

Videos von Bewegungen für den Unterricht vorbereiten Bewegungsvideos direkt zum Ausgangspunkt des Lernens machen

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

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt
c.hengel@t-online.de

Kurzfassung

Gerade am Anfang des Konzeptaufbaus ist der schnelle Weg zu fertigen Diagrammen, den Videoanalyse-Apps bieten, für das Verständnis eher hinderlich. Eine Videoanalyse zu Fuß, bei der die Schüler*innen einem Video in regelmäßigen Zeitabständen die Position eines Objekts entnehmen und die gewonnenen Daten auswerten, ist eher für einen ersten Zugang zur quantitativen Betrachtung kinematischer Größen geeignet. Dafür ist es erforderlich, im Video die Zeit und die Position eines Objekts bestimmen zu können.

Im Rahmen des Kooperationsprojekts „Videoanalyse in die Praxis bringen“ zwischen der Goethe-Universität Frankfurt und dem Hessischen Kultusministerium wurde hierfür eine App für Windows und MacOS entwickelt, mit der man Videos mit einem zweidimensionalen Koordinatensystem, einer eindimensionalen Positionsskala oder einem Polarkoordinatensystem bzw. einer Winkelskala versehen und einen Zeitstempel zu jedem Frame hinzufügen kann.

Die App erleichtert es damit auch, mit Hilfe von Videoanalyse-Apps Stroboskopbilder oder Serienbilder für Aufgaben zu erzeugen, in denen die Positionen des Objekts und der dazugehörige Zeitpunkt im Bewegungsverlauf gut abzulesen sind. Wenn in einem Video der Maßstab oder die Uhr im Bild fehlt, kann man sie auf diese Weise nachträglich hinzufügen.

1. Ausgangspunkt

Die Idee, Videos von Bewegungen im Rahmen der Kinematik und Dynamik für Unterrichtszwecke zu nutzen, ist nicht neu. Die gefilmten Bewegungen können dabei sowohl direkt im Unterricht zum Durcharbeiten und Üben eingesetzt werden, als auch als Grundlage für die Erstellung von Unterrichtsmaterial verwendet werden. Für verschiedene Aufgabentypen kommt es dabei darauf an, dass entweder dem Video selbst oder einem damit erstellten Stroboskop- oder Serienbild gut zu entnehmen ist, zu welcher Zeit sich ein Objekt an welcher Position bzw. an welchem Ort befunden hat. Bei linearen Bewegungen kann man das dadurch erreichen, dass man eine Stoppuhr (Smartphone) und einen Maßstab parallel zur Bewegungsrichtung ins Bild stellt. Es ist aber gar nicht so selten, dass die Videoqualität ein genaues Ablesen des Maßstabs nicht zulässt oder die Position der Uhr im Bild dann doch nicht zum gewünschten Zuschnitt im Serienbild passt. Manchmal würde man auch gerne ein bestehendes Video verwenden, ohne die Aufnahme wiederholen zu müssen, oder vielleicht sogar eine kurze Sequenz aus einem Spielfilm für diesen Zweck nutzen.

2. Die Goethe-Video-Suite

Für diese Fälle wurden im Rahmen des Kooperationsprojekts mit dem Hessischen Kultusministerium „Videoanalyse in den Unterricht bringen“ die Goethe-Video-Suite entwickelt. Die App läuft unter Windows

und MacOS. Sie erlaubt es, in bestehende Videos ein kartesisches Koordinatensystem einzufügen (siehe Abb. 1), eine einzelne Skalen-Achse (skaliert in Längeneinheiten) (siehe Abb. 2) oder auch ein Polarkoordinatensystem (skaliert mit Winkeln in Grad oder Radiant) (siehe Abb. 3, Seite 3). Auch eine kreisförmige Skala, die in Längeneinheiten ist möglich (siehe Abb. 4, Seite 3). Die Längeneinheit wird dabei durch zwei Punkte im Bild festgelegt, deren Abstand bekannt ist. Das Koordinatensystem kann flexibel positioniert und orientiert werden.

Man kann außerdem einen Zeitstempel einfügen, dessen Größe, Orientierung und Position im Bild frei festgelegt werden kann (siehe Abb. 5). Dabei kann man den Frame festlegen, für den $t = 0$ sein soll oder einem beliebigen Frame eine beliebige Zeit zuordnen. Der Zeitschritt zwischen zwei Einzelbildern wird durch die Framerate bestimmt, die man in der App allerdings auch nachträglich korrigieren kann. Das ist wichtig, weil die im Header der Videodateien hinterlegten Frameraten nicht immer der wahren Framerate bei der Aufnahme entsprechen.

Die bearbeiteten Videos werden im *.mp4-Format gespeichert. Sie können für den Export auf wesentliche Bildbereiche zugeschnitten werden und der erste und letzte Frame kann jeweils festgelegt werden. Die erzeugten Koordinatensysteme können außerdem als Leerdigramme im *.png-Format exportiert werden, um sie bei der Erstellung von Aufgaben zu

verwenden. Beispiele für Ergebnisse, die mit der Goethe-Video-Suite erstellt wurden, zeigen die hier dargestellten Abbildungen. Die zugehörigen Videos können unter <https://t1p.de/GVS> betrachtet und heruntergeladen werden. Dort steht auch die aktuelle Version der Goethe-Video-Suite zum Download bereit.

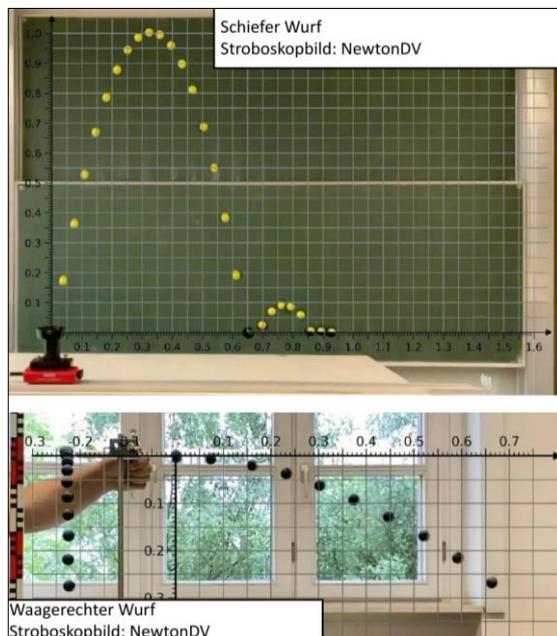


Abb. 1: Zwei Bilder aus Videos klassischer Demonstrations-Experimente, bei denen mit der Goethe-Video-Suite ein kartesisches Koordinatensystem in das Video eingefügt wurde. Die beiden Stroboskopbilder wurden mit der iOS-App NewtonDV aus dem Video erstellt.

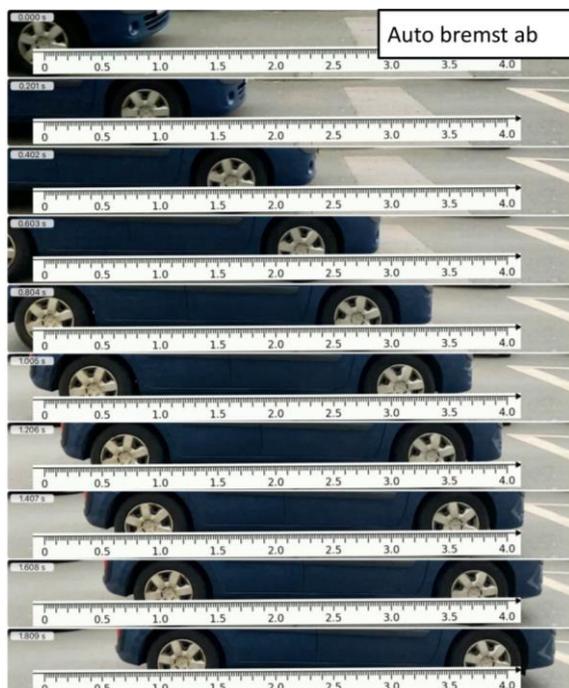


Abb. 2: Das Serienbild eines abbremsenden Autos aus der iOS-App NewtonDV, wobei eine Skalen-Achse in das Video eingefügt wurde.



Abb. 5: Beispiele für Videos von, bei denen mit der Goethe-Video-Suite nachträglich ein Zeitstempel (und eine Skalen-Achse) eingefügt wurde (Quelle des Mond-Videos: [1]).

3. Assistent für konstante Beschleunigungen

Ein besonderes Feature ist der Assistent für gleichmäßig beschleunigte Bewegungen. Er erlaubt es, für diesen Bewegungstyp möglichst genau den Frame zu finden, für den die Bewegung aus der Ruhe beginnt, also z.B. den Moment, in dem eine Kugel losgelassen wird. Dazu markiert man, nachdem man Ursprung und Orientierung des Koordinatensystems festgelegt hat, die Position des Objekts zu zwei verschiedenen Zeitpunkten. Den Rest erledigt dann die App.

Dieses Feature ist dann wichtig, wenn im Unterricht mit dem Video z.B. die Gültigkeit des Zeit-Positions-Gesetzes für gleichmäßig beschleunigte Bewegungen aus der Ruhe geprüft werden soll. Denn wenn man dazu für alle Zeit-Positions-Paare den Wert der Beschleunigung gemäß $a = 2s/t^2$ bestimmt und dabei $t = 0$ der falschen Position zuordnet – kurz vor oder kurz nach dem eigentlichen Beginn der Bewegung, ergibt sich ein systematischer Fehler, der gerade für t nahe Null zu großen Abweichungen der ermittelten Beschleunigung vom wahren Wert führt und es außerdem so erscheint, als nähme die Beschleunigung über den Verlauf der Bewegung hinweg zu oder ab,

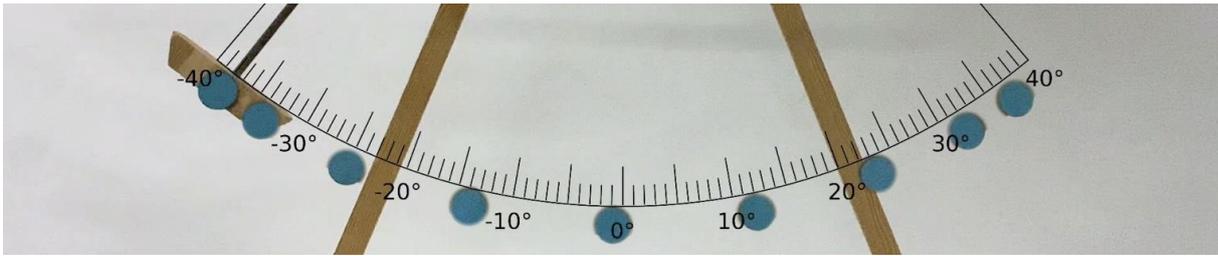


Abb. 3: Ein Beispiel für ein Video einer Schaukel, bei dem mit der Goethe-Video-Suite eine Winkel-Skala eingeführt wurde.

obwohl man ja gerade zeigen will, dass sie konstant ist. In Tabelle 1 ist zur Illustration für den freien Fall simuliert, wie es sich bei Aufnahmezeiten von 30 fps und 240 fps auf den ermittelten Beschleunigungswert auswirkt, wenn man die Zeit $t = 0$ dem Frame direkt vor dem wahren „ $t = 0$ “-Frame zuordnet.

Der ermittelte Wert der Beschleunigung ist in dem Beispiel bei 30 fps anfangs fast doppelt so groß wie der wahre Wert, bei 240 fps beträgt die Abweichung anfangs noch 8,5 %. Auch bei 240 fps entsteht noch der Eindruck, die Beschleunigung nähme mit der Zeit systematisch ab, wenn man bei der Zuordnung von $t = 0$ nur um einen Frame neben dem wahren „ $t = 0$ “-Frame liegt. Solche Ergebnisse sind im Unterricht kaum geeignet, das Vertrauen der Schüler*innen in die Wirkmächtigkeit der Physik zu stärken. Sie machen eine intensive Auseinandersetzung mit dem

Messverfahren und eben diesem systematischen Fehler erforderlich. Auch wenn die Diskussion von Messfehlern selbstverständlich Gegenstand des Physikunterrichts sein soll, sind die Stunden, in denen Begriffe erworben und konsolidiert werden sollen, dafür der falsche Zeitpunkt. Aus der Simulation der Tabelle 1 kann man zwei Schlüsse ziehen: Erstens ist man gut beraten, für derartige quantitative Analysevorhaben eine hohe Framerate zu verwenden. Zweitens ist es dann wichtig, den Frame, in dem die Bewegung beginnt, möglichst genau aufzufinden. Dabei kann der Assistent in der Goethe-Video-Suite helfen.

Zusätzlich zum Auffinden des Frames mit $t = 0$ kann man auch den Maßstab automatisch so anpassen lassen, dass er im Zusammenspiel mit der Bildrate zu einer bestimmten Beschleunigung passt, z.B. der

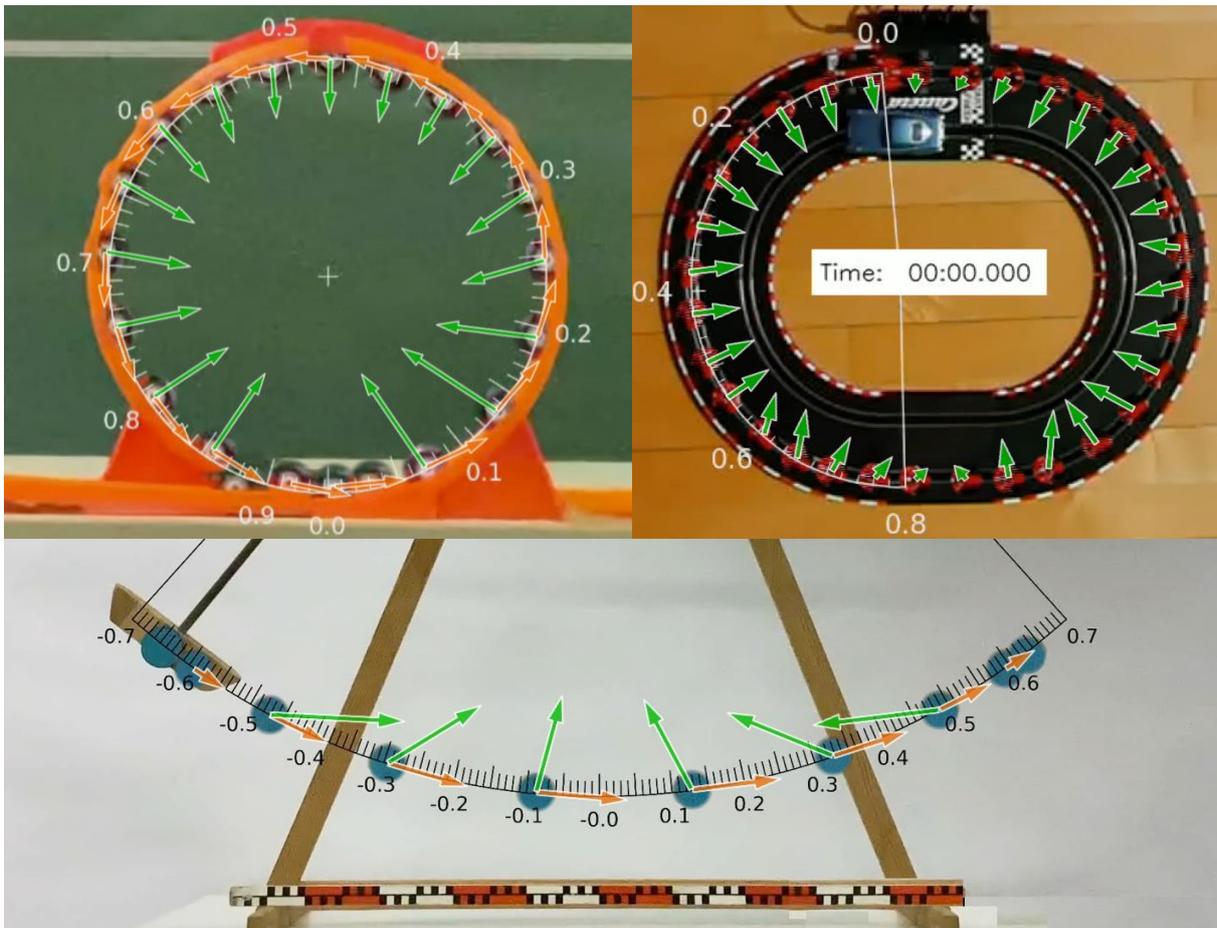


Abb. 4: Drei Beispiele für Videos, bei denen mit der Goethe-Video-Suite eine kreisförmige Skala eingeführt wurde, die in Längeneinheiten skaliert ist (Looping, Carrera-Bahn, Schiffschaukel).

Tab. 1: Aus $a = 2s/t^2$ ermittelte Beschleunigungswerte für den einen idealen freien Fall, wenn $t = 0$ dem Frame vor dem wahren „ $t = 0$ “-Frame zugeordnet wird (Simulation).

30 fps			
wahre Zeit in s	Zeit im Video in s	s in m	$a = 2s/t^2$ in m/s^2
0,133	0,1	0,087	17,44
0,233	0,2	0,267	13,35
0,333	0,3	0,545	12,11
0,433	0,4	0,921	11,51
0,533	0,5	1,395	11,16
0,633	0,6	1,967	10,93
0,733	0,7	2,638	10,77
0,833	0,8	3,406	10,64
0,933	0,9	4,273	10,55
1,033	1,0	5,237	10,47

240 fps			
wahre Zeit in s	Zeit im Video in s	s in m	$a = 2s/t^2$ in m/s^2
0,104	0,1	0,05	10,64
0,204	0,2	0,20	10,22
0,304	0,3	0,45	10,08
0,404	0,4	0,80	10,02
0,504	0,5	1,25	9,97
0,604	0,6	1,79	9,95
0,704	0,7	2,43	9,93
0,804	0,8	3,17	9,91
0,904	0,9	4,01	9,90
1,004	1,0	4,95	9,89

Erdbeschleunigung, was gerade bei fehlenden Referenzlängen eine Hilfe ist.

4. Einsatzmöglichkeiten

Mit Zeitstempeln und Koordinatensystemen vorbereitete Bewegungsvideos eignen sich vor allem, um im Zusammenspiel mit geeigneten Aufgabenstellungen ein operatives Durcharbeiten der kinematischen Größen zu initiieren – in dem Sinne, wie Hans Aebli es in seinen Überlegungen zum Begriffserwerb beschrieben hat [2]. Dazu gehören das Ausloten der Bedeutung eines Begriffs und seiner Teilbegriffe (hier etwa „Geschwindigkeit“ und „Positionsänderung“ in einem „Zeitintervall“), ihrer Beziehung untereinander, der Beziehungen zu verwandten Begriffen (Ähnlichkeiten und Unterschiede; hier z.B. „Geschwindigkeit“ ist etwas anderes als „Tempo“). Dies kann durch geeignete Problemstellungen im Unterricht angestoßen werden. Durch die Nutzung aufgezeichneter Bewegungen als Ausgangspunkt kann man dabei die Beschäftigung mit den kinematischen Größen zunächst von der Auseinandersetzung mit den Schwierigkeiten des Messprozess abkoppeln, so dass die Aufmerksamkeit nicht auf zwei Schwerpunkte verteilt werden muss.

Ein Aufgabenformat, das sich für das Ausloten von Begriffsbedeutung und -umfang eignet, ist die „Videoanalyse zu Fuß“, bei der die Schüler*innen die Analyseschritte selbst durchführen müssen, angefangen von der Entnahme und Übertragung der Zeit-Positions-Daten in ein Diagramm, über die Bestimmung von Intervallgeschwindigkeiten bis hin zur Bestimmung von Beschleunigungen. Dies soll aber nicht im Sinne eines Abarbeitens vorgegebener Rechenwege geschehen, sondern vielmehr unter Aufgabenstellungen der Art „Was müssen wir tun, um aus den uns vorliegenden Daten möglichst genau die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit zu bestimmen?“ Es muss darum gehen, dass die kinematischen

Größen für die Lernenden durch die Bearbeitung der Aufgaben zu den Videos mit Bedeutung aufgeladen werden und ihre Beziehungen untereinander für sie geklärt werden.

Für die Erfassung der Beziehung zwischen Position und Geschwindigkeit ist es hilfreich, auch mit der umgekehrten Aufgabe zu arbeiten, indem man die Schüler*innen ausgehend von einem Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm einer etwa abschnittsweise gleichförmigen Bewegung das Zeit-Positionsdiagramm rekonstruieren und das Ergebnis mit einem Video überprüfen lässt.

Der Begriffsaufbau erstreckt sich neben der Erfassung von Begriffsbedeutung und -umfang auf das Kennenlernen der Anwendbarkeit eines Begriffs. Klassische Übungsaufgaben lassen erkennen, welche Arten von Problemen und Fragestellungen sich mit den kinematischen Größen und den sie verbindenden Gesetzmäßigkeiten angehen lassen. Auch solche Aufgaben lassen sich mit vorbereiteten Videos umrahmen. Als Beispiel seien Begegnungs- oder Überholaufgaben angeführt. In einem Clip sehen die Schüler*innen zwei sich bewegende Wagen oder Personen mit der Aufgabe, den Zeitpunkt des Zusammentreffens vorherzusagen. Mit dem vollständigen Video kann die Vorhersage dann überprüft werden. Zum Ausloten der Anwendbarkeit eines Begriffs gehört es auch, die verschiedenen Kontexte kennenzulernen, in denen er Anwendung findet. Dazu können mit Hilfe vorbereiteter Videos Abläufe alltäglicher Bewegungen in den Unterricht integriert werden, um an ihnen etwa die Reichweite der idealisierenden Modelle „(abschnittsweise) gleichförmige Bewegung“ und „gleichmäßig beschleunigte Bewegung“ zu untersuchen.

Weitere Aktivitäten für ein operatives Durcharbeiten der kinematischen Größen sind beispielweise:

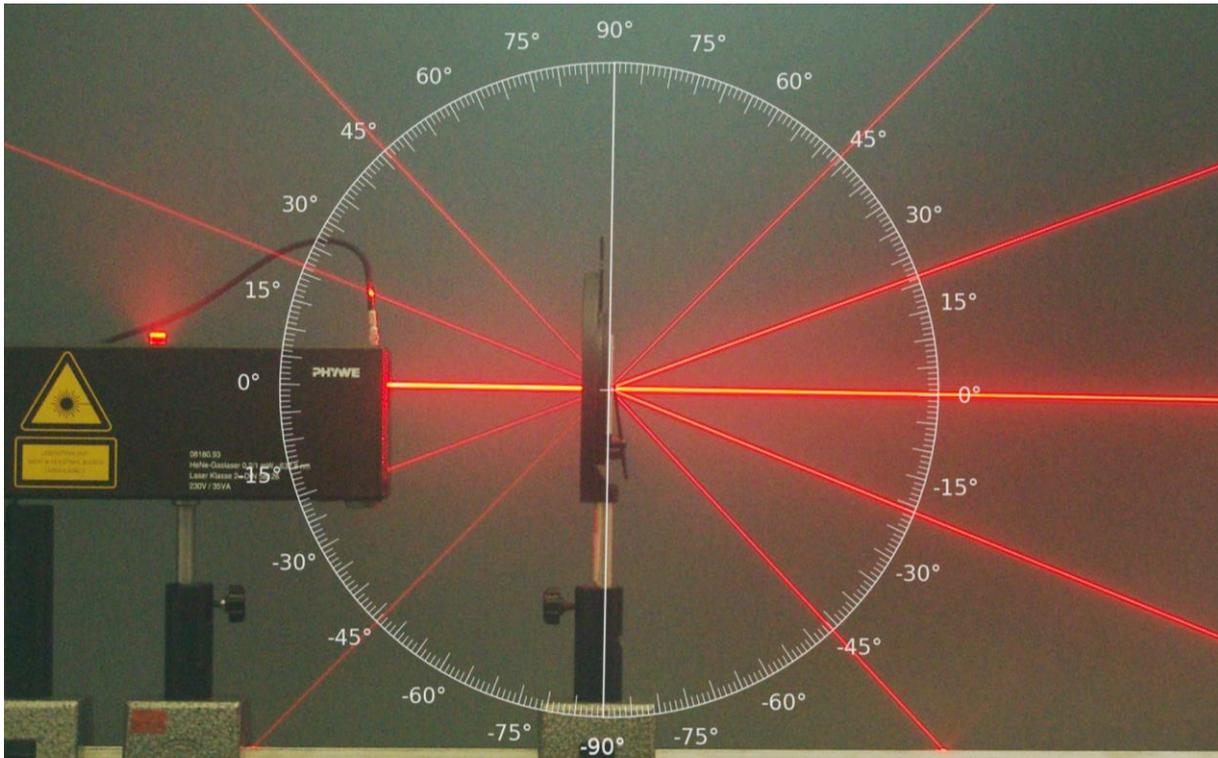


Abb. 6: Ein Gitter wurde in einem Raum, der mit Nebel einer Disco-Nebelmaschine erfüllt war, beleuchtet [3]. Das Foto von den Maxima der Beugung am Gitter wurde mit einer Winkel-Skala versehen, so dass die Beugungswinkel abgelesen werden können.

- Bewegungsvideos werden im Klassenverband gemeinsam angeschaut. Dabei werden die Positionsänderungen in gleichen Zeitabständen betrachtet. So kann ein Überblick über die Merkmale einer Bewegung geschaffen werden.
- Die Gültigkeit der (zuvor erarbeiteten) Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung (vgl. Abschnitt 3) wird am Beispiel von Bewegungen überprüft, bei denen konstante Kräfte wirken (schiefe Ebene, freier Fall, Propellerfahrzeug).
- Die Beschleunigung wird schnell aus verschiedenen t - s -Wertepaaren einer geradlinigen Bewegung bestimmt und die Konstanz der Beschleunigung überprüft.
- Zeit-Positionsdiagramme werden einer Auswahl von Bewegungsvideos begründet zugeordnet.
- Eine Art „Stroboskopbilder“ wird „zu Fuß“ erstellt, indem die Position eines Objekts in regelmäßigen Zeitabständen abgelesen und in ein x - y -Diagramm übertragen wird. Dies ist insbesondere für zweidimensionale Bewegungen geeignet.
- Stroboskop- und Serienbildern werden als Unterrichtsmaterial mit gut ablesbarer Skala und Zeitstempeln mit Videoanalyseapps erstellt.

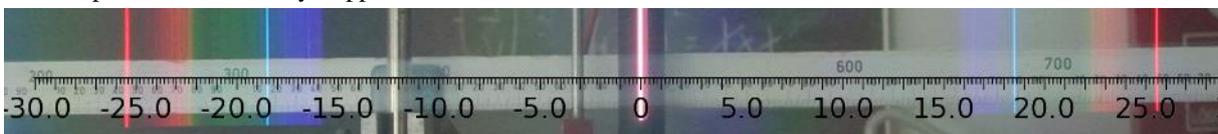


Abb. 7: Das Beugungsbild an einem Gitter wurde mit einer Skalen-Achse versehen. Die Abstände der Maxima vom nullten Maximum können nun abgelesen und für Berechnungen verwendet werden.

5. Einsatz außerhalb der Mechanik

Mit der Goethe-Video-Suite können auch auf Einzelbildern Koordinatensysteme und Skalen angebracht werden. Das erweitert die Nutzbarkeit der App über den Bereich der Mechanik hinaus. So können z.B. Fotos von Maxima bei der Beugung am Gitter mit einer Skala versehen werden (siehe Abb. 6+7). In einer Aufnahme von einer im Feld eines Plattenkondensators aufgehängten Kugel kann eine Winkelskala eingefügt werden, so dass man den Ablenkwinkel unter der Einwirkung des Feldes gut ablesen kann.

6. Ausblick

Im Rahmen des Kooperationsprojekts „Videoanalyse in die Praxis bringen“ [4] werden Unterrichtsmaterialien entwickelt, die den Einsatz von Videoanalyse in der Unterrichtspraxis erleichtern soll. Die Materialien umfassen u.a. Beispiele, die die Einsatzmöglichkeiten der Goethe-Video-Suite konkretisieren. Des Weiteren gibt es Video-Tutorials, Vorschläge für Bewegungen, die sich für eine Videoanalyse eignen, fertige Videos und passende Arbeitsblätter.

7. Literatur

- [1] NASA (August 1971). In: Wikipedia - Die freie Enzyklopädie.
https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Apollo_15_feather_and_hammer_drop.ogg, abgerufen am 28.05.2024
- [2] Aebli, H. (1983). *Zwölf Grundformen des Lehrens*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- [3] Wilhelm, T. (2010). Laserstrahlen mit der Nebelmaschine sichtbar machen. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, S. 14-16.
- [4] Kyas, J., Hengel, C., Knebloch, J., Hansch, A., & Wilhelm, T. (2024). Videoanalyse in die Praxis bringen - Bewegungsvideos direkt zum Ausgangspunkt des Lernens machen. In: *Grötzebauch, H.; Heinicke, S. (Hrsg.): PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2024*.