



DIONYSIS KONSTANTINOU · ANDREAS MEIER · ZBIGNIEW TRZMIEL

QUE NO TOQUE EL SUELO



🔑 movimiento, rotación, movimiento de rodadura, energía cinética de traslación, energía cinética de rotación, fricción

📖 física, TIC

👥 Se proporcionan dos conjuntos de actividades. El primero es apto para alumnos de 14–15 años, y ambos son aptos para alumnos de 16–18 años.

1 | SUMARIO

Los alumnos estudian el bote del balón en términos de movimiento, energía cinética e impulso. También descubren que la energía cinética de un cuerpo real se compone de energía cinética de traslación y de rotación.

2 | INTRODUCCIÓN DE CONCEPTOS

2 | 1 Sinopsis

Los porteros siempre dicen que cuando la pelota bota justo delante de ellos es mucho más difícil pararla. En esta unidad didáctica enseñamos a los alumnos a investigar los factores que provocan cambios en la energía y el movimiento de un balón cuando bota. En este contexto, los alumnos conocerán las leyes físicas relacionadas con los movimientos de traslación y de rotación de un cuerpo sólido, en especial con respecto al movimiento de rodadura. En la unidad se realizarán dos experimentos. Los alumnos grabarán el movimiento de un balón y lo analizarán con una herramienta de análisis de vídeo. Los experimentos se han escogido de manera que ofrezcan a los alumnos la oportunidad de estudiar los respectivos fenómenos. Así los alumnos sacarán sus conclusiones y serán capaces de explicar el bote de un balón en términos de fuerza, movimiento, impulso y energía.

2 | 2 Conocimientos necesarios

Los alumnos deberán estar familiarizados con la física del movimiento, el papel de la fuerza en el movimiento, y la energía cinética y potencial con respecto a masas puntuales. También deben ser capaces de trabajar con magnitudes vectoriales como velocidad o impulso lineal.

2 | 3 Trasfondo teórico

2 | 3 | 1 Cinética

El movimiento de rodadura es una combinación de movimiento de traslación y de rotación. En este tipo de movimiento:

1. El centro de la masa (cm) se mueve con un movimiento de traslación. Su velocidad con respecto al suelo es \vec{v}_{cm} .
2. El resto del cuerpo gira alrededor del centro de la masa, presentando dos tipos de movimiento: de traslación con \vec{v}_{cm} y de rotación.

Tomemos en consideración el punto i del cuerpo. En el segundo tipo de movimiento, su velocidad absoluta con respecto a su cm , es $v_{rel,cm}^i = r_i \omega$.

La velocidad angular se encuentra situada en el eje de rotación. La velocidad del punto i con respecto al cm es tangencial a la trayectoria del punto i . Las dos velocidades están conectadas por la regla de la mano derecha.

r_i : distancia del punto específico i desde el eje de rotación [m]

ω : velocidad angular del cuerpo [$\frac{1}{s}$]

v : velocidad [$\frac{m}{s}$]

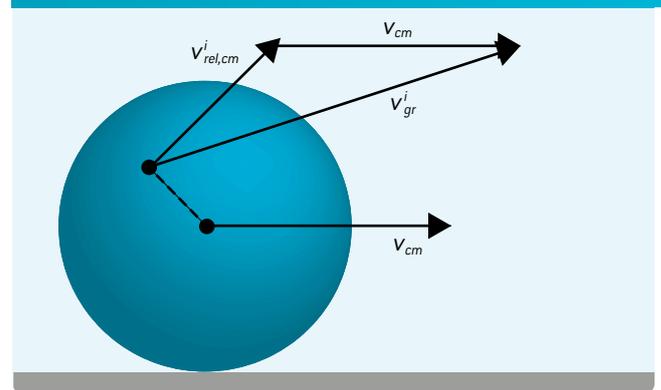
Con respecto a los puntos de la circunferencia, su $\vec{v}_{rel,cm}$ es $R\omega$.

R : radio del cuerpo [m]

Por tanto, la velocidad del punto i del cuerpo con respecto al suelo es la suma vectorial de las dos velocidades (FIG. 1).

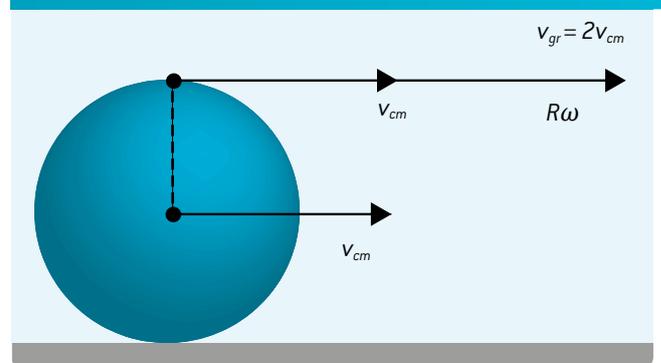
$$\vec{v}_{gr}^i = \vec{v}_{cm} + \vec{v}_{rel,cm}^i$$

FIG. 1



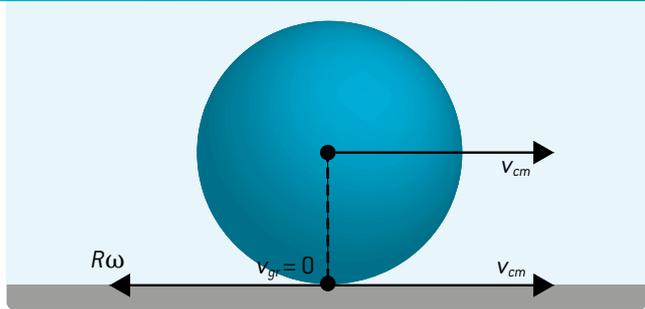
La velocidad \vec{v}_{gr} del punto más alto del cuerpo es igual a $2\vec{v}_{cm}$.

FIG. 2



La velocidad \vec{v}_{gr} del punto en contacto con el suelo es cero, es decir, momentáneamente se encuentra en reposo (FIG. 3).

FIG. 3



Finalmente, la condición $v_{cm} = R\omega$ significa que el cuerpo está rodando sin resbalar.

2 | 3 | 2 Energía cinética

Un cuerpo esférico en movimiento posee, en general, una energía cinética de traslación y de rotación: $E_{c,tr}$ y $E_{c,rot}$ respectivamente.

$$E_{c,tr} = \frac{1}{2}mv^2 \text{ y } E_{c,rot} = \frac{1}{2}I\omega^2$$

m : masa [kg]

I : momento de inercia [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

v : velocidad absoluta [$\frac{\text{m}}{\text{s}}$]

ω : velocidad angular del cuerpo esférico [$\frac{1}{\text{s}}$]

Pensemos en un cuerpo cuando cae al suelo, y centrémonos en el breve espacio de tiempo justo antes y justo después del impacto, en el que podemos investigar las fuerzas que actúan entre el cuerpo y la tierra.

Antes del impacto:

$$E_{c,tr(1)} = \frac{1}{2}mv_1^2 \text{ y } E_{c,rot(1)} = \frac{1}{2}I\omega_1^2.$$

Tras el impacto, estas dos cantidades siguen existiendo, pero con valores diferentes:

$$E_{c,tr(2)} = \frac{1}{2}mv_2^2 \text{ y } E_{c,rot(2)} = \frac{1}{2}I\omega_2^2.$$

Los índices 1 y 2 corresponden a los valores de antes y de después del impacto sobre el suelo.

La fuerza que actúa entre el suelo y el cuerpo consta de componentes verticales y horizontales. Suponiendo que el balón no resbala en el suelo, el componente horizontal es de fricción estática. Su trabajo sobre el balón es cero, mientras que su par provoca una aceleración angular. Eso significa que la velocidad angular cambia su magnitud y, a veces, su dirección. No obstante, la energía no se transforma en calor, y tan solo se produce un intercambio entre energía de traslación y energía de rotación. El componente vertical y el peso del balón producen una aceleración vertical con respecto al balón. Suponiendo que la pelota no resbala sobre el suelo, podemos aplicar el principio de conservación de la energía mecánica:

$$E_{p(1)} + E_{c,tr(1)} + E_{c,rot(1)} = E_{p(2)} + E_{c,tr(2)} + E_{c,rot(2)}.$$

E_p es la energía potencial, mientras que los índices 1 y 2 se refieren a los estados de justo antes y justo después de que bote la pelota.

Ya que nos centramos en el caso de una pelota que bota en el suelo, $E_{p(1)} = E_{p(2)}$

$$\text{y } E_{c,tr(1)} + E_{c,rot(1)} = E_{c,tr(2)} + E_{c,rot(2)}.$$

Debido a diversos factores, como la superficie del suelo o la velocidad angular del balón justo antes del impacto, es difícil estimar el efecto de la fricción. Por lo tanto, no es fácil predecir los datos relativos al movimiento del balón justo después de botar, especialmente el vector de su velocidad.

2 | 4 Experimentos y procedimientos

1. A fin de despertar su interés, se pide a los alumnos que dejen caer un balón al mismo tiempo que le aplican una rotación inicial^[1]. Se espera que los alumnos asocien el “chut” del balón con el efecto que se le ha dado.
2. Primer experimento (primera serie de actividades)
Los alumnos montarán una rampa formada por dos barras paralelas. La distancia entre estas dos barras debe ser inferior al diámetro de la pelota.



FIG. 4 Montaje del primer experimento

Se pide a los alumnos que suelten una pelota pequeña desde lo más alto de la rampa, graben su movimiento y lo analicen con una herramienta de análisis de vídeo como, por ejemplo, Tracker^[2]. Puede encontrarse una presentación exhaustiva de este software en la publicación *iStage 1 – Teaching Materials for ICT in Natural Sciences (materiales para la enseñanza de TIC en ciencias naturales)*^[3]. Sería incluso mejor usar una “cámara rápida” (120 fotogramas por segundo o más).

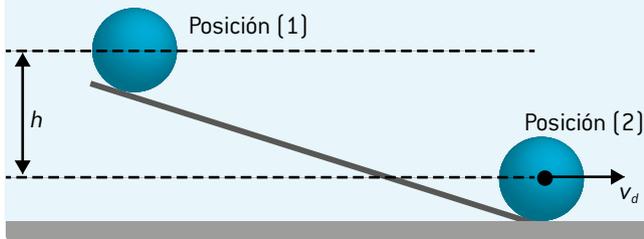
La pelota maciza (m, R) $I = \frac{2}{5}mR^2$ rueda sin deslizarse desde la posición (1) hasta el suelo, esto es, la posición (2), y continúa rodando por el suelo (FIG. 5).

Nota: el momento de inercia de un balón de fútbol de reglamento es más cercano a $\frac{2}{3}mR^2$.

En los experimentos se utiliza una pelota maciza.

A medida que la pelota baja rodando por la rampa, su velocidad v y su velocidad angular ω van cambiando de acuerdo a la fórmula $v = R\omega$.

FIG. 5



El principio de conservación de la energía es el siguiente:

$$mgh = \frac{1}{2}mv_d^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = \dots = \frac{7}{10}mv_d^2.$$

\vec{v}_d es la velocidad de la pelota en la base de la rampa. La energía cinética de traslación es igual a $\frac{5}{10}mv_d^2$, y por tanto la energía cinética de rotación es igual a $\frac{2}{10}mv_d^2$.

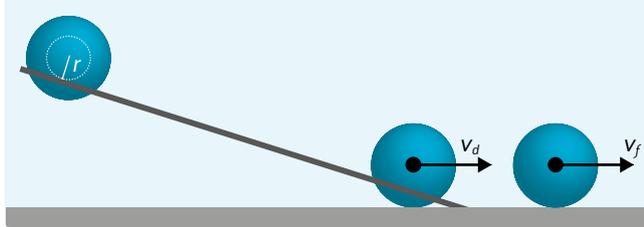
Por tanto, $\frac{E_{c,rot}}{E_{c,tr}} = \frac{2}{5}$.

En el experimento propuesto, el movimiento de la pelota en la rampa tiene lugar conforme a la fórmula $v = r\omega$, siendo r la distancia entre el eje de rotación y los puntos en los que la pelota toca la rampa.

El experimento se prepara (FIG. 6) de manera que $r < R$. Por consiguiente, el índice $\frac{E_{c,rot}}{E_{c,tr}}$

es mayor de $\frac{2}{5}$. Una vez que la pelota esté en el suelo, este índice será igual a $\frac{2}{5}$, de modo que el movimiento de rodadura adoptará una nueva configuración, en la que la distancia entre el eje de rotación y el punto en el que la pelota toca el suelo es igual a R .

FIG. 6



Esto es exactamente lo que ocurre y, tras una rápida transición, la velocidad de la pelota adquiere su valor final, siendo la velocidad \vec{v}_f mayor que la velocidad \vec{v}_d , con la que la pelota llega al suelo.

Los alumnos pueden apreciar, incluso a simple vista, que la pelota se desplaza más rápido en el suelo. A continuación pueden analizar el movimiento y definir las velocidades \vec{v}_d y \vec{v}_f .

Para hacerlo deben tener en cuenta la energía cinética de rotación. De lo contrario, no hay explicación en términos de conservación de la energía. Cualquier persona que sepa que un cuerpo sólido puede tener energía cinética de traslación y de rotación entenderá que parte de la energía cinética de rotación se ha transformado en energía cinética de traslación debido a la fricción entre el suelo y la pelota.

2 | 5 Materiales necesarios

Dos barras de un metro de largo cada una, con sus correspondientes soportes y conectores; una pelota pequeña, preferiblemente de goma dura maciza. Cualquier laboratorio típico de escuela estará equipado sin duda con estos materiales.

FIG. 7 Primera parte del movimiento, $v_d = 1,85$ m/s

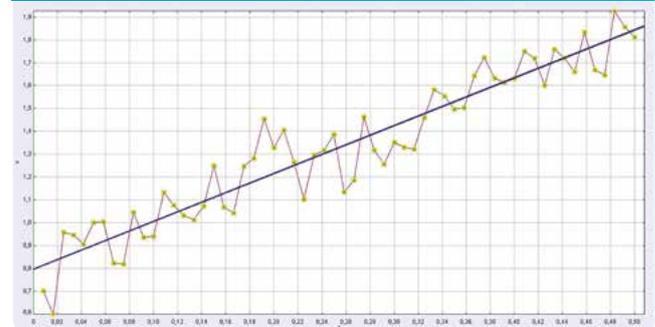


FIG. 8 Segunda parte del movimiento, $v_f = 2,4$ m/s



3 | QUÉ HACEN LOS ALUMNOS

3 | 1 Primer experimento: primera serie de actividades

1. Preparar el experimento.
2. Grabar un vídeo [1].
3. Analizarlo con una herramienta de análisis de vídeo como, por ejemplo, Tracker [2].
4. Definir las velocidades justo antes y justo después del impacto con el plano horizontal (véase FIG. 6 y FIG. 7).
5. Medir el radio de la pelota y definir su velocidad angular cuando empieza a rodar por el suelo (FIG. 9).
6. Medir la masa de la pelota y definir la energía cinética de traslación justo antes ($E_{c,tr(1)}$) y justo después ($E_{c,tr(2)}$) del impacto con el plano horizontal (FIG. 9).
7. Explicar el cambio producido en la energía cinética.



FIG. 9 $\omega = 156 \text{ s}^{-1}$, $E_{c, \text{tr}(1)} = 2,46 \cdot 10^{-2} \text{ J}$, $E_{c, \text{tr}(2)} = 4,14 \cdot 10^{-2} \text{ J}$



FIG. 10 Montaje del segundo experimento

3 | 2 Segundo experimento

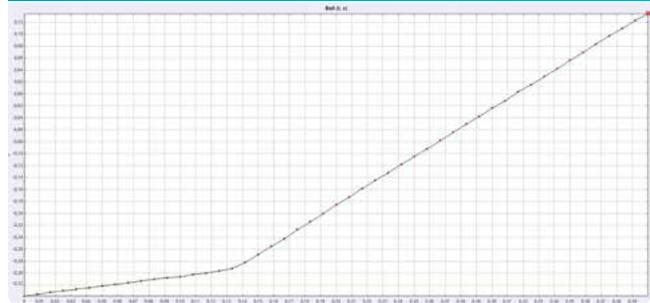
Los alumnos deben preparar un experimento parecido al primero. Sin embargo, esta vez el final de la rampa debe estar situado unos 0,6 metros por encima del plano horizontal.

Los alumnos deben dejar que la pelota ruede y caiga sobre la superficie de abajo. Deberán grabar el movimiento y analizarlo con una herramienta de análisis de vídeo como, p. ej., Tracker [2]. En este caso, el aspecto más interesante del movimiento comienza cuando la pelota sale de la rampa, y adquiere un giro considerable. En este experimento, los alumnos profundizarán en los temas "movimiento" y "energía".

Segunda serie de actividades

1. Preparar el experimento.
2. Dejar rodar la pelota cuesta abajo desde lo alto de la rampa y grabar el movimiento con una cámara [1].
3. Trazar un gráfico de x vs. t y definir el componente horizontal de la velocidad de la pelota v_x cuando cae y cuando se eleva. Explicar el cambio producido en v_x .

FIG. 11 Ejemplo de gráfico en el que se muestra el cambio de velocidad



4. Medir la masa de la pelota y calcular cuánta $E_{c, \text{rot}}$ de la pelota se transforma en $E_{c, \text{tr}}$. También se debe definir la velocidad de la pelota justo antes y justo después de que bote.

$$v_{\text{caída, fin}} = 2,55 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad E_{c, \text{tr}(1)} = 4,67 \cdot 10^{-2} \text{ J (FIG. 12) y}$$

$$v_{\text{elev, inic}} = 2,76 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad E_{c, \text{tr}(2)} = 5,47 \cdot 10^{-2} \text{ J (FIG. 13)}$$

$$\Delta E_{c, \text{tr}} = 0,8 \cdot 10^{-2} \text{ J} = -\Delta E_{c, \text{rot}}$$

FIG. 12

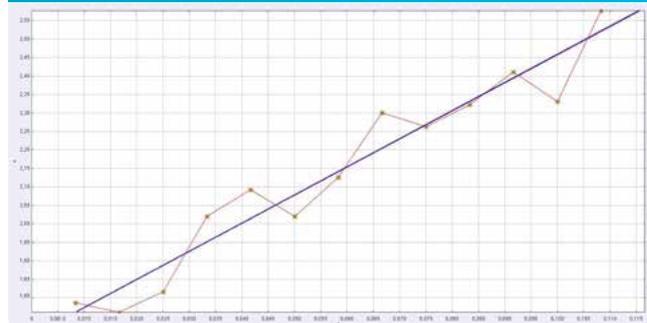
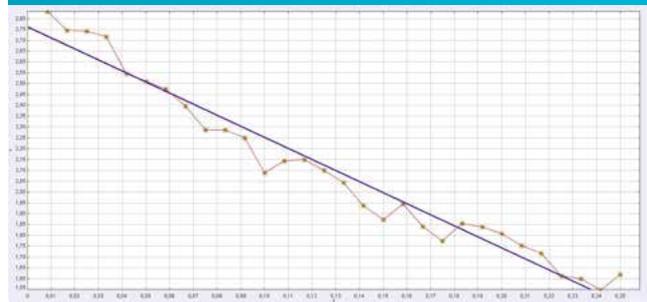


FIG. 13



5. Definir el cambio $\Delta \vec{p}$ [$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$] en el impulso de la pelota durante su contacto con el suelo.

$$\Delta \vec{p} = m \Delta \vec{v}$$

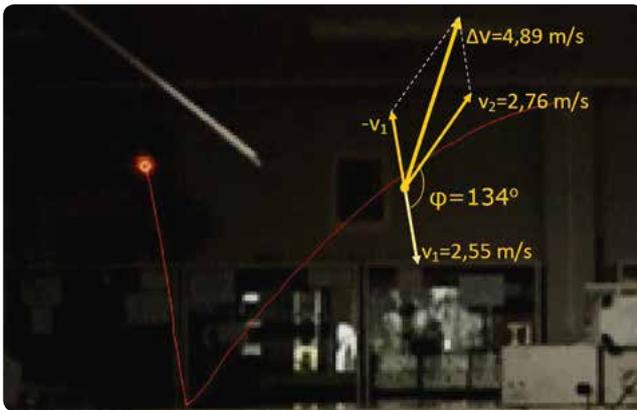


FIG. 14

\vec{v}_1 y \vec{v}_2 son las velocidades justo antes y justo después de botar. Sus valores absolutos en el experimento específico son $2,55 \frac{m}{s}$ y $2,76 \frac{m}{s}$ respectivamente, con un ángulo de $\phi = 134^\circ$ entre ellos.

$\vec{\Delta v}$ es el cambio en la velocidad. Su valor absoluto se calcula que es de $4,89 \frac{m}{s}$. El ángulo entre \vec{v}_2 y $\vec{\Delta v}$ se calcula que es de 24° .

El cambio en el impulso se obtiene de la fórmula $\vec{\Delta p} = m \vec{\Delta v}$.

Su dirección es la misma que la de $\vec{\Delta v}$ y su valor absoluto es $7 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \frac{m}{s}$.

6. Considerar la segunda parte del movimiento como si la pelota se hubiera lanzado desde el nivel del suelo. Definir las magnitudes iniciales que caracterizan este lanzamiento y calcular la altura máxima y el rango del lanzamiento. Comparar los valores que se hayan determinado con los respectivos valores del programa Tracker. Explicar las posibles diferencias entre el análisis de datos y los valores teóricos.

4 | CONCLUSIÓN

Los alumnos deben observar los cambios producidos en el movimiento y la energía de una pelota, y relacionarlos con la fuerza (especialmente su componente horizontal) que actúa entre la pelota y el suelo, y con el par de torsión de esta fuerza. Al mismo tiempo, también deben llegar a la conclusión de que la energía cinética de un cuerpo sólido se compone de dos cantidades (energía cinética de traslación y de rotación). Finalmente, también deben superar algunas ideas preconcebidas, posiblemente derivadas del hecho de que se suele trabajar con el modelo de masa puntual al estudiar mecánica.

5 | OPCIONES DE COOPERACIÓN

Alumnos de diferentes escuelas, no necesariamente del mismo país, pueden comunicarse e intercambiar vídeos, principalmente sobre la primera actividad. Se supone que llegarán a las mismas conclusiones, que podrán debatir mediante teleconferencia.

Finalmente, pueden reunirse y realizar una serie de actividades, como por ejemplo:

1. Salir con una cámara de vídeo; grabar un vídeo de una pelota cayendo al suelo y observar los datos del movimiento de la pelota durante su impacto con el suelo.
2. Analizar este movimiento.
3. Extraer conclusiones sobre las características de la fricción durante el impacto de la pelota con el suelo.
4. Definir la velocidad de la pelota antes y después de tocar el suelo, medir la masa de la pelota y calcular la energía cinética de traslación.
5. Pedir a alguien de la clase (que juegue bien al fútbol) que chute el balón con diferentes técnicas, grabarlo en vídeo y describir los resultados cuando el balón toca el suelo.
6. Dar una respuesta definitiva a la pregunta crucial: ¿por qué los porteros tienen más dificultades cuando la pelota bota en el suelo justo delante de ellos?
7. Una vez completadas las actividades, jugar un partido de fútbol dedicado a la ciencia. Naturalmente, será un partido en el que todos salgan ganando, sea cual sea el resultado final.

RECURSOS

- [1] www.science-on-stage.de/iStage3_materials
- [2] www.physlets.org/tracker
- [3] www.science-on-stage.de/iStage1-download



IMPRINT

TAKEN FROM

iStage 3 - Football in Science Teaching
available in Czech, English, French, German,
Hungarian, Polish, Spanish, Swedish
www.science-on-stage.eu/istage3

PUBLISHED BY

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

REVISION AND TRANSLATION

TransForm Gesellschaft für Sprachen- und Mediendienste mbH
www.transformcologne.de

CREDITS

The authors have checked all aspects of copyright for the images and texts used in this publication to the best of their knowledge.

DESIGN

WEBERSUPIRAN.berlin

ILLUSTRATION

Tricom Kommunikation und Verlag GmbH
www.tricom-agentur.de

PLEASE ORDER FROM

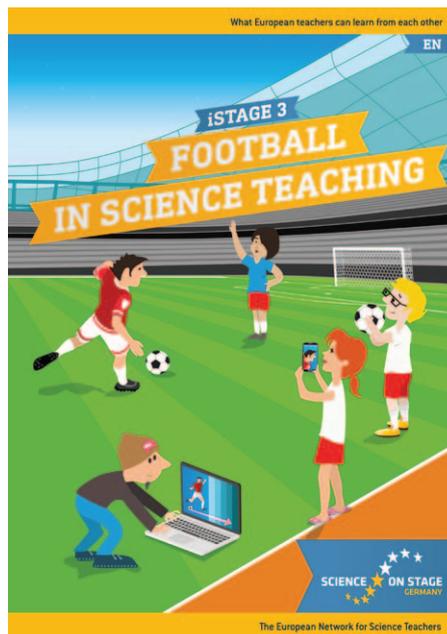
www.science-on-stage.de
info@science-on-stage.de

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



First edition published in 2016

© Science on Stage Deutschland e.V.



SCIENCE ON STAGE – THE EUROPEAN NETWORK FOR SCIENCE TEACHERS

- ... is a network of and for science, technology, engineering and mathematics (STEM) teachers of all school levels.
- ... provides a European platform for the exchange of teaching ideas.
- ... highlights the importance of science and technology in schools and among the public.

The main supporter of Science on Stage is the Federation of German Employers' Associations in the Metal and Electrical Engineering Industries (GESAMTMETALL) with its initiative think ING.

Join in - find your country on

WWW.SCIENCE-ON-STAGE.EU

 www.facebook.com/scienceonstageeurope

 www.twitter.com/ScienceOnStage

Subscribe for our newsletter:

 www.science-on-stage.eu/newsletter



MAIN SUPPORTER OF
SCIENCE ON STAGE GERMANY

think
ING.
Die Initiative für
Ingenieur Nachwuchs

Proudly supported by

