

Die folgenden Original-Seiten der Zeitschrift „Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule“ wurden mit expliziter Genehmigung des Aulis-Verlages (Dr. Brigitte Abel) und des Friedrich-Verlages (Hubertus Rollfing) auf die Webseite www.thomas-wilhelm.net gestellt. Vielen Dank für die Erlaubnis.

Die exakte Quellenangabe des Zeitschriftenartikels ist:

WILHELM, T.; KOCH, C.

Die alte Schwefelplatte neu genutzt. Qualitative Schülerübungen zur Kinematik

Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 53, Nr. 2, 2004, S. 32 - 37

Die alte Schwefelplatte neu genutzt

Qualitative Schülerübungen zur Kinematik

T. Wilhelm, C. Koch

1 Die Bedeutung zweidimensionaler Bewegungen

Fehlvorstellungen zu den kinematischen Begriffen werden dadurch, dass im herkömmlichen Unterricht vor allem eindimensionale Bewegungen betrachtet werden, nicht aufgeklärt oder sogar erst erzeugt [1]. Es handelt sich bei den kinematischen Begriffen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung nämlich um vektorielle Größen, deren Vektorcharakter bei der Reduktion auf ein Vorzeichen nicht deutlich wird. Deshalb wurde bereits vorgeschlagen, bei der Einführung der kinematischen Größen von einer allgemeinen zweidimensionalen Bewegung auszugehen [1, 2]. Selbst bei einem konventionellen Vorgehen muss spätestens bei der Behandlung zweidimensionaler Bewegungen der Richtungscharakter der Größen visuell deutlich werden. Ideal ist, wenn die Schüler dies nicht nur gezeigt bekommen, sondern selbst Erfahrungen damit sammeln können, indem sie z. B. selbst Bewegungen aufnehmen, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren ermitteln und die Bewegung analysieren. Für solche Schülerübungen eignet sich ein sehr einfaches, altes Gerät, das bisher vor allem für Zeitmessungen bei eindimensionalen Bewegungen verwendet wurde: die Spurenplatte.

2 Historische Messapparaturen

Bewegungen aller Art, z. B. auf einer Fahrbahn, werden heute in der Regel mit Messwerterfassungssystemen am Computer aufgezeichnet und ausgewertet. Früher benutzte man dazu mehrere Lichtschranken und elektronische Uhren, die sehr kurze Zeiten genau messen können. Doch auch bevor solche Uhren für die Schule erschwinglich waren, wurden Fahrbahnversuche gemacht und kurze Zeiten mit einfachen Tricks gemessen.

Ein historisches Beispiel ist die nicht mehr lieferbare Schwefelbahn von KRÖNCKE [3, 4, 8], bei der auf eine schwarze Bahn gelber Schwefelstaub gestreut wird. Der Schwefel wird beim Verteilen mit dem Pinsel und durch ein Metallstück am Wagen durch Reibung negativ aufgeladen [5]. Legt man an die Fahrbahn über einen 1 M Ω -Widerstand die Phase des 50 Hz-Wechselstromnetzes, wird dieser Staub vom Metallstück bzw. der Fahrbahn abwechselnd angezogen und abgestoßen und es entstehen gelbe und schwarze Streifen, die für je 0,01 s stehen. Auf dieser Fahrbahn lassen sich dann die gleichmäßig beschleunigte Bewegung, das Grundgesetz der Mechanik (Newton 2), die Umwandlung von potentieller in kinetische Energie, der Impulssatz, der elastische und unelastische Stoß und andere Themen behandeln [3, 4]. Es mag überraschen, dass bei diesem historischen Aufbau die Fahrbahn, die man berührt, über einen 1 M Ω -Widerstand direkt an den 220 V lag. Man errechnet aber leicht, dass durch den Körper

höchstens harmlose, nicht spürbare 0,2 mA fließen können (und misst nur ca. 10 μ A).

Die gleichen Versuche mit eindimensionalen Bewegungen nach prinzipiell gleichem Prinzip sind mit den Zeit-Registriergerät von PHYWE (11607.00) [6] oder dem „Zeit-Registriergerät mit Klemmreiter“ der Firma LEYBOLD (337 18) [7] möglich, bei dem der Wagen einen Streifen Thermopapier mitzieht und ein Taktgeber 50 Punkte pro Sekunde auf das Papier zeichnet.

Die Idee mit den Schwefelstaubfiguren hatte früher den Vorteil, dass damit auch kleine Zeiten bei Bewegungen gemessen werden konnten, die nicht auf der Fahrbahn stattfinden. Dazu gab es von Kröncke (nun bei ELWE [8] oder identisch bei KRONAS [9]) eine eloxierte Metallplatte, genannt Spurenplatte (Elwe/Kronas, 84 05 610), und einen Handschreiber (ELWE/KRONAS 84 05 620). Über je einen 1 M Ω -Widerstand wurden früher beide an die zwei Pole der Netzspannung angeschlossen. Der heute erhältliche „Taktgeber und Transformator“ hat zusätzlich einen Sicherheitstrenntrafo gemäß VDE (ELWE/KRONAS 84 05 340). Schließt man Spurenplatte und Handschreiber kurz, können keine Spuren aufgezeichnet werden. Zieht man den Handschreiber über die bestaubte Platte, entstehen so lange Spuren, wie der Kurzschluss nicht besteht. Diese kurze Zeit kann durch Auszählen der Streifen ermittelt werden. Mit Hilfe eines Fallgerätes (ELWE/KRONAS 84 00 810) konnte daraus z. B. die Fallbeschleunigung ermittelt werden. Mit weiteren Schaltungen und einem Doppelschreiber ist es sogar möglich, die Frequenzen akustischer und elektrischer Schwingungen aus den Streifen auf der Platte zu ermitteln [3]. Wie vielfältig die Einsatzmöglichkeiten dieses alten Messsystems waren, sieht man daran, dass *Jan Groeneveld* dazu von 1952 bis 1967 allein in der Praxis der Naturwissenschaften 39 Beiträge veröffentlichte.

3 Neue Nutzung der Spurenplatte

Diese Spurenplatte soll nun hier nicht für die quantitative Ermittlung einzelner Werte, sondern für eine qualitative Schülerübung genutzt werden. Wir zeichnen mit einem trockenen Finger zweidimensionale Bahnkurven in den Schwefelstaub und nutzen nicht nur die Zeitinformation, sondern auch die Ortsinformation. Es geht nicht darum, welchen Wert, sondern welche Richtung die Größen haben.

Die Materialien der historischen Versuchsgeräte sind noch bestellbar [8, 9] und in manchen Schulen auch noch vorhanden. Ansonsten sind sie mit geringem Aufwand leicht zusammenstellbar bzw. nachbaubar. Statt eine schwarz eloxierte Metallplatte zu nehmen, kann man auch eine Aluminiumplatte mattschwarz mit der Sprühdose lackieren. Aus der Chemiesammlung oder der Apotheke erhält man

trockenes, gelbes Schwefelpulver (ELWE/KRONAS 87 38 515), das man notfalls in einem Tiegel mit einem Mörser fein zerkleinert. Dann braucht man noch einen Pinsel und Stromkabel. Das historische Anschlusskästchen, in dem an Phase und Nullleiter je ein $1\text{ M}\Omega$ -Widerstand sitzen, könnte leicht nachgebaut werden, wobei darauf zu achten ist, dass vor dem $1\text{ M}\Omega$ -Widerstand keine offenen Kontakte bestehen. Es genügt, die Phase der Netzspannung über diesen $1\text{ M}\Omega$ -Widerstand mit der schwarzen Aluminiumplatte zu verbinden und darauf Schwefelpulver mit dem Pinsel zu verteilen. Durch Probieren erfährt man, welcher Pol der Steckdose die Phase ist. Aus Sicherheitsgründen muss man heute jedoch einen Sicherheitstrenntrafo (Ausgangsspannung 220 V) verwenden, der als „Taktgeber und Transformator“ von den Lehrmittelfirmen (ELWE/KRONAS 84 05 340) passend angeboten wird. Auch hier genügt es, einen Pol an die Spurplatte anzuschließen, und man sollte auch ausprobieren, mit welchem von beiden es besser funktioniert.

Vor allem wenn man den anderen Pol in die andere Hand nimmt, spürt man bei sanfter Bewegung des Fingers über die Platte ein leichtes Vibrieren – der Finger wird periodisch angezogen und abgestoßen. Wenn der Finger positiv geladen ist, zieht er den Staub an, die Platte stößt ihn ab. $1/100\text{ s}$ später ist der Finger negativ, die Platte positiv – der Staub wird abgestoßen und bleibt liegen. Dadurch entstehen die Spuren, die stets als ästhetisch ansprechend empfunden werden (siehe Abb. 1).

Da die Streifen recht eng beieinander liegen, zählt man von einem Startpunkt aus immer zehn Streifen ab und zeichnet mit der Pinselrückseite eine Zeitmarke, womit die Zeitmarken dann jeweils einen Abstand von $0,1\text{ s}$ haben. Hier wird deutlich, dass „Ort“ einen Punkt auf der Bahnkurve meint, während „Weglänge“ für die Länge der Bahnkurve steht. Die Änderung des Ortes in den $0,1\text{ s}$ macht man nun mit einem Ortsänderungsvektor $\Delta\vec{x}$ oder $\Delta\vec{r}$ deutlich. Dieser Vektor gibt die Bewegungsrichtung an und seine Länge hängt von der durchschnittlichen Schnelligkeit beim Zeichnen in dem Zeitintervall ab. Um einen von Δt unabhängigen Geschwindigkeitsvektor zu erhalten, muss man den Vektor durch das Zeitintervall $\Delta t = 0,1\text{ s}$ dividieren. Die Länge des Ortsänderungsvektor wird aber hier nicht durch $0,1$ dividiert, da die Vektoren damit zu lange werden. Man erklärt, dass für die Geschwindigkeitsvektoren ein solcher Maßstab gelten soll, dass sie die gleiche Länge wie die zugehörigen Ortsänderungsvektoren haben. Der Ortsänderungsvektor wird quasi einfach als Geschwindigkeitsvektor \vec{v} an die Bahnkurve ungefähr in der Mitte des betrachteten Intervalls gezeichnet (siehe Musterlösung in Abb. 2). Etwas mehr zu tun ist, wenn man die Beschleunigungsvektoren ermitteln will. Man verschiebt einen Geschwindigkeitsvektor parallel an den Fuß des nächsten Geschwindigkeitsvektors, um so den Geschwindigkeitsänderungsvektor $\Delta\vec{v}$ zu erhalten. Er gibt an, was in dem Zeitintervall an Geschwindigkeit „dazukam“. Um einen von Δt unabhängigen Beschleunigungsvektor zu erhalten, muss man den Vektor durch das Zeitintervall $\Delta t = 0,1\text{ s}$ dividieren. Das Dividieren der Länge des Geschwindigkeitsänderungsvektors durch $0,1$ entfällt aber wie oben wieder. Der Geschwindigkeitsänderungsvektor wird als Beschleunigungsvektor \vec{a} an die Bahnkurve ungefähr in der Mitte des Intervalls zwischen den beiden Geschwindigkeitsvektoren gezeichnet (siehe Musterlösung in Abb. 3). Hier wird nun deutlich, dass der Beschleunigungsvektor eine Richtung

hat, während im traditionellen Unterricht den Schülern Beschleunigung als Änderung des Geschwindigkeitsbetrages nur als eine Zahl erscheint, bei der positives Vorzeichen Schnellerwerden und negatives Vorzeichen Langsamerwerden bedeutet. Man erkennt an den gezeichneten Vektoren, dass die Beschleunigung bei einer Kurvenfahrt nach innen zeigt, beim Schnellerwerden einen Anteil nach vorne und beim Langsamerwerden einen Anteil nach hinten hat. Die Vektoren direkt in den Schwefel auf die Spurenplatte zu zeichnen, ist eine Möglichkeit. Eine andere Möglichkeit ist, ein Foto mit einer Digitalkamera zu machen und auf dem Ausdruck zu zeichnen. So können auch Arbeitsblätter (siehe Abb. 2 und 3) für Übungen und Prüfungsaufgaben erstellt werden.

4 Erfahrungen im Unterricht

Mit dieser Spurenplatte wurden qualitative Schülerübung in der elften Jahrgangsstufe durchgeführt (Lehrer: C. Koch). Es wurde kurz vorgemacht, wie man eine Spur mit einem trockenen Finger erzeugt und wiederholt, wie die Spuren entstehen und wie man prinzipiell das Tempo bestimmen könnte bzw. welcher Zusammenhang zwischen Spurdichte und Tempo besteht. Aufgabe der Schüler war, mit dem Finger schöne Spuren herzustellen und sie bezüglich Geschwindigkeit und Beschleunigung zu interpretieren. Der Lehrer unterstützte die einzelnen Gruppen bei der qualitativen Auswertung. Es wurden mit der Spitze der Pinselrückseite tangential Geschwindigkeitsvektoren eingezeichnet und je zwei dann am selben Bezugspunkt ange-setzt daneben noch einmal gezeichnet, um daraus die Beschleunigung zu ermitteln. Dabei wurde $\Delta\vec{v}$ und $\Delta\vec{a}$ sprachlich gleich behandelt. Von den Schülern wurden recht verschiedene Spuren erzeugt: Spiralen, Herzen, Ovale mit deutlich unterschiedlicher Bahngeschwindigkeit, Weihnachtsbäume, Engel wurden gezeichnet und Namen wurden geschrieben. Eine Gruppe erzeugte systematisch gleichförmige Bewegungen: gleichmäßig schneller und langsamer werdend, kreisförmige mit konstantem und mit variablem Tempo. Am Schluss stellten verschiedene Gruppen ihre Kurven vor und erläuterten daran Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren. Die Zerlegung in tangentiale und radiale Komponenten wurde unter Mithilfe des Lehrers durchgeführt.

5 Weiterführende Versuche

Von der Firma KRÖNCKE gab es auch Kugeln an einer langen Kette mit einem in der Höhe verschiebbaren Schreibstift, um damit z. B. mit der Spurenplatte den Impulssatz vektoriell oder den Keplerschen Flächensatz zu zeigen. Wo diese Kugel noch vorhanden ist oder ein entsprechender Pendelkörper angeschafft wird (ELWE/KRONAS 84 056 40), kann damit gut die Zentripetalbeschleunigung gezeigt werden. Man gibt dem ausgelenkten, hängenden Körper so eine Anfangsgeschwindigkeit, dass er sich auf einer Kreisbahn bzw. wegen der Reibung auf einer Spirale bewegt und mit dem Metallstift eine Spur zeichnet. Die gezeichneten Beschleunigungsvektoren weisen dann stets ungefähr zur Mitte. Im allgemeineren Fall einer El-

lipse bzw. elliptische Spirale haben die Beschleunigungsvektoren auch eine Komponente in Bewegungsrichtung, die auch das Tempo ändert.

6 Experimentelle Alternativen

Eine experimentelle Alternative zum Festhalten der Zeitmarken und Betrachten der Ortsänderungen (ohne ein Messwerterfassungssystem) wäre die Aufnahme einer zweidimensionalen Bewegung mit einer Videokamera, die man am Computer mit einem Videoanalyseprogramm [10, S. 17+18] oder einfacher mit einer auf den Bildschirm gelegten Folie auswerten kann.

Näher an der Spurenplatte bleibt man, wenn die Bahnkurven statt auf der Spurenplatte auf einem Grafiktableau mit dem entsprechenden Stift gezeichnet wird. Es genügt bereits ein billiges, kleines Grafiktableau (4 x 3 oder 5 x 4 Zoll). Die Treibersoftware liefert wie bei der PC-Maus an Windows Werte, die die Ortsänderung angeben (nicht den Ort!). Da es also vom Computer wie eine PC-Maus behandelt wird, kann die Bewegung des Stiftes mit geeigneter Software, z.B. mit PAKMA 2002, aufgenommen werden sowie alle gewünschten Vektoren konstruiert werden (siehe Abb. 4). Man muss nur die richtige Längeneinheit (in Meter durch Impulse) ermitteln und als Zeitschritt dt ein Vielfaches von 0,025 wählen, da das Grafiktableau wie die Maus alle 25 ms Daten sendet. Da nun die Vektoren sofort zur Verfügung stehen, spart man Zeit, die man für weitere Versuche nutzen kann. Für eine Übung kann man aber auch nur die Bahnkurve mit Zeitmarken erstellen und ausdrucken, so dass die Schüler selbst die Vektoren konstruieren müssen. Ein Nachteil von Grafiktableaus ist, dass sie nicht in der für Schülerübungen notwendigen Menge vorhanden sind und in dieser Stückzahl teuer sind. Solche Grafiktableaus werden aber inzwischen im Fach Kunstszziehung verwendet, so dass sich eventuell eine gemeinsame Anschaffung lohnt.

Billiger ist es, wenn man die Bahnkurven mit der PC-Maus erzeugt. Zweidimensionale Bewegungen mit der Maus auf dem Versuchstisch sind mit geeigneter Software, z.B. PAKMA 2002, ohne jegliche Zusatzhardware realisierbar, so dass damit auch Schülerversuche zu zweidimensionalen Bewegungen im Computerraum durchgeführt werden können [1 und 11]. Allerdings muss für eine proportionale Übertragung im Maustreiber die Option „Beschleunigung“ ausgeschaltet werden. Eine weitere Einschränkung betrifft die „Fahrweise“ mit der Maus. Damit die Zuordnung der Koordinaten zu den Sensorachsen der Maus erhalten bleibt, darf die Maus während der „Fahrt“ nicht verdreht werden, da sonst die Richtungsinformation verfälscht wird und Fehlmessungen entstehen.

Bei diesen Versuchen dient die Computermaus gleichzeitig zur Bedienung der Software und während des Programmablaufs als bewegtes Objekt mit Sensoreigenschaften zum Messen. Wen das stört, der schließt neben einer Maus zur Bedienung noch eine serielle Maus an und meldet diese in der Systemsteuerung ab. In PAKMA 2003 kann diese Maus nun als serielles Messgerät ausgelesen werden, so dass damit Bedienung und Messung voneinander getrennt sind.

7 Didaktische Bemerkungen

Das hier verwendete Vorgehen, den Geschwindigkeits- bzw. Beschleunigungsvektor zu bestimmen, ist nichts weiter als die Umsetzung der Definitionen $\vec{v} = \Delta\vec{x}/\Delta t$ und $\vec{a} = \Delta\vec{v}/\Delta t$ in Konstruktionsschritte. Die Fähigkeit zu solchen Konstruktionen fördert das Verständnis [12]. Leider gehen diese Definitionsgleichungen im gängigen Mechanikunterricht meist unter, während die speziellen Bewegungsfunktionen überbetont werden.

Ableitungen bzw. Ratengrößen wie dx/dt und dv/dt sind für Schüler schwer zu verstehen, da sie recht abstrakt sind. Einfacher und anschaulicher sind die Änderungen wie Δx und Δv . Deshalb ist es häufig sinnvoll, statt der Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung die Ortsänderungsvektoren bzw. der Geschwindigkeitsänderungsvektoren zu betrachten. Tauchen im Unterricht Fragen zur Geschwindigkeit oder Beschleunigung auf, geht man auf die Änderungen zurück. Hierzu zwei Beispiele aus dem Unterricht:

- Wenn man sich fragt, wie die Momentangeschwindigkeit bei einer Kreisbewegung aussieht, betrachtet man $\Delta\vec{x}$ für kleine Δt . Da $\Delta\vec{x}$ ein Vektor ist, muss es auch \vec{v} sein; ein gebogener Pfeil kommt nicht in Frage. Außerdem sieht man, dass der Vektor tangential gerichtet sind.
- Wenn man sich fragt, wie bei irgendeinem Ablauf zu einem bestimmten Zeitpunkt (z.B. ein Wagen fährt nach links eine schiefe Ebene hinauf) die Beschleunigung aussieht, zeichnet man ein \vec{v}_{alt} und ein \vec{v}_{neu} und erhält so den $\Delta\vec{v}$ -Vektor und damit die Beschleunigungsrichtung (im Beispiel: Der nach links gerichtete \vec{v} -Vektor wird kürzer, $\Delta\vec{v}$ ist nach rechts gerichtet und damit auch der Beschleunigungsvektor. Das Vorzeichen der Beschleunigung hängt von der Wahl des Koordinatensystems ab.)

Die hier dargestellte qualitative Schülerübung hilft also zum Verständnis kinematischer Größen. Von einem solchen Verständnis profitiert man später in der Dynamik. So ist es im herkömmlichen Unterricht oft schwer vermittelbar, dass bei einer Kreisbewegung eine Beschleunigung zur Mitte vorliegt, während die Schüler dies bei dieser Schülerübung selbst entdecken und es aufgrund eigener Erfahrung besser verankert wird.

Bemerkung

Die Software PAKMA 2002 zum Messen mit PC-Maus oder Grafiktableau befindet sich auf der CD-ROM "PAKMA 2002" im Schroedel-Verlag, ISBN: 3-507-10729-5

Weitere Informationen unter: <http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de>

Literatur

- [1] Wilhelm, T.; Heuer, D.: Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden - durch Beginn mit der zweidimensionalen Bewegung - In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 51, 2002, Nr. 7, S. 29 - 34
- [2] Theis, W. R.: Nachhaltiger Physikunterricht - am Beispiel der Einführung in die Mechanik - In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 51, 2002, Nr. 7, S. 17 - 23
- [3] Groeneveld, J.: Messungen mit Staubfiguren und Metallschriftspuren, August Lax Verlagsbuchhandlung, Hildesheim, 1968
- [4] Physikalische Schülerversuche. Versuchsanleitungen, Dr. H. Kröncke oHG, Hannover
- [5] Bergmann, L. - In: Praxis der Naturwissenschaften 1, 1952, S. 6
- [6] Phywe Physik Systemkatalog, S. 111
- [7] <http://www.leybold-didactic.com/phk/produkte.asp?B=PhK&PT=PhK> unter dem Punkt 1.4.5 oder Leybold Produktkatalog, S. 29 oder Leybold Sekundarstufe I Katalog, S.23
- [8] Elwe Teilkatalog 2 Mechanik
- [9] <http://www.kronas.de/cgi-bin/dinclud/s1mech.html>

[10] Gößwein, O; Suleder, M; Heuer, D.: Multimediale Lernmodule zur Physik, In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 52, 2003, Nr. 3, S. 16 - 21

[11] W. Reusch, O. Gößwein, C. Kahmann, D. Heuer: Computerunterstützte Schülerversuche zur Mechanik mit der Computermaus als Low-Cost-Bewegungssensor – In: Physik in der Schule 38, 2000, Nr. 4, S. 269 - 273

[12] P. Labbude, F. Reif, L. Quinn: Facilitation of scientific concept learning by interpretation procedures and diagnosis, International Journal of Science Education, Vol. 10, S. 81-98

Anschrift der Verfasser:

StR *Thomas Wilhelm*, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Physikalisches Institut, Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg, E-Mail: wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de; StD *Christian Koch*, Altes Kurfürstliches Gymnasium Bensheim, Wilhelmstr. 62-64, 64625 Bensheim, E-Mail: SuC.Koch@t-online.de

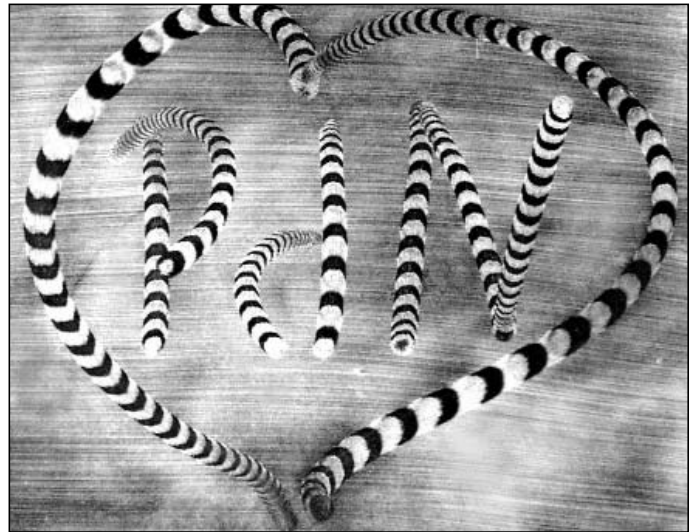


Abb. 1: Mit dem Finger im Schwefelstaub gezeichnete Spur. Man beachte die unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

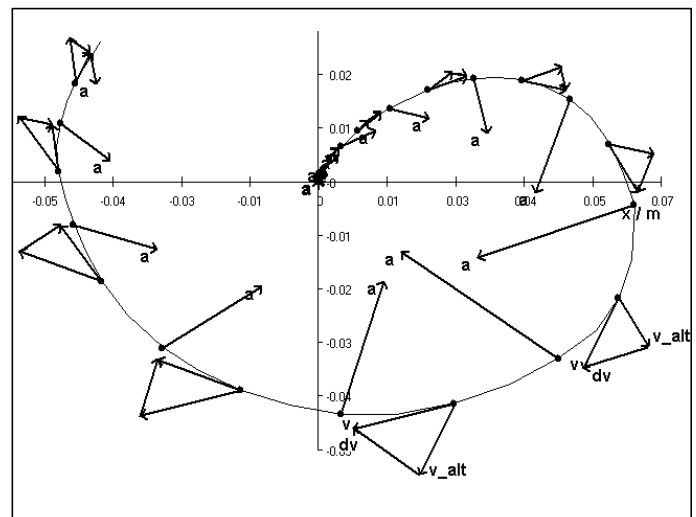


Abb. 4: Bahnkurve mit Vektoren, aufgenommen mit einem Grafiktableau. Man sieht wie aus v und v_{alt} hier dv entstehen. Die Bewegung wird erst schneller, dann wieder langsamer.

Die alte Schwefelplatte neu genutzt – Qualitative Schülerübungen zur Kinematik

T. Wilhelm, C. Koch

Die Schwefelplatte wurde früher zur quantitativen Analyse von Bewegungen und zur Messung kleiner Zeiten genutzt. Mit einfachen Mitteln lassen sich damit aber auch qualitative, Verständnis fördernde Schülerübung zur zweidimensionalen Bewegung durchführen, wobei die Schüler selbst Erfahrungen mit dem Richtungscharakter der physikalischen Größen machen, indem sie Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektor selbst konstruieren. So sehen die Schüler z. B., welche Richtung der Beschleunigungsvektor beim Schneller- und Langsamer erden und vor allem bei Kurvenfahrten hat. Angesprochene Alternativen zur Aufnahme zweidimensionaler Bewegungen sind die Videokamera, das Grafiktableau und die PC-Maus.

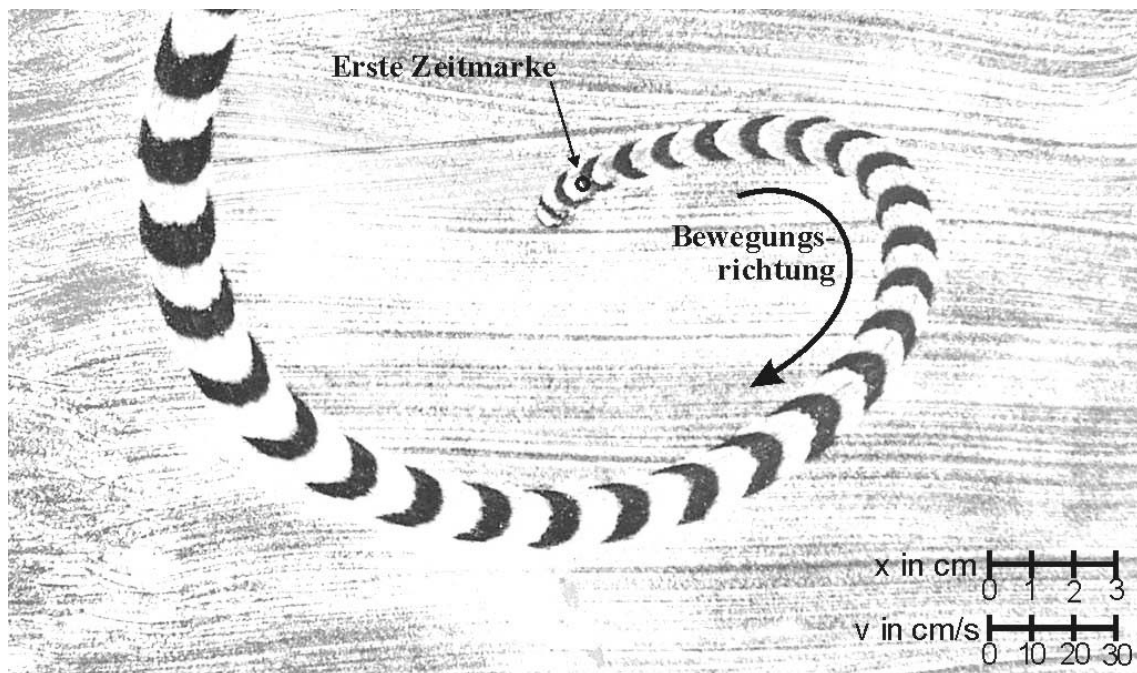
PdN-PhiS. X/51, S. XX

Übung zum Geschwindigkeitsvektor

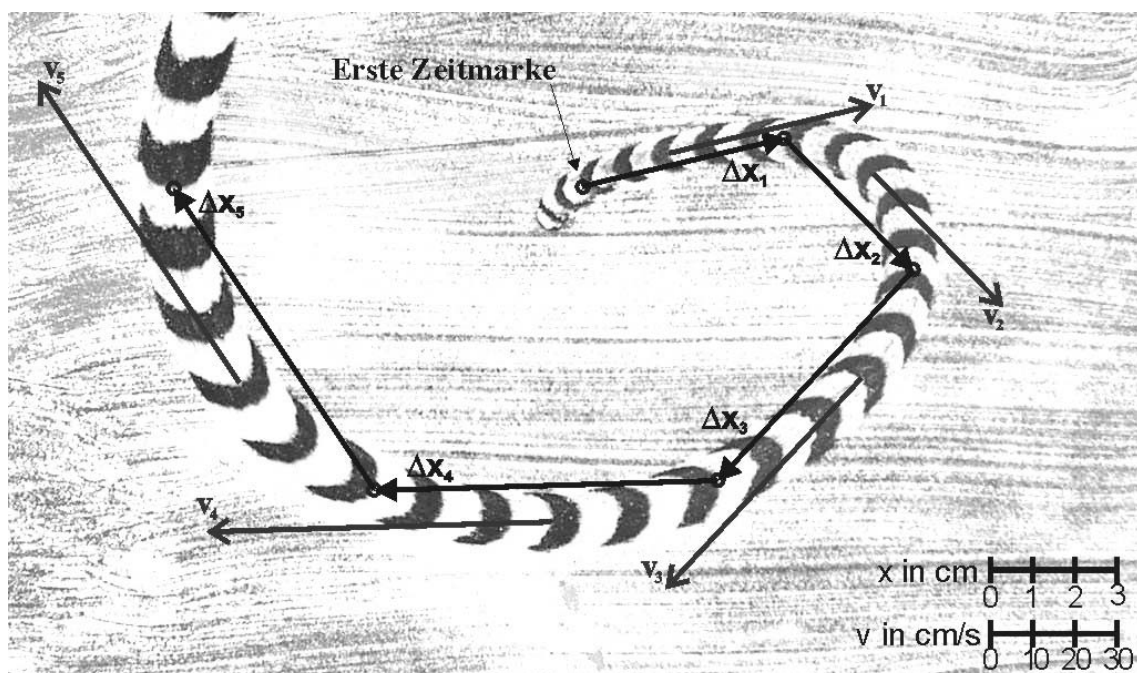
Zeichnen von Geschwindigkeitsvektoren mit Hilfe einer geometrischen Konstruktion

Hier siehst du ein Foto einer mit dem Finger gezeichneten Bahnkurve. Durch eine angelegte Wechselfrequenz entstehen die Streifen im Schwefelstaub. Jeder dunkle und jeder helle Abschnitt dauert 0,01 s.

- Zeichne in das Foto ausgehend von der ersten Zeitmarke (Kreis) alle 0,1 s eine Zeitmarke (z. B. blau). Zeichne dann auch alle Ortsänderungsvektoren ein (z. B. grün).
- Um den Geschwindigkeitsvektor zu erhalten, müssen wir die Ortsänderungsvektoren durch 0,1 s teilen. Dies ist durch den Maßstab für die Geschwindigkeitsvektoren bereits so berücksichtigt, dass sie die gleiche Länge wie die Ortsänderungsvektoren haben. Die Geschwindigkeitsvektoren sollen immer an der Bahnkurve ungefähr in der „Mitte“ zwischen den Anfangs- und Endpunkt des betrachteten Intervalls beginnen. Zeichne die Geschwindigkeitsvektoren auffällig (z.B. rot) in das Foto ein.



Musterlösung der Geschwindigkeitsvektoren

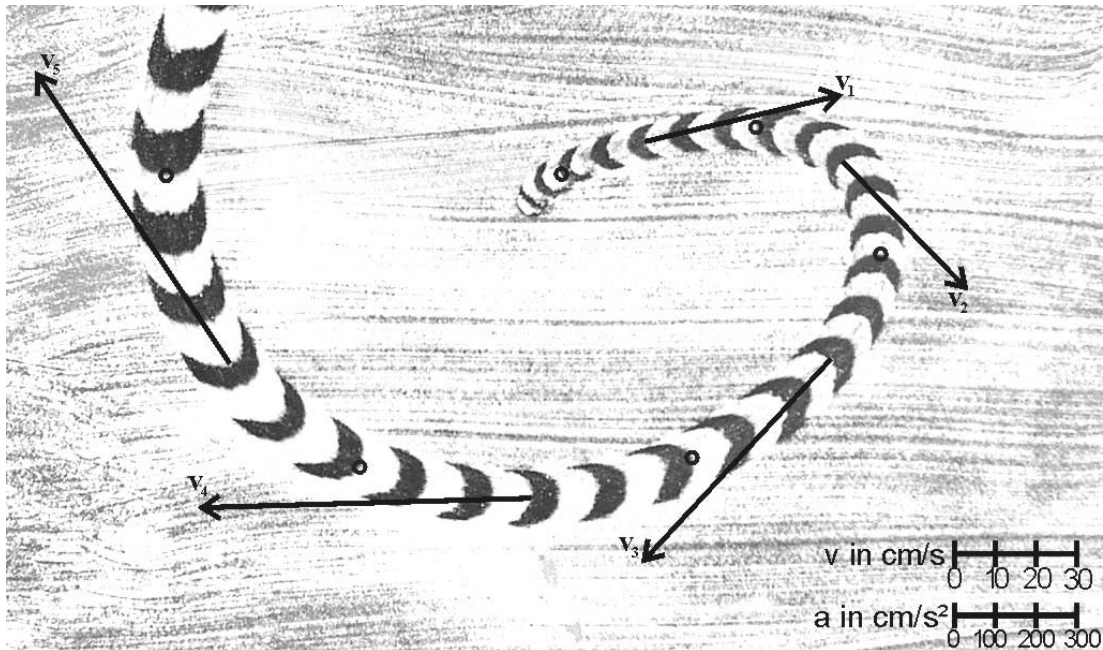


Übung zum Beschleunigungsvektor

Zeichnen von Beschleunigungsvektoren mit Hilfe einer geometrischen Konstruktion

Hier siehst du ein Foto einer mit dem Finger gezeichneten Bahnkurve. Jeder dunkle und jeder helle Abschnitt dauert 0,01 s. Es sind bereits Zeitmarken (alle 0,1 s) und konstruierte Geschwindigkeitsvektoren eingezeichnet.

- Konstruiere jeweils die Geschwindigkeitsänderungsvektoren (z. B. blau).
- Um den Beschleunigungsvektor zu erhalten, müssen wir die Geschwindigkeitsänderungsvektoren durch 0,1 s teilen. Dies ist durch den Maßstab für die Beschleunigungsvektoren bereits so berücksichtigt, dass sie die gleiche Länge wie die Geschwindigkeitsvektoren haben. Die Beschleunigungsvektoren sollen immer an der Bahnkurve ungefähr in der „Mitte“ zwischen den Geschwindigkeitsvektoren beginnen. Zeichne die Beschleunigungsvektoren auffällig (z. B. rot) in das Foto ein.



Musterlösung der Beschleunigungsvektoren

