

Die folgenden Seiten sind so in einem DPG-Tagungsband erschienen und dürfen auch unter [www.thomas-wilhelm.net](http://www.thomas-wilhelm.net) wiedergegeben werden.

Die exakte Quellenangabe des Artikels ist:

BENZ, M.; WILHELM, T.

***measure Dynamics – Ein Quantensprung in der digitalen Videoanalyse***

NORDMEIER, V.; GRÖTZEBAUCH, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Berlin 2008, Lehmanns Media, Berlin, 2008, ISBN 978-3-86541-317-8

## measure Dynamics – Ein Quantensprung in der digitalen Videoanalyse

Michael Benz, Thomas Wilhelm

Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Am Hubland, 97074 Würzburg

### Kurzfassung

Die digitale Videoanalyse von Bewegungen ist mittlerweile ein verbreitetes Werkzeug im Mechanikunterricht, obwohl die gängigen Programme noch zu wünschen übrig lassen. Das neue Videoanalyse-Programm „measure Dynamics“ bietet demgegenüber eine Vielzahl neuer Möglichkeiten. So können die Bewegungen mehrerer Objekte sehr einfach und automatisch vom Programm erfasst werden und es können viele verschiedene Darstellungsmöglichkeiten genutzt werden. Dazu gehören z.B. die automatische Erstellung von Serienbildern, Stroboskopbildern sowie das Einblenden von Bildern, Linien und Pfeilen in das Video selbst, das sogar noch bearbeitet werden kann oder mit den Darstellungen exportiert werden kann.

In einer Staatsexamensarbeit wurden verschiedene Versuche gefilmt und an Hand dieser Beispiele die neuen Möglichkeiten dieser Software aufgezeigt. Es werden ausgewählte Beispiele aus dieser Arbeit präsentiert, deren Verwendung im Unterricht erläutert und die Vorteile dieser Möglichkeiten vorgestellt.

### 1. Digitale Videoanalyse mit „measure Dynamics“

Der Einsatz der digitalen Videoanalyse ist heute in vielen Lehrplänen vorgesehen. Als Messwerterfassungssystem eignet sie sich besonders für den Kinematik- und Dynamikunterricht. Insbesondere ermöglicht sie die Auswertung zweidimensionaler Bewegungen, durch deren Betrachtung sich nach WILHELM Fehlvorstellungen der Schüler im Bereich der Kinematik vermeiden lassen [4]. Die gängigen Programme, die in Deutschland verfügbar sind, lassen leider sowohl bezüglich der Qualität der Videoanalyse als auch bezüglich der Features der Software noch zu wünschen übrig. Mit „measure Dynamics“ ist ein neues Programm verfügbar, das diesbezüglich eine deutliche Verbesserung darstellt. Die Software bietet eine Vielzahl neuer Möglichkeiten.

Die bei der Analyse bestimmten Werte werden zunächst wie bei anderer Software auch in einer Tabelle dargestellt. Aus den Koordinaten, die das Programm in Pixeln angibt, werden über einen vorher definierten Maßstab die Größen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung jeweils in x- und y-Richtung berechnet. Diese Größen werden gemeinsam mit einer über die Frame-Rate des Videos bestimmten Zeiteinteilung ebenfalls in der Tabelle angezeigt. Weitere Tabellenspalten können angelegt werden. Darin können weitere Werte, wie z.B. das Geschwindigkeitsquadrat berechnet werden.

Alle Daten und Einstellungen, die in der Tabelle oder, wie im Folgenden erläutert, am Video vorgenommen wurden, können als so genanntes „Projekt“ gespeichert werden. Diese Dateisammlung kann

dann über eine entsprechende Datei mit der Endung „.prtj“ aufgerufen werden.

Die Videos können auch mit allen Einstellungen und Veränderungen exportiert werden. So können z.B. Videos mit Vektoreinblendungen, wie sie von MICHEL gezeigt werden, unabhängig von der Software „measure Dynamics“ auf einem PC gezeigt werden [2].

### 2. Automatische Analyse bewegter Objekte

Eine deutliche Verbesserung gegenüber den bisherigen Programmen stellt die automatische Analyse dar. Diese war bei den deutschen Videoanalyseprogrammen für den Physikunterricht bisher nur bei AVA und Viana möglich. Die reine Farbanalyse von Viana führte oft zu schlechten Ergebnissen und erforderte eine manuelle Nachbearbeitung oder sogar eine komplette manuelle Analyse. Bei AVA wurde zwar das Objekt erkannt, es durfte aber nicht rotieren, was ebenfalls zu Problemen führte. Die automatische Analyse bei „measure Dynamics“ arbeitet mit Farb- und Bewegungsanalyse, wobei entweder je eine der beiden Analysearten oder eine gleichzeitige Analyse nach beiden Arten möglich ist. Die Software erkennt dabei die geometrische Form und die Größe des zu analysierenden Objektes, auch wenn dieses rotiert. Die automatische Analyse stellt besonders bei längeren Videos eine erhebliche Zeitersparnis dar.

Im Rahmen der Staatsexamensarbeit wurde ein Video mit über 2.000 Einzelbildern in gut drei Minuten fehlerfrei analysiert. Die große Bildanzahl war nötig, um die Maxwell-Verteilung als statistische Verteilung zu zeigen. Dazu wurden mehrere Pucks auf einem Luftkissentisch durch einen bewegten Rah-

men in ständiger Bewegung gehalten und die Bewegung eines einzigen rot markierten Pucks verfolgt, was als Modell eines zweidimensionalen Gases dienen kann. Die Geschwindigkeitsverteilung (Häufigkeit über Geschwindigkeitsbetrag) erfüllt dabei recht gut die Erwartungen (siehe Abb. 1).

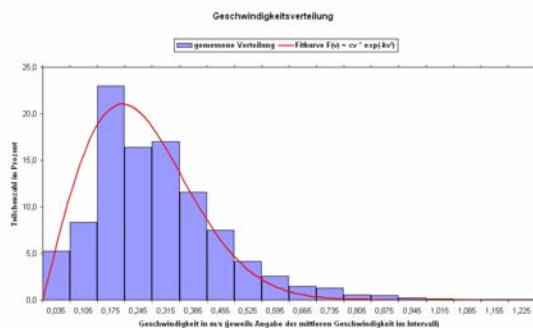


Abb. 1: Mit dem Luftkissentisch bestimmte Geschwindigkeitsverteilung

### 3. Analyse mehrerer bewegter Objekte

Bei der Auswertung der Bewegungen mehrerer Objekte mit „measure Dynamics“ ist zunächst die Analyse für jedes Objekt einzeln durchzuführen. Dazu wird jeweils ein eigenes Tabellenblatt angelegt. Sind alle Objekte von der Software erkannt und analysiert, kann die Auswertung für alle Objekte gleichzeitig durchgeführt werden. Die Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus einem Video mit der Rollenfahrbahn.

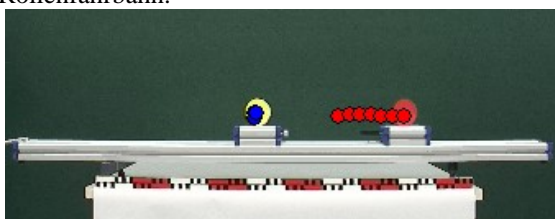


Abb. 2: Elastischer Stoß zweier Wagen

Im Versuch wurde dabei durch eine Feder am zweiten Wagen ein elastischer Stoß erreicht. Der abgebildete Videoausschnitt zeigt die Wagen gleicher Masse nach dem Stoß, was an der gestempelten Spur des zweiten Wagens zu erkennen ist. Die Bewegungen der beiden Wagen können nun gleichzeitig ausgewertet werden.

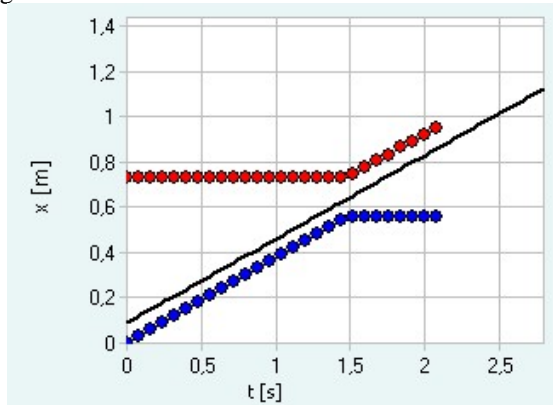


Abb. 3: t-x-Diagramm zum Versuch in Abb. 2

Als Beispiel für eine solche Auswertung ist in Abbildung 3 das Zeit-Ort-Diagramm der beiden Wagen gezeigt. Die schwarze Hilfsgerade wurde in „measure Dynamics“ eingefügt. Sie dient zur Verdeutlichung der Steigung, die für beide Wagen vor bzw. nach dem Stoß gleich ist. Somit lässt sich auf gleiche Geschwindigkeiten vor und nach dem Stoß schließen. Natürlich kann auch direkt das Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm betrachtet werden. Es ist in Abbildung 4 zu sehen. Man erkennt darin Sprünge in den Bereichen der eigentlich konstanten Geschwindigkeiten nach dem Stoß. Diese Sprünge entstehen durch das Differenzieren zur Bestimmung der Geschwindigkeiten aus den gemessenen Ortspunkten. Bereits kleine Abweichungen im Ort werden beim Differenzieren deutlich sichtbar. Daher sind diese scheinbaren Fehler erklärbar. In dem t-v-Diagramm ist der Stoßprozess klar erkennbar. Im Unterricht könnten solche Diagramme zur Erklärung der Vorgänge bei elastischen Stößen verwendet werden.

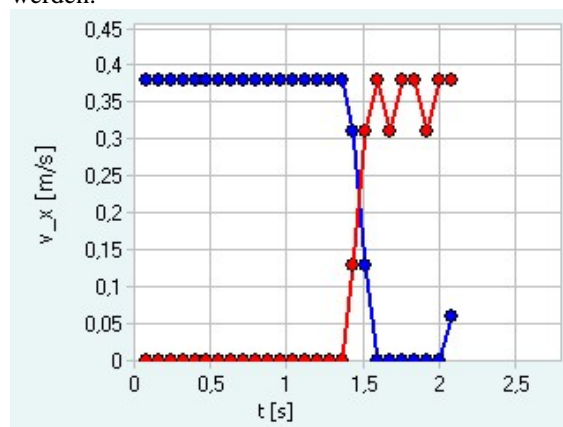


Abb. 4: t-v-Diagramm zum Versuch in Abb. 2

### 4. Diagramme in Echtzeit

Von Vorteil ist es, wenn Graphen synchron mit dem ablaufenden Experiment oder Video entstehen. „Dann ist es einfacher zu erkennen, welche Phase im Video welchem Grafenteilstück entspricht und somit ist die Kluft zwischen der konkreten visuellen Darstellung des Bewegungsablaufes und seiner abstrakten grafischen Darstellung für den Lernenden leichter zu überbrücken.“ [3]. Die Software „measure Dynamics“ bietet diese Möglichkeit der Erstellung von Diagrammen in Echtzeit. Im Folgenden wird dies an Hand eines Beispiels erläutert. In Abbildung 5 ist ein Schnappschuss aus einem Video zum Federpendel zu sehen. Zur Verdeutlichung der Bewegungsrichtung wurde eingestellt, dass die blaue Ortsmarkierung der letzten vier Einzelbilder zu sehen ist. In Abbildung 6 ist das parallel dazu entstehende t-y-Diagramm zu sehen.

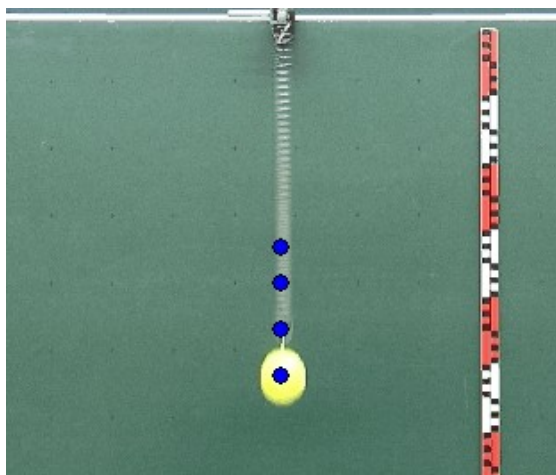


Abb. 5: Video zum Federpendel

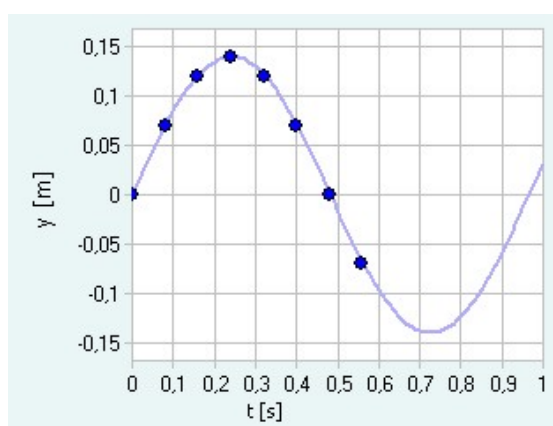


Abb. 6: t-y-Diagramm passend zu Abb. 5 (Punkte werden mit Video gezeichnet, zusätzlich ausblendbare Fitkurve)

Die dunkelblauen Messpunkte zeigen die  $y$ -Koordinate des Pendelkörpers zur Zeit  $t$ . Die hellblaue Sinuskurve ist eine Fitkurve, die mit wenigen Mausklicks ein- bzw. ausgeblendet werden kann. Sie dient zur Verdeutlichung der Sinusschwingung. Entscheidend ist bei diesem Diagramm, dass die Ortspunkte des Pendelkörpers im Diagramm synchron mit der Bewegung des Pendels im Video entstehen. Zum Zeitpunkt des Schnappschusses lief das Video also etwa 0,55 Sekunden, was man aus dem Diagramm in Abbildung 6 ablesen kann.

Weiterführend können dann Diagramme für Geschwindigkeit und Beschleunigung ebenfalls in Echtzeit parallel zum Video erzeugt werden (mit oder ohne Fitkurve). Diese beiden Diagramme sind in den Abbildung 7 bzw. Abbildung 8 gezeigt. Für das t-v-Diagramm wurde die alleinige Darstellung der Messpunkte gewählt. In dem t-a-Diagramm in Abbildung 8 wurden die Messpunkte gezeichnet und miteinander zum Liniendiagramm verbunden (ohne Fitkurve).

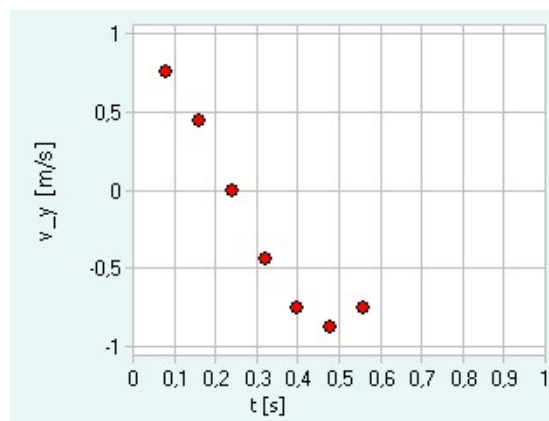


Abb. 7: t-v-Diagramm in Echtzeit (nur Punkte)

Die Erzeugung der Diagramme synchron zu dem parallel ablaufenden Video ermöglicht die Verwendung der Videoanalyse zur Einführung des Prinzips der graphischen Darstellung im Unterricht. Ideen dazu finden sich bei BENZ [1].

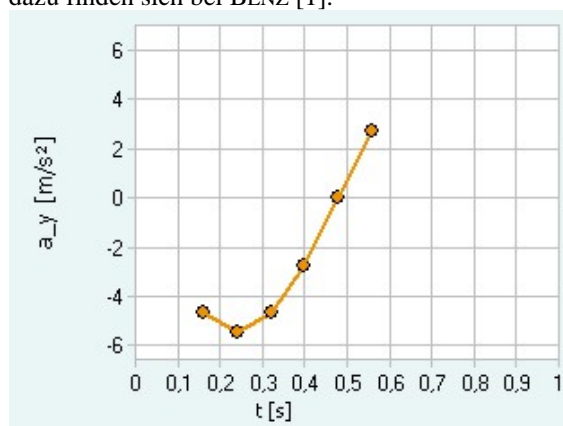


Abb. 8: t-a-Diagramm in Echtzeit (Punkte mit Linie, ohne Fitkurve)

### 5. Dynamisch ikonische Repräsentationen

Das Programm „measure Dynamics“ erlaubt mit wenig Aufwand die Darstellung dynamisch ikonischer Repräsentation von physikalischen Größen in Form von Vektorpfeilen. Eine genaue Beschreibung dieser Art der Darstellung und zahlreiche Beispiele für den Einsatz im Unterricht, die mit „measure Dynamics“ erstellt wurden, finden sich bei MICHEL [2]. Dort sind Geschwindigkeits- und Beschleunigungspfeile jeweils an das bewegte Objekt geheftet. Ein weiteres Beispiel zeigt Abbildung 9 [1]. In das Video zum Federpendel wurden ortsfeste Vektoren für die Größen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung eingefügt, die sich entsprechend der Pendelbewegung ändern. Die Darstellung der Größen als ortsfeste Vektoren erlaubt ein einfaches Erkennen des Zusammenhangs zwischen der Bewegung des Pendels und der durch die Vektoren dynamisch repräsentierten physikalischen Größen. Zusätzlich wird der Vergleich der dargestellten Größen untereinander erleichtert [6].

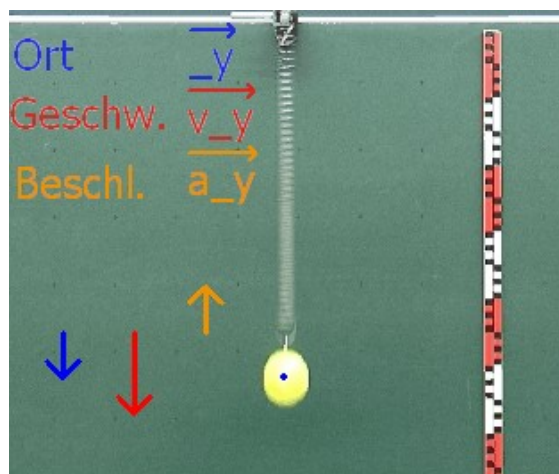


Abb. 9: Video mit ortsfesten Vektoren

## 6. Serienbilder

Unter dem Menüpunkt „Export“ können mit der Software Serienbilder erstellt werden. Dabei werden die verschiedenen Bilder eines Videos nacheinander in eine Tabelle gesetzt und insgesamt als ein einziges Bild ausgegeben, mit dem z.B. eine Videoanalyse auf dem Papier möglich ist.

Bei zusätzlich geschickter Wahl des für die Erstellung verwendeten Bildausschnittes kann damit auch ein Zeit-Ort-Diagramm erzeugt werden. In der Abbildung 10 ist ein solches Serienbild (als „Streifenbild“) zu sehen, das aus einem Video zu Bahrdtschen Fallkegeln erstellt wurde.

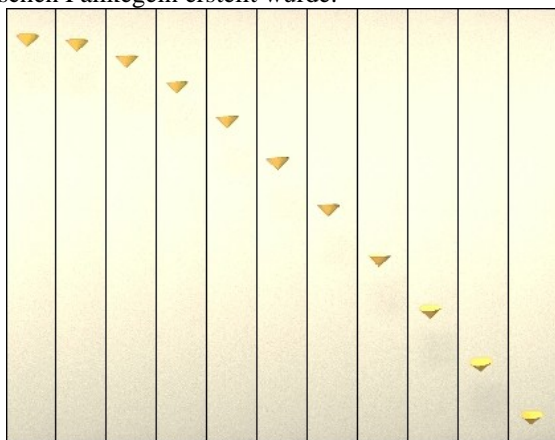


Abb. 10: Serienbild eines Bahrdtschen Fallkegels aus measure Dynamics

Die Fallkegel wurden nach der Anleitung aus [5] gebaut. Aus der Tabelle kann die Zeitdifferenz zwischen zwei Streifen abgelesen werden. Über die Option „Messen“ kann der Höhenunterschied zwischen dem ersten und dem letzten Streifen bestimmt werden. Somit lässt sich das Serienbild nicht nur qualitativ nutzen, sondern auch quantitativ auswerten. Dabei bietet sich bei einer Verwendung des Bildes auf einem Arbeitsblatt eine Nachbearbeitung des exportierten Serienbildes an, wie sie in Abbildung 11 zu sehen ist. Durch die Skalierung des Bildes wird dem Schüler die Auswertung, z.B. die Bestimmung der Durchschnittsgeschwindigkeit aus der

Steigung der sich im Verlauf bildenden Geraden, erleichtert. Eine solche Auswertung ergibt hier für die zweite Bewegungsphase eine Durchschnittsgeschwindigkeit von  $v = 2,50 \text{ m/s}$ .



Abb. 11: Nachträglich bearbeitetes Serienbild als Arbeitsblatt

In Abbildung 12 ist ein anderes Serienbild einer horizontalen Bewegung zu sehen. Es zeigt die Fahrt eines Wagens auf einer reibungsarmen Demo-Rollenfahrbahn. In der Mitte der Fahrbahn stößt der Wagen inelastisch mit einem zweiten Wagen gleicher Masse. Nach dem Stoß bewegt sich der so entstandene Wagen mit der halben Anfangsgeschwindigkeit weiter. Bei der Betrachtung ist zu beachten, dass die Zeitachse nun von oben nach unten verläuft.

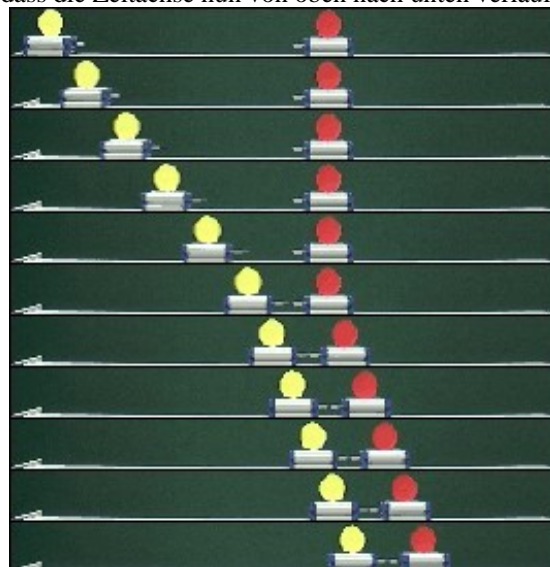


Abb. 12: Serienbild einer horizontalen Bewegung

## 7. Stroboskopbilder

In zahlreichen Schulbüchern zum Physikunterricht sind Stroboskopbilder zu finden. Sie dienen zur Veranschaulichung von Bewegungsabläufen oder zur Darstellung beschleunigter Bewegungen. Aus einem in „measure Dynamics“ geladenen Video kann in wenigen Schritten ein Stroboskopbild erstellt werden. Ein solches Stroboskopbild eines aufspringenden Tennisballes zeigt Abbildung 13.



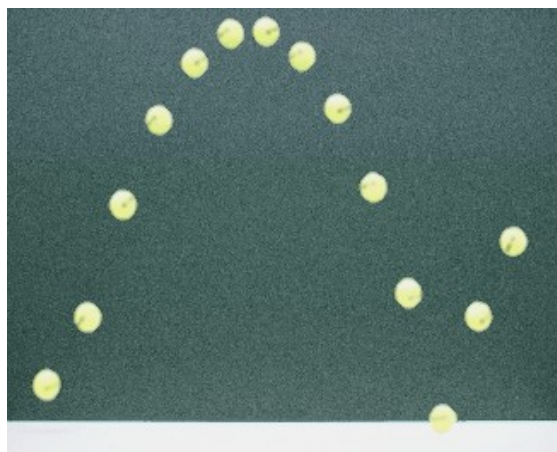


Abb. 13: Stroboskopbild eines aufspringenden Balles

Zusätzlich können zahlreiche Einstellungen vorgenommen werden. So ist es z.B. möglich, einen einfarbigen Hintergrund zu wählen. In Abbildung 14 wurde beim gleichen Video ein blauer Hintergrund gewählt, um einen guten Kontrast zu dem gelben Tennisball zu erreichen.

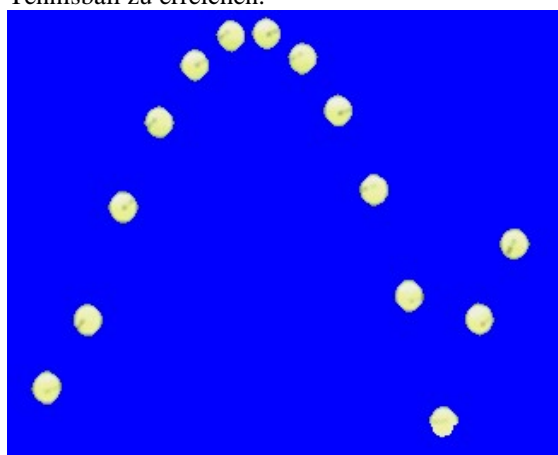


Abb. 14: Einfarbiger Hintergrund bei einem Stroboskopbildern

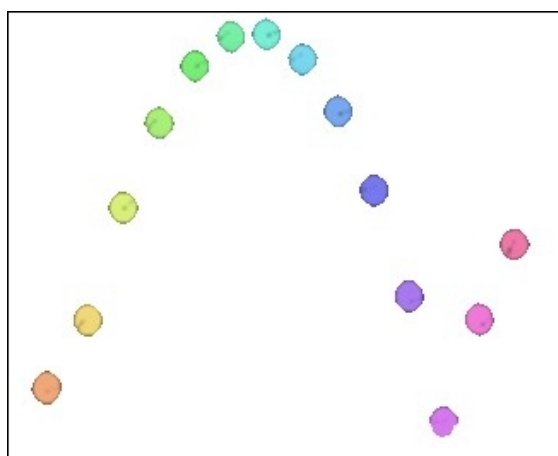


Abb. 15: Stroboskopbild mit farbigen Blitzlichtern

Um die Entstehung des Stroboskopbildes aus den einzelnen Frames des Videos besser erklären zu

können, ist es zudem möglich, farbige Blitzlichter zu verwenden. Dabei können bis zu 64 verschiedene Farben genutzt werden. Eine solche Darstellung ist in Abbildung 15 zu sehen. Dabei wurde ein einfarbig weißer Hintergrund gewählt. So kann ein guter Kontrast zu allen verwendeten Farben erzielt werden.

### 8. Weitere Beispiele auf der Tagungs-CD

Auf der Tagungs-CD befindet sich die vollständige Staatsexamensarbeit mit weiteren Beispielen und Anwendungsmöglichkeiten der digitalen Videoanalyse im Physikunterricht [1]. In der Arbeit ist u.a. die quantitative Betrachtung der Bahrdtschen Fallkegel vorgestellt. In einem weiteren Kapitel ist ein Versuch zur Erzeugung der Maxwell'schen Geschwindigkeitsverteilung mit einem Luftkissentisch gezeigt. Zudem bietet sie Hinweise und Empfehlungen zum Erstellen eigener Videos für die digitale Analyse.

Außerdem befinden sich auf dieser Tagungs-CD drei exportierte Videos als avi-Dateien. Ein Video zum Federpendel zeigt die ortsfesten Vektoren, wie sie in Abbildung 9 zu sehen sind. Ein Video zur Rollfahrbahn kann zur Einführung von Diagrammen genutzt werden. In einer weiteren avi-Datei ist ein Ausschnitt aus dem Video zur Bestimmung der Maxwell'schen Geschwindigkeitsverteilung beigelegt.

### 9. Literatur

- [1] BENZ, Michael (2008): Digitale Videoanalyse von Bewegungen – Neue Möglichkeiten mit der Software „measure Dynamics“. In: Nordmeier, V.; Oberländer, A.; Grötzebauch, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Berlin 2008, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin, auf dieser Tagungs-CD
- [2] MICHEL, Christine; WILHELM, Thomas (2008): Lehrvideos mit dynamisch ikonischen Repräsentationen zu zweidimensionalen Bewegungen, In: Nordmeier, V.; Oberländer, A.; Grötzebauch, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Berlin 2008, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin
- [3] WILHELM, Thomas; GEBNER, Thomas; SULEDER, Michael; HEUER, Dieter (2003): Sportaktivitäten vielseitig analysieren und modellieren. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 52, 2, S. 23-30
- [4] WILHELM, Thomas; HEUER, Dieter (2002): Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 51, 7, S. 29-34
- [5] WILHELM, Thomas (2000): Der alte Fallkegel – modern behandelt. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik 49, 6, S. 28-31
- [6] WILHELM, Thomas (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, Berlin, Logos Verlag

#### **10. Danksagung**

Besonderer Dank gilt der Firma Phywe und insbesondere Herrn Dr. Markus Grumann für die Bereitstellung der Software „measure Dynamics“ und zahlreicher Versuchsaufbauten, sowie Dipl.-Phys. StR z.A. Herrn Michael Suleder, dem Programmierer der Software, für die Unterstützung bei technischen Fragen und Problemen.

#### **11. Adresse**

Michael Benz, AR Dr. Thomas Wilhelm, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Physikalisches Institut der Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg, Tel. 0931/888-5788,  
[wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de](mailto:wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de)  
[michael.benz@stud-mail.uni-wuerzburg.de](mailto:michael.benz@stud-mail.uni-wuerzburg.de)  
[www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm](http://www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm)