

# Die Physik einer Loopingbahn untersuchen

Matthias Borchardt, Bonn

Illustrationen von Dr. Wolfgang Zettlmeier, Barbing



© Soldt/E+/Getty Images Plus

Warum sind Loopings von Achterbahnen niemals kreisförmig konstruiert? Welche Beschleunigungen wirken auf den Fahrgast, wenn er einen Looping durchfährt? Wann fällt man aus einem Looping heraus?

Fragen wie diese beantworten Ihre Schüler selbstständig. Eine Computersimulation gestaltet darüber hinaus einen besonders anschaulichen und schüleraktivierenden Zugang zu diesem spannenden Thema.

## Impressum

RAABE UNTERRICHTS-MATERIALIEN Physik

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Es ist gemäß § 60b UrhG hergestellt und ausschließlich zur Veranschaulichung des Unterrichts und der Lehre an Bildungseinrichtungen bestimmt. Die Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH erteilt Ihnen für das Werk das einfache, nicht übertragbare Recht zur Nutzung für den persönlichen Gebrauch gemäß vorgenannter Zweckbestimmung. Unter Einhaltung der Nutzungsbedingungen sind Sie berechtigt, das Werk zum persönlichen Gebrauch unter vorgenannter Zweckbestimmung in Klassenstärke zu vervielfältigen. Jede darüber hinausgehende Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Hinweis zu §§ 60a, 60b UrhG: Das Werk oder Teile hiervon dürfen nicht ohne eine solche Einwilligung an Schulen oder in Unterrichts- und Lehrmedien (§ 60b Abs. 3 UrhG) vervielfältigt, insbesondere kopiert oder eingescannt, verbreitet oder in ein Netzwerk eingestellt oder sonst öffentlich zugänglich gemacht oder wiedergegeben werden. Dies gilt auch für elektronische Medien und sonstigen Bildungseinrichtungen. Die Aufführung abgedruckter musikalischer Werke ist nach GEMA-meldepflichtig.

Für jedes Material wurden Fremdrechte recherchiert und ggf. angefragt.

In unseren Beiträgen sind wir bemüht, die für Experimente nötigen Substanzen mit den entsprechenden Gefahrenhinweisen zu kennzeichnen. Dies ist ein zusätzlicher Service. Dennoch ist jeder Experimentator selbst angehalten, sich vor der Durchführung eines Experimente genauestens über das Gefährdungspotenzial der verwendeten Stoffe zu informieren, die nötigen Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen sowie alles ordnungsgemäß zu entsorgen. Es gelten die Vorschriften der Gefahrstoffverordnung sowie die Dienstvorschriften der Schulbehörde.

Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH  
Ein Unternehmen der Klett-Gruppe  
Rotebühlstraße 77  
70178 Stuttgart  
Telefon +49 711 6290-0  
Fax +49 711 62900-60  
meinRAABE@raabe.de  
www.raabe.de

Redaktion: Anna-Graa Wittnebel  
Satz: Dantigrafix GSP GmbH, Berlin  
Bildnachweis Titel: © Soldt/E+/Getty Images Plus  
Illustrationen: Dr. W. Zettlmeier, Barbing  
Korrektoren: Hanna Stotz, Wyhl a. K., Stefan Völker, Jena

# Die Physik einer Loopingbahn untersuchen

## Oberstufe (Niveau)

Matthias Borchardt, Bonn

Illustrationen von Dr. Wolfgang Zettlmeier, Barbing

<b>Hinweise</b>	<b>1</b>
<b>M 1 Die Physik einer Loopingbahn untersuchen</b>	<b>5</b>
<b>M 2 Die mathematische Form einer Loopingbahn</b>	<b>7</b>
<b>M 3 Ideen zur Loopingbahn – Bewegungsgrößen berechnen</b>	<b>9</b>
<b>M 4 Rückenschmerzen und Schleudertrauma garantiert</b>	<b>12</b>
<b>M 5 Wann fällt man raus? – Die Mindestgeschwindigkeit angeben</b>	<b>13</b>
<b>M 6 Tippkarten</b>	<b>15</b>

## Die Schüler lernen:

Die Schüler erkennen, dass man Achterbahnen unter physikalischen Gesichtspunkten konstruieren muss, um die Gesundheit des Fahrgastes nicht zu gefährden.

# Überblick:

## Legende der Abkürzungen:

Ab Arbeitsblatt

SV Schülerversuch

Fo Folie

V Vorbereitungszeit

D Durchführungszeit

Thema	Material	Methode
Die Physik einer Loopingbahn – Einstieg ins Thema	M 1	Ab
Die mathematische Form einer Loopingbahn	M 2	Ab
Ideen zur Loopingbahn – Bewegungsgrößen berechnen – Computersimulation: <i>Looping.exe</i> – Internetzugang – Taschenrechner – Tippkarten (M 6)	M 3	Ab
Rückenschmerzen und Schleudertrauma garantiert – der Flip-Flap-Looping von 1895	M 4	Info-Blatt
Wann fällt man raus? – Die Mindestgeschwindigkeit angeben	M 5	
Tippkarten	M 6	

© RAABE 2020

## Erklärung der Differenzierungssymbole

	Die leichtesten Aufgabenvarianten		Die mittleren Aufgabenvarianten		Die anspruchsvollsten Aufgabenvarianten
---	-----------------------------------	---	---------------------------------	---	---

## Die Physik einer Loopingbahn untersuchen

Warum sind Loopings in Achterbahnen niemals kreisförmig konstruiert? Welche Beschleunigungen wirken auf den Fahrgast, wenn er einen Looping durchfährt? Wann fällt man aus einem Looping heraus? Fragen wie diese beantworten Ihre Schüler selbstständig. Eine **Computersimulation** gestattet darüber hinaus einen besonders anschaulichen und schüleraktivierenden Zugang zu diesem spannenden Thema.

### Ein Thema mit Motivationspotenzial und Kontextorientierung

Auch wenn Ihre Schüler niemals in einer Achterbahn sitzen und damit beschriebene Ausschüttung von Adrenalin beim Durchfahren eines Loopings nicht am eigenen Leib erfahren haben – von dem Thema *Achterbahnfahren* geht eine so starke Faszination aus, dass es die Schüler in der Regel mit großem Interesse aufnehmen.

Die Beschäftigung mit Loopingbahnen lohnt sich aber nicht nur aus diesem Grund. Das Thema stellt auch einen **kontextbildenden Baustein** dar, weil es auf natürliche Weise lehrplanimmanente Unterrichtsinhalte wie *Energieerhaltung*, *Energieumwandlung*, *Kreisbewegungen*, *Trägheitssatz*, *Kräftegleichung* und *Zwangsbewegungen* miteinander verbindet. Damit setzen Sie eine wesentliche Forderung des Lehrplans um, nämlich, die verschiedenen Inhalte des Physikunterrichts in Kontexten zu unterrichten, die aus der Lebenswelt der Schüler stammen.

### Eine Computersimulation als dynamisches Werkzeug

Eine Fahrt durch eine Loopingbahn ist aus physikalischer Sicht komplex. Daher können Sie mit Ihren Schülern konkrete Rechnungen nur an ausgezeichneten Stellen der Bahn durchführen. Beispielsweise lassen sich die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen im höchsten und tiefsten Punkt des Loopings berechnen, wie auch die Mindestgeschwindigkeit, die erforderlich ist, um nicht aus dem Looping zu fallen.

## Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

Da die Schüler den Computer nicht nur für Rechercheaufträge benötigen, sondern auch für die Ausführung der Simulation und eine erste Dokumentation ihrer Ergebnisse, sollten Sie mit Ihrem Kurs im Computerraum der Schule arbeiten.

### Voraussetzungen für die erfolgreiche Durchführung der Unterrichtseinheit

Ihre Schüler

- kennen den Energieerhaltungssatz und die Formeln für die Lage- und Bewegungsenergie,
- kennen die Kräftezerlegung an der schiefen Ebene in Hangabtriebs- und Normalkraft,
- wissen, wie man die Hangabtriebskraft und die Normalkraft berechnet,
- haben Kreisbewegungen behandelt und kennen die Formel für die Zentripetalkraft.

### Bezug zu den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz

Allg. physikalische Kompetenz	Inhaltsbezogene Kompetenzen Die Schüler	Anforderungsbereich
F 1, K 1, K 5, K 7, E 3, E 4	... wenden den Energieerhaltungssatz an und analysieren Energieerwandlungen (M 3), ... berechnen mithilfe der Energieerhaltung physikalische Größen (M 3),	II, III
F 1, E 3, E 4, E 5, K 1, K 5, K 7	... wenden die Gesetze der Kreisbewegung an, stellen Formeln um und berechnen physikalische Größen (M 5),	II, III
E 1, E 2, B 2, K 1, K 5, K 7	... interpretieren Zeit-Geschwindigkeits- und Zeit-Beschleunigungs-Diagramme und bewerten die Ergebnisse (M 5),	II, III
E 2, K 3, K 5	... recherchieren im Internet (M 3).	I

## Die Physik einer Loopingbahn – Einstieg ins Thema

M1



Axel steht vor dem großen Looping. Ihn bewegen folgende Fragen:

- Welche Geschwindigkeiten und welche Beschleunigungen nimmt ein Mensch wahr, wenn er eine Loopingbahn durchfährt?
- Warum sind Loopings in Achterbahnen niemals kreisförmig gebaut?
- Wann fällt man aus der Loopingbahn heraus?



© RAABE 2020

Foto: Soldt/E+/Getty Images Plus

Haben Sie sich ähnliche Fragen auch schon einmal gestellt? Oder ging es Ihnen nur um den Adrenalin-Kick bei der Fahrt auf der Achterbahn?

In dieser Unterrichtseinheit gehen Sie diesen Fragen nach. Mithilfe einer Computersimulation erhalten Sie außerdem spannende Einblicke in die Physik von Loopingbahnen.

## Modellannahmen

Die Physik einer Achterbahn ist schwierig. Zur Vereinfachung gehen wir von folgenden Modellannahmen aus, die die Berechnungen leichter machen:

1. In den meisten Aufgaben berücksichtigen Sie die Reibung (Luft- und Rollreibung) nicht.
2. Sie sehen die in der Loopingbahn bewegte Masse als Massepunkt an.

Der Umstand, dass es sich eigentlich um eine Wagenkette handelt, die durch den Looping rast, führt zwar zu interessanten physikalischen Forderungen, erlaubt Sie aber von der eigentlichen Intention dieses Beitrages, nämlich die grundlegenden Aspekte verschiedener Loopingbahnen zu begreifen.



Grafik: Dr. W. Zettlmeier

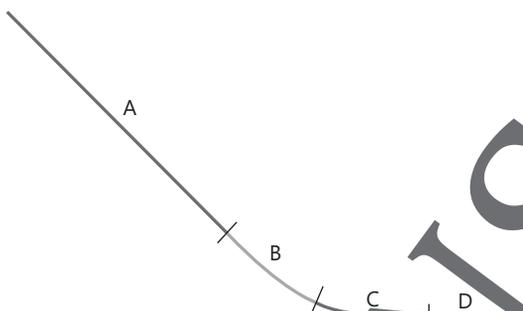
## Die mathematische Form einer Loopingbahn

M2

Wir beschreiben die einzelnen Abschnitte der Achterbahn durch mathematische Kurven.

### Die Achterbahn – in einzelne Abschnitte zerlegt

Die Fahrt beginnt auf einer Rampe. Dort gewinnt der Wagen zunächst an Geschwindigkeit. Die Rampe hat eine maximale Höhe von 40 m und besteht aus folgenden Abschnitten:



Grafik: Dr. W. Zettlmeier

**Abschnitt A** stellt eine schiefe Ebene mit einem Neigungswinkel von  $45^\circ$  dar.

Die **Abschnitte B und C** sind Klotheinbausschnitte, die so aneinandergesetzt wurden, dass ein glatter Übergang von einem Kurvenstück zum anderen gewährleistet ist. Einen solchen Übergang bezeichnet man auch als *Scheitelklothoide*. Was eine Klothoide ist, werden Sie im Material 7 lernen.

**Abschnitt D** ist ein 10 m langes waagrecht Geradenstück.

Nachdem der Wagen diese vier Abschnitte passiert hat, fährt er durch einen Looping. Drei verschiedene Loopingarten stehen Ihnen zur Auswahl – alle haben eine Höhe von 20 m.

## Wann fällt man raus? – Die Mindestgeschwindigkeit angeben M5

### Die Kräfte im höchsten Punkt der Bahn untersuchen



© RAABE 2020

© LaserLens/iStock/Getty Images

### Aufgaben



1. Damit der Wagen den höchsten Punkt gerade noch durchfahren kann, ohne die Bahn zu verlassen, muss er dort eine bestimmte Mindestgeschwindigkeit  $v_{\min}$  aufweisen. Dies erzeugt nämlich eine Zentrifugalkraft, welche die Erdanziehungskraft in diesem Punkt kompensiert (oder anders formuliert: Die Erdanziehungskraft stellt in diesem Punkt die für die Kreisbahn notwendige Zentripetalkraft dar).

Leiten Sie mithilfe dieses Ansatzes her:

Für die Mindestgeschwindigkeit, die ein Wagen im höchsten Punkt haben muss, gilt:

$$v_{\min} = \sqrt{r_L \cdot g}$$

wobei  $r_L$  der Radius des Kreisloopings ist.

## Tippkarten



**M 3**

**Aufgabe 3**

**Tipp 1**

**Ansatz:** Die Lageenergie im Startpunkt wird vollständig in Bewegungsenergie (kinetische Energie) umgewandelt.

**Tipp 2**  $E_{\text{kin}} = E_{\text{Lage}}$

**Tipp 3**  $\frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h_{\text{Start}}$

**Tipp 4** Im höchsten Punkt des Looping hat der Körper gegenüber dem Startpunkt den Betrag  $h_{\text{Start}} - h_{\text{höchster Punkt}}$  an Höhe verloren.

**M 3**

**Aufgabe 4b**  
(Abschnitt A)

**Tipp 1**

Die gesuchte Beschleunigung ergibt sich aus der Kräftezerlegung (Beschleunigung  $a_{\text{Bahn}}$  in der schiefen Ebene).

**Tipp 2**  $a_{\text{N}} = g \cdot \cos(\alpha)$

(tiefster Punkt)

**Tipp 1**

Der Fahrgast spürt seine Gewichtskraft und dazu die Zentrifugalkraft aufgrund der Bewegung auf der Kreisbahn.

**Tipp 2**  $a_{\text{Bahn}} = 1 \cdot g + \frac{v^2}{r_{\text{Kreis}}}$

(höchster Punkt)

**Tipp 1**

Der Fahrgast spürt die Zentrifugalkraft, die aber um seine Gewichtskraft vermindert ist, denn beide Kräfte wirken in entgegengesetzte Richtungen.

**Tipp 2**  $a_{\text{Bahn}} = \frac{v_{\text{Hoch}}^2}{r_{\text{Kreis}}} - 1 \cdot g$

## Der RAABE Webshop: Schnell, übersichtlich, sicher!



### Wir bieten Ihnen:



Schnelle und intuitive Produktsuche



Übersichtliches Kundenkonto



Komfortable Nutzung über  
Computer, Tablet und Smartphone



Höhere Sicherheit durch  
SSL-Verschlüsselung

**Mehr unter: [www.raabe.de](http://www.raabe.de)**