Bewegungslehre

28.12.2018

1 Vorüberlegungen

Mit der Bewegungslehre wird der Einstieg in die stärker mathematische Behandlung physikalischer Sachverhalte erarbeitet. Sie ist Ausgangspunkt für die Entwicklung der newtonschen Differenzialrechnung und verbindet damit die in Klassenstufe 10 behandelten mathematischen Beziehungen mit der physikalischen Realität. Didaktisch ist von Vorteil, dass die Schüler die Vorgänge ohne Zuhilfenahme messtechnischer Geräte beobachten und in ihrem Ablauf nachvollziehen können. Schülerübungen und Praktika sind vielfältig möglich und sollten wo immer die Ausstattung dies zulässt, durchgeführt werden.

Ziel ist die Erkenntnis, dass sich physikalische Beziehungen mathematisch in Diagrammen darstellen und letztlich durch Differenzialgleichungen beschreiben lassen. Diese Erkenntnis muss allerdings sehr behutsam erarbeitet werden.

Zur Untersuchung bieten sich Versuche mit konstanter Geschwindigkeit und konstanter Beschleunigung an.

2 Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit

2.1 Metronom

Diesen Versuch, als Einstieg in die Bewegungslehre, empfehle ich unbedingt in Form von Schülerübungen durchzuführen. Sollte die Ausstattung dies mangels Fahrbahnen nicht zulassen, kann er zumindest als Demonstrationsversuch mehrfach von Schülern vorgeführt werden. Man sollte sich dafür die Zeit nehmen.

2.1.1 Vorwissen

Die Schüler kennen den Begriff Geschwindigkeit aus der alltäglichen Erfahrung.

2.1.2 Vorbereitung

Als Geräte werden benötigt:

- für die ganze Klasse ein Metronom und für jede Gruppe
- eine Fahrbahn mit Wagen
- ein ca. 1m langer, mindestens 20 cm breiter Streifen Endlospapier

2.1.3 Durchführung

Das Papier wird ca. 2 cm so unter die Fahrbahn geschoben, dass der Papieranfang mit der Vorderkante des Wagens zusammenfällt. Das Metronom gibt den Takt für alle Gruppen an. Bei einem Signal des Metronoms wird der Wagen von Hand angestoßen und im Takt des Metronoms die aktuelle Position des Wagens (Vorderseite) auf dem Endlospapier markiert. In einem zweiten Versuch wird das Papier so weit unter die Fahrbahn geschoben, bis die Markierung des ersten Durchganges verdeckt ist. Dann wird die Fahrbahn kopfseitig ca. 1 cm unterlegt und der Versuch ein zweites Mal durchgeführt. Dieser Vorgang wird bei zunehmender Neigung (1 cm-Schritte) so oft wiederholt, bis ein deutliches schneller Werden des Wagens festzustellen ist.

2.1.4 Auswertung

Die Markierungen werden miteinander verglichen, interpretiert und letztlich in Weg-Zeit-Diagrammen festgehalten. Die Zeiteinheit wird durch den Takt des Metronoms vorgegeben. Eine der so erhaltenen Weg-Zeit-Beziehungen zeichnet sich durch Linearität aus. In der Diskussion kann erarbeitet werden, wie sich dieser Sachverhalt bei der Markierung auswirkt und unter welchen Bedingungen dieser Fall eintritt. Die Besonderheit dieser Bewegung führt zur Definition der konstanten Geschwindigkeit.

2.1.5 Zusatzbemerkung

Für mich ist es ein zentraler Punkt der Bewegungslehre, dass immer das $s-t$-Diagramm und nicht das $t-s$\-Diagramm erstellt wird, wie das bei Klappen, Lichtschranken und Speichenrad der Fall ist. Deshalb verwende ich als Bewegungsmesseinrichtungen nur Uhr (Metronom), den Funkenstreifen oder den Ultraschallsensor. Und daran werde ich ganz konsequent von der ersten Stunde Bewegungslehre bis zum Schluss festhalten. Das bedeutet nicht, dass ich die erst genannten Methoden nicht für Geschwindigkeitsmessungen heranziehe (z.B. bei Impulsversuchen). Ich verwende sie nur nicht, wenn ich $s-t$-Diagramme aufnehme.

2.2 Der Ultraschallsensor

2.2.1 Vorwissen

Der Versuch 1 sollte zuerst durchgeführt werden und die Methode ausführlich besprochen sein.

2.2.2 Durchführung

Mit dem Ultraschallsensor wird die Bewegung des Motorwagens aufgenommen.

2.2.3 Auswertung

Mithilfe der LoggerPro® Software wird ein s-t-Diagramm erstellt und eine proportionale Funktion gefittet. Die Schüler erkennen, dass der Motorwagen sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Das liegt natürlich daran, dass er genau zu diesem Zweck gebaut ist.

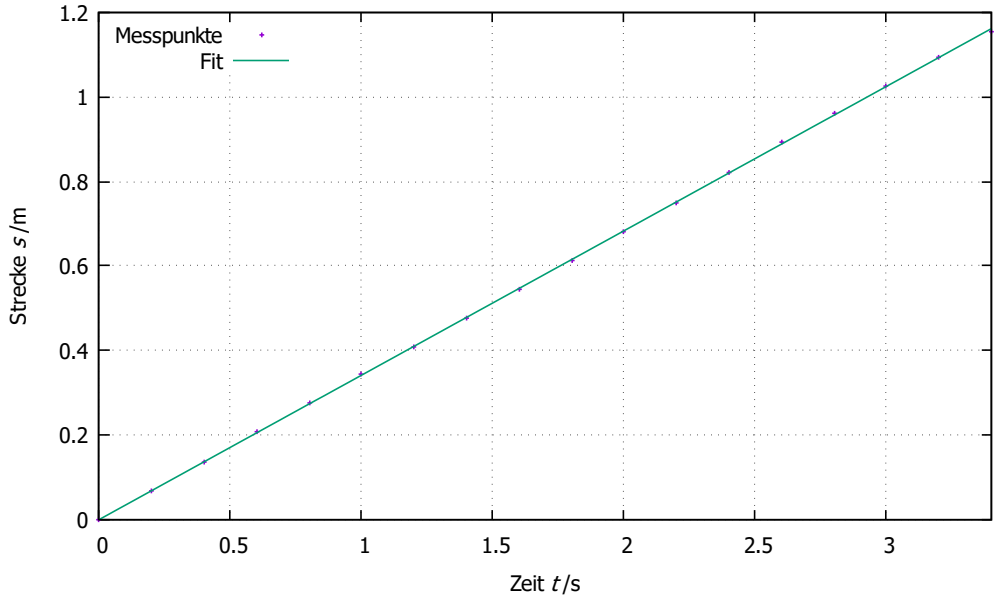

Abbildung 1: Weg-Zeit-Diagramm eines Motorwagens

2.2.4 Zusatzbemerkung

Der Versuch dient dazu, den Ultraschallsensor als Messverfahren für Geschwindigkeitsmessungen einzuführen. Der große Vorteil ist, dass die Daten als Datei vorliegen und so eine beliebige Weiterverarbeitung am Computer möglich ist.

3 Bewegung mit konstanter Beschleunigung

3.1 Spezialfall: Freier Fall

3.1.1 Vorbemerkungen

Datenerfassungssysteme ermöglichen diesen Versuch als Freihandversuch. Der Ultraschallsensor wird in ca. 1,5 bis 2 m über dem Fußboden an einer Stativstange befestigt. Ein großer Ball (in meinem Versuch war es ein Basketball) wird ca. 18 cm unterhalb des Sensors von Hand gehalten. Nach Freigabe der Messung wird der Ball losgelassen, die Messkurve erscheint im Grafikfenster des Bildschirmes.

Die Voreinstellung der Messeinrichtung sollte sich etwa in diesem Rahmen bewegen:

Messfrequenz:	maximal
Messzeit:	0,4 s
Triggerung:	0,3 m
Messpunkte vor Trigger:	3

Tabelle 1: Messeparameter

Wenn man die Software LoggerPro® zu Verfügung hat, kann man das $s-t$-Diagramm durch den quadratischen Fit direkt auswerten lassen. Arbeitet man dagegen mit LoggerLite®, ist es sinnvoll, sich das $v-t$-Diagramm ausgeben zu lassen und mit dem linearen Fit auszuwerten. Allerdings waren meine Messergebnisse mit dem $s-t$-Diagramm Fit besser.

Durch den sehr geringen Zeitaufwand eignet sich dieser Versuch sehr gut dazu, ihn mehrfach durchzuführen und anschließend statistisch auszuwerten.

3.1.2 Skizze des Versuchsaufbaus

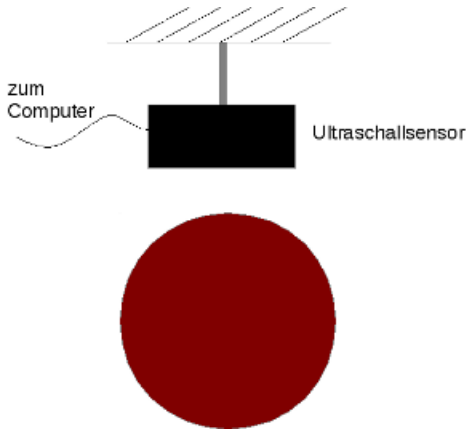

Abbildung 2: Skizze des Versuchsaufbaus

3.1.3 Die Messkurve

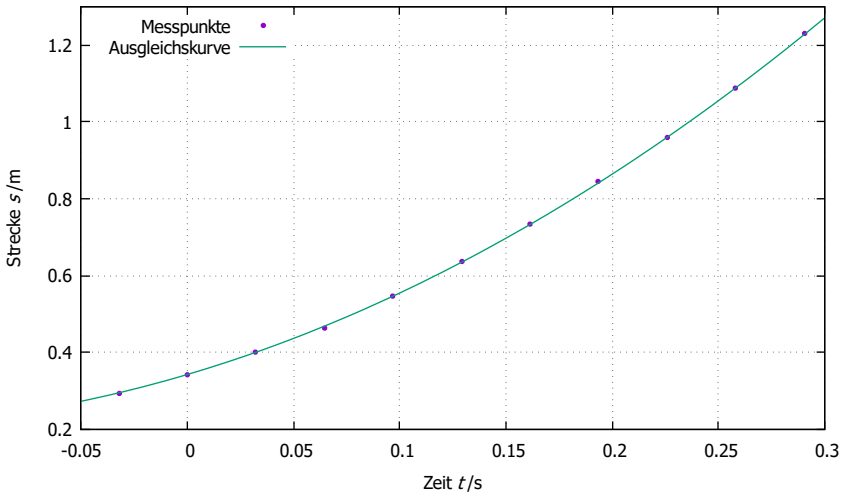

Abbildung 3: Weg-Zeit-Diagramm des Balles

Dies ergibt eine Ausgleichskurve

$$s(t) = 5,855\frac{m}{s^2}t^2 + 1,636\frac{m}{s}t + 0,3431m$$

Daraus ergibt sich die Erdbeschleunigung zu

$$g = 9,71\frac{m}{s^2}$$