

## Paradoxon 3

### Überlagerung von Bewegungen

Recherchiert man im Internet nach diesem Thema, so erhält man auch Informationen ähnlich wie die folgende:

Für die Überlagerung von Teilbewegungen gilt das **Unabhängigkeitsprinzip** oder **Superpositionsprinzip**.

*Statt von Überlagerung spricht man auch von **Superposition** und vom **Superpositionsprinzip**. Es gilt für Geschwindigkeiten, die klein gegenüber der Lichtgeschwindigkeit sind.*

Führt ein Körper gleichzeitig zwei reibungsfreie Teilbewegungen aus, so überlagern sich diese Teilbewegungen unabhängig voneinander zu einer resultierenden Bewegung. Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigungen addieren sich vektoriell

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2 \quad \vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 \quad \vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2$$

Abb. 1

Tatsächlich gibt es viele Situationen, bei denen sich dieses Prinzip nicht anwenden lässt. Hier stelle ich eine solche Situation vor:

Ein elektrisch geladener Körper befindet sich zum Zeitpunkt  $t = 0$  im Ursprung des Koordinatensystems und bewegt sich gerade mit einer bestimmten Geschwindigkeit in x-Richtung durch ein Magnetfeld. Dieses ist homogen und parallel zur z-Achse ausgerichtet. Wir simulieren die Bewegung mit Hilfe des Programms **EasySim** (s. u.) und erhalten eine kreisförmige Bahnkurve, welche in der x-y-Ebene liegt (s. Abb. 2).

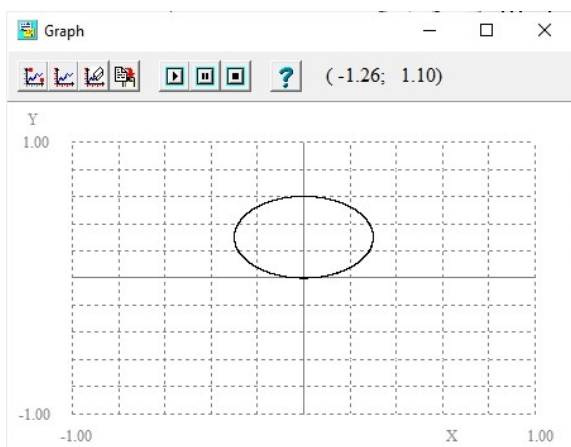


Abb. 2

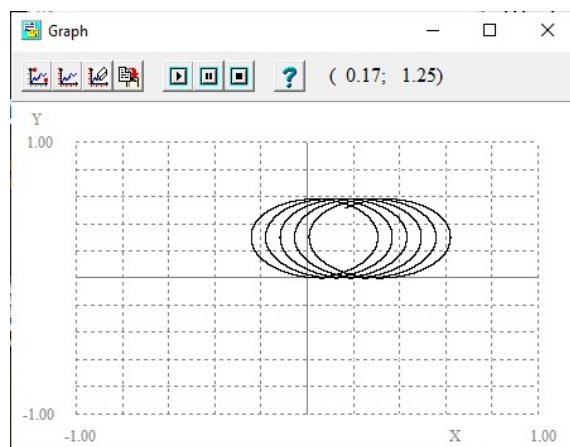


Abb. 3

Dass die Bahnkurve hier nicht kreisförmig sondern oval erscheint, ist auf die unterschiedliche Skala bei der x- und der y-Achse zurückzuführen. Nun lassen wir zusätzlich eine konstante Kraft in negativer y-Richtung wirken. Dazu ergänzen wir bei den Bewegungsgleichungen (Abb. 4) den Term für  $a_y$  um den Ausdruck  $-g$ . Nach den Ausführungen in Abb. 1 müsste unser geladener

## Paradoxon 3

Körper nun eine Schraubenlinie nach unten aufweisen, wobei die Schraube nach unten hin immer stärker gespreizt ist. Die Simulation liefert aber ein ganz anderes Bild: Wir sehen zwar auch eine Schraubenlinie, aber diese geht nicht nach links, sondern nach rechts und hat zudem eine konstante Spreizung!

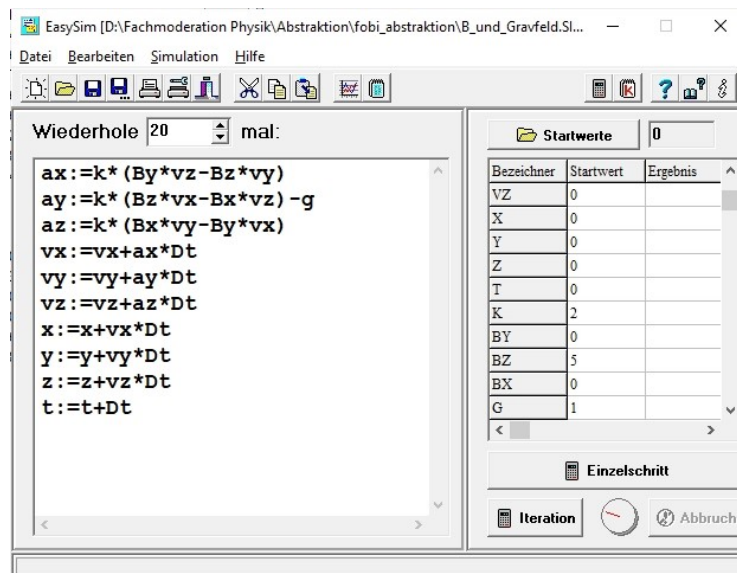


Abb. 4

Der Widerspruch zu der Aussage in Abb. 1 ist rasch aufzuklären: In dieser Formulierung ist sie schlichtwegs falsch. Eine hinreichende Bedingung wäre z. B., dass die Bewegungsgleichungen zu entkoppeln sind.

Link zum EasySim-Programm: <https://www.g-heinrichs.de/software/easysim.zip>