

Kinematik und Dynamik in der Sek I mit der Maus als Bewegungssensor

Von Michael Schmidt, Thomas Wilhelm, Dieter Heuer

1. Diagramme lesen lernen unterstützt vom Computer

Auch wenn Schüler Zeit-Weg-Diagramme von Bewegungsabläufen anhand von Messdaten erstellt haben, ist es für sie nicht leicht, vergleichbare Diagramme zu lesen [1]. Eine entscheidende Verständnishilfe ist es, wenn schrittweise aufgezeigt wird, wie aus einer geeigneten Darstellung des Bewegungsablaufs wichtige physikalische Größen erschließbar sind und diese unmittelbar dynamisch mit dargestellt werden, z.B. Ortsänderungen oder Geschwindigkeiten. In einer Weiterführung kann dann in einem späteren Durchgang deutlich werden, wie aus dieser dynamischen Darstellung parallel zum physikalischen Ablauf das zugehörige Diagramm entsteht. Hier kann der Computer auf elegante Weise helfen. Vom Mauszeiger wissen wir aus Erfahrung, dass er unsere eigene Bewegung der Hand auf dem Bildschirm darstellt. Wenn der Rechner die Daten der Bewegung kennt, sollte er uns auch die Arbeit abnehmen können, die zugehörigen Größen wie Ortsverschiebung und Geschwindigkeitsvektoren mit einzuzichnen sowie später die zugehörigen Diagramme zu erstellen. Dann können im Unterricht sehr schnell viele, auch unterschiedliche Bewegungen analysiert werden und die Schüler erfahren durch Learning by Doing nicht nur wie Diagramme zu lesen sind, sondern sie lernen anhand anschaulicher dynamischer Darstellungen auch wichtige Sachverhalte über Bewegungen.

2. Maus als attraktiver Wegsensor für Schalexperimente

Wer bereit ist, einige Abstriche bei den Anforderungen an den Wegsensor zu machen, der kann trotzdem mit der simplen PC-Maus attraktive qualitative und quantitative Versuche zur Kinematik und Dynamik durchführen – ohne teure Interfaces, Steckkarten und spezielle Wegsensoren. Als geeignete Software kann PAKMA für WINDOWS 95/98/ME ab

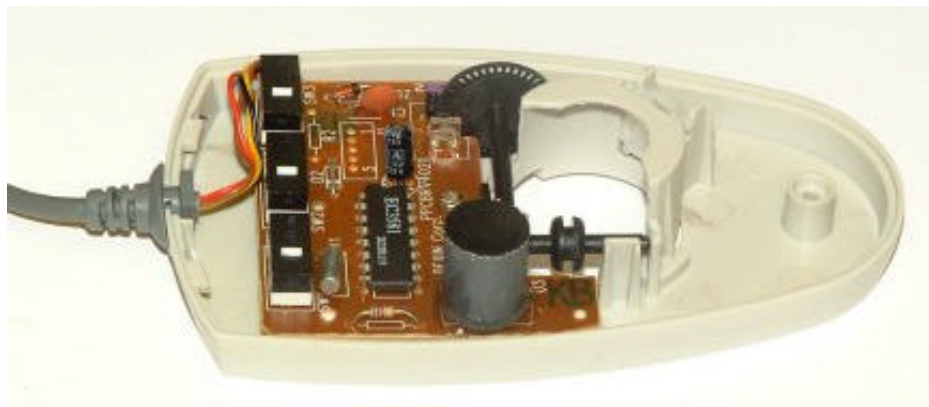


Abb. 1: Ansicht einer zum Bewegungssensor umgebauten Maus

Version 2.5 benutzt werden.¹ Da die Maus ins Experiment eingebaut ist, kann mit ihr der Computer nicht mehr bedient werden. Idealerweise verwendet man einen Computer mit einer PS/2- oder USB-Maus zum Bedienen und einer zusätzlichen seriellen Maus zum Messen.² Diese Konfiguration mit zwei Mäusen hat nur einen Nachteil, dass die Bedienmaus während der Messung nicht benutzt werden darf.³ Damit die Mausdaten proportional übertragen und nicht von Windows dynamisch in Abhängigkeit der "Fahrweise" umcodiert werden, müssen unter "Einstellungen/ Systemsteuerung/ Maus" die Mauseigenschaften geeignet eingestellt werden. Wenn der Maustreiber die Option "Mausbeschleunigung" anbietet, muss diese auf "Aus" gestellt werden. Zusätzlich muss

der Schieber für die Mausgeschwindigkeit ganz nach links auf den kleinsten Wert verschoben werden.

Damit die eindimensionale Bewegung eines Fahrbahnwagens erfasst werden kann, muss die Bewegung des Wagens über einen Faden mit einer Sensorachse in der Maus gekoppelt werden. Dazu wird die Maus geöffnet, die Kugel herausgenommen und der Faden über die Achse einer der beiden Rasterscheiben⁴ geführt (siehe Abb. 1). Um den Faden sicher zu führen und um einen Schlupf zu vermeiden, empfiehlt es sich, eine passende Kabeltülle⁵ und evtl. einen Gummischlauch auf die Achse zu schieben und den Faden in der Tülle laufen zu lassen. Außerdem muss der störende Einfluss von Umgebungslicht auf die Lichtschranke durch eine Abdeckung verhindert werden.⁶

Da die Maus alle 25 ms Daten sendet, muss im Programm zur Messdatenerfassung der Zeitschritt Δt unbedingt ein Vielfaches von 0,025 sein. Als Längeneinheit ist für eine serielle Standardmaus mit aufgesetzter Kabeltülle 0,120 mm pro Impuls typisch. Der exakte Wert sollte bei jeder

¹ Die Version 2.7 steht im Netz unter www.pakma.de zur Verfügung, ebenso die in diesem Artikel vorgestellten PAKMA-Projekte inklusive Messdaten.

² Am unkompliziertesten ist dabei der Einsatz von Mäusen mit Kabel. Bei den kabellosen Mäusen gibt es bemerkenswerte Unterschiede: So eignet sich als Wegsensor die Infracor-Maus A4 Tech Wireless und die 5-Tasten-Funkmaus von Tevion, aber weniger die Microsoft-Funkmaus, da diese die Daten nicht gleichmäßig überträgt.

³ Steht kein zusätzlicher Anschluß für eine zweite Maus zur Verfügung, so ermöglicht ein Umschalter [2] die wechselweise Aktivierung zweier serieller Mäuse zum Bedienen bzw. Messen. In diesem Fall muss die Umschaltung auf die jeweils "richtige" Maus rechtzeitig von Hand erfolgen.

⁴ Für die Projekte auf der Begleit-CD wurde die Scheibe gewählt, die den Mauszeiger auf den Bildschirm horizontal bewegt.

⁵ Empfehlung: Kabeldurchführungsstüllen aus Weich-PVC von Conrad-Elektronik, Best.-Nr. 52 69 08 - 88, Hauptkatalog 1, 2001, S. 1108, 0,17 DM

⁶ Eine ausführliche, bebilderte Umbauanleitung findet man unter <http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de/mausumbau>.

Maus in einem Vorversuch ermittelt werden und gilt dann auch nur für diese Kombination von Maus und PC. Damit hat dieses Messsystem etwa eine Auflösung von 0,1 mm. Die maximal detektierbare Geschwindigkeit liegt bei der Standardmaus mit obengenannter Kabeltülle typischerweise bei 0,55 m/s; treten höhere Geschwindigkeiten auf, wird trotzdem nur 0,55 m/s angezeigt.⁷

Zu bedenken ist auch, dass in der Maus eine Reibung vorliegt. Wenn die Bewegung möglichst reibungsarm sein soll, dann darf die Mausachse nicht als Umlenkrolle verwendet werden, sondern es muss ein zusätzliches Laufrad als Umlenkrolle verwendet werden, so dass an der Maus der Faden nur wenig, z.B. um ca. 30°, umgelenkt wird. Dann beträgt die Reibung in der Maus nur ca. 0,01 N.

3. Der Unterrichtsgang bei der gleichförmigen Bewegung

Die folgenden Ausführungen beschreiben Unterrichtserfahrungen (Lehrer: M. Schmidt) zum Thema „Bewegungen“. Unterrichtet wurde eine Klasse der 8. Jahrgangsstufe einer bayerischen Realschule (Gruppe I, d.h. Physik vertieft mit 3 Wochenstunden Physik und Abschlussprüfung in Physik), wobei das Softwarepaket PAKMA und die Maus als Bewegungssensor eingesetzt wurden. Dabei stellen die folgenden Ausführungen keineswegs eine vollständige Darstellung der Unterrichtssequenz mit allen Erarbeitungen dar, sondern konzentrieren sich auf den Aspekt Rechneinsatz.

Nach der Klärung des Begriffs Bezugssystem ist im Unterricht zunächst die gleichförmige Bewegung zu behandeln. Bei der Einführung werden verschiedene Bewegungsvorgänge eines ferngesteuerten Modellautos betrachtet und damit dazu übergeleitet, zunächst die „einfachere“ eindimensionale Bewegung zu untersuchen. An dieser Stelle werden die für eine Beschreibung nötigen Größen Weg und Zeit geklärt.

Zunächst ist zu vermitteln, dass bei einer gleichförmigen Bewegung in gleichen Zeitabschnitten Δt gleiche Streckenabschnitte Δs zurückgelegt werden. Dazu wird – da leider keine Luftkissenfahrbahn zur Verfügung stand – mit einem gut gelagerten Wagen auf einer Metallschiene (Schülerfahrbahn) diese Bewegung untersucht. Die Zeitmessung übernehmen zunächst die Schüler, wobei je eine Gruppe (jeder Schüler mit Stoppuhr) für die Messung der Zeitdauer während des Passierens eines Abschnittes zuständig war. Bedingt durch die unterschiedlichen Reaktionszeiten ergeben sich bei dieser Durchführung relativ große Abweichungen – eine genauere Durchführung des Versuchs ist offensichtlich nötig. Nun ist die Strecke relativ kurz, der Wagen passiert sie sehr schnell – die Messung „mit dem Computer“ erscheint den Schülern naheliegend.

Bevor allerdings tatsächlich Messwerte aufgenommen werden, wird zunächst das Prinzip der Messwertaufnahme erklärt. Der Umgang mit der Maus ist für die Schüler so selbstverständlich, dass ihnen das Prinzip schnell klar wird. Dazu beobachteten die Schüler – noch ohne das PAKMA gestartet war – wie sich der Mauszeiger auf dem Bildschirm bewegte, wenn der Wagen vom Lehrer auf der Fahrbahn hin- und hergeführt wurde.

Anschließend wird mit einem einfachen PAKMA-Programm, bei dem auf dem Bildschirm der Mauszeiger durch ein bewegtes Rechteck ersetzt ist, verdeutlicht, dass die Bewegung dieses Rechtecks am Bildschirm genau der Bewegung des Wagens entspricht, der Computer somit also den Ort des Wagens in Abhängigkeit der Zeit erfassen und darstellen kann. Um den Sachverhalt „gleiche Strecke in gleichen Zeitabschnitten“ zu verdeutlichen, wird dann zunächst die Stempeln-Funktion verwendet (siehe Abb. 2). Im Unterricht folgt danach die Definition der Geschwindigkeit.

4. Erfahrungen bei diesem Unterrichtsgang

Diese Art der Erfassung ermöglicht eine große Flexibilität im Unterricht, weil nicht nur ein, sondern ohne weiteres mehrere Versuche mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten in wenigen Sekunden durchgeführt werden können. Durch die Reproduktion des vom Rechner erfassten Versuchsablaufs mit der Möglichkeit, den schnellen Vorgang für Erklärungen kurz zu stoppen bzw. verlangsamt darzustellen, ist es möglich, auf Fragen der Schüler zu einem Versuch gezielt und vertiefend einzugehen.

Die Flexibilität in der Versuchsdurchführung war vor allem bei der Interpretation von s-t-Diagrammen hilfreich. Gerade die Deutung solcher Diagramme bereitet den Schülern der 8. Klasse häufig große Schwierigkeiten, da sie nur schwer eine Beziehung zwischen dem Graphen und einem dynamischen Vorgang herstellen können. Daher bekamen die Schüler nach der Erarbeitung, bei der s-t-Diagramme für unterschiedliche Geschwindigkeiten und mit Richtungswechsel behandelt wurden, die Aufgabe, bei mehreren vorgegebenen Diagrammen die zugehörige Bewegung zu beschreiben. Anschließend sollte zu jedem dieser vorgegebenen Graphen jeweils ein Schüler versuchen, diesen durch Schieben des Wagens während der Messwertaufnahme darzustellen (siehe Abb. 3). Gerade die Schüler, die diesen Versuch selbst durchführen konnten, hatten hier häufig Einsichten, die ihnen ohne eine dynamische Aufnahme der Messwerte und die entsprechende Animation verwehrt bleiben.

Auch die Zuordnung des aus der Mathematik bekannten Vektor-Begriffs zu einer physikalischen Größe wird durch die dynamische Darstellung erleichtert. Dazu wird der Wagen auf der Fahrbahn geschoben und der Vektor der Geschwindigkeit in der Animation mit angezeigt (siehe Abb. 4, oberer Teil). Die Zuord-

⁷ Bei der Infrarotmaus A4 Tech Wireless und der 5-Tasten-Funkmaus von Tevion mit obengenannter Kabeltülle dürfen nur Geschwindigkeiten bis 0,30 m/s auftreten, da nur dann die Mausdaten proportional übertragen werden; höhere Geschwindigkeiten werden zu klein angegeben. Daher müssen jeweils entweder solche Geschwindigkeiten vermieden werden oder es muss eine größere Führungstülle eingesetzt werden.



Abb. 2: Gestempelter Wagen bei konstanter Geschwindigkeit

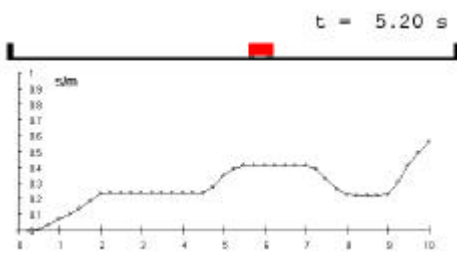


Abb. 3: Von einem Schüler durch Schieben des Wagens erzeugter Graph - entsprechend einem vorgegebenen Graphen

nung Betrag des Vektors zu Betrag der Geschwindigkeit und die Pfeilrichtung zur Bewegungsrichtung ist damit für die Schüler leicht nachvollziehbar, weil sie in der Animation tatsächlich einen bewegten Vektor sehen, dessen Länge unmittelbar von der Geschwindigkeit abhängt. Der Vektor erscheint für die Schüler somit als geeignete Beschreibung der Größe Geschwindigkeit. Läuft nun dieser Vektor um 90° gedreht einer Zeitachse entlang, erzeugt er mit seiner Spitze als weiterführende Darstellungsform den v-t-Graphen (siehe Abb. 4, unterer Teil).

5. Der Unterrichtsgang bei der beschleunigten Bewegung

Bei der Untersuchung der gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist es günstig, dass den Schülern die Messwerterfassung und Darstellung am Computer schon vertraut ist. PAKMA wird nun eingesetzt, um zugleich die Bewegung animiert darzustellen und den in einer Sekunde zurückgelegten Streckenabschnitt auszugeben - die Zunahme der Streckenlänge pro Zeitabschnitt wird dadurch sofort erkennbar (siehe Abb. 5). Die Proportionalität zwischen s und t^2 kann gut verdeutlicht werden, indem während einer schrittweisen Reproduktion die Werte vom Bildschirm abgelesen, ins Heft übertragen und dort

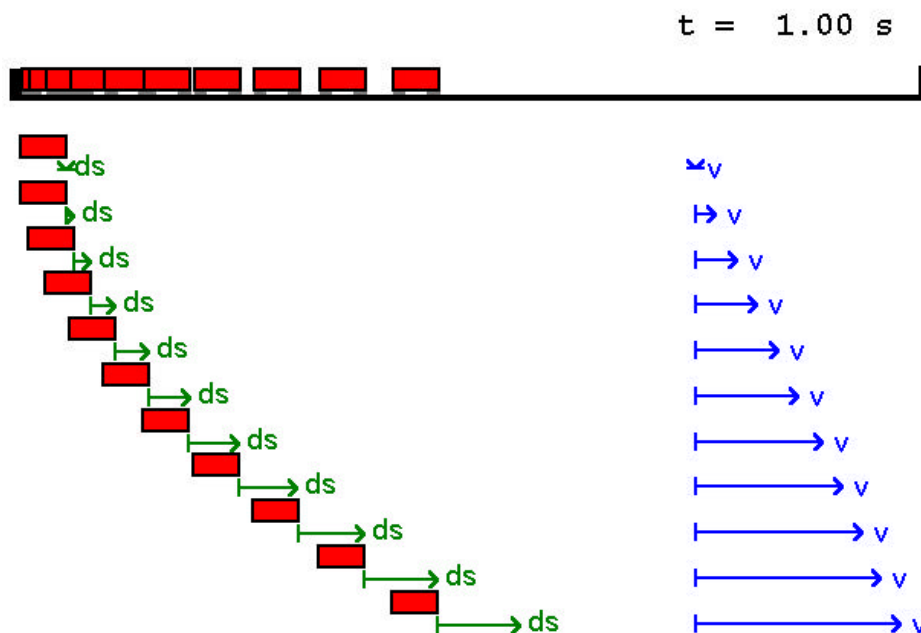


Abb. 5: Ortsänderung und Geschwindigkeit bei einer beschleunigten Bewegung

von den Schülern selbst ausgewertet werden. Weiterführend ist diese Proportionalität dann natürlich auch am Rechner, z.B. in einem weiteren Fenster, darstellbar.

Beim Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Zeit erweist es sich wieder als günstig, dass durch den Computereinsatz von der Durchführung eines Versuchs bis zum Zeichnen der Diagramme wesentlich weniger Zeit benötigt wird; umso mehr Zeit verbleibt zur Klärung des eigentlichen neuen physikalischen Inhalts. Dies bestätigt sich für mich vor allem auch bei der Bearbeitung des Zusammenhangs $F=ma$; hier lieferte der Versuchsaufbau (Beschleunigung des Gleiters über Massestücke an einem Umlenkfaden) sehr überzeugende Messwerte.

6. Zusammenfassung der Erfahrungen

Der Einsatz des PAKMA-Systems ist bei dieser Sequenz in mehrer Hinsicht ge-

winnbringend. Die Hardware der Versuchsaufbauten arbeitete zuverlässig und lieferte gute Messwerte, dabei sind die Versuche in der Vorbereitung nicht mit einem erhöhten Aufwand verbunden. Das Programm PAKMA lief ausgesprochen stabil und zeigte sich mit etwas Übung in der Unterrichtssituation als gut handhabbar.

Gerade die Verbindung zwischen Realexperiment und dynamischer Repräsentation erwies sich als sehr gewinnbringend, weil sie den Schülern neue Darstellungsformen zur Verfügung stellt. Dabei zeigte sich die Reproduktionsmöglichkeit auch mit der Einzelschrittschaltung als wesentliche Funktion, weil sie eine gute Unterstützung bei der Beantwortung von Schülerfragen zu einem Experiment liefert.

Literatur:

- [1] Heuer, D.: Dynamische Physik-Repräsentationen in Realexperimenten - innere Bilder, eine Hilfe zur Konzeptionalisierung - In: Schneider, W. B. (Hrsg.): Wege in der Physikdidaktik - Band 3 Rückblick und Perspektive, Palm und Enke, Erlangen, 1993, S. 424 - 436
- [2] Reusch, W.; Gößwein, O.; Kahmann, Ch; Heuer, D.: Mechanikversuche mit der PC-Maus - Ein präziser Low-Cost-Bewegungssensor - In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik 49, 2000, Nr. 6, S. 5 - 8

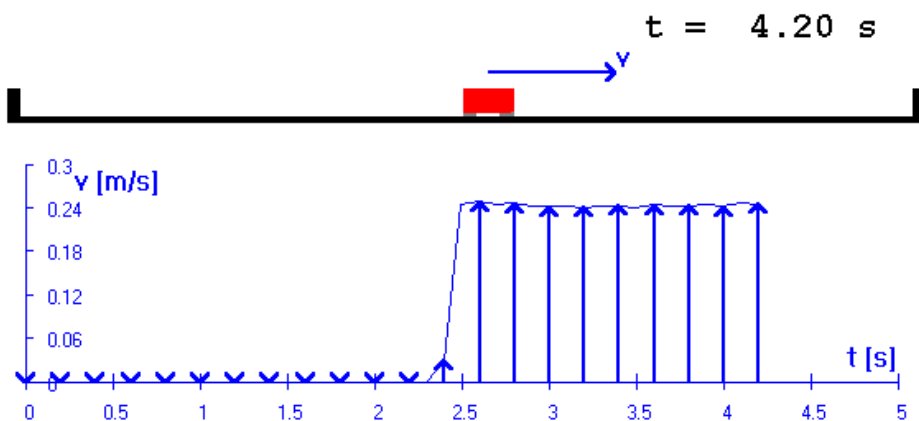


Abb. 4: Animation und Graph mit dem Vektor der Geschwindigkeit