

# Beschleunigungs- messung mit dem Smartphone



Lorenza Resta

Zbigniew Trzmiel



## 1 | Zusammenfassung

Mit den Bewegungssensoren eines Smartphones können Schüler die Beschleunigung  $X$  in drei Richtungen im rechten Winkel messen und so leichter verstehen, wie man einen Vektor in seine Bestandteile und deren Kombination auflöst. Im Klassenzimmer lässt sich Beschleunigung im kleinen Maßstab mit einem Plattenspieler darstellen (30 cm Durchmesser). Es ist sehr wichtig, die Position des Beschleunigungsmessers zu bestimmen und diese bei der Untersuchung von Bewegungen in nicht linearen Bahnen zu berücksichtigen. Beschleunigung im großen Maßstab lässt sich außerhalb der Schule in rotierenden Fahrgeschäften in Freizeitparks und auf der Kirmes beobachten (7,20 m Durchmesser).

- ▶ **Stichwörter:** Beschleunigung
- ▶ **Fächer:** Physik, Mathematik, Informatik
- ▶ **Alter der Schüler:** 15–18 Jahre
- ▶ **Android- und iOS-Apps:** SensorKinetics, SensorKinetics Pro
- ▶ **Android-Apps:** Physics Toolbox Accelerometer, Accelerometer Monitor, Physics Toolbox Roller Coaster, Regression Calculator
- ▶ **iOS-Apps:** Sparkvue, Regression Calculator
- ▶ **Zusätzliche Computer-Software:** Tracker

## 2 | Vorstellung des Konzepts

Die Schüler untersuchen gleichförmige Kreisbewegungen im realen Kontext. Sie erforschen die Bewegung im kleinen Maßstab mit einem Plattenspieler. Der Sensor des Smartphones liefert die Beschleunigungswerte entlang der drei Achsen. Die Messung der Beschleunigung des Smartphones in unterschiedlichen Positionen auf dem Plattenspieler ermöglicht es, die Position des Sensors im Smartphone zu bestimmen.

Wir stellen zwei Messmethoden vor. Die Schüler verstehen den Einfluss der Position des Sensors besser, wenn sie eine App für dynamische Geometrie nutzen.

Kreisbewegungen im großen Maßstab können die Schüler in rotierenden Fahrgeschäften untersuchen. Sie messen die Beschleunigung mit Smartphones, die sie an unterschiedlichen Stellen auf der Plattform angebracht haben. Sie untersuchen die Auswirkung der Beschleunigung entlang der drei Achsen. Dabei achten sie insbesondere auf die radiale Richtung, um die Zentripetalbeschleunigung besser zu verstehen.

Dann analysieren sie die erhaltenen Werte und übertragen sie in eine spezielle Smartphone-App. Mit dieser App können die Schüler die Beschleunigungskurve im Verhältnis zum Radius erstellen und die Daten einer Regressionsanalyse unterziehen. Sie finden die Gleichung zum linearen Ausgleich, mit Steigung und Schnittpunkt, und werten die Qualität dieses Ausgleichs aus.

## 3 | Aufgabe der Schüler

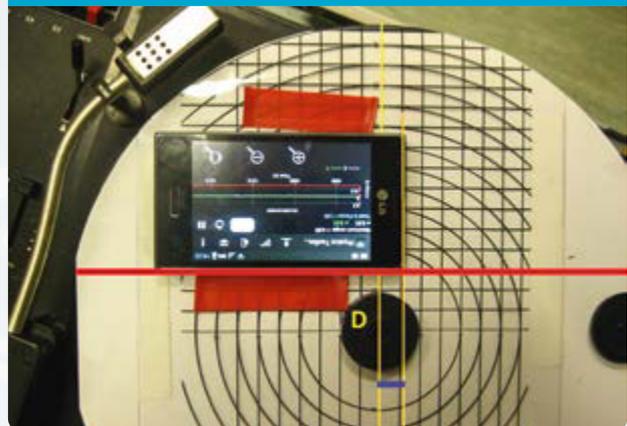
### 3|1 Im kleinen Maßstab (Plattenspieler)

#### 3|1|1 Messmethoden

Der Versuch könnte wie in **ABB. 1** aufgebaut werden. Wir nehmen Videos auf und halten die Beschleunigung mit Apps fest, während sich das Smartphone auf einem Plattenspieler dreht.

Die Interpretation der Daten und die Berechnung werden erleichtert, wenn zwei Seiten des Smartphones im rechten Winkel zum Radius der Platte liegen.

**ABB. 1** Die Platte mit transparenter Folie erleichtert die Positionierung des Smartphones



Wir können das Smartphone mit doppelseitigem Klebeband auf eine transparente Folie kleben. Dadurch kann das Smartphone in unterschiedlichen Positionen an der ausgewählten Linie (rote Linie in **ABB. 1**) exakt positioniert werden.

#### 3|1|2 Bewegungssimulation mit dynamischer Geometrie

Wie in **ABB. 1** dargestellt, dreht sich das Smartphone in der horizontalen Ebene (der  $x$ - $y$ -Ebene) und hat daher keine Komponente der  $z$ -Beschleunigung. Wird das Smartphone jedoch vertikal aufgestellt, kann die  $x$ - oder  $y$ -Beschleunigung außer Acht gelassen werden.

Die App Geogebra für dynamische Geometrie ermöglicht die Veränderung der Position des Smartphones sowie des Sensors innerhalb des Smartphones. Das gibt uns die Möglichkeit, die Werte der einzelnen Beschleunigungskomponenten zu verfolgen.

#### 3|1|3 Erhebung und Analyse der Daten

**[A]** Die Schüler bestimmen, welche Position der Smartphone-Sensor bei gleichförmigen Kreisbewegungen hat. Sie bewegen ihr Smartphone entlang einer fixen Linie (der roten Linie in **ABB. 1**) und messen die Beschleunigung für unterschiedliche Positionen (das blaue Segment in **ABB. 1**).



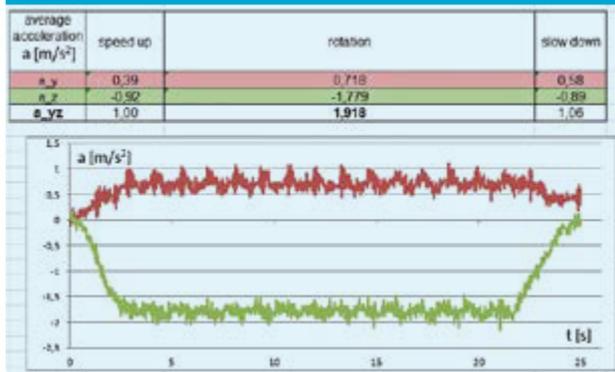
Das Segment stellt den Abstand zwischen der Durchmesserlinie D und einer Seite des Smartphones dar. Wenn die Schüler die Position finden, in der die Tangentialkomponente der Beschleunigung fast null ist, dann haben sie die y-Koordinate der Sensorposition gefunden.

In unserem Versuch messen wir die Tangente, d. h. die y-Komponente der Beschleunigung, in zehn verschiedenen Positionen. Hier zeigen wir drei Beispiele der Ergebnisse.

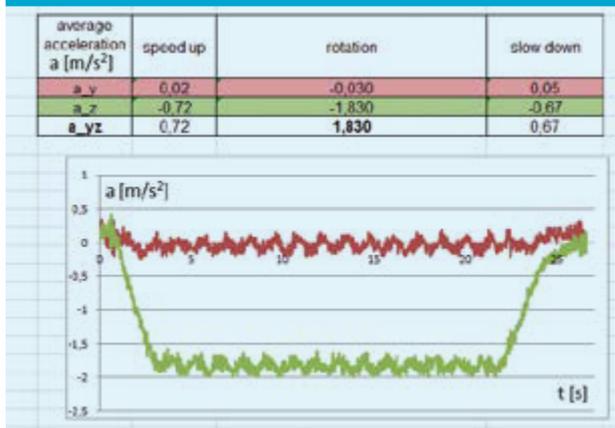
Die Kurven und Tabellen in **ABB.2**, **3** und **4** zeigen Beispiele für Ergebnisse und Berechnungen der durchschnittlichen Beschleunigungskomponenten versus Zeit.

Die deklarierte Messunsicherheit unseres Sensors (kleinste Skalenteilung) entspricht  $0.038 \text{ m/s}^2$  und in **ABB. 3** ist die gemessene y-Beschleunigung kleiner als dieser Wert, so dass wir ihn als Nullwert betrachten können und damit die richtige Position des Sensors auf der y-Achse gefunden haben.

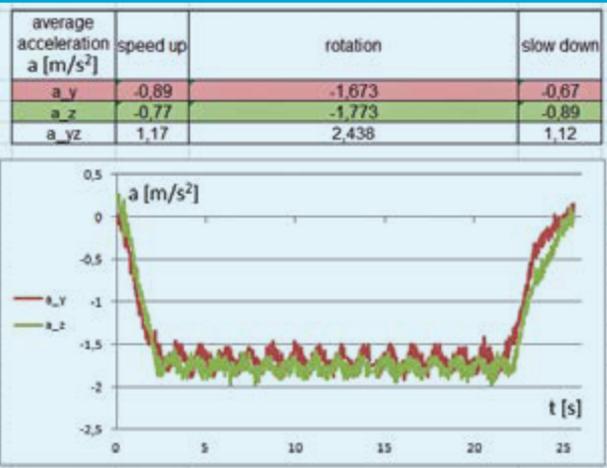
**ABB.2** Die Seite des Smartphones ist 1 cm von der Durchmesserlinie D entfernt



**ABB.3** Die Seite des Smartphones ist 4 cm von der Durchmesserlinie D entfernt



**ABB.4** Die Seite des Smartphones ist 11 cm von der Durchmesserlinie D entfernt



Mit ähnlichen Messungen mit den beiden anderen Seiten des Smartphones im rechten Winkel zum Radius können die Schüler die zweite Koordinate des Sensors finden. Somit haben wir die Sensorposition ermittelt.

[B] Eine andere Methode zum Finden der Sensorposition kommt ohne die Nullposition einer Tangentialkomponente der Linie für die Beschleunigung aus. Der Abstand R des sich drehenden Sensors von der zentralen Achse lässt sich wie folgt berechnen:

$$R = a / \omega^2$$

wobei sich die Beschleunigung a auf Basis der vom Sensor gemessenen Beschleunigungskomponente vom Satz des

**ABB.5** Die Drehzentren C' und C'' sind die Referenzpunkte für die beiden Positionen des Smartphones auf dem Plattenspieler



ABB.6 Versuchsaufbau



3|2 **Im großen Maßstab (rotierendes Fahrgeschäft, z. B. im Freizeitpark oder auf der Kirmes)**

3|2|1 **Aufbau und Messungen**

In einem rotierenden Fahrgeschäft wird ein radialer „Korridor“ auf der Plattform gesucht. Mit farbigem Klebeband werden unterschiedliche Positionen entlang dieser radialen Richtung markiert (P1, P2, P3, P4 etc.). Mit einem Maßband den Abstand jedes Punktes vom Zentrum der Plattform messen. Wenn es Hindernisse gibt, die der direkten Messung vom Zentrum aus entgegenstehen, wird der Abstand jedes Punktes von der äußeren Kante der Plattform aus gemessen und dann die Differenz zum Radius der Plattform berechnet.

Die Periode des Durchlaufs mehrmals mit der Stoppuhr am Smartphone messen und den Durchschnittswert berechnen.

ABB.7 Das Smartphone sorgfältig befestigen



Die App zur Beschleunigungsmessung starten und das Smartphone auf einen der markierten Punkte legen, und zwar so, dass es entlang der radialen Richtung liegt.

Gleichzeitig könnten andere Schüler ihr Smartphone an anderen Stellen entlang des Radius anbringen, um mehr Daten zu bekommen und diese Daten dann aufzuzeichnen. Die y-Richtung des Smartphones sollte mit dem Radius des Fahrgeschäfts in einer Linie sein.

Pythagoras ableiten lässt. Wir können die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  von der Frequenz der Plattenrotation oder von der Videomessung mit Tracker ableiten. Siehe auch die Lehrinheit „Sport und Physik“ in dieser Broschüre.

#### Ein Beispiel:

Die Beschleunigungskomponenten für den ersten Aufbau entsprechen  $a_x=0,128 \text{ m/s}^2$  und  $a_y=-2,435 \text{ m/s}^2$  und die Kreisbewegungsperiode  $T=1,31 \text{ s}$ .

$$a_x=0.128 \text{ m/s}^2$$

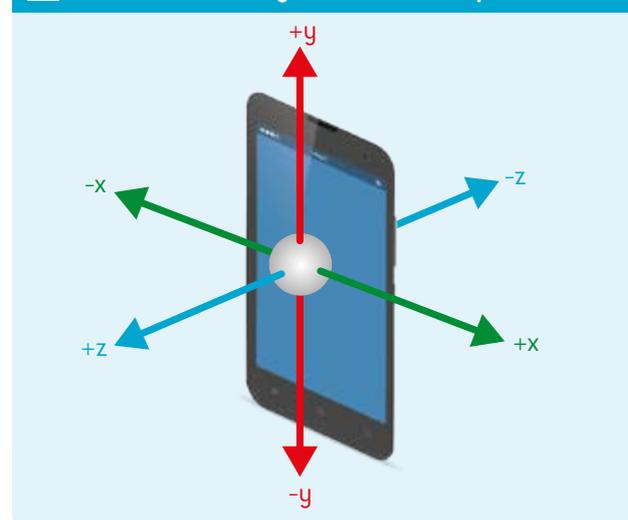
$$a_y=-2.435 \text{ m/s}^2$$

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=2.438 \text{ m/s}^2$$

Wir berechnen  $a$  aus der obigen Formel und  $R=0,106 \text{ m}$ .

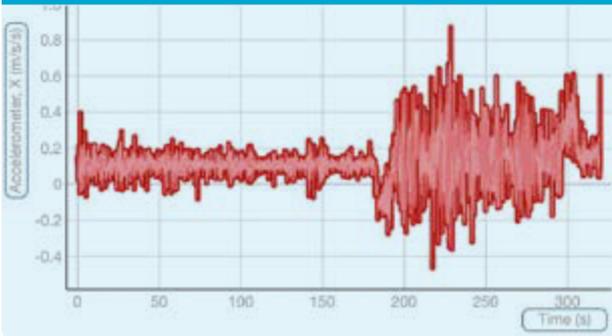
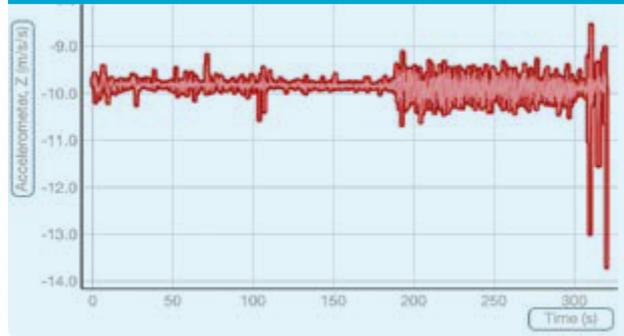
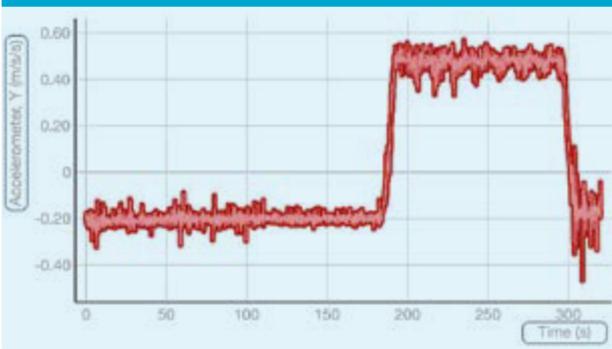
Wir berechnen analog dazu den zweiten Radius für eine andere Position des Smartphones. **ABB. 5** zeigt die Position des Sensors als Schnitt durch die beiden Kreise, deren Radien wie oben beschrieben ermittelt wurden.

ABB.8 Koordinatensystem eines Smartphones



Nach der Fahrt sollten die Schüler sich die Kurven zur Beschleunigung entlang der drei Achsen  $x$ ,  $y$  und  $z$  ansehen und die Unterschiede im Detail betrachten.



**ABB.9 Beschleunigung vs. Zeit in x-Richtung**

**ABB.10 Beschleunigung vs. Zeit in z-Richtung**

**ABB.11 Beschleunigung vs. Zeit in y-Richtung mit initialisiertem Start bei -0,20 m/s/s**

**ABB.12 Beschleunigung vs. Zeit in y-Richtung ohne initialisierten Start**


### 3 | 2 | Analyse

Die Beschleunigung versus Zeit in x-Richtung und in z-Richtung ist relativ konstant, aber die Daten haben im Bewegungszustand eine höhere Spannweite als im Ruhezustand.

Die Kurven zeigen eine typische Messung: Wenn das Karussell sich zu drehen beginnt, steigert sich die Beschleunigung entlang der y-Achse in positiver Richtung bezogen auf die positive y-Richtung des Smartphones (siehe oben, Koordinatensystem eines Smartphones). Danach ist die Beschleunigung relativ konstant (die Rotationsgeschwindigkeit ist konstant) und dann geht die Beschleunigung entlang der y-Achse zurück und kehrt bis zum Stopp zu Null zurück.

In einer der Tabellen ist der anfängliche Beschleunigungswert nicht Null und die Schüler müssen diesen Wert von der gemessenen Beschleunigung abziehen, um den tatsächlichen Wert zu erhalten.

Die Schüler können eine manuelle Regression der Daten versuchen. Sie müssen die Punkte (Radius, Beschleunigung) in ein Diagramm eintragen und die am besten passende Datenlinie ziehen (lineare Regression) sowie die Gleichung  $y = mx + q$  mit Steigung und Schnittpunkt finden.

Die Schüler könnten auch eine Smartphone-App für die lineare Regression nutzen. In diesem Fall müssen sie die Parameter der Gleichung finden und die Daten in die Linie einfügen.

Die Schüler können sehen, dass der Wert  $R^2$  über die Qualität der Datenanpassung entscheidet. Im vorgestellten Beispiel ist das Ergebnis hervorragend. Am Ende vergleichen die Schüler die mit dem Smartphone gemessenen Beschleunigungswerte mit der Theorie (siehe Formel für die Zentripetalbeschleunigung) und prüfen den Grad der Übereinstimmung.

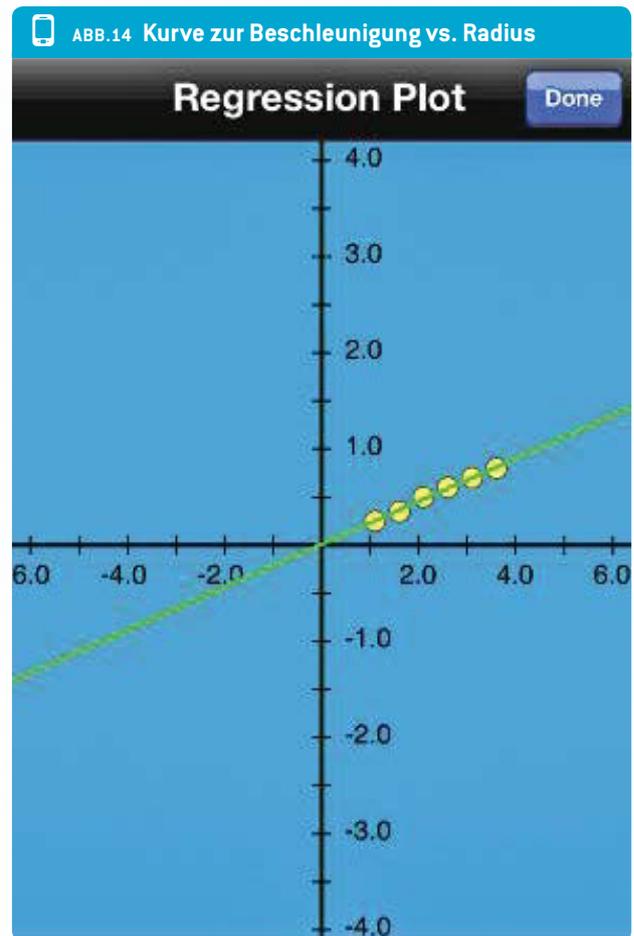
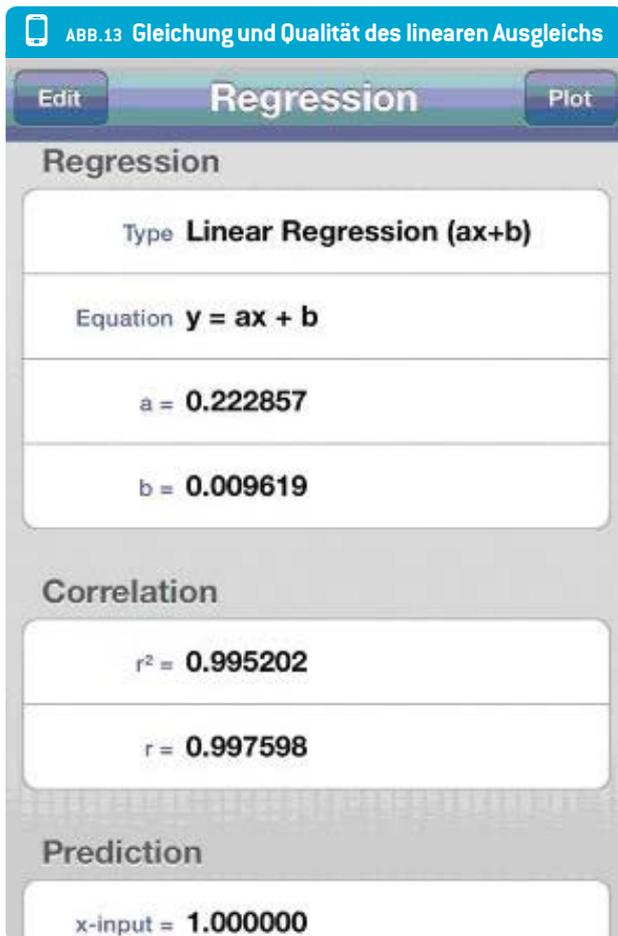
### 4 | Option zur Kooperation

Schüler unterschiedlicher Schulen und Länder können sich über die Projekte und ihre Ergebnisse austauschen. Um für Lehrer und Schüler Anreize für Beschleunigungsmessungen mit dem Smartphone zu schaffen, organisieren wir in Zusammenarbeit zwischen Science on Stage Europe und eTwinning France auch einen Wettbewerb zu physikalischen Messungen in Freizeitparks.

### 5 | Fazit

Das vorgeschlagene Projekt dient den Schülern als gutes Beispiel für Methodik. Da die Physik von Kreisbewegungen stets dieselbe ist, müssen die Schüler mit zwei Situationen umge-





hen, die denselben Gesetzen unterliegen, allerdings in unterschiedlichen Maßstäben.

Nach dem Aufzeigen der Gemeinsamkeiten ist es wichtig, auch die Unterschiede zwischen den beiden Situationen zu verdeutlichen, beispielsweise die unterschiedliche Bedeutung der Unsicherheit über die Position des Beschleunigungsmessers innerhalb des Smartphones. Wenn es um Dimensionen von einigen hundert Zentimetern geht (Radius eines Fahrgeschäfts), ist eine Ungenauigkeit von ein paar Zentimetern zu vernachlässigen. Bei kleineren Dimensionen des Radius (etwa ein Radius von zehn Zentimetern wie beim Plattenspieler) hat eine Ungenauigkeit von einigen Zentimetern eine größere Bedeutung.

### 6 | Quellen

- ▶ <http://wiki.geogebra.org/>
- ▶ [www.feynmanlectures.caltech.edu/I\\_11.html#Ch11-S3](http://www.feynmanlectures.caltech.edu/I_11.html#Ch11-S3)
- ▶ <http://www.lo1.leszno.edu.pl/geogebra>
- ▶ Rebecca E. Vieyra, Chrystian Vieyra, „Analyzing Forces on Amusement Park Rides with Mobile Devices“, The Physics Teacher, 52, 149 (2014)
- ▶ Martín Monteiro, Cecilia Cabeza, Arturo C. Marti, Patrik Vogt,

ABB.15 Vergleich der experimentellen und theoretischen Beschleunigung

R [m]	a gemessen [m/s <sup>2</sup> ]	a theoretisch [m/s <sup>2</sup> ]
3.60	0.80 ± 0.05	0.83
3.10	0.70 ± 0.05	0.71
2.60	0.60 ± 0.05	0.60
2.10	0.50 ± 0.05	0.48
1.60	0.35 ± 0.05	0.37
1.10	0.25 ± 0.05	0.25

- Jochen Kuhn, „Angular Velocity and Centripetal Acceleration Relationship“, The Physics Teacher, 52, 312 (2014)
- ▶ Ann-Marie Pendrill, Johan Rohl, „Acceleration and Rotation in a Pendulum Ride, Measured Using an iPhone 4“, Physics Education, November 2011



# Impressum

## Entnommen aus

iStage 2 - Smartphones im naturwissenschaftlichen Unterricht erhältlich in Deutsch und Englisch [www.science-on-stage.de/istage2](http://www.science-on-stage.de/istage2)

## Herausgeber

Science on Stage Deutschland e.V.  
Poststraße 4/5  
10178 Berlin

## Revision und Übersetzung

TransForm Gesellschaft für Sprachen- und Mediendienste mbH  
[www.transformcologne.de](http://www.transformcologne.de)

## Text- und Bildnachweise

Die Autoren haben die Bildrechte für die Verwendung in dieser Publikation nach bestem Wissen geprüft und sind für den Inhalt ihrer Texte verantwortlich.

## Gestaltung

WEBERSUPIRAN.berlin

## Illustration

tacke -atelier für kommunikation  
[www.ruperttacke.de](http://www.ruperttacke.de)

## Bestellungen

[www.science-on-stage.de](http://www.science-on-stage.de)  
[info@science-on-stage.de](mailto:info@science-on-stage.de)

Zur besseren Lesbarkeit wurde auf die Verwendung der weiblichen Form verzichtet. Mit der männlichen Form ist auch stets die weibliche Form gemeint.

Creative-Commons-Lizenz: Attribution  
Non-Commercial Share Alike



1. Auflage 2014

© Science on Stage Deutschland e.V.



THE EUROPEAN NETWORK FOR SCIENCE TEACHERS

HAUPTFÖRDERER VON  
SCIENCE ON STAGE DEUTSCHLAND



Die Initiative für  
Ingenieurnachwuchs

Ermöglicht durch



## Science on Stage – The European Network for Science Teachers

... ist ein Netzwerk von Lehrkräften für Lehrkräfte aller Schularten, die Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) unterrichten.  
... bietet eine Plattform für den europaweiten Austausch anregender Ideen und Konzepte für den Unterricht.  
... sorgt dafür, dass MINT im schulischen und öffentlichen Rampenlicht steht.

Science on Stage Deutschland e.V. wird maßgeblich gefördert von think ING., der Initiative für den Ingenieurnachwuchs des Arbeitgeberverbandes GESAMTMETALL.

## Machen Sie mit!

### [WWW.SCIENCE-ON-STAGE.DE](http://WWW.SCIENCE-ON-STAGE.DE)

Newsletter: [www.science-on-stage.de/newsletter](http://www.science-on-stage.de/newsletter)

[www.facebook.com/scienceonstagedeutschland](http://www.facebook.com/scienceonstagedeutschland)

[www.twitter.com/SonS\\_D](http://www.twitter.com/SonS_D)

Science on Stage Deutschland ist Mitglied in Science on Stage Europe e.V.

### [WWW.SCIENCE-ON-STAGE.EU](http://WWW.SCIENCE-ON-STAGE.EU)

[www.facebook.com/scienceonstageeurope](http://www.facebook.com/scienceonstageeurope)

[www.twitter.com/ScienceOnStage](http://www.twitter.com/ScienceOnStage)

