

# Science Friction

<Autor> Ilia Mestvirishvili

<Autor> David Shpakidze



## &lt;Info&gt;

<Schlagwörter> Reibungskraft, Bremsweg, Anti-Blockier-System (ABS), App-Programmierung, Datenerhebung

<Unterrichtsfächer> Physik, Informatik, Mathematik

<Altersgruppe> 14+ Jahre

<Hardware> Arduino<sup>[1]</sup>, Servomotor, Motor, Bluetooth-Modul, Motor-Shield, Photogate

<Programmiersprache> Arduino Programmierumgebung<sup>[2]</sup>, ApplInventor<sup>[3]</sup>, Snap4Arduino<sup>[4]</sup>, Blockly<sup>[5]</sup>

<Programmierniveau> leicht, mittel

## &lt;Zusammenfassung&gt;

Mit dem Bau eines preisgünstigen, Bluetooth-gesteuerten Autos mit einfachem Bremssystem wird die Untersuchung der verschiedenen Faktoren, die die Reibungskraft beeinflussen, zu einem interessanten und unterhaltsamen Experiment. So können die Schülerinnen und Schüler Echt Daten beobachten, wie z. B. die Geschwindigkeit vor dem Abbremsen, den Bremsweg und welchen Einfluss die Masse des Autos und die Oberflächenbeschaffenheit auf die Reibungskraft haben. In Experimenten untersuchen sie mit guter Genauigkeit die Beziehung zwischen diesen Faktoren und können so eigene und von der Lehrkraft vorgeschlagene Hypothesen überprüfen.

## &lt;Vorstellung des Konzepts&gt;

Die Reibung ist eine sehr wichtige Kraft im Alltag und wird im Physikunterricht sowohl auf Mittel- als auch Oberstufenniveau vermittelt. Herkömmliche Experimente mit der Reibungskraft sind jedoch begrenzt und nicht sehr unterhaltsam. Dieses Projekt macht die Erforschung der Reibungskraft zu einer spannenden Gruppenarbeit mit folgenden Zielen:

1. Bau und Feinabstimmung eines Autos
2. Programmierung eines Arduino Mikrocontrollers<sup>[1]</sup> für die Messung der Momentangeschwindigkeit und des Bremswegs
3. Programmierung einer Smartphone-App mit ApplInventor<sup>[3]</sup> für das Senden, Empfangen und Anzeigen von Echt Daten auf dem Smartphone

## &lt;Praktische Umsetzung&gt;

Da diese drei Aufgaben zuerst einmal parallel erarbeitet und gelöst werden können, empfehlen wir, Gruppen mit je zwei oder drei Schülerinnen und Schülern getrennt daran arbeiten zu lassen. Hierbei können sich die Arbeitsgruppen austauschen.

Wenn im Lehrplan die Einführung der Reibung vorgesehen ist, können die Lehrkräfte die Inhalte parallel zu diesem Projekt


unterrichten, wodurch die Schülerinnen und Schüler motivierter sind und die theoretischen Konzepte leichter verstehen. Am besten startet man das Projekt mit den folgenden Fragen und gibt den Schülerinnen und Schülern dann Zeit zur Erarbeitung eigener Ideen, Voraussagen und Hypothesen:

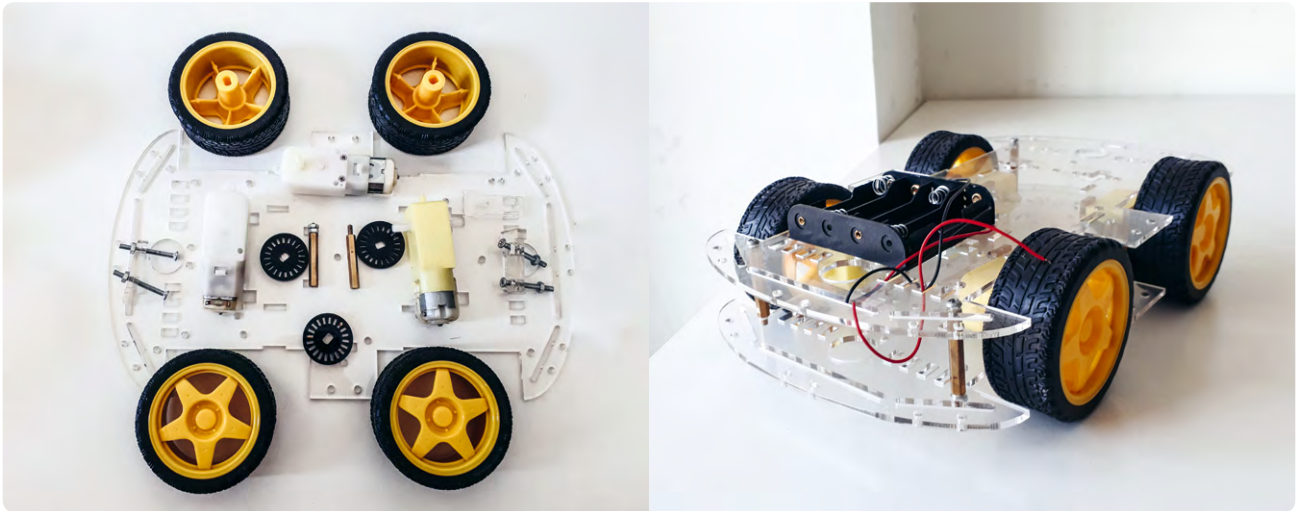
- ↳ Welche Beziehung besteht zwischen der Geschwindigkeit eines Autos und dem Bremsweg? (Die Antworten können verschieden ausfallen, z. B. „der Bremsweg verhält sich proportional zur Geschwindigkeit vor dem Abbremsen“, oder einige werden sich aus dem Physikunterricht „erinnern“, dass sich der Bremsweg proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit verhält.)
- ↳ Wie würde eine größere Automasse den Bremsweg beeinflussen, vorausgesetzt, dass alle anderen Faktoren nicht verändert werden? (Eine gängige Antwort ist, dass die Erhöhung der Masse den Bremsweg verlängert.)
- ↳ Wie sollten wir die Bremsen einsetzen, um das Auto so rasch wie möglich zum Stillstand zu bringen? (Mögliche Antworten: am besten die Räder vollständig blockieren; die Räder in die entgegengesetzte Richtung drehen lassen, um das Auto rascher anzuhalten; usw.)
- ↳ Wenn die Vorder- und Hinterradbremmen identisch sind, wird das Auto in der gleichen Zeit zum Stillstand kommen? (Schülerinnen und Schüler können ihre eigenen Erfahrungen mit Fahrrädern einbringen.)
- ↳ Weitere Fragen können von der Lehrkraft oder den Schülerinnen und Schülern kommen.

Nachdem die Schülerinnen und Schüler ihre anfänglichen Ideen notiert haben, überlegen sie im nächsten Schritt, wie sie ein einfaches Auto bauen können und welche Daten sie benötigen, um ihre anfänglichen Ideen zu prüfen und weiterzuentwickeln. Die Lehrkraft kann diesen Prozess vereinfachen und vorschlagen, ein Auto zu bauen, das relevante Daten sammeln und an ein Smartphone senden kann, welches wiederum sowohl das Auto steuert als auch Daten empfängt und anzeigt.

Die Schülerinnen und Schüler können sich nun je nach ihren Interessen, Kenntnissen und Präferenzen in die eingangs genannten drei Gruppen aufteilen. Natürlich kann auch nur eine Gruppe alle diese Aufgaben erarbeiten und lösen. Die nächsten Schritte im Projekt sind für beide Szenarien die gleichen.

## &lt;Bau eines Fahrgestells und Einbau der elektrischen Komponenten&gt;

Bei diesem Ansatz wird ein Auto mit dem kostengünstigen und jederzeit erhältlichen, in  1 gezeigten Arduino<sup>[1]</sup> Fahrgestellbausatz gebaut. Wir möchten Lehrkräfte, sowie Schülerinnen und Schüler dazu ermutigen, verschiedene Ansätze zur Planung und Umsetzung auszuprobieren, z. B. unterschiedliche



© 1: Vollständiger Fahrgestellbausatz

Methoden zur Datenerfassung und -übermittlung, zur Fernsteuerung des Autos sowie verschiedene Applikationen und Programmiersprachen.

Nachdem das Auto zusammengebaut und entschieden wurde, wo der Arduino und der Motor installiert werden, machen sich die Schülerinnen und Schüler Gedanken über die verschiedenen Möglichkeiten zur Messung der Autogeschwindigkeit. Wir empfehlen, ein Brainstorming durchzuführen und ihnen die Gelegenheit zu bieten, eigene Ideen vorzubringen. Mit der richtigen Unterstützung durch die Lehrkraft ist die beste und einfachste Vorgehensweise der Einsatz eines Photogates, damit die Drehgeschwindigkeit eines frei drehenden Hinterrads gemessen werden kann, was danach eine Messung sowohl der momentanen Geschwindigkeit als auch der zurückgelegten Distanz erlaubt. Dies kann entweder mit dem Material des Arduino 4-Rad-Fahrgestell-Bausatzes (4 wheel chassis kit) gemacht oder separat entwickelt werden, wenn die Lehrkraft dies bevorzugt.

Hier ist etwas Mathematik erforderlich, um die Anzahl der vom Photogate ermittelten Blockierereignisse in Geschwindigkeit oder Strecke umzuwandeln. Der Bausatz enthält eine Scheibe mit 22 Löchern und ein Rad mit einem Durchmesser von  $5,1 \pm 0,1$  cm. So lässt sich leicht berechnen, dass ein vom Photogate ausgehender Impuls, der  $1/22$  einer vollen Radrotation ist, einer zurückgelegten Distanz  $d = 0,72$  cm entspricht. Gleichzeitig misst und sendet das Photogate ein Zeitintervall  $t$  in Millisekunden zwischen den fortlaufenden Impulsen. Indem  $0,72$  cm durch dieses Zeitintervall dividiert wird, wird die momentane Geschwindigkeit berechnet.

Unabhängig davon, ob Sie mit drei Gruppen oder nur mit einer arbeiten, können die folgenden Schritte ausgeführt werden. Eine einzelne Gruppe arbeitet dabei diese Schritte einfach nacheinander ab, während drei Gruppen sich die Aufgaben teilen.

### <Arduino-Programmierung>

Die Gruppe, die den Arduino<sup>[4]</sup> programmiert, arbeitet am Programm auf folgende Weise:

1. Sie definiert die Aktionen und daraus folgend die Methoden und Funktionen, die für die Erhebung und Bluetooth-Übermittlung der erforderlichen Daten benötigt werden,
2. schreibt und testet jede Methode separat und
3. fügt alles zusammen.

Für Anfängerinnen und Anfänger wäre es gut, mit TinkerCad<sup>[6]</sup> zu starten, womit die Arduino-Schaltkreise online geplant und getestet werden können, sodass Ausbrennen oder ein Kurzschluss schon in der Prototyp-Phase vermieden werden können.

Wir erklären nun jeden Schritt detaillierter:

1. Die erforderlichen Aktionen sind: Motor starten und ausschalten, Bremsen aktivieren und deaktivieren, Distanz messen, Geschwindigkeit messen, Daten über Bluetooth senden und empfangen.
2. Der entscheidende Teil ist das Schreiben je eines Programms zur Messung der Geschwindigkeit und der zurückgelegten Distanz während eines Experiments. Beide Programme nutzen die Impulse des Photogates und werden aktiviert, wenn von der Smartphone-App via Bluetooth „2“ empfangen wird:
  - ↳ Für die Distanzmessung gibt es einen Zähler, der die Impulse zu zählen beginnt, die von einem frei drehenden Hinterrad an den Arduino gesendet werden, sobald die Bremsen an den Vorderrädern aktiviert werden.
  - ↳ Um die momentane Geschwindigkeit zu messen, werden die Zeitintervalle zwischen den Impulsen erfasst. Die Distanz, die ein Hinterrad während eines Impulses zurücklegt, beträgt  $0,72$  cm. Somit muss dieser Wert durch das Zeitintervall zwischen den Impulsen dividiert werden.



↳ Die Funktionalität eines Anti-Blockier-Systems (ABS) könnte umgesetzt werden, indem die Bremsen einmal alle 50–200 ms (experimentell optimiert) aktiviert und deaktiviert werden, was in den meisten Fällen zu einem kürzeren Bremsweg führt.

- Bei der Zusammenstellung eines Programms für den Arduino muss beachtet werden, dass alles in einer großen Schleife abläuft. Folglich sind bei einer Unterbrechung des Programms an einer beliebigen Stelle alle anderen Schritte betroffen.

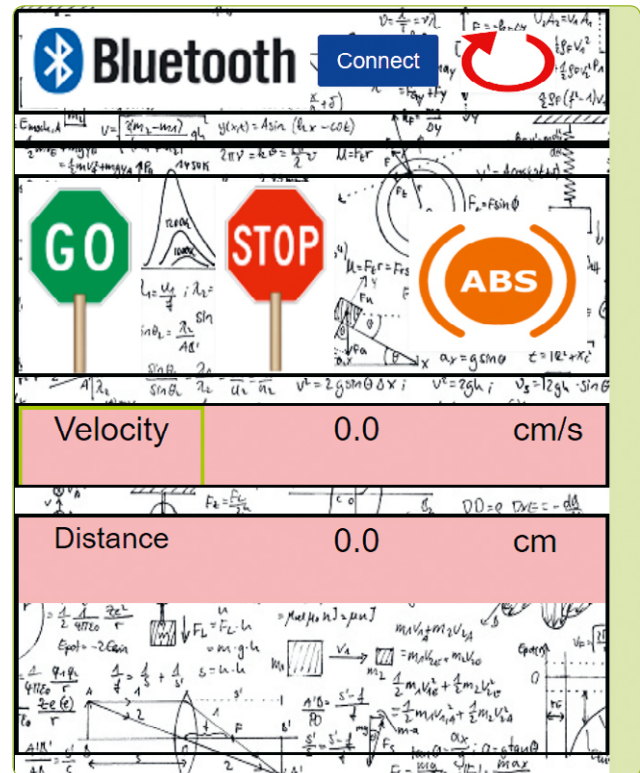
Das Musterprogramm und die Nachweise anderer Quellen für jede dieser Funktionalitäten sind online verfügbar<sup>[7]</sup>, jedoch sollten die Schülerinnen und Schüler mit etwas Unterstützung durch die Lehrkraft ermutigt werden, ihr eigenes Programm zu schreiben.

### <Android-Programmierung>

Die Android-Programmiergruppe kann mit AppInventor<sup>[3]</sup> Möglichkeiten untersuchen, die Daten am Bildschirm anzeigen zu lassen (Benutzeroberfläche). Die Schülerinnen und Schüler entscheiden, wo und wie sie die Tasten für die Autosteuerung sowie die Anzeigefelder und Beschriftungen für die Datenanzeige auf dem Bildschirm anordnen (☺ 2). Der Code für das AppInventor-Programm ist online verfügbar<sup>[7]</sup> und hat die folgenden Funktionalitäten:

- Das Drücken der **START**-Taste sendet via Bluetooth eine „1“ an den Arduino, wodurch der Motor gestartet wird.
- Das Drücken der **STOP**-Taste sendet via Bluetooth eine „2“ an den Arduino, wodurch zuerst der Motor ausgeschaltet und dann die Bremsen aktiviert werden.
- Das Drücken auf **ABS** sendet via Bluetooth eine „3“ an den Arduino, wodurch zuerst der Motor ausgeschaltet wird und dann die Bremsen in regelmäßigen Intervallen aktiviert und deaktiviert werden (Simulation der ABS-Funktion).
- Nachdem **STOP** oder **ABS** gedrückt wurde, werden die empfangenen Daten über die momentane Geschwindigkeit vor dem Stoppen und über die Distanz, die das Auto nach dem Aktivieren der Bremsen zurückgelegt hat, d. h. der Bremsweg, in zwei entsprechenden Feldern mit den Beschriftungen „Geschwindigkeit“ (Velocity) bzw. „Distanz“ (Distance) angezeigt.
- Die Taste **ZURÜCKSETZEN** sendet via Bluetooth „0“ an den Arduino, wodurch die Daten zur Geschwindigkeit und zur Distanz gelöscht werden und der Arduino zurückgesetzt wird.

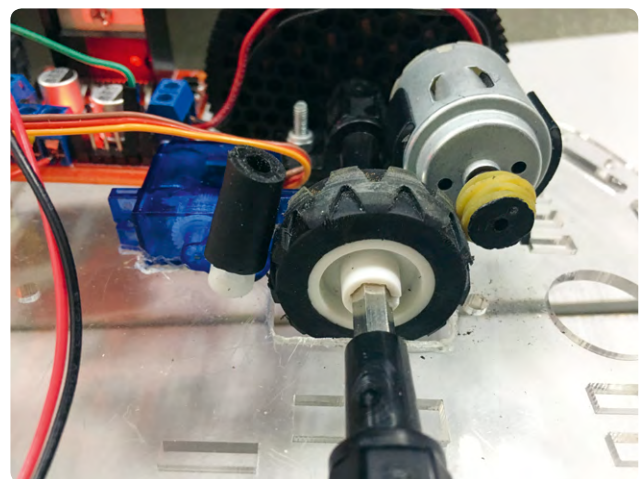
Wir empfehlen, das zur Verfügung gestellte Programm als Referenz für Lehrkräfte zu nutzen und den Schülerinnen und Schülern die Gelegenheit zu geben, AppInventor<sup>[3]</sup> auszuprobieren und ihr eigenes Programm mit den genannten Funktionalitäten zu schreiben.



☺ 2: Benutzeroberfläche der App

### <Bau des Autos>

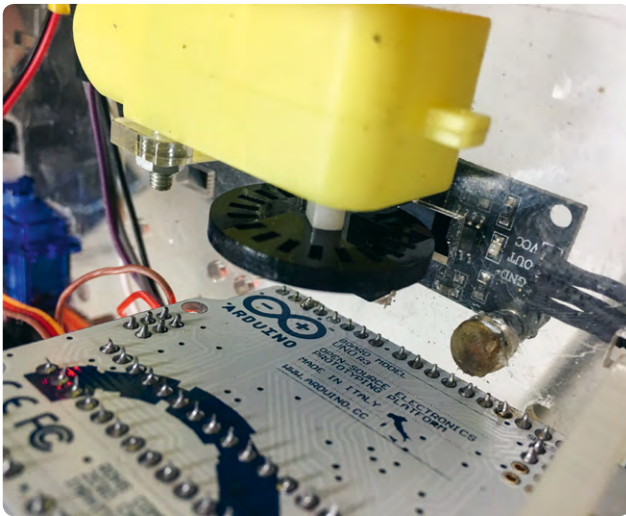
Die Gruppe, die das Auto baut, muss überlegen, wo und wie die Komponenten, d. h. Motor, Photogate, Servomotor, Batterien, Bluetooth-Modul, Motor-Shield und die Arduino-Platine selbst, befestigt werden sollen. Es ist wichtig sicherzustellen, dass der sich drehende Servomotor einen Griffzapfen mit einem Gummischlauch fest gegen die drehende Scheibe drückt, die an der Vorderradachse befestigt ist (☺ 3).



☺ 3: Das Bremssystem

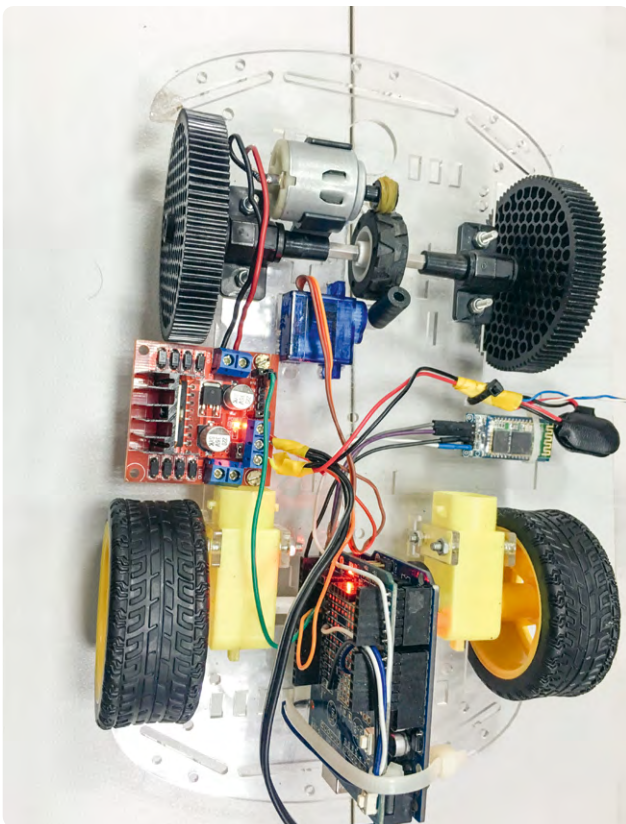
Es muss ausreichend Kraft ausgeübt werden, um die Räder sofort anzuhalten. Die Position des Photogates ist ebenso wichtig. Außerdem müssen alle Impulse korrekt gezählt werden – der empfohlene Photogate-Arduino-Sensor verfügt über eine eingebaute LED, die blinkt, sobald etwas in die Photogate-

Lücke kommt. Stellen Sie also sicher, dass das Photogate die Umdrehungen korrekt zählt, wenn sich die Hinterräder drehen (📷 4).



📷 4: Das Photogate

Außerdem müssen sich die Hinterräder jederzeit so frei wie möglich drehen. Denken Sie bitte daran, dass die freie Drehung der Hinterräder dazu dient, die Geschwindigkeit und die Distanz zu messen. Wenn das Auto fertig gebaut ist, sollte es ungefähr so aussehen wie in 📷 5.



📷 5: Das fertige Auto

Wir empfehlen, detaillierte Richtlinien bereitzuhalten, aber den Schülerinnen und Schülern die Gelegenheit zu bieten, eigene Lösungen zu entwickeln und umzusetzen.

### <Fazit>

Das Projekt bietet großartige Experimentiermöglichkeiten zum Verständnis von Grundkonzepten der Physik wie Haft- und Gleitreibung, aber gleichzeitig auch von relativ modernen Technologien wie ABS. Hier kommen Physik, Elektronik, Programmierung und Design zusammen und ermöglichen es, Faktoren zu erforschen, die den Bremsweg eines Autos beeinflussen. Echte experimentelle Daten sind immer eine Herausforderung, wenn es um Interpretation und Analyse geht. Wichtige Konzepte wie Messunsicherheit, Aussagekraft, Reproduzierbarkeit und Visualisierung müssen mitberücksichtigt werden. Das Projekt ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, die Reibungskraft auf praktische Weise zu erfahren und zu verstehen.

### <Kooperationsmöglichkeiten>

Dieses Projekt bietet großes Potential zur Teamarbeit, da seine drei unabhängigen Elemente – Konstruktion des Autos, Programmierung des Arduino<sup>[1]</sup> und Programmieren mit AppInventor<sup>[3]</sup> – weiterentwickelt und verbessert werden können. Dabei können alle in ihrer Arbeit gegenseitig voneinander profitieren.

Eine weitere Option zur Zusammenarbeit ist ein Wettbewerb zwischen Schulteam, bei welchem ein Auto mit den gleichen Rädern und der gleichen Masse möglichst schnell zum Stillstand gebracht werden muss; unter der Voraussetzung, dass der „Straßen“-Belag und die Geschwindigkeit vor dem Abbremsen dieselben sind.

Ein besonderer Dank gilt unseren griechischen Kollegen: Astrinos Tsoutsoudakis für seine wichtigen Vorschläge bezüglich der physikalischen Aspekte dieses Projekts und Georgios Georgoulakis für seine äußerst hilfreichen Programmtipps. Vielmals bedanken wir uns auch bei Jörg Gutschank für seine ausführlichen Rückmeldungen sowie seine Unterstützung, die dieses Projekt interessanter und leichter reproduzierbar gemacht haben.

### <Quellen und Hinweise>

- [1] [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)
- [2] [www.arduino.cc/en/Guide/Environment](http://www.arduino.cc/en/Guide/Environment)
- [3] <http://appinventor.mit.edu>
- [4] <http://snap4arduino.rocks>
- [5] <https://developers.google.com/blockly>
- [6] [www.tinkercad.com/circuits](http://www.tinkercad.com/circuits)
- [7] Sämtliches Zusatzmaterial ist erhältlich auf [www.science-on-stage.de/coding-materialien](http://www.science-on-stage.de/coding-materialien).

# <Impressum>

## <Entnommen aus>

Coding im MINT-Unterricht  
[www.science-on-stage.de/coding](http://www.science-on-stage.de/coding)

## <Herausgeber>

Science on Stage Deutschland e.V.  
Am Borsigturm 15  
13507 Berlin

## <Revision und Übersetzung>

Translation-Probst AG

## <Gestaltung>

WEBERSUPIRAN.berlin

## <Illustration>

Rupert Tacke, Tricom Kommunikation und Verlag GmbH

## <Text- und Bildnachweise>

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

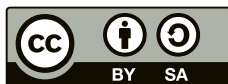
## <Bestellungen>

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

## <ISBN PDF-Fassung>

978-3-942524-60-5

Diese Publikation ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.



## 1. Auflage 2019

© Science on Stage Deutschland e.V.

Ein Projekt von



Hauptförderer von  
Science on Stage Deutschland



## Science on Stage Deutschland - 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 Ingenieurwachstum des Arbeitgeberverbandes GESAMTMETALL.

## Machen Sie mit!

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

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

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

## Bleiben Sie informiert!

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

Mit freundlicher Unterstützung von

