

Die Physik der beschleunigten Bewegung



Protokollheft

NAME: _____

Einleitung:

In der Physik nennt man eine Bewegung, bei der Richtung und Stärke der Beschleunigung konstant bleiben (sich also mit der Zeit nicht ändern), eine **gleichmäßig beschleunigte Bewegung**. Um die Physik dieser Bewegung zu untersuchen, analysieren wir ein Video einer Metallkugel, die entlang einer schrägen Aluminium-Schiene (**phys. Fachwort: geneigte oder schiefe Ebene**) hinunter rollt.

Aufgrund der geringen Reibung zwischen Metallkugel und Schiene können wir davon ausgehen, dass die Kugel beim Hinabrollen nicht (wesentlich) abgebremst wird.

Um die Experimente auswerten zu können, benötigen wir das folgende Grundwissen zur Beschleunigung:

► Beschleunigung a

Die Beschleunigung a einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist definiert als Quotient aus der Geschwindigkeitsänderung Δv und der dafür benötigten Zeitspanne Δt :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Die Grundeinheit der Beschleunigung ist somit 1 m/s^2

► Anfangsgeschwindigkeit v_0

Hat das Objekt zu Beginn der Messung bereits eine Geschwindigkeit, so bezeichnen wir diese Geschwindigkeit als Anfangsgeschwindigkeit v_0

► Übersicht physikalische Größen

Physikalische Größe	Formelzeichen	Grundeinheit
Zeit	t	1 s
Ort (Position)	x	1 m
Geschwindigkeit	v	1 m/s
Beschleunigung	a	1 m/s ²

Teil 1: Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung

Durchführung:

Die Videos werden in Gruppen von 2 - 3 Schülerinnen und Schülern aufgenommen und ausgewertet. Die Ergebnisse werden in den Protokollheften dokumentiert und nach der Experimentierphase präsentiert und verglichen.

Materialliste:

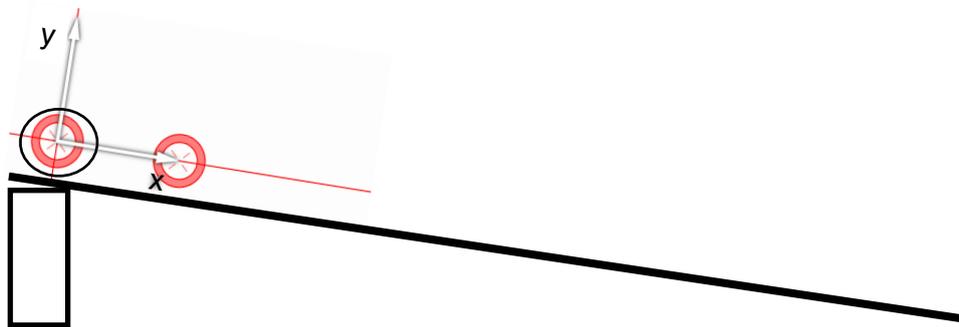
- Aluminiumschiene (Länge: 1m) mit aufgeklebtem Maßstab
- Plastikfuß (selbstklebend)
- Metallkugel
- iPad mit Videoanalyse-App „Viana“ und Auswerte-App „Graphical Analysis“
- Mini-Stativ und iPad-Halterung
- Protokollheft

1. Aufgabe: Video aufnehmen

- Klebe den Plastikfuß an das äußerste Ende der Schiene (Unterseite)
- Lasse die Metallkugel die gesamte Aluminium-Schiene hinunterrollen
- Denke an einen Maßstab bzw. nutze die Länge der Schiene (1m)
- Lasse die Kugel im Video von links nach rechts rollen
- Filme mit **30 fps**
- Gebe dem Projekt den Namen „gleichmäßig beschleunigte Bewegung“

2. Aufgabe: Video zur Analyse vorbereiten

- Schneide das Video so, dass nur Anfang und Ende der Bewegung zu sehen ist
- Lege den Maßstab fest (Achte auf eine Eingabe in m)
- Lege das Koordinatensystem folgendermaßen fest:
 - ➡ Koordinatenursprung in die Kugelmitte am Startpunkt (siehe Abbildung)
 - ➡ x-Achse in Richtung der Schiene (siehe Abbildung)



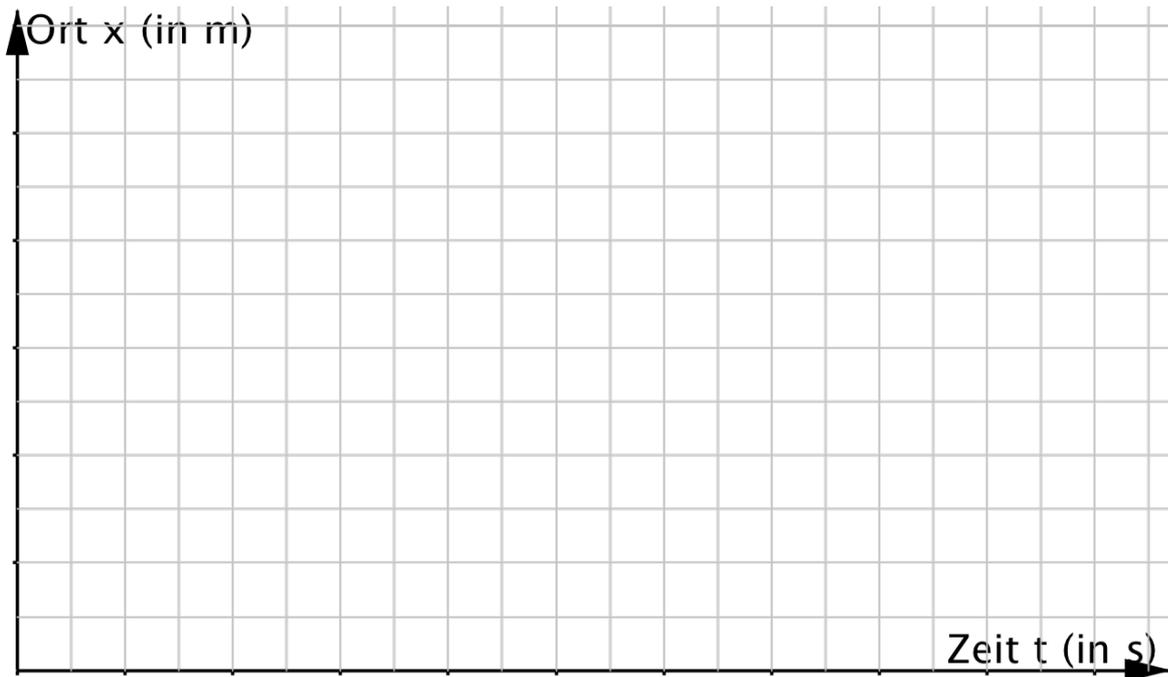
3. Aufgabe: Video analysieren

- ▶ Führe zunächst eine **manuelle Erfassung** aus, d.h. tippe auf „Manuelle Erfassung“ und ...
 - ➡ Beginne mit dem ersten Bild und markiere die Mitte der Kugel mit dem Fadenkreuz
 - ➡ Bestimme die erste Position, indem du auf den Bildschirm tippst (Bild 1)
 - ➡ Bewege den Schieberegler zum Bild 16 und markiere die neue Position
 - ➡ Wiederhole dies für die Bilder 31, 46, 61, ...
 - ➡ Der **Zeitabstand** der Positionen beträgt dann immer **0,5 Sekunden ($\Delta t = 0,5s$)**

- ▶ Führe nun eine **automatische Bewegungserkennung** aus (bei demselben Video)

3.3 Zeit-Ort-Diagramm (t-x-Diagramm)

- Lasse dir das t-x-Diagramm (Zeit-Ort-Diagramm) anzeigen
- Trage **einige ausgewählte** Datenpunkte in das folgende Koordinatensystem ein
- Trage anschließend eine passende Ausgleichskurve ein, d.h. den idealen Verlauf ohne Messfehler in einer beliebigen Farbe



Frage: Zu welchem mathematischen Zusammenhang zwischen Ort und Zeit passt deine gezeichnete Ausgleichskurve? In welcher Hinsicht unterscheidet sich die Ausgleichskurve von der Ausgleichskurve bei einer gleichförmigen Bewegung?



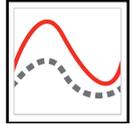
3.4 Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm (t-v-Diagramm)

- Unterhalb des t-x-Diagramms findest du das zugehörige Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm (t-v-Diagramm)
- Trage **einige ausgewählte** Datenpunkte in das folgende Koordinatensystem ein
- Trage anschließend eine passende Ausgleichskurve ein, d.h. den idealen Verlauf ohne Messfehler in einer beliebigen Farbe



Frage: Zu welchem mathematischen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Zeit passt deine gezeichnete Ausgleichskurve? In welcher Hinsicht unterscheidet sich die Ausgleichskurve von der Ausgleichskurve bei einer gleichförmigen Bewegung?





4. Aufgabe: Analyse der Messdaten

Exportiere die Messdaten von Viana nach Graphical Analysis

- Wähle auf der x-Achse statt „Frame“ „Zeit (in s)“ aus
- Füge auf der y-Achse „Objekt 1 x-Geschwindigkeit“ hinzu
- Bestimme mittels der App die Ausgleichsgerade und notiere den Funktionsterm

$v(t) =$ _____

4.1 Aufgabe: Beschreibe, wie man mit Hilfe der Ausgleichsgerade im Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm die Beschleunigung für das Experiment bestimmen kann. Gib den so ermittelten Wert an (mit der physikalischen Einheit).

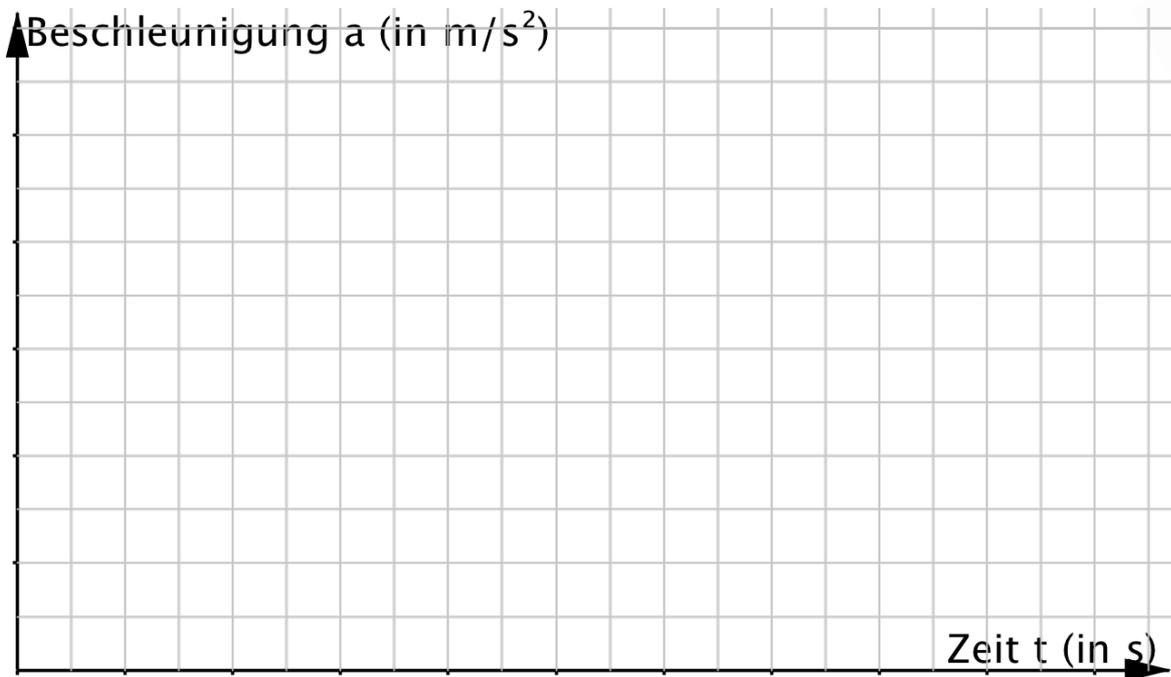
$a_{\text{Experiment}} =$

Frage: Wie lautet die **allgemeine Formel** für die **Abhängigkeit der Geschwindigkeit** von der Zeit, wenn die Beschleunigung a sich nicht ändert und die Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 0 \text{ m/s}$ beträgt.

$v(t) =$

4.2 Zeit-Beschleunigung-Diagramm:

Skizziere auf Grundlage deines Ergebnisses aus Aufgabe 4.1 im vorgegebenen Koordinatensystem den zeitlichen Verlauf der Beschleunigung bei diesem Experiment:



4.3 Zeit-Ort-Diagramm:

- Wähle nun für die y-Achse „Objekt 1 x-Koordinate“ aus
- Bestimme mittels der App die zu den Messdaten passende Ausgleichskurve und notiere den Funktionsterm

➡ Bestätige damit, dass für die Abhängigkeit des Ortes von der Zeit bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung und einer Anfangsgeschwindigkeit von $v_0 = 0$ m/s folgende Formel gilt:

$$x(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

Aufgabe 5:

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung ...

- ... ist die Beschleunigung _____ ,
- damit nimmt die Geschwindigkeit _____ mit der Zeit zu.
- D.h. verdoppelt man also die Zeit, so _____ sich die Geschwindigkeit.
- Damit ergibt sich als Ausgleichskurve im Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm eine _____ .

Für die Abhängigkeit der Geschwindigkeit v von der Zeit t gilt folgende Formel:

Zeit-Geschwindigkeit-Gesetz: $v(t) =$ _____

Bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung ...

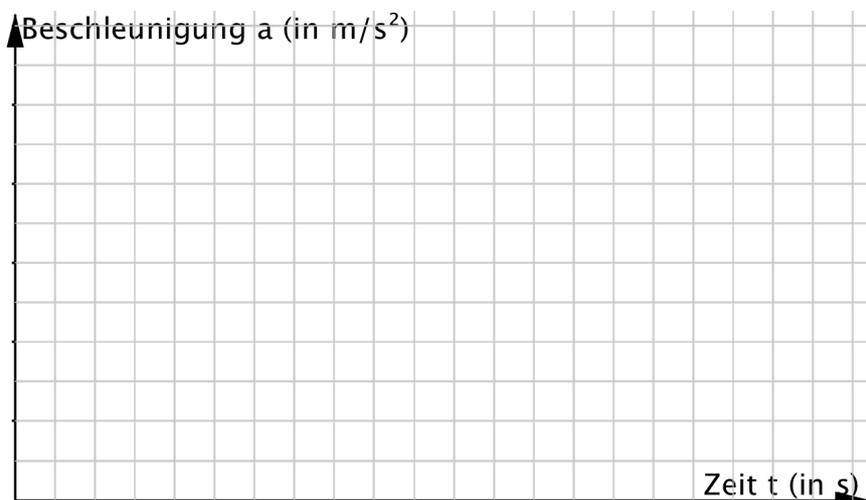
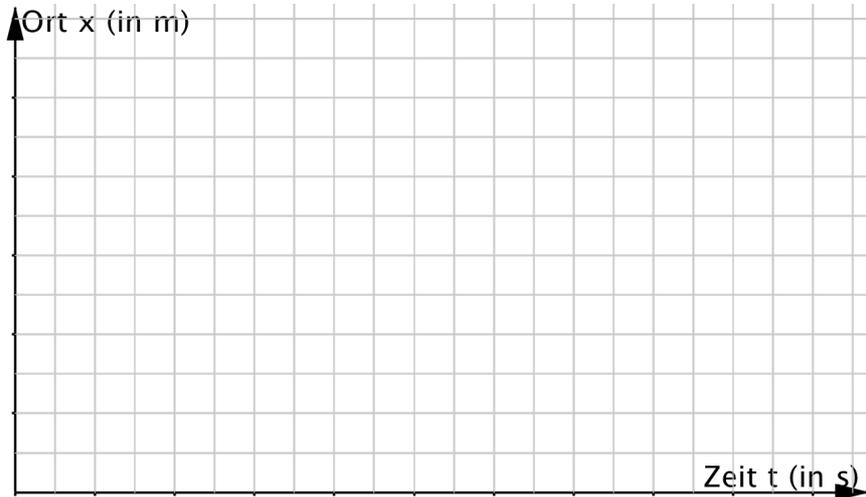
- ... nimmt der Ort _____ mit der Zeit zu
- D.h. verdoppelt man die Zeit, so _____ sich der zurückgelegte Weg.
- Damit ergibt sich als Ausgleichskurve im Zeit-Ort-Diagramm eine _____ .

Für die Abhängigkeit des Ortes x von der Zeit t gilt folgende Formel:

Zeit-Ort-Gesetz: $x(t) =$ _____

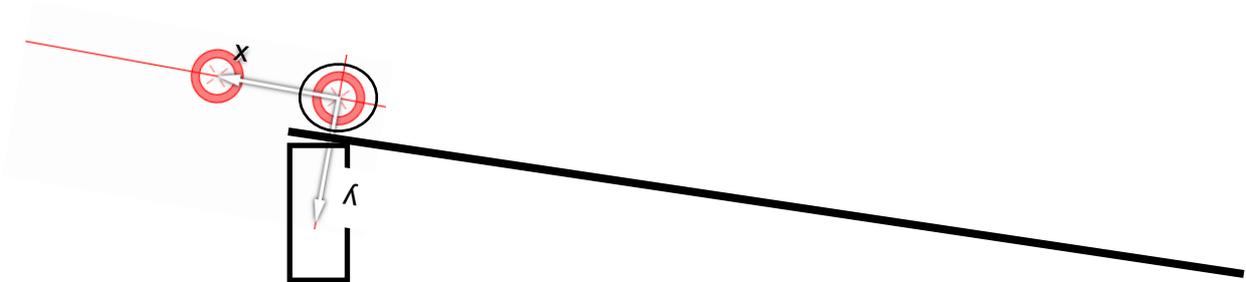
5.2 Diagrammübersicht:

Ergänze in den folgenden Diagrammen den idealen zeitlichen Verlauf von Beschleunigung, Geschwindigkeit und Ort bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung mit einer **Beschleunigung von $a = 2 \text{ m/s}^2$** und einer **Anfangsgeschwindigkeit von $v_0 = 0 \text{ m/s}$** .

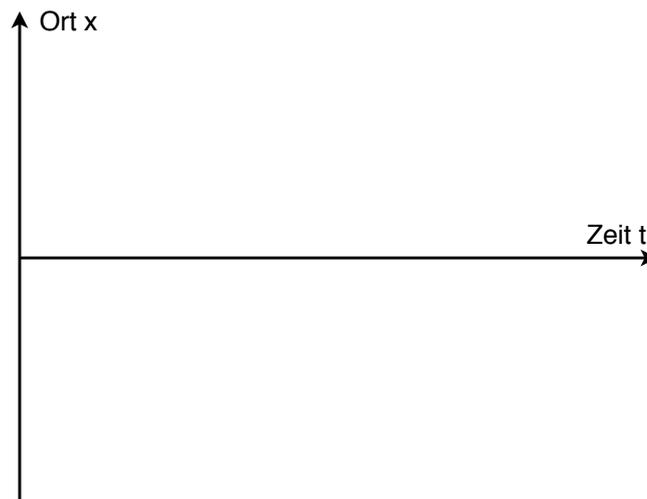


6. Vertiefungsaufgabe: Untersuche den Einfluss der Festlegung des Koordinatensystems auf die Diagramme. **Ändere dazu das Koordinatensystem wie folgt:**

- Lasse den Koordinatenursprung unverändert,
- lege aber die x-Achse **entgegen der Bewegungsrichtung** der Kugel



Sieh dir an, wie sich die Diagramme durch das Ändern des Koordinatensystems verändert haben und skizziere den neuen Verlauf in den folgenden Diagrammen:



Teil 2:

Die gleichmäßig verzögerte Bewegung

Durchführung:

Die Videos werden in Gruppen von 2 - 3 Schülerinnen und Schülern aufgenommen und ausgewertet. Die Ergebnisse werden in den Protokollheften dokumentiert und nach der Experimentierphase präsentiert und verglichen.

Materialliste:

- Aluminiumschiene (Länge: 1m) mit aufgeklebtem Maßstab
- Metallkugel
- Plastikfuß (selbstklebend)
- iPad mit Videoanalyse-App „Viana“ und Auswerte-App „Graphical Analysis“
- Mini-Stativ und iPad-Halterung
- Protokollheft

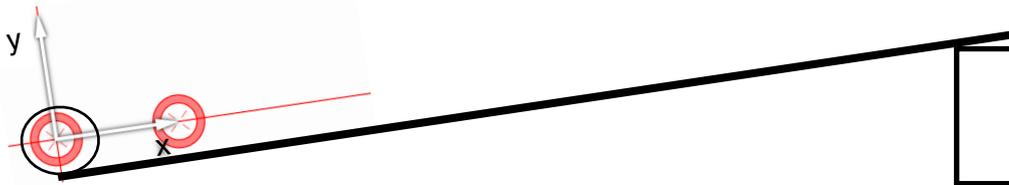
Wird ein Körper langsamer, so bezeichnen wir das im Alltag als Bremsen. Im physikalischen Sinn liegt aber auch beim Bremsen eine beschleunigte Bewegung vor. Wird bei der Bewegung die **Geschwindigkeit verringert**, so nennt man die Beschleunigung **Verzögerung**. Wir untersuchen eine Bewegung mit gleichbleibender Verzögerung, die **gleichmäßig verzögerte Bewegung**. Dazu untersuchen wir die Bewegung einer Kugel, die eine **geneigte Ebene hinauf rollt**.

1. Aufgabe: Aufnahmen des Videos

- Lasse die Kugel die Aluminium-Schiene hinauf rollen bis zum Stillstand
- Denke an einen Maßstab bzw. nutze die Länge der Schiene (1m)
- Lasse die Kugel im Video von links nach rechts hinauf rollen
- **Filme mit 30 fps**
- Gebe dem Projekt den Namen „gleichmäßig verzögerte Bewegung“

2. Aufgabe: Video zur Analyse vorbereiten

- Schneide das Video so, dass nur Anfang und Ende der Bewegung zu sehen ist
- Lege den Maßstab fest (Achte auf eine Eingabe in m)
- Lege das Koordinatensystem folgendermaßen fest:
 - ➔ Koordinatenursprung in die Kugelmitte am Startpunkt (siehe Abbildung)
 - ➔ x-Achse in Richtung der Schiene (siehe Abbildung)



3. Aufgabe: Video analysieren

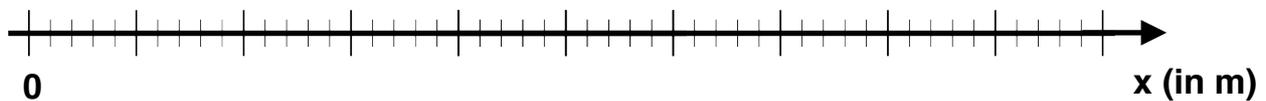
- Führe eine **manuelle Erfassung** aus, d.h. tippe auf „Manuelle Erfassung“ und ...
 - ➔ Beginne mit dem ersten Bild und markiere die Mitte der Kugel mit dem Fadenkreuz
 - ➔ Bestimme die erste Position, indem du auf den Bildschirm tippst (Bild 1)
 - ➔ Bewege den Schieberegler zum Bild 16 und markiere die neue Position
 - ➔ Wiederhole dies für die Bilder 31, 46, 61, ...
 - ➔ Der **Zeitabstand** der Positionen beträgt dann immer **0,5 Sekunden**.

3.1 Zeichne in unterschiedlichen Farben in die folgende Abbildung die Bewegungsrichtung der Kugel und die Wirkrichtung der Beschleunigung (hier Verzögerung) ein.



3.2 Stroboskopabbildung erzeugen:

- Nutze die Darstellung der Positionen der manuellen Erfassung über dem Maßstab im Video
- Markiere damit die Positionen im **zeitlichen Abstand von je 0,5 s** über dem folgenden Maßstab und kennzeichne die Positionen mit 1,2,3, ...



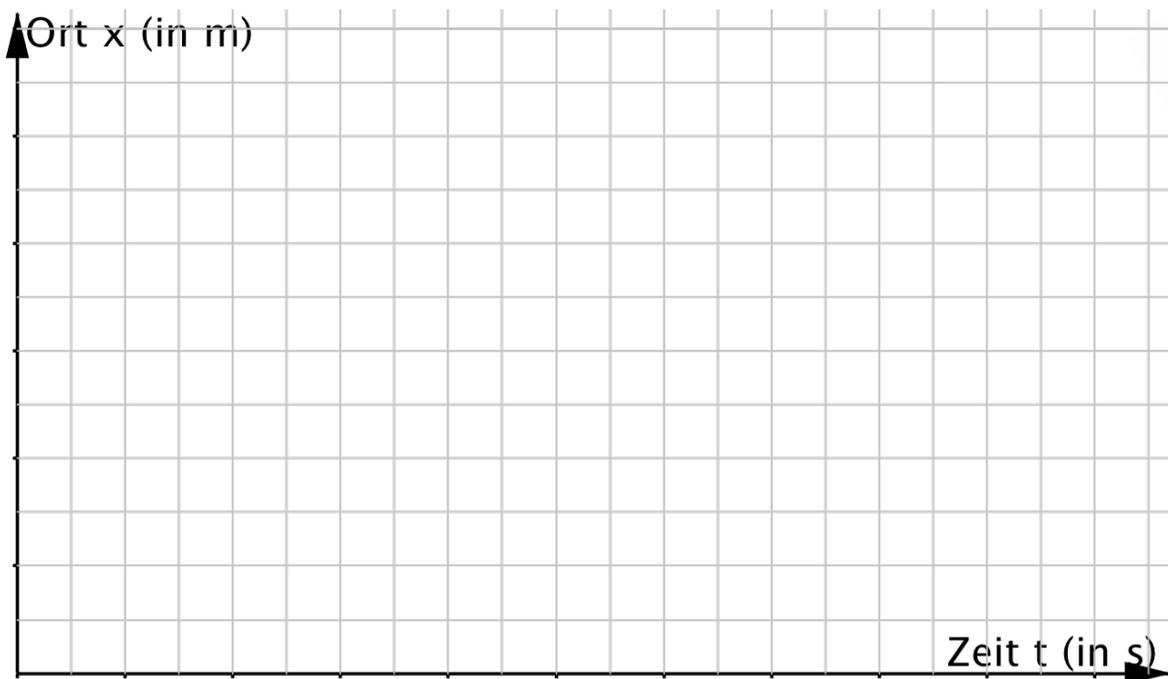
Frage: In welcher Hinsicht unterscheidet sich die Stroboskopabbildung der verzögerten Bewegung beim Hinaufrollen von der Stroboskopabbildung der beschleunigten Bewegung beim Herabrollen der Kugel (vgl. Teil 1)?



- ▶ Führe nun eine **automatische Bewegungserkennung** aus (bei demselben Video)

3.3 Zeit-Ort-Diagramm (t-x-Diagramm)

- Lasse dir das t-x-Diagramm (Zeit-Ort-Diagramm) anzeigen
- Trage **einige ausgewählte** Datenpunkte in das folgende Koordinatensystem ein
- Trage anschließend eine passende Ausgleichskurve in einer beliebigen Farbe ein, d.h. den idealen Verlauf ohne Messfehler



Frage: Wie erkennt man im t-x-Diagramm, dass es sich um eine gleichmäßig verzögerte Bewegung handelt und nicht um eine gleichmäßig beschleunigte?



3.4 Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm (t-v-Diagramm)

- Unterhalb des t-x-Diagramms findest du das zugehörige Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm (t-v-Diagramm)
- Trage **einige ausgewählte** Datenpunkte in das folgende Koordinatensystem ein
- Trage anschließend eine passende Ausgleichskurve in einer beliebigen Farbe ein, d.h. den idealen Verlauf ohne Messfehler



Frage: Wie erkennt man im t-v-Diagramm, dass es sich um eine gleichmäßig verzögerte Bewegung handelt und nicht um eine gleichmäßig beschleunigte?



4. Aufgabe: Analyse der Messdaten

4.1 Exportiere die Messdaten von Viana nach Graphical Analysis.



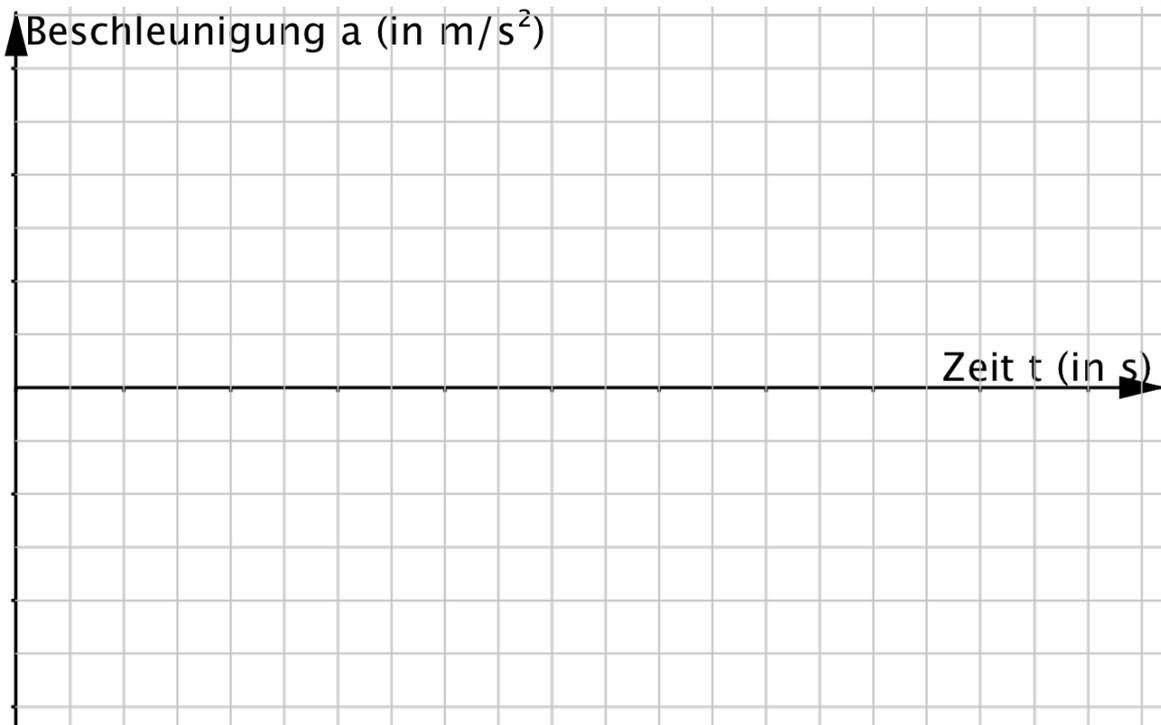
- Wähle auf der x-Achse statt „Frame“ „Zeit (in s)“ aus
- Füge auf der y-Achse „Objekt 1 x-Geschwindigkeit“ hinzu
- Bestimme mittels der App die Ausgleichsgerade und damit den Wert für die Beschleunigung, die Anfangsgeschwindigkeit sowie das Zeit-Geschwindigkeit-Gesetz für die Bewegung der Kugel. Ergänze dabei die physikalischen Einheiten

$a =$ _____ , $v_0 =$ _____

$v(t) =$ _____

4.2 Zeit-Beschleunigung-Diagramm:

Skizziere auf Grundlage deiner Ergebnisse aus Aufgabenteil 4.1 im vorgegebenen Koordinatensystem den zeitlichen Verlauf der Beschleunigung bei diesem Experiment:



5. Aufgabe: Zusammenfassung der Ergebnisse

5.1 Beschleunigte und verzögerte Bewegung

Bei einer **gleichmäßig beschleunigten Bewegung in Richtung der Koordinatenachse** (Vorwärtsbewegung)...

- ... nimmt der Betrag der Geschwindigkeit mit der Zeit _____ ,
- somit wird das Objekt immer _____ .
- ... ist die Steigung der Ausgleichsgerade im t-v-Diagramm _____
- und damit hat die Beschleunigung einen _____ Wert.
- ... wirkt die Beschleunigung _____ Bewegungsrichtung des Objekts

Bei einer **gleichmäßig verzögerten Bewegung in Richtung der Koordinatenachse** (Vorwärtsbewegung) ...

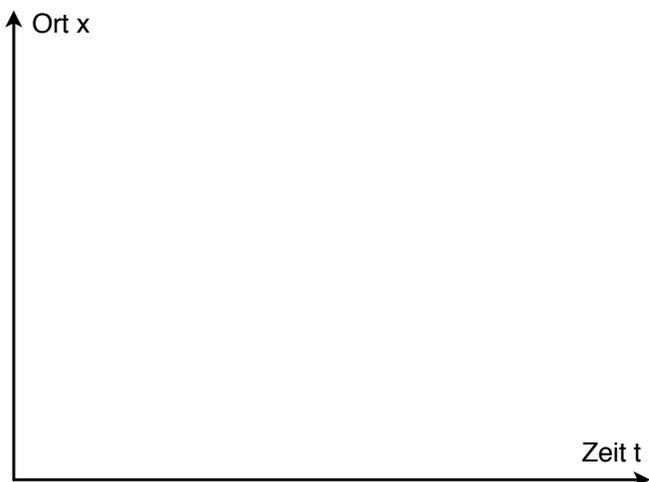
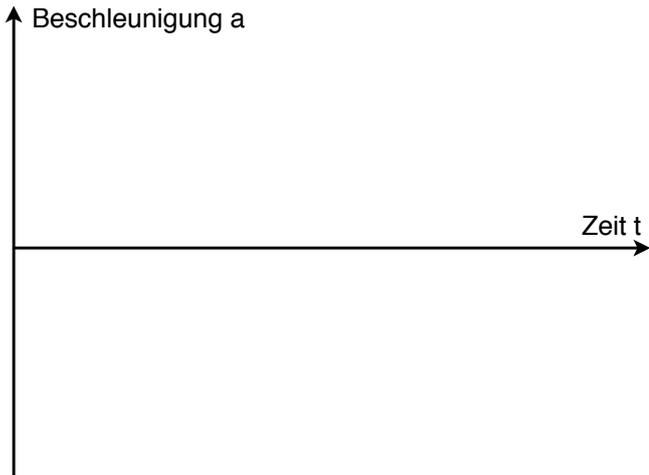
- ... nimmt der Betrag der Geschwindigkeit mit der Zeit _____ ,
- somit wird das Objekt immer _____ .
- ... ist die Steigung der Ausgleichsgerade im t-v-Diagramm _____
- und damit hat die Beschleunigung einen _____ Wert.
- ... wirkt die Beschleunigung _____ der Bewegungsrichtung des

Objekts

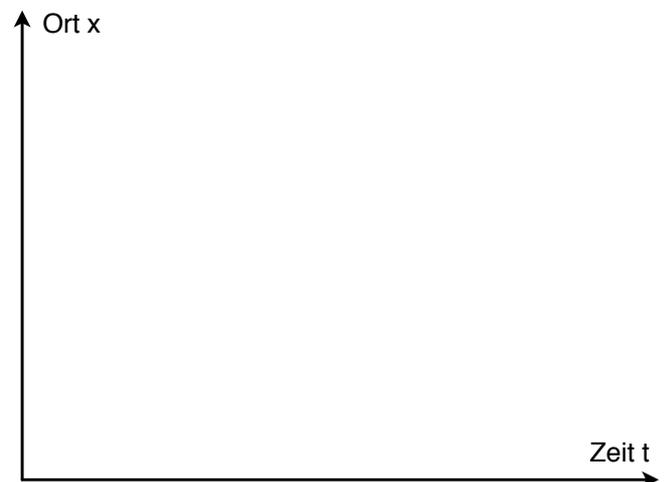
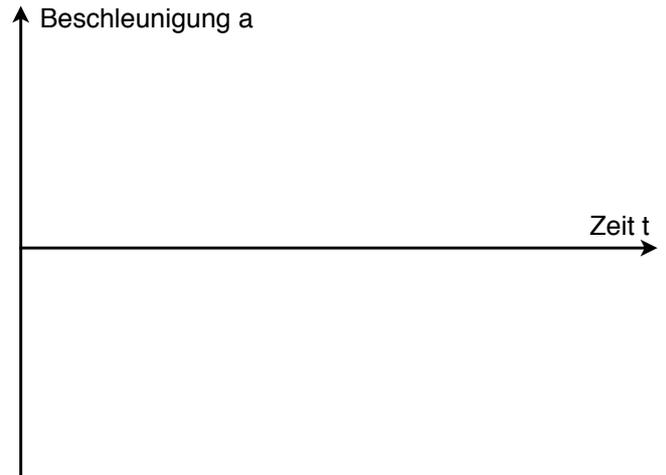
5.2 Diagramme

Skizziere für eine gleichmäßig beschleunigte und eine gleichmäßig verzögerte Bewegung in Richtung der Koordinatenachse (Vorwärtsbewegung) jeweils das Zeit-Beschleunigung-Diagramm, das Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm und das Zeit-Ort-Diagramm.

a.) gleichmäßig beschleunigt



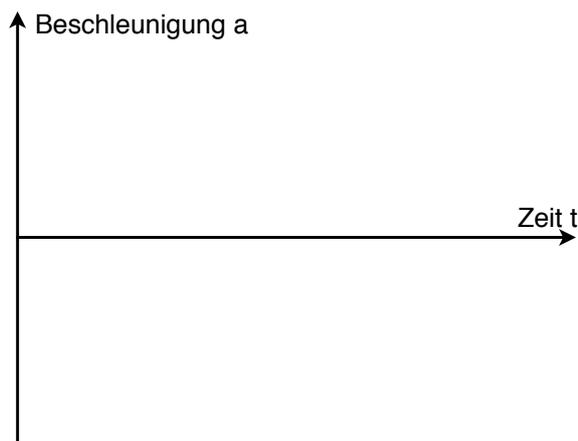
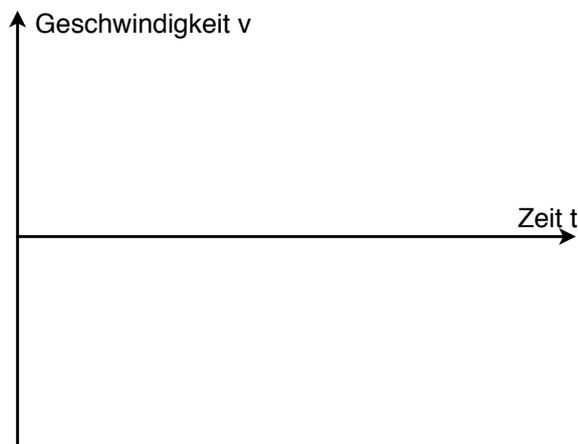
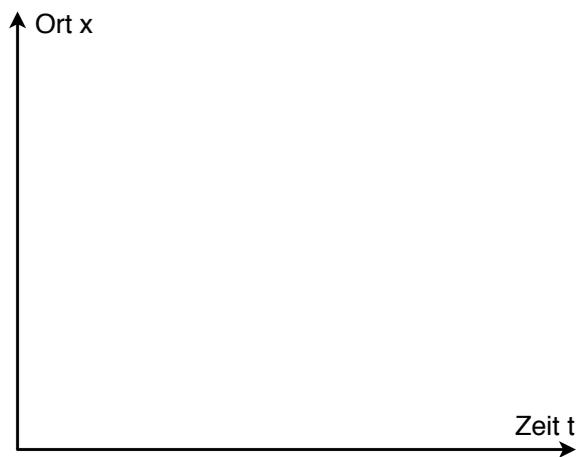
b.) gleichmäßig verzögert



6. Vertiefungsaufgabe:

Wiederhole das Experiment, nimm aber diesmal das Video auf **bis die Kugel wieder zum Startpunkt hinab gerollt ist**. Führe eine **automatische Bewegungserkennung** aus.

6.1 Skizziere den qualitativen zeitlichen Verlauf (ohne Angabe von Zahlenwerten) des Ortes, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung in den folgenden Koordinatensystemen. Kennzeichne dabei die Bereiche, in denen die Kugel hinauf- bzw. hinabrollt.



6.2 Fasse zusammen ...

Rollt die Kugel die geneigte Ebene **erst hinauf und dann hinab**, so ...

- ... ist der Wert der Geschwindigkeit erst _____ und dann _____ .
- ... wirkt die Beschleunigung erst _____ der Bewegungsrichtung der Kugel und dann _____ Bewegungsrichtung der Kugel, d.h.
- die Geschwindigkeit nimmt erst _____ mit der Zeit _____ und dann _____ mit der Zeit _____ .
- ... ist die Steigung der Gerade im Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm stets _____ , und damit ist
- der Wert der Beschleunigung ebenfalls stets _____ .

