

Messung der Ortskurven beim schiefen Wurf mit dem Stroboskop

Ein Ball (●) wird unter einem unbekannten Winkel α gegenüber der Horizontalen **schief nach oben** geworfen (schiefer Wurf).

Der Bewegungsablauf wird im Dunklen von der Seite als Einzelbild mit einer Kamera aufgenommen (**Langzeitbelichtung**). Ein **Stroboskop** ist so eingestellt, dass das Licht in regelmäßigen Zeitabständen von $\Delta t = 0,50 \text{ s}$ ab dem Moment des Abwurfes kurz **aufblitzt**. **Geschwindigkeitsverluste durch Reibung werden vernachlässigt**. Man erhält folgende Aufnahme:

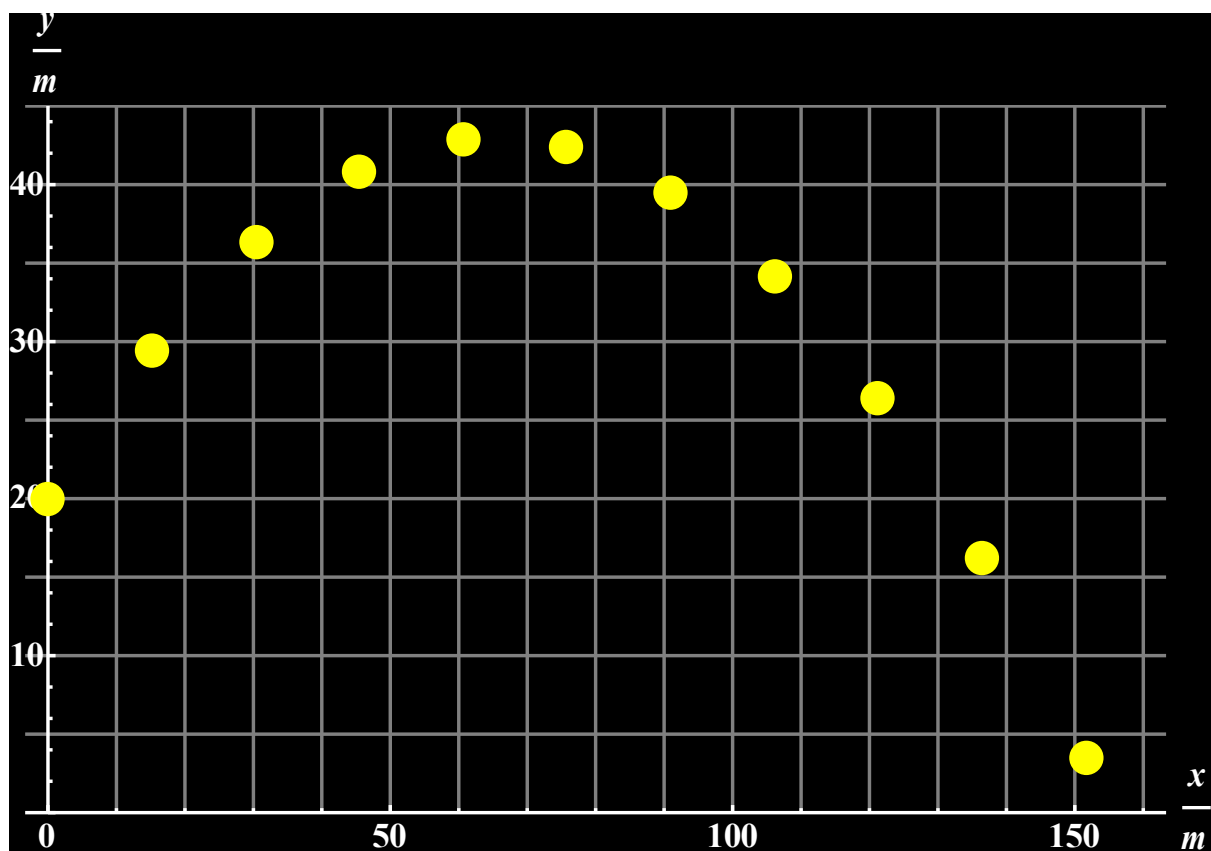


Abbildung 1

Der Ball bewegt sich in einer vertikalen Eben, die als x - y -Ebene bezeichnet wird. Das entsprechend angelegte Koordinatensystem ist so eingerichtet, dass sich der Abwurfpunkt an der Stelle $x_0=0$ und $y_0>0$ befindet.

Durch Auswertung dieser Aufnahme sollen die Gesetzmäßigkeiten eines schiefen Wurfs ermittelt werden.

Von zentraler Bedeutung für die Bearbeitung dieses Lernprogrammes ist das **Superpositionsprinzip** (Überlagerungsprinzip; Unabhängigkeitsprinzip). Fassen Sie dieses Superpositionsprinzip **in eigenen Worten** zusammen (Kurz und bündig – der hier vorgegebene Platz **muss** ausreichen!):

Zur besseren Auswertbarkeit des x - y -Diagrammes auf der 1. Seite wird dieses hier nochmals vergrößert und mit weißem Hintergrund wiedergegeben:

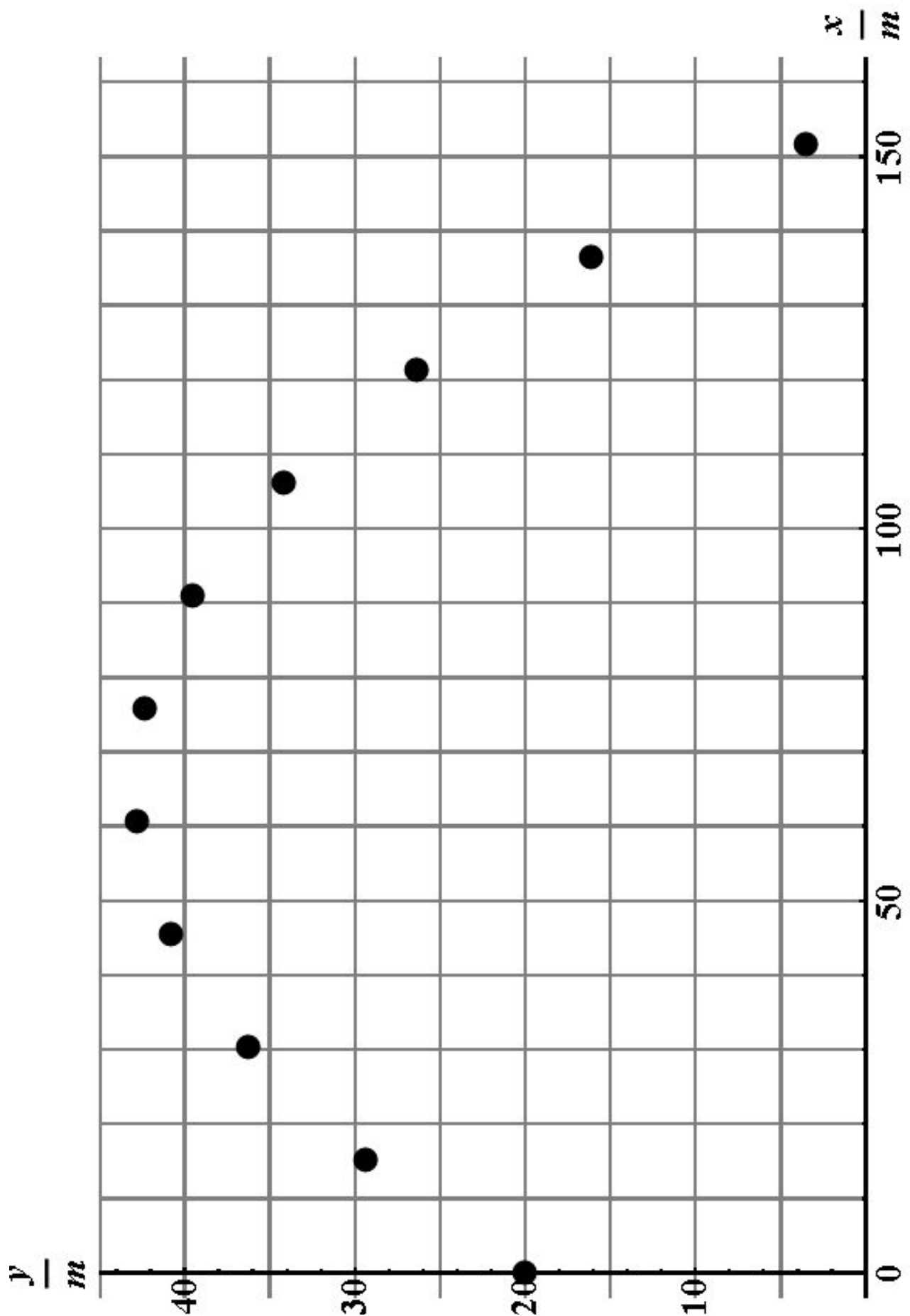


Abbildung 2

1

Erste Analyse der Bahnkurve

Als **Bahnkurve** bezeichnet man in der Bewegungslehre die Bahn, entlang der sich ein Körper in einer Ebene (oder in einem Raum) bewegt. In der folgenden Abbildung 3 wird nochmals Abbildung 2 wiedergegeben. Die stroboskopisch aufgenommenen Punkte liegen auf einer noch unbekannten Bahnkurve. **Verbinden Sie die Punkte** in Abbildung 3 durch eine **gekrümmte Kurve**:

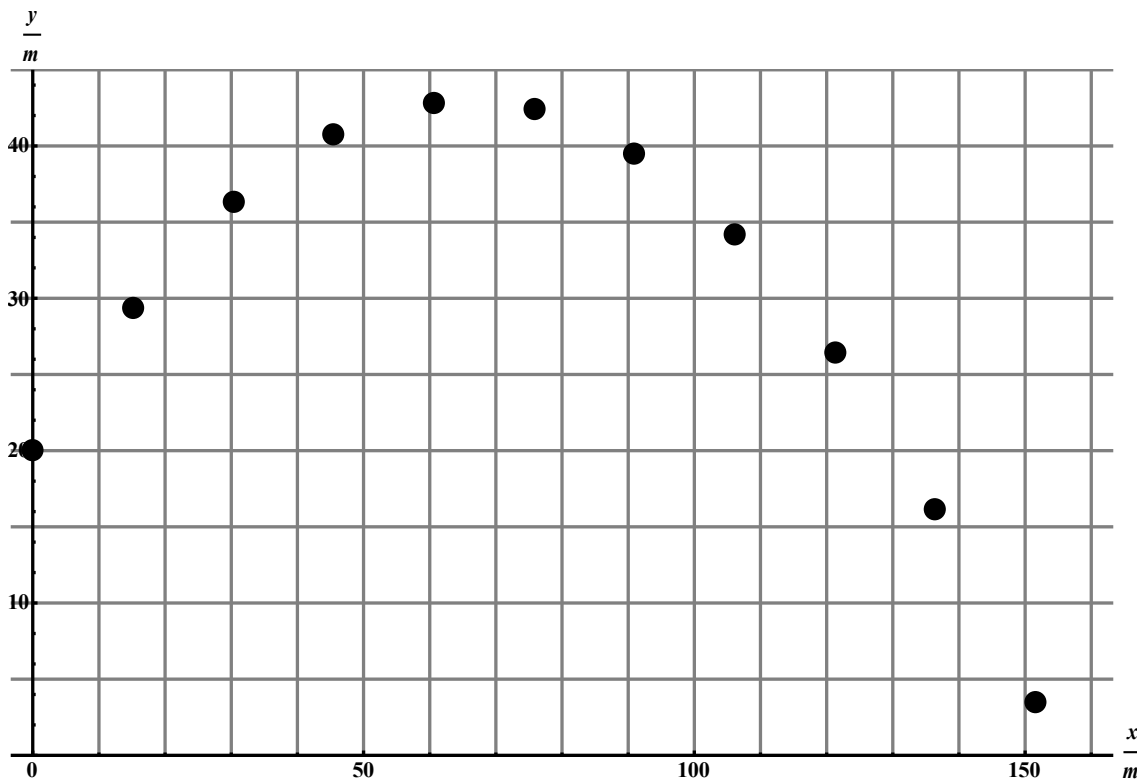


Abbildung 3

Geben Sie an, um welchen Kurventypus (Gerade, Parabel, Hyperbel, \dots) es sich bei der von Ihnen eingezeichneten Bahnkurve handeln kann:

Entnehmen Sie dem Graphen die Koordinaten folgender Orts-Punkte:

	$x/m =$	$y/m =$
Ort des Abwurfes		
Ort der maximalen Höhe		
Ort des Aufpralles		

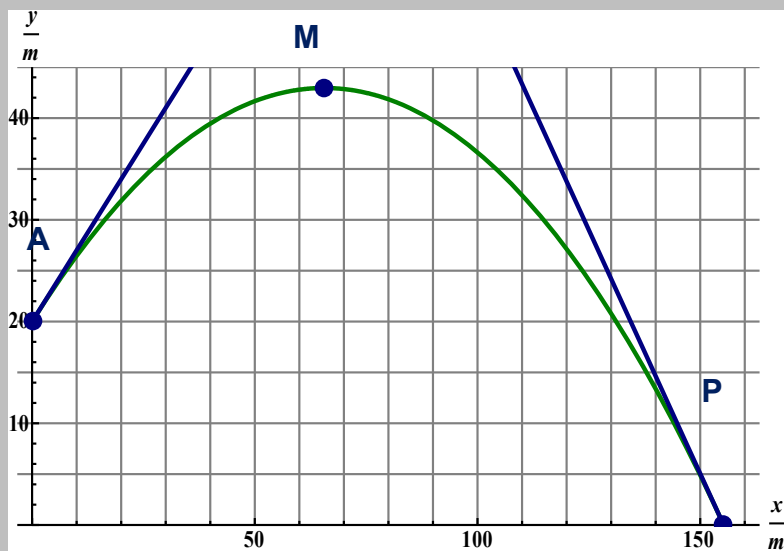
Entnehmen Sie der in Abbildung 3 eingezeichneten Bahnkurve den Wert α_{Ab} des **Abwurf**-Winkels:

[illegible]

Entnehmen Sie der in Abbildung 3 eingezeichneten Bahnkurve den Wert α_{Auf} des **Aufprall**-Winkels:

[illegible]

Lösung zu Aufgabe 1:



Abwurfwinkel: Ist der Steigung der Tangenten an Punkt A zu entnehmen: Steigung = $\tan[\alpha_{ab}] \rightarrow \alpha_{ab} = \underline{35^\circ}$
Aufprallwinkel: Ist der Steigung der Tangenten an Punkt P zu entnehmen: Steigung = $\tan[\alpha_{auf}] \rightarrow \alpha_{auf} = \underline{44^\circ}$

Die **gekrümmte Kurve** in der Abbildung links verbindet die Punkte aus Abbildung 3.

Diese Kurve gibt den Graphen einer – nach unten geöffneten – **Parabel** wieder.

Koordinaten des **A**bwurfpunktes A:
 $A(0 / 20 \text{ m})$

Koordinaten des Punktes **m**aximaler Höhe M:
 $M(65 \text{ m} / 45 \text{ m})$

Koordinaten des **A**ufprallpunktes P:
 $P(155 \text{ m} / 0 \text{ m})$

(Werte wurden der Graphik entnommen, daher nur ungefähr !)

Jeder einzelne Ortspunkt $X(x/y)$ in der x - y -Ebene der stroboskopischen Aufnahme enthält eine x - und eine y -Komponente.

In den folgenden Aufgaben werden diese Komponenten separiert (getrennt). Damit werden die Bewegungsabläufe in der Vertikalen (y -Richtung) und in der Horizontalen (x -Richtung) unabhängig voneinander untersucht (Superpositionsprinzip).

Siehe auch Lernprogramme
Stroboskop - Konstante Geschwindigkeit
 und
Stroboskop - Konstante Beschleunigung

Ziel der folgenden Aufgaben ist, den **schiefen Wurf** auf Ihnen bekannte Bewegungsformen entlang jeweils einer einzelnen Koordinate (x -Achse und y -Achse) zurückzuführen. Diese Bewegungsformen entlang einzelner Koordinaten haben Sie bereits im Unterricht kennen gelernt.

Aufgabe

2

Ortskoordinaten der Bahnkurve

In der zweiten Aufgabe sollen die Abhängigkeiten der Ortskoordinaten x und y von der Zeit t in eine Tabelle eingetragen werden.

Entnehmen Sie hierzu dem x - y -Diagramm in Abbildung 2 zu jedem Zeitpunkt t eines Blitzes (die Blitze sind durchnummeriert) die Koordinaten $X(x/y)$ der betreffenden Punkte und tragen Sie diese zusammen mit dem entsprechenden Zeitpunkt t der Messung in die Tabellenvorlage rechts ein [die Koordinaten zum Zeitpunkt $t=0$ (Beginn der Messung und erstes Aufblitzen des Stroboskopes) sind rechts bereits exemplarisch eingetragen].

Tabelle zu Aufgabe 2

#	t/s	x/m	y/m
1	0	0,00	20,0
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

3

In der dritten Aufgabe sollen die Zeitabhängigkeiten der Bewegungen entlang der x -Achse und entlang der y -Achse in einem gemeinsamen Zeit-Orts-Diagramm (Ortskurven) graphisch werden. Verwenden Sie hierzu die folgende ein gemeinsames t - x/y -Diagramm (Abbildung Sie darin die t - x -Punkte und die t - y -Punkte in m-Vorlage ein und geben Sie an, welche Punkte Koordinate (x - oder y -Koordinate) gehören:

#	t/s	x/m	y/m
1	0	0,00	20,0
2	0,10	15,2	29,4
3	0,20	30,3	36,3
4	0,30	45,5	40,8
5	0,40	60,6	42,8
6	0,50	75,8	42,4
7	0,60	90,9	39,5
8	0,70	106,1	34,2
9	0,80	121,2	26,4
10	0,90	136,4	16,2
11	1,00	151,5	3,5

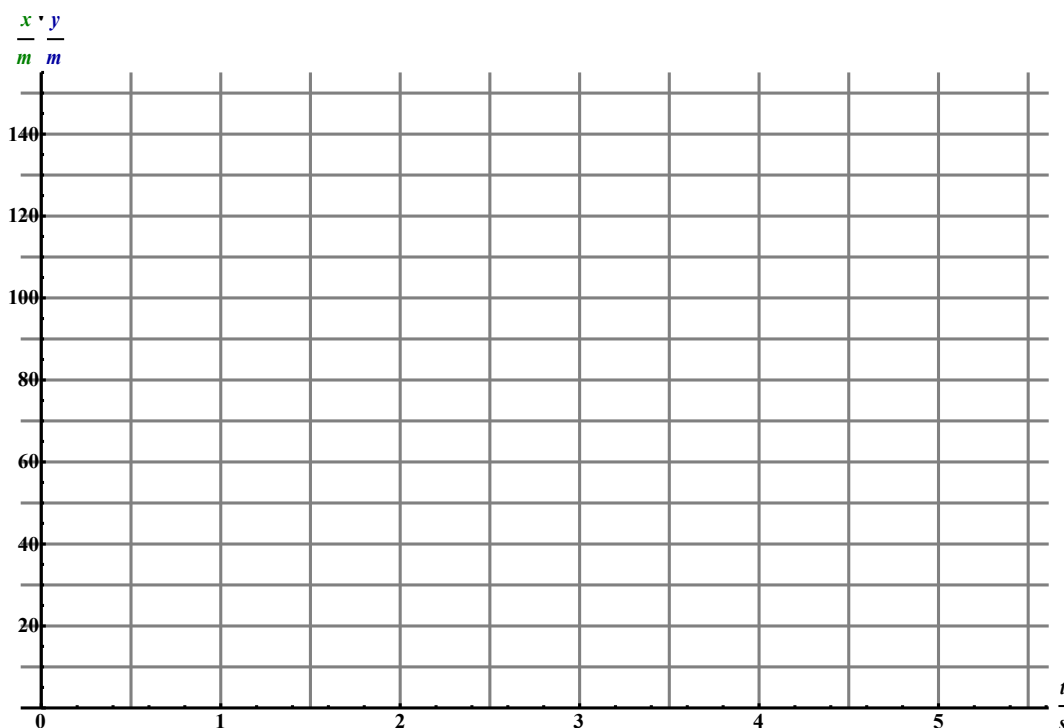
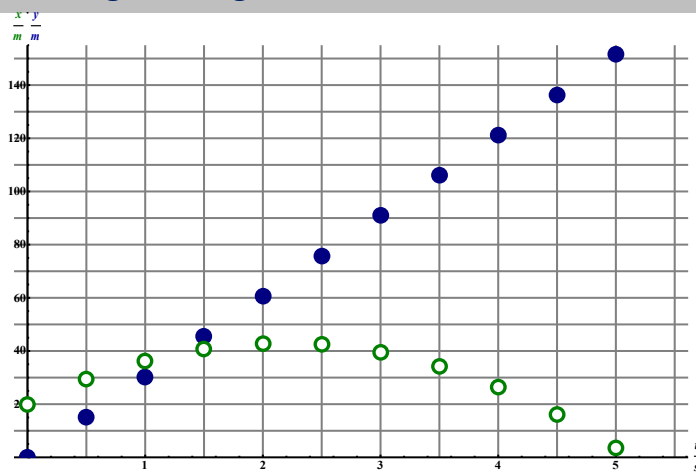


Abbildung 4

[illegible][illegible]

Lösung zu Aufgabe 3



Geschlossene Punkte: t - x -Ortspunkte
Offene Punkte: t - y -Ortspunkte

Die t - x -Ortspunkte liegen auf einer positiv ansteigenden Geraden, es handelt sich hier daher um eine **Bewegung mit konstanter, positiver Geschwindigkeit** in x -Richtung.

Die t - y -Ortspunkte liegen auf einer nach unten geöffneten Parabel, es handelt sich hier daher um eine **Bewegung mit konstanter, negativer Beschleunigung** in y -Richtung.

Aufgabe

4

Geschwindigkeit

Hier sollen die Geschwindigkeits-Komponenten des schief abgeworfenen Körpers ermittelt werden. Es gilt:

$$v = \Delta x / \Delta t$$

Die zweite Zeile ist wieder exemplarisch ausgefüllt:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 0,50 \text{ s} - 0 \text{ s} = 0,50 \text{ s}$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 15,2 \text{ m} - 0,00 \text{ m} = 15,2 \text{ m}$$

$$\Delta y = y_2 - y_1 = 29,4 \text{ m} - 20,0 \text{ m} = 9,4 \text{ m}$$

$$\rightarrow v_x = \Delta x / \Delta t = 30,4 \text{ m/s}$$

$$\text{und } v_y = \Delta y / \Delta t = 18,8 \text{ m/s}$$

Tabelle zu Aufgabe 4

#	t/s	Δt /s	Δx /m	v_x /m/s	Δy /m	v_y /m/s
1						
2	0,5	0,50	15,2	30,4	9,4	18,8
3	1,0					
4	1,5					
5	2,0					
6	2,5					
7	3,0					
8	3,5					
9	4,0					
10	4,5					
11	5,0					

Tragen Sie die Geschwindigkeits-Komponenten v_x und v_y aus der Tabelle als Punkte in das t - v -Diagramm (rechts) in Abhängigkeit vom Zeitpunkt t ein.

Geben Sie den Wert v_x der Geschwindigkeit in x -Richtung an:

$$v_x = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}$$

Geben Sie den Anfangswert v_{y0} der Abwurf-Geschwindigkeit in y -Richtung an:

$$v_{y0} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}$$

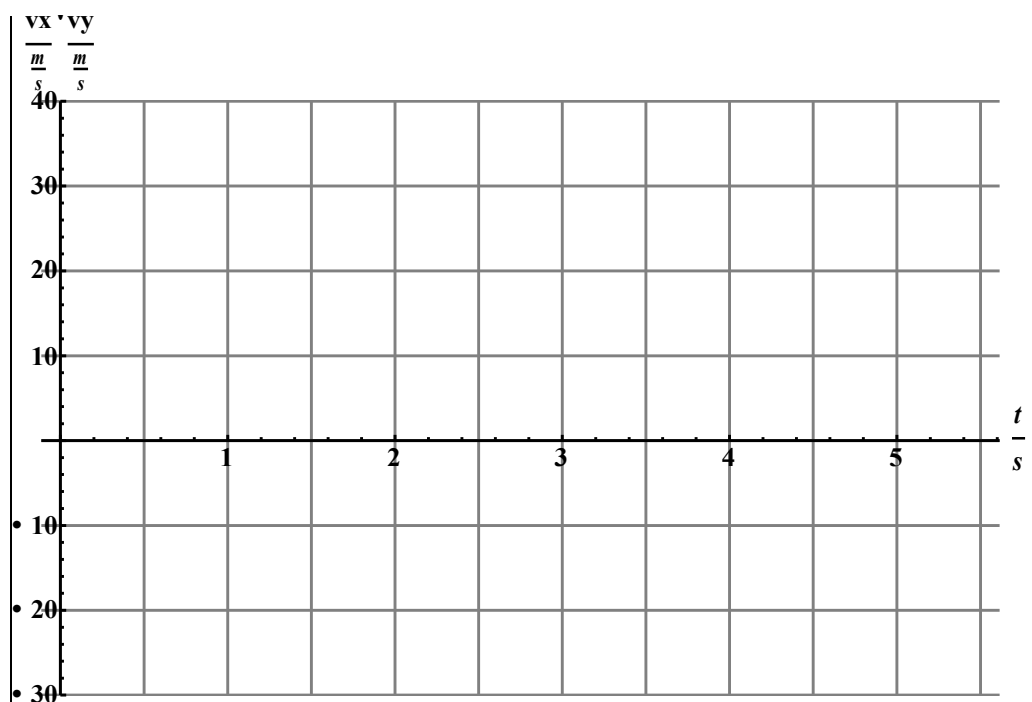
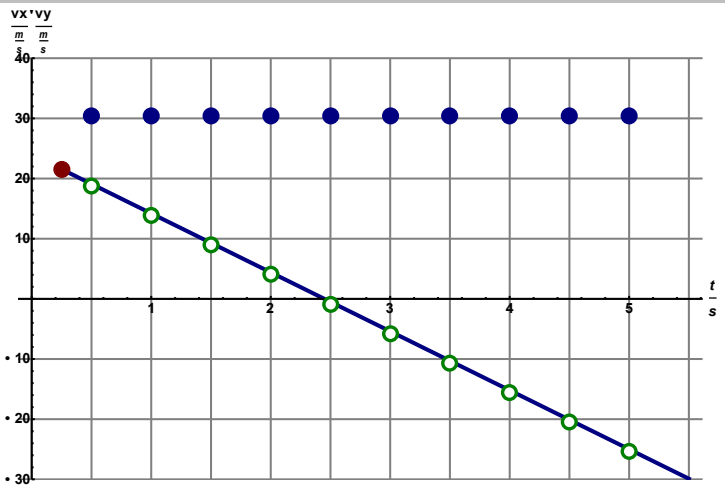


Abbildung 5

Lösung Aufgabe 4

#	t/s	$\Delta t/s$	$\Delta x/m$	$v_x/m/s$	$\Delta y/m$	$v_y/m/s$
1						
2	0,5	0,50	15,2	30,4	9,4	18,8
3	1,0	0,50	15,2	30,4	6,9	13,9
4	1,5	0,50	15,2	30,4	4,5	9,0
5	2,0	0,50	15,2	30,4	2,0	4,1
6	2,5	0,50	15,2	30,4	-0,4	-0,9
7	3,0	0,50	15,2	30,4	-2,9	-5,8
8	3,5	0,50	15,2	30,4	-5,3	-10,7
9	4,0	0,50	15,2	30,4	-7,8	-15,6
10	4,5	0,50	15,2	30,4	-10,2	-20,5
11	5,0	0,50	15,2	30,4	-12,7	-25,4



Geschlossene Punkte:

t - x -Geschwindigkeitspunkte

$$V_x = \underline{30} \text{ m/s}$$

Offene Punkte:

t - y -Geschwindigkeitspunkte

$$V_{0y} \approx \underline{22} \text{ m/s}$$

- Achten Sie darauf, dass die Gerade durch die offenen Punkte die **mittlere** Geschwindigkeit angibt.

Aufgabe

5

Beschleunigung

Hier sollen die Beschleunigung-Komponenten des schief abgeworfenen Körpers ermittelt werden. Es gilt:

$$a = \Delta v / \Delta t$$

Die zweite Zeile ist wieder exemplarisch ausgefüllt:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 0,50 \text{ s}$$

$$\Delta v_x = v_{x2} - v_{x1} = 0,0 \text{ m/s}$$

$$\Delta v_y = v_{y2} - v_{y1} = -4,9 \text{ m/s}$$

$$\rightarrow a_x = \Delta v_x / \Delta t = 0,0 \text{ m/s}^2$$

und

$$a_y = \Delta v_y / \Delta t = -9,8 \text{ m/s}^2$$

Tragen Sie die Beschleunigungs-Komponenten a_x und a_y in Abhängigkeit vom Zeitpunkt t ein aus der Tabelle als Punkte in das t - a -Diagramm rechts.

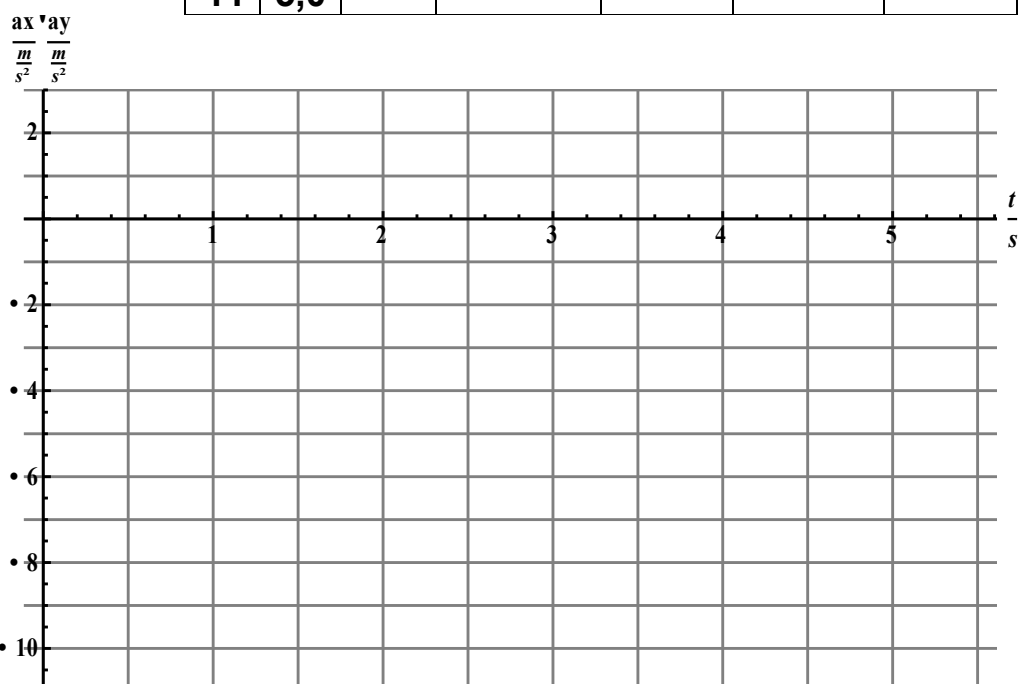
Geben Sie die Werte der Beschleunigungs-Komponenten a_x und a_y an:

$$a_x = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}^2$$

$$a_y = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}^2$$

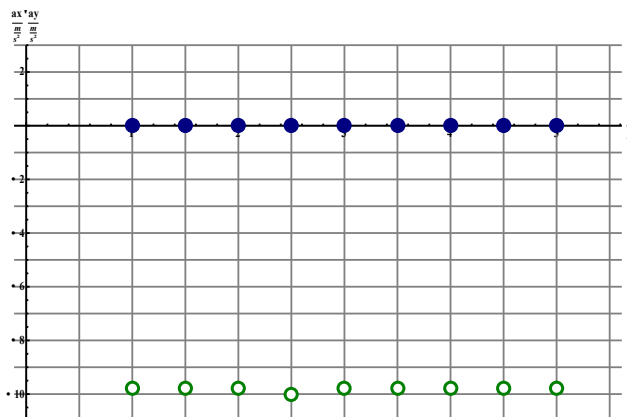
Tabelle zu Aufgabe 5

#	t/s	$\Delta t/s$	$\Delta v_x/m/s$	$a_x/m/s^2$	$\Delta v_y/m/s$	$a_y/m/s^2$
1						
2						
3	1,0	0,50	0,0	0,0	-4,9	-9,8
4	1,5					
5	2,0					
6	2,5					
7	3,0					
8	3,5					
9	4,0					
10	4,5					
11	5,0					



Lösung zu Aufgabe 5

#	t/s	$\Delta t/s$	$\Delta v_x/m/s$	$a_x/m/s^2$	$\Delta v_y/m/s$	$a_y/m/s^2$
1						
2	0,5	0,50	0,0	0,0	-4,9	-9,8
3	1,0	0,50	0,0	0,0	-4,9	-9,8
4	1,5	0,50	0,0	0,0	-4,9	-9,8
5	2,0	0,50	0,0	0,0	-5,0	-10,0
6	2,5	0,50	0,0	0,0	-4,9	-9,8
7	3,0	0,50	0,0	0,0	-4,9	-9,8
8	3,5	0,50	0,0	0,0	-4,9	-9,8
9	4,0	0,50	0,0	0,0	-4,9	-9,8
10	4,5	0,50	0,0	0,0	-4,9	-9,8
11	5,0	0,50	0,0	0,0	-4,9	-9,8



Geschlossene Punkte:

t - x -Beschleunigungspunkte

$$a_x = 0,0 \text{ m/s}^2$$

Offene Punkte:

t - y -Beschleunigungspunkte

$$a_y \approx -9,8 \text{ m/s}^2$$

Aufgabe

6

Ortsgleichungen

Erstellen Sie die Ortsgleichung mit eingesetzten Werten für die Bewegungskomponenten in x - und in y -Richtung:

$$x(t) = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$y(t) = \underline{\hspace{10cm}}$$

Achten Sie darauf, die richtigen Einheiten einzusetzen

Berechnen Sie für die in der Tabelle rechts angegebenen Zeiten die Koordinaten des Balles und tragen Sie diese Werte in die Tabelle unter der Spalte „Aufgabe 6“ ein.

Ergänzen Sie die Tabelle rechts unter den Spalten „Werte aus Aufgabe 2“ um die entsprechenden Werte aus Aufgabe 2.

Idealerweise übereinstimmen die Koordinaten-Werte aus Aufgabe 2 und Aufgabe 6. Bewerten Sie die Übereinstimmungen in Ihrer Arbeit:

Tabelle zu Aufgabe 6

#	t/s	x/m		y/m	
		Aufgabe 6	Werte aus Aufgabe 2	Aufgabe 6	Werte aus Aufgabe 2
1	0				
2	0,10				
3	0,20				
4	0,30				
5	0,40				
6	0,50				
7	0,60				
8	0,70				
9	0,80				
10	0,90				
11	1,00				

Aufgabe

7

GeoGebra-Arbeitsblatt

In der GeoGebra-Datei **Stroboskop - Schiefer Wurf.ggb** können Sie für den schiefen Wurf die Vorgabewerte y_0 (Abwurfhöhe), v_0 (Betrag der Abwurfgeschwindigkeit) und α (Abwurfwinkel) verändern.

„Spielen“ Sie in diesem GeoGebra-Arbeitsblatt mit den Vorgabewerten und beobachten Sie, wie sich dabei folgende Ortspunkte verändern:

Wurfweite

$$(x_{Auf})$$

Aufprallwinkel

$$(\alpha_{Auf})$$

Höchster Ortspunkt

$$[P_{max}(x_{Max}/y_{max})]$$

GeoGebra Arbeitsblatt
Stroboskop - Schiefer Wurf.ggb

