

## III.38

### Natur und Technik

## Physik des Radfahrens

Nach einer Idee von Wolfgang Vogg



In dieser Einheit begegnen ihren Lernenden intuitive und eingängliche Praxisbeispiele für Zentripetal-, Zentrifugal- und Reibungskräfte. Außerdem setzt Ihre Klasse mechanisch zentrale Begriffe wie Drehimpuls und Drehmoment in einen für das Radfahren relevanten Kontext.

#### KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe: 8–10

Dauer: 3 Stunden

Kompetenzen: Fachwissen, Problemlösekompetenz, Erkenntnisgewinnungskompetenz, Forschungskompetenz

Thematische Bereiche: Geradlinige Bewegung mit Berg- und Talfahrt, Beschleunigung, Bremsen, Kurvenfahrt, Zentripetal- und Zentrifugalkräfte, Reibungskräfte, Hebelgesetz, Drehmoment, Drehimpuls, Gyroskopischer Effekt

### Fachliche Hinweise

Bei diesem Beitrag handelt es sich um ein Thema, das allen Schülerinnen und Schülern aus der eigenen praktischen Erfahrung heraus bekannt sein dürfte. Allerdings ist die dahinterstehende Physik, vor allem bei der prinzipiellen Frage: „Warum fällt man beim Radfahren nicht um?“ schwierig. Der für das aufrechte Fahren notwendige **gyroskopische Effekt** sollte deshalb auf jeden Fall in Form eines Lehrerversuchs mit Schülerbeteiligung demonstriert werden, weil er durch seine Anschaulichkeit gut nachvollziehbar ist und damit auch die zugrundeliegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten besser verstanden werden können.

### Lernvoraussetzungen

Neben den je nach Bundesland und Lehrplan (der vorliegende Beitrag bezieht sich auf den Lehrplan Gymnasium Bayern, den man z.B. über [https://www.gym8-lehrplan.bayern.de/contentserv/3.1.neu/q8.de/id\\_26438.html](https://www.gym8-lehrplan.bayern.de/contentserv/3.1.neu/q8.de/id_26438.html) einsehen kann) in der 9. Jahrgangsstufe besprochenen Themen wie Kinematik und Dynamik geradliniger Bewegung sollte die Newtonsche Mechanik der 10. Jahrgangsstufe ausführlich erarbeitet worden sein. Begriffe wie *Bewegungen unter konstanter Krafteinwirkung, Hebelgesetz, Drehmoment, Impuls- und Energieerhaltung, Kreisbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit und Zentripetal- bzw. Zentrifugalkraft* sollten als Grundlage bekannt sein.

Im Rahmen des Profilbereichs am naturwissenschaftlichen Gymnasium kann dann ein Thema wie das Radfahren mit einem noch etwas weiterführenden Anforderungsniveau gut erarbeitet werden.

## Didaktisch-methodische Hinweise

### Geplanter Unterrichtsverlauf

Der Beitrag beginnt mit einem historischen Überblick über die rund 200-jährige Geschichte des Radfahrens. Dies kann ggf. auch sehr gut im Rahmen eines Referats erfolgen (**M1**).

Dabei wird ein Bogen gespannt von der *Draisine* aus dem Jahr 1817 über das eher gefährliche *Hockrad* Ende des 18. Jahrhunderts bis hin zu einer *Fahrradform*, die um 1940 herum schon grob das Aussehen auch heute noch gebräuchlicher Fahrräder hatte.

Größere Veränderungen hinsichtlich der Technik und der daraus resultierenden Anwendungsmöglichkeiten gab es in der Zeit von 1960 bis 1990, wobei insbesondere die Erfindung des *Mountainbikes* zu Beginn der 80er-Jahre für Furore sorgte. Mit dem durch einen Akku betriebenen Fahrrad – dem sogenannten *E-Bike* – begann für die Fahrradindustrie Mitte der 90er-Jahre eine bis heute anhaltende Erfolgsgeschichte, weil seither insbesondere ältere Menschen das Radfahren nochmals neu für sich entdecken können.

In den Grundlagenkapiteln **M2a–M2e** wird eine Vielzahl physikalischer Größen, die auf die Physik des Radfahrens betreffen, genau besprochen und mit Übungsaufgaben ergänzt. Dazu gehören Begriffe wie *Geschwindigkeit*, *Beschleunigung*, *Bremsen* ebenso wie *Kreis- und Drehbewegungen* mit den dazugehörigen Größen. Die entsprechenden, dabei wirkenden Kräfte wie *Zentripetalkraft*, *Zentrifugalkraft* und Momente wie *Drehmoment* und *Trägheitsmoment* werden eingehend besprochen und durch den *Drehimpuls* und die *Drehimpulserhaltung* ergänzt.

Einen entscheidenden Beitrag zum Verständnis des Radfahrens liefert **M3**: Für die meisten Radfahrer weitestgehend als selbstverständlich betrachtete „*aufrechtes Fahren*“ wird mit dem gyroskopischen Effekt und einer weiteren für das *Fahren* – dem so bezeichneten *Nachlauf* – erklärt und an Beispielen und Versuchen erläutert. Man wird dann sehr schnell verstehen, dass aufrechtes Fahren alles andere als selbstverständlich ist, sondern nur durch die physikalischen Gegebenheiten in der uns bekannten Form möglich wird.

## Auf einen Blick

---

### 1. Stunde

|        |                                    |
|--------|------------------------------------|
| Thema: | Historischer Überblick             |
| M 1    | Historische Fahrräder              |
| Thema: | Physikalische Grundlagen           |
| M 2a   | Geschwindigkeit und Beschleunigung |

---

### 2. Stunde

|        |                                                    |
|--------|----------------------------------------------------|
| Thema: | Physikalische Grundlagen                           |
| M 2b   | Kreisbewegung, Zentripetalbeschleunigung und Kraft |
| M 2c   | Rotationsbewegungen und zugehörige Gleichungen     |
| M 2d   | Drehmoment, Trägheitsmoment und Rotationsenergie   |

---

### 3. Stunde

|        |                                                        |
|--------|--------------------------------------------------------|
| Thema: | Physikalische Grundlagen                               |
| M 2e   | Drehimpuls und Drehimpulserhaltung                     |
| Thema: | Physikalische Grundlagen des aufrechten Fahrradfahrens |
| M 3    | Das aufrechte Fahren                                   |

## Historische Fahrräder

M 1

Die Erfindung des Rades wird auf etwa 3500 v. Chr. datiert – bis zur Anwendung in Form eines Fahrrads sollte es aber noch sehr lange dauern. Erst im Jahr 1817 erfindet der adlige Forstbeamte und Erfinder *Karl von Drais* in Mannheim die „*Laufmaschine*“ (nach ihm auch als **Draisine** benannt). Ein Jahr später wird sie als erstes zweirädriges, vom Menschen angetriebenes, lenkbares Transportmittel patentiert.

Obwohl die Erfindung von Drais keine Pedale hat, ist es mit dieser fast völlig aus Holz gefertigten Laufmaschine möglich, Reisezeiten zu halbieren. Zwischen 1818 und 1820 wird das Laufrad unter dem Namen „**Velociped**“ zum Kult, der ganz Westeuropa und auch Nordamerika ergreift. Allerdings währt die Popularität nicht lange. Nur wenige Jahre später wird die Velociped wegen der zahlreichen Unfälle mit Fußgängern in Großstädten verboten.



© JJ Osuna / iStock/Getty Images Plus

In den 1860er-Jahren wird das erste, mit Pedalen und Drehkurbeln ausgestattete, Kettentrieb-Fahrrad auf den Markt gebracht. Es ist bis hin zu den 1880er-Jahren durchaus erfolgreich, hat aber auch Nachteile. Bei diesem Rad ist das Vorderrad deutlich größer als das Hinterrad; Rahmen und Reifen sind aus Metall gefertigt und können manchmal bis zu 50 kg wiegen. Zwischen 1880 und 1910 werden die Vorderräder immer größer, weil man dadurch höhere Geschwindigkeiten erreichen konnte. Das Hinterrad verkam zu einem reinen Stützrad. Das sogenannte Hochrad ist entstanden.

Dieses neue Fahrrad mit dem großen Vorderrad wird in England unter dem Namen „**Penny-farthing**“ bekannt, weil es den damals gebräuchlichen Penny und Farthing gleicht. Auch dieses Rad erreicht in England und den USA einen hohen Beliebtheitsgrad – allerdings ist das Fahren dieses Rades eine Kunst für sich und ebenso schwierig wie das Lenken. Die anfangs hohe Popularität weicht bald der Erkenntnis, dass ein Fahrrad mit zwei gleich großen Rädern optimal wäre.



© Dorling Kindersley: Gary Ombler/Jonathan Sneath/Dorling Kindersley RF

In den Jahren 1880 bis 1950 ebnete die Fahrradkultur in der westlichen Welt den Weg. In den Fokus als Transportmittel der Zukunft trat das Automobil.

Einzig in China nimmt die Begeisterung für das Radfahren in den 1920er-Jahren zu, was zur ersten Massenproduktion für ausländische Fahrräder Ende der 1930er-Jahre führt. Mit Gründung der Volksrepublik China entscheidet die Partei, das Fahrrad zum Haupttransportmittel für die Bevölkerung zu machen. So kommt es, dass China ab dem Jahr 1958 mehr als eine Million Fahrräder pro Jahr produziert und so schnell zum weltweit führenden Hersteller von Fahrrädern wird.

Die in China produzierten Räder verfügen über eine Kraftübertragung von einem vorderen Zahnkranz per Kette zum hinteren Zahnkranz. Sie gleichen bereits damals in ihrer Grundform auch heute noch gebräuchlichen Rädern.

## Geschwindigkeit und Beschleunigung

M 2a

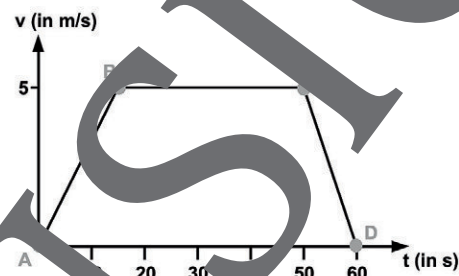
Die Notwendigkeit zur Entwicklung des Fahrrades beruht sicher auch darauf, dass man mit dem Rad leichter und schneller vorankommt als zu Fuß. Vergleicht man einen Fußgänger, der bei einer angenommenen Leistung von 50 W auf einer ebenen Strecke mit einer Geschwindigkeit  $v = 5 \text{ km/h}$  in einer Stunde rund 5 km zurücklegen kann, mit einem Radfahrer, so stellt man fest, dass dieser bei gleich angenommener Leistung auf ebener Strecke eine gleichmäßige Geschwindigkeit  $v = 20 \text{ km/h}$  fahren und damit eine Strecke von rund 20 km zurücklegen kann.

### Aufgabe 1

**Versuche** durch physikalische Überlegungen und praktische eigene Erfahrungen herauszufinden, warum mit dem Rad bei gleicher Leistung in derselben Zeitspanne eine deutlich größere Strecke zurückgelegt werden kann, als dies zu Fuß möglich ist.

### Aufgabe 2

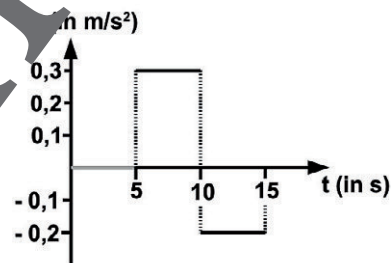
Die nebenstehende Abbildung zeigt ein Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm (v-t-Diagramm), das die Fahrt eines Radfahrers von einem Startpunkt A bis zum Endpunkt D darstellt.



- Beschreibe** die Bewegungsabläufe von A bis D.
- Berechne** die Strecke, die der Radfahrer zwischen B und C zurücklegt.
- Berechne** die Durchschnittsgeschwindigkeit des Radfahrers, wenn die gesamte Strecke zwischen A und D zurückgelegt werden soll.

### Aufgabe 3

Das nebenstehende Beschleunigungs-Zeit-Diagramm (a-t-Diagramm) beschreibt eine geradlinige Fahrt eines Radfahrers, der zum Zeitpunkt  $t_1 = 0 \text{ s}$  eine Anfangsgeschwindigkeit  $v(t_1) = 5 \text{ m/s}$  haben soll.



- Erläutere** kurz die in den einzelnen Abschnitten vorkommenden Bewegungsabläufe.
- Zeichne** nach Berechnung geeigneter Werte der Geschwindigkeit das zugehörige v-t-Diagramm.
- Berechne** die Gesamtstrecke, die der Radfahrer zurücklegt.

### Aufgabe 4

Vor einem Radfahrer taucht bei einer Geschwindigkeit von  $28,8 \text{ km/h}$  plötzlich ein Hindernis auf. Nach einer Reaktionszeit von  $1 \text{ s}$  beginnt er, mit der konstanten Verzögerung  $a = -4 \text{ m/s}^2$  zu bremsen. In einem mittelmäßigen Abstand zum Hindernis kommt er zum Stehen.

- Berechne** Sie die gesamte Zeit, die vom Erkennen des Hindernisses bis zum Stillstand verstreicht.
- Berechne** die Entfernung des Fahrers zum Hindernis, als er es erkennt.
- Berechne** die Entfernung des Hindernisses von dem Ort, an welchem die Bremse zu wirken beginnt.
- Berechne** die noch mögliche Geschwindigkeit des Radfahrers unter sonst gleichen Voraussetzungen, wenn dieser eine Reaktionszeit von  $0,5 \text{ s}$  gehabt hätte.

# Mehr Materialien für Ihren Unterricht mit RAAbits Online

Unterricht abwechslungsreicher, aktueller sowie nach Lehrplan gestalten – und dabei Zeit sparen.

Fertig ausgearbeitet für über 20 verschiedene Fächer, von der Grundschule bis zum Abitur: Mit RAAbits Online stehen redaktionell geprüfte, hochwertige Materialien zur Verfügung, die sofort einsetz- und editierbar sind.

- ✓ Zugriff auf bis zu **400 Unterrichtseinheiten** pro Fach
- ✓ Didaktisch-methodisch und **fachlich geprüfte Unterrichtseinheiten**
- ✓ Materialien als **PDF oder Word** herunterladen und individuell anpassen
- ✓ Interaktive und multimediale Lerneinheiten
- ✓ Fortlaufend **neues Material** zu aktuellen Themen



Testen Sie RAAbits Online  
**14 Tage lang kostenlos!**

[www.raabits.de](http://www.raabits.de)

