

Videoanalyse in die Praxis bringen

Bewegungsvideos direkt zum Ausgangspunkt des Lernens machen

Julie Kyas*, Christian Hengel*, Jakob Knebloch*, Andreas Hansch*, Thomas Wilhelm*

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt
julie.kyas@tso-ffm.de

Kurzfassung

Die Implementation neuer Lehr- und Lernkonzepte oder Medien im Unterricht ist erfahrungsgemäß schwierig. Das Kooperationsprojekt mit dem hessischen Kultusministerium „Videoanalyse in die Praxis bringen“ hat deshalb zum Ziel, die Hürden für den Einsatz von Videoanalyse von Bewegungen im Physikunterricht zu senken. Unterrichtsmaterialien, denen die Ergebnisse von Videoanalysen zugrunde liegen oder die auf die Durchführung von Videoanalysen durch die Lernenden zielen, stehen zum Download bereit. Sie sollen es Physiklehrer*innen erleichtern, die Potentiale von Videoanalyse zu erkennen und für ihren Unterricht zu nutzen.

1. Ausgangspunkt

Seit den Anfangstagen der Videoanalyse von Bewegungen im Physikunterricht sind mehr als dreißig Jahre vergangen. In verschiedenen Publikationen sind die unterschiedlichen Möglichkeiten von Videoanalyse für den Begriffserwerb in der Bewegungslehre erörtert worden (z.B. [1+2]). Trotzdem und obwohl sich aktuelle Videoanalyse-Apps intuitiv bedienen lassen, ohne dass eine längere Einarbeitung erforderlich wäre, wird von diesen Möglichkeiten in der Unterrichtspraxis verhältnismäßig wenig Gebrauch gemacht. Das liegt zum Teil an den curricularen Vorgaben, die in allen Bundesländern in der Oberstufe auf einen vorwiegend kalkülhaften Zugang zur Kinematik ausgerichtet sind, mit unmittelbaren Auswirkungen auf den Unterricht der Sekundarstufe I, in dem man – in der Absicht, die Schüler*innen bestmöglich auf die Oberstufe vorzubereiten – diesen Zugang direkt auf die Mittelstufe überträgt. Nur in einzelnen Bundesländern ist ein stärker auf den Aufbau qualitativer Grundvorstellungen ausgerichteter, zweidimensionaler Zugang zur Bewegungslehre vorgesehen. Zum Teil sind die Gründe für die zurückhaltende Nutzung von Videoanalyse auch in der mangelnden Akzeptanz der Methode bei den Physiklehrer*innen zu suchen: Eine Erhebung im Rahmen von leitfadengestützten, explorativen Interviews mit Physiklehrkräften [3] konnte dabei folgende Ursachen für die mangelnde Akzeptanz feststellen:

- Die fehlende technische Ausstattung der Schule (es fehlen entweder iPads oder Stative oder beides),
- technische Probleme (Installation der Software nur durch Administratoren möglich; Übertragung von Dokumenten zwischen den Endgeräten; Bedienung der Apps für Videoanalyse),
- mangelndes Wissen darüber, welche Apps für Videoanalyse verfügbar sind und welche Ein-

satzmöglichkeiten diese jeweils bieten,

- vermeintlich größerer Aufwand gegenüber anderen möglichen Schülerexperimenten und
- vermeintlich ungünstiges Verhältnis zwischen Aufwand und Lernertrag.

Das Kooperationsprojekt „Videoanalyse in die Praxis bringen“ zwischen der Goethe-Universität Frankfurt und dem hessischen Kultusministerium soll dazu beitragen, diese Hürden abzubauen, damit die mit Videoanalyse verbundenen Vorteile und Möglichkeiten öfter zur Entfaltung kommen können. Statt erneut abstrakt über die didaktischen Möglichkeiten von Videoanalyse zu informieren, sollen exemplarisch bereitgestellte Unterrichtsmaterialien Physiklehrkräften zeigen, wie man Videoanalyse für den Unterricht konkret einsetzen kann – im Unterricht selbst oder auch bei der Erstellung von Unterrichtsmaterialien.

Außerdem werden einfache Anleitungen und Tutorials für die Hand der Lehrer*innen und der Schüler*innen zur Verfügung gestellt, die helfen sollen, die technischen Hürden abzubauen und die einfache Handhabung der Programme zu verdeutlichen.

2. Die verwendeten Apps: NewtonDV und Viana 2

Anleitungen, Tutorials, Arbeitsblätter und Unterrichtsvorschläge, die in dem Kooperationsprojekt erstellt werden, beziehen sich ausschließlich auf die Videoanalyse mit iPads und den beiden Apps NewtonDV [4] und Viana 2 [5], die aktuell die beiden wichtigsten Apps für die Videoanalyse mit iPads sind. Für das Android-Betriebssystem gibt es momentan kein vergleichbares Angebot. Der Funktionsumfang von NewtonDV und Viana 2 ist zwar gegenüber mächtigeren Programmen für Windows oder macOS eingeschränkt. Vorteilhaft ist aber, dass sich beide Apps intuitiv bedienen lassen und man schnell zu qualitativ guten, optisch ansprechenden Ergebnissen gelangt. Der Funktionsumfang der beiden Apps

überschneidet sich insoweit, als beide aus den aus dem Video entnommenen Zeit-Positions-Daten alle gewünschten Bewegungsdiagramme erzeugen können. Während nur Viana 2 eine automatische und damit zeitsparende Objektverfolgung im Video bietet, ermöglicht es NewtonDV, Ausgleichskurven in Graphen einzufügen, Serien- und Stroboskopbilder zu erzeugen und gröbeneinstellbare Geschwindigkeits- und Beschleunigungspfeile als Repräsentation dieser vektoriellen Größen in die Serien- oder Stroboskopbilder einzufügen. Des Weiteren ist das Layout der Diagramme bei NewtonDV auch ansprechender als bei Viana 2.

3. Materialien für die Praxis – Steinbruch und Ideenkiste

3.1. Geschwindigkeit und Tempo

Um zu vermeiden, dass der Physikunterricht mit fragwürdigen Formulierungen wie „Die Geschwindigkeit gibt die pro Zeiteinheit zurückgelegte Strecke an“ selbst begriffliche Unschärfen bei den Schüler*innen induziert, hat es sich als hilfreich erwiesen, die Geschwindigkeit von Beginn an als Positionsänderung pro Zeiteinheit einzuführen und sorgfältig zwischen Geschwindigkeit und Tempo bzw. Betrag der Geschwindigkeit zu unterscheiden. Die Positionsänderung in zwei Dimensionen lässt sich im Video untersuchen. An Stroboskopbildern, die aus den Videos gewonnen werden können, können Schüler*innen die Bestimmung von Position, Positionsänderung und Geschwindigkeit sowie die Unterscheidung zwischen Tempo und Geschwindigkeit einüben (siehe

Arbeitsblatt im Anhang). Pfeildarstellungen der vektoriellen Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung, wie sie sich mit NewtonDV herstellen lassen, können dabei das Verstehen der vektoriellen Eigenschaft unterstützen.

3.2. Beschleunigung

Jede Änderung der Geschwindigkeit mit der Zeit bezeichnet man als Beschleunigung. Eine Beschleunigung liegt also vor, wenn ein Körper schneller wird, langsamer wird oder sich seine Bewegungsrichtung ändert. Findet eine Beschleunigung parallel zur momentanen Bewegungsrichtung statt, ändert sich nur das Tempo. Findet die Beschleunigung senkrecht zur Bewegungsrichtung statt, ändert sich nur die Richtung, das Tempo bleibt gleich. Mit den Pfeildarstellungen, die in NewtonDV erstellt werden können, lässt sich das gut untersuchen (siehe Abb. 2).

3.3. Arbeit mit Bewegungsdiagrammen

Zum Erschließen der Bedeutung des Zeit-Positionsdiagramms kann man die Lernenden beispielsweise Serienbilder von Bewegungen den mit Viana 2 oder NewtonDV erzeugten t - x -Diagrammen zuordnen und die Zuordnung begründen lassen (siehe Abb. 1). Man kann auch die Videoclips selbst den Serienbildern und Diagrammen zuordnen lassen. Für diese Aktivitäten eignen sich z.B. abschnittsweise gleichförmige Bewegungen. Mit Hilfe des Materials können die Lernenden erkennen, dass Intervalle, in denen die Geschwindigkeit konstant ist, sich im t - x -Diagramm durch eine gleichbleibende Steigung auszeichnen. Diese Einsicht wird durch die eingefügten

Abschnittsweise gleichförmigen Bewegungen

Ein Wagen fährt auf der Fahrbahn hin und her.

- 1.) Ordnen Sie dem Serienbild das dazugehörige t - x - und t - v -Diagramme zu und begründen Sie die Zuordnung.
- 2.) Entscheiden und begründen Sie, inwieweit die Bezeichnung „abschnittsweise gleichförmig“ auf die Bewegung zutrifft.

Abb. 1: Ein Arbeitsblatt mit Zuordnungsübungen, die beim Erschließen der Diagramme helfen.

262

Geschwindigkeitspfeile unterstützt. Im Vergleich mit dem aus dem Mathematikunterricht bekannten Differenzenquotienten zur Berechnung der Steigung einer Geraden erkennen sie, dass die Definition der Geschwindigkeit als Positionsänderung in einem Zeitintervall in einem t - x -Diagramm gleichzeitig auch die Steigung einer Geraden angibt und gelangen zu der Einsicht, dass die Steigung im t - x -Diagramm direkt der Definition der Geschwindigkeit entspricht.

Wann ändert sich das Tempo, wann die Richtung?
 Ob sich bei einer Kräfteinwirkung Tempo, Bewegungsrichtung oder beides ändern, hängt davon ab, welcher Anteil der Kraft in Bewegungsrichtung wirkt und welcher quer dazu.

Aufgaben

- Untersuche die Abbildungen

Abb.	Die Richtung ändert sich	Das Tempo ändert sich
Kraft / Beschleunigung parallel zur Geschwindigkeit		
Kraft / Beschleunigung senkrecht zur Geschwindigkeit		
Kraft / Beschleunigung schräg zur Geschwindigkeit		
- Nenne die Voraussetzung dafür, dass sich
 - die Bewegungsrichtung ändert.
 - das Tempo ändert.
 - beides ändert.
- Trage in der Abbildung von der Bewegung der Schaukel die Kraftpfeile ein (Geodreieck).

Abb. 2: Ein Arbeitsblatt mit Screenshots aus NewtonDV. Mit den Pfeildarstellungen lassen sich Aufgaben zum Aufbau von Grundvorstellungen zum Beschleunigungsbegriff erstellen.

Eine weitere Aktivität für den Unterricht zur Festigung der Fertigkeit, das Zeit-Positions-Diagramm zu interpretieren, ist die Übung „Graphen laufen“ (siehe Arbeitsblatt im Anhang). Dabei sollen die Schüler*innen aus dem Verlauf eines vorgegebenen t - x -Diagramms die dazugehörige Bewegung selbst „nachspielen“, indem sie sich nach der Maßgabe des Diagramms entlang einer Achse hin und her bewegen. Dabei werden sie gefilmt und anschließend wird mit Viana 2 überprüft, inwieweit die „gelaufene Bewegung“ dem vorgegebenen Diagramm entspricht.

Auch bei der Erarbeitung der Bewegungsgesetze für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung kann die Videoanalyse den Begriffserwerb unterstützen. Gleichmäßig beschleunigt ist eine eindimensionale Bewegung dann, wenn sich die Geschwindigkeit pro Zeiteinheit um den gleichen Betrag ändert, d.h. erhöht oder verringert. Daraus ergibt sich direkt, dass das Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm einer solchen Bewegung eine steigende (oder fallende) Gerade erkennen lassen muss, deren Steigung die Beschleunigung ist. Das kann mit Hilfe von Videoanalyse-Apps direkt geprüft und der Wert der Beschleunigung aus den

Graphen bestimmt werden (siehe Abb. 3). Der freie Fall, Bewegungen auf der schiefen Ebene oder Propellerfahrzeuge sind geeignete Beispiele. Das Feature, manuelle Ausgleichsgeraden und -kurven in die Bewegungsdiagramme einzuzeichnen, das NewtonDV bietet, ist in diesem Zusammenhang besonders nützlich.

Zeit- Geschwindigkeits-Diagramm (t-v-Diagramm)

- Unterteilen Sie das t - v -Diagramm in Intervalle, in denen dieselbe Art der Bewegung beobachtet werden kann.
- Begründen Sie wieso im Intervall 2 von einer gleichmäßigen Beschleunigung ausgegangen werden kann.
- Berechnen Sie den Wert der Beschleunigung.
- Beschreiben Sie den zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeit im letzten Zeitabschnitt. Begründen Sie wieso keine exakt konstante Geschwindigkeit gemessen werden konnte.

Abb. 3: Ein Ausschnitt aus einem Arbeitsblatt. Mit der Videoanalyse lässt sich überprüfen, ob eine Bewegung gleichmäßig beschleunigt ist.

Auf dem Weg zum Zeit-Positions-Gesetz für gleichmäßig beschleunigte Bewegungen kann man unterschiedliche Wege einschlagen – je nach Jahrgangsstufe, in der man sich bewegt und abhängig von der Disposition der jeweiligen Lerngruppe. Videoanalyse-Apps erlauben es, den parabelförmigen Verlauf im t - x - bzw. t - y -Diagramm zügig induktiv entdeckend zu gewinnen. Man stärkt das Verständnis für die Zusammenhänge jedoch auch, wenn man stattdessen mit den Lernenden das Zeit-Positions-gesetz zunächst herleitet, um die sich daraus ergebende Hypothese dann mit der Videoanalyse zu überprüfen.

3.4. Prüfung der Tragweite abstrakter Modelle in der Lebenswelt

Eine weitere Einsatzmöglichkeit für Videoanalyse besteht in der Überprüfung der Tragweite der abstrakten Modelle „(abschnittsweise) gleichförmige

Bewegung“ und „gleichmäßig beschleunigte Bewegung“. An unterschiedlichen Alltagsbewegungen kann in der Videoanalyse gezeigt werden, dass sie zumindest über eingeschränkte Zeiträume hinweg gut durch diese Modelle beschrieben werden können. In der Regel lässt sich z.B. beim Anfahren (siehe Abb. 4) oder Abbremsen eines Autos, Fahrrads,

Elektrorollers oder einer Bahn zeigen, dass das Zeit-Positions-Diagramm anfangs gut durch eine Parabel angenähert werden kann. Auch bei einem Sprint lässt sich diese Beschleunigungsphase identifizieren, die dann i.d.R. in eine Phase annähernd gleichförmiger Bewegung übergeht.

Auto an der Ampel:

Inwieweit trägt die gleichmäßig beschleunigte Bewegung als Beschreibungsmodell?

Wie groß ist eine typische Beschleunigung eines Autos im Stadtverkehr?

Messdaten:

t in s	0	0,33	0,67	1	1,33	1,67	2
x in m	0	0,08	0,33	0,77	1,43	2,28	3,4

1. Prüfen Sie, inwieweit die Messdaten durch $s(t) = \frac{1}{2}at^2$ wiedergegeben werden.
2. Beschreiben Sie Ihr Vorgehen.
3. Zeichnen Sie die theoretische Kurve mit dem für die Beschleunigung ermittelten Wert ein.
4. Bestimmen Sie die Intervallgeschwindigkeiten, tragen Sie sie in das t-v-Diagramm ein und prüfen Sie, ob eine gleichmäßige Beschleunigung vorliegt. Passt der Wert zum oben ermittelten Wert?

Geschwindigkeiten:

t in s	0						
v in $\frac{m}{s}$	0						

Abb. 4: Ein Arbeitsblatt zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Mit den Ergebnissen einer Videoanalyse soll überprüft werden, inwieweit die gleichmäßig beschleunigte Bewegung ein geeignetes Beschreibungsmodell für das Anfahren eines Autos an der Ampel ist.

3.5. Untersuchung komplexerer Bewegungen: Würfe, Kreisbewegungen und Bewegungen mit Reibung.

Wurfbewegungen lassen sich sehr gut mit Videoanalyse untersuchen. Im Schülerlabor der Goethe-Universität untersuchen beispielsweise Lernende der Sekundarstufe I die Beschleunigung, die ein Auto erfährt, das eine gekrümmte Rampe hinunterfährt und dann waagrecht abgeworfen wird (siehe Abb. 5) oder auch die Beschleunigungen, die in einem Looping auftreten (siehe Abb. 6).

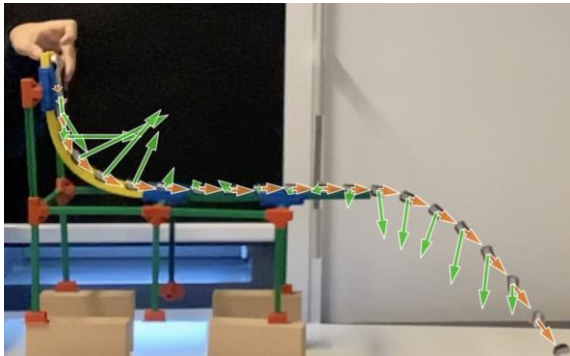


Abb. 5: Arbeitsergebnis einer Gruppe von Schüler*innen aus dem Schülerlabor der Goethe-Universität. Untersucht wird die Beschleunigung, die ein Spielzeugauto erfährt, das eine gekrümmte Rampe hinunterfährt und dann waagrecht abgeworfen wird.

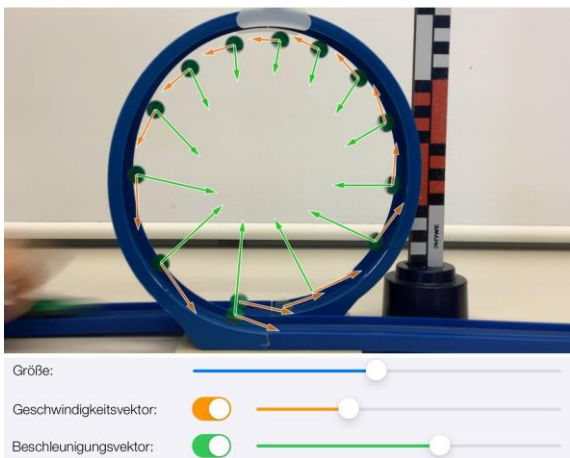


Abb. 6: Arbeitsergebnis einer Gruppe von Schüler*innen aus dem Schülerlabor der Goethe-Universität. Untersucht wird die Beschleunigung, die ein Spielzeugauto beim Durchfahren eines Loopings erfährt

Auch Bewegungen, bei denen Reibung eine Rolle spielt, werden mit Videoanalyse zugänglich. Fallende Backförmchen sind erstaunlich gute Modelle für einen fallenden Fallschirm [6]. In den Zeit-Positions-Diagrammen sind sowohl die Beschleunigungsphase als auch die sich einstellende konstante Endgeschwindigkeit zu erkennen (siehe Abb. 7). Durch das Ineinanderstecken unterschiedlicher Zahlen an Backförmchen kann man die fallende Masse variieren, ohne die geometrische Form nennenswert zu verändern. Aus der Abhängigkeit der Endgeschwindigkeit von der Masse kann man dann auf die quadratische

Abhängigkeit der Luftwiderstandskraft von der Geschwindigkeit schließen. Auch ein Luftballon, der, um Trudelbewegungen zu minimieren, mit einer Büroklammer beschwert ist, ist ein geeignetes Untersuchungsobjekt.

4. Hilfestellungen für die Durchführung von Videoanalysen im Unterricht

Um Lehrkräften den Einsatz von Videoanalyse-Apps im eigenen Unterricht zu erleichtern, werden Anleitungsblätter für die Schülerhand erstellt und Video-Tutorials angefertigt. In den Tutorials wird die Bedienung von NewtonDV und Viana 2 erklärt. Außerdem gibt es ein Tutorial, das erklärt, worauf man grundsätzlich bei der Anfertigung von Bewegungsvideos achten sollte, damit die anschließende Analyse gut und ohne Schwierigkeiten gelingt. Außerdem wurde ein Programm für Windows und macOS entwickelt, mit dem man Videos vorbereitend bearbeiten kann, indem man ein Koordinatensystem und / oder einen Zeitstempel einfügt [7]. Es werden also viele Materialien für den Unterricht zur freien Verwendung und in editierbarer Form zum Download zur Verfügung gestellt. Diese können unverändert genutzt werden oder an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden.

5. Literatur

- [1] Suleder, M. (2010): Videoanalyse und Physikunterricht: Technik - Didaktik – Unterrichtspraxis, Aulis Verlag in Friedrich Verlag GmbH, Hannover
- [2] Gößling, A.; Becker, S.; Wilhelm, T.; Kuhn, J. (2023): Bewegungen analysieren mittels digitaler Videoanalyse - In: Wilhelm, T. (Hrsg.): Digital Physik unterrichten. Grundlagen, Impulse, Perspektiven, Klett Kallmeyer, Hannover, S. 40 - 70
- [3] Knebloch, J.; Hengel, C.; Kyas, J.; Hansch, A.; Wilhelm, T.: Mangelnde Implementation physikdidaktischer Innovationen - Ursachen aus Sicht der Lehrkräfte – In: Grötzebauch, H.; Heinicke, S. (Hrsg.): PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Greifswald 2024, 2024
- [4] Wejner, R.: NewtonDV; <http://www.descartes-media.de/newtondv/index.html>
- [5] Didaktik der Physik der FU Berlin (2022): <http://www.physik.fu-berlin.de/einrichtungen/ag/ag-nordmeier/forschung/laufende/viana/index.html>
- [6] Becker, S., Klein, P., & Kuhn, J. (2016). Video analysis on tablet computers to investigate effects of air resistance. The Physics Teacher, 54(7), 440-441. <https://doi.org/10.1119/1.4962788>
- [7] Hengel, C.; Kyas, J.; Knebloch, J.; Hansch, A.; Wilhelm, T.: Videos von Bewegungen für den Unterricht vorbereiten. Bewegungsvideos direkt zum Ausgangspunkt des Lernens machen – In: Grötzebauch, H.; Heinicke, S. (Hrsg.): PhyDid

B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Greifswald 2024, 2024

keitsbegriffs. Mit der Übung „Graphen laufen“ üben die Lernenden die Interpretation von t - x -Diagrammen.

Anhang

Im Anhang folgen zwei Arbeitsblätter. Im ersten Arbeitsblatt geht es um den Aufbau des Geschwindig-

Fall eines Backförmchens – Modell für einen Fallschirmspringer

In dem Serienbild sieht man, wie ein Backförmchen zu Boden fällt. Eingezeichnet sind die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren.

Darunter finden sich das zugehörige t - y -Diagramm, sowie das t - v_y -Diagramm.

Aufgabe:

Untersuchen Sie, inwieweit sich die Vorüberlegungen verifizieren lassen. Gehen Sie dabei auf folgende Aspekte ein:

- Analysieren Sie die Entwicklung der Beschleunigung mit der Zeit. Setzen Sie diese in Bezug zur wirkenden resultierenden Kraft.
- Analysieren Sie den Verlauf der Diagramme: An welchen Merkmalen lässt sich jeweils erkennen, dass eine Grenzgeschwindigkeit erreicht wird?
- Bestimmen Sie aus beiden Graphen die Endgeschwindigkeit. Zeichnen Sie jeweils Ausgleichsgeraden ein.

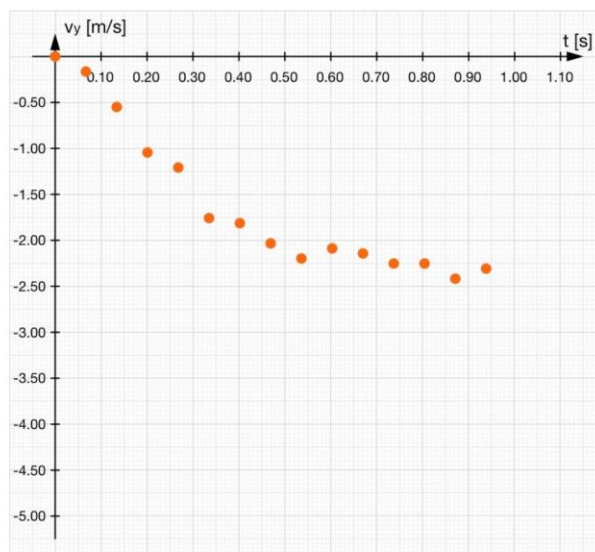
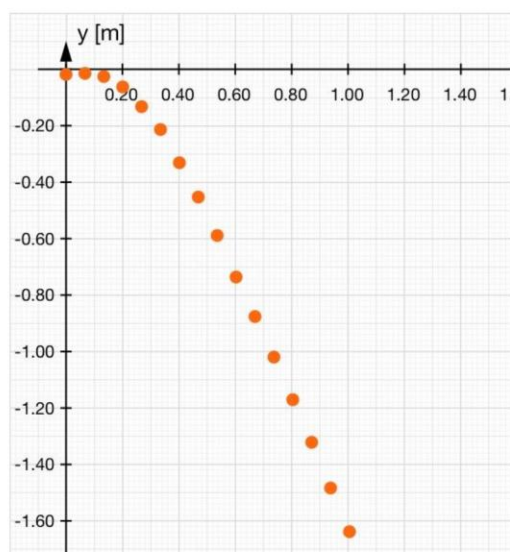
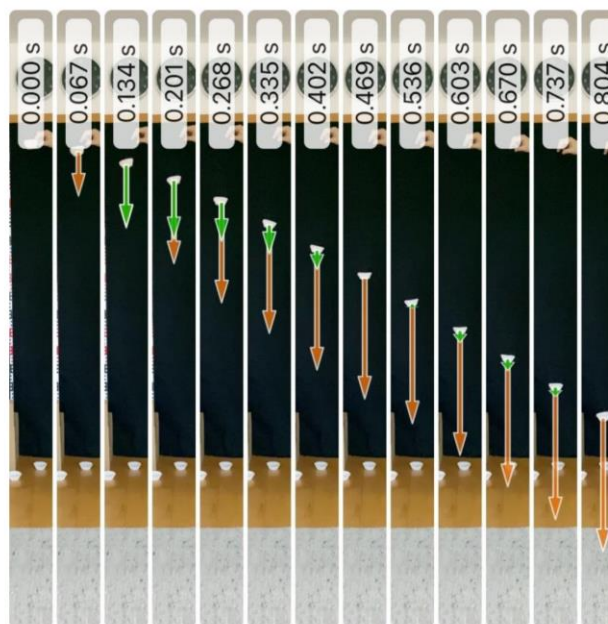
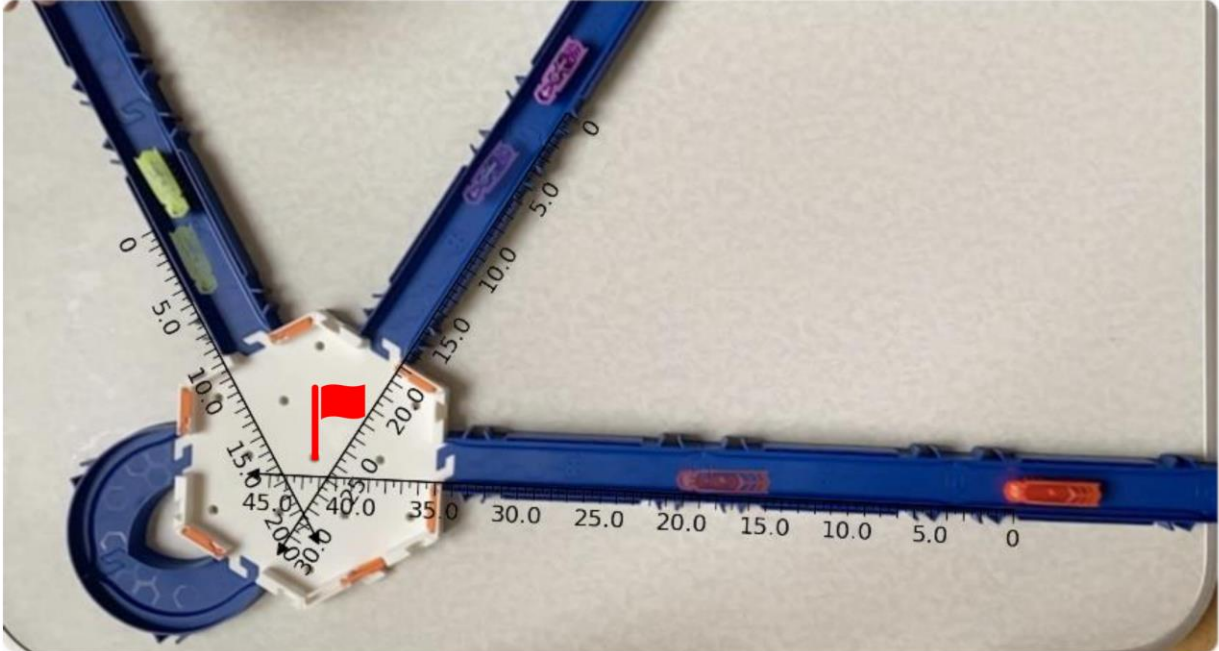


Abb. 7: Arbeitsblatt zur Untersuchung des freien Falls mit Luftwiderstand am Beispiel eines fallenden Backförmchens. Zu dem Aufgabenblatt gehört ein weiteres Blatt, auf dem Vorüberlegungen zu den wirkenden Kräften angeregt werden.

Hexbugs auf Kollisionskurs

Das Stroboskopbild zeigt 3 Hexbugs, die sich aufeinander zu bewegen. Die Skalen sind in cm eingeteilt. Zwischen den beiden Positionen sind 0,416s vergangen.



Aufgaben

1. Untersuche die Geschwindigkeiten der Hexbugs:
 - a. Erkläre, woran man im Bild die Unterschiede der Geschwindigkeiten der Hexbugs erkennt. Berücksichtige dabei Tempo und Richtung.
 - b. Markiere die Positionen der Hexbugs zu den Zeiten $t=0,8\text{s}$ und $t=1,2\text{s}$.
 - c. Berechne das Tempo, mit dem sich die Hexbugs bewegen.
 - d. Zeichne Geschwindigkeitspfeile ein. (Maßstab: $1\text{cm} \hat{=} 10 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$).

2. Welcher Hexbug kommt zuerst im Ziel an?
 - a. Schätze die Ankunftszeiten der Hexbugs aus den Ergebnissen von Aufgabe 1 ab.
 - b. Berechne die genauen Ankunftszeiten und überprüfe deine Vorhersage im Video.
 - c. Begründe, warum es zu Unterschieden zwischen der vorhergesagten und der tatsächlichen Ankunftszeit kommt.



„Graphen laufen“

1. Aufgabenstellung

Die abgebildeten Ort-Zeit-Diagramme sollen nachgestellt und mithilfe der Videoanalyse App Viana 2 aufgezeichnet werden.:

1. Jedes Gruppenmitglied sucht sich ein Diagramm aus, das es nachstellen möchte.
2. Die Gruppe sucht sich einen geeigneten Hintergrund auf dem Schulhof/Flur/Aula und stellt das Ipad mit einem ausreichenden Abstand auf. Achtet darauf, dass der Hintergrund einen guten Kontrast liefert und nicht zu unruhig ist.
3. Der Reihe nach stellt jedes Gruppenmitglied sein ausgesuchtes Diagramm nach.
4. Direkt im Anschluss wertet die Gruppe die mit der Videoapp aufgezeichneten Diagramme aus.
Wenn einzelne Aspekte des Diagramms fehlen oder falsch dargestellt werden, wird die Simulation wiederholt und verbessert.

Diagramm A

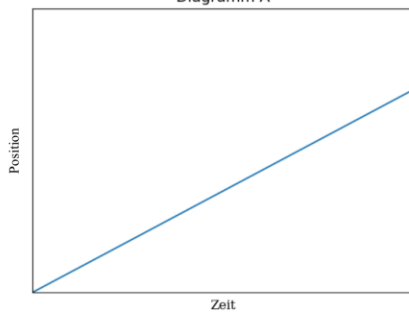


Diagramm B

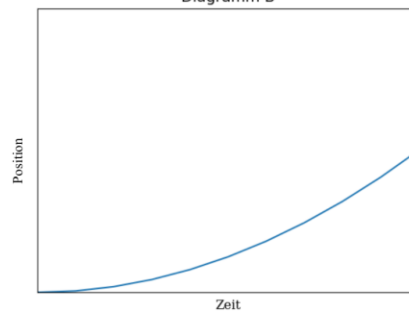


Diagramm C

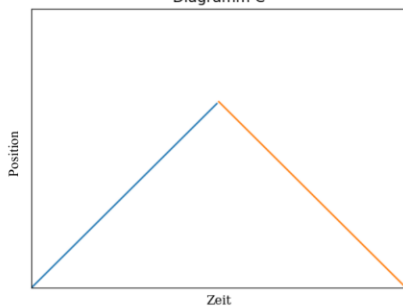


Diagramm D

