eines bewegten Objekts mit dem Finger auf einem kleinen Smartphonebildschirm ist sehr ungenau und auch nicht mehr zeitgemäß. Für iOS finden sich im AppStore die Apps Viana, Vernier Video Physics und NewtonDV, letztere auch nur mit manueller Analyse.

Videoanalyseprogramme, die auf einem stationären PC laufen, funktionieren in der Regel ebenso auf einem Laptop oder Tablet mit dem entsprechenden Betriebssystem (meist Windows). Die Software LiveVideoStrobe zur Herstellung von Stroboskopbildern kann direkt auf die eingebauten Kameras zugreifen und ist somit auch bequem außerhalb des Physiksaals einsetzbar. Unter Android und iOS erzeugt die App MotionShot Stroboskop- und Streifenbilder, allerdings nicht in Echtzeit [8].

Die Vorteile mobiler Videoanalyse liegen auf der Hand: Fast alle Schülerinnen und Schüler haben ein Messgerät bereits in der Tasche und es können auch außerhalb des Physiksaals immer und überall Bewegungen analysiert werden. Da die Apps in der Regel intuitiv bedienbar sind, ist sogar eine Analyse ohne Begleitung der Lehrkraft als Hausaufgabe denkbar. So ist die Videoanalyse nach ihrer langen und erfolgreichen Entwicklungsgeschichte nun endlich an ihrem Ziel angelangt: bei den Schülerinnen und Schülern.

OStR Dipl.-Phys. Michael Suleder *Bertha-von-Suttner-Gymnasium in Neu-Ulm*

Literatur

- | | |
|---|--|
| <p>[1] Suleder, Michael (2010): Videoanalyse und Physikunterricht. Aulis Verlag, Hallbergmoos</p> <p>[2] https://www.youtube.com/user/physikdidaktik (Youtubekanal des Autors)</p> <p>[3] Leuders, Timo; Prediger, Susanne (2005): Funktioniert? - Denken in Funktionen. Praxis der Mathematik in der Schule 47, Nr. 2</p> <p>[4] Suleder, Michael (2013): Dynamische Stroboskopbilder. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) 66, Nr. 4</p> | <p>[5] Suleder, Michael; Wilhelm, Thomas (2015): Stroboskopbilder mit "Live Video Strobe". Plus Lucis 1-2</p> <p>[6] Weidenmann, Bernd (2002): Multicodierung und Multimedialität im Lernprozess. in: Issing, L.; Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet, Beltz, Weinheim</p> <p>[7] Moreno, Roxana; Mayer, Richard E. (1999): Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. Journal of Educational Psychology 91</p> <p>[8] Ivanjek, L.; Hopf, M.; Wilhelm, T. (2019): Smarte Physik. Motion Shot friert Bewegungen ein. Physik in unserer Zeit 50, Nr. 1, 2019</p> |
|---|--|

Oberstufenmechanik konsequent mit Videoanalyse

Thomas Wilhelm & Sebastian Diehl

1. Mechanik in der Oberstufe

„Kraft“ und „Bewegung“ sind die zentralen Themen in der Oberstufe, die auch sehr viel Unterrichtszeit beanspruchen. Der traditionelle Unterricht erreicht allerdings bei Schülern und Schülerinnen nur wenig qualitatives physikalisches Verständnis. Die Gründe hierfür sind vielfältig, insbesondere stehen viele Schülervorstellungen der physikalischen Sicht entgegen. So konzeptualisieren die Schüler und Schülerinnen die Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung als skalare Größen [1]. Demzufolge wird Geschwindigkeit gleichgesetzt mit Tempo (= Schnelligkeit = Geschwindigkeitsbetrag). Beschleunigung wird im besten Falle als Schnellerwerden bzw. Langsamerwerden (Tempozuwachs pro Zeitintervall) angesehen. Kraft wird dagegen eher als Wirkfähigkeit und als gespeicherte Menge angesehen statt als Einwirkung [1].

In vielen Schulbüchern finden sich didaktische Entscheidungen, die diese Schülervorstellungen unterstützen [2]. Außerdem werden unrealistische, meist eindimensionale Bewegungen und nicht alltagsnahe Bewegungen betrachtet. Bei der Behandlung von ausschließlich eindimensionalen Bewegungen besteht zudem die Gefahr, dass fachliche Begriffe wie z. B. Geschwindigkeit und Beschleunigung nicht vollständig verstanden werden und nur als skalare Größen aufgefasst werden [3]. Dem Mechanikunterricht der Oberstufe gelingt es auch nicht, dass die Mehrheit der Schüler und Schülerinnen sicher über ein Verständnis des Newton'sche Kraftbegriffes verfügen [4].

Um mehr Verständnis der Newton'schen Mechanik zu erreichen, werden hier mehrere Unterschiede zu herkömmlichen Schulbüchern vorgeschlagen [5], die zu den Thesen passen, die viele Physikdidaktiker und -didaktikerinnen konsensuell verabschiedet haben [6]. Alle kinematischen Größen werden ausgehend vom Ort anhand allgemeiner zweidimensionaler Bewegungen eingeführt [7]. Statt dem Begriff Weg werden die präziseren Begriffe Ort und Ortsverschiebung (als Grundlage der Geschwindigkeitsdefinition) verwendet [8] und es wird zwischen der gerichteten Geschwindigkeit und der positiven Zahl Geschwindigkeitsbetrag (= Tempo = Schnelligkeit) klar unterschieden [7]. Zur Einführung der kinematischen Grundgrößen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung anhand von zweidimensionalen Bewegungen eignen sich Videoanalyseprogramme, die die Größen auch als Pfeile darstellen können, wie measure dynamics, Avistep, Tracker oder Newton-DV. Noch bevor die Kinematik mit Diagrammen und Berechnungen vertieft wird, werden die Kraft und die Newton'schen Axiome behandelt. Dabei wird das zweite Newton'sche Axiom als zentrale Gleichung in der Form

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m_{\text{ges}}}$$

formuliert [7]. Erst danach erfolgen die üblichen quantitativen kinematischen Behandlungen einschließlich der Fall- und Wurfbewegungen, d. h. die Behandlung eindimensionaler Bewegungen mit Liniendiagrammen und kinematischen Berechnungen. So kann selbst bei den kinematischen Berechnungen immer auch über die Ursache der Beschleunigung geredet werden. Der Mechanikunterricht beginnt also mit der Dynamik und die quantitative Kinematik folgt danach, wobei der dynamische Kraftbegriff im Mittelpunkt steht.

2. Qualitative Einführung der kinematischen Größen

Mit Hilfe der Videoanalyse kann die qualitative Einführung der kinematischen Größen an beliebigen allgemeinen zweidimensionalen Bewegungen erfolgen, wobei Schüler und Schülerinnen auch eigene Bewegungen aufnehmen und analysieren können. Wichtig ist nur, dass die Bewegung in einer Ebene stattfindet, die sich senkrecht zur optischen Achse der Kamera befindet. Gut bewährt haben sich Bewegungen von Spielzeugen auf Bahnen am Boden, wie eine Lego-Eisenbahn oder eine Carrera-Bahn [9]. Viele solcher aufgezeichneten Videos stehen auf einer DVD [10] zu Verfügung. Diese Videos wurden bereits mit der Videoanalysesoftware „measure dynamics“ analysiert: Auf der DVD befinden sich auch die fertigen Videoanalysedateien, bei denen einzelne Darstellungen ein- und ausgeschaltet werden können, sowie mit Pfeildarstellungen exportierte Videos.



Abbildung 1: Stroboskopbild eines fahrenden Spielzeugautos und dessen Bahnkurve (rosa)

Um Bewegungen von Objekten beschreiben zu können, ist es notwendig, deren Ort zu jedem Zeitpunkt zu bestimmen. Ein Stroboskopbild wie in Abbildung 1 zeigt die Orte zu verschiedenen Zeiten. Außerdem wurde die Bahnkurve eingezeichnet.

In Abbildung 2 wurden in gewissen Abständen je zwei aufeinanderfolgende Orte mit Pfeilen, den Ortsvektoren, markiert. Measure dynamics bietet die Möglichkeit, den Ursprung des Koordinatensystems an einem frei wählbaren Punkt zu legen. Die eingezeichneten Ortsvektoren zeigen jeweils vom Ursprung aus zu den Orten, an denen sich das Auto zu bestimmten Zeitpunkten befunden hat. Aus zwei Pfeilen $\vec{r}_{neu}$ und $\vec{r}_{alt}$, die die alte und die neue Lage des Autos zu bestimmten Zeitpunkten beschreiben, erhält man den Pfeil der Ortsänderung $\Delta\vec{r}$. Die Länge des Ortsänderungsvektors gibt das Tempo an. Dividiert man ihn durch Δt , um den Einfluss des Zeitintervalls Δt zu eliminieren, erhält man den Vektor der Geschwindigkeit für dieses Intervall

$$\vec{v} := \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t},$$

der die gleiche Richtung wie der Ortsänderungsvektor hat.

Im weiteren Verlauf des Unterrichts werden die Geschwindigkeiten zu verschiedenen Zeitpunkten verglichen, wobei Länge und Richtung betrachtet wird (siehe Abbildung 3). Schüler und Schülerinnen sehen, dass ein kurzer Pfeil „langsam“ und ein längerer Pfeil „schnell“ bedeutet. Dabei wird betont, dass die Geschwindigkeit aus einer Richtung und einem Tempo besteht.

Als nächstes wird wie bei der Ortsänderung betrachtet, wie sich die Geschwindigkeiten des Autos ändert. Dazu wird die Geschwindigkeit $\vec{v}_{alt}$ des Zeitintervalls vor dem aktuellen Zeitpunkt und der Geschwindigkeit $\vec{v}_{neu}$ des Zeitintervalls nach dem aktuellen Zeitpunkt an den gleichen Ort gezeichnet. Daraus ergibt sich der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung (siehe Abbildung 4). Dabei ist es hilfreich, dass in measure dynamics auf Knopfdruck nicht nur ein Geschwindigkeitspfeil oder ein Beschleunigungspfeil an das bewegte Objekt gezeichnet wird, dessen Länge man selbst skalieren kann, sondern dass ein Auswählen des Filters „Ortsänderung“ die drei Pfeile $\vec{r}_{alt}$, $\vec{r}_{neu}$ und $\Delta\vec{r}$ erzeugt und durch ein Anklicken des Filters „Geschwindigkeitsänderung“ alle drei Pfeile $\vec{v}_{alt}$, $\vec{v}_{neu}$ und $\Delta\vec{v}$ eingezeichnet werden.

Um den Einfluss des Zeitintervalls Δt zu eliminieren, dividiert man die Geschwindigkeitsänderung wieder durch Δt und erhält so den Vektor der Beschleunigung für dieses Intervall

$$\vec{a} := \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

(siehe Abbildung 5). Durch die Analyse verschiedener Bewegungen wird sichergestellt, dass die Schüler und Schülerinnen unter der Größe Beschleunigung nicht Schnellerwerden oder Tempoänderung verstehen, sondern jede Änderung der Geschwindigkeit. Im Video der Abbildung 5 sehen die Schülerinnen und Schüler, dass sich bei einer

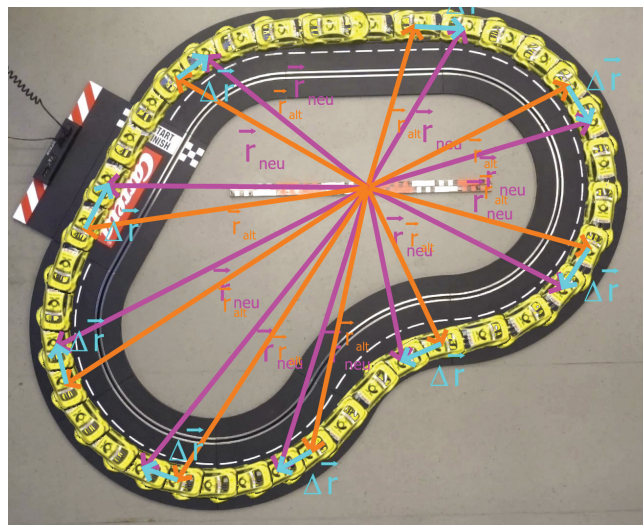


Abbildung 2: Aus dem alten Ort $\vec{r}_{alt}$ (orange) und dem neuen Ort $\vec{r}_{neu}$ (rosa) ergibt sich jeweils die Ortsverschiebung $\Delta\vec{r}$ (türkis).



Abbildung 3: Der Geschwindigkeitspfeil (blau) gibt Tempo und Bewegungsrichtung an.

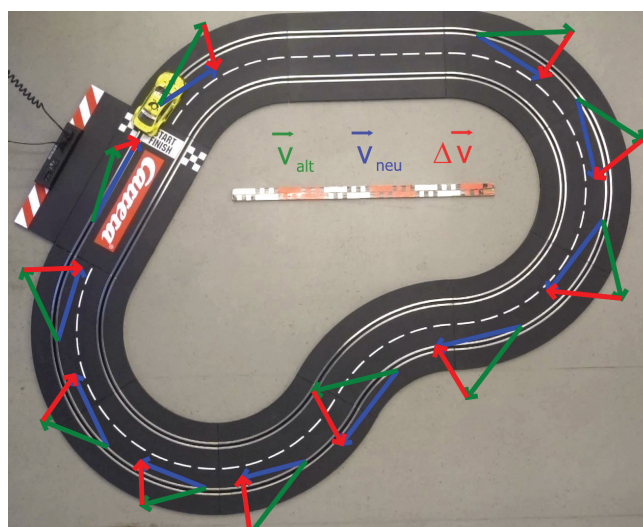


Abbildung 4: Aus der alten Geschwindigkeit (grün) und der neuen Geschwindigkeit (blau) entsteht der Vektor der Geschwindigkeitsänderung (rot).

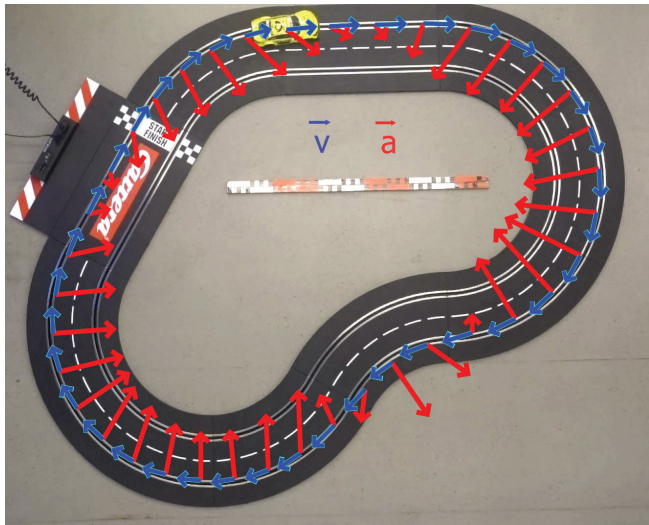


Abbildung 5: Geschwindigkeitsvektoren (blau) und Beschleunigungsvektoren (rot) zu verschiedenen Zeitpunkten

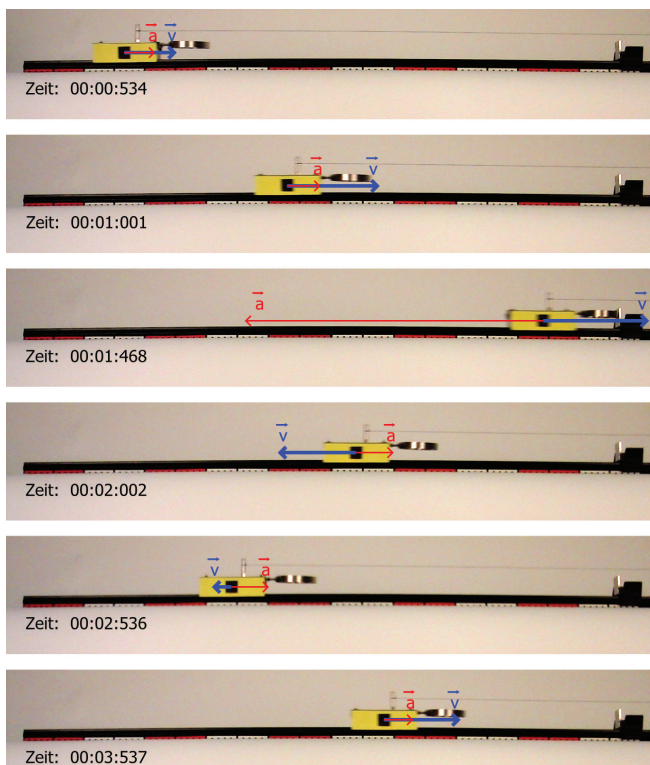


Abbildung 6: Geschwindigkeit (blau) und Beschleunigung (rot) bei einer Fahrt nach rechts und links, wenn ein Gewichtsstück nach rechts zieht [11].

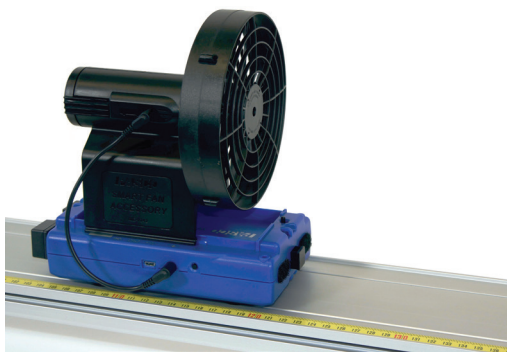


Abbildung 7: Rollwagen mit Propeller, um die Auswirkung verschiedener Kräfte auf den Wagen zu betrachten

Kurvenfahrt die Richtung der Geschwindigkeit ändert und dies eine Beschleunigung ins Kurveninnere ist, wobei Kurveninneres nicht immer Inneres des Rundkurses bedeutet.

Außerdem eignet sich hier ein Fahrbahnversuch, bei dem ein Wagen durch die Hangabtriebskraft oder durch ein an einer Schnur hängendes Gewichtsstück nach rechts beschleunigt wird, am Ende der Bahn aber durch eine Feder zurückgestoßen wird (siehe Abbildung 6). Man sieht hier, dass der Geschwindigkeits- und der Beschleunigungspfeil beim Schnellerwerden in die gleiche Richtung zeigen, beim Langsamerwerden aber in verschiedenen Richtungen.

So soll verhindert werden, dass Beschleunigung nur für Schnellerwerden steht. Stattdessen erkennen die Schüler und Schülerinnen, dass eine Beschleunigung auch bei konstantem Tempo (Kreisbewegung) oder bei abnehmendem Tempo vorliegen kann.

3. Dynamik mit der Videoanalyse

Schüler und Schülerinnen sind weniger daran interessiert, wie sich ein Körper bewegt, sondern warum er sich bewegt, weshalb man schnell zur Dynamik kommen sollte und frühzeitig die wirkende Kraft $\vec{F}$ als Ursache einer Geschwindigkeitsänderung (Tempo- oder Richtungsänderung) eines Körpers einführen sollte. Sind erst einmal die Newton'schen Axiome behandelt, können immer noch die üblichen kinematischen Berechnungen behandelt werden – dann weiß man aber, woher die Beschleunigung kommt.

Auf dem ersten Blick eignet sich die Videoanalyse nicht für die Dynamik, da nur kinematische Größen und keine Kräfte gemessen werden können und die Beschleunigung ungenau mit großer Streuung gemessen wird. Diese Einschätzung täuscht aber: Da $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ nach heutiger physikalischer Auffassung kein Gesetz, sondern die Definition der Kraft ist, muss man die Gleichung nicht mit perfekten Messwerten beweisen, sollte sie aber an vielen Beispielen qualitativ diskutieren. Wenn man akzeptiert, dass die Summe aller wirkender Kräfte (= Resultierende = Gesamtkraft) gemäß $\vec{F}_{\text{ges}} = m_{\text{ges}} \cdot \vec{a}$ mit der Beschleunigung zusammenhängt, kann man in measure dynamics die gemessene Beschleunigung mit der bekannten Masse multiplizieren, um so die Gesamtkraft zu erhalten, die als Kraftpfeil in das Video eingezeichnet und dann beobachtet werden kann. So können viele verschiedene Situationen qualitativ analysiert werden, z. B. ein Fadenpendel oder ein Federpendel. Auch eine konstante Zugkraft kann als Pfeil eingezeichnet werden; weitere Einzelkräfte können aber nicht gemessen werden.

Mit einer Rollfahrbahn auf dem Tisch und einem Wagen, an dem wie in Abbildung 6 über eine Umlenkrolle ein Gewichtsstück zieht, kann man quantitativ zeigen, dass die Beschleunigung des Wagens von dieser Zugkraft und der insgesamt bewegten Masse abhängt. Man kann die Masse des

Gewichtsstückes und des Wagens unabhängig voneinander ändern. Schließlich kann man sogar auf beiden Seiten verschiedene Gewichtsstücke anhängen. Dabei kann man es so variieren, dass ein Gewichtsstück nach einer bestimmten Strecke auf dem Boden aufkommt. So sieht man, dass sich die Beschleunigung immer gemäß

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m_{\text{ges}}}$$

ergibt.

Für komplexe, vertiefende Versuche eignet sich beispielsweise der Rollwagen „Smart Cart drahtlos“ der Lehrmittelfirma PASCO (siehe Abbildung 7), denn dazu gibt es einen aufsteckbaren Propeller, dessen Drehfrequenz genau festgelegt und orts- oder geschwindigkeitsabhängig gesteuert werden kann. Da der Wagen kräftig blau oder rot ist, wird er in der Videoanalyse gut erkannt. Interessant ist es auch, gemessene Bewegungen mit am Computer berechneten Bewegungen zu vergleichen [12+13].

4. Kinematische Diagramme und Berechnungen

In der Oberstufe wird traditionellerweise ein Schwerpunkt auf mathematische Betrachtungen eindimensionaler Bewegungen gelegt und dazu Diagramme und Gleichungen betrachtet. Diagramme zu lesen, ist aber für Schüler und Schülerinnen schwierig und muss gelernt werden. Wie in [11] dargestellt, kann man in measure dynamics ausgehend vom Pfeil, der sich am Objekt mitbewegt, über ortsfeste oder gestempelte Pfeile (siehe Abbildung 8) zu Diagrammen kommen, die von Pfeilen erzeugt werden (siehe Abbildung 9). So wird den Schülern und Schülerinnen beispielsweise deutlich, dass das Vorzeichen die Richtung der Größe angibt. Man sieht in Abbildung 9, dass Geschwindigkeit und Beschleunigung beim Schnellerwerden das gleiche Vorzeichen haben, beim Langsamerwerden aber verschiedenes Vorzeichen. Bei der Bewegung nach links bedeutet positive Beschleunigung langsamer werden und negative Beschleunigung schneller werden.

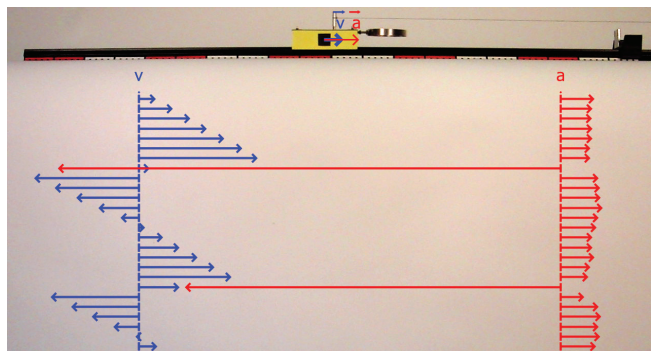


Abbildung 8: Pfeile der Geschwindigkeit (blau) und der Beschleunigung (rot) bei einer Fahrt nach rechts und links, wenn ein Gewichtsstück nach rechts zieht.

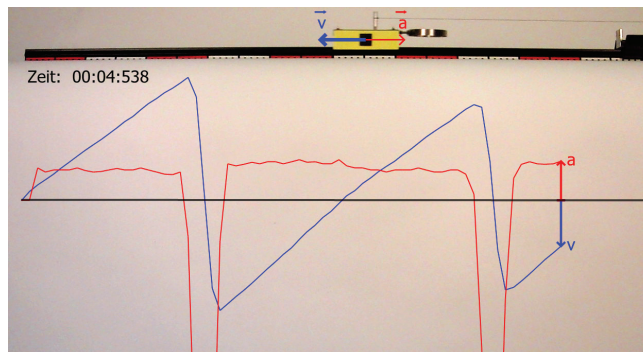


Abbildung 9: Pfeile erzeugen ein Diagramm: Geschwindigkeit (blau) und Beschleunigung (rot) bei einer Fahrt nach rechts und links, wenn ein Gewichtsstück nach rechts zieht.

Hat man klassische Diagramme ohne Pfeile, ist es für die Interpretation hilfreich, wenn neben dem Diagramm das Video ablaufen kann und das Diagramm zeitgleich mit dem Video entsteht – am besten sogar in Zeitlupe oder schrittweise. So kann man bei einer gleichförmigen Bewegung den linearen Zusammenhang zwischen den Größen Zeit und Ort sowie bei gleichmäßig beschleunigten Bewegungen den linearen Zusammenhang zwischen den Größen Zeit und Geschwindigkeit und den quadratischen Zusammenhang zwischen Zeit und Ort zeigen und entsprechende mathematische Gleichungen herleiten.

Auf einer DVD [14] steht das Video der Abbildungen 6, 8 und 9 zur Verfügung. Dieses Video wurden mit der Videoanalysesoftware „measure dynamics“ unterschiedlich analysiert und auf der DVD befinden sich auch die fertigen Videoanalysedateien, bei denen einzelne Darstellungen ein- und ausgeschaltet werden können, sowie mit Pfeildarstellungen exportierte Videos.

5. Weitere Mechanik

Wie der Impuls- und der Energieerhaltungssatz mit Hilfe der Videoanalyse behandelt werden kann, wird in [14] gezeigt. Schließlich lassen sich auch Schwingungen gut mit der Videoanalyse analysieren. Insgesamt kann also die Videoanalyse von Bewegungen das Hilfsmittel sein, das die Schülerinnen und Schüler durch die ganze Oberstufenmechanik begleitet: Die Dynamik, die Kinematik, die Erhaltungssätze sowie die Schwingungen können damit behandelt werden.

Prof. Dr. Thomas Wilhelm *Institut für Didaktik
der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main*
StR Dipl.-Math. Dr. Sebastian Diehl *Institut für
Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main*

Literatur

- [1] Schecker, H.; Wilhelm, T. (2018): Schülervorstellungen in der Mechanik. In: Schecker, H.; Wilhelm, T.; Hopf, M.; Duit, R. (Hrsg.): Schülervorstellungen und Physikunterricht, Springer-Spektrum, 2018, S. 63 – 88.
- [2] Wilhelm, T. (Hrsg.): Stolpersteine überwinden im Physikunterricht. Anregungen für fachgerechte Elementarisierungen, Aulis Verlag in Friedrich Verlag, Seelze.
- [3] Wilhelm, T.; Gemici, B.: Beschleunigungsverständnis in der Oberstufe – In: PhyDid-B - Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 2017, S. 153 – 166, <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/751/903>
- [4] Wilhelm, T. (2005): Verständnis der newtonschen Mechanik bei bayerischen Elftklässlern - Ergebnisse beim Test „Force Concept Inventory“ in herkömmlichen Klassen und im Würzburger Kinematik-/Dynamikunterricht, Physik und Didaktik in Schule und Hochschule. In: PhyDid 2/4, 2005, S. 47 – 56, <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid/article/view/32/32>.
- [5] Diehl, S.; Wilhelm, T.: Ein Dynamik-Lehrgang in der Sek. II unter Verwendung der Videoanalyse – In: PhyDid-B - Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 2018, S. 381 – 385, <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/826>
- [6] Wilhelm, T.; Hopf, M. (2017): Bericht von der Schwerpunkttagung „Newton'sche Mechanik“ mit Thesen zur Mechanik. In: Maurer, Chr. (Hrsg.): Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016, Band 37, S. 42-46.
- [7] Wilhelm, T. (2005): Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung (Bd. 46). Berlin: Logos-Verlag. <https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/frontdoor/index/index/docId/3310>
- [8] Amenda, T.; Schecker, H. (2018): Ort, Ortsverschiebung, Weg – wofür steht eigentlich das s? In: Wilhelm, T. (Hrsg.): Stolpersteine überwinden im Physikunterricht. Anregungen für fachgerechte Elementarisierungen, Aulis Verlag in Friedrich Verlag, Seelze, S. 9 – 11.
- [9] Eberlein, A.; Wilhelm, T. (2011): Lehr-Lern-Labor zur Bewegungsanalyse mittels Videoanalyse – In: PhyDid-B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Münster 2011, www.phydid.de
- [10] Wiesner, H.; Wilhelm, T.; Waltner, C.; Tobias, V.; Rachel, A.; Hopf, M. (2016): Kraft und Geschwindigkeitsänderung. Neuer fachdidaktischer Zugang zur Mechanik (Sek. 1), Aulis-Verlag
- [11] Wilhelm, T. (2012): Pfeile am Computer. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 61, Nr. 4, S. 24 – 28
- [12] Weber, J.; Wilhelm, T. (2018): Modellbildung und Videoanalyse – In: Plus Lucis, Nr. 4, S. 18 - 25
- [13] Weber, J.; Wilhelm, T. (2019): Mathematische Modellbildung in einer vergleichenden Untersuchung – In: PhyDid-B - Didaktik der Physik – DPG-Frühjahrstagung, www.phydid.de
- [14] Wilhelm, T.; Wiesner, H.; Hopf, M.; Rachel, A. (2013): Mechanik II: Dynamik, Erhaltungssätze, Kinematik, Reihe Unterricht Physik, Band 6, Aulis-Verlag

Wie man schwerelos werden kann

Leo Ludick

Wir spüren das Wirken der Schwerkraft durch die vom Boden oder der Aufhängevorrichtung ausgeübte Normalkraft. Verliert man buchstäblich den Boden unter den Füßen, dann ist keine Normalkraft vorhanden und man fühlt sich schwerelos. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass man Schwerelosigkeit nur in einem räumlich konstanten Gravitationsfeld erreichen kann, denn dort unterliegen alle Teile des ausgedehnten Körpers derselben Beschleunigung. Da dies rund um die Erde nicht zutrifft, wäre wohl zutreffender von Mikrogravitation denn von Schwerelosigkeit zu sprechen. Bei einem Trampolinsprung oder dem freien Fall vom 10-Meter-Turm kann man das Gefühl der „Schwerelosigkeit“ für etwas mehr als eine Sekunde spüren. Während eines Parabelfluges, also dann, wenn die Antriebsaggregate ausgeschaltet sind, kann man rund 20 Sekunden diese Mikrogravitation erleben. Die Astronautinnen

und Astronauten auf der ISS hingegen sind während Ihres gesamten Aufenthalts auf der Raumstation in diesem besonderen Zustand.

Übrigens beim Simulationstraining unter Wasser besteht keine „Schwerelosigkeit“, denn es hebt der statische Auftrieb nur die Wirkung der Gravitationskraft auf. Auf den unter Wasser schwebenden Körper greift eine von außen wirkende Oberflächenkraft an. Man fühlt sich dann eben vom Wasser getragen, also schwebend und nicht schwerelos.

Mag. Leo Ludick ist pensionierter AHS-Lehrer für Physik und war Fachdidaktiker an der Johannes Kepler Universität, Linz. Er ist derzeit pädagogischer Berater des oö Science Centers Welios.

Videoanalyse des Schaukelns

Shima Fahim und Thomas Wilhelm

1. Schwingungen und Schaukeln

In der Oberstufenmechanik sind Schwingungen nach der Kinematik, der Dynamik und den Erhaltungssätzen ein wichtiges Thema, da sie Grundlage für die Behandlung der Wellen sind. Hier kann das Wissen aus der bisherigen Mechanik angewandt und neue Begriffe können kennengelernt werden. Diese werden für die Wellenlehre gebraucht, die wiederum für die Behandlung elektromagnetischer Wellen wichtig ist.

Schwingungen können auch anhand einer Schaukel, eines der beliebtesten Spielgeräte auf Spielplätzen, eingeführt werden oder an der Schaukel angewandt werden. In sehr jungem Alter wird das Schaukeln zunächst dadurch ermöglicht, dass eine andere Person anschubst. Mit zunehmendem Alter lernt man jedoch, sich mithilfe bestimmter Bewegungsabläufe selbst auf der Schaukel anzutreiben, ohne den Boden zu berühren. Dies ist sowohl im Stehen als auch im Sitzen möglich. Da dies intuitiv abläuft, ist eine physikalische Analyse umso interessanter. Die schaukelnde Person muss physikalische Arbeit verrichten, wobei zwei verschiedene Verfahren der Energiezufuhr möglich sind: Verlagerung des Schwerpunktes und Erzeugung eines Drehmoments.

Um Bewegungen aus der Alltagswelt der Schülerinnen und Schüler zu untersuchen, eignet sich insbesondere die Videoanalyse von Bewegungen [1, 2]. Ein Vorteil ist, dass zweidimensionale Bewegungen berührungslos gemessen werden können. Die üblichen Ort-Zeit-Diagramme, Geschwindigkeit-Zeit-Diagramme und Beschleunigungs-Zeit-Diagramme können dann für jede Komponente erstellt und auch weitere mechanische Größen daraus berechnet werden [3]. Dabei ist es lernförderlich, wenn die Graphen synchron zu dem Ablauf des Videos entstehen. Weiterhin können Einblendungen wie Bahnkurven, Geschwindigkeitspfeile oder Stroboskopbild zum Verständnis beitragen.

2. Das Fadenpendel

Eine Schaukel ist ein physikalisches Pendel, also ein ausgedehnter, starrer Körper, der nicht in seinem Schwerpunkt aufgehängt ist. Werden Form und Größe des Pendelkörpers nicht berücksichtigt, sondern als Massenpunkt gedacht, der sich mittels einer masselosen Pendelstange reibungsfrei bewegen kann, hat man ein mathematisches Pendel. Zu einem solchen vereinfacht man die Schaukel im Schulunterricht und bezeichnet es als Fadenpendel.

Auf den Pendelkörper eines Fadenpendels wirken zwei Kräfte ein: die Gewichtskraft durch die Erdanziehung und die von der Aufhängung stammende Seilkraft. Die daraus resultierende

Gesamtkraft zeigt im Allgemeinen schräg ins Kreisinnere (siehe Abbildung 1). Der radiale Anteil der Gesamtkraft ist die nötige Zentripetalkraft F_{ZP} , die für die Richtungsänderung verantwortlich ist. Der tangentielle Anteil der resultierenden Gesamtkraft, der für die Tempoänderung (= Änderung des Geschwindigkeitsbetrages) verantwortlich ist, ist die Rückstellkraft $F_{Rück} = F_{tang} = m \cdot g \cdot \sin\varphi$.

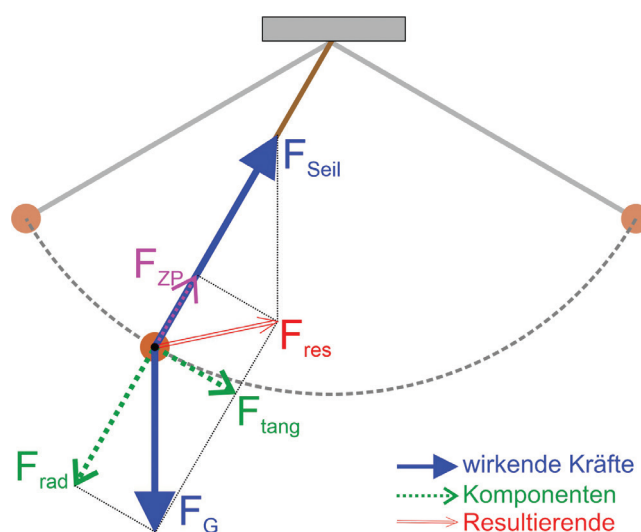


Abbildung 1: Kräfte auf das Fadenpendel

Für kleine Winkel gilt näherungsweise $\sin\varphi \approx \varphi$ und damit ist die Rückstellkraft (bzw. das rückstellende Drehmoment) proportional zur Winkelauslenkung φ , so dass eine harmonische Schwingung vorliegt. Der Winkel φ oder die Bogenlänge $s = l \cdot \varphi$ lassen sich also in Abhängigkeit von der Zeit durch eine Sinusfunktion darstellen. Für kleine Winkel kann außerdem angenommen werden, dass die horizontale Auslenkung x in etwa der Bogenlänge s entspricht, so dass auch x in Abhängigkeit von der Zeit durch eine Sinusfunktion beschrieben werden kann.

Die Schwingungsdauer T ist in diesem Falle $T = 2\pi\sqrt{l/g}$, wenn l die Fadenlänge und g die Fallbeschleunigung ist. Mit zunehmender Maximalauslenkung nimmt allerdings die Schwingungsdauer des Fadenpendels zu, wobei der Effekt für große Winkelbereiche nicht sehr groß ist.

Im Schulunterricht wird gerne nachgewiesen, dass die Schwingungsdauer unabhängig von der Pendelmasse und der Maximalauslenkung ist, aber abhängig von der Pendellänge. Im Oberstufenunterricht wird zusätzlich gezeigt, dass Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung durch trigonometrische Funktionen beschrieben werden können.

3. Die Schaukel als Fadenpendel

Um die Eigenschaften eines Fadenpendels zu zeigen, ist eine Videoanalyse einer Schaukelbewegung geeignet. Zunächst wird für die Aufnahme ein Spielplatz mit einer geeigneten Schaukel gesucht. Damit auch Schaukelbewegungen im Stehen möglich sind, sollte die Pendellänge nicht zu klein bzw. möglichst groß sein.

Für die Videoaufnahme sollte ein Stativ verwendet und darauf geachtet werden, dass die optische Achse senkrecht zur Schaukelebene ist und die Ruhelage in der Bildmitte. Zudem sollte ein Maßstab in das Bild in die Schaukelebene gelegt werden, damit später eine Kalibrierung erfolgen kann. Körperstellen, die später bei der Untersuchung der Schaukelvorgänge verfolgt werden sollen, werden durch das Ankleben von farbigen Zetteln optisch hervorgehoben, wobei man auf guten Kontrast zur Kleidung achten sollte. Beim Schaukeln im Stehen kann man annehmen, dass sich der Schwerpunkt des Körpers in etwa an der Hüfte befindet. Beim gekrümmten Sitzen auf der Schaukel kann der Schwerpunkt auch außerhalb des Körpers vor der Hüfte liegen, was die Videoanalyse erschwert. Für die Abbildung 2 wurde ein blauer Zettel am Kopf, ein roter an der Hüfte und ein gelber Zettel am Fuß der schaukelnden Person befestigt.



Abbildung 2: Stroboskopbild beim freien Schwingen der Schaukel mit Geschwindigkeitspfeilen (grün)

Um eine freie Schwingung der Schaukel als ein Beispiel für ein Fadenpendel zu untersuchen, wurde zu Beginn eine Schwingung durch das Abstoßen vom Boden ausgelöst und die Körperhaltung während der Schwingung nicht mehr verändert (siehe Abbildung 2). Für die Videoanalyse der Schwingungen wurde dann der erste Nulldurchgang als Startzeitpunkt der Messung gewählt.

Bei einer Videoanalyse mit der Software „measure dynamics“ [4] wurde der rote Punkt an der Hüfte verfolgt. In Abbildung 3 sind die Messwerte für Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung gegen die Zeit aufgetragen. In Abbildung 4 ist eine an den Ort sowie eine an die Beschleunigung angefitzte Sinuskurve eingezeichnet. Obwohl der maximale Auslenkwinkel mit anfangs 14° schon groß für die Kleinwinkelnäherung ist, sind alle Kurven noch gut sinusförmig. Vergleicht man nun

die Graphen untereinander (siehe Abbildung 3), so kann man sehen, dass das Tempo (= Geschwindigkeitsbetrag) im

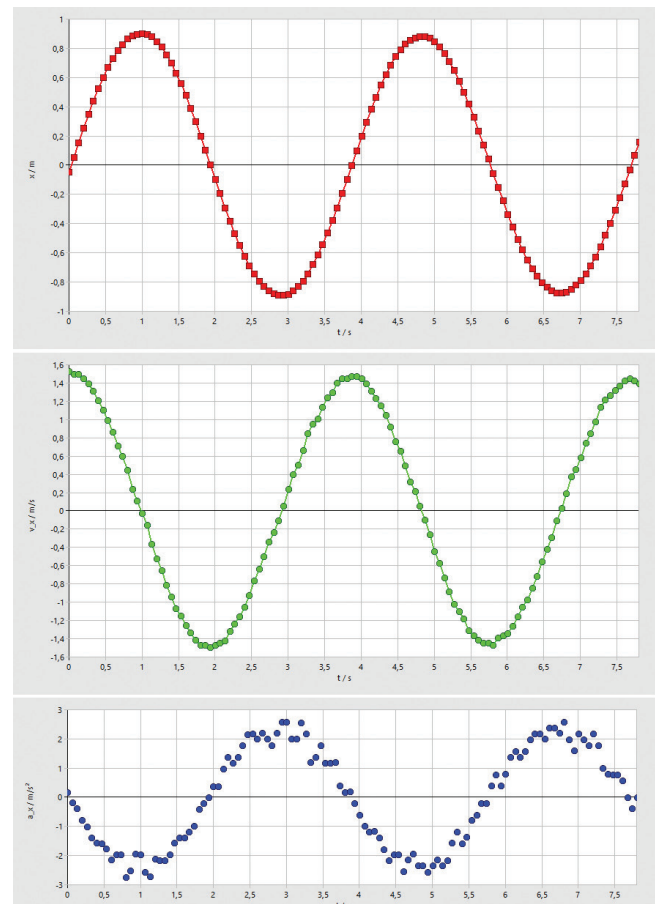


Abbildung 3: Ort (rot), Geschwindigkeit (grün) und Beschleunigung (blau) beim freien Schwingen der Schaukel

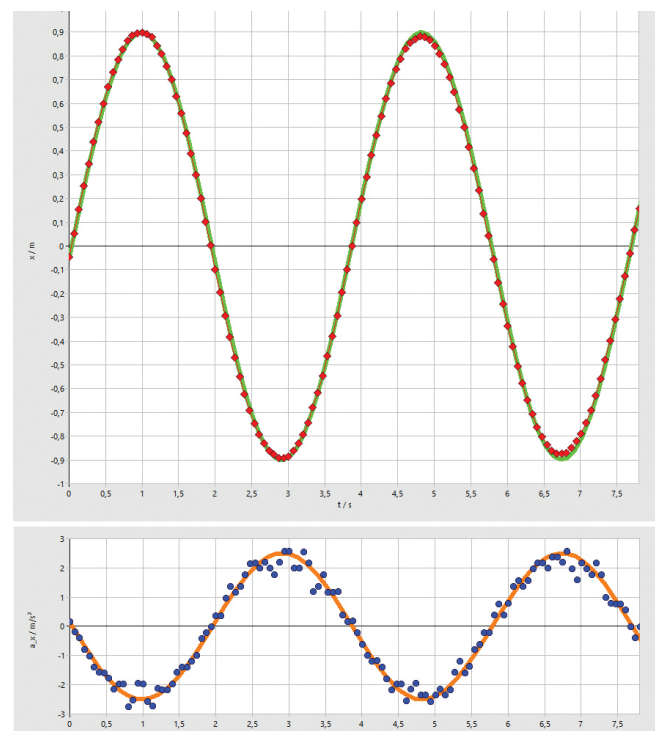


Abbildung 4: Messwerte des Ortes (rot) und Orts-Fitkurve (grün) sowie Messwerte der Beschleunigung (blau) und Beschleunigungs-Fitkurve (orange) beim freien Schwingen der Schaukel

Nulldurchgang maximal ist und an den Umkehrpunkten gleich null, während hier aber der Beschleunigungsbetrag am größten ist.

Auch in einem Stroboskopbild (siehe Abbildung 2) kann man an den Abständen zwischen den einzelnen Bildern sehen, dass die Bewegung vor den Umkehrpunkten langsamer abläuft. Die Periodendauer dieser Schwingung wurde aus der Fitfunktion als $T = 3,83$ s abgelesen. Daraus kann eine Pendellänge von $l = 3,65$ m berechnet werden.

Um die Abhängigkeit von der Maximalauslenkung zu untersuchen, wurden verschiedene Anfangsauslenkungen gewählt. Bei einer Vergrößerung der Amplitude um fast 30 cm auf einen Maximalwinkel von ca. 19° ergab sich noch eine identische Periodendauer von $T = 3,83$ s, sie ist also nicht messbar größer. Für die Untersuchung der Massenabhängigkeit hat eine weitere Person mit einem größeren Körpergewicht geschaukelt, was ebenso eine gleiche Schwingungsdauer ergab.

Weil das Kürzen der Schaukellänge für die Änderung der Pendellänge ein größerer Aufwand ist, wurde durch das Stehen auf der Schaukel der Schwerpunkt um ca. 70 cm nach oben hin verlagert und auf diese Weise die effektive Pendellänge verkleinert. Diese Längenänderung wurde mithilfe eines Maßstabes manuell abgeschätzt. Die aus den Messwerten ermittelte Periodendauer beträgt $T = 3,47$ s, was eine deutliche Änderung von ca. 10 % im Vergleich zur ursprünglichen Pendellänge darstellt. Wird wiederum aus der Schwingungsdauer die Pendellänge berechnet, so ergibt sich $l = 2,99$ m, was eine Differenz von $\Delta l = 66$ cm ist und der manuellen Messung gut entspricht.

Neben den Bewegungsgleichungen besteht ebenfalls die Möglichkeit, die kinetische Energie, die potentielle Energie und die Gesamtenergie des Systems zu bestimmen. Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der Berechnung. Man sieht, dass die Maxima der kinetischen Energie relativ konstant sind und nur leicht abnehmen. Überraschend mag sein, dass jedes zweite Maximum der potenziellen Energie größer bzw. kleiner ist, also die potenzielle Energie am vorderen Umkehrpunkt einen anderen Wert hat als am hinteren Umkehrpunkt. Vergleicht man jedoch jedes zweite Maximum, so sieht man dagegen die gleiche leichte Abnahme wie bei der kinetischen Energie. Der Grund für dieses Ergebnis liegt darin, dass das rote Markierungspapier nicht genau am Schwerpunkt befestigt war [2]. Eine Betrachtung der gemessenen Höhen zeigt, dass am

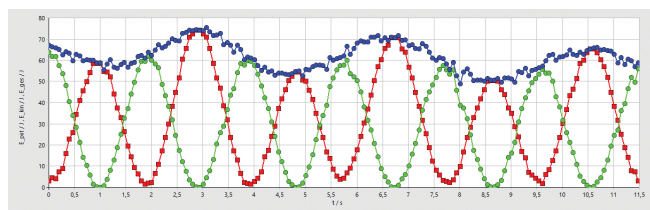


Abbildung 5: Kinetische Energie (grün), potenzielle Energie (rot) und Gesamtenergie (blau) beim freien Schwingen der Schaukel

hinteren Umkehrpunkt eine größere Höhe als am vorderen gemessen wurde. Man stelle sich eine große Schiffschaukel auf einem Jahrmarkt vor, bei dem die vordere Spitze statt ein Punkt in der Mitte per Videoanalyse verfolgt wurde; hier würden beim vorderen Umkehrpunkt wesentlich größere Höhen und potenzielle Energien als am hinteren Umkehrpunkt gemessen [2].

4. Aufschaukeln im Stehen

Für Schülerinnen und Schüler dürfte es – anstelle einer rein kinematischen Beschreibung der freien oder gedämpften Schwingung – interessanter sein, wie und warum das Aufschaukeln funktioniert. Der Bewegungsablauf des Aufschaukelns im Stehen läuft so ab, dass der Schaukelnde immer in den Umkehrpunkten in die Hocke geht und im Nulldurchgang wieder aufsteht (siehe Abbildung 6). Warum durch dieses Vorgehen die Amplitude der Schaukel immer größer wird, kann auch in der Schule nachvollzogen werden. Es muss nur verstanden werden, dass beim Aufstehen im Nulldurchgang dem System Energie zugeführt wird, während das In-die-Hocke-Gehen in den Umkehrpunkten keine wesentliche Auswirkung hat.

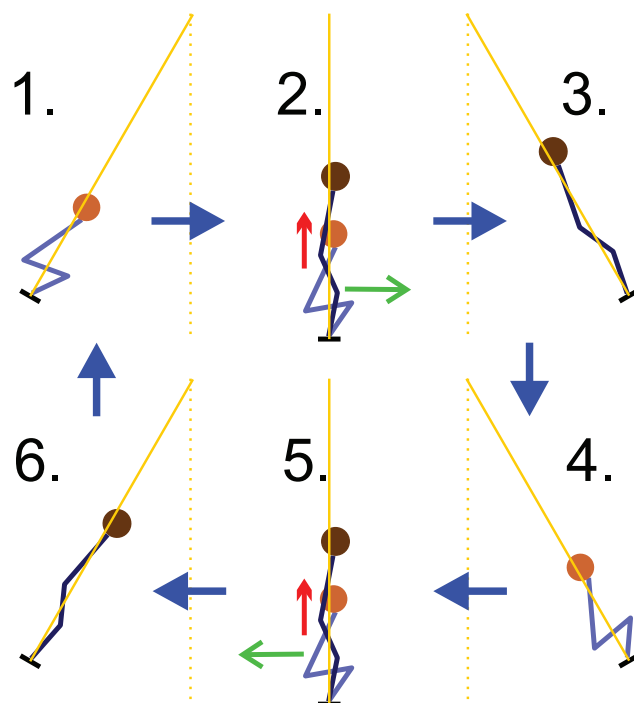


Abbildung 6: Ablauf des Aufschaukelns beim Schaukeln im Stehen: In-die-Hocke-Gehen bei den Umkehrpunkten und Aufstehen beim Nulldurchgang

Für eine detaillierte Beschreibung betrachten wir das Schaukeln als Rotationsbewegung mit der Winkelgeschwindigkeit ω , dem Trägheitsmoment J , dem Drehimpuls $L = J \cdot \omega$, und der Rotationsenergie $E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$. Wir betrachten nun den Körper vor und nach dem Aufstehen am Nulldurchgang, wozu eine Kraft nötig ist. Aus Sicht des bewegten Beobachtenden leistet er Arbeit gegen die von ihm empfundene Zentrifugalkraft [5]. Durch das Aufstehen wird die Pendellänge verkürzt und

damit das Trägheitsmoment verkleinert $J_2 < J_1$. Da der Körper sich nur zur Drehachse hin bewegt, wird kein Drehimpuls übertragen und dieser ist somit konstant $L_2 = L_1$. Da L konstant ist, muss sich jedoch die Winkelgeschwindigkeit ω zwischen den beiden Zuständen ändern, was als Pirouetteneffekt vom Eiskunstlaufen bekannt ist. Die Rotationsenergie ist immer $E_{rot} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \omega$. Daraus folgt, dass sich bei diesem Vorgang die Rotationsenergie ändert:

$$E_{rot,2} = E_{rot,1} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} = E_{rot,1} \cdot \frac{l_1}{l_2}$$

Beim Aufstehen im Nulldurchgang wird dadurch dem System Energie zugeführt. Dieses Verfahren des Aufschaukelns funktioniert jedoch nur dann, wenn die Schaukel bereits schwingt.

Bleibt die Person nun vom Umkehrpunkt bis zum erneuten Erreichen des Nulldurchgangs stehen, hat sie im Nulldurchgang die gleiche kinetische Energie, wie wenn sie am Umkehrpunkt in die Hocke geht und dort bis zum erneuten Erreichen des Nulldurchgangs bleibt, da es die gleichen Änderungen der potenziellen Energie sind. Deshalb sollte sie am Umkehrpunkt in die Hocke gehen, um im Nulldurchgang erneut aufstehen zu können.

Die Rotationsenergie E_{rot} steigt bei diesem Vorgang folglich exponentiell an, weil der Quotient der Trägheitsmomente die Energie bei jedem Aufstehen um den gleichen Faktor erhöht. Daher wird dieser Vorgang auch „parametrisches Pumpen“ genannt.

Um den Vorgang des Schaukelns im Stehen durch eine parametrische Verschiebung besser nachvollziehen zu können, ist es sinnvoll ein Stroboskopbild zu erstellen. In Abbildung 7 ist dargestellt, wie die Person rechts in die Hocke geht, beim Zurückschwingen nach links wieder aufsteht und links wieder in die Hocke geht. Außerdem ist die Bahnkurve des Schwerpunktes während einer vollen Periode eingezeichnet, an der man sieht, dass sich der Schwerpunkt auf einer liegenden Acht bewegt.

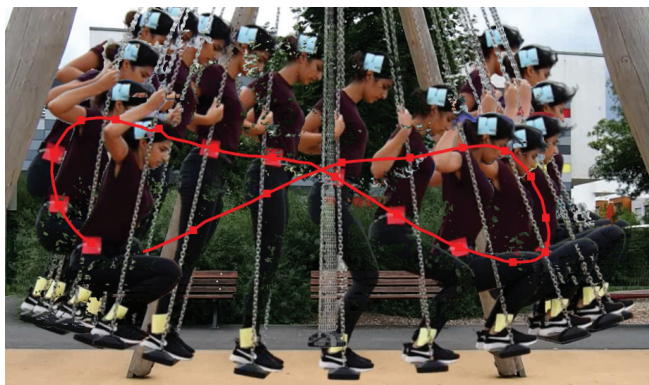


Abbildung 7: Bewegung des Schwerpunktes während einer Schwingungsperiode beim parametrischen Pumpen

5. Aufschaukeln im Sitzen

Meistens wird hingegen im Sitzen geschaukelt. Auch hier kann man seinen Schwerpunkt etwas anheben und senken. Es spielt aber ein anderer Effekt eine wichtigere Rolle. Man verändert den Winkel zwischen seinem Körper und der Schaukel, in dem man sich abwechselnd vor und zurück bewegt. Beim Vorschwingen wird der Oberkörper nach hinten verlagert und der ganze Körper von Kopf bis Fuß gestreckt (siehe Abbildung 8 links). Beim Rückschwingen wird der Oberkörper nach vorne verlagert und der Körper zu einem „S“ gekrümmt (siehe Abbildung 8 rechts). Der Wechsel zwischen diesen beiden Positionen erfolgt immer an den Umkehrpunkten.

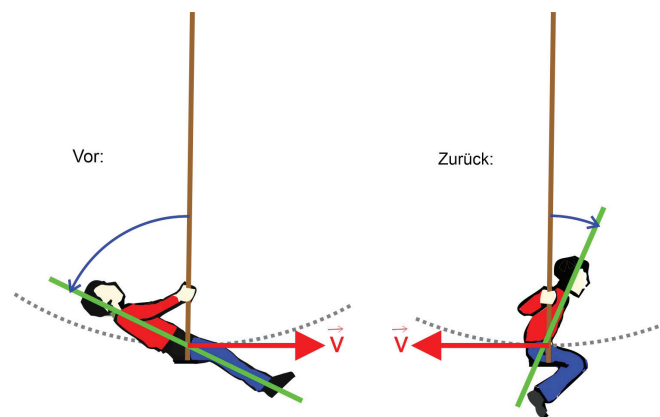


Abbildung 8: Körperhaltung beim Schaukeln im Sitzen; links während der Vorwärtsbewegung und rechts während der Rückwärtsbewegung

Von außen wirkt nur die Gewichtskraft auf die Schaukel, so dass abgesehen davon Drehimpulserhaltung gilt. Durch die Drehbewegung der Körperachse vor bzw. am Umkehrpunkt wird ein Drehimpuls erzeugt. Aufgrund der Drehimpulserhaltung, die für das ganze System während dieser kurzen Zeit der Körperdrehung gilt, bekommt die Schaukel als Ganzes einen umgekehrten Drehimpuls, so dass sich beide Änderungen kompensieren. Die zusätzliche Winkelgeschwindigkeit, die die Schaukel als Ganzes in den Umkehrpunkten erhält, ist entgegengesetzt zur Winkelgeschwindigkeit der Person und hebt die Schaukel ein Stück weiter an. Ein Beenden der Drehbewegung der Person nach dem Umkehrpunkt ist erneut eine Drehimpulsänderung, die wiederum dazu führt, dass auch die Schaukel als Ganzes eine Drehimpulsänderung bekommt; damit wird nun die Pendelbewegung nach unten verstärkt. Die Amplitude der Schaukelschwingung wächst in diesem Fall linear, während sie beim parametrischen Pumpen exponentiell anwächst. Die Anregung über den Drehimpuls hat jedoch den Vorteil, dass sie auch dann funktioniert, wenn sich die Schaukel noch in Ruhe befindet, was beim parametrischen Pumpen nicht der Fall ist.

Abbildung 9 zeigt Stroboskopbilder beim Schaukeln im Sitzen. Das obere Bild zeigt eine Schaukelbewegung nach rechts und man sieht, wie der Körper am vorderen Umkehrpunkt aus der Horizontalen in die Vertikale übergeht, also sich am Umkehrpunkt dreht und nach vorne neigt. Das untere Bild mit

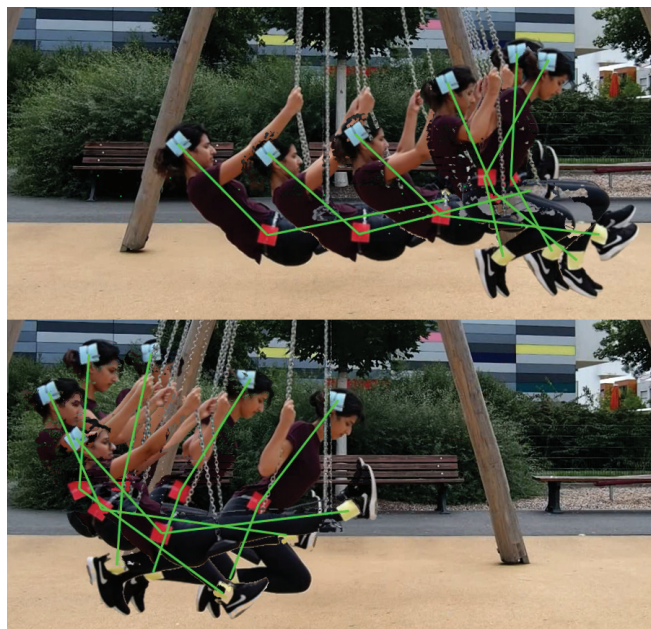


Abbildung 9: Oben: Bewegung nach rechts zum vorderen Umkehrpunkt, unten: Bewegung nach links zum unteren Umkehrpunkt

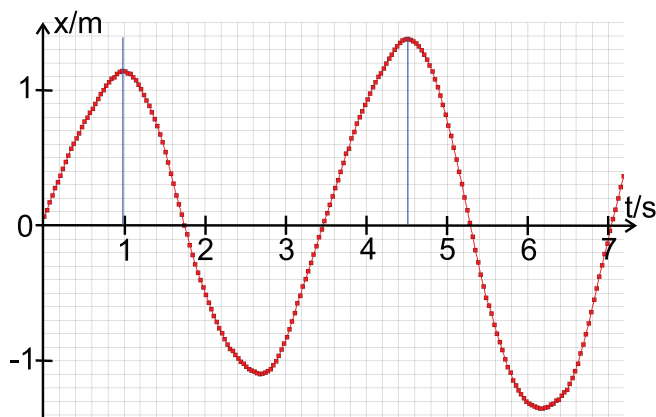


Abbildung 10: Aufschaukeln durch parametrisches Pumpen beim Stehen auf der Schaukel

der Rückbewegung nach links zeigt, wie der Körper am hinteren Umkehrpunkt aus der aufrechten vertikalen Orientierung zurück in eine horizontal-liegende Position geht.

Aus den Ort-Zeit-Diagrammen des Schaukelns kann man ablesen, wie viel Zeit benötigt wurde, um eine bestimmte Vergrößerung der Auslenkung zu erreichen. Beim Schaukeln

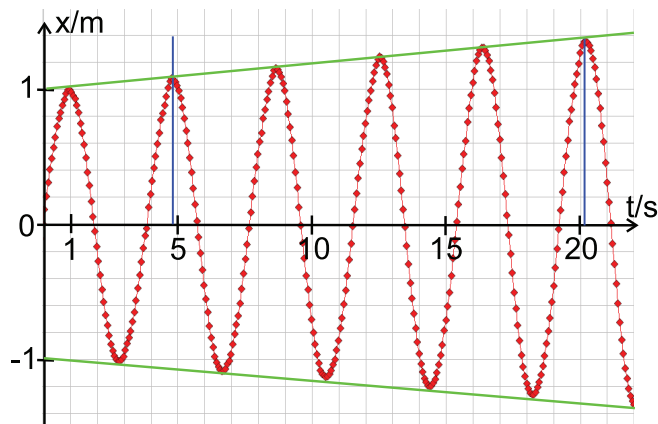


Abbildung 11: Aufschaukeln durch Körperdrehen beim Sitzen auf der Schaukel

im Stehen wird vom ersten Maximum mit $x = 1,14$ m bis zum zweiten Maximum mit $x = 1,38$ m (0,24 m mehr) eine Zeit von $t = 3,5$ s benötigt (siehe Abbildung 10). Beim Schaukeln im Sitzen vergehen von einer Maximalauslenkung von 1,08 m bis zu einer Maximalauslenkung von 1,36 m (0,28 m mehr und damit vergleichbar), was erst vier Perioden später erreicht ist, eine Zeit von $t = 15,4$ s (4,4-fache Zeit) (siehe Abbildung 11). Man sieht, dass die parametrische Verstärkung der Schaukelbewegung im Stehen deutlich effizienter ist als die Verstärkung durch Drehimpulsänderung im Sitzen. An Abbildung 11 ist zudem zu sehen, dass die Amplituden linear zunehmen.

6. Fazit

Die Videoanalyse macht es möglich, interessante und komplexe Alltagsbewegungen aufzuzeichnen und im Physikunterricht zu analysieren. Einblendungen ins Video und Stroboskopbilder helfen zudem zu einem qualitativen Verständnis. In bekannten, alltäglichen Bewegungen wie dem Schaukeln steckt oft mehr Physik, als man zunächst denkt; zur Erklärung braucht es dann geeignete Vereinfachungen.

Shima Fahim *Institut für Didaktik der Physik,*

Goethe-Universität Frankfurt am Main

Prof. Dr. Thomas Wilhelm *Institut für Didaktik*

der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main

Literatur

- [1] Mück, T.; Wilhelm, T.: Neue Möglichkeiten der Videoanalyse am Beispiel von Sportbewegungen - In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 58, Nr. 7, 2009, S. 19 - 27
- [2] Schüttler, M.; Wilhelm, T.: Bewegungsanalyse im Freizeitpark – In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 60, Nr. 6, S. 18 - 24, 2011
- [3] Suleder, M.: Videoanalyse und Physikunterricht, Aulis Verlag, Hallbergmoos, 2010
- [4] Benz, M.; Wilhelm, T.: measure Dynamics – Ein Quantensprung in der digitalen Videoanalyse – In: Nordmeier, V.; Grötzebach, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Berlin 2008, Lehmanns Media, Berlin, 2008, ISBN 978-3-86541-317-8
- [5] Wilhelm, T.: Trägheitskräfte im Mechanikunterricht? - In: Plus Lucis 2/2016, <http://www.univie.ac.at/pluslucis/PlusLucis/162/S23.pdf>, S. 23 - 27

Konstruktion videoexperimentbasierter Lernaufgaben

Sebastian Gröber, Stefan Küchemann, Josef Sniatecki & Jochen Kuhn

1. Einführung

Ein Kernziel von Lernaufgaben zu physikalischen Schulexperimenten ist es – seien es traditionelle Experimentformate wie Lehrerdemonstrations- und Schülerexperiment oder das Videoexperiment in diesem Beitrag –, kognitive Lernprozesse bei Schülern zu initiieren und zu steuern. Lehrerdemonstrationsexperimente können z. B. mit mündlichen Lernaufgaben nach dem Prinzip Vorhersagen-Beobachten-Erklären (Predict-Observe-Explain) lernförderlich durchgeführt werden [1]. Schülerinnen und Schüler werden vor der Durchführung des Experiments aufgefordert eine Vorhersage zum Ausgang des Experiments zu machen, das experimentelle Ergebnis zu beobachten und es zu erklären. Im Kontrast dazu sind schriftliche, kochbuchartige Anleitungen zu Aufbau, Durchführung und Auswertung von Schülerexperimenten keine Lernaufgaben, da wesentliche Ziele des Experiments und des Experimentierens nicht adressiert werden [2]. Darüber hinaus sind Lernaufgaben zu Experimenten ein wichtiges Mittel, um Experimentieren möglichst zeitökonomisch in den laufenden Physikunterricht zu integrieren.

In diesem Beitrag werden Experimente, die zur quantitativen Analyse von Bewegungen mit einem Videoanalyseprogramm videographiert wurden, als Videoexperimente und Lernaufgaben zu Videoexperimenten als videoexperimentbasierte Lernaufgaben (VBLs) bezeichnet [3]. Während bei der mobilen Videoanalyse Lernende ein Experiment zunächst videographieren, wird bei VBLs den Lernenden das Videoexperiment zur Verfügung gestellt. Idealerweise werden VBLs von Lehrkräften zur bestmöglichen Abstimmung parallel zur Produktion des Videoexperiments oder alternativ nachträglich zu einem bereits vorhandenen Videoexperiment konstruiert.

Der Beitrag thematisiert die Konstruktion von VBLs, die zum Ziel haben, das theoretische Verständnis von Leistungskurschülern in der Sekundarstufe II zu entwickeln. Das Ziel wird begründet, es werden Konstruktionsprinzipien zum Erreichen des Ziels entwickelt und in zwei VBLs angewendet.

2. Ziel von VBLs

Mit Experimenten bzw. dem Experimentieren können vielfältige Ziele verfolgt werden. In [4, 5, 6] werden über zehn übergeordnete Ziele wie z. B. Erwerb experimenteller Fähigkeiten oder das Analysieren und Visualisieren von Daten genannt. In [7] werden 14 übergeordnete Ziele an einzelnen Experimenten aufgezeigt, wie z. B. Schülervorstellungen zu prüfen oder Phänomene überzeugend darzustellen. Diese Zielvielfalt birgt die Gefahr, dass im Physikunterricht der

Einsatz von Experimenten und damit der Einsatz von Lernaufgaben zu Experimenten nicht zielgerichtet genug erfolgt und lernunwirksam bleibt [8, 9].

VBLs eignen sich dazu, das theoretische Verständnis von Zusammenhängen, Gesetzen, Konzepten oder Prinzipien als zentrales Ziel über die gesamte Mechanik hinweg zu verfolgen. Als notwendige Voraussetzung wird zunächst auf experimentelle Fähigkeiten zu Videoexperimenten eingegangen. Anschließend wird das Ziel von VBLs mit Eigenschaften des Videoexperiments begründet.

2.1 Erlernen experimenteller Fähigkeiten zu Videoexperimenten

Um Schülerinnen und Schülern genügend kognitive Ressourcen bei der Bearbeitung von VBLs für theoretische Überlegungen zu verschaffen, ist es lernförderlich, zu Beginn der Kinematik experimentelle Fähigkeiten zu erlernen und zu üben. Dies erfolgt am besten anhand einer zweidimensionalen Bewegung wie z. B. dem schiefen Wurf, da die Videoanalyse ein zweidimensionales Messverfahren ist und Fehlvorstellungen vermieden werden können [10] Inhalte sollten sein:

- Videoanalyse als berührungsloses, zweidimensionales Messverfahren: Bedienung des Videoanalyseprogramms, Prinzip der Koordinaten- und Zeitmessung, freie und günstige Wahl des Koordinatensystems, manuelle und automatische Videoanalyse mehrerer Körper, Messung von zweidimensionalen Orts-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungskomponenten, Komponentenschreibweise x, v_x, a_x und y, v_y, a_y .
- Darstellung direkter und indirekter Messgrößen: Erzeugen indirekter Messgrößen z. B. der Bahngeschwindigkeit, Auftragen beliebig gewählter Messgrößen in Diagrammen.
- Vergleich von Mess- und Funktionsgraphen in Diagrammen: Lineare Regression ausgewählter Messdaten, Eingabe theoretischer Funktionen und Vergleich von Funktions- und Messgraphen in Diagrammen.
- Statistische Messfehler: Zunahme der Fehler beim Differenzieren von Ort und Geschwindigkeit sowie Abnahme durch Mittelung über ein größeres Zeitintervall, wobei die Näherung von Momentan- durch Durchschnittsgrößen schlechter wird.

Kenntnisse zu statistischen Messfehlern tragen dazu bei, dass Lernende eine potenzielle Übereinstimmung von experimentellen Mess- und theoretischen Funktionsgraphen physikalisch beurteilen können. Werden Videoexperimente zu VBLs selbst produziert, kann durch gute Beleuchtung, hoher Kontrast von Körper und Hintergrund sowie durch kurze

Belichtungszeiten der statistische Koordinatenmessfehler minimiert werden. Der Aufwand zur Instruktion experimenteller Fähigkeiten zum Videoexperiment ist umso effektiver, je umfassender VBLs in der Mechanik eingesetzt werden.

2.2 Eigenschaften des Videoexperiments

Aus mediendidaktischer Sicht sind Videoexperimente eine Sequenzierung des traditionellen Physikmediums Experiment und des Alltagsmediums Video. Es entsteht ein neues Experimentformat Videoexperiment, welches durch das Videographieren strukturell veränderte Eigenschaften zum traditionellen Experiment aufweist:

- Bisherige und zahlreiche weitere Bewegungen, wie z. B. die Fallbewegung eines Papierkegels, können durch das berührungslose Messverfahren Videoanalyse quantitativ analysiert werden.
- Es wird kein Experimentiermaterial, sondern nur ein Computer mit Videoanalyseprogramm benötigt.
- Bewegungen können weitestgehend zeitunabhängig analysiert werden, da Videos beliebig distribuierbar sind.
- Experimentieren (Fragestellung, Planung, Aufbau, Durchführung und Auswertung) wird im Wesentlichen auf die Messung und Auswertung zweidimensionaler zeitabhängiger Ortskoordinaten reduziert.

2.3 Theoretisches Verständnis als Ziel von VBLs

Wissenschaftliche Lehrkräfte, Schülerinnen, Schüler und Studierende im ersten Studiensemester sehen die Verbindung von Theorie und Experiment als eines der wichtigsten übergeordneten Ziele des Experiments [11, 5]. Offen bleibt, mit welchem konkreten Ziel und wie eine solche Verbindung zwischen Theorie und Experiment hergestellt werden kann. Dem Ziel, mit VBLs theoretisches Verständnis zu fördern, liegen zwei Überlegungen zugrunde:

- Das wissenschaftliche Experiment ist für Physikerinnen und Physiker immanent theoriegeleitet, es setzt grundlegendes theoretisches Verständnis voraus. Theoretische Überlegungen liegen insbesondere der Fragestellung des Experiments zugrunde und diese bestimmen auch die Planung und den Aufbau des Experiments. Demgegenüber sind für Schülerinnen und Schüler noch unbekannte Videoexperimente quasi theorieelos, weil ihnen – analog zum Lehrerdemonstrationsexperiment – die ersten Phasen des Experimentierens fehlen (siehe 2.2). Erst mit Lernaufgaben zum Videoexperiment, deren Bearbeitung theoretische Überlegungen erforderlich machen, wird eine Verbindung zwischen Theorie und Experiment möglich.
- Erworbene experimentelle Fähigkeiten zum Videoexperiment (siehe 2.1) und Experimentieren ohne Experimentiermaterial (siehe 2.2) reduzieren die kognitive

Belastung der Schülerinnen und Schüler beim Bearbeiten von VBLs, so dass genügend kognitive Ressourcen für theoretische Überlegungen verfügbar sind.

3. Konstruktionsprinzipien von VBLs

Zentrale Anforderungen an die Konstruktion von Lernaufgaben zu Schulexperimenten sind:

- Komplexität des Experimentierens als physikalische Methode in einem angemessenen Maß zu reduzieren, um Lernende nicht zu überfordern.
- Eigenschaften und Inhalte des Experiments, fachdidaktische Ziele des Experimentierens und den Einsatz des Experiments im Physikunterricht möglichst lernwirksam aufeinander abzustimmen [12].

Konstruktionsprinzipien von Lernaufgaben können eine einheitlichere Qualität von Lernaufgaben und das Erreichen von Zielen sicherstellen. Weiterhin sind diese eine Hilfestellung zur Konstruktion von Lernaufgaben.

3.1 Erwerb und Anwendung von theoretischem Wissen

VBLs zu unterschiedlichen Videoexperimenten oder zum gleichen Videoexperiment können in Anlehnung an [13] mit zwei Zielen konstruiert werden:

- Erwerb von theoretischem Wissen
Die VBL ist explorativ: Ohne theoretisches Vorwissen wird nach Zusammenhängen gesucht, um Hypothesen zu generieren. Solche VBLs werden eher zum Beginn von Lerneinheiten eingesetzt.
- Anwendung von theoretischem Wissen
Die VBL ist explanativ: Mit theoretischem Vorwissen werden begründete Hypothesen oder Vorhersagen formuliert und geprüft, experimentelle Messgraphen und theoretische Funktionsgraphen wechselseitig geprüft oder Erklärungen gegeben. Solche VBLs werden eher am Ende von Lerneinheiten eingesetzt.

Es bleibt anzumerken, dass die Eigenschaften explorativ und explanativ nicht eindeutig dem Experiment, sondern nur dem Experiment mit Lernaufgabe zugeordnet werden können. Zudem sollte die Konstruktion von Lernaufgaben zu fachdidaktischen Experimenten nicht einseitig auf das Generieren und Prüfen von Hypothesen verkürzt werden.

3.2 Verbindung von Messergebnissen mit theoretischen Überlegungen

Im Folgenden werden fünf Konstruktionsprinzipien A bis E in Form von Handlungen beschrieben, die eine Verbindung zwischen Messergebnissen und theoretischen Überlegungen erfordern:

- A: Auswahl von Messgrößen
Direkte oder indirekte Messgrößen werden gezielt ausgewählt und geeignet in Diagrammen darstellt.
- B: Messergebnisse erklären, Zusammenhang zwischen Messergebnissen erkennen oder erklären
Messwerte oder der Verlauf von Messgraphen werden erklärt. Zusammenhänge zwischen Messwerten oder Messgraphen werden erkannt oder erklärt. Die Parameterabhängigkeit eines Messgraphen wird erkannt oder erklärt.
- C: Konstanten anhand von Messergebnissen bestimmen
Mit linearer Regression ausgewählter Messwertpaare oder mit einem Parameterfit eines Messgraphen werden Konstanten bestimmt.
- D: Messergebnisse und theoretische Ergebnisse vergleichen
Messwerte oder Messgraphen werden mit berechneten, theoretischen Werten oder hergeleiteten Funktionen verglichen.
- E: Vorhersagen anhand von Messergebnissen oder theoretischen Ergebnissen prüfen
Messwerte oder der Verlauf von Messgraphen werden begründet vorhersagt. Vorhersagen werden durch Messungen, durch qualitative Überlegungen oder durch hergeleitete Funktionen geprüft.

4. Beispiele von VBLs

Es werden an einer VBL zum Erwerb und einer VBL zur Anwendung von theoretischem Wissen (siehe 3.1) die Konstruktionsprinzipien A bis E (siehe 3.2) beispielhaft angewendet. Teilaufgaben sind so offen wie möglich gestellt, können aber durch kleinschrittigere Formulierungen im Schwierigkeitsgrad reduziert werden. Der Erwartungshorizont zu den Teilaufgaben wird angegeben. Zur Videoanalyse wurde das Programm „measure dynamics“ [14] verwendet. Alle Diagramme wurden mit exportierten Messdaten aus „measure dynamics“ erstellt. Weitere VBLs sind in [15] zu finden.

4.1 Wissenserwerb zum Impulserhaltungssatz

Abbildung 1 zeigt eine VBL zum Erwerb von Wissen zum Impulserhaltungssatz am Beispiel zweier wechselwirkender Gleiter. Die einzige Voraussetzung zur Bearbeitung der VBL ist die Kenntnis der Definition des Impulses, die alternativ auch in der VBL angegeben werden kann.

Auf einer Luftkissenfahrbahn stößt ein Gleiter 1 (Masse $m_1 = 0,385 \text{ kg}$) der Geschwindigkeit $v_1 \neq 0$ mit einem Gleiter 2 (Masse $m_2 = 0,189 \text{ kg}$) der Geschwindigkeit v_2 . Das Videoexperiment zeigt die Stoßvarianten inelastischer und elastischer Stoß mit ruhendem Gleiter 2 sowie elastischer Stoß mit bewegtem Gleiter 2:

- Untersuche für die drei Stoßvarianten, ob es einen quantitativen Zusammenhang zwischen den Impulsen der Gleiter gibt.
- Formuliere in mathematischer Form einen für alle drei Stoßvarianten geltenden allgemeinen Zusammenhang der Impulse.

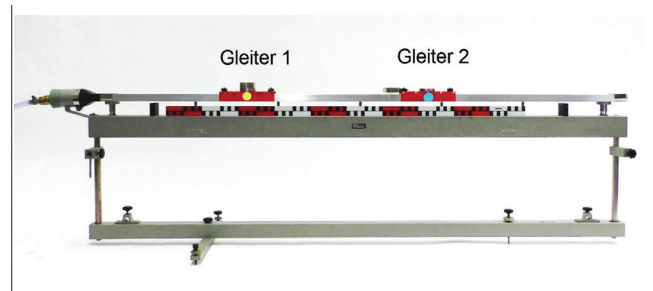


Abbildung 1: VBL zum Impulserhaltungssatz

4.1.1 Teilaufgabe a)

Konstruktionsprinzipien A und B: Die Geschwindigkeits- oder Impulskomponenten der Gleiter in horizontaler Richtung müssen als Messgrößen gewählt werden. Beim elastischen Stoß mit ruhendem Gleiter 2 (Abbildung 2a) und beim inelastischen Stoß mit ruhendem Gleiter 2 (Abbildung 2b) können für gleiche Bewegungsrichtungen der Gleiter die Impulsbilanzen $0,173 \text{ Ns} \approx 0,061 \text{ Ns} + 0,111 \text{ Ns}$ und $0,166 \text{ Ns} \approx 0,112 \text{ Ns} + 0,055 \text{ Ns}$ leicht erkannt werden. Der elastische Stoß mit bewegtem Gleiter 2 erfordert die zusätzliche Beachtung von

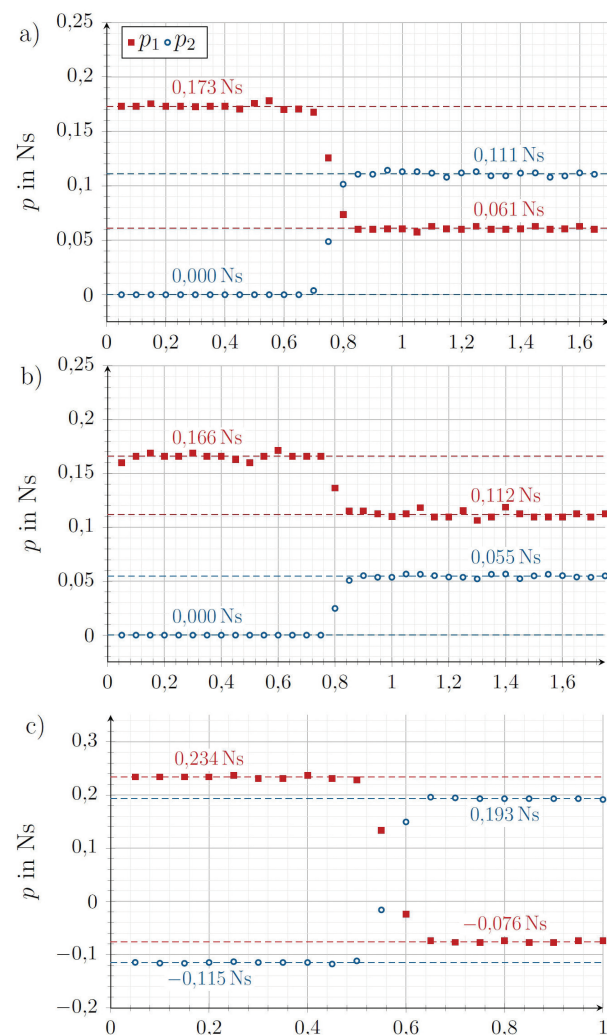


Abbildung 2: $p(t)$ -Messgraphen von Gleiter 1 (rot) und Gleiter 2 (blau). Gleiter 1 stößt in a) elastisch mit ruhendem Gleiter 2, in b) inelastisch mit ruhendem Gleiter 2 und in c) elastisch mit bewegtem Gleiter 2

Impulsrichtungen in der Impulsbilanz $0,232 \text{ Ns} + (-0,117 \text{ Ns}) \approx 0,193 \text{ Ns} + (-0,076 \text{ Ns})$ (Abbildung 2c).

Die VBL ist so konstruiert, dass die Stoßvarianten experimentell den theoretischen Nachweis der Unabhängigkeit des Impulserhaltungssatzes von der Art der Wechselwirkung zwischen den Gleitern (elastisch, inelastisch, Geschwindigkeiten vor dem Stoß) vorbereiten.

4.1.2 Teilaufgabe b)

Konstruktionsprinzip B: Die Impulsbilanzen aus Teilaufgabe a) müssen zusammengefasst und verallgemeinert werden. Auf Grundlage der Teilaufgabe b) kann der Impulserhaltungssatz im Physikunterricht theoretisch vertieft in folgenden Schritten behandelt werden:

- Im Demonstrationsexperiment werden mit Kraftsensoren an den Gleitern die Wechselwirkungskräfte $F_{1,2}(t)$ und $F_{2,1}(t)$ gleichzeitig für eine festgelegte Bezugsrichtung vorzeichenrichtig gemessen und die Unabhängigkeit des Wechselwirkungsprinzips von der Art des Stoßes herausgestellt.
- Die gerichteten Flächen unter dem $F_{1,2}(t)$ - und $F_{2,1}(t)$ -Graphen sind der Dimension $\text{Ns} = \text{kgm/s}$ nach Impulse. Aufgrund des Wechselwirkungsprinzips sind die Flächen betragsgleich. Dies kann zusätzlich durch Messen der Flächen im Messwerterfassungsprogramm bestätigt werden.
- Nach dem Newton'schen Grundgesetz gilt für Gleiter 1 und Gleiter 2

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} = \vec{F}_{1,2} \quad \frac{d\vec{p}_2}{dt} = \vec{F}_{2,1} \quad (1)$$

Für die Impulsänderungen der Gleiter im beliebig wählbaren Zeitintervall $[t_1, t_2]$ gilt also

$$\Delta\vec{p}_1 = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}_{1,2} dt = - \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}_{2,1} dt = -\Delta\vec{p}_2 \quad (2)$$

- Der Impulserhaltungssatz wird für zwei wechselwirkende Körper in unterschiedlicher Form sprachlich und mathematisch formuliert:

$$\Delta\vec{p}_1 = -\Delta\vec{p}_2 \Leftrightarrow \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1' + \vec{p}_2' \Leftrightarrow \vec{p}_{\text{ges}} = \text{konst.} \quad (3)$$

- Zur experimentellen Kontrolle kann in Abbildung 2 mit dem Videoanalyseprogramm der $p_{\text{ges}}(t)$ -Messgraph mit konstantem Gesamtimpuls p_{ges} dargestellt werden.

Generell können VBLs zum Erwerb theoretischen Wissens insbesondere zu zentralen theoretischen Zusammenhängen (Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung), Gesetzen (Newton'sches Grundgesetz) und Prinzipien der Mechanik (Energieerhaltungssatz) als Hausaufgabe gestellt werden. Methodisch wird für Schülerinnen und Schüler hierbei ein eigenständiger explorativer Zugang zur Theorie geschaffen,

der – wie am Impulserhaltungssatz dargestellt – im Physikunterricht weitergeführt und vertieft werden kann.

4.2 Wissensanwendung beim Bungee-Springen

Abbildung 3 zeigt am Beispiel Bungee-Springen eine VBL zur Anwendung von theoretischem Wissen. Die für den Unterrichtseinsatz zu große Anzahl an Teilaufgaben soll möglichst viele Konstruktionsprinzipien von VBLs aufzeigen. Die letzte traditionelle Teilaufgabe dient der Unterscheidung von den vorangehenden Teilaufgaben des VBLs und ist keinem Konstruktionsprinzip zugeordnet.

Im Modellexperiment fällt eine Bungee-Springerin (Kugel der Masse $m = 0,133 \text{ kg}$) an einem Bungee-Seil (Länge $L = 0,675 \text{ m}$, Federkonstante $D = 2,5 \text{ N/m}$) reibungsfrei in die Tiefe. Die Kugel beginnt zum Zeitpunkt $t = 0$ bei der Koordinate $y = 0$ zu fallen und erreicht die maximale Falltiefe bei $y = y_{\text{max}} > 0$. Die ruhende Kugel hängt bei der Koordinate $y = y_{\text{stat}}$:

- Skizziere in einem gemeinsamen Diagramm den erwarteten Verlauf des $y(t)$ -, $v_y(t)$ - und $a_y(t)$ -Messgraphen für die Abwärtsbewegung der Kugel. Prüfe die Vorhersage.
- Stelle den $y(t)$ -, $v_y(t)$ - und $a_y(t)$ -Messgraphen für die Abwärtsbewegung der Kugel in einem Diagramm dar. Erkläre den Zusammenhang zwischen den Messgraphen allgemein und zu ausgewählten Zeitpunkten.
- Sage begründet vorher, bei welcher y -Koordinate die Kugel mit maximaler Geschwindigkeit v_{max} fällt. Prüfe die Vorhersage.
- Leite die $v_y(y)$ -Funktion her. Prüfe die Herleitung experimentell.
- Überprüfe den angegebenen Wert der Federkonstanten D .
- Bestätige den Energieerhaltungssatz für die Abwärtsbewegung der Kugel.
- Leite eine Formel für die maximale Falltiefe y_{max} her. Prüfe das Ergebnis.
- Bestimme den Zahlenwert der Koordinate y_{stat} aus einem $F(y)$ -Diagramm der wirkenden Kräfte.

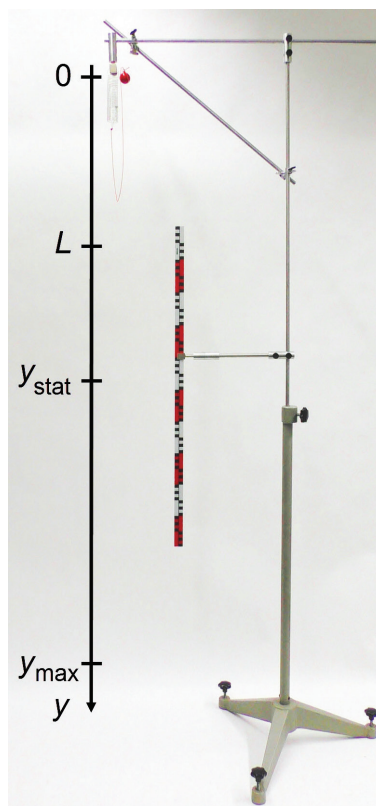


Abbildung 3: VBL zum Bungee-Springen

4.2.1 Teilaufgabe a)

Konstruktionsprinzip B: Der qualitative Verlauf der Messgraphen kann anhand folgender Überlegungen vorhergesagt werden (Abbildung 4): Für $y \in [0, L]$ liegt ein freier Fall mit bekannten Messgraphen vor, es ist $y(t) \geq 0$ für das gegebene Koordinatensystem, $y(t)$ ist streng monoton steigend für $y < y_{\max}$, $v_y(t)$ hat wegen $v_y(0) = 0$ und $v_y(y_{\max}) = 0$ ein Maximum, $v_y(t)$ bzw. $a_y(t)$ sind der Steigungsverlauf von $y(t)$ bzw. $v_y(t)$.

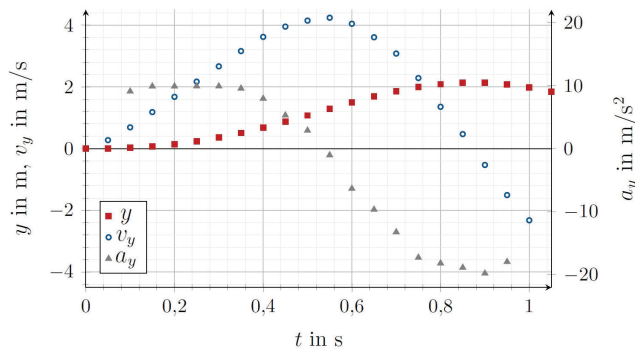


Abbildung 4: $y(t)$ -, $v_y(t)$ - und $a_y(t)$ -Messgraph

4.2.2 Teilaufgabe b)

Konstruktionsprinzip B: Als allgemeiner Zusammenhang ist $v_y(t)$ bzw. $a_y(t)$ der Steigungsverlauf von $y(t)$ bzw. $v_y(t)$. Spezielle Zusammenhänge für ausgewählte Zeitpunkte sind, dass $v_y(t)$ ein Maximum zum Zeitpunkt größter Steigung von $y(t)$ hat und $a_y(t)$ zum Zeitpunkt maximaler Geschwindigkeit Null wird.

4.2.3 Teilaufgabe c)

Konstruktionsprinzip A und E: Häufig wird die falsche Vorhersage $v(y = L) = v_{\max}$ gemacht, weil bei $y = L$ die abbremsende Federkraft einsetzt und nicht die resultierende Kraft F_{res} auf die Kugel betrachtet wird. Die resultierende Kraft ergibt sich aus der Federkraft und der Gewichtskraft der Kugel. Eine qualitative Begründung mit dem Newton'schen Grundgesetz ist: Die Kugel erreicht bei der statischen Ruhelage $y = y_{\text{stat}}$ die maximale Geschwindigkeit $v_{\max}$, weil für $y < y_{\text{stat}}$ die resultierende Kraft F_{res} in y -Richtung zeigt (Kugel wird schneller), für $y = y_{\text{stat}}$ die resultierende Kraft F_{res} Null ist und für $y > y_{\text{stat}}$ die resultierende Kraft F_{res} entgegen der y -Richtung zeigt (Kugel wird langsamer).

Eine Prüfung der Vorhersage mit $v_y(y)$ -Messgraph (Abbildung 5) und eine Berechnung von y_{stat} ergibt: Es ist $v(L = 0,675 \text{ m}) \neq v_{\max}$ und $v(\approx 1,2 \text{ m}) \approx 4,3 \text{ m/s} = v_{\max}$.

Aus dem Kräftegleichgewicht bei y_{stat} folgt

Einsetzen der gegebenen Werte in (4) ergibt $y_{\text{stat}} = 1,196 \text{ m}$.

$$D(y_{\text{stat}} - L) = mg \Leftrightarrow y_{\text{stat}} = L + \frac{mg}{D} \quad (4)$$

Dieser theoretisch ermittelte Wert stimmt gut mit dem aus Abbildung 5 ermittelten Wert überein.

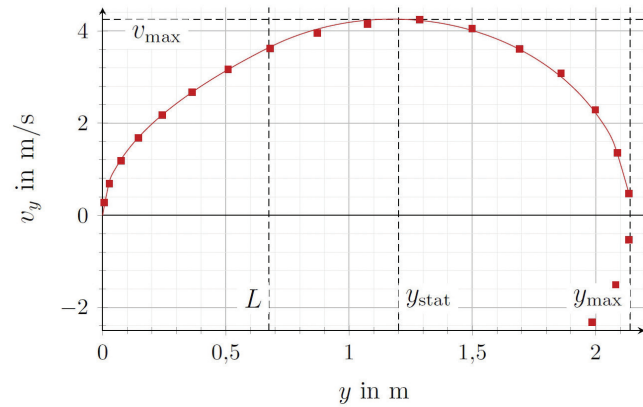


Abbildung 5: $v_y(y)$ -Messgraph und $v_y(y)$ -Funktionsgraphen für $y \in [0, L]$ und $y \in [L, y_{\max}]$

4.2.4 Teilaufgabe d)

Konstruktionsprinzip A und D: Anwendung des Energieerhaltungssatzes mit Federkonstante $D = 0$ für $y \in [0, L]$ und $D \neq 0$ für $y \in [L, y_{\max}]$ und $E_{\text{pot}}(0) = 0$ ergibt:

Die beiden $v_y(y)$ -Funktionsgraphen (6) stimmen gut mit dem

$$E_{\text{ges}}(0) = E_{\text{ges}}(y)$$

$$0 = \frac{1}{2}mv_y^2 + \frac{1}{2}D(y-L)^2 - mgy \quad (5)$$

$$v_y(y) = \begin{cases} \sqrt{2gy} & \text{für } 0 \leq y < L \\ \sqrt{2gy - \frac{D}{m}(y-L)^2} & \text{für } L \leq y \leq y_{\max} \end{cases} \quad (6)$$

$v_y(y)$ -Messgraph in Abbildung 5 überein.

4.2.5 Teilaufgabe e)

Konstruktionsprinzip A und C: Zur Bestimmung der Federkonstante D wird die Kraft pro Längenänderung der Feder benötigt. Die einzige experimentelle Möglichkeit ist, die abgeleitete Messgröße $F_{\text{res}} = ma_y$ zu bilden und im $F_{\text{res}}(y)$ -Messgraph für $y > L$ eine lineare Regression durchzuführen (Abbildung 6). Dies ergibt in guter Übereinstimmung mit dem angegebenen Wert $D = 2,5 \text{ N/m}$ die Steigung $D = 2,62 \text{ N/m}$ der Regressionsgeraden.

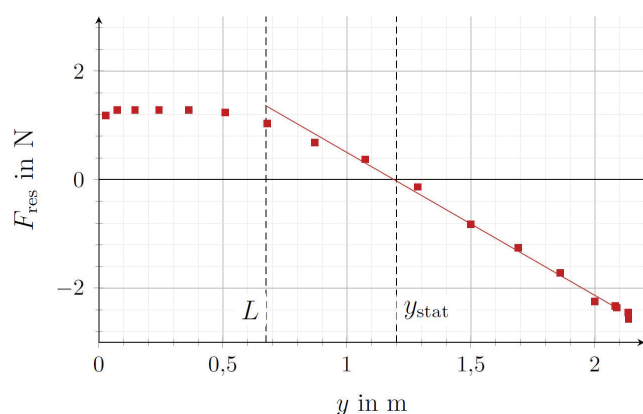


Abbildung 6: $F_{\text{res}}(y)$ -Messgraph mit Regressionsgerade für $y > L$

4.2.6 Teilaufgabe f)

Konstruktionsprinzip A und E: Die potentielle und kinetische Energie der Kugel und die Spannenergie der Feder sind

$$E_{\text{pot}}(y) = -mgy \quad \text{für } 0 \leq y \leq y_{\text{max}}$$

$$E_{\text{kin}}(y) = \frac{1}{2}mv_y^2 \quad \text{für } 0 \leq y \leq y_{\text{max}} \quad (7)$$

$$E_{\text{spann}}(y) = \begin{cases} 0 & \text{für } 0 \leq y < L \\ \frac{1}{2}D(y-L)^2 & \text{für } L \leq y \leq y_{\text{max}} \end{cases}$$

Die Darstellung von (7) in Abbildung 7 als Messgraphen zusammen mit der Gesamtenergie

$$E_{\text{ges}}(y) = E_{\text{pot}}(y) + E_{\text{kin}}(y) + E_{\text{spann}}(y) \quad (8)$$

ergibt wie erwartet eine konstante Gesamtenergie $E_{\text{ges}}(y) = 0$.

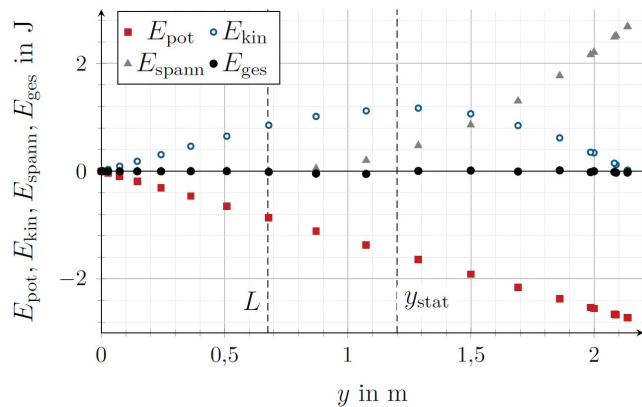


Abbildung 7: $E_{\text{pot}}(y)$ -, $E_{\text{kin}}(y)$ -, $E_{\text{spann}}(y)$ - und $E_{\text{ges}}(y)$ -Messgraphen

4.2.7 Teilaufgabe g)

Konstruktionsprinzip D: Die Anwendung des Energieerhaltungssatzes ergibt unter Verwendung von (4)

$$E_{\text{ges}}(0) = E_{\text{ges}}(y_{\text{max}}) \quad (9)$$

$$0 = -mgy_{\text{max}} + \frac{1}{2}D(y_{\text{max}} - L)^2$$

$$y_{\text{max}}^2 - 2y_{\text{max}}\left(L + \frac{mg}{D}\right) + L^2 = y_{\text{max}}^2 - 2y_{\text{stat}}y_{\text{max}} + L^2 = 0 \quad (10)$$

Die Lösungen der quadratischen Gleichung (10) sind

$$y_{1/2} = y_{\text{stat}} \pm \sqrt{y_{\text{stat}}^2 - L^2} \quad (11)$$

Wegen $y_{\text{max}} > y_{\text{stat}}$ gilt das positive Rechenzeichen in (11) und es ist

$$y_{\text{max}} = y_{\text{stat}} + \sqrt{y_{\text{stat}}^2 - L^2} \quad (12)$$

Ein Einsetzen der gegebenen Werte in (12) ergibt den Wert $y_{\text{max}} = 2,19 \text{ m}$, der gut mit dem experimentellen Wert in Abbildung 5 oder mit einer Streckenmessung im Videoexperiment übereinstimmt.

4.2.8 Teilaufgabe h)

Mit den gegebenen Werten können die Graphen der Gewichtskraft $F_G(y)$, der Federkraft $F_F(y)$ und der resultierende Kraft $F_{\text{res}}(y) = F_G(y) + F_F(y)$ in ein $F(y)$ -Diagramm eingetragen werden (Abbildung 8). Mit der Begründung aus 4.2.3 kann aus dem Diagramm die Nullstelle von $F_{\text{res}}(y)$ bei $y_{\text{stat}} \approx 1,2 \text{ m}$ abgelesen werden.

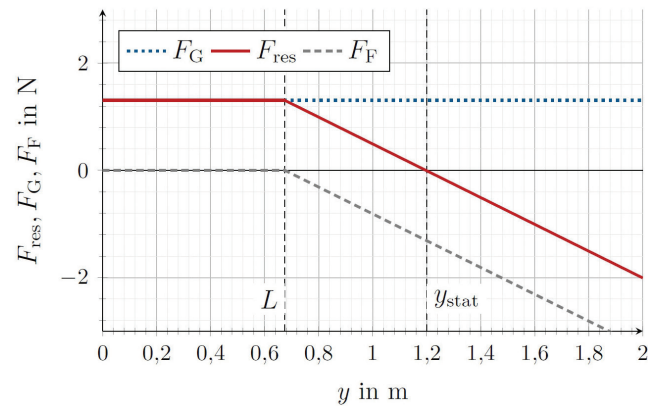


Abbildung 8: $F_G(y)$ -, $F_F(y)$ - und $F_{\text{res}}(y)$ -Funktionsgraph der Gewichtskraft, der Federkraft und der resultierenden Kraft beider Kräfte

5. Zusammenfassung

Aufgrund der Eigenschaften von Videoexperimenten gelingt es mit VBLs, unter der Vielzahl an Zielen von Experimenten auf das Ziel *theoretisches Verständnis* zu fokussieren. Es werden nicht experimentabhängige Einzelziele, sondern das Erreichen eines Ziels für das gesamte Experimentformat *Videoexperiment* angestrebt. Im Kern sind VBLs damit Theorieaufgaben, in denen das Videoexperiment die Hauptfunktionen hat, theoretische Überlegungen zu motivieren und zu prüfen. Voraussetzung hierzu ist, dass im Vorfeld hinreichend experimentelle Fähigkeiten zum Videoexperiment vermittelt wurden.

Mit wenigen konkreten Konstruktionsprinzipien können VBLs zum Erwerb und zur Anwendung von theoretischem Wissen sowie zu fast allen Inhalten der Mechanik konstruiert werden. VBLs können deswegen über einen längeren Zeitraum eingesetzt werden. VBLs als Hausaufgaben können entweder theoretische Inhalte des Physikunterrichts vorbereiten oder durch Anwenden vertiefen.

Sebastian Gröber AG Didaktik der Physik,

Technische Universität Kaiserslautern

Stefan Küchemann AG Didaktik der Physik,

Technische Universität Kaiserslautern

Josef Sniatecki AG Didaktik der Physik,

Technische Universität Kaiserslautern

Jochen Kuhn AG Didaktik der Physik,

Technische Universität Kaiserslautern

Literatur

- [1] White, R. & Gunstone, R. (1992): Probing understanding. London & NewYork: Taylor & Francis.
- [2] Hopf, M. (2004): Schülerexperimente - Stand der Forschung und Bedeutung für die Praxis. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 53(6), 2-7.
- [3] Gröber, S., Klein, P. & Kuhn, J. (2014). Video-based problems in introductory mechanics physics courses. European Journal of Physics 35 (5), 055019.
- [4] Hodson, D. (1993): Re-thinking old ways - towards a more critical approach to practical work in school science. Studies in Science Education 22(1), 85-142.
- [5] Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niederer, H., Paulsen, A., Robinault, K. & von Aufschnaiter, S. (1998): Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden - Ergebnisse einer europäischen Umfrage. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 4(1), 29-44.
- [6] AAPT Physics Education (2014): Recommendations for the undergraduate physics laboratory curriculum - report prepared by a subcommittee of the AAPT committee on laboratories endorsed by the AAPT executive board.
- [7] Kircher, E., Girwidz, R. & Häusler, P. (Hrsg.) (2009): Physikdidaktik - Theorie und Praxis. Berlin & Heidelberg: Springer.
- [8] White, R. T. (1996): The link between the laboratory and learning. International Journal of Science Education 18(7), 761-784.
- [9] Rincke, K. (2016): Experimente in ihren Funktionen für das Lernen. Diskussionspapier, Universität Regensburg, Regensburg. <http://www.physik.uni-regensburg.de/forschung/rincke/Materialien/grundlagentext3.pdf>.
- [10] Heuer, D. & Wilhelm, T. (2002): Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden - Durch Beginn mit der zweidimensionalen Bewegung. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 51(7), 29-34.
- [11] Lynch, P. P. & Ndyetabura, V. L. (1983): Practical work in schools - an examination of teachers' stated aims and the influence of practical work according to students. Journal of Research in Science Teaching 20(7), 623-632.
- [12] Küchemann, S., Klein, P. & Kuhn, J. (2019): Best of Germany: VorleXung - Cross-linking recitation sessions and physics lectures using eXperiment-based video-analysis tasks. In: EdMedia (Hrsg.): Innovate learning. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 152-157.
- [13] Maurer, C. & Rincke, K. (2013): Zielgerichtetes Experimentieren. In: Bernhold, S. (Hrsg.): Inquiry-based learning - Forschendes Lernen. GDGP-Tagungsband 33, 119-121.
- [14] Phywe: Software „measure dynamics“, Einzellizenz. <https://www.phywe.de/de/software-measure-dynamics-einzellizenz.html>.
- [15] Gröber, S., Klein, P., Kuhn, J. & Fleischhauer, A. (2017): Smarte Aufgaben zu Mechanik und Wärme. Berlin: Springer-Spektrum.

Wissenschaft im Bild

Jan Smrek

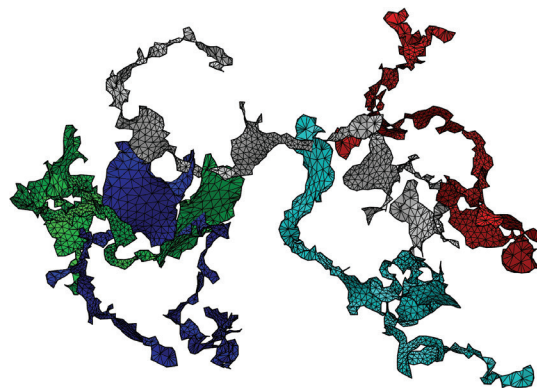
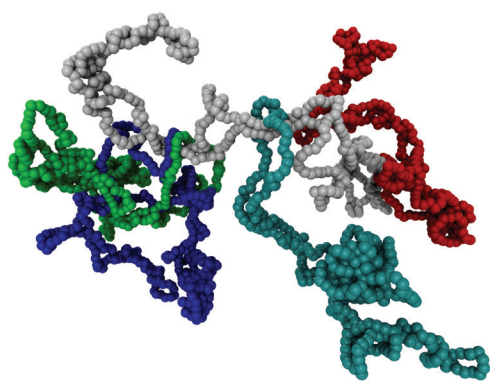


Abbildung 1: Die Bildrechte liegen bei © Jan Smrek, Universität Wien.

„Physiker der Universität Wien um Christos Likos [1] haben in Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz eine neue Art von Glas entdeckt, das sich aus langen ringförmigen Molekülen bildet [2]. Indem die Wissenschaftler Teile der Ringe beweglicher machen, verwickeln sich die Ringe stärker ineinander und die molekulare Flüssigkeit

bildet ein Glas. Das neuartige 'aktive topologische Glas' wurde in der jüngsten Ausgabe von Nature Communications [3] vorgestellt.“

Jan Smrek Fakultät für Physik, Universität Wien

Literatur

- [1] <https://comp-phys.univie.ac.at/research/research-likos/>
- [2] https://physik.univie.ac.at/news/news-detailansicht/news/eine-neue-form-von-glas-durch-molekulares-auffaedeln/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=804bab078ef3e3ce97f524e7602daf96
- [3] <https://www.nature.com/articles/s41467-019-13696-z>

Mobile Videoanalyse im Mechanikunterricht

Sebastian Becker, Alexander Gößling, Michael Thees, Pascal Klein & Jochen Kuhn

1. Mobile Videoanalyse

Beim unterrichtlichen Einsatz der Messmethode Videoanalyse wird bis dato der Bewegungsvorgang meist mit einer herkömmlichen Digitalkamera aufgenommen und anschließend an einem stationären PC analysiert. Durch diese zeitliche (und meist auch räumliche) Trennung von Aufnahme- und Analyseprozess wird der Lernprozess unterbrochen und das Wechselspiel zwischen Experiment und Theorie für die Schülerinnen und Schüler erschwert und somit die lernförderliche Wirkung gemindert [1]. Der Transfer des aufgenommenen Videos auf den PC kann zudem mit technischen Hürden wie z. B. einer notwendigen Konvertierung des Videoformats verbunden sein, welche eine Implementation in den regulären Schulunterricht mit seinen engen zeitlichen Grenzen erschweren kann. Mithilfe von Smartphones und Tablet-PCs können diese Hürden für den schulpraktischen Einsatz überwunden werden, sind diese doch heutzutage mit hoch entwickelten Digitalkameras ausgestattet, welche eine Aufnahme von Videos in sehr guter Qualität ermöglichen. Mittels einer Videoanalyse-Applikation wie z. B. der App Viana für iPads oder VidAnalysis für Android können die aufgenommenen Videos anschließend auf ein und demselben mobilen Endgerät durch Erfassung und Visualisierung der zeitabhängigen Positions- und Geschwindigkeitsdaten in unterschiedlichen Repräsentationsformen analysiert werden. Durch die hohen Bildwiederholungsraten (beispielsweise bis zu 240 Bilder pro Sekunde bei aktuellen iPad-Modellen) wird zudem die Möglichkeit der Analyse von Bewegungsprozessen ermöglicht, welche für das menschliche Auge zu schnell ablaufen. Somit können Lernende mit diesem digitalen Werkzeug Bewegungen von beliebigen Körpern aufnehmen und bezüglich der physikalischen Zusammenhänge eigenständig mit einem mobilen Endgerät experimentell untersuchen – und das ohne den Lernprozess durch einen Wechsel des Mediums unterbrechen zu müssen. Auf diese Weise werden die Vorteile der Nutzung von mobilen Endgeräten in Lehr-Lernszenarien mit den Möglichkeiten der physikalischen Videoanalyse als Messmethode kombiniert und ein kontinuierliches Wechselspiel zwischen Theorie und Experiment ermöglicht. Die Mobilität des Mediums ermöglicht dabei zudem auch natürliche Umgebungen, wie beispielsweise den Schulhof oder das eigene Zuhause, als Lernort in den Physikunterricht zu integrieren.

2. Erforderliche Applikationen zur Videoanalyse mit dem iPad

2.1 Die Videoanalyse-Applikation Viana

Viana wurde an der FU Berlin in der AG Didaktik der Physik von Prof. Nordmeier speziell für den Einsatz im Physikunterricht entwickelt und ist kostenfrei erhältlich [2], allerdings nur

für iPads. Mittels der integrierten Digitalkamera des iPads sind Aufnahmen mit 30, 60 oder 120 Bildern pro Sekunde möglich. Aus den aufgenommenen Videos kann durch eine manuelle oder automatisierte Objekterkennung die Position eines beliebigen Objekts in jedem Einzelbild ermittelt werden. Bei der manuellen Erfassung wird in jedem Einzelbild durch einen Fingertip die Position des zu untersuchenden Objekts markiert und damit gespeichert, woraufhin das Video ein Bild weiter springt und die Positionsmarkierung wiederholt wird. Prinzipiell ist somit die Position des Objekts in jedem Einzelbild zu markieren, mittels eines Schiebereglers können jedoch die Einzelbilder manuell ausgewählt werden, in denen die Position erfasst werden soll (wenn beispielsweise nur jedes zehnte Bild zur Analyse verwendet werden soll). Bei der automatischen Objektverfolgung erkennt die Applikation die Position des Objekts entweder anhand des Hell-Dunkel- oder alternativ des Farbkontrastes. Durch die Markierung einer Strecke bekannter Länge mithilfe zweier Fadenkreuze und der Eingabe der realen Länge kann das Video skaliert werden. Die in den Einzelbildern ermittelte Position des Objekts wird von der Applikation in unterschiedlichen Repräsentationsformen visualisiert. Zum einen in einer sogenannten Stroboskopabbildung, welche dem Realbild überlagert wird und zum anderen als Trajektorie in einem zweidimensionalen Koordinatensystem (siehe Abbildung 1). Aus den zeitabhängigen Positionsdaten ermittelt die Applikation automatisch die zugehörigen Positions- und Geschwindigkeitsdaten entlang der Achsen eines Koordinatensystems, welches durch den Anwender vorgegeben wird und auch zu jeder Zeit im Analyseprozess neu positioniert werden kann. Hervorzuheben ist dabei, dass die Applikation die zeitabhängige Position mehrerer Objekte in einem Video simultan ermitteln kann.

Die Applikation bietet im Einzelnen die folgenden Funktionen:

- Aufnahme mit einer Bildwiederholungsrate von 30, 60 oder 120 Bildern pro Sekunde
- Direkter Import aufgenommener Videos
- Bibliothek mit zwei Beispieldemos (Feder- und Pendelschwingung)
- Manuelle und automatische Objektverfolgung mit Lupenfunktion zur genaueren Objektmarkierung
- Simultane Verfolgung mehrerer Objekte in einem Video
- Anpassbare Positionierung eines zweidimensionalen kartesischen Koordinatensystems
- Automatische Erstellung von Stroboskopabbildungen und Trajektorien

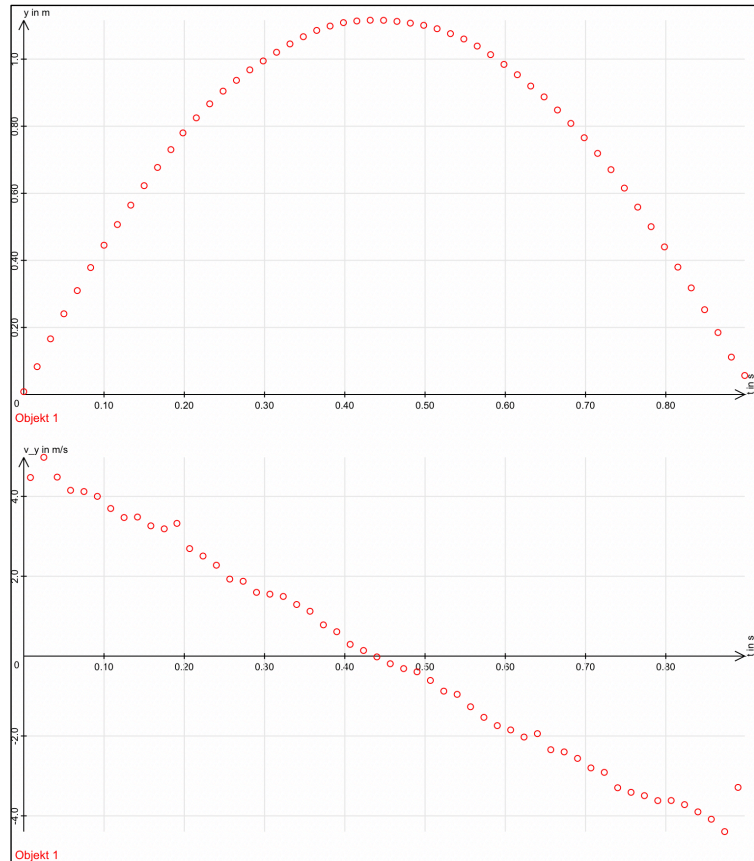
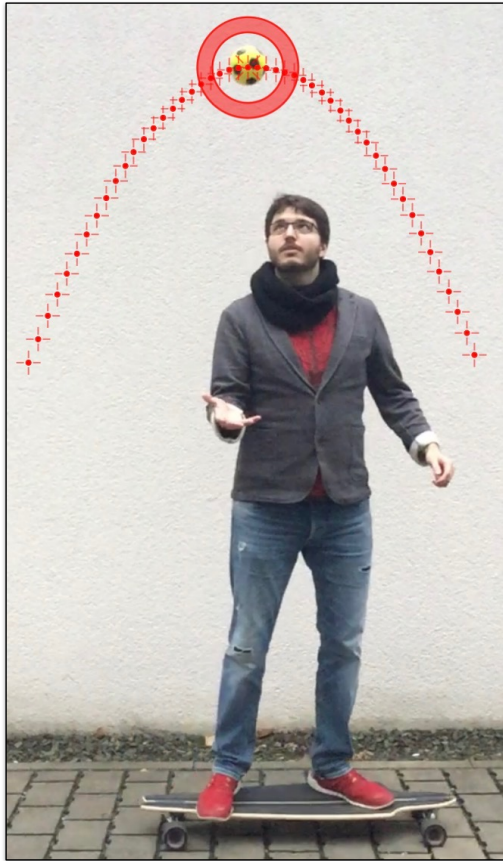


Abbildung 1: Bildschirmaufnahmen der Applikation Viana: Stroboskopabbildung (links) und Zeit-Position- sowie Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm entlang der y-Achse (rechts)

- Automatische Erstellung von Zeit-Position- und Zeit-Geschwindigkeit-Diagrammen in Richtung der Koordinatenachsen
- Export der Messdaten als CSV-Datei

Über die beschriebenen Funktionen hinaus bietet die Videoanalyse-Applikation jedoch keinerlei Möglichkeiten zur weiteren Analyse der Messwerte ohne diese zu exportieren. Insbesondere können somit keine Ausgleichskurven erstellt werden, um aus den generierten Messwerten den mathematischen Zusammenhang zwischen physikalischen Größen und so letztlich physikalische Gesetzmäßigkeiten zu erschließen. Dieses methodische Defizit kann durch den Einsatz der im Weiteren beschriebenen Datenanalyse-Applikation behoben werden.

2.2. Die Datenanalyse-Applikation Graphical

Graphical ist ein Produkt von „Vernier Software and Technology“ und ist sowohl auf iOS- als auch Android-Geräten einsetzbar und zudem kostenfrei erhältlich [3]. Importierte Messdaten können als Tabelle, Diagramm oder Kombination von beiden dargestellt werden. Für die Generierung einer Ausgleichskurve wird der relevante Bereich im Diagramm mit einer Fingergeste markiert und der Funktionstyp (proportional, linear, quadratisch, etc.) ausgewählt. Die Applikation erstellt daraufhin automatisch die Ausgleichskurve mit bestmöglicher Passung an die vorliegenden Daten. Ausgegeben werden

die entsprechenden Funktionsparameter und ein Maß zur Beurteilung der Güte der Anpassung (Root Mean Square Error, Quadratwurzel aus der mittleren quadratischen Abweichung).

3. Beispielhafte Unterrichtssequenz zur Implementation in den Regelunterricht

Im Folgenden wird eine Unterrichtssequenz beschrieben, die aufzeigt, wie die mobile Videoanalyse als digitales Lernwerkzeug in den Physikunterricht integriert werden kann. Die in Kooperation mit Lehrkräften mit mehrjähriger Berufserfahrung entwickelte Sequenz fokussiert auf das für den Mechanikunterricht essenzielle Themengebiet der gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Die positive Lernwirkung einer solchen digital-gestützten Sequenz im Vergleich zu einer Unterrichtssequenz basierend auf traditionellen Experimentiermethoden konnte in einer quasi-experimentellen Feldstudie empirisch nachgewiesen [4] und in einer Replikationsstudie [5] verifiziert werden. Im Speziellen wirkte sich der Einsatz der mobilen Endgeräte positiv auf die Förderung von physikalischem Konzeptverständnis aus. Die Sequenz besteht insgesamt aus sechs Unterrichtsstunden und ist in eine vier Unterrichtsstunden umfassende Experimentier- und eine darauffolgende, zwei Unterrichtsstunden umfassende Übungsphase untergliedert. In der Experimentierphase führen die Schülerinnen und Schüler Versuche kollaborativ in Kleingruppen durch. Für den äußerst kostengünstigen Experimentaufbau (ca. 5 € pro Experimentiersatz) werden

einzig ein Aluminium-Profil, ein Gummifuß und eine Stahlkugel benötigt. Durch den Gummifuß wird eine leichte Neigung des Aluminiumprofils erreicht, so dass die Kugel beim Hinunterrollen bzw. Hinaufrollen positiv bzw. negativ beschleunigt wird. Die Experimentierphase inkludiert die Durchführung und Auswertung von zwei Experimenten. Zunächst wird ein Video von der hinunterrollenden Kugel aufgenommen und mittels der Videoanalyse-Applikation analysiert (siehe Abbildung 2). Die auf diese Weise generierten Messwerte werden anschließend in die Datenanalyse-Applikation exportiert, um für die zeitabhängigen Positions- und Geschwindigkeitsmesswerte passende Ausgleichskurven zu erstellen. Aus den zugehörigen Funktionsgleichungen können die Schülerinnen und Schüler dann in einem nächsten Schritt auf die physikalischen Gesetzmäßigkeiten bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung schließen. Eine Möglichkeit zur weiteren Vertiefung besteht an dieser Stelle in einer experimentellen Untersuchung der Abhängigkeit der auf die Kugel wirkenden Beschleunigung von dem Neigungswinkel des Aluminiumprofils. In der nun anschließenden Experimentierphase wird der Fokus auf die physikalische Beschreibung einer langsamer werdenden Bewegung gelegt. Dazu nehmen die Schülerinnen und Schüler ein Video einer hinaufrollenden Kugel auf. Wie zuvor auch, wird das Video mit der Videoanalyse-Applikation zunächst ausgewertet und anschließend die Messwerte in die Datenanalyse-Applikation exportiert. Auch an dieser Stelle bietet sich die experimentelle Untersuchung der Abhängigkeit der Beschleunigung vom

Neigungswinkel des Aluminiumprofils zur Vertiefung an. In einer abschließenden Sicherungsphase werden die Zeit-Position- und Zeit-Geschwindigkeit-Diagramme für die schneller und langsamer werdende Kugel sowie die daraus abgeleiteten physikalischen Gesetzmäßigkeiten einander gegenübergestellt und Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede diskutiert.

Zusammenfassend können Schülerinnen und Schüler auf die vorgestellte Weise die physikalischen Zusammenhänge bei gleichmäßig beschleunigten Bewegungen mit Schneller- und Langsamerwerden an einem kostengünstigen Experimentaufbau in Kleingruppen untersuchen und die zugehörigen physikalischen Gesetzmäßigkeiten mit einem hohen Maß an Eigenständigkeit experimentell erschließen. Zur Veranschaulichung der Aufgabenstellungen ist in Abbildung 2 eine beispielhafte Lernaufgabe für die Experimentierphase dargestellt.

In einer der Experimentierphase nachfolgenden, lernkonsolidierenden Übungsphase festigen und vertiefen die Schülerinnen und Schüler ihre in der Experimentierphase erworbenen Kenntnisse und Fähigkeiten durch die Bearbeitung von Übungsaufgaben. Grundlage dieser Aufgaben sind vorgefertigte Videos von beschleunigten Bewegungen, welche die Lernenden eigenständig mittels der Videoanalyse-Applikation analysieren (siehe Abbildung 3).

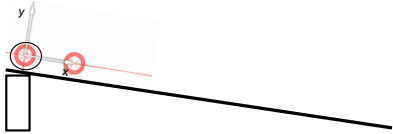
Teil 1: Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung

1. Aufgabe: Video aufnehmen

- Klebe den Plastikfuß an das äußerste Ende der Schiene (Unterseite)
- Lasse die Metallkugel die gesamte Aluminium-Schiene hinunterrollen
- Denke an einen Maßstab bzw. nutze die Länge der Schiene (1m)
- Lasse die Kugel im Video von links nach rechts rollen
- Filme mit **30 fps**
- Gebe dem Projekt den Namen „gleichmäßig beschleunigte Bewegung“

2. Aufgabe: Video zur Analyse vorbereiten

- Schneide das Video so, dass nur Anfang und Ende der Bewegung zu sehen ist
- Lege den Maßstab fest (Achte auf eine Eingabe in m)
- Lege das Koordinatensystem folgendermaßen fest:
 - ➡ Koordinatensprung in die Kugelmittle am Startpunkt (siehe Abbildung)
 - ➡ x-Achse in Richtung der Schiene (siehe Abbildung)



3. Aufgabe: Video analysieren

- Führe zunächst eine **manuelle Erfassung** aus, d.h. tippe auf „Manuelle Erfassung“ und ...
 - ➡ Beginne mit dem ersten Bild und markiere die Mitte der Kugel mit dem Fadenkreuz
 - ➡ Bestimme die erste Position, indem du auf den Bildschirm tippst (Bild 1)
 - ➡ Bewege den Schieberegler zum Bild 16 und markiere die neue Position
 - ➡ Wiederhole dies für die Bilder 31, 46, 61, ...
 - ➡ Der **Zeitabstand** der Positionen beträgt dann immer **0,5 Sekunden ($\Delta t = 0,5s$)**

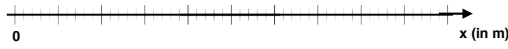
Teil 1: Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung

3.1 Zeichne in unterschiedlichen Farben in die folgende Abbildung die Bewegungsrichtung der Kugel und die Wirkrichtung der Beschleunigung ein.



3.2 Stroboskopabbildung:

- Nutze die Darstellung der Positionen der manuellen Erfassung über dem Maßstab im Video
- Markiere damit die Positionen im **zeitlichen Abstand von je 0,5 s** über dem folgenden Maßstab und kennzeichne die Positionen mit 1,2,3, ...



Frage: In welcher Hinsicht unterscheidet sich die Stroboskopabbildung von der Stroboskopabbildung einer gleichförmigen Bewegung?



Abbildung 2: Beispielhafte Lernaufgabe für die Experimentierphase der Unterrichtssequenz

Die beschleunigte Bewegung - Übungsaufgaben

Arbeitsblatt Video Auto 09 (Beschleunigte Bewegung entgegen der Koordinatenachse)

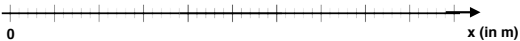
Lege das Koordinatensystem für diese Aufgabe wie folgt:



1. Tabelle: Runde die Werte auf **zwei Nachkommastellen**

Zeit t (in s)	0	0,20				
Ort x (in m)						
Geschwindigkeit v (in m/s)						

2. Stroboskopabbildung: Ergänze die Stroboskopabbildung mit den Positionen des Autos im zeitlichen Abstand von 0,20 s



3. Zeit-Ort-Diagramm:

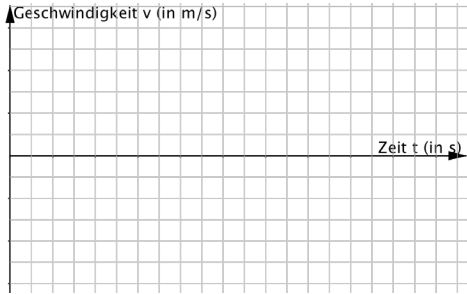
- Übertrage zunächst die Werte der Tabelle
- Zeichne anschließend eine passende Ausgleichskurve ein



Die beschleunigte Bewegung - Übungsaufgaben

4. Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm:

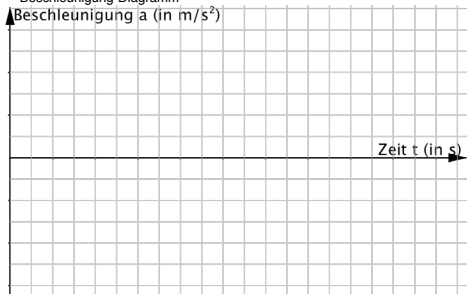
- Übertrage zunächst die Werte der Tabelle
- Zeichne anschließend eine passende Ausgleichsgerade ein
- Bestimme mit Hilfe der Ausgleichsgeraden die Beschleunigung des Autos



→ $a_{\text{Auto}} =$

5. Zeit-Beschleunigung-Diagramm:

- Vervollständige auf Grundlage deines Ergebnisses aus Aufgabe 4 das folgende Zeit-Beschleunigung-Diagramm



6. Formeln: Ergänze ... $a =$ _____, $v(t) =$ _____, $x(t) =$ _____

Abbildung 3: Beispielhafte Lernaufgabe für die Übungsphase der Unterrichtssequenz

4. Freihandversuch zum Thema Fallbewegung mit Luftreibung

Vorgestellt wird ein Freihandversuch zur experimentellen Untersuchung des Einflusses der Luftreibung auf die Fallbewegung mittels mobiler Videoanalyse [6]. Neben dem digitalen Lernwerkzeug sind dafür lediglich kostengünstige Muffinbackformen notwendig. Durch diesen Versuch lässt sich der Einfluss der Luftreibung auf die Fallbewegung eines Körpers im Schwerfeld der Erde untersuchen. Im Speziellen können sich Schülerinnen und Schüler durch den Vergleich mit den Bewegungsdiagrammen eines freien Falls den Einfluss der Luftreibung auf die Fallbewegung leicht qualitativ erschließen.

4.1 Theoretischer Hintergrund

Für typische Fallexperimente unter Laborbedingungen kann eine große Reynoldszahl von $R \gg 1$ angenommen werden. In diesem Fall ist die Luftreibungskraft proportional zum Quadrat der Fallgeschwindigkeit v des Objekts und es gilt die Formel

$$F_R = \frac{1}{2} c_W \rho_L A v^2$$

Dabei steht ρ_L für die Dichte der Luft, A für die Projektionsfläche des fallenden Objekts in Richtung der Luftreibungskraft und c_W für den Strömungswiderstandskoeffizient. Sind die Luftreibungskraft und die Gravitationskraft vom Betrag her gleich groß, so ist das fallende Objekt im Kräftegleichgewicht

und das Objekt hat seine stationäre Endgeschwindigkeit erreicht. Eine Formel für diese Geschwindigkeit kann über einen Kräfteansatz hergeleitet werden und führt auf

$$v_e = \sqrt{\frac{2mg}{c_W \rho_L A}}$$

wobei m die Masse des fallenden Objekts bezeichnet. Diese Formel kann nach dem Strömungswiderstandskoeffizient aufgelöst werden:

$$c_W = \frac{2mg}{\rho_L A v^2}$$

4.2 Durchführung

Die Muffinbackform wird aus der Hand fallen gelassen, während der Bewegungsvorgang senkrecht zur Bewegungsebene in ausreichender Entfernung (ca. 3 m) mit dem Tablet-PC gefilmt wird. Aufgrund der bei schnelleren Bewegungen auftretenden Bewegungsunschärfe ist dabei eine Bildwiederholungsrate von mindestens 60 Bildern pro Sekunde zu empfehlen. Direkt anschließend kann das Video mittels der Videoanalyse-Applikation ausgewertet werden.

4.3 Auswertung

Aus dem Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm ist direkt ersichtlich, dass die Fallgeschwindigkeit im Gegensatz zu einem freien Fall gegen eine Endgeschwindigkeit konvergiert (siehe Abbildung 4).

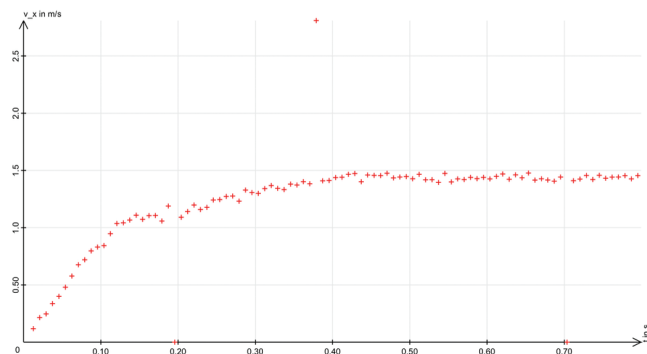


Abbildung 4: Bildschirmaufnahme des Zeit-Geschwindigkeit-Diagramms für die fallende Muffinbackform

Der Wert der Endgeschwindigkeit lässt sich aus den zeitabhängigen Positionsdaten mit hoher Genauigkeit ermitteln. Dazu werden die Positionsdaten in die Datenanalyse-Applikation Graphical exportiert und die Geschwindigkeit als Steigung der Ausgleichsgeraden ermittelt (siehe Abbildung 5).

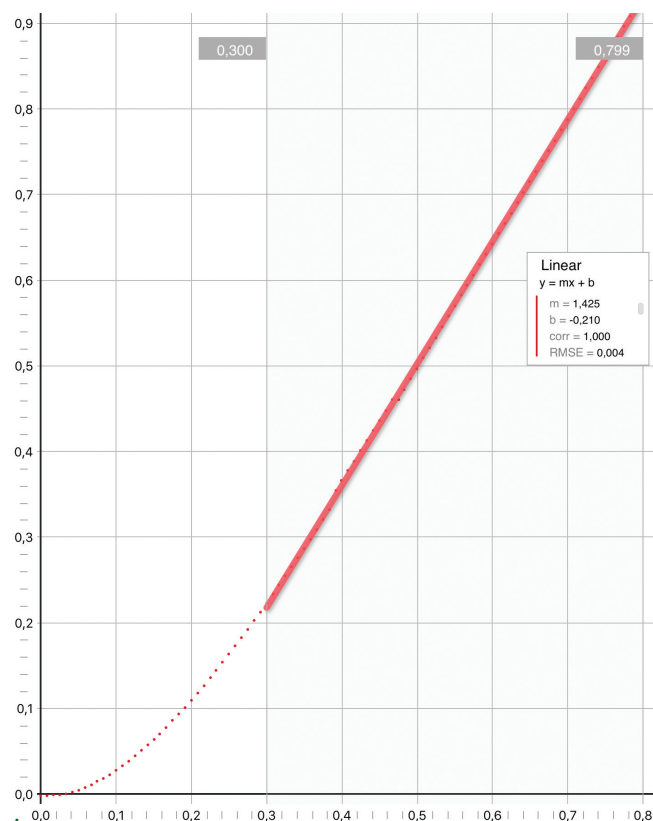


Abbildung 5: Bildschirmaufnahme einer linearen Regressionsanalyse zur Bestimmung der stationären Endgeschwindigkeit

Aus dem Ergebnis der Regressionsanalyse lässt sich zudem ein experimenteller Wert für den Strömungswiderstandskoeffizient c_W der Muffinbackform bestimmen. Für eine Muffinbackform der Masse $m = 0,34 \text{ g}$ und Projektionsfläche $A = 44,18 \text{ cm}^2$ sowie einer experimentell ermittelten stationären Endgesch-

wwindigkeit von $1,43 \text{ m/s}$ kann auf diese Weise ein Strömungswiderstandskoeffizient von $c_W = 0,59$ ermittelt werden. Es kann nun die Frage aufgeworfen werden, welchen Einfluss die Masse eines Objekts auf seine Endgeschwindigkeit hat. Will man dies experimentell untersuchen, so ist das Prinzip der Variablenkontrolle zu beachten, das heißt, nur die Masse ist (systematisch) zu variieren und alle anderen variablen Größen wie beispielsweise die Oberfläche des Objekts sind konstant zu halten. Dies kann trickreich dadurch erreicht werden, dass durch Ineinanderstecken von zwei, drei, vier, ... Muffinbackformen die Masse verdoppelt, verdreifacht, vervierfacht, ... werden kann, ohne eben andere Größen zu verändern. Man sieht, je größer die Masse, desto größer ist die Endgeschwindigkeit. Trägt man das Quadrat der auf diese Weise experimentell ermittelten stationären Endgeschwindigkeit gegen die Masse mithilfe der Datenanalyse-Applikation Graphical auf, so lässt sich sogar der funktionale Zusammenhang anhand der passenden proportionalen Ausgleichskurve im m - v^2 -Diagramm erkennen (siehe Abbildung 6).

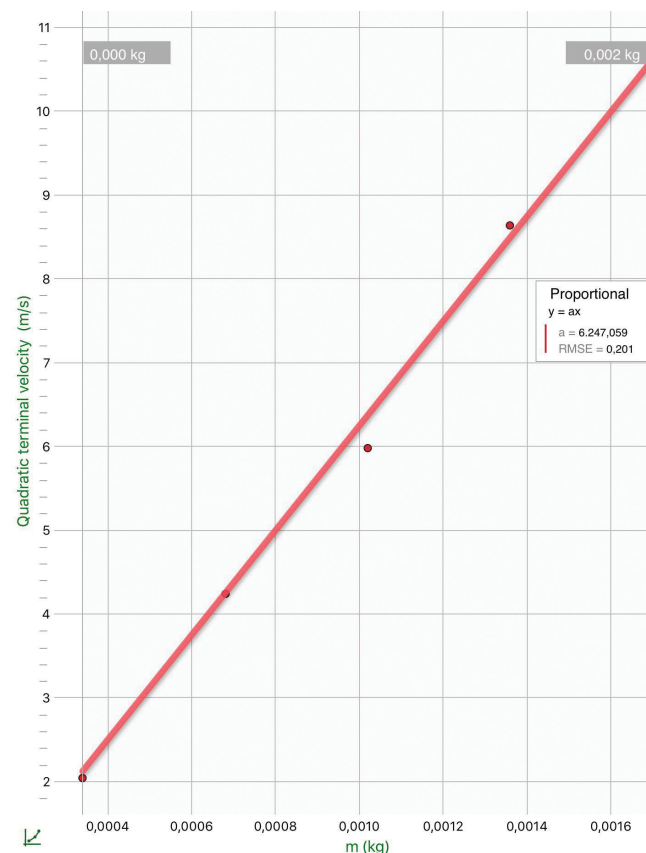


Abbildung 6: Bildschirmaufnahme einer proportionalen Ausgleichskurve im m - v^2 -Diagramm

Zusammenfassend kann man feststellen, dass in diesem Einsatzszenario die mobile Videoanalyse ermöglicht, Luftreibungseffekte experimentell zu untersuchen. Dadurch können Lernende zum einen das asymptotische Verhalten der Fallgeschwindigkeit im Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm erkennen und zum anderen die stationäre Endgeschwindigkeit sowie den Strömungswiderstandskoeffizienten experimentell ermitteln. Mithilfe ineinander gestapelter Muffinbackformen

kann zudem der funktionale Zusammenhang zwischen Masse und Fallgeschwindigkeit erschlossen werden.

5. Der magnetische Linearbeschleuniger

Im Folgenden wird gezeigt, wie sich kostengünstig ein magnetischer Linearbeschleuniger, auch Gaußkanone genannt, realisieren lässt [7] und mittels mobiler Videoanalyse experimentell untersucht werden kann [8]. Lässt man eine einzelne Stahlkugel auf eine Reihe von weiteren identischen Stahlkugeln prallen, wird nach dem Stoß genau eine Kugel am gegenüberliegenden Ende abgestoßen. Im Falle eines völlig elastischen Stoßes und unter Vernachlässigung von Reibungseffekten entspricht die Geschwindigkeit der abgestoßenen Kugel der Geschwindigkeit der stoßenden. Tauscht man jedoch die erste Kugel der ruhenden Reihe gegen eine magnetische Kugel gleichen Volumens aus, so hat die abgestoßene Kugel überraschender Weise eine weitaus höhere Geschwindigkeit als die stoßende. Vor dem Hintergrund des Energie- und Impulserhaltungssatzes kann dieses Phänomen dazu dienen, bei Lernenden einen kognitiven Konflikt und damit intrinsische Motivation zur Aufklärung der physikalischen Zusammenhänge des Phänomens zu erzeugen.

5.1 Theoretischer Hintergrund

Das Magnetfeld einer homogen magnetisierten Kugel kann als magnetisches Dipolfeld angesehen werden. Sobald die unmagnetisierte Kugel in den Wirkungsbereich dieses Feldes gelangt, kommt es zu einer Magnetisierung der Kugel. Die Kraftwirkung auf die magnetisierte Kugel resultiert damit aus der Wechselwirkung zwischen einem permanenten und einem induzierten magnetischen Dipol wie folgt

$$F_M(d) \approx \frac{6\mu_0 R^3 M_0^2}{\pi d^7}$$

Dabei bezeichnet R den Radius der magnetisierten Kugel, M_0 den Betrag der Permanentmagnetisierung und d den Abstand vom Zentrum der magnetischen Kugel. Aus der Formel wird ersichtlich, dass der größte Teil der Beschleunigung in unmittelbarer Nähe der magnetischen Kugel auftritt ($F_M \sim d^{-7}$). Aus diesem Grund wird der Großteil der magnetischen Energie in Translationsenergie umgewandelt und die Rotation der magnetisierten Kugel kann vernachlässigt werden. Nach dem Einschlag wird die kinetische Energie der stoßenden Kugel durch die Kugelreihe weitergeleitet. Sobald die Energie auf die von der magnetischen Kugel am weitesten entfernte Kugel übertragen wurde, bewegt sich diese Kugel weiter. Da die Anziehungskraft der magnetischen Kugel aufgrund des größeren Abstandes nun geringer ist, verlässt die Kugel den Einflussbereich des Magnetfeldes mit einer höheren kinetischen Energie als die ursprünglich ankommende Kugel. Für die Geschwindigkeit der abgestoßenen Kugel lässt sich folgende Formel angeben

$$v = \sqrt{2(\eta_0 - 3 \cdot 0,024) \frac{\pi R^3 B_r^2}{36\mu_0 m}}$$

Dabei bezeichnet R den Radius der magnetischen Kugel, B_r deren Remanenz, η_0 den Quotienten aus kinetischer Energie der abgestoßenen Kugel und kinetischer Energie der stoßenden Kugel bei einer Reihe aus unmagnetisierten Stahlkugeln und μ_0 die magnetische Feldkonstante.

5.2 Durchführung

Um Reibungsverluste zu minimieren, rollen die Kugeln auf einem Aluminiumprofil. Um einen Rückstoß zu vermeiden, wird die magnetische Kugel mittels Kitt an dem Profil befestigt. Zwei Stahlkugeln werden an die magnetische Kugel angelegt und bilden mit der magnetischen Kugel die Kugelreihe (siehe Abbildung 7). Eine weitere Stahlkugel wird an die magnetische Stahlkugel herangeführt und losgelassen, sobald sie von der Kraftwirkung des Magnetfeldes beschleunigt wird. Der Geschwindigkeitsverlauf von stoßender und abgestoßener Kugel wird dabei mittels mobiler Videoanalyse experimentell ermittelt. Um eine Bewegungsunschärfe in der Videoaufnahme zu vermeiden, ist eine Aufnahmezeit von mindestens 60, besser noch 120 Bildern pro Sekunde zu empfehlen.

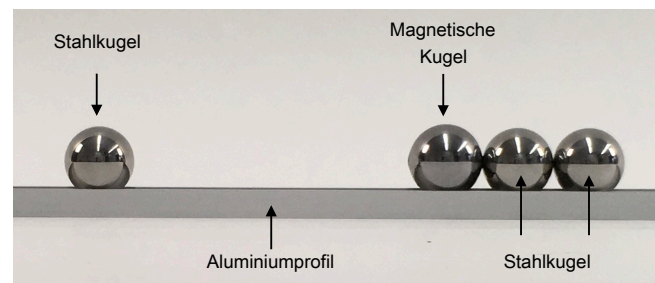


Abbildung 7: Foto des Experimentaufbaus

5.3 Auswertung

Abbildung 8 zeigt die Bildschirmaufnahme des Zeit-Geschwindigkeit-Diagramms. Es ist deutlich erkennbar, dass die Stahlkugel im Magnetfeld beschleunigt wird und die abgestoßene Kugel eine höhere Geschwindigkeit besitzt als die stoßende. Ein experimenteller Wert für die Geschwindigkeit der abgestoßenen Kugel kann aus den zeitabhängigen Positionsdaten mittels einer Regressionsanalyse ermittelt werden. Dazu können die Messdaten in die Applikation Graphical exportiert werden. Auf diese Weise konnte ein experimenteller Wert für die Geschwindigkeit der abgestoßenen Kugel von $v_{exp} = 2,31$ m/s ermittelt. Setzt man folgende Werte in obige Formel für die Geschwindigkeit der abgestoßenen Kugel ein: $R = 0,013$ m, $B_r = 1,22$ T, $\eta_0 = 0,95$, $m = 0,065$ kg, so lässt sich der Theoriewert für die Geschwindigkeit berechnen zu $v_{theo} = 2,48$ m/s. Der Vergleich der beiden Werte ergibt eine relative Abweichung von 7,4 %. Eine mögliche Erklärung für den kleineren experimentellen Wert als theoretisch erwartet liegt in Reibungseffekten, die in dem zugrunde liegenden theoretischen Modell nicht berücksichtigt werden.

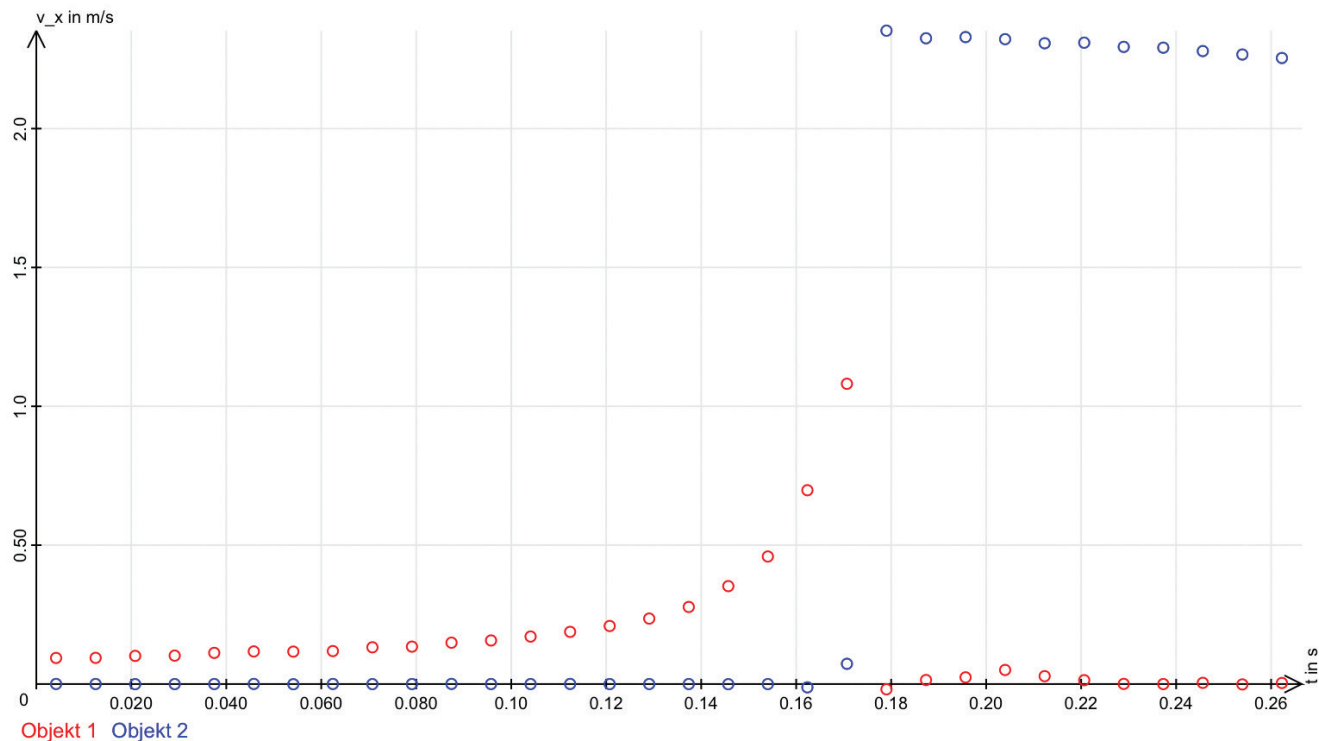


Abbildung 8: Bildschirmaufnahme des mit der Videoanalyse-Applikation erstellten Geschwindigkeitsprofils für die stoßende Kugel (rot) und die abgestoßene Kugel (blau)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich durch den dargestellten Experimentaufbau kostengünstig ein magnetischer Linearbeschleuniger realisieren lässt. Dieser kann genutzt werden, um eine vertiefte Auseinandersetzung der Lernenden mit Energie- und Impulserhaltungssatz durch die Erzeugung eines kognitiven Konflikts zu motivieren. Mittels mobiler Videoanalyse kann dazu der Geschwindigkeitsverlauf von stoßender und abgestoßener Kugel simultan experimentell bestimmt werden.

6. Empirische Ergebnisse zur Lernwirksamkeit der mobilen Videoanalyse

Der Einsatz eines Tablet-PCs mit einer speziell für den Physikunterricht entwickelten Videoanalyse-Applikation als digitales Werkzeug ermöglicht es Schülerinnen und Schülern, Messdaten eines Bewegungsvorgangs berührungslos und völlig mobil zu erfassen und in unterschiedlichen Repräsentationsformen auf ein und demselben mobilen Endgerät zu visualisieren. Den Lernenden werden somit verschiedene Darstellungsformen, auch Multiple Externe Repräsentationsformen (MER) genannt, zur physikalischen Interpretation der Messdaten zur Verfügung gestellt. Die Darstellung von für den Lernprozess relevanten Informationen in multiplen Repräsentationsformen wird für das Lernen in den Naturwissenschaften eine lernförderliche Wirkung zugeschrieben, im Besonderen auch für Physik. Dem kompetenten Umgang mit MER wird sogar eine Schlüsselrolle für das erfolgreiche Lernen von Physik zugeschrieben. Der große Vorteil der mobilen Videoanalyse liegt diesbezüglich vor allem in der automatischen, in kurzer Zeit erfolgenden

Generierung von MER wie Stroboskopabbildung und Bewegungsdiagramme. Rekurrend auf den konzeptionellen DeFT Orientierungsrahmen von Ainsworth [9] zum lernwirksamen Einsatz von MER erfüllt die mobile Videoanalyse drei Schlüsselfunktionen um den Lernprozess zu unterstützen:

1. Mit Stroboskopabbildungen und Bewegungsdiagrammen werden den Lernenden Repräsentationsformen präsentiert, welche komplementäre Informationen zu ein und demselben Bewegungsvorgang bereitstellen.
2. Die Darstellung von Bewegungsdiagrammen, mit denen Lernende bereits vertraut sind, gemeinsam mit Stroboskopabbildungen, mit denen Lernende weniger vertraut sind, kann die Interpretation der weniger vertrauten Repräsentationsform fördern.
3. Die Lernenden erhalten durch die unterschiedlichen Repräsentationsformen Zugang zu Informationen, die mit nur einer einzelnen Repräsentationsform nicht dargestellt werden könnten.

Darüber hinaus ermöglicht die Videoanalyse-Applikation den Lernenden, zwischen den verschiedenen Repräsentationen mittels einer Wischbewegung quasi-simultan – zu verstehen als ohne merkliche Zeitverzögerung – nach Belieben zu wechseln. Die Gleichzeitigkeit („zeitliche Kontiguität“) unterschiedlicher Repräsentationsformen trägt dazu bei, dass Lernende die unterschiedlichen Informationsquellen besser zu einem mentalen Modell integrieren können (zeitliches Kontiguitätsprinzip). Darüber hinaus werden Zeit-Position- und Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm gemeinsam dargestellt. Durch diese räumliche Integration werden visuelle Suchprozesse vermieden und dadurch die kognitive

Belastung reduziert (räumliches Kontiguitätsprinzip). Unter der Voraussetzung, dass die Lernenden bereits mit der Aufnahme von Messwerten und deren Darstellung in Diagrammen vertraut sind, werden durch die automatische Generierung der Bewegungsdiagramme zudem redundante Tätigkeiten der Lernenden vermieden, die zwar Lernzeit kosten, jedoch zu keinem Lernzuwachs führen. Werden diese Tätigkeiten von dem digitalen Lernwerkzeug übernommen, so wird basierend auf der Cognitive Load Theory (CLT) [10] die lernirrelevante kognitive Belastung reduziert, so dass den Lernenden neben mehr Zeit auch mehr kognitive Ressourcen zur Verfügung stehen, um die physikalischen Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten zu erfassen und somit aktiv Wissen zu konstruieren. Ein weiterer Vorteil liegt in der Darstellung des Bewegungsprozesses in einer Stroboskopabbildung, welche dem Realbild überblendet dargestellt wird. Eine solche Form der Repräsentation kann von Schülerinnen und Schülern im regulären Unterricht nur, wenn überhaupt, unter sehr großem Aufwand angefertigt werden.

Die positive Lernwirkung dieses Werkzeugs zur Analyse von Bewegungsvorgängen ließ sich im schulischen Einsatzszenario in quasi-experimentellen Feldstudien bestätigen. Insbesondere zeigte sich eine positive Wirkung auf das physikalische Konzeptverständnis der Lernenden durch den Einsatz der mobilen Endgeräte im Vergleich zu traditionellen Experimentiermethoden mit replizierten mittelgroßen Effektstärken und einer signifikanten Reduktion lernirrelevanter kognitiver Belastung (Effektstärken d zwischen 0,30 und 0,90 für verschiedene Inhalte und Lernphasen, mit den größten Effekten für die anspruchsvollsten Inhalte) [4, 5]. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass Schülerinnen und Schüler, welche mit dem digitalen Lernwerkzeug experimentierten, mehr positive und weniger negative Emotionen während des Lernprozesses ausbildeten. An den Untersuchungen waren insgesamt mehr als 500 Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe beteiligt. Mehr als 30 Lehrkräfte begleiteten den durch Arbeitsblätter und zu Verfügung gestelltes Experimentiermaterial standardisierten

Unterricht. Die Inhalte umfassten curricular valide Themen der klassischen Mechanik in der gymnasialen Oberstufe (gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegung).

7. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend konnte so der empirische Nachweis erbracht werden, dass der Einsatz der mobilen Videoanalyse im regulären Schulunterricht positiv auf den Lernprozess wirkt, was das Potenzial dieses digitalen Lernwerkzeugs für eine evidenzbasierte, nachhaltige Implementation in den Schulunterricht belegt. Auch wenn die bisherigen Ergebnisse ermutigende Hinweise geben, bleiben noch viele Fragen offen: Lässt die positive Wirkung des Einsatzes des digitalen Mediums mit der Zeit nach? Profitieren Schülerinnen und Schüler gleichermaßen von dem Einsatz dieser Medien als experimentelles Werkzeug? Für welche Lerninhalte sind die Medien besonders gut geeignet? Als sehr erfolgreich hat sich insbesondere bei der Implementation der Fragestellungen in die universitäre Lehre [11] die enge Kooperation mit den Kolleginnen und Kollegen der Fachwissenschaften erwiesen. Es wäre wünschenswert, wenn dieser Verbindung aus Entwicklungsarbeit auf der einen Seite (neue Experimente, Innovation durch K&I Technologie) und empirischer Forschung auf der anderen Seite auch zukünftig und auch an anderen Standorten (Universitäten, Schulen) mehr Raum gegeben wird.

Sebastian Becker AG Didaktik der Physik,
Technische Universität Kaiserslautern

Dr. Alexander Gößling AG Didaktik der Physik,
Technische Universität Kaiserslautern

Michael Thees AG Didaktik der Physik,
Technische Universität Kaiserslautern

Jun.-Prof. Dr. Pascal Klein AG Didaktik der
Physik, Technische Universität Kaiserslautern

Prof. Dr. Jochen Kuhn AG Didaktik der Physik,
Technische Universität Kaiserslautern

Literatur

- [1] Gröber, S., Klein, P. & Kuhn, J. (2014). Video-based problems in introductory mechanics physics courses. *Eur. J. Phys.* 35(5), 055019.
- [2] Die Applikation Viana ist erhältlich unter <https://goo.gl/4RWv8g>.
- [3] Die Applikation Graphical ist erhältlich unter <https://goo.gl/BjNtNg> (iOS) und <https://goo.gl/za5euQ> (Android)
- [4] Becker, S., Klein, P., Gößling, A., & Kuhn, J. (2019a). Förderung von Konzeptverständnis und Repräsentationskompetenz durch Tablet-PC-gestützte Videoanalyse. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 1-24.
- [5] Becker, S., Klein, P., Gößling, A., & Kuhn, J. (2019b). Using Mobile Devices to Augment Inquiry-Based Learning Processes with Multiple Representations. *arXiv preprint, arXiv:1908.11281[physics.ed-ph]*.
- [6] Becker, S., Klein, P. & Kuhn, J. (2016). Video analysis on Tablet Computers to Investigate Effects of Air Resistance. *The Physics Teacher* 54, 440-441
- [7] Ucke, C., & Schlichting, H. (2009). Die magnetische Kanone. *Physik in unserer Zeit*, 40(3), 152-155.
- [8] Becker, S., Thees, M., & Kuhn, J. (2018). The dynamics of the magnetic linear accelerator examined by video motion analysis. *The Physics Teacher*, 56, 484-485.
- [9] Ainsworth, S. (2006). Deft: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198.
- [10] van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177.
- [11] Klein, P., Kuhn, J. & Müller, A. (2018). Förderung von Repräsentationskompetenz und Experimentbezug in den vorlesungsbegleitenden Übungen zur Experimentalphysik - Empirische Untersuchung eines videobasierten Aufgabenformates. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 17-34

Videoanalyse in Echtzeit

Jannis Weber & Thomas Wilhelm

1. Motivation

Die Videoanalyse wird bereits seit einiger Zeit in der physikdidaktischen Forschung untersucht [1] und wird zunehmend im Physikunterricht eingesetzt [2, 3]. Bisherige Forschungsergebnisse konnten u. a. zeigen, dass der Einsatz von Videoanalyse motivierend wirken kann [4] und das Interpretieren von Bewegungsgraphen [5], das Konzeptverständnis zum Bremsvorgang [6], das Verständnis von Vektoren [7] und das konzeptuelle Verständnis bei anspruchsvollen Aufgaben aus der Kinematik [8] verbessern kann.

Es gibt dabei verschiedene Möglichkeiten und Programme, die Videoanalyse gewinnbringend im Unterricht einzusetzen. Dabei ist es unter anderem möglich auf die Nutzung von Desktop-Computern oder Laptops zurückzugreifen, bei denen zunächst ein Video angefertigt, dieses auf den PC überspielt und im Videoanalyseprogramm geöffnet werden muss, bevor die eigentliche Videoanalyse erfolgen kann. Mittlerweile sind allerdings auch Mobilgeräte, wie Smartphones und Tablets, nicht mehr aus dem Alltag der Schülerinnen und Schüler wegzudenken und der Umgang mit ebenjenen Geräten scheint vertrauter als der mit PCs. Smartphones und Tablets sind zudem im Unterricht oft eher verfügbar als Laptops und durch die integrierten und mittlerweile auch leistungsfähigen Kameras entfällt bei der Nutzung dieser Mobilgeräte das Überspielen der Videos, was wertvolle Unterrichtszeit kosten kann. Die Forschung zeigt zudem einen generellen positiven Effekt auf die Lernleistung bei der Nutzung von mobilen digitalen Medien, insbesondere auch bei Tablet-PCs [9].

Die meisten Videoanalyseprogramme für Tablets (z. B. Viana für das iPad [10]) funktionieren so, dass Nutzer ein Video aufnehmen und nach Beenden der Aufnahme die Videoanalyse starten können. Um noch einen Arbeitsschritt zu sparen und die Analyse gleichzeitig intuitiver zu machen, ist es mittlerweile auch möglich, Videoanalyse in Echtzeit zu betreiben. Es muss also kein Video aufgenommen werden. Das Programm analysiert das sich bewegende Objekt, das von der Kamera des Tablets erfasst wird, unmittelbar während der Bewegung und zeigt in Echtzeit verschiedene Messgrößen an. Videoanalyse in Echtzeit kann also spielerisch und ohne technische Hürden in den Unterricht einbezogen werden und verspricht eine Unterstützung insbesondere beim Verständnis von kinematischen Zusammenhängen in der Physik. Die Funktionsweise der Videoanalyse in Echtzeit soll anhand der neuen Software eXperilyser von Cornelsen (Dauerlizenz: 19,90 €) [11] vorgestellt werden.

2. Funktionen der Software eXperilyser

eXperilyser gibt es für Windows- und Android-Betriebssysteme und es besteht aus sieben verschiedenen Modulen. Wenn die App geöffnet wird, muss man sich zunächst für eins der genannten Module entscheiden (Abb. 1). Das Modul „Videoanalyse“ dient zur bekannten Videoanalyse von Bewegungen und wird im weiteren Artikel genauer beleuchtet.

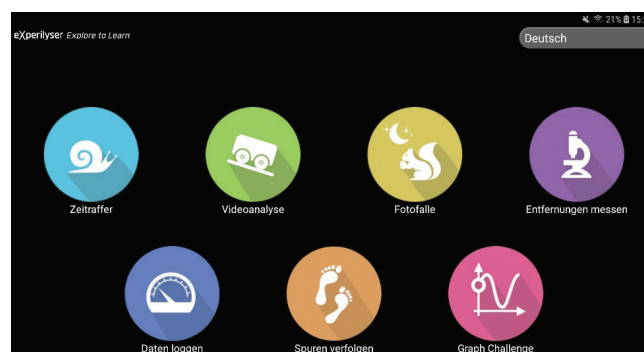


Abbildung 1: Startbildschirm von eXperilyser

Eine andere Art der Nutzung der Videoanalyse bietet das Modul „Daten loggen“. Hier wird die Funktion des Videoanalysealgorithmus genutzt, um die Anzeige von gewöhnlichen Messgeräten zu digitalisieren. Dies ist für Flüssigkeitssäulen, digitale Messwertanzeigen und analoge Zeigerausschläge möglich. Damit ist das Programm auch sinnvoll für Bereiche der Physik außerhalb der Mechanik einsetzbar. Im Abschnitt 2.4 wird ein kurzes Beispiel vorgestellt.

Weitere Möglichkeiten bietet die Software mit dem Modul „Spuren verfolgen“, in dem Bahnkurven von sich bewegenden Objekten sichtbar gemacht werden können, und mit dem Modul „Entfernungen messen“, in dem verschiedene Größen (Längen, Winkel, Flächen) gemessen werden können. Außerdem hat die Software die Funktionen „Fotofalle“ für das Beobachten von seltenen Ereignissen (bspw. dem Vorbeilaufen eines Tiers) und „Zeitraffer“ für die Messung von lange dauernden Prozessen. Als letztes gibt es die sogenannte „Graph Challenge“, in der Schülerinnen und Schüler vorgegebene Graphen durch eigene Bewegungen nachzeichnen können, um diese so besser zu verstehen.

Nach dem Klick auf das Modul „Videoanalyse“ erscheint eine übersichtliche Benutzeroberfläche. Im linken Bereich ist die Kamera sichtbar und im rechten Bereich findet sich Platz für das entstehende Diagramm. Als Hilfe erscheinen zu Beginn Hinweise, die die Funktionsweisen des Programms erklären (Abb. 2).

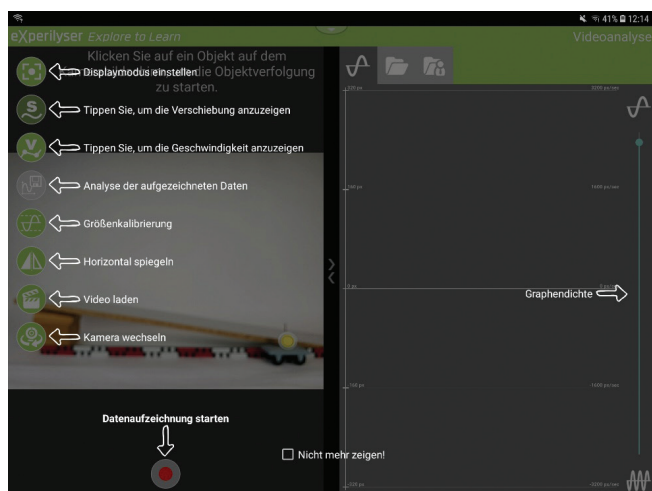


Abbildung 2: Benutzeroberfläche der Videoanalyse mit Hilfen

Beim Displaymodus gibt es die Möglichkeiten *Standardansicht*, *Hintergrund eliminieren*, *verblässende Spur*, *permanente Spur* und *Diagramm auf dem Kamerabildschirm anzeigen*. Zusätzlich sind Buttons für das Anzeigen der Verschiebung und der Geschwindigkeit im danebenstehenden Diagramm vorhanden. Das Anzeigen der Beschleunigung ist in der Echtzeit-Videoanalyse nicht möglich. Ein Klick auf *Analyse der aufgezeichneten Daten* bietet, wenn man eine Sequenz aufgenommen hat, genauere Infos über die Messdaten. Diese Messdaten können dort auch exportiert werden.

Es besteht außerdem die Möglichkeit einer Skalierung. Diese muss allerdings nicht vorgenommen werden und ist, wenn es um den qualitativen Verlauf einer Bewegung geht, auch nicht notwendig. Falls es aber um die quantitative Betrachtung der Bewegung und die anschließende Weiterverarbeitung der Daten gehen soll, ist es wichtig, dass sich ein Maßstab im Bild befindet.

Der Bildschirm kann an der Senkrechten gespiegelt werden und es besteht auch die Möglichkeit, ein vorher angefertigtes Video zu laden. Dieses muss sich allerdings bereits in dem dafür vorgesehenen Dateiordner auf dem Tablet befinden. Zuletzt ist es möglich, auf die Frontkamera umzuschalten.

2. Beispiele

2.1 Pendelschwingung

Ein klassischer Versuch im Schulunterricht der Mechanik ist das Fadenpendel. In dem hier vorgestellten Beispiel wird die Videoanalyse der Schwingung in Echtzeit durchgeführt und die Funktionen des Videoanalyse-Moduls von eXperilyser beleuchtet. Sobald das Pendel mit dem Finger im Videovorschaubild der App berührt wird, beginnt das Programm die Bewegungen des Pendels auszumessen. Dabei passt sich die Schablone selbstständig an die Größe des Objekts an und die Objektverfolgung klappt in der Regel gut. Es gibt aber keine Möglichkeit, Änderungen an dem Algorithmus des Programms vorzunehmen oder den Suchbereich zu begrenzen, um die Objektverfolgung zu optimieren. Sobald sich das

Objekt bewegt, kann man zunächst das Diagramm auf der rechten Seite betrachten, welches in Echtzeit parallel zum ablaufenden Video erscheint. Dabei kann man sich das Orts- und das Geschwindigkeits-Diagramm für jede Komponente der beiden Koordinatenrichtungen anschauen. Man kann sich beliebig viele Graphen von maximal drei verschiedenen Objekten gleichzeitig in einem einzigen Diagramm anzeigen lassen, es ist aber nicht möglich, mehrere Diagramme übereinander oder nebeneinander einzustellen. Die Beschleunigung des Objekts ist an dieser Stelle noch nicht sichtbar (Abb. 3).

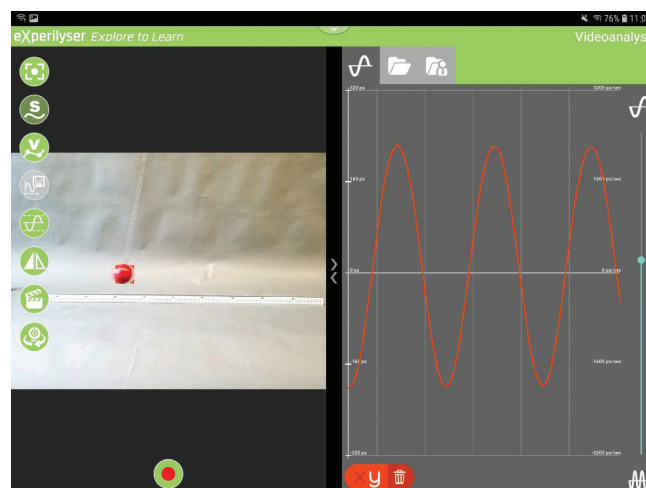


Abbildung 3: Graphenentstehung in Echtzeit: Links das Video mit einem roten Quadrat des erkannten Ortes, rechts ein $x(t)$ -Graph

Um sich ein Diagramm im Nachhinein genauer und in Vollbild anschauen zu können, muss eine Aufnahme vorher bereits durch Klicken auf den roten Punkt gestartet werden. Nun wird das Diagramm bis zum Beenden der Aufnahme durch erneutes Klicken aufgezeichnet. Während der Aufnahme entsteht das Diagramm wieder in Echtzeit neben dem Video. Nach Ende der Aufnahme kann nun der Verlauf der verschiedenen Graphen genauer betrachtet und ein bestimmter Bereich durch Zoomen fokussiert werden. Es ist nun auch möglich, sich die Beschleunigung in beide Koordinatenrichtungen anzuschauen, die auf Basis der gemessenen Werte für den Ort errechnet

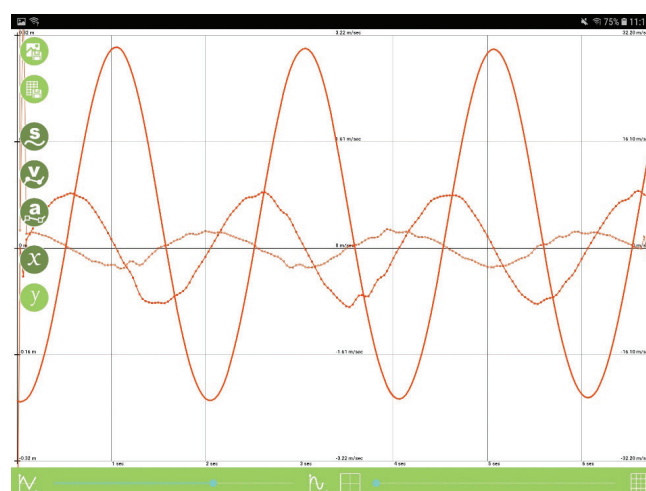


Abbildung 4: x-Komponente von Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung beim Fadenpendel

wurde (Abb. 4). Außerdem können ein Bild des Diagramms und auch die Messdaten des Versuchs als csv-Datei zur Weiterverarbeitung gespeichert werden.

Eine weitere Besonderheit des Programms ist, dass es ebenso möglich ist, den Graphen des Orts oder der Geschwindigkeit in Echtzeit direkt im Video einzubinden (Abb. 5). Dabei wird der Graph an dem sich bewegenden Objekt fixiert und die Zeitachse läuft vom Objekt aus nach links (für die y -Richtung) bzw. nach oben (für die x -Richtung).

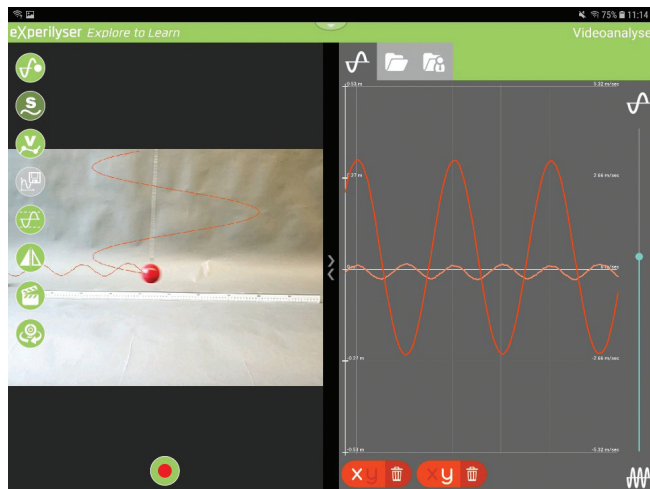


Abbildung 5: Graphen für die Ortskomponenten im Video

Dabei ist anzumerken, dass das Koordinatensystem nicht selbst festgelegt werden kann und der Koordinatenursprung auf die Mitte des Bildschirms gesetzt wird. Dies ist in vielen Fällen eine sinnvolle Festlegung, kann je nach Versuch aber auch ungünstig sein.

Schwingungen sind eine schöne Anwendung für die Echtzeit-Videoanalyse, da die unmittelbare Kopplung von Bewegung und dem zugehörigen Graphen den Lernprozess unterstützen kann und die Videoanalyse bei den langsamen und periodischen Bewegungen gut funktioniert.

2.2 Aufspringender Ball

Bei diesem Versuch haben sich zunächst Schwierigkeiten des Programms gezeigt. Beim Filmen der Fallbewegung eines Objekts aus einer größeren Höhe war es dem Programm zunächst nicht möglich, den Ball zuverlässig zu verfolgen. Ohnehin hat das Programm bei schnelleren Bewegungen gewisse Schwierigkeiten, was zum Teil allerdings auch mit der Qualität und Bildrate der Kameras in gewöhnlichen Tablets zusammenhängen kann (hier wurde ein Samsung Galaxy Tab S3, SM-T820, 2018 verwendet). Möglichkeiten der Verbesserung der Qualität der Videoanalyse sind hier größere Objekte und geringere Fallgeschwindigkeiten. Aufgrund dessen sind die inkludierten Beispielfideos zum Großteil auch in Zeitlupe. Auch bei näherer Positionierung der Kamera war es schwierig, eine zuverlässige Videoanalyse zu erhalten. So werden in Abbildung 6 bei den ersten drei Sprüngen zum Teil

falsche Höhen angegeben; in diesem Beispiel ist der Graph erst nach dem dritten Erreichen des Scheitelpunktes sinnvoll.

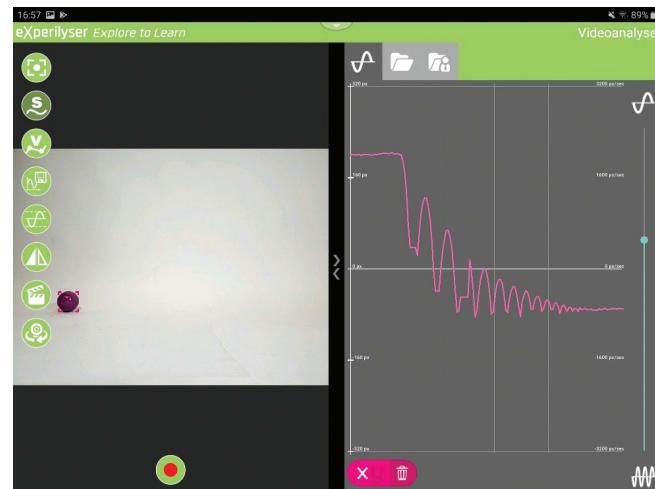


Abbildung 6: Fehlerhafte Videoanalyse vom springenden Ball

Eine Aufnahme der Bewegung erlaubt wieder eine genauere Betrachtung. Die Diagramme werden dabei immer automatisch in der Farbe des verfolgten Objekts gezeichnet, was grundsätzlich sinnvoll ist, aber zum Teil problematisch für die Sichtbarkeit sein kann. Die Farbe lässt sich an dieser Stelle leider auch nicht ändern.

Insgesamt kann man sagen, dass schnelle Bewegungen, wie etwa Versuche zum freien Fall nicht optimal für das Programm geeignet sind, da sie für den verwendeten Videoanalysealgorithmus zu schnell ablaufen und die Objektverfolgung nicht optimal funktioniert. Außerdem zeigen sich die Vorteile der Echtzeit-Videoanalyse hier nicht so deutlich, wie bspw. bei Schwingungen. Eine nähere Betrachtung der Bewegung ist nach Aufnahme von Messdaten aber ebenso möglich (Abb. 7).

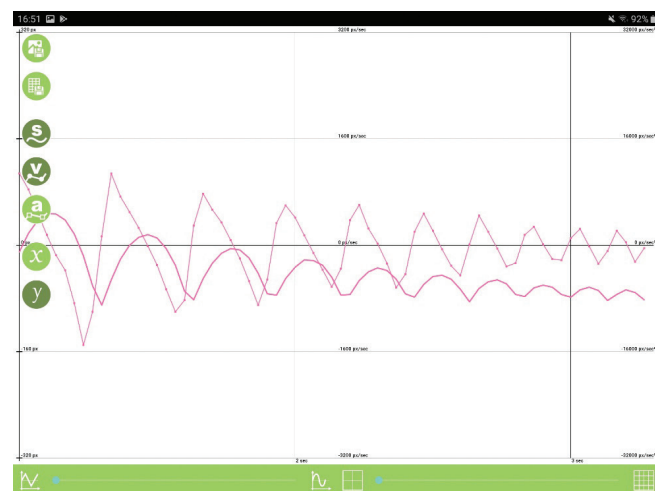


Abbildung 7: $y(t)$ - und $v_y(t)$ -Diagramm einer gelungenen Analyse beim springenden Ball

2.3 Schiefe Ebene

Bei Versuchen zur schiefen Ebene kann man sich zunächst die im Programm enthaltene Messfunktion für Winkel zunutze

machen (Abb. 8). Um den Winkel zu messen, müssen im Modul „Entfernungen messen“ drei Punkte im Bild angeklickt werden, von denen der zweite der Scheitelpunkt des Winkels sein muss. Daraufhin wird der Winkel im Bild eingeblendet und verbleibt dort. Der Winkel kann in diesem Beispiel zur quantitativen Untersuchung der schiefen Ebene genutzt werden. So kann der Zusammenhang zwischen Winkel und Beschleunigung des Wagens untersucht werden. Die Videoanalyse erfolgt daraufhin wie gewohnt.

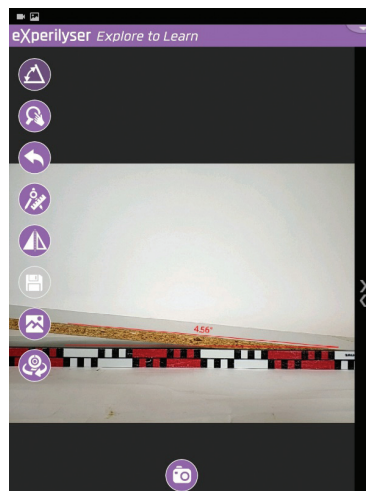


Abbildung 8: Winkelmessung in eXperilyser

Möglich ist es an dieser Stelle auch, die anderen Displayfunktionen der App zu nutzen. Zum einen lässt sich eine verblässende Spur des Objekts im Video anzeigen, um die Bahnkurve des Objekts zu verdeutlichen (Abb. 9). Andererseits lässt sich auch ein Stroboskopbild des gemessenen Bildpunktes anzeigen, wobei das restliche Video ausblendet wird (Abb. 10). Aus den Abständen der Ortsmarken lassen sich Rückschlüsse auf Geschwindigkeiten ziehen. Nach Aufzeichnung der Bewegung ist es dann auch möglich, sich die Beschleunigung anzeigen zu lassen und diese auch quantitativ zu untersuchen.

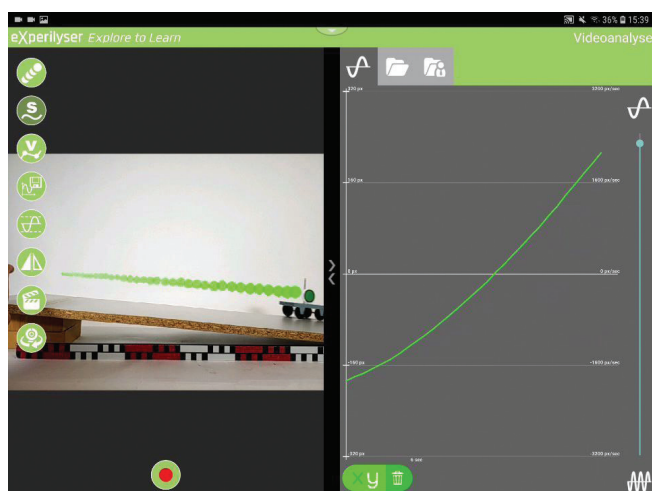


Abbildung 9: Bahnkurve als verblässende Spur und $x(t)$ -Diagramm

Die Möglichkeit, mit der Software Winkel zu messen, kann also die Videoanalyse und die anschließende Auswertung der Daten sinnvoll ergänzen. Die Funktion der Winkelmessung bietet

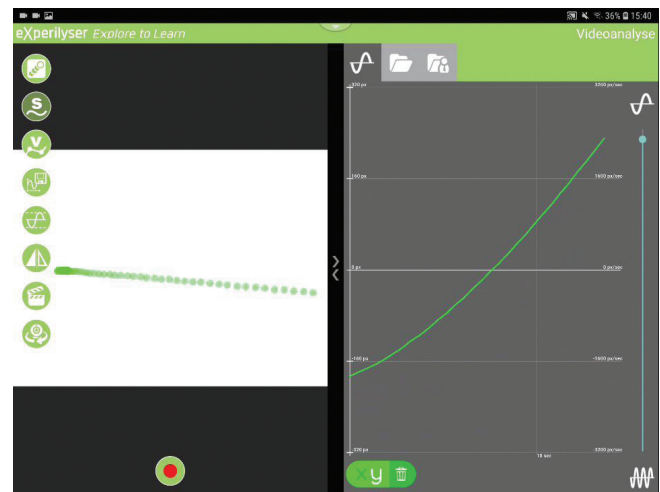


Abbildung 10: Stroboskopbild der Ortspunkte und $x(t)$ -Diagramm

außerdem die Möglichkeit, auch analoge Zeigerinstrumente zu digitalisieren, wie im nächsten Beispiel vorgestellt werden soll.

2.4. Videoanalyse zum Daten Loggen am Beispiel eines Lade- und Entladevorgangs eines Kondensators

eXperilyser bietet die Möglichkeit, Messgeräte mit Hilfe der Kamera auszulesen und die Daten zu loggen und darzustellen. Um die Videoanalyse in Echtzeit für das digitale Erfassen von Messdaten zu nutzen, muss man zunächst das Modul „Daten loggen“ öffnen und daraufhin auswählen, ob man ein digitales oder ein analoges Messgerät (Zeiger oder Flüssigkeitssäule) erfassen möchte.

In diesem Beispiel wurde zunächst mit einem analogen Zeigermessgerät für die Stromstärke gearbeitet, wie es in vielen Physiksammlungen vorhanden ist. Dabei muss der Bereich eingestellt werden indem der Zeiger sich bewegt und der Nutzer muss das Maximum und Minimum der Skala definieren. Man erkennt sofort, ob das Programm den Zeiger erkennt und die richtigen Werte anzeigt, was in der Regel auch sehr gut funktioniert (Abb. 11).

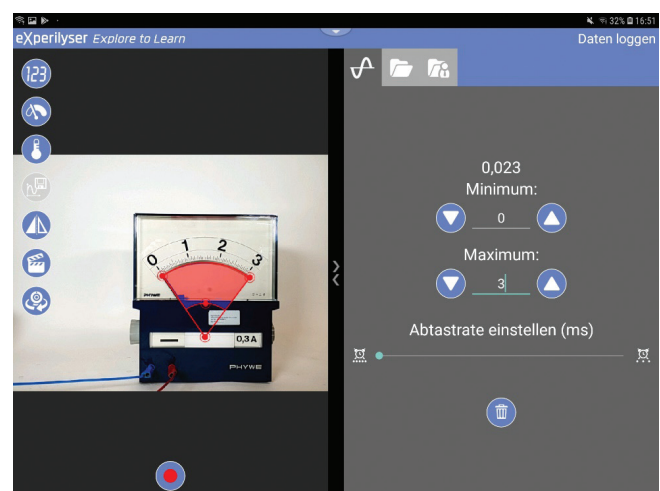


Abbildung 11: Kalibrierung des Moduls Daten loggen

Ähnlich wie in der Videoanalyse kann man nun auch eine Messkurve aufnehmen. Dies soll hier für einen Lade- und Entladevorgang eines Kondensators mit vorgeschaltetem Widerstand vorgestellt werden. Bei dem hier verwendeten Aufbau ist es wichtig, dass die Skala die Nullstellung in der Mitte hat, was sich auch problemlos in der App einstellen lässt, von Seiten des Messgeräts aber ebenfalls möglich sein muss (Abb. 12). Nach Drücken auf den Aufnahmeknopf werden die dargestellten Messwerte aufgenommen und können danach als Graph dargestellt werden (Abb. 13). Die Skalierung des Diagramms ist in diesem Fall nicht veränderbar. Es wird also in jedem Fall die gesamte aufgenommene Zeit dargestellt und die Skalierung der Ordinate ist durch den eingestellten maximalen Messbereich festgelegt.

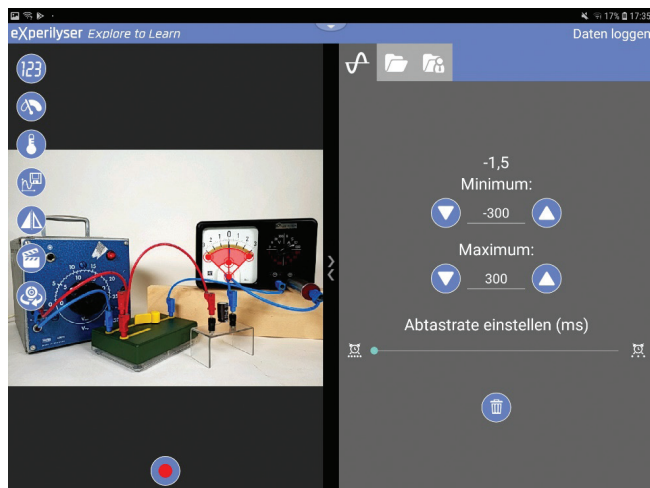


Abbildung 12: Versuchsaufbau RC-Kreis



Abbildung 13: Stromstärke im RC-Kreis

Für den eher ungewöhnlichen Fall, dass man ein digitales Messgerät zur Verfügung hat, bei dem keine Möglichkeit besteht, die aufgenommenen Messdaten in anderer Weise zu digitalisieren, kann man auch hier eXperilyser verwenden (Abb. 14). Zunächst muss hier die richtige Anzahl an Ziffern eingestellt und die sichtbare Schablone über die Ziffern bewegt werden. Es muss außerdem eingestellt werden, wo sich der Dezimalpunkt befindet und in welchem Bereich sich die Werte bewegen. Das Programm ist leider nicht in der Lage,

das Minuszeichen vor der Zahl zu erkennen, wodurch es bei digitalen Messgeräten leider nur möglich ist, den Betrag der Messgröße zu loggen. In vielen Fällen ist nur der positive Bereich von Interesse, in diesem Beispiel ist der negative Bereich aber auch von Relevanz. So kann man sich aber den Ladevorgang des Kondensators detailliert anschauen (Abb. 15).

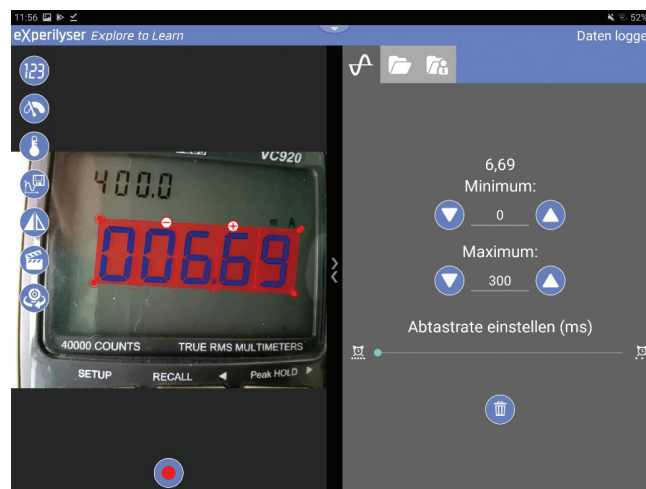


Abbildung 14: Daten loggen am digitalen Multimeter

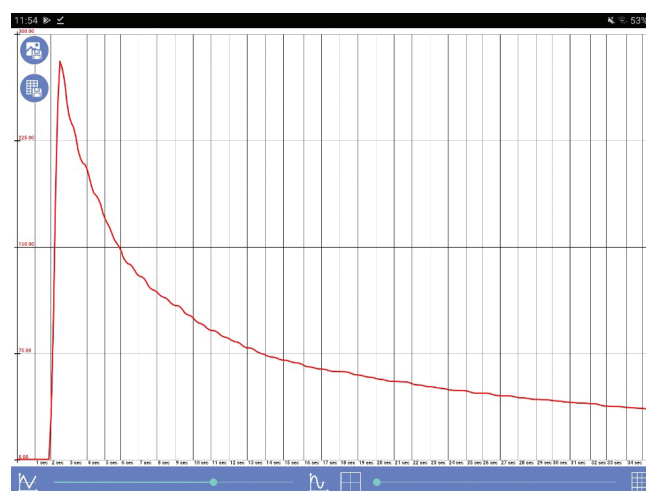


Abbildung 15: Ladevorgang des Kondensators mit digitalem Messgerät

Das Modul „Daten loggen“ ist eine schöne und sinnvolle Anwendung der Videoanalyse in Echtzeit. Es ermöglicht das Arbeiten mit analogen Messgeräten, was das qualitative Verständnis fördern kann, bietet aber gleichzeitig eine Möglichkeit, die Daten aufzunehmen und zu digitalisieren, sodass sich eine genauere Betrachtung anschließen kann. Die Digitalisierung der Messdaten funktioniert insbesondere bei analogen Messgeräten gut, sodass diese auch im Hintergrund des Versuchsaufbaus stehen können und die Software die Stellung des Zeigers dennoch erkennt.

Bei der Aufnahme der Messdaten von digitalen Messgeräten muss sich das Display des Geräts näher an der Kamera des Tablets befinden, damit die Aufnahme gut funktioniert. Digitale Messgeräte sind anfälliger für Fehler, da nur eine falsch erkannte Ziffer den Verlauf stark verfälschen kann. Es bietet

sich also in jedem Fall an, hier mit analogen Messgeräten zu arbeiten und diese durch das Modul „Daten loggen“ von eXperilyser digitalisieren zu lassen.

3. Vorteile und Limitierungen der Echtzeit-Videoanalyse

Die offensichtlichen Vorteile der Videoanalyse in Echtzeit liegen auf der Hand. Das Video muss nicht erst aufgenommen und überspielt werden, bevor es analysiert werden kann. Schülerinnen und Schüler haben mit eXperilyser die Möglichkeit, interessante Bewegungsmuster sofort zu betrachten und Diagramme für eine nähere Analyse aufzunehmen. Dabei ist das Programm einfach und intuitiv zu bedienen, wodurch eine lange Einarbeitungszeit wegfällt. Auch Funktionen wie Stroboskopbilder und das Ausblenden des Hintergrunds können für die Erkenntnis hilfreich sein. Eine interessante Funktion ist außerdem die Möglichkeit, Ort-Zeit-Diagramme für beide Koordinatenrichtungen unmittelbar in das Video einzuzichnen (Abb. 4). Das Programm bietet also ein Maximum an räumlicher und zeitlicher Kontiguität [12], d. h. eine räumliche und zeitliche Nachbarschaft, was sich nach der Cognitive Theory of Multimedia Learning [13] positiv auf das Lernen auswirkt [14]. Damit kann es also leichter fallen, die Bewegung des Objekts mit dem jeweiligen Graphen zu verknüpfen.

Es gibt allerdings auch einige Funktionen, die bei eXperilyser im Vergleich zu anderen Videoanalyseprogrammen fehlen. So lassen sich keine Geschwindigkeits- oder Beschleunigungspfeile in das Video einzeichnen wie bei Avistep, measure dynamics oder Tracker, die gerade bei zweidimensionalen Bewegungen eine wichtige Elementarisierung für das Verständnis von Beschleunigung darstellen [15]. Auch die Anzahl an Diagrammen ist nicht einstellbar (lediglich die Anzahl an Graphen in einem Diagramm), sodass eine differenzierte Betrachtung schnell unübersichtlich werden kann. Bereits fertige Videos lassen sich mit dem Programm zwar öffnen, allerdings nur, wenn man diese in den entsprechenden Dateionner in eXperilyser kopiert, was umständlich ist. Ebenfalls lässt sich das Video nicht langsamer abspielen, was je nach betrachteter Bewegung notwendig und hilfreich sein kann.

Die automatische Videoanalyse hat bei den betrachteten Beispielen größtenteils gut funktioniert. Bei schnelleren Bewegungen stößt das Programm aber an seine Grenzen. Da es nicht möglich ist, eine manuelle Analyse in dem fertigen Video vorzunehmen oder die automatische Analyse an manchen Stellen durch manuelles Klicken auf das Objekt zu ergänzen,

lassen sich diese Bewegungen nicht sinnvoll betrachten. Der Objektverfolgungsalgorithmus ist bei schnellen Bewegungen und kleinen Objekten unzuverlässig. Weiße Objekte ließen sich gar nicht verfolgen, auch wenn der Kontrast zum Hintergrund gut war.

Jede weitere Funktion, die bei eXperilyser hinzukommen würde, lässt das Programm aber natürlich auch komplizierter werden. Der Fokus liegt hier also vor allem auf Einfachheit und sofortiger Einsetzbarkeit, was für den Schulunterricht wichtige Qualitätskriterien sind. Die Echtzeit-Videoanalyse mit eXperilyser kann den Unterricht dementsprechend bereichern, ist aber, gerade wenn es um die quantitative Analyse von Bewegungen geht, nicht in jeder Situation ein Ersatz für herkömmliche Videoanalysesoftware.

4. Hinweise für die Schule und Fazit

In diesem Artikel wurden die Möglichkeiten der Echtzeit-Videoanalyse mit eXperilyser für den Schulunterricht beleuchtet. Dabei hat sich herausgestellt, dass die mobile Videoanalyse in Echtzeit zwar einige Nachteile gegenüber herkömmlichen Programmen hat, besonders was die Genauigkeit der Videoanalyse, Einstellungsmöglichkeiten der Software und die Weiterverarbeitung der Daten angeht. Dies ist aber durchaus gewollt, da eXperilyser ein anderes Ziel verfolgt als andere Videoanalyseprogramme. Die Videoanalyse in Echtzeit ist vor allem dazu geeignet, Bewegungen qualitativ zu betrachten und auszuwerten. Der spielerische Umgang mit der Software ermöglicht einen unmittelbaren Einsatz der Software in verschiedenen Bereichen der Mechanik und sogar außerhalb. Die hohe räumliche und zeitliche Verknüpfung der dargestellten Information kann helfen, die verschiedenen Größen mit der Bewegung zu verbinden. Der Einsatz von Videoanalysesoftware, speziell auf Tablet-PCs, verspricht außerdem ein gesteigertes Interesse der Lernenden. Wenn die Videoanalyse also genutzt werden soll, um interessante Bewegungen zu betrachten und den Zusammenhang zwischen der beobachteten Bewegung und den entstehenden Graphen einzuführen oder zu verdeutlichen, bietet es sich an, eXperilyser zu nutzen. Die Einsatzmöglichkeiten sind dabei vielfältig und können den Unterricht an vielen Stellen attraktiver machen.

Jannis Weber *Institut für Didaktik der Physik,
Goethe-Universität Frankfurt am Main*
Prof. Dr. Thomas Wilhelm *Institut für Didaktik
der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main*

Literatur

- [1] Laws, P. & Pfister, H. (1998). Using digital video analysis in introductory mechanics projects – In: The Physics Teacher 36, 282-287.
- [2] Wilhelm, T. & Trefzger, T. (2010). Erhebung zum Computereinsatz bei Physik-Gymnasiallehrern: Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Hannover 2010 – In: Phyd B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Berlin.
- [3] Wenzel, M. (2018). Computereinsatz in Schule und Schülerlabor: Einstellungen von Physiklehrkräften zu Neuen Medien, Studien zum Physik- und Chemielernen, Vol. 251, Logos-Verlag, Berlin.
- [4] Zollman, D., & Escalada, L. (1996). Applications of interactive digital video in a physics classroom – In: Journal of Educational Multimedia and Hypermedia 5(1), 73–97.
- [5] Beichner, R. (1996). The impact of video motion analysis on kinematics graph interpretation skills – In: American Journal of Physics 64 (10), 1272-1277.
- [6] Hockicko, P., Trpišová, B., & Ondruš, J. (2014). Correcting students' misconceptions about automobile braking distances and video analysis using interactive program tracker. Journal of Science Education and Technology, 23(6), 763–776.
- [7] Kanim, S.E., & Subero, K. (2010). Introductory labs on the vector nature of force and acceleration. American Journal of Physics, 78(5), 461–466.
- [8] Becker, A., Klein, P., Gößling, A. & Kuhn, J. (2019). Förderung von Konzeptverständnis und Repräsentationskompetenz durch Tablet-PC-gestützte Videoanalyse – Empirische Untersuchung der Lernwirksamkeit eines digitalen Lernwerkzeugs im Mechanikunterricht der Sekundarsufe 2 – In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 5. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00089-4>
- [9] Sung, Y. T., Chang, K. E. & Liu, T. C. (2016). The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance: a meta-analysis and research synthesis – In: Computers & Education 94, 252-275
- [10] <https://apps.apple.com/de/app/viana-videoanalyse/id1031084428>
- [11] https://www.cornelsen-experimenta.de/konzepte/digitales_lernen/Konzept-experilyser
- [12] Moreno, R. & Mayer, R. (1999). Cognitive Principles of Multimedia Learning: The Role of Modality and Contiguity – In: Journal of Education Psychology 91 (2), 358-368.
- [13] Mayer, R. (2005). Cognitive Theory of Multimedia Learning – In: Mayer, R. (Hrsg.). The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, Cambridge University Press, Cambridge
- [14] Mayer, R. (2017). Using multimedia for e-learning – In: Journal of Computer Assisted Learning 33, 403-423.
- [15] Wilhelm, T. (2005). 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.

Da irrt so manches Physikbuch (Teil 1)

Rainer Pippig

Einleitung

Nur wer nichts macht, macht bekanntlich keine Fehler. Deshalb ist es nur natürlich, dass auch Physikbücher Fehler enthalten. Leider werden diese auch manchmal abgeschrieben. In loser Folge werden Beispiele heraus gegriffen, wie sie immer wieder und auch heute noch in mehreren bekannten (Schul-)Büchern und auf diversen Internet-Seiten für Physik vorkommen. Nachdem der Zugriff auf Internet-Seiten viel einfacher und damit leicht überprüfbar ist und die wenigsten Lehrkräfte alle betroffenen Schulbücher kennen, beschränke ich mich mit Quellenangaben auf Physik-Erklärungen im Internet. Aber viele Lehrkräfte kennen bestimmt auch etliche entsprechende Seiten in der aktuellen Fachliteratur ihres Bundeslandes.

Die feste und die lose Rolle

1. Eine kleine Auswahl der fehlerhaften Texte:

„Im Gegensatz zur festen Rolle, bei der einfach nur die Richtung der Kraft geändert wird, kann man durch eine lose

Rolle den Betrag der aufzuwendenden Kraft verringern.“ (s. [1]).

„Durch eine feste Rolle wird die Richtung einer Kraft geändert, jedoch nicht ihr Betrag... Mit Hilfe einer in einer Seilschlinge hängenden „losen“ Rolle kann zwar nicht – wie bei einer festen Rolle – die Richtung, dafür aber der Betrag der aufzubringenden Kraft geändert werden.“ (s. [2])

„Mit einer festen Rolle wird nur die Richtung dieser Kraft verändert.... Mit einer losen Rolle wird der Betrag der aufzuwendenden Kraft verkleinert.“ (s. [3])

2. Warum es falsch sein muss!

Geht man vernünftigerweise davon aus, dass die gleichen physikalischen Gesetzmäßigkeiten für jede Rolle gelten, werden hier Äpfel mit Birnen verglichen. Wenn man von Umlenkung spricht, meint man immer die Kraft im Zugseil, dessen Richtung umgelenkt wird. Geht es um die Reduktion der Beträge der angreifenden Kräfte, vergleicht man die Kraft auf die Nabe der jeweiligen Rolle im Vergleich zu den Seilkräften. Eine Unterscheidung zwischen der Funktion einer losen oder festen Rolle ist dann nicht mehr sinnvoll.

3. Wo steckt der Fehler?

Wie im Schulstoff üblich, soll hier eine Beschränkung auf stets parallele Seile betrachtet werden.

Wie man an den um 180° gedrehten Bildern in Abbildung 1 unschwer erkennt, kann das Bild der losen Rolle als feste Rolle verwendet werden; man muss nur die Beschriftung umdrehen. Genauso ist das rechte Bild der eigentlich festen Rolle umgedreht als Erklärung für die Kräfte an der losen Rolle verwendbar.

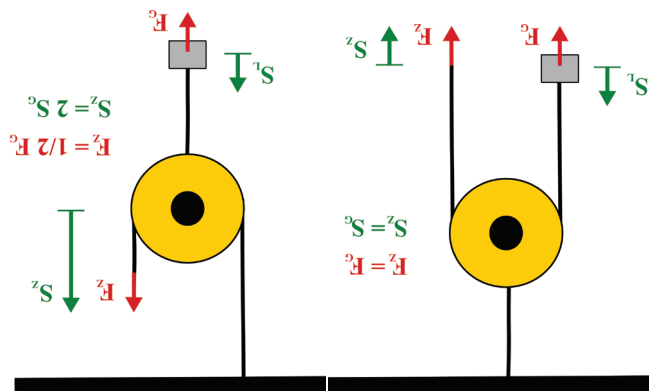
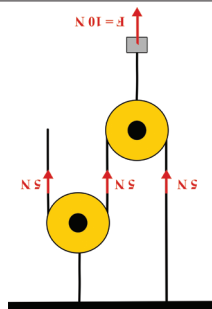


Abbildung 1: Feste und lose Rolle gedreht.

Für die Kombination zweier Rollen zu einem einfachen Flaschenzug gilt das analog, wenn man ihn ebenfalls umdreht. Natürlich lässt sich das auf handelsübliche Flaschenzüge mit jeweils drei Rollen auf einer Achse erweitern



	Am besten sieht man die Funktionsgleichheit der beiden Rollen, wenn zwei Personen die beiden Endhaken festhalten, die beim Hängen an der Decke bzw. an der Last angebracht waren. Zieht man am freien Seil, so gehen die beiden Teile des Flaschenzugs zusammen – egal, ob der Flaschenzug waagrecht, senkrecht oder gedreht gehalten wird. Eine Unterscheidung zwischen fester und loser Rolle gibt es hier nicht mehr.
Noch deutlicher wird das am bekanntesten Beispiel für die Anwendung des Flaschenzugs im Alltag: die Schnürsenkel. Jede Öse entspricht einer Rolle und ist beim Anziehen an den Schnürsenkeln (Zugseil) gleich berechtigt mit allen anderen Ösen.	

4. Vorschlag, wie es richtig heißen könnte

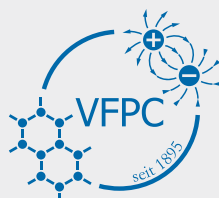
Jede Rolle lenkt die Richtung des Seils um. Wenn die beiden Seilstücke parallel ziehen, ist die Kraft in jedem Seilstück halb so groß wie die Kraft auf die Nabe (alternativ: Drehpunkt) der Rolle. Das gilt für alle Rollen, egal ob sie irgendwo befestigt sind oder nicht.

Viel Spaß beim Nachdenken und Anwenden!

Dr. Rainer Pippig arbeitete seit 1976 als Gymnasiallehrer für Physik, als Ausbilder für Referendare am Lehrstuhl für Didaktik der Physik an der LMU München (wo er auch promoviert hat), als Seminarlehrer für Physik am Wittelsbacher-Gymnasium in München sowie bis 2012 als Schulleiter des Gymnasiums Oberhaching. Er ist Autor zahlreicher Schulbücher bei verschiedenen Verlagen wie Oldenbourg und Westermann-Schroedel.

Literatur

- [1] http://www.helpster.de/lose-rolle-kraefte-verstaendlich-erklaren_61238
- [2] <https://www.grund-wissen.de/physik/mechanik/kraftwandler-und-getriebe/flaschenzuege-und-rollen.html>
- [3] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/rollen>



Neues aus dem Verein

Fortbildungswoche 2020

Die 74. Fortbildungswoche war mit über 200 teilnehmenden Lehrkräften aus ganz Österreich wieder ein großer Erfolg. Die diesjährige Neuerung, die Fortbildungswoche in enger Verzahnung von Chemie- und Physikvorträgen durchzuführen, führte zu spannenden Pausengesprächen und zu einem verstärkten Konferenzgefühl.

Der Volksschulnachmittag am Mittwoch wurde von den Pädagoginnen und Pädagogen gut angenommen und in den Workshops wurde angestrengt diskutiert und experimentiert. In Summe gab es in diesem Jahr 12 Vorträge, 22 Workshops und 11 Exkursionen.

Neue Rubriken in Plus Lucis

Nachdem nun mittlerweile seit einem Jahr Leo Ludick eine kleine Rubrik mit Alltagsfragen zu jeder Ausgabe von Plus Lucis beisteuert, bringt das Jahr 2020 zwei zusätzliche Rubriken, die zumindest in diesem Jahr das Heft bunter machen werden.

Dr. Rainer Pippig arbeitete seit 1976 als Gymnasiallehrer für Physik, als Ausbilder für Referendare am Lehrstuhl für Didaktik der Physik an der LMU München (wo er auch promoviert hat), als Seminarlehrer für Physik am Wittelsbacher-Gymnasium in München sowie bis 2012 als Schulleiter des Gymnasiums Oberhaching. Er wird in seiner Rubrik „Da irrt so manches Physikbuch“ physikalische Probleme darstellen, welche sich häufig falsch oder widersprüchlich erklärt in Schulbüchern finden.

In einer Zusammenarbeit mit der Fakultät für Physik entstand die Idee zur Rubrik „Wissenschaft im Bild“ in der Ihnen durch ein Bild neue Forschungsergebnisse der Fakultät vorgestellt werden. Die Bilder werden kurz erklärt und ein entsprechender Link zur Originalveröffentlichung bereitgestellt.

Die Redaktion hofft, dass Sie an den neuen Rubriken Gefallen finden und freut sich über Rückmeldungen unter

schriftenleitung@pluslucis.org



Österreichische Post AG
SP 17Z041123 S

Verein zur Förderung des physikalischen
und chemischen Unterrichts,
Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien
DVR 0558567
VRN 668472729

Impressum: Medieninhaber (Verleger) und Hrsg.: Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts. Druck: Fa. Wograndl GmbH, Mattersburg

Retouren an: AECC Physik Universität Wien, Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien.