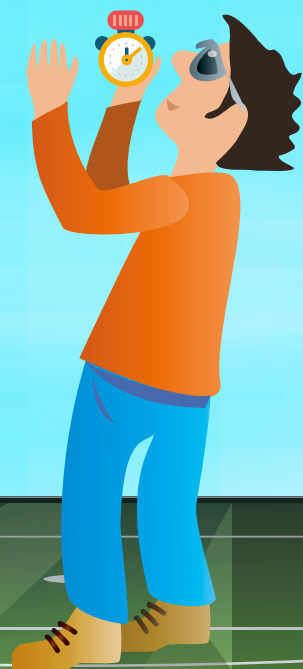
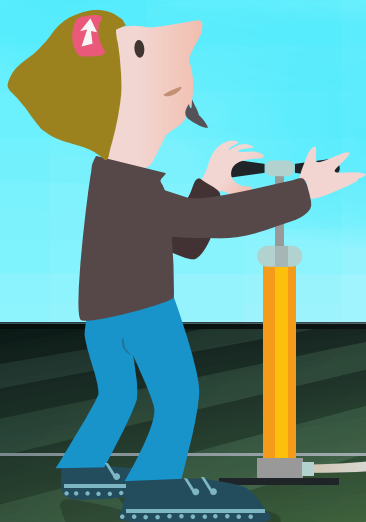





KIRSTEN BIEDERMANN · ANDERS FLORÉN · PHILIPPE JEANJACQUOT · DIONYSIS KONSTANTINOU · CORINA TOMA

BAJO PRESIÓN



 balón, masa, balanza, bomba, presión, gas ideal, colisión elástica, coeficiente de restitución

 física, matemáticas, TIC

 Esta unidad se puede utilizar para enseñar a estudiantes de diferentes edades, principalmente de primaria y secundaria. Cada parte se puede adaptar para adecuarla a diferentes niveles.

Nivel 1: Para primaria (edad: 9–12 años)

Nivel 2: Para secundaria (edad: 12–15 años)

Nivel 3: Para secundaria (institutos, edad: 15–18 años)

1 | SUMARIO

¿Alguna vez te has preguntado lo importante que es la presión del aire del balón? Esta unidad presenta distintas actividades centradas en la presión. La primera actividad empieza con la medición de la masa del aire dentro del balón y destaca su proporcionalidad directa con la presión interna. La segunda estudia la dependencia de la altura máxima alcanzada por el balón después de la primera colisión o rebote de la presión del aire dentro del balón y al mismo tiempo muestra la importancia de la condición de la superficie del terreno.

2 | INTRODUCCIÓN DE CONCEPTOS

Nuestro objetivo es destacar que con experimentos sencillos los alumnos pueden medir la masa del aire dentro del balón y verificar luego la dependencia lineal entre presión y masa según la ley de los gases ideales. Por último, estudiarán la importancia de la presión en el proceso de rebote y aplicarán la ley de conservación de la energía mecánica.

2 | 1 Parte 1: Masa de aire respecto a presión

Ver los detalles de las actividades en la parte 3 *Qué hacen los alumnos*.

Nivel 1:

Se pueden realizar dos actividades distintas e independientes. La primera se centra en la masa del aire y en cómo medir la masa de aire dentro del balón. El profesor podría usar un método a base de preguntas del tipo: “¿Cómo podéis averiguar la masa de aire dentro del balón?” Los alumnos sugerirán y realizarán experimentos, como usar la balanza, hinchar el balón y comprobar la masa del balón una vez hinchado. En la segunda actividad, los alumnos se centrarán en el volumen y los métodos para averiguar el volumen del balón (p. ej., con un cubo de agua).

Nivel 2:

Medir la masa de aire dentro del balón a distintas presiones. Encontrar la relación entre la presión y la masa de aire (supuesto: el volumen del balón no cambia cuando la presión aumenta). Los alumnos pueden dibujar un gráfico de la masa del gas respecto a la presión. Los alumnos también pueden medir el volumen del balón. También puede servir para averiguar la flotabilidad del balón (en el aire).

Nivel 3:

Los alumnos pueden hacer los mismos experimentos que los del nivel 2. Compararán su gráfico de dependencia entre la masa y la presión del aire dentro del balón con la ley de los gases ideales y calcularán los distintos parámetros del gas a partir de la pendiente del gráfico.

2 | 2 Parte 2: Altura de rebote respecto a presión

Nivel 1:

Centrarse en las diferencias de altura (cualitativamente): Lanzar dos balones desde la misma altura y observar el efecto directo de las distintas presiones del balón. Elegir un procedimiento y los datos que se van a recopilar, recoger los datos y comentarlos una vez terminado el experimento.

Nivel 2:

Centrarse en las diferencias de altura (cualitativamente): Medir la altura máxima después del primer rebote, repetir el experimento diez veces buscando la forma de detectar la altura, p. ej., haciendo una película a alta velocidad con un smartphone. Aprender sobre el azar y otros factores que explican los diferentes resultados y calcular la altura media.

Nivel 3:

Centrarse en el uso de un modelo matemático de caída libre para analizar los datos. Empezando con el nivel 2, analizar los datos para encontrar la pérdida de energía con la fórmula $E_p = m \cdot g \cdot h$ y comparando la energía al principio del experimento ($h = 1$ m u otro valor) y después del primer contacto del balón con el suelo. Los alumnos pueden calcular también la duración de un rebote y la velocidad máxima del primer contacto con el suelo e intentar medirlo. Por último, pueden comparar la energía potencial y la cinética (E_p y E_c) y calcular el coeficiente de restitución (ver 3.2.1).

E_p : energía potencial [J]

m : masa del balón [kg]

g : aceleración gravitacional; $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

h : altura alcanzada por el balón [m]

La Parte 2 puede hacerse en distintas superficies como césped, el suelo del gimnasio, asfalto, hormigón, césped mojado, césped corto, césped alto y arena. Los alumnos de todos los niveles deben presentar sus hipótesis, debatirlas y analizar los experimentos a distintos niveles. Yendo más allá, sería interesante desarrollar una tabla que muestre la presión necesaria para conseguir la misma altura de rebote en diferentes superficies, por ejemplo, en distintos estadios.

3 | QUÉ HACEN LOS ALUMNOS

Esta unidad se divide en dos partes: medir la masa del gas respecto a la presión dentro del balón y medir la dependencia entre altura del rebote y la presión dentro del balón.

Hay dos formas distintas de medir la presión.

La presión relativa es la diferencia entre la presión dentro del balón y la presión atmosférica (fuera del balón); se utiliza un manómetro para medir la presión relativa. Utilizamos esta presión en la parte 1.

La presión absoluta es la cantidad total de presión. Utilizamos esta presión en la parte 2.

3 | 1 Parte 1: Medir la masa del gas respecto a la presión

Equipamiento necesario: bomba, manómetro (sistema de medición de presión), balanza (con una precisión de 0,1 g y un rango de medidas entre 0 y 1.000 g), boquilla para inflar el balón, vaso para poner el balón en la balanza, un balón.

Si el centro educativo no tiene este equipamiento, el experimento puede hacerse con instrumentos baratos.

[Lo más fácil es que la bomba lleve manómetro. Si no, se puede comprar un manómetro barato para neumáticos de automóvil; la boquilla es la misma que la que se usa para un balón].

3 | 1 | 1 Procedimiento

A continuación describimos los detalles del procedimiento propuesto. Algunas partes pueden obviarse si no corresponden al nivel de los alumnos.

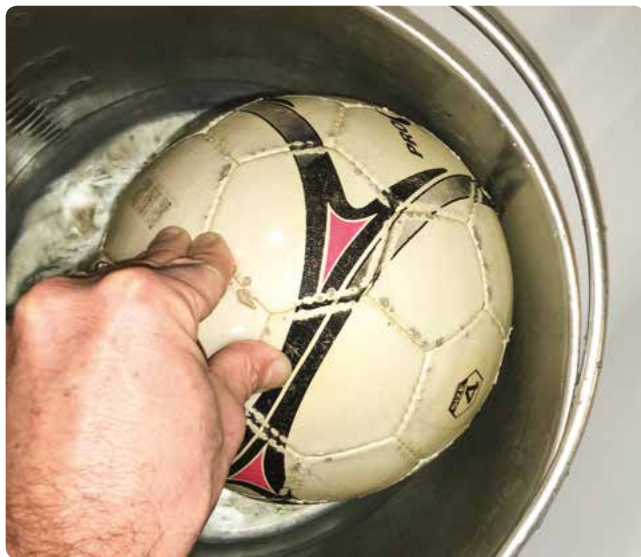


FIG. 1 El balón dentro del cubo

▪ Medir el volumen del balón (con y sin aire dentro)

Para medir el volumen del balón, se puede utilizar un cubo lleno de agua y medir los distintos niveles de agua con y sin el balón. Hay que tener cuidado porque el balón es de cuero y puede absorber agua, lo que incrementaría la masa del balón. Para evitarlo, se puede poner el balón en una bolsa de plástico. La presión del agua alrededor del balón "pegará" la bolsa contra el balón. El volumen será el mismo con y sin bolsa.



FIG. 2 Medir el nivel para obtener el volumen de agua

Si se toman las medidas sin la bolsa de plástico rodeando el balón, hay que medir el volumen después de medir la masa.

El volumen se puede medir con distintos niveles de agua dentro del cubo. Si los alumnos no pueden calcular el volumen de agua en el cubo, pueden llenar el cubo completamente, meter el balón dentro del cubo y medir el volumen de agua desalojada.

En este caso el volumen del balón vacío es de 1,65 l y el volumen del balón lleno es de 5 l. Esto significa que $5\text{ l} - 1,65\text{ l} = 3,35\text{ l}$ de aire dentro del balón.

▪ Medir la masa con aire dentro

Poner el vaso en la balanza, tararla, poner el balón en la balanza y medir la masa.

En este experimento usamos una balanza con una precisión de 0,1 g (entre 0 y 1.000 g), un balón de fútbol y una bomba con manómetro.

▪ Medir la masa del balón sin aire dentro

(por ejemplo $m_{\text{balón}} = 408,0\text{ g}$)



FIG. 3 El balón en la balanza



FIG. 4 Medir la masa del balón vacío

▪ **Inflar el balón para obtener la misma presión dentro que fuera**

La presión relativa, o la diferencia entre la presión interior y exterior del balón es $P = 0$ bar. Medir la masa del balón $m_{\text{balón}} = 408,0 \text{ g}$ (La misma masa que antes).

3 | 1 | 2 **Análisis: ¿Por qué es la masa igual con y sin aire dentro del balón?**

- **Pista:** El aire que nos rodea es un fluido que crea una fuerza con las mismas propiedades que la fuerza creada cuando metemos algo en el agua.
- **Respuesta:** La masa de aire dentro del balón se equilibra con la flotabilidad del aire que rodea el balón.
- Medir la masa del mismo balón a diferente presión. El manómetro dará la presión relativa.
- Recopilar los datos en una hoja de cálculo. Por ejemplo, se puede medir la masa para una presión relativa $P = 0,35$ bar; $P = 0,5$ bar; $P = 0,6$ bar; $P = 0,75$ bar; $P = 0,9$ bar; $P = 1,05$ bar, o elegir otras presiones.
- Dibujar la curva m en relación con P .
- Encontrar la curva que mejor se ajuste (es una función lineal).
- Encontrar la relación entre la pendiente de la línea recta y la ley de los gases ideales: $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$

Para ayudar a los alumnos a entender la ley de los gases ideales, el profesor puede dar pistas.

- **Primera pista:** La curva lineal tiene la fórmula

$$m_{\text{total}} = a \cdot P + m_{\text{balón}}$$

$$\text{o } m_{\text{total}} = m_{\text{gas}} + m_{\text{balón}}$$

Significa que: $m_{\text{gas}} = a \cdot P$.

- **Segunda pista:** $n_{\text{gas}} = \frac{m_{\text{gas}}}{M_{\text{gas}}}$.

m : masa [g]

P : presión relativa [Pa]

a : coeficiente de la pendiente de la curva [$\frac{\text{g}}{\text{bar}}$]

V : volumen [m^3]

n : cantidad de sustancia [mol]

M : masa molar [$\frac{\text{g}}{\text{mol}}$]

R : constante del gas ideal, $R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

T : temperatura [K]

- **Tercera pista:** El gas (aire) se compone aproximadamente de un 20% de oxígeno y un 80% de nitrógeno.

$$M_{\text{O}_2} = 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{ y } M_{\text{N}_2} = 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

3 | 2 **Parte 2: Medir la altura de rebote respecto a la presión**

3 | 2 | 1 **Teoría**

¿Te has preguntado si la presión del aire interior del balón es importante? Vamos a demostrar que el coeficiente de restitución e (elasticidad) depende de esa presión.

¿Qué es el coeficiente de restitución? Cuando un balón cae, aterriza a cierta velocidad respecto al suelo, lo que se denomina velocidad de aproximación. Tras una colisión elástica con el suelo, la velocidad de separación tendrá un valor diferente de la velocidad de aproximación porque parte de la energía cinética inicial se habrá perdido:

$$e = \frac{V_{\text{separación}}}{V_{\text{aproximación}}}$$

Es muy fácil calcular este coeficiente si se mide la altura inicial h_1 desde la que cae el balón y la altura máxima h_2 que puede alcanzar cuando el balón rebota contra el suelo.

Usamos la ley de la conservación de energía:

$$mgh_1 = \frac{mv_{\text{aproximación}}^2}{2} \quad mgh_2 = \frac{mv_{\text{separación}}^2}{2}$$

$$\text{Por lo tanto: } e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

e : coeficiente de restitución

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

m : masa [g]

g : aceleración gravitacional; $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

h : altura [m]

3 | 2 | 2 El experimento

Dejamos caer el balón desde una altura (h_1) y anotamos la altura (h_2) del rebote después de tocar el suelo. Podemos medir estas alturas en los vídeos.



FIG. 5 Sujetar el balón a la altura h_1 (izquierda); soltar el balón (derecha)

El experimento puede hacerse con distintos tipos de balón y de superficie [1].

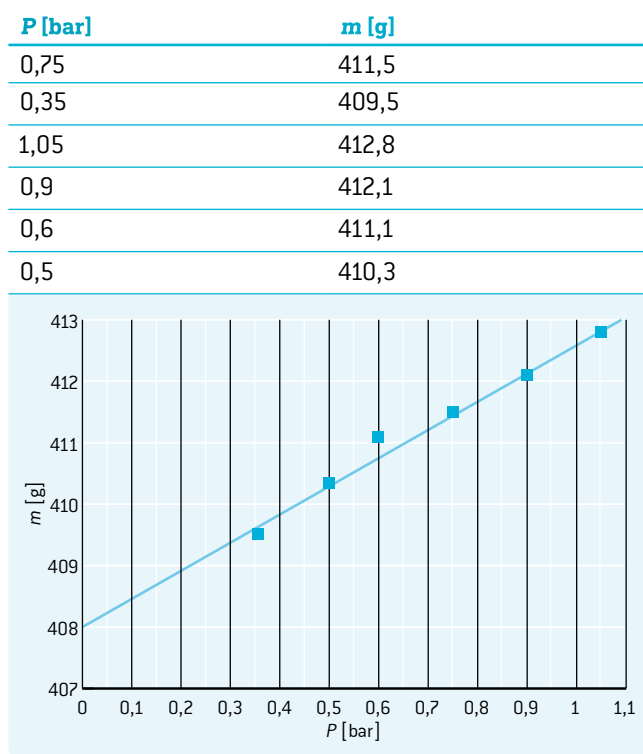
4 | CONCLUSIÓN

4 | 1 Parte 1: Medir la masa del gas respecto a la presión

4 | 1 | 1 Ejemplo de medición de la masa respecto a la presión de un balón

La masa del balón es $m_{balón} = 408,0 \text{ g}$ a $P = 0 \text{ bar}$.
El volumen del aire en el balón es $V = 3,35 \text{ l}$.

FIG. 6 $m[\text{g}]$ respecto a $P[\text{bar}]$ (presión relativa)



4 | 1 | 2 Ejemplo de cálculo con la ley de los gases ideales:

Aquí, la fórmula de la curva es $m = 4,5711 \frac{\text{g}}{\text{bar}} \cdot P + 408,0 \text{ g}$.

Vemos que el valor 408 es la masa del balón vacío en gramos o $m_{total} = a \cdot P + m_{balón}$.

m : masa total [g]

P : presión [bar]

a : coeficiente de la pendiente de la curva [$\frac{\text{g}}{\text{bar}}$]

En este caso $a = 4,5711 \frac{\text{g}}{\text{bar}}$.

El valor de a puede hallarse mediante la ley de los gases ideales:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T.$$

P : presión [Pa], $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

V : volumen [m^3]

n : cantidad de gas [mol]

R : constante del gas ideal, $R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

T : temperatura [K]

M : masa molar [$\frac{\text{g}}{\text{mol}}$]

Esto significa que $n_{gas} = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$ y $m_{gas} = M_{gas} \cdot \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$

$$\text{o } m_{gas} = \frac{M_{gas} \cdot V}{R \cdot T} \cdot P$$

y ya hemos visto en 3.2.1 que $m_{gas} = a \cdot P$,

$$\text{por tanto } a = \frac{M_{gas} \cdot V}{R \cdot T}.$$

El aire se compone de un 20% de oxígeno y un 80% de nitrógeno aprox., así pues

$$M_{gas} = \frac{20 \cdot M_{O_2} + 80 \cdot M_{N_2}}{100}$$

$$M_{gas} = \frac{20 \cdot 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 80 \cdot 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{100}$$

$$M_{gas} = 28,8 \frac{\text{g}}{\text{mol}}.$$

Con este balón

$$V = 3,35 \text{ l} = 3,35 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

$$a = \frac{M_{gas} \cdot V}{R \cdot T}$$

$$a = \frac{28,8 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 3,35 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,31 \frac{\text{J}}{\text{K mol}} \cdot 293 \text{ K}} = 3,96 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g}}{\text{Pa}}.$$

Este es el valor cuando P se mide en Pa. Para P en bares, el valor tiene que multiplicarse por 10^5 (porque $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$).

$$a = 3,96 \frac{\text{g}}{\text{bar}}$$

La curva que mejor se ajusta es $a = 4,57 \frac{\text{g}}{\text{bar}}$.

Si se comparan los dos resultados, la desviación relativa entre los dos resultados es:

$$d = \frac{4,57 - 3,96}{4,57} = 0,13.$$

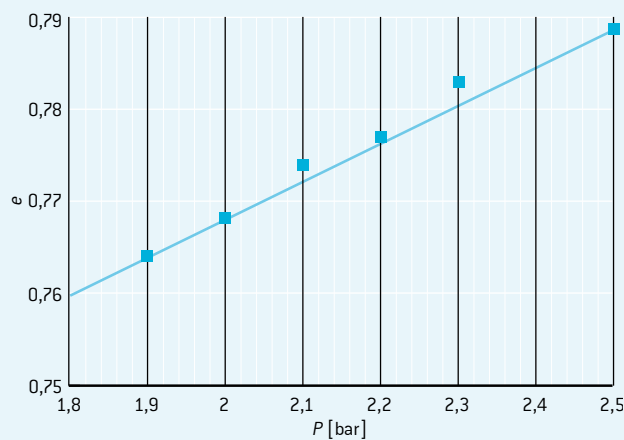
Podemos comentar los errores asociados a la medición: La precisión del manómetro es 0,05 bar en una medición aproximada de 1 bar. Puede seguir habiendo aire en el balón cuando medimos el volumen de un balón vacío.

4 | 2 Parte 2: Medir el rebote respecto a la presión

En nuestro experimento cambiamos la presión de aire interior en dos balones distintos y obtuvimos las cifras siguientes:

FIG. 7 Coeficiente de restitución e respecto a presión absoluta P (balón 1)

P [bar]	e
1,9	0,764
2,0	0,768
2,1	0,774
2,2	0,777
2,3	0,783
2,5	0,789



Aquí P es la presión absoluta en bares.

Para el primer balón, la dependencia es lineal porque la variación de la presión no es tan grande.

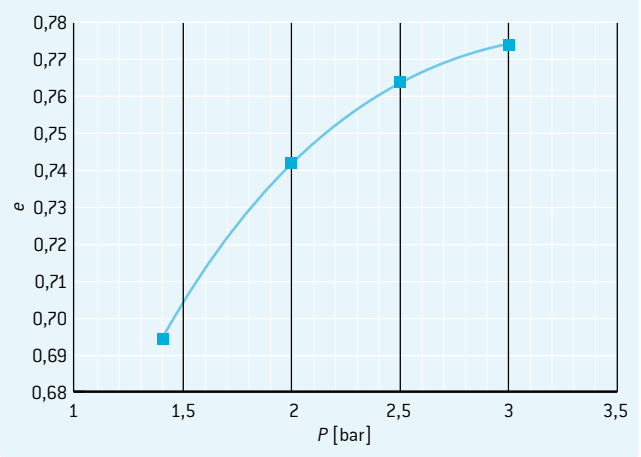
Para el segundo balón obtuvimos una curva. Cuando la presión es demasiado grande, el balón pierde elasticidad y el coeficiente de restitución parece llegar al límite.

En estos dos experimentos se dejó caer el balón en el suelo y puede verse que el coeficiente de restitución es más o menos de 0,77 para una presión de 3 bar.

Después cambiamos la superficie, pero la presión interior seguía siendo 3 bar. Sobre césped, el coeficiente de restitución era inferior: $e = 0,57$. En césped sintético, el coeficiente era de 0,74^[1].

FIG. 8 Coeficiente de restitución e respecto a presión absoluta P (balón 2)

P [bar]	e
1,4	0,695
2,0	0,742
2,5	0,764
3,0	0,774



5 | CONCLUSIÓN

Un balón es una buena herramienta para estudiar las leyes de los gases, las propiedades de la presión y la eficiencia de los rebotes. Los alumnos pueden estudiar las leyes de la física con un balón que forma parte del equipamiento deportivo. Pueden ver la relación entre las leyes de la física, como la ley de los gases ideales, y la vida diaria.

También es interesante observar que las actividades de esta unidad pueden enseñarse a alumnos de distintas edades, de los 6 a los 18 años. Es fácil encajar estas actividades en cualquier plan de estudios.

6 | OPCIONES DE COOPERACIÓN

Podemos compartir los resultados de distintos experimentos con balones.

Para ello, hay que descargar el archivo y seguir las instrucciones^[1].

Estamos seguros de que los estudiantes pueden compartir sus ideas sobre las diferencias entre sus mediciones o sus equipos experimentales. Pueden imaginarse otros experimentos con el balón: por ejemplo, grabar la deformación del balón cuando choca contra el suelo y la influencia de la presión en ese proceso.

REFERENCIAS

^[1] www.science-on-stage.de/iStage3_materials



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

