

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 4

ISBN 3 - 7896 - 0588 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 1998

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

H. Hilscher

Physik und Alltag: Computergestützte Videoanalyse von Bewegungen

1 Einführung

Diagramme zur zeitlichen Entwicklung oder zum Zeitverhalten von Größen begegnen uns auf Schritt und Tritt: in Lehrbüchern, in Lexika und Datenbüchern, in Zeitschriften und Illustrierten, in der Tageszeitung, in Börsennachrichten, in Werbeprospekten und im Fernsehen. Sie bringen in anschaulicher und kompakter Form, qualitativ oder quantitativ den Wert einer Größe in Abhängigkeit von der Zeit und damit auch die Änderungsrate der Größe zum Ausdruck. Anders als entsprechende Tabellen mit langen Zahlenkolonnen erlauben Diagramme, sich in kurzer Zeit einen Überblick über die Abhängigkeit einer Größe von anderen Größen zu verschaffen.

Leider wird der Umgang mit Diagrammen im Unterricht nicht hinreichend geübt. Kinematische Betrachtungen sind ohne Zeitdiagramme der Bewegungsgrößen kaum vorstellbar. Jedoch führt die alleinige Verwendung von Zeitdiagrammen der Bewegungsgrößen als intendierte Lernhilfe nicht automatisch zu einem tieferen Verständnis von Bewegungsabläufen. Wie Untersuchungen zeigen (siehe z. B. [1,2]), bereitet Schülern der Umgang und das Interpretieren von Bewegungsgraphen erhebliche Schwierigkeiten. Es lassen sich danach bei der Interpretation von Graphen in der Kinematik die folgenden hauptsächlichen Fehlvorstellungen unterscheiden, die sich allerdings nicht scharf gegeneinander abgrenzen lassen und in der Regel vermischt auftreten.

- Schüler haben Schwierigkeiten, die Bedeutung der Größen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung zu unterscheiden. Verbreitet ist die Vorstellung, die Zeitdiagramme der drei Bewegungsgrößen müßten tendenziell gleich aussehen. Bei der Aufgabe, zu einem Weg-Zeit-Diagramm einer linearen Bewegung, das sich aus drei Geradenabschnitten zusammensetzt, das zugehörige Geschwindigkeits-Zeitdiagramm anzugeben, entschieden sich etwa ebensoviele Schüler für einen Graphen, der dem Weg-Zeit-Diagramm ähnlich sieht, wie für das korrekte Diagramm.
- Schüler sehen in einem Bewegungsgraphen so etwas wie ein Abbild des Profils eines Geländes, in dem die Bewegung stattfindet. Wird z. B. die Bewegung eines Radfahrers wie folgt beschrieben: „Ein Radfahrer fährt (mit konstanter Leistung) zunächst in der Ebene, dann bergauf und oben auf dem Berg eben weiter“ und läßt man den zugehörigen Geschwindigkeitsgraphen skizzieren, so zeichnen viele Schüler Kurven, die dem Profil der beschriebenen Radstrecke ähneln.
- Schüler haben Probleme, die Steigung einer Kurve mit der zeitlichen Ände-

rung der aufgetragenen Größe zu identifizieren. Sie verwechseln die Änderung mit der Größe selbst. Fordert man sie z.B. auf, in einem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm das Zeitintervall herauszusuchen, in dem die Beschleunigung am größten ist, geben viele den Zeitpunkt an, bei dem die Geschwindigkeit maximal ist.

- Schüler haben Schwierigkeiten, die Fläche zwischen Kurve und Zeitachse eines Bewegungsdiagramms physikalisch zu deuten. Nur sehr wenige Schüler sind in der Lage, anhand von Beschleunigungs-Zeit-Diagrammen verschiedener Bewegungen während des gleichen Zeitintervalls diejenige Bewegung mit der größten Geschwindigkeitsänderung herauszufinden.

Nach den Testergebnissen zu urteilen, können höchstens nur die Hälfte der Schüler am Ende einer Unterrichtseinheit zur Kinematik Zeitdiagramme von Bewegungsgrößen richtig interpretieren. Bereits das Erstellen eines Weg-Zeit-Diagramms zu einer realen Bewegung bereitet große Probleme.

Die Antwort auf die Frage, wie man der Schülerin und dem Schüler beim Erlernen des sinnvollen Verwendens und richtigen Interpretierens von Diagrammen zur Kinematik helfen kann, nimmt sich fast wie eine didaktische Binsenweisheit aus und wird durch jüngste Forschungsarbeiten zum modellhaften Verständnis von Lernprozessen im Bereich neuronaler Netze untermauert [3]: durch Bereitstellen geeigneter Übungsbeispiele und Zeitlassen zum Üben. "Regeln werden nicht durch Predigten, sondern anhand von Beispielen gelernt" schreibt *Mansfred Spitzer* in dem oben angeführten Buch [3, S. 68]. Als schülergerechte und motivierende Übungsbeispiele zur kinematischen Untersuchung von Bewegungen mit gezielter Unterstützung von Zeitdiagrammen eignen sich weniger die relativ künstlich anmutenden, mit Lehrmittelgeräten dargestellten Unterrichtsexperimente (auf die natürlich grundsätzlich zur Einführung in die Kinematik nicht verzichtet werden kann und darf) als vielmehr wohlvertraute alltägliche Bewegungsabläufe, Sportübungen oder besonders faszinierende Bewegungsereignisse. Im multimedialen Zeitalter bietet es sich an, mit einer Videokamera passende Szenen als Videoclips aufzunehmen, ausgewählte Filmausschnitte zu digitalisieren und mit einem PC unter Verwendung eines speziell dafür entwickelten Programms nach kinematischen Aspekten auszuwerten. Natürlich können auch verfügbare Videofilme, sofern sie auswertbare Bewegungsabläufe enthalten, für die Analyse herangezogen werden.

Dieser Beitrag stellt ein Videoanalyse-Programm vor, das von einem der Autoren (C. D.) im Rahmen einer Staatsexamensarbeit [4] entwickelt und getestet wurde und das primär als Übungsplattform für den Kinematik-Unterricht im o. g. Sinne gedacht ist, darüber hinaus aber auch in der Sportwissenschaft und in anderen Disziplinen, in denen die Analyse von Bewegungen von Interesse sein könnte, sinnvoll eingesetzt werden kann. Das Programm wird ergänzt durch eine Bibliothek von fünfzig digitalisierten Videoclips, die alle mit dem Programm

ausgewertet werden können. Die Themen reichen vom Anfahren eines ICE-Zuges über den Kopfschlag eines Boxers, Auto-Crashtests, den Sprung eines Bungee-Jumpers und zahlreiche andere sporttypische Bewegungsarten bis hin zur hüpfenden Fortbewegung eines Astronauten auf dem Mond. Sie decken damit ein breites Spektrum von Bewegungen aus der modernen Lebenswelt ab. Programm, Videobibliothek und die Ergebnisse der Auswertung sind auf einer CD-ROM - Bezugsquelle am Ende des Artikels - erhältlich. Ausführliche technische Details zur Bedienung des Programms und zur Auswertung von Videoclips sind in einer ausführlichen Online-Hilfe auf der CD zu finden.

Im folgenden werden zunächst die charakteristischen Eigenschaften und die prinzipielle Funktionsweise des Analyseprogramms (DIVA: Digitale Video Analyse) beschrieben und danach wird auf die Erstellung von Bewegungsdiagrammen und die Anpassung theoretischer Funktionen eingegangen und an Beispielen illustriert.

2 Digitales Video

Um Videofilme auf dem Computer bearbeiten zu können, müssen sie in digitaler Form vorliegen, Camcorder und Video-Abspielgeräte liefern derzeit aber noch analoge Signale. Spezielle Video-Einsteckkarten zusammen mit passender Software erledigen das Digitalisieren, das Komprimieren der Bilddaten und das Speichern der Daten auf der Festplatte des Computers. Beim Abspielen des digitalen Filmes werden die Daten wieder dekomprimiert. Beide Prozesse laufen nach speziellen, eigens dafür entwickelten Algorithmen ab. Die Kompressionsverhältnisse reichen von 1:10 bis 1:100. Die Digitalisierung und Kompression der im Anhang aufgelisteten Videofilme wurden mit der Videokarte "Movie Machine II" der Firma FAST [5] ausgeführt. Die durch die Komprimierung auftretenden Informationsverluste äußern sich in mehr oder weniger starken Einbußen hinsichtlich Auflösung und Schärfe des Bildes. Bei der verwendeten Videokarte von FAST sind die Qualitätsverluste bei dem kleinstmöglichen Kompressionsverhältnis von 1:13 erfreulich gering und führen zu keiner Beeinträchtigung von Darstellung und Auswertung der Filme. Erreicht wird die relativ hohe Qualität dadurch, daß der angewandte Kompressionsalgorithmus spezielle Eigenschaften des menschlichen Auges berücksichtigt. So nimmt das Auge beispielsweise Helligkeitsunterschiede weit weniger differenziert wahr als Farbunterschiede, wodurch eine relativ große Reduktion der Helligkeitsinformation möglich ist. Zur Dekomprimierung und Wiedergabe von digitalen Filmen ist nicht unbedingt eine spezielle Hardware erforderlich. Die Dekomprimierung von Filmdateien passenden Formats kann auf moderneren PCs von gewissen leistungsfähigen Standardalgorithmen erledigt werden. Die WINDOWS-Ergänzung "Video für WINDOWS" und das System WINDOWS 95 enthalten diese Standards als Treiber. Vor dem Abspielen eines digitalen Videos stellt das Betriebssystem anhand einer Kennung im Datei-Header fest, um welches Format es sich handelt

und lädt den entsprechenden Treiber, um den Film darstellen zu können. Ähnlich wie bei der Benutzung eines Druckertreibers merkt der Anwender nichts von diesem Vorgang. Die Endung der Namen der Filmdateien ist für alle diese Standardformate dieselbe (*.AVI).

3 Videoanalyse

Die Videoanalyse wird mit dem Programm DIVA durchgeführt. Nach dem Aufruf des Programms erscheint die in Abb. 1 wiedergegebene Startseite der Videoanalyse. Sie enthält neben einem Vorschaumonitor zur Darstellung eines geladenen Films verschiedene Menüs, Felder und Steuertasten, die zum größten Teil selbsterklärend sind bzw. ähnlich wie bei einem Videoabspielgerät gestaltet sind. Der zu analysierende Film wird auf dem Vorschaumonitor betrachtet. Zur Auswertung werden die folgenden Steuertasten benötigt: Einzelbildschaltung (Vor und Zurück), Schieberegler, mit dem auf jedes beliebige Bild des Films zugegriffen werden kann und der Regler für die Abspielgeschwindigkeit, die in gewissen Grenzen frei gewählt werden kann, so daß Zeitlupe- und Zeitraffer-Wiedergabe möglich sind.

Zur Erstellung von Bewegungsdiagrammen müssen zunächst die Orts- und

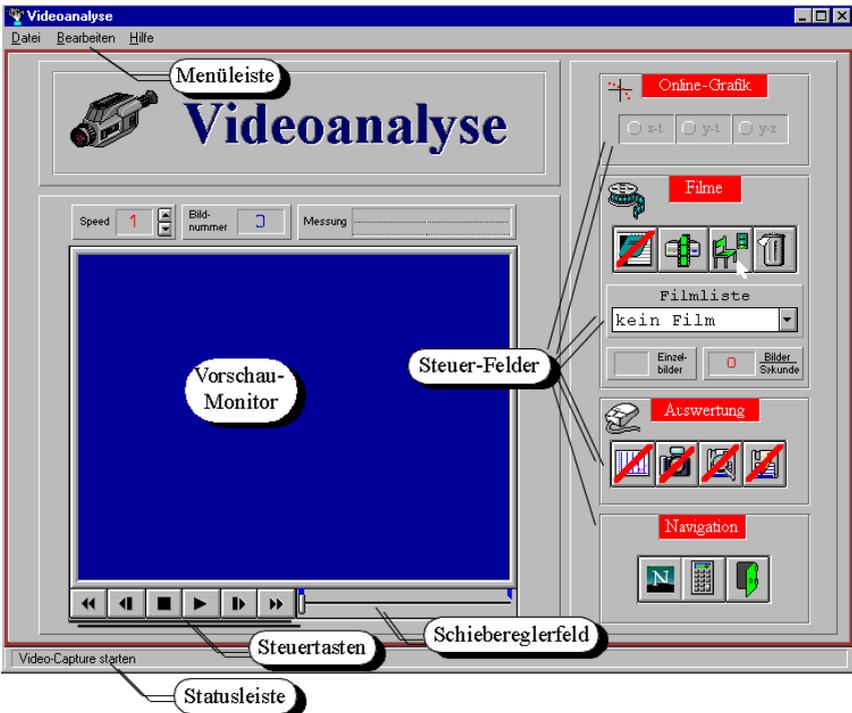


Abb. 1: Startseite des Videoanalyseprogramms mit Erläuterungen

Zeitkoordinaten eines ausgewählten Punktes des bewegten Objekts bildweise erfaßt werden, wobei „bildweise“ nicht das Abarbeiten jedes Bildes des Films bedeutet. Vielmehr sind Anfangs- und Endbild und die Bild-Schrittweite (jedes wievielte Bild soll analysiert werden) einstellbar. Zum Erfassen der Meßwerte bewegt man den Cursor an eine gewünschte Bildposition und speichert die zugeordneten Ortskoordinaten (in Bildschirmeneinheiten (Pixel), nach Kalibrierung in metrischen Einheiten) zusammen mit der Zeitkoordinate, die das Programm aus der Nummer des Bildes unter Berücksichtigung der Bildrate berechnet, durch Drücken der linken Maustaste. Die so erfaßte Position kann jederzeit durch erneutes Markieren korrigiert werden. Die Ortskoordinaten in Bildschirmeneinheiten des markierten Punktes und die Zeitkoordinate jedes ausgewerteten Bildes relativ zu Bild 1 (Zeit-Nullpunkt) können während der Messung in zwei eigenen Fenstern angezeigt werden. Die gespeicherten Meßwerte stehen zur weiteren Verwertung in einer Datei zur Verfügung.

Wenn zum aktuellen Film Meßwerte vorhanden sind, sei es nach einer soeben durchgeführten Meßwerterfassung oder nach dem Laden einer Meßwertedatei einer früheren Analyse, kann das Eintragen der Meßwerte in x-t-, y-t- und x-y-Diagramme während des Abspielens des Films (bildweise oder kontinuierlich) in separaten frei zu positionierenden Fenstern online verfolgt werden. Dadurch, daß sich beim Abspielen des Films einerseits das Objekt im Film bewegt und andererseits im eingeblendeten Diagramm die Positionen des markierten Punktes zeitgeordnet eingetragen werden, wird der Zusammenhang zwischen Bewegungsablauf und Diagrammaufbau visualisiert.

Bei der soeben beschriebenen Darstellung von Orts- und Weg-Zeit-Diagrammen werden lediglich die erfaßten Meßwerte in Koordinatensysteme eingetragen. Eine Weiterverarbeitung der Daten wie Anpassen von Fitfunktionen, Erstellen von Geschwindigkeits-Zeit- und Beschleunigungs-Zeit-Diagrammen ist in dem der hier beschriebenen Videoanalyse zugrundegelegten Entwicklungssystem „Multimedia-TOOLBOOK 3.0“ der Firma Asymetrix schlecht möglich. Das Programm übermittelt deshalb die Meßdaten an das Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL, dessen Berechnungen und erstellten Graphiken in die TOOLBOOK-Oberfläche eingebunden werden können. Der Anwender des Videoanalyse-Programms merkt, wenn er sich nicht ausdrücklich darum kümmert, kaum etwas von dieser Arbeitsteilung. Mit Hilfe von EXCEL können neben der Ortskurve und den Weg-Zeit-Diagrammen auch Geschwindigkeits-Zeit- und Beschleunigungs-Zeit-Diagramme dargestellt werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die aus den Meßdaten gewonnenen Graphen mit selbstdefinierten Funktionsgraphen zu vergleichen und so physikalische Modelle und theoretische Vorstellungen zu überprüfen. Was bei der Weiterverarbeitung der Meßdaten besonders zu beachten ist und wie unter EXCEL Graphen aussehen, wird im nächsten Kapitel ausgeführt.

4 Erstellen von Bewegungsdiagrammen und Funktionsgraphen

Bei der Auswertung eines Bewegungsablaufs können als Meßwerte nur Orts- und Zeit-Koordinaten eines markierten Punktes erfaßt werden, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen müssen daraus berechnet werden. Die Meßwerte bilden Zahlentripel $\{t_i, x_i, y_i\}$, der Quotient aus der Differenz zweier aufeinander folgender Ortskoordinaten und der Differenz der zugeordneten Zeitkoordinaten liefert die entsprechende Geschwindigkeitskoordinate zum Zeitpunkt, der sich aus dem arithmetischen Mittel der beiden Zeitkoordinaten berechnet. Die so ermittelte Geschwindigkeit stellt die mittlere Geschwindigkeit im betrachteten Zeitintervall dar und wird als Näherungswert für die Momentangeschwindigkeit zur Zeit der Mitte des betrachteten Zeitintervalls geplottet. Die auf diese Weise erhaltenen Zahlentripel $\{t_i', v_{x_i}, v_{y_i}\}$ werden tabelliert und dazu verwendet, um nach dem gleichen Verfahren wie oben durch Bilden von Differenzenquotienten Beschleunigungen zu berechnen und die Zahlentripel $\{t_i'', a_{x_i}, a_{y_i}\}$ zu tabellieren, wonach die Beschleunigungs-Diagramme erstellt werden. Die Methode der Approximation von Differentialquotienten durch Differenzenquotienten ist nur unter zwei Voraussetzungen sinnvoll:

- Die Meßwerte müssen im gesamten Zeitraum der betrachteten Bewegung überall hinreichend dicht liegen, d. h. der Zeitabstand zweier Bilder des Videofilms muß klein sein gegenüber der Zeitdauer des Filmstreifens, und es dürfen keine Geschwindigkeitsänderungen, die zeitlich nicht aufgelöst werden, auftreten.
- Die Meßwerte dürfen statistisch nicht sehr streuen. Ursache unerwünschter Streuungen sind unscharfe Objekte, deren präzise Markierung bei der Einzelauswertung schwierig ist.

Bei den meisten Filmaufnahmen ist die Auswertung der Meßwerte nach der Methode der Differenzenquotienten problematisch, weil mindestens eine der o.g. Voraussetzungen nicht über die gesamte Länge des Streifens hinweg erfüllt ist. In diesen Fällen empfiehlt es sich, anders zu verfahren. Das Videoanalyse-Programm sieht vor, in die Diagramme für die gemessenen oder berechneten Wertepaare den Graphen einer Funktion (siehe unten) zu legen. Die frei definierbare Funktion wird dazu in EXCEL tabelliert. Dadurch ist es einerseits möglich, theoretische Modelle zur Beschreibung der aufgezeichneten Bewegung zu überprüfen, andererseits kann eine an den Meßwerteverlauf gut angepasste Funktion durch numerische Differentiation zur Darstellung von Geschwindigkeits- und Beschleunigungs-Zeit-Diagrammen herangezogen werden. EXCEL bietet die Möglichkeit, den Meßwertpaaren eines Diagramms ein Ausgleichspolynom anzupassen und die Funktionsgleichung auszugeben. Diese Anpassungsfunktion wird aber leider nicht tabelliert. Will man sie zur Erzeugung des Geschwindigkeit-Zeit-Graphen differenzieren, muß die ausgegebene Funktionsgleichung als definierte Funktion eingegeben werden. Zweimaliges

numerisches Ableiten führt zum Beschleunigungs-Zeit-Diagramm. Nach Eingabe einer selbst definierten Funktion wird ihr Graph in das entsprechende Diagramm eingezeichnet und die Funktionsgleichung links oben im Diagramm unter "definierte Funktion" ausgegeben. Die Gleichung eines automatisch angepaßten Polynoms wird rechts oben unter "angepaßte Funktion" auf das Diagramm gedruckt (s. Abb. 2).

Am Beispiel der Videoaufzeichnung einer frei fallenden Kugel werden die beiden oben diskutierten Methoden zur Erzeugung von Geschwindigkeits- und Beschleunigungs-Zeit-Diagrammen illustriert. Dabei kann zugleich ein besonderes Verfahren der Bilddarstellung von Bewegungen vorgestellt werden: die „digitale Strobographie“ (DSG). Bei kontrastreichen Aufnahmen ist es möglich, die Einzelbilder eines Films am Computer zu überblenden und so nachträglich eine Stroboskopaufnahme zu erhalten. Dazu wird ein Pixelgrafik-Programm benötigt, das in der Lage ist, zwei Bitmaps so übereinanderzulegen, daß im daraus resultierenden Bild an jedem Einzelpunkt die jeweils hellere Bildinformation der beiden Ausgangsbilder zu sehen ist. Abb. 2 (a) zeigt das mit „ADOBE-Photoshop“ erzeugte digitale Stroboskopbild einer frei fallenden Kugel. Das zugehörige Ortsdiagramm ist daneben abgebildet (Abb. 2 (b)).

Abb. 3 zeigt die Meßpunkte und den Graphen eines Ausgleichspolynoms 2-ten Grades im y - t -Diagramm der Fallbewegung, auf dem auch die Funktionsgleichung angegeben ist. Aus ihr liest man den Wert der Erdbeschleunigung zu $g = 9,82 \text{ m/s}^2$ ab.

Die nach der Methode der Differenzenquotienten erzeugten Geschwindigkeits- und Beschleunigungs-Zeit-Diagramme sind in Abb. 4(a) und 4(b) dargestellt. Im v_y - t -Diagramm ist der lineare Zusammenhang zwischen v und t zwar deutlich erkennbar, dennoch fällt die Streuung der berechneten Punkte um eine gedachte Ausgleichsgerade ins Auge, die auf prinzipiell nicht vermeidbare Ungenauigkeiten bei der Meßwerterfassung mit Hilfe des Cursors zurückzuführen ist. Auf der nächsten Ebene der Berechnung von Differenzenquotienten machen sich die statistischen Schwankungen auf der nächsten Ableitungsstufe (Beschleunigung) bereits äußerst nachteilig bemerkbar, wie man aus Abbildung 4(b) entnehmen kann. Das gewählte Experiment wurde allerdings unter optimalen Bedingungen, die die oben geforderten Voraussetzungen für die Anwendung der Methode der Differenzenquotienten erfüllten, aufgezeichnet. Diese optimalen Bedingungen liegen in der Realität oft nicht vor, so daß in diesen Fällen die geschilderte Methode nur begrenzt anwendbar ist. Beschleunigungen lassen sich dann nicht mehr sinnvoll berechnen.

Im Unterschied zur Differenzenquotienten-Methode bereitet die Methode der Differentiation von Anpassungsfunktionen keinerlei Probleme und ist zur Analyse von Bewegungen universell anwendbar. Mit ihr wurden die Diagramme in Abb. 5 erstellt.

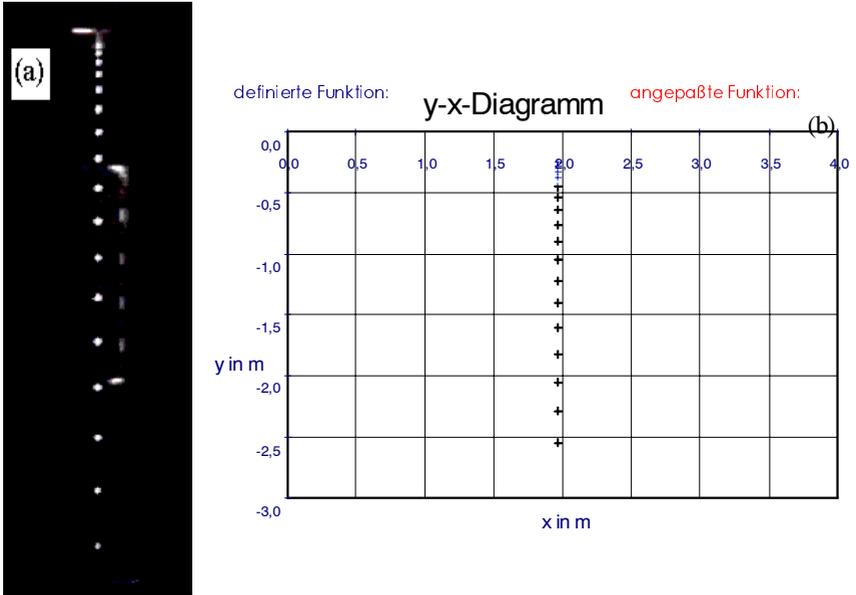


Abb. 2: (a) Stroboskopbild - erhalten mit der digitalen Stobographie (DSG) für eine frei fallende Metallkugel; (b) Ortsdiagramm zu (a)

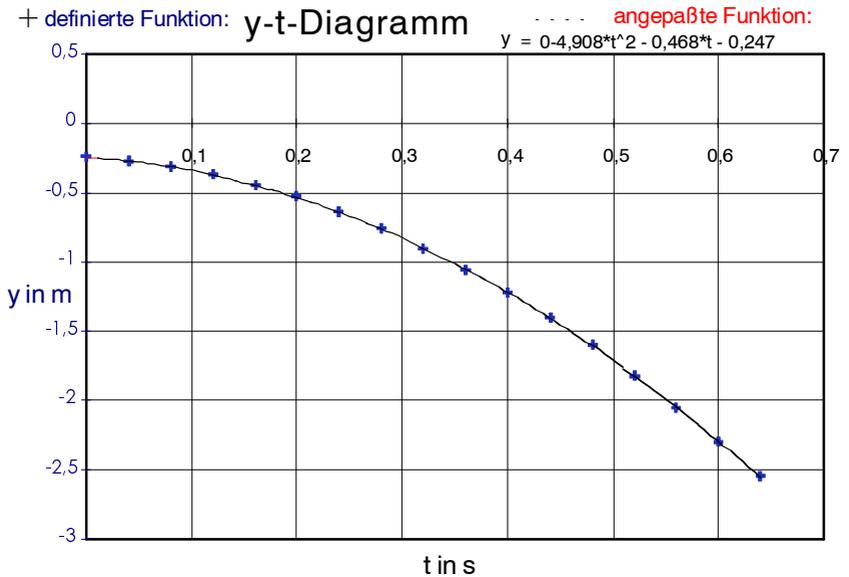


Abb. 3: Meßpunkte und Graph einer Fit-Funktion im y-t-Diagramm der Fallbewegung

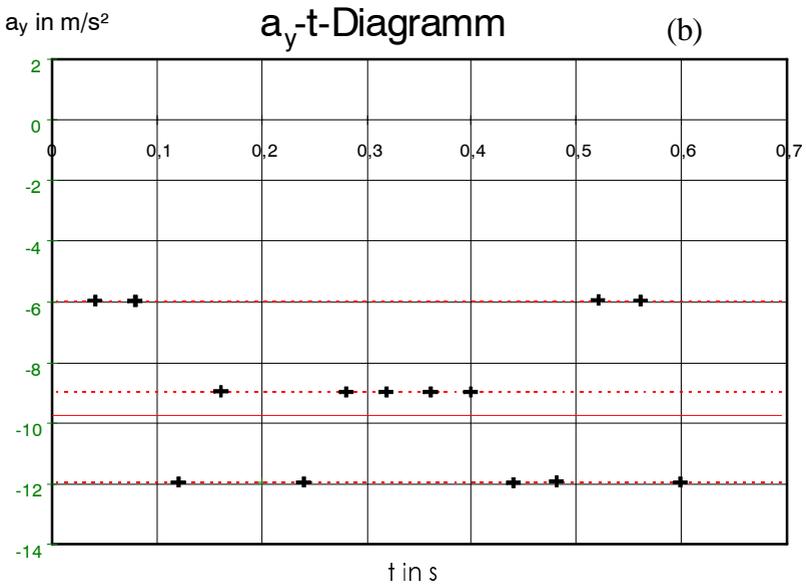
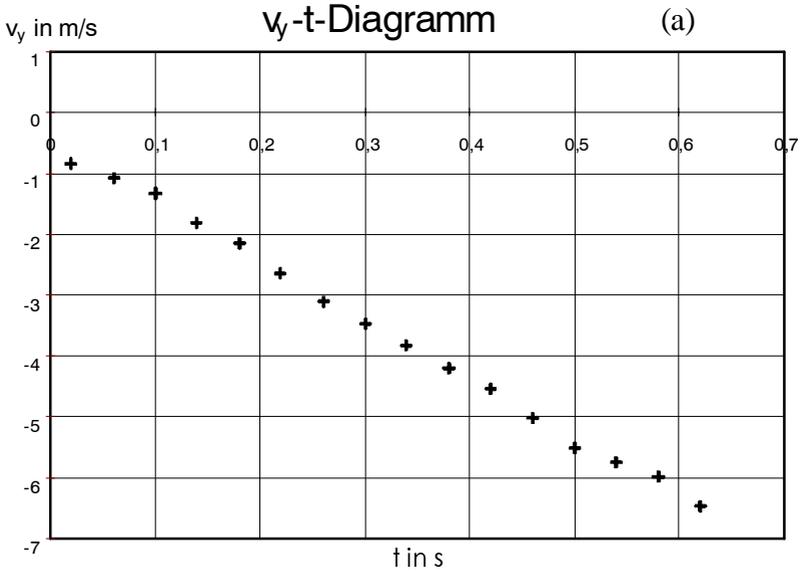


Abb. 4: Nach der Methode der Differenzenquotienten erzeugte Bewegungsdiagramme zum freien Fall, (a) Geschwindigkeits-, (b) Beschleunigungs-Zeit-Diagramm

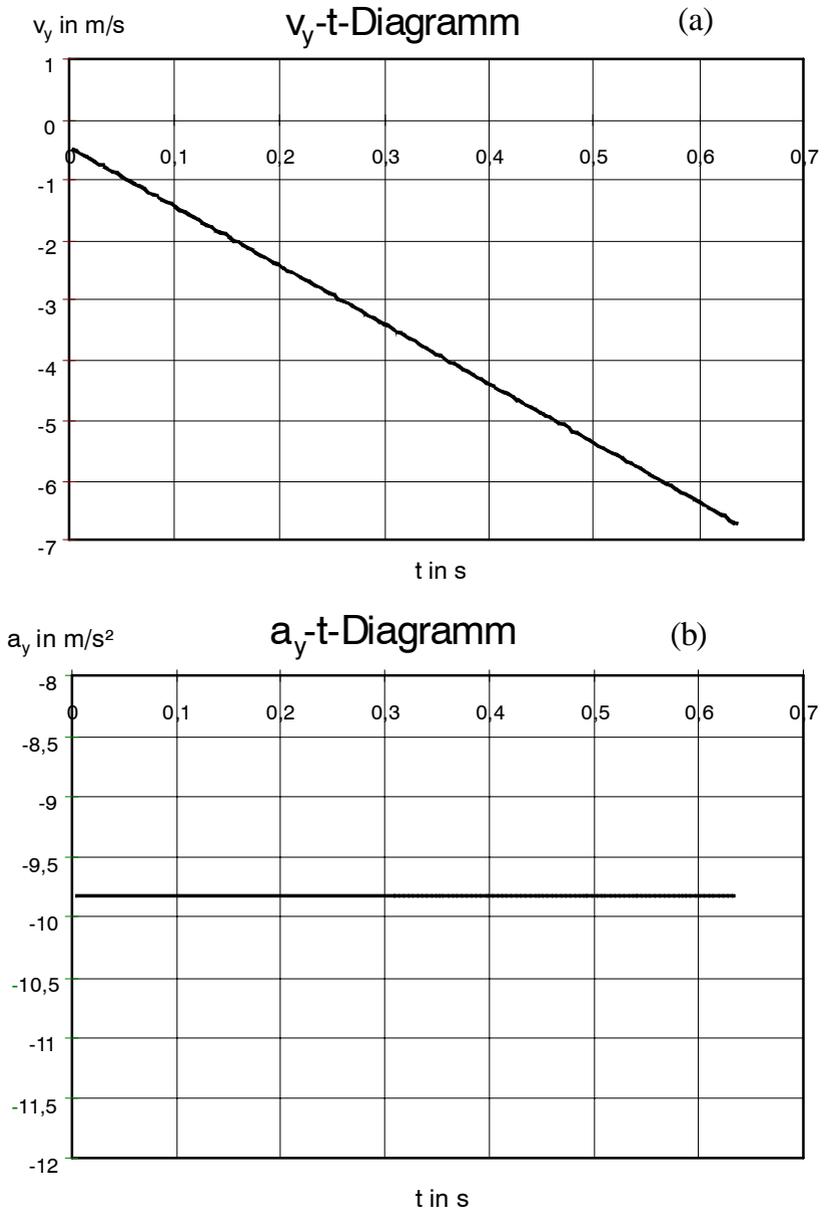


Abb. 5: Durch Differentiation einer Anpassungsfunktion erzeugte Bewegungsdiagramme zum freien Fall, (a) Geschwindigkeits-, (b) Beschleunigungs-Zeit-Diagramm

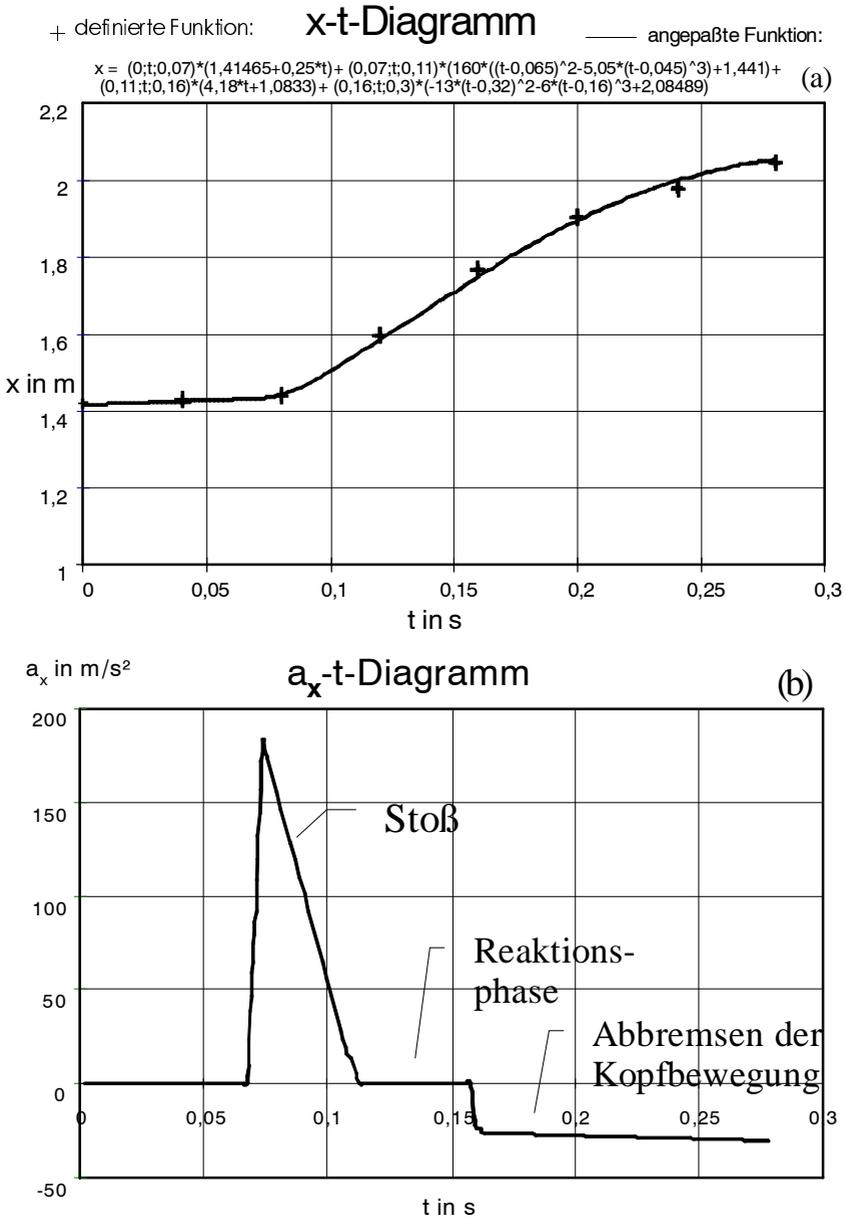


Abb. 6: Horizontale Komponente des Weges (a) und der Beschleunigung (b) des Kopfes eines Boxers in Abhängigkeit von der Zeit

Auch komplizierte Bewegungsvorgänge sind damit auswertbar, da das Videoanalyse-Programm zur Anpassung von Funktionen an Meßpunkte neben den üblichen Funktionen, die auch auf jedem wissenschaftlichen Taschenrechner realisiert sind, auch die abschnittsweise Definition von Funktionen berücksichtigt, ein Komfort, der über den EXCEL-Standard hinausgeht, und auf Grund der Erfahrung bei der Auswertung der im Anhang verzeichneten Videofilme extra implementiert wurde. Ein für die Verwendung einer abschnittsweise definierten Funktion zur Auswertung eines Bewegungsvorgangs ausgezeichnetes Demonstrationsbeispiel, mit dem die Vorstellung des Videoanalyse-Programms hier abgeschlossen werden soll, stellt eine "rechte Gerade" von Henry Maske im Weltmeisterschaftsboxkampf 1996 dar, die den Kopf des Gegners traf. Interessant ist hier die Frage nach der Beschleunigung, die der Kopf durch den Boxschlag erfährt und mit der die wirkende Kraft abgeschätzt werden kann. Abb. 6 zeigt oben die horizontale Bewegung des Kopfes und darunter das Diagramm der horizontalen Beschleunigung. Zur Auswertung wurde den Meßwerten des Stoßvorgangs im x-t-Diagramm eine Kurve angepaßt, bei der Stoß- und Bremsphase jeweils durch ein Polynom dritten Grades und die anderen beiden Phasen (siehe Abb. 6) jeweils durch lineare Funktionen beschrieben werden.

5 Literatur

- [1] J. Beichner: Kinematics Graph Interpretation Project (TUGK), Internet site:
http://www2.ncsu.edu/ncsu/pams/physics/Physics_Ed/TUGK.html,
Department of Physics, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-8202, USA
- [2] D. Hestenes and M. Wells, *The Physics Teacher* 30/3 (1992) 159
- [3] M. Spitzer: *Geist im Netz - Modelle für Lernen, Denken und Handeln*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1996
- [4] Claus Dziarstek: *Computergestützte Videoanalyse von Bewegungen*, Zulassungsarbeit zur 1. Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien in Bayern, Universität Augsburg, 1996
- [5] Video Board "Movie Machine II" mit M-JPEG und MPEG Extension, Fa. FAST Multi media AG, München, 1995

6 Bezugsquelle

Die CD-ROM ist zum Preis von DM 30,- (inkl. MwSt. und Versandkosten) gegen Rechnung beziehbar über: Prof. Dr. H. Hilscher, Didaktik der Physik, Universität Augsburg, Schillstr. 100, 86169 Augsburg.

Sie kann auch über das Internet unter der folgenden Adresse bestellt werden:
<http://www.physik.uni-augsburg.de/did/diva.html>

Unter dieser www-Adresse finden sich auch weitere Informationen zur Videoanalyse mit DIVA.