

## Lehrvideos mit dynamisch ikonischen Repräsentationen zu zweidimensionalen Bewegungen

Christine Michel, Thomas Wilhelm

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

### Kurzfassung

Für die Messwerterfassung und Darstellung physikalischer Sachverhalte im Bereich der Mechanik eignet sich die Videoanalyse. Sie besitzt gegenüber anderer Darstellungsformen den Vorteil, dass es sich hierbei um bewegte Bilder handelt. Bei dem neuen Programm „measure Dynamics“ können im Video in Kombination mit dynamisch ikonischen Repräsentationen einige Größen sichtbar gemacht werden, die sonst für das Auge nicht fassbar sind. Dabei handelt es sich vor allem um die Größen „Geschwindigkeit“ und „Beschleunigung“. Ihr vektorieller Charakter wird durch die Darstellung von bewegten Pfeilen betont und das Verständnis der Schüler bewusst in diese Richtung geschult. Außerdem kann so über zweidimensionale Bewegungen in die Kinematik eingeführt werden. Dadurch können Fehlvorstellungen vermieden oder gegebenenfalls korrigiert werden. Durch die dynamisch ikonische Darstellung können die Zusammenhänge und der Verlauf verschiedener Größen deutlich besser veranschaulicht werden, als dies beispielsweise durch Graphen möglich wäre. In einer Staatsexamensarbeit wurden verschiedene zweidimensionale Bewegungen gefilmt und mit dieser Software aufbereitet. Im Vortrag werden ausgewählte Beispiele aus dieser Arbeit präsentiert und deren Verwendung im Unterricht erläutert.

### 1. Einsatz von Videoanalyse im Physikunterricht

Zweidimensionale Bewegungen lassen sich im Unterricht auf die verschiedensten Arten analysieren. Neben der klassischen Weise auf Tafel und Papier gibt es noch die Möglichkeit, reale zweidimensionale Bewegungen zu messen und zu untersuchen. Hierzu bieten sich verschiedene Mittel im Physikunterricht an: dazu gehören die Messung mit Maus, Graphiktableau oder GPS-Empfänger, die Spurenplatte oder die Videoanalyse [7].

Um aufgenommene Videos im Unterricht sinnvoll einsetzen zu können, benötigt man ein Videoanalyseprogramm wie zum Beispiel „measure Dynamics“ [2]. Dieses Programm ermöglicht eine automatische Objekterkennung und dynamisch ikonischen Repräsentationen wie Pfeile werden vom PC automatisch gezeichnet und zusammen mit dem Video abgespielt. Zu einem besseren Verständnis der Schüler und zur Förderung ihrer Kompetenz des Lesens von Graphen können das Video und der entsprechende Graph zeitgleich aufgebaut werden (räumliches und zeitliches Kontiguitätsprinzip).

### 2. Vorteile der Videoanalyse

Zu Beginn soll darauf hingewiesen werden, dass der Einsatz von Videos im Unterricht das Experiment auf keinen Fall ersetzen soll, sondern im Gegenteil dabei helfen soll, den Schülern den Versuch besser verständlich zu machen.

Videos können dem Lehrer dabei helfen, Versuchsvorgänge so aufzubereiten, dass Fehlkonzepte der Schüler durch die Konfrontation in Frage gestellt

werden und in physikalische Konzepte umgewandelt werden [3]. Videos ermöglichen es, das Phänomen und die zugrunde liegende Struktur eines physikalischen Vorgangs miteinander zu verbinden und die Analyse zu erleichtern. Durch diese Verbindung wird die kognitive Belastung der Schüler gemäß der Cognitive Load Theorie von SWELLER [6] verringert und der Lernprozess erleichtert. Neben der Kopplung des Realexperiments mit dynamisch ikonischen Repräsentationen in Form von Pfeilen können die Bewegungen auch durch Graphen repräsentiert werden. Die Kombination von Experiment mit dynamisch ikonischen Repräsentationen und Graphen (Multicodierung) ermöglicht es zudem, den Schülern das Lesen von Graphen zu vermitteln. Diese zeitliche Kontiguität von Experiment und Graph hilft ihnen an jedem Zeitpunkt des Versuchverlaufs die kognitive Verbindung zwischen den beiden Darstellungsformen herzustellen.

Da in der heutigen Zeit bereits viele Schulen Computerräume mit Schülerarbeitsplätzen besitzen, müssen die im Unterricht verwendeten Videos nicht zwingend vom Lehrer analysiert werden, sondern es ist wünschenswert und didaktisch sinnvoll, dass die Schüler anhand eigener Beispiele das Prinzip des Programms verstehen und selbst zweidimensionale Bewegungen mit ihm analysieren. „measure Dynamics“ bietet sogar einen sehr hohen Grad an Interaktivität, da das Programm weitestgehend selbsterklärend ist und nach einer kleinen Einführung durch den Lehrer den Schülern viele verschiedene Optionen bietet, um das ihnen zur Verfügung gestellte

Kurzvideo zu analysieren. Die Schüler haben dadurch die Chance selbstständig und entdeckend zu lernen. Das Wissen wird für sie dadurch lebendiger und „persönlicher“, was ihnen nach der „Theorie zum Lernen mit Multimedia“ von MAYER [4] den Lernprozess erleichtert.

Aus den Ergebnissen der internationalen Vergleichsstudien TIMSS (1997) und PISA (2001) wurde die Frage nach Kompetenzen wie die des Problemlösens laut. Es wird ein Unterricht gefordert, der sich an lebensnahen und authentischen Problemen orientiert, die sich durch eine hohe Komplexität auszeichnen und sich im „realen“ Leben wieder finden lassen. Ziel dieser neuen Aufgabekultur ist es, den Schülern anwendungsbezogenes Wissen zu vermitteln, dass ihnen erlaubt, außerschulische Probleme zu lösen [1]. Mit Hilfe eines Videoanalyseprogramms wie „measure Dynamics“ können die Schüler aus dem entdeckenden Lernen heraus Problemlösestrategien erlernen, die über die fachlichen Strategien („Wie wende ich mein Wissen auf dieses Problem an?“) hinaus zu allgemeinen Problemlösestrategien („Wie gehe ich an ein ganz neues Problem wie die Verwendung eines Videoanalyseprogramms heran?“) gehen. Neben dem Einsatz eines Videoanalyseprogramms zur Erstellung einer Selbstlerneinheit kann der Lehrer es auch zur Gestaltung eines problemorientierten Unterrichts verwenden. Also anhand von Alltagssituationen bewusst kognitive Konflikte bei den Schülern hervorrufen und diese dann mit den Schülern durch analysierte Realversuchsvideos lösen.

Ein weiterer Vorteil der Videoanalyse ist die Möglichkeit, Größen zu visualisieren, die normalerweise mit dem menschlichen Auge nicht sichtbar sind. Dabei handelt es sich um Größen wie „Geschwindigkeit“ oder „Beschleunigung“. Ihr vektorieller Charakter wird durch die Darstellung von bewegten Pfeilen betont und das Verständnis der Schüler bewusst in diese Richtung geschult, wodurch eventuelle Fehlvorstellungen vermieden oder korrigiert werden können. Der zweidimensionale Einstieg in die Mechanik kann durch den Einsatz von Videoanalyse erleichtert und veranschaulicht werden.

### 3. Die Einführung mechanischer Grundgrößen anhand zweidimensionaler Bewegungen

Die Größen „Geschwindigkeit“ und „Beschleunigung“ werden im Mechanikunterricht sinnvollerweise an zweidimensionalen Bewegungen eingeführt [7]. Als Beispiel soll die Kreisfahrt einer Spielzeugschienenbahn mit konstantem Tempo dienen. Zunächst kann die Bahnkurve gezeigt werden, z.B. in dem man die Ortsmarken stempelt (siehe Abb. 1). Schließlich kann der Ortsvektor  $\vec{x}$  gezeigt oder die Ortsvektoren hinter dem Wagen gestempelt werden (siehe Abb. 2).

Zur Erarbeitung der Geschwindigkeit über die Ortsänderung kann der Ortsvektor der aktuellen Position der Eisenbahn (weißer Pfeil) und zukünftigen

(ein Frame weiter) Position (grüner Pfeil) dargestellt werden. Der türkise Pfeil zeigt dann die Ortsänderung (also:  $\Delta\vec{x} = (\vec{x}_1 - \vec{x}_2)$ ) an und besitzt die gleiche Richtung wie der Geschwindigkeitspfeil (gelber Pfeil), der aus diesem durch Division durch  $\Delta t$  entsteht.

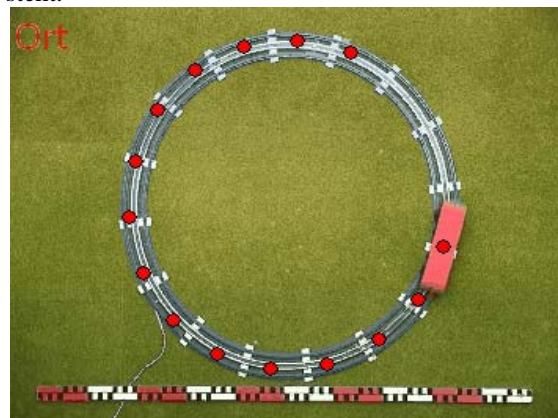


Abb. 1: gestempelte Ortsmarken



Abb. 2: gestempelter Ortsvektor des Wagens

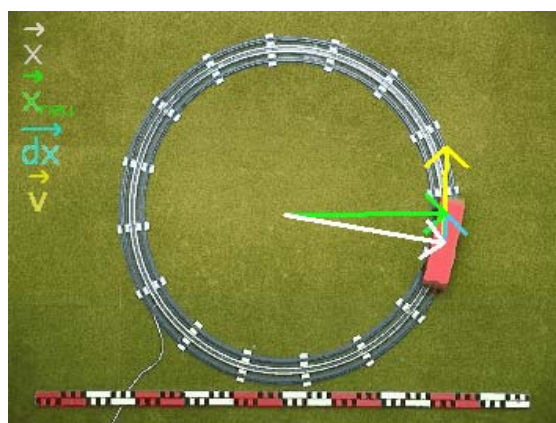


Abb. 3: Zur Herleitung der Geschwindigkeit

Durch diese Visualisierung kann der Schüler erkennen, dass die Geschwindigkeit immer in Richtung der Ortsänderung zeigt und versteht so den vektoriellen Charakter dieser Größe besser. Die Geschwindigkeit wird dadurch von Beginn an als Vektor gesehen und Fehlvorstellungen können vermieden beziehungsweise korrigiert werden. Die Be-

trachtung von der Bahnkurve und  $\vec{x}$  besitzt zudem den Vorteil, dass klar zwischen den Größen Ort und Weglänge unterschieden wird. Außerdem wird eine einfache Differenzierung geübt und die Einführung der Beschleunigung vorbereitet. Genauso wie hier aus  $\Delta\vec{x}$  nun  $\vec{v}$  wird, wird später aus  $\Delta\vec{v}$  die Beschleunigung  $\vec{a}$  (siehe Abb. 4).

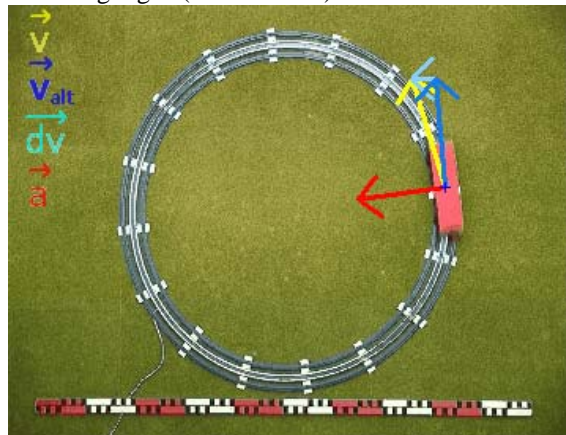


Abb. 4: Zur Herleitung der Beschleunigung

In Abb. 4 beschreibt der rote Pfeil die Beschleunigung und ist annähernd parallel zum türkisen Pfeil, der die Geschwindigkeitsänderung visualisiert. Er setzt sich aus der aktuellen Geschwindigkeit (gelber Pfeil) und der alten Geschwindigkeit (dunkelblauer Pfeil) zusammen. Beim Abspielen des dazugehörigen Projekts erkennt man deutlich, dass die Beschleunigung bei konstantem Tempo immer nach innen in den Kreis zeigt und im Idealfall sogar Richtung Kreismittelpunkt gerichtet ist.

Auch den Beschleunigungsvektor kann man nun wieder stempeln. Das ist ganz besonders dann interessant, wenn das Tempo des Wagens variiert und die Beschleunigung neben der radialen Komponente noch eine tangentiale Komponente besitzt. Wird das Tempo der Eisenbahn erhöht, so ist die Beschleunigung nicht genau zum Kreismittelpunkt gerichtet, sondern besitzt eine Komponente in Vorwärtsrichtung der Bewegung. (siehe Abb. 5).

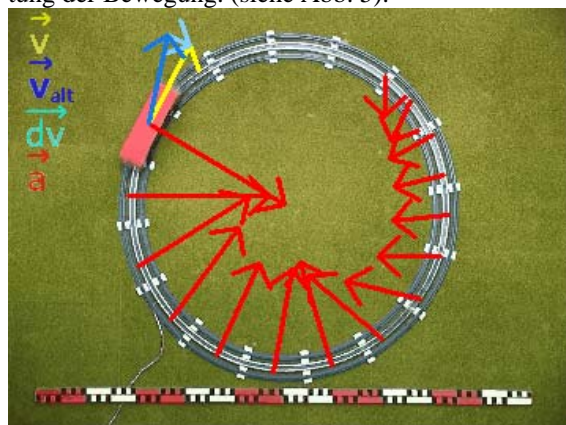


Abb. 5: Gestempelte Beschleunigung bei steigendem Tempo

#### 4. Verschiedene Einsatzmöglichkeiten

Die Videos mit den dynamischen Darstellungen können mit Hilfe von „measure Dynamics“ recht unterschiedlich in Unterricht eingesetzt werden. Ein Video kann im Unterricht mit der Software manuell oder automatisch analysiert werden, was in Gruppenarbeit im Computerraum oder von einer Person im Fachraum geschehen kann. Anschließend können die gewünschten Darstellungen erstellt oder einfacher aus einer Liste (Filter) zugeschaltet werden.

Da alle Einstellungen mit allen Darstellungen als ein „Projekt“ abgespeichert werden können, kann bei weiteren Beispielen auch einfach ein solches Projekt geöffnet werden. Eine erneute Analyse ist dann nicht mehr nötig und das Projekt kann als Lehrvideo mit allen voreingestellten Repräsentationen genutzt werden.

Schließlich kann das Video auch mit den ikonisch dynamischen Repräsentationen als avi-Datei exportiert werden und so von jedermann ohne die Originalsoftware verwendet und als Lehrvideo gezeigt werden.

#### 5. Weitere Beispiele

##### 5.1 Das Fadenpendel

Das Fadenpendel ist ein komplexer physikalischer Vorgang, der selbst von manchen Lehrern nicht in seiner Gänze verstanden wird. Besonders schwierig an der Bewegung des Fadenpendels ist die Betrachtung der Beschleunigung. Die Richtung der Beschleunigung setzt sich aus einer tangentialen und einer radialen Komponente zusammen. Der Anteil dieser beiden Teile ändert sich mit dem periodischen Verlauf des Pendels (siehe Abb. 6a bis 6d). An den Umkehrpunkten und dem Ruhepunkt kann sogar eine exakte Aussage über die Zusammensetzung der Beschleunigung gemacht werden. Die Radialbeschleunigung ist am Ruhepunkt maximal und am Umkehrpunkt Null. Bei der Tangentialbeschleunigung verhält es sich genau umgekehrt: Sie ist am Umkehrpunkt des Pendels maximal und im Ruhepunkt besitzt sie ihr Minimum (siehe Abb. 6a und 6c).

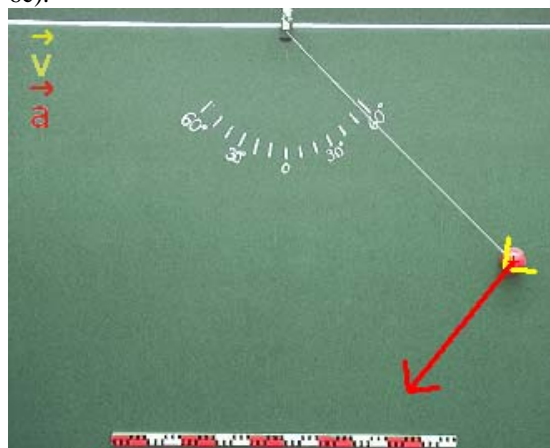


Abb. 6a: Geschwindigkeit und Beschleunigung im Umkehrpunkt (60° Auslenkung)

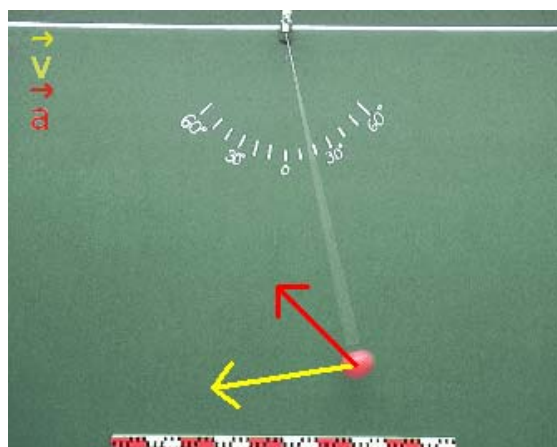


Abb. 6b: Fadenpendel kurz vor dem Ruhepunkt

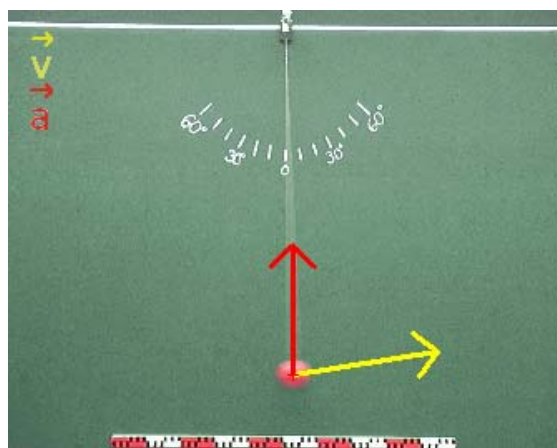


Abb. 6c: Geschwindigkeit und Beschleunigung eines Fadenpendels im Ruhepunkt

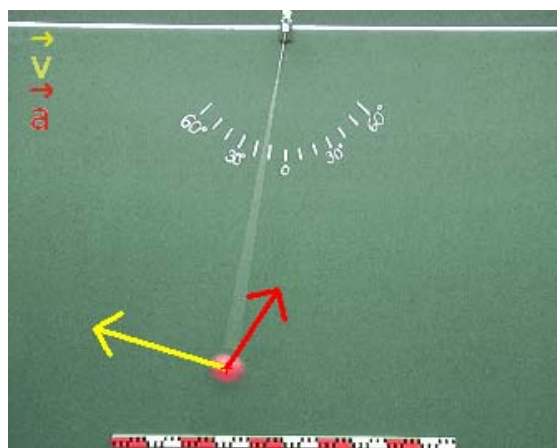


Abb. 6d: Geschwindigkeit und Beschleunigung eines Fadenpendels kurz nach dem Ruhepunkt

### 5.2 Impuls bei zweidimensionalem Stoßvorgang

Eine weitere Einsatzmöglichkeit der Videoanalyse ist die Impulsbetrachtung zweier Pucks auf einem Luftkissentisch. Durch die dynamische Darstellungsmöglichkeit können die einzelnen Geschwindigkeiten der Pucks vor und nach dem Zusammenstoß dargestellt werden (siehe Abb. 7a und 7b).

Neben der Geschwindigkeit wäre es zusätzlich möglich, die Impulse der Pucks  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$  dynamisch als Pfeile darstellen zu lassen. Außerdem ist es sinnvoll, sich die Beträge der beiden Geschwindigkeiten (siehe Abb. 7c) und der beiden Impulse in Zeit-Graphen anzuschauen.



Abb. 7a: Geschwindigkeit zweier Pucks vor dem Zusammenstoß (Masseverhältnis von 1:1,77)



Abb. 7b: Geschwindigkeiten zweier Pucks nach dem Zusammenprall (Masseverhältnis von 1:1,77)

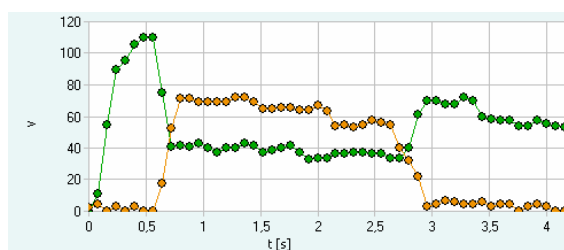


Abb. 7c: Zeitlicher Verlauf des Betrags der Geschwindigkeiten der beiden Pucks in cm/s (berechnet in measure Dynamics)

### 5.3 Berg- und Talfahrt

Die Analyse einer Berg- und Talfahrt eines Autos eignet sich sehr gut, um mit Schülern den Zusammenhang zwischen Oberflächenform und Beschleunigung zu erarbeiten. Es zeigt sich zunächst, dass im niedrigsten Punkt der Bahn die Beschleunigung senkrecht nach oben zeigt (siehe Abb. 8a).

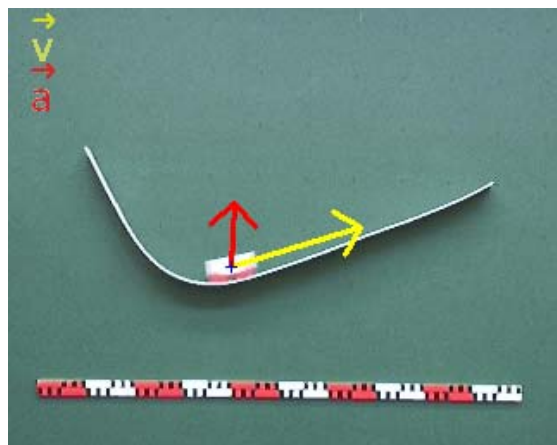


Abb. 8a: Geschwindigkeit und Beschleunigung eines Wagens im tiefsten Punkt der Bahn

Außerdem erkennt man, dass beim Schnellerwerden Geschwindigkeit und Beschleunigung in gleiche Richtung weisen (siehe Abb. 8c) und beim Bremsvorgang entgegengesetzt gerichtet sind (siehe Abb. 8b).

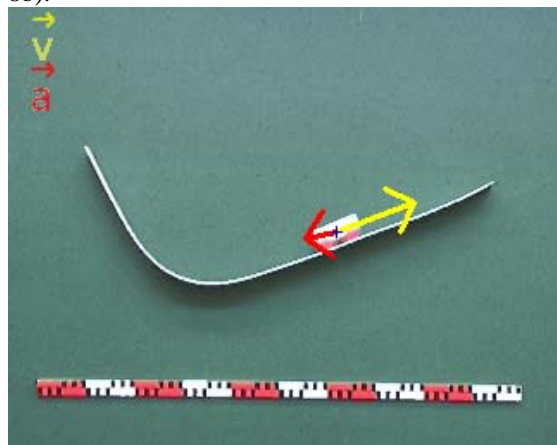


Abb. 8b: Geschwindigkeit und Beschleunigung beim Bremsvorgang

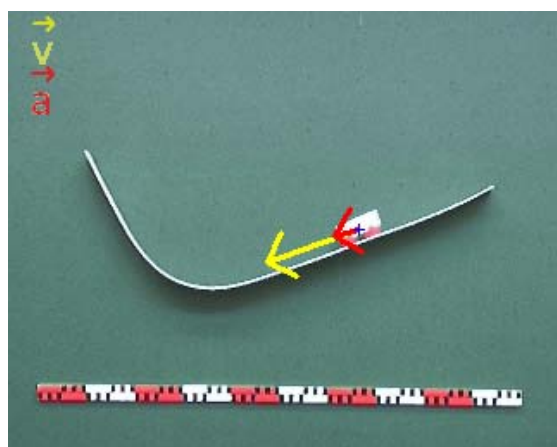


Abb. 8c: Geschwindigkeit und Beschleunigung beim Schnellerwerden

Interessant ist es auch, den zeitlichen Verlauf der kinetischen, potentiellen und gesamten Energie des Wagens zu betrachten (siehe Abb. 8d).

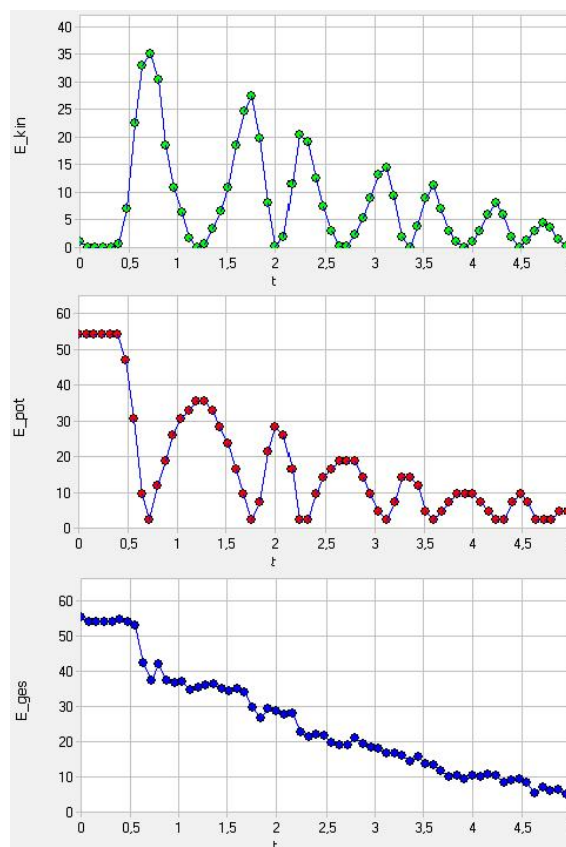


Abb. 8d: Zeitlicher Verlauf der kinetischen, potentiellen und gesamten Energie des Wagens (berechnet in measure Dynamics)

## 6. Weiteres auf der Tagungs-CD

Auf der Tagungs-CD befindet sich die vollständige Staatsexamensarbeit mit theoretischen Betrachtungen und weiteren Beispielen [5]. Außerdem befinden sich auf dieser Tagungs-CD zwei exportierte Videos als avi-Dateien, in denen die dynamischen Pfeile in das Video eingeblendet sind.

## 7. Literatur

- [1] BEINBRECH, C. (2003): Problemlösen im Sachunterricht der Grundschule, eine empirische Studie zur Gestaltung von Lehr-Lernumgebungen im Hinblick auf die Förderung des Problemlöseverhaltens im Sachunterricht, Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades des Doktors in der Erziehungswissenschaft, Westfälischen Wilhelms-Universität Münster ([http://miami.uni-muenster.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-1307/Diss\\_Beinbrech.pdf](http://miami.uni-muenster.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-1307/Diss_Beinbrech.pdf)) (Stand 11/2007)
- [2] BENZ, M.; WILHELM, T. (2008): measure Dynamics – Ein Quantensprung in der digitalen Videoanalyse, In: NORDMEIER, V.; OBERLÄNDER, A.; GRÖTZEBAUCH, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Berlin 2008, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin, auf dieser Tagungs-CD
- [3] HEUER, D. (1993): Computerunterstütztes Experimentieren – eine realistische Chance, Physik-Verstehen zu fördern. In: Behrendt, H. (Hrsg.):

Zur Didaktik der Physik und Chemie, Probleme und Perspektiven, Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie in Erfurt, September 1992, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP), Leuchtturm-Verlag, S. 130-132

- [4] MAYER, R. E. (2001): Multimedia Learning, 1. Auflage, Cambridge University Press, Cambridge
- [5] MICHEL, C. (2008): Videoanalyse zweidimensionaler Bewegungen mit dynamisch ikonischen Repräsentationen im Physikunterricht, In: NORDMEIER, V.; OBERLÄNDER, A.; GRÖTZEBAUCH, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Berlin 2008, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin, auf dieser Tagungs-CD
- [6] SWELLER, J.; VAN MERRIENBOER, J. J. G.; PAAS, F. G. W. C. (1998): Cognitive Architecture and Instructional Design, In: Educational Psychology Review, Vol.10, Nr.3, Springer Science+Business Media B.V., S. 251- 292
- [7] 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, Berlin, Logos Verlag

### **8. Danksagung**

Besonderer Dank gilt der Firma PHYWE und dem Entwicklungsleiter Dr. Markus Grumann für das zur Verfügung Stellen der Software und von Experimentiergeräten sowie dem Programmierer Dipl.-Phys. StR z.A. Michael Suleder für Hilfe bei Problemen und für das Umsetzen unserer Wünsche.

### **9. Adresse**

Christine Michel, AR Dr. Thomas Wilhelm, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Physikalisches Institut der Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg, Tel. 0931/888-5788,  
[chrimi@o2online.de](mailto:chrimi@o2online.de)  
[wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de](mailto:wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de)  
[www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm](http://www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm)