

# Mobile Videoanalyse mit Tablets

am Beispiel des freien Falls mit Luftreibung

P. Klein, S. Gröber, J. Kuhn u. A. Müller

## 1 Einleitung

Die Videoanalyse von Bewegungen hat eine lange Tradition im Physikunterricht und erfreut sich auch in jüngster Zeit großer Beliebtheit bei Physiklehrern. Die große Anzahl an Publikationen mit dem Inhalt „Videoanalyse“ in den letzten fünf Jahren in nationalen und internationalen Zeitschriften sowie die explizite Berücksichtigung in Physiklehrplänen verschiedener Bundesländer bestätigen das Interesse [1-4]. Mithilfe einer Digitalkamera werden Bewegungsvorgänge von physikalischen Objekten wie z. B. fallende Kugeln oder stoßende Experimentierwagen videographiert. Die im Video enthaltene zweidimensionale Bewegungsinformation, d. h. der Ort  $(x, y)$  eines Objekts zu jedem Zeitpunkt  $t$  wird durch Anklicken des Objekts im jeweiligen Videoframe extrahiert („MotionTracking“). Daraus können physikalische Größen wie Geschwindigkeit und Beschleunigung berührungsfrei bestimmt werden. Verschiedene kostenlose und kommerzielle PC-Programme [5] unterstützen bei der Datenaufnahme und können die Messdaten in verschiedenen Repräsentationsformen darstellen: Bewegungsdiagramme können erstellt und videosynchron verfolgt werden; Vektorpfeile zeigen Geschwindigkeit und Beschleunigung im Video an und Abstände sowie Winkel sind direkt messbar. Abstrakte physikalische Größen werden beim Messen konkretisiert und beim Darstellen in Diagrammen visualisiert.

Tablets eignen sich dank der integrierten Digitalkamera ebenso zur Aufnahme von Experimentiervideos. Diese können mit geeigneten Applikationen (Apps) direkt am mobilen Endgerät ausgewertet werden [6]. Die Auswahl der Experimente und der Umfang der Analysemöglichkeiten werden durch hardware-spezifische Faktoren (wie Bildrate der Kamera und Rechenleistung des Tablets) und die vorhandene Software begrenzt. In diesem Beitrag wird der Einsatz von Tablets zur Videoanalyse anhand eines Beispiels demonstriert. Die verwendete App operiert (als bisher einzige) auf dem Android-Betriebssystem und wurde von den Autoren entwickelt [7]. Sie liegt zurzeit in einer unveröffentlichten

Experiment	Relevante Größen, die videoexperimentell bestimmt werden
Freier Fall	Erdbeschleunigung, Fallzeit
Schiefer Wurf	Abwurfwinkel, Wurfhöhe, Wurfweite, Steig-/Flugzeit
Flummi	Restitutionskoeffizient
1D/2D – Stoßversuche	Geschwindigkeiten / Impulse
Schiefe Ebene	Beschleunigungen
Fallkegel	Geschwindigkeiten
Faden-/Federpendel	Schwingungsdauer, Pendellängen
Kreisbewegungen	Geschwindigkeiten, Radien
Gedämpfte Schwingung	Amplituden

Tab. 1: Auswahl geeigneter mobiler Videoanalyse-Experimente aus der Mechanik

Beta-Version vor und erscheint voraussichtlich im Sommer dieses Jahres im Google Play Store (Name: Video Analysis). Für iOS Geräte sind bereits diverse Apps auf dem Markt (siehe App-Store: Vernier's Video Physics, Newton DV usw.), die in ihrer Funktionalität aber eingeschränkt sind, siehe Abschnitt 3.

## 2 Mobile Videoanalyse: Ein Beispiel aus der Mechanik

Viele von Physiklehrern und Physikdidaktikern für die klassische Videoanalyse am Computer entwickelte Experimente können auch mithilfe von Tablets durchgeführt werden. Hinreichend langsame Flugbewegungen, Stoßvorgänge sowie Schwingungen sind geeignete Paradebeispiele, um das Prinzip der mobilen Videoanalyse anzuwenden. Tab. 1 stellt einige solcher lehrplankonformen Experimente vor, die mithilfe von Tablets analysiert werden können. Wir beschränken uns in der Erläuterung auf ein Experiment aus der Mechanik, obwohl Experimente aus anderen Themengebieten ebenso denkbar sind [1]. Besonders reizvoll für Schüler bieten einfache, mit Alltagsmaterialien von ihnen selbst durchgeführte Experimente.

### 2.1 Bestimmung des Widerstandsbeiwerts eines Papierbackförmchens

Ein fallender Körper der Masse  $m$  erfährt auf Grund der vorbeiströmenden Luft eine abbremsende Kraft  $F_R = \frac{1}{2} c_w \rho A v^2$ , die der Bewegungsrichtung entgegengesetzt ist. Die Sinkgeschwindigkeit  $v_s$  stellt sich ein, wenn die Gewichtskraft  $F_G = mg$  durch die Reibungskraft kompensiert wird:

$$v_s = \sqrt{\frac{2mg}{c_w \rho A}}$$

Dabei sind  $\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3$  die Dichte der Luft,  $g$  die Erdbeschleunigung,  $A$  die effektive Querschnittsfläche des Körpers und  $c_w$  der empirisch zu bestimmende Widerstandsbeiwert.

### 2.2 Versuchsdurchführung

Das Backförmchen wird mit einem roten Punkt markiert und aus ausreichender Höhe fallen gelassen, um eine Endgeschwindigkeit zu beobachten. Der Fallvorgang wird mit einem Tablet videographiert. Die optische Achse der Kamera wird mithilfe einer Wasserwaage senkrecht zur Bewegungsebene ausgerichtet und ein in der Bewegungsebene befindlicher Maßstab mitgefilmt (Abb. 1, links). Ein techni-



lichkeit: VideoPhysics ermöglicht ausschließlich voreingestellte Achsenbelegungen; mit NewtonDV können die Größen  $x$ ,  $y$ ,  $v_x$ ,  $v_y$  und  $t$  frei den Achsen zugeordnet werden. Auch lineare Kurvenfits können nur mit Sensor-Tools und Newton-DV vorgenommen werden. Keine iOS App bietet die Möglichkeit, im Video direkt Winkel oder Abstände zu messen.






Aufgrund dieser Ergebnisse entschieden wir, eine App zu programmieren, die a) auf Android-basierten Endgeräte operiert, b) alle für die Unterrichtspraxis relevanten Features beinhaltet, c) didaktisch motiviert ist und d) auch nach Praxiserfahrungen modifizierbar sein kann.

#### 4 Zusammenfassung und Diskussion

Der Beitrag demonstrierte das Prinzip der Videoanalyse mit Tablets anhand eines Beispiels zum Thema „Fallbewegungen mit Luftreibung“. Die einzelnen Schritte von der Videoaufnahme über die Messdatenerfassung bis zur Auswertung wurden dargestellt. Die erhältlichen Apps unterscheiden sich in ihrem Funktionsumfang und in ihrer Handhabung, weshalb es sich empfiehlt, die Apps vor der Einführung in den Unterricht miteinander zu vergleichen. Einmal in den Unterricht eingeführt, kann mit einheitlicher Hard- und Software gearbeitet werden und es bedarf keiner weiteren Technik, um Experimente durchzuführen und auszuwerten („Stand-Alone Devices“). Die Kameraqualität der Tablets liegt allerdings (noch) hinter der von Digitalkameras (bzgl. Auflösung und Framerate), sodass man die Experimentierbedingungen entsprechend anpassen muss (niedrige Geschwindigkeiten der Objekte, ausreichende Beleuchtung des Settings). Trotz dieser Einschränkung können Tablets den Unterricht durchaus bereichern, denn die meisten Versuche eignen sich auf Grund des geringen Materialaufwandes als Schülerexperimente. Dank der Mobilität der Geräte können solche Experimente auch zu Hause durchgeführt werden. Der dargebotene Vergleich auf dem Markt erhältlicher Apps soll als Handreichung für Lehrende dienen, die die mobile Videoanalyse in ihrem Unterricht einsetzen möchten. ■

#### Literatur

- [1] T. Wilhelm, Möglichkeiten der Videoanalyse, Habilitationsschrift: Universität Würzburg.  
 [2] P. Laws, Using digital video analysis in introductory mechanics projects, in: *The Physics Teacher* 5/36, 1998, S. 282  
 [3] T. Eadkhong, R. Rajsadorn, P. Jannual & S.

	 Video Motion Analysis	 Newton DV	 Video Physics	 iTrack Motion	 Sensor Tools
Preis	< 4 €, Preis nicht bekannt	1,79€	4,49 €	1,79 €	2,69 €
Betriebssystem	Android	iOS	iOS	iOS	iOS
<b>Videoskalierung</b>					
Koordinatenursprung frei wählbar	ja	ja	ja	ja	ja
Koordinatenachsen orientierbar	beliebig	nein	beliebig	nein	vier Möglichkeiten
KS in jedem Frame neu wählbar	ja	nein	nein	nein	nein
Längenskalierung	ja	ja	ja	ja	ja
Framerate skalierbar	ja	nein	nein	nein	nein
Zeitnullpunkt wählbar	ja	nein	nein	nein	nein
<b>Datenerfassung</b>					
Punktspur anzeigen	ja	nein	ja	ja	ja
Markierte Punkte korrigieren	ja	ja	ja	nein	nein
Videoframes überspringen	ja	ja	ja	nein	ja
<b>Datendarstellung</b>					
Datentabelle	ja	ja	nein	nein	ja
Diagramme	Achsen beliebig belegbar, neue Größen erzeugbar	Achsen beliebig belegbar	$y(x)$ , $x(t)$ , $y(t)$ , $v_x(t)$ , $v_y(t)$ (*beliebig)	$y(x)$ , $x(t)$ , $y(t)$	Achsen beliebig belegbar
Vektoren	in Vorbereitung.	ja ( $v$ , $a$ )	nein	nein	nein
Serienbilder	nein	ja	nein	nein	nein
<b>Datenauswertung (am mobilen Endgerät)</b>					
Längen messbar	ja	nein	nein	nein	nein
Winkel messbar	ja	nein	nein	nein	nein
Funktionsgleichung darstellbar	ja	ja (4 Typen)	nein	nein	nein
Fitlinie im Diagramm	ja (linear, quadr.)	nein	nein	nein	ja
<b>Datensicherung und Export/Import</b>					
Sicherung intern	ja	nein	ja	nein	ja
Export kabellos (.csv)	E-Mail	E-Mail	E-Mail	E-Mail	Dropbox
Export mit Kabel	ja nein	ja	nein	nein	
Datenimport (Sharing)	ja nein	ja	nein	ja	

Tab. 3: Vergleich erhältlicher Videoanalyse Apps anhand relevanter Kategorien

Danworaphong, Rotational dynamics with tracker, in: *European Journal of Physics* 3/33, 2012, S. 615–622

[4] J. Poonyawatpornkul & P. Wattanakasiwich. High-speed video analysis of damped harmonic motion, in: *Physics Education* 6/48, 2013, S. 782–789

[5] Freeware z.B. Tracker (<http://www.cabrillo.edu/dbrown/tracker/>); kommerziell z.B. measure dynamics der Firma PHYWE ([www.phywe.de/141n110/](http://www.phywe.de/141n110/))

[6] P. Klein, S. Groeber, J. Kuhn & A. Mueller. Video analysis of projectile motion using tablet computers as experimental tool, in: *Physics Education* 1/49, 2014, S. 37–41

[7] <http://www.physik.uni-kl.de/kuhn/forschung/vip-video-based-problems/video-analysis-app/> (Stand 06/2014)

[8] T. Wilhelm, Der alte Fallkegel - modern behandelt, in: *Praxis der Naturwissenschaften* 6/49, 2000, S. 28–31, [www.thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/Fallkegel.pdf](http://www.thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/Fallkegel.pdf)

#### Anschriften der Verfasser

Pascal Klein, Dr. Sebastian Gröber, Prof. Dr. Jochen Kuhn, TU Kaiserslautern, E-Mail: [pklein@physik.uni-kl.de](mailto:pklein@physik.uni-kl.de), [groeber@rhrk.uni-kl.de](mailto:groeber@rhrk.uni-kl.de), [kuhn@physik.uni-kl.de](mailto:kuhn@physik.uni-kl.de); Prof. Dr. Andreas Müller, Universität Genf, E-Mail: [Andreas.Mueller@unige.ch](mailto:Andreas.Mueller@unige.ch)



lichkeit: VideoPhysics ermöglicht ausschließlich voreingestellte Achsenbelegungen; mit NewtonDV können die Größen  $x$ ,  $y$ ,  $v_x$ ,  $v_y$  und  $t$  frei den Achsen zugeordnet werden. Auch lineare Kurvenfits können nur mit Sensor-Tools und Newton-DV vorgenommen werden. Keine iOS App bietet die Möglichkeit, im Video direkt Winkel oder Abstände zu messen.






Aufgrund dieser Ergebnisse entschieden wir, eine App zu programmieren, die a) auf Android-basierten Endgeräte operiert, b) alle für die Unterrichtspraxis relevanten Features beinhaltet, c) didaktisch motiviert ist und d) auch nach Praxiserfahrungen modifizierbar sein kann.

#### 4 Zusammenfassung und Diskussion

Der Beitrag demonstrierte das Prinzip der Videoanalyse mit Tablets anhand eines Beispiels zum Thema „Fallbewegungen mit Luftreibung“. Die einzelnen Schritte von der Videoaufnahme über die Messdatenerfassung bis zur Auswertung wurden dargestellt. Die erhältlichen Apps unterscheiden sich in ihrem Funktionsumfang und in ihrer Handhabung, weshalb es sich empfiehlt, die Apps vor der Einführung in den Unterricht miteinander zu vergleichen. Einmal in den Unterricht eingeführt, kann mit einheitlicher Hard- und Software gearbeitet werden und es bedarf keiner weiteren Technik, um Experimente durchzuführen und auszuwerten („Stand-Alone Devices“). Die Kameraqualität der Tablets liegt allerdings (noch) hinter der von Digitalkameras (bzgl. Auflösung und Framerate), sodass man die Experimentierbedingungen entsprechend anpassen muss (niedrige Geschwindigkeiten der Objekte, ausreichende Beleuchtung des Settings). Trotz dieser Einschränkung können Tablets den Unterricht durchaus bereichern, denn die meisten Versuche eignen sich auf Grund des geringen Materialaufwandes als Schülerexperimente. Dank der Mobilität der Geräte können solche Experimente auch zu Hause durchgeführt werden. Der dargebotene Vergleich auf dem Markt erhältlicher Apps soll als Handreichung für Lehrende dienen, die die mobile Videoanalyse in ihrem Unterricht einsetzen möchten. ■

#### Literatur

- [1] T. Wilhelm, Möglichkeiten der Videoanalyse, Habilitationsschrift: Universität Würzburg.  
 [2] P. Laws, Using digital video analysis in introductory mechanics projects, in: *The Physics Teacher* 5/36, 1998, S. 282  
 [3] T. Eadkhong, R. Rajsadorn, P. Jannual & S.

	 Video Motion Analysis	 Newton DV	 Video Physics	 iTrack Motion	 Sensor Tools
Preis	< 4 €, Preis nicht bekannt	1,79€	4,49 €	1,79 €	2,69 €
Betriebssystem	Android	iOS	iOS	iOS	iOS
<b>Videoskalierung</b>					
Koordinatenursprung frei wählbar	ja	ja	ja	ja	ja
Koordinatenachsen orientierbar	beliebig	nein	beliebig	nein	vier Möglichkeiten
KS in jedem Frame neu wählbar	ja	nein	nein	nein	nein
Längenskalierung	ja	ja	ja	ja	ja
Framerate skalierbar	ja	nein	nein	nein	nein
Zeitnullpunkt wählbar	ja	nein	nein	nein	nein
<b>Datenerfassung</b>					
Punktspur anzeigen	ja	nein	ja	ja	ja
Markierte Punkte korrigieren	ja	ja	ja	nein	nein
Videoframes überspringen	ja	ja	ja	nein	ja
<b>Datendarstellung</b>					
Datentabelle	ja	ja	nein	nein	ja
Diagramme	Achsen beliebig belegbar, neue Größen erzeugbar	Achsen beliebig belegbar	$y(x)$ , $x(t)$ , $y(t)$ , $v_x(t)$ , $v_y(t)$ (*beliebig)	$y(x)$ , $x(t)$ , $y(t)$	Achsen beliebig belegbar
Vektoren	in Vorbereitung.	ja ( $v$ , $a$ )	nein	nein	nein
Serienbilder	nein	ja	nein	nein	nein
<b>Datenauswertung (am mobilen Endgerät)</b>					
Längen messbar	ja	nein	nein	nein	nein
Winkel messbar	ja	nein	nein	nein	nein
Funktionsgleichung darstellbar	ja	ja (4 Typen)	nein	nein	nein
Fitlinie im Diagramm	ja (linear, quadr.)	nein	nein	nein	ja
<b>Datensicherung und Export/Import</b>					
Sicherung intern	ja	nein	ja	nein	ja
Export kabellos (.csv)	E-Mail	E-Mail	E-Mail	E-Mail	Dropbox
Export mit Kabel	ja nein	ja	nein	nein	
Datenimport (Sharing)	ja nein	ja	nein	ja	

Tab. 3: Vergleich erhältlicher Videoanalyse Apps anhand relevanter Kategorien

Danworaphong, Rotational dynamics with tracker, in: *European Journal of Physics* 3/33, 2012, S. 615–622

[4] J. Poonyawatpornkul & P. Wattanakasiwich. High-speed video analysis of damped harmonic motion, in: *Physics Education* 6/48, 2013, S. 782–789

[5] Freeware z.B. Tracker (<http://www.cabrillo.edu/dbrown/tracker/>); kommerziell z.B. measure dynamics der Firma PHYWE ([www.phywe.de/141n110/](http://www.phywe.de/141n110/))

[6] P. Klein, S. Groeber, J. Kuhn & A. Mueller. Video analysis of projectile motion using tablet computers as experimental tool, in: *Physics Education* 1/49, 2014, S. 37–41

[7] <http://www.physik.uni-kl.de/kuhn/forschung/vip-video-based-problems/video-analysis-app/> (Stand 06/2014)

[8] T. Wilhelm, Der alte Fallkegel - modern behandelt, in: *Praxis der Naturwissenschaften* 6/49, 2000, S. 28–31, [www.thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/Fallkegel.pdf](http://www.thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/Fallkegel.pdf)

#### Anschriften der Verfasser

Pascal Klein, Dr. Sebastian Gröber, Prof. Dr. Jochen Kuhn, TU Kaiserslautern, E-Mail: [pklein@physik.uni-kl.de](mailto:pklein@physik.uni-kl.de), [groeber@rhrk.uni-kl.de](mailto:groeber@rhrk.uni-kl.de), [kuhn@physik.uni-kl.de](mailto:kuhn@physik.uni-kl.de); Prof. Dr. Andreas Müller, Universität Genf, E-Mail: [Andreas.Mueller@unige.ch](mailto:Andreas.Mueller@unige.ch)