

Messvideos in der Physikausbildung

Andreas Wagner, Stefan Altherr, Bodo Eckert, Hans Jörg Jodl

Fachbereich Physik, Universität Kaiserslautern
Erwin-Schrödinger-Straße, 67663 Kaiserslautern

Kurzfassung

Insgesamt ist in der Physikausbildung, gleichgültig ob in der Schule oder in der Universität, der Trend erkennbar, Multimedia einzusetzen. Bisherige Demonstrationsvideos sind im Allgemeinen dadurch gekennzeichnet, dass lediglich die qualitative Durchführung eines Experimentes gezeigt wird und der Betrachter nur die passive Zuschauerrolle einnehmen kann.

Im Beitrag wird eine spezielle Form von Videos vorgestellt, mit denen Studenten Messwerte bestimmen und Realexperimente auswerten können. Ziel dieser Messvideos ist es, das Lernen schwieriger Begriffe, Zusammenhänge und Formeln zu unterstützen.

Zwei Beispiele werden dazu vorgestellt: An einem Messvideo zum „Farbfadenversuch nach Reynolds“ wird demonstriert, wie konkrete Beobachtungs- und Messaufgaben zur kritischen Reynoldszahl ermöglicht werden. Danach werden verschiedene Verwendungsmöglichkeiten eines Messvideos zur „Coriolis- und Zentrifugalkraft im rotierenden Bezugssystem“ aufgezeigt.

1. Einleitung

Seit 1997 bietet der Fachbereich Physik der Universität Kaiserslautern mit FiPS (Früheinstieg in das Physik-Studium) ein Multimedia- und Internet-basiertes Fernstudium der ersten beiden Semester der Physik an [1]. Neben Animationen, Simulationen und interaktiven Bildschirmexperimenten stellen Videos im Wesentlichen einen Ersatz zu Demonstrationsexperimenten dar. Durch die Einbettung der Multimedia in tabellarische Lernanleitungen und Übungsaufgaben soll das Lernen attraktiver und effektiver gestaltet werden.

In den letzten Jahren sind dabei im FiPS-Lehrbetrieb Erfahrungen darüber gesammelt worden, bei welchen Themen immer wieder Lernschwierigkeiten auftreten. Um die Studenten bei solchen Schwierigkeiten zu unterstützen, haben wir uns im Laufe der Jahre 2001 bis 2003 stetig mit der Entwicklung von Filmen beschäftigt, unter anderem zu Themen der *Strömungslehre* (z.B. Reynoldszahl) und der *Inertial- bzw. Nichtinertialsysteme* (z.B. rotierende Bezugssysteme).

Um die Effektivität von Videos für die Lehre zu steigern, verfolgen wir zwei Ziele. Zunächst sollen durch eine sinnvolle Nachbearbeitung von Videoaufnahmen schwierige Experimente sichtbar und komplexe Zusammenhänge veranschaulicht werden. Darüber hinaus sollen Studenten mit Videos Messungen durchführen und Experimente selbständig quantitativ auswerten können. Diese sogenannten *Messvideos* sind demnach Videos, bei denen aus dem Bildmaterial experimentelle Daten gewonnen und ausgewertet werden können.

2. Konkrete Beobachtungs- und Messaufgaben

Im Gegensatz zu vielen herkömmlichen Videos sollen mit Messvideos außer dem „Zusammenfassen“ von Inhalten weitere Formen der Nachbereitung erschlossen werden. Studenten sollen bei der Auswertung eines Experimentes Zusammenhänge verbalisieren und in Formeln ausdrücken können. Im Rahmen des FiPS-Projektes werden den Studenten hierzu multimediale Übungsaufgaben gestellt.

Aufgrund der Bedeutung (z.B. Kostenersparnis durch Vermeiden von Turbulenz bei Rohrsystemen) sollen im Rahmen der Strömungslehre Kenntnisse zur Reynoldszahl und zu den Ähnlichkeitsgesetzen erworben werden. Im Folgenden wird an Ausschnitten gezeigt, wie ein Messvideo zum „Farbfadenversuch nach Reynolds“ Messaufgaben zur Reynoldszahl ermöglicht.

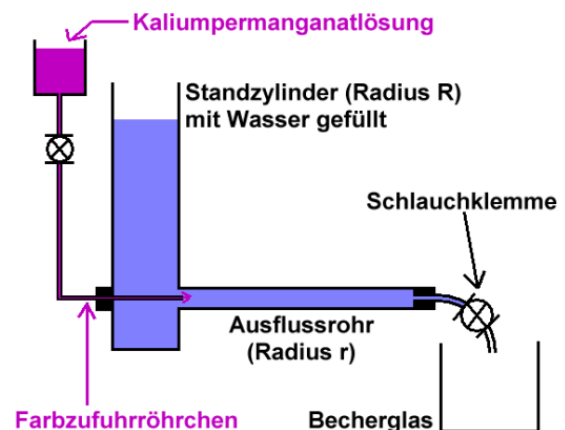


Abb. 1: Schematische Skizze zum Farbfadenversuch

Mit diesem Versuch aus der Strömungslehre kann der Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung sichtbar gemacht und die entsprechende kritische Reynoldszahl der Rohrströmung bestimmt werden. An einen wassergefüllten Standzylinder ist horizontal ein Ausflussrohr angeschlossen (Abb. 1). Zum Sichtbarmachen der Strömung wird eine Kaliumpermanganatlösung verwendet, die durch ein dünnes Röhrchen in die Strömung eingeleitet wird.

Zusätzlich zur schematischen Skizze wird im Video der reale Versuchsaufbau (Abb. 2) schrittweise im Detail erläutert. Dabei ist es wichtig, auf alle wesentlichen Informationen einzugehen, die für eine quantitative Auswertung relevant sind, beispielsweise die Radien des Strömungsrohres und des Standzylinders. Weiterhin werden mehrere experimentelle Probleme beschrieben. Um zusätzliche Turbulenzen zu minimieren, sind Größe und Position des Farbzuführröhrchens „geeignet“ zu wählen.

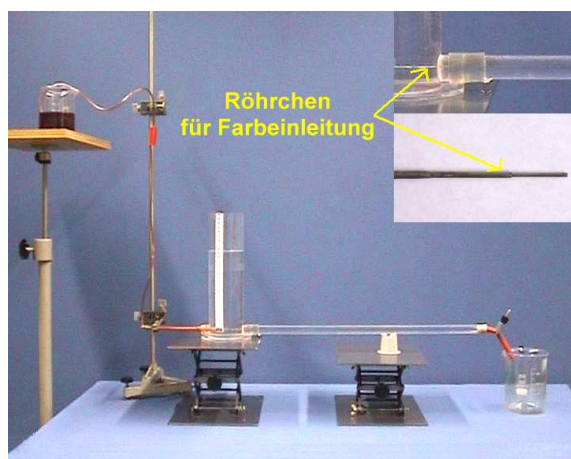


Abb. 2: Erklärung von Details am Beispiel des Farbzuführröhrchens

Damit der Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung kontinuierlich zu sehen ist, wird bei der Durchführung des Experimentes die Schlauchklemme am Ende geöffnet und immer weiter aufgedreht. Dadurch wird die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Rohr stetig erhöht. Zu Beginn ist die Strömungsgeschwindigkeit gering und die Farblösung bewegt sich bei dieser laminaren Strömungsform entlang eines eng begrenzten Farbfadens (Abb. 3a). Mit zunehmender Geschwindigkeit erkennt man deutlich eine starke Schwankungsbewegung des Farbfadens, die bei turbulenter Strömung in eine ungeordnete Bewegung übergeht (Abb. 3c).

Um mit der eigentlichen Messvideo-Sequenz die kritische Reynoldszahl bestimmen zu können, zeigt das Messvideo gleichzeitig die Rohrströmung, den Standzylinder mit einer Längenskala und eine Zeitanzeige (Abb. 4). Aufgrund der stetigen Zunahme der Schwankungsbewegung ist das Abweichen von der laminaren Strömungsform nicht

eindeutig. Als Umschlagpunkt kann beispielsweise der Zeitpunkt gewählt werden, an dem der Farbfaden abreißt (siehe Pfeile in Abb. 3b).

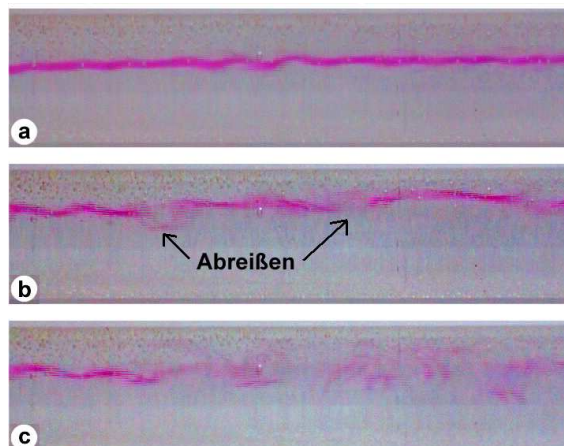


Abb. 3: a) Farbfaden bei laminarer Strömung, b) Abreißen des Farbfadens im Übergangsbereich, c) Ungeordnete Bewegung der Farbe bei turbulenter Strömung

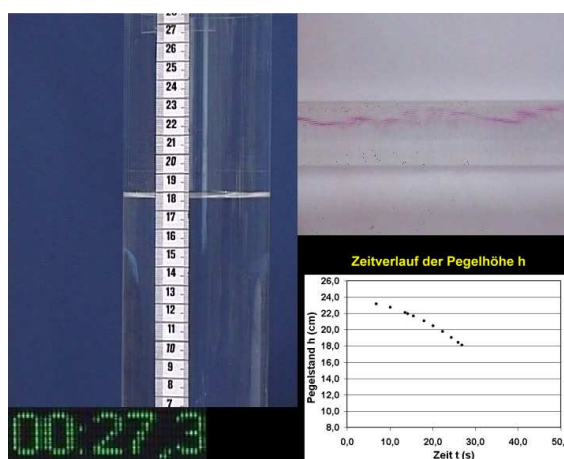


Abb. 4: Geteilte Ansicht zur Messwerterfassung (links oben: Flüssigkeitsstand mit Längenskala, links unten: Zeitanzeige in Sekunden, rechts unten: Messpunkte zum Flüssigkeitsverlauf, rechts oben: Rohrströmung)

Aus dem Zeitverlauf des Flüssigkeitsstandes und dem ungefähren Zeitpunkt des Abreißen des Farbfadens kann der Student schließlich in einer Übungsaufgabe die kritische Reynoldszahl der Versuchsanordnung näherungsweise bestimmen. Eine multimediale Übungsaufgabe zum Farbfadenversuch könnte demnach zwei Teile enthalten:

- die Bestimmung der kritischen Reynoldszahl der gezeigten Anordnung und
- die Frage nach den Ursachen für eine im Versuch festgestellte Abweichung vom Literaturwert.

Eine auf diese Aufgabenteile ausgerichtete Auswertung des Messvideos kann in angemessener

Zeit von jedem Studenten durchgeführt werden. Eine Musterauswertung haben wir hierzu erarbeitet [2].

3. Verschiedene Verwendungsmöglichkeiten

In der Lehre ist es oft wünschenswert, ein inhaltlich flexibles Multimediale zur Verfügung zu haben. Die vielseitige Verwendbarkeit eines Messvideos wird im Folgenden an einem weiteren Messvideo zur „Coriolis- und Zentrifugalkraft im rotierenden Bezugssystem“ demonstriert.

Auf einer rotierenden Scheibe mit bekanntem Radius befindet sich eine schräg angebrachte Führungsschiene, in der eine Kugel radial nach innen beschleunigt wird (Abb. 5). Nach Verlassen der Schiene bewegt sich die Kugel kräftefrei weiter. Diese Bewegung der Kugel beobachtet man dann mit zwei Kameras (Abb. 6). Eine „ruhende“ Kamera nimmt die Bewegung der Kugel aus der Perspektive des Laborsystems auf. Eine an der rotierenden Scheibe befestigte Kamera hat die Perspektive eines Beobachters im rotierenden Bezugssystem.

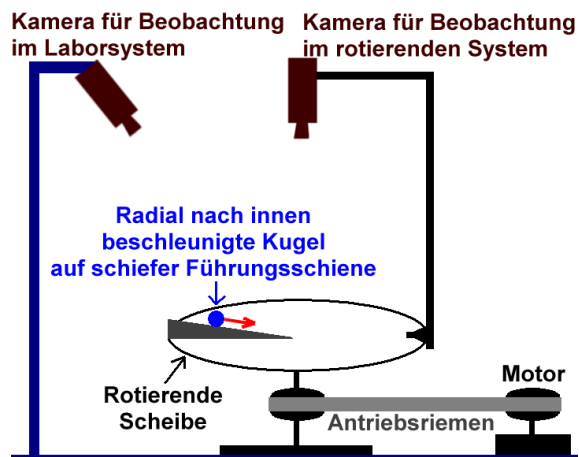


Abb. 5: Schematische Skizze des Versuchsaufbaus zum Sichtbarmachen der Trägheitskräfte im rotierenden Bezugssystem

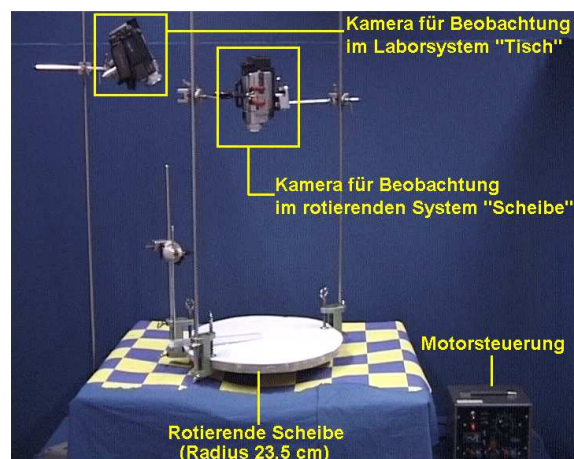


Abb. 6: Hervorhebung der wesentlichen Versuchsteile (Rotierende Scheibe, Kamera des Laborsystems, Kamera des rotierenden Systems)

Mit Hilfe der beiden Kameras ist es demnach möglich, die gleiche Bewegung in zwei verschiedenen Bezugssystemen zu beobachten. Während der Versuchsdurchführung erkennt man im Laborsystem eine nahezu geradlinige Bewegung der Kugel (Abb. 7). Im rotierenden Bezugssystem sieht man dagegen eine gekrümmte Kurve (Abb. 8).

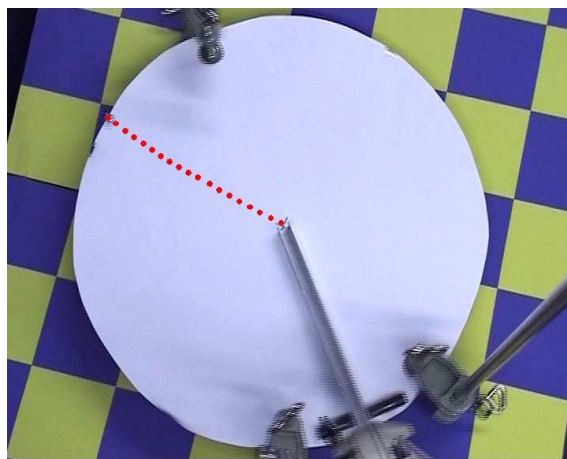


Abb. 7: Beobachtung und Markierung der Bahnkurve einer Kugel im Laborsystem

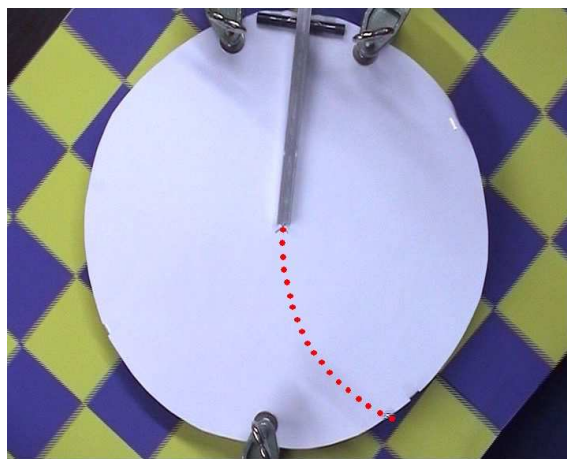


Abb. 8: Beobachtung und Markierung der Bahnkurve einer Kugel im rotierenden System

Damit man nach der reinen Videoaufnahme die Bahnkurve ausmessen kann, ist im Video der jeweilige Kugelschwerpunkt mit einem roten Punkt markiert. Den jeweiligen Zeitpunkt kann der Betrachter aufgrund der Zeitdehnung des sehr schnellen Vorgangs an einer zusätzlich eingeblendeten Zeitanzeige ablesen. Zum einfacheren Ausmessen der Bahnkurve sind danach alle Kugelpositionen in ein Bild zusammengefügt und später sogar in eine Polarkoordinatendarstellung eingetragen (Abb. 9). Insgesamt ist es also möglich, den kompletten Bewegungsvorgang zu messen. Daraus kann dann die Geschwindigkeit und die Beschleunigung der Kugel ausgewertet werden. Wir haben bei einer ausführlichen Auswertung des Bewegungsvorgangs Folgendes festgestellt:

Während im Laborsystem aufgrund der geringen Reibung nur eine geringfügige Beschleunigung \vec{a} der Kugel messbar ist, stellt man im rotierenden Bezugssystem eine Beschleunigung $\vec{a}' \neq \vec{0}$ fest.

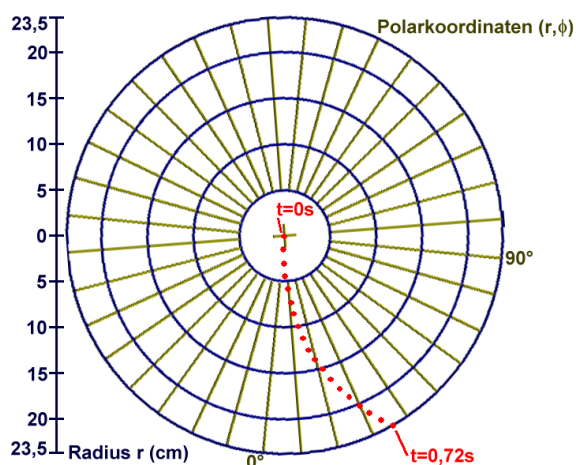


Abb. 9: Polarkoordinatendarstellung zum Ausmessen der Bahnkurve im rotierenden Bezugssystem

Obwohl das Messvideo ein spezielles Experiment zeigt, ist eine vielseitige Verwendung in der Lehre möglich. Das beschriebene Messvideo eignet sich

- zur Diskussion der Begriffe Inertial- bzw. Nichtinertialsysteme,
- zur Einführung von Trägheitskräften bzw. „Scheinkräften“ am Beispiel der Coriolis- und Zentrifugalkraft,
- zur Veranschaulichung formal hergeleiteter Transformationsgleichungen für Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie
- zur Untersuchung des Reibungseinflusses auf die Bahnkurve.

Insgesamt können also durchaus verschiedene Lernschwierigkeiten behandelt werden, die von rein begrifflichen über experimentelle Probleme bis hin zu mathematisch-formalen Schwierigkeiten reichen.

4. Anforderungen an Messvideos

Wie an den beiden Messvideos dargestellt wurde, können Studenten mit Videos experimentelle Daten aus dem Bildmaterial gewinnen und auswerten. Voraussetzung dafür ist, dass sämtliche relevanten Informationen in ein Messvideo selbst integriert sind. Der Betrachter liest die Messwerte des Experimentes also jeweils an einem im Video gezeigten Messgerät bzw. an einer Skala ab. Damit die formale Gestaltung der inhaltlichen Auseinandersetzung gerecht wird, sind drei Aspekte bei der Entwicklung eines Messvideos zu berücksichtigen:

a) Strukturierung eines Videos

Damit der Betrachter die Fülle an Informationen einordnen und verarbeiten kann, bietet sich in der

Regel eine klassische Gliederung des Messvideos nach folgendem Schema an:

- Einleitung zum Video (Übersicht, Motivation)
- Versuchsaufbau (Schematische Skizze, Erläuterung der Details am realen Aufbau)
- Qualitative Durchführung (Beobachtungen, Zwischenergebnisse)
- Quantitative Durchführung (Messwerterfassung, Auswertung)
- Theoretische Grundlagen
- Abschlussbewertung

b) Hervorhebung wesentlicher Informationen

Die Aufmerksamkeit des Betrachters soll auf das Wesentliche konzentriert sein. Dazu erscheint es sinnvoll, wichtige Informationen im Bild hervorzuheben. Mit der digitalen Bild- und Videobearbeitung können mittlerweile viele spezifische Ausdrucksmittel (Verschiedene Blickwinkel, Schematische Einblendung, Zeitraffer/-dehnung) relativ leicht eingesetzt werden. Dadurch können ebenfalls lernzielirrelevante und als störend empfundene Informationen vermieden werden, wie zum Beispiel Gegenstände im Hintergrund oder das Auftreten eines Moderators.

c) Vermittlung experimenteller Probleme

Ein wesentliches Kernziel multimedialer Übungsaufgaben zu den in Videos gezeigten Realexperimenten ist es, die Aneignung experimenteller Kenntnisse und Fähigkeiten zu fördern. Ein wesentlicher Bestandteil dessen ist die Auseinandersetzung mit experimentellen Problemen und messtechnischen Schwierigkeiten. Da solche Probleme bei der späteren Auswertung eines Versuches oft eine Rolle spielen, wird in den oben beschriebenen Messvideos der reale Versuchsaufbau gezeigt und schrittweise erklärt.

5. Fazit

Seit dem Wintersemester 2000/2001 ist der Übungsbetrieb von Fernlehre und Präsenzlehre an der Universität Kaiserslautern zusammengelegt. Daher können die Messvideos in Zukunft an einem relativ großen Publikum erprobt werden. Eine abschließende Beurteilung ist daher zur Zeit noch nicht möglich.

Dennoch wird besonders an den real schwierig durchführbaren Beispielen zum „Farbfadenversuch nach Reynolds“ und „Coriolis- und Zentrifugalkraft im rotierenden Bezugssystem“ deutlich, dass Messvideos die Palette an quantitativen Untersuchungen erweitern können.

6. Weitere Informationen

Die in diesem Artikel gezeigten Abbildungen stammen aus selbsterstellten Videos. Detailliertere Informationen zu diesen und weiteren Multimedien findet man auf der Internetseite mit der URL <http://pen.physik.uni-kl.de/videos.html>.

7. Literatur

- [1] Universität Kaiserslautern: Früheinstieg in das Physikstudium (FiPS). Online im Internet: <http://www.fernstudium-physik.de> (3.3.2003).
- [2] Universität Kaiserslautern: Multimedien für die Physiklehre - Rubrik zum Farbfadenversuch nach Reynolds. Online im Internet: <http://pen.physik.uni-kl.de/videos.html> (3.3.2003).