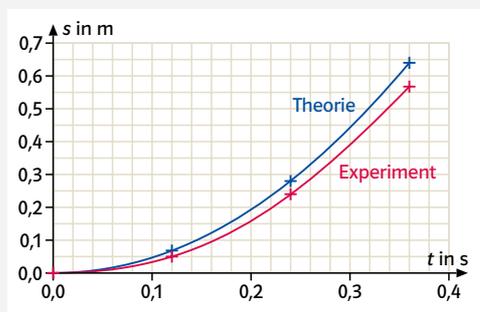


B1 Fallender Tennisball bei 0 s, bei 0,12 s, bei 0,24 s und bei 0,36 s.

Am Beispiel der Videoaufzeichnung eines fallenden Tennisballes (→ B1) soll untersucht werden, was mit einer Videoanalyse geleistet werden kann und wo ihre Anwendungsgrenzen liegen.

Das Zeitintervall zwischen den Einzelbildern beträgt 0,12 s, die Referenzstrecke (= Abstand zwischen zwei dicken Strichen) 10 cm. Mit den folgenden Werten ergibt sich das t-s-Diagramm:

t in s	0	0,12	0,24	0,36
s <sub>exp</sub> in m	0	0,050	0,24	0,56
s <sub>theo</sub> in m	0	0,070	0,28	0,64
$\frac{s_{theo} - s_{exp}}{s_{exp}}$		30%	14%	9,4%



B2

Zum Vergleich haben wir die idealen Werte mit der Formel  $s_{theo} = 1/2 \cdot g \cdot t^2$  berechnet und zusätzlich eingetragen. Obwohl man vor allem am Beginn eine gute Übereinstimmung mit den berechneten Werten zu erkennen scheint, ist dies nicht der Fall, wie die prozentualen Abweichungen zeigen!

Da es sich bei dem freien Fall erkennbar um eine beschleunigte Bewegung handelt, berechnen wir nun die Geschwindigkeiten in den einzelnen Intervallen nach der Formel  $v_{exp} = \Delta s_{exp} / \Delta t$  und dann nach der Formel  $v_{theo} = g \cdot t$ . Es ergeben sich folgende Werte:

t in s	0	0,12	0,24	0,36
v <sub>exp</sub> in m/s	0	0,42	1,6	2,7
v <sub>theo</sub> in m/s	0	1,2	2,4	3,5

Hier fallen die Abweichungen von den theoretischen berechneten Werten auf. Dies liegt im Berechnungsverfahren begründet, denn wir nähern die Momentangeschwindigkeit ( $v_{theo}$ ) über die Durchschnittsgeschwindigkeit  $\Delta s / \Delta t$  an (→ B3). Dies zeigt sich auch, wenn wir aus

den theoretisch berechneten Werten für s die Geschwindigkeit mit  $v_{ber} = \Delta s_{theo} / \Delta t$  und nicht mit  $v_{theo} = g \cdot t$  berechnen:

v <sub>ber</sub> in m/s	0	0,59	1,7	3,0
-------------------------	---	------	-----	-----

Besonders groß sind erwartungsgemäß die Abweichungen in der Nähe des Scheitels. Berechnen wir nun die Beschleunigungen in den jeweiligen Zeitintervallen mit der Formel  $g_{exp} = \Delta v_{exp} / \Delta t$ , wobei  $\Delta t$  hier jeweils 0,12 s ist, so ergeben sich folgende Werte:

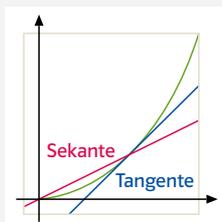
Δt in s	[0,12–0]	[0,24–0,12]	[0,36–0,24]
g <sub>exp</sub> in m/s <sup>2</sup>	3,5	9,8	10
Δg <sub>exp</sub> /g <sub>theo</sub>	64%	0,10%	1,9%

Der Wert ist für das erste Zeitintervall von 0 bis 0,12 s erwartungsgemäß sehr schlecht, für die folgenden aber scheinbar zufriedenstellend. Jedoch auch hier macht sich der Fehler aus dem Berechnungsverfahren bemerkbar, wie die folgende Tabelle zeigt, in der g<sub>ber</sub> wieder mit der Formel  $g_{ber} = \Delta v_{theo} / \Delta t$  mit den Werten von  $\Delta v_{theo}$  berechnet wurde.

g <sub>ber</sub> in m/s <sup>2</sup>	10	10	9,2
Δg <sub>ber</sub> /g <sub>theo</sub>	1,9%	1,9%	6,2%

Berechnet man nun aus den experimentell bestimmten Werten von g<sub>exp</sub> den Mittelwert, so erhält man  $\bar{g}_{exp} = 7,8 \text{ m/s}^2$ , was einem Fehler von 20% entspricht. Diesen Fehler verursacht aber nicht nur das Berechnungsverfahren, sondern auch die Ortsmessung. Berücksichtigt man, dass die Ungenauigkeit der Ortsbestimmung durchaus im Zentimeterbereich liegen kann und dies z.T. beträchtliche Auswirkungen auf die berechneten Werte für g hat, wird die Größe der Abweichung vom genauen Wert von  $g_{theo} = 9,81 \text{ m/s}^2$  verständlich. Insbesondere, wenn bei höheren Geschwindigkeiten das Bild des Balls verschwimmt und die Ortsbestimmung erschwert wird.

Bei der Bewertung quantitativer Ergebnisse einer Videoanalyse muss man also die Fehler bei der Ortsmessung und durch das Rechenverfahren zur Auswertung der experimentellen Messdaten berücksichtigen. Für brauchbare Ergebnisse sind hochwertige Videokameras und komplexe Rechenverfahren (Runge-Kutta-Verfahren) unerlässlich.



B3 Steigung in einem Punkt als Tangente (Momentangeschwindigkeit) und Sekantensteigung (Durchschnittsgeschwindigkeit) durch zwei Punkte