



DIONYSIS KONSTANTINOU · ANDREAS MEIER · ZBIGNIEW TRZMIEL

BOLLEN I RÖRELSE



☞ rörelse, rotation, rullande, translationsrörelseenergi, rotationsrörelseenergi, friktion

📖 fysik, IKT

👥 Två uppsättningar av aktiviteter beskrivs. Den första passar elever i åldern 14–15 år. Båda passar elever i åldern 16–18 år.

1 | SAMMANFATTNING

Eleverna studerar rörelse, rörelseenergi och rörelsemängd hos en boll. De upptäcker också att den kinetiska energin hos en verklig kropp består av både translations- och rotationsrörelseenergi.

2 | PRESENTATION AV VIKTIGA BEGREPP

2 | 1 Sammandrag

Målvakter säger att det blir svårare för dem om bollen studsar på marken framför dem. I denna undervisningsenhet visar vi eleverna hur man kan undersöka de faktorer som förändrar energin och rörelsen hos en boll när den studsar. I det här sammanhanget kommer eleverna att stöta på fysikens lagar i samband med translations- och rotationsrörelsen hos en fast kropp, särskilt för en rullande rörelse. Denna undervisningsenhet utgår från två experiment. Eleverna registrerar rörelsen hos en boll och använder ett videoanalysverktyg för att analysera rörelsen. Experimenten har valts på ett sådant sätt att eleverna får möjlighet att studera respektive fenomen. De kommer att kunna dra slutsatser om och förklara bollens studs med avseende på kraft, rörelse, rörelsemängd och energi.

2 | 2 Förekunskapskrav

Eleverna bör känna till rörelsens fysik, kraftens betydelse för rörelse samt potentiell och kinetisk energi i förhållande till punktmassor. De bör också kunna arbeta med vektorstorheter som hastighet och rörelsemängd.

2 | 3 Teoretisk bakgrund

2 | 3 | 1 Kinetik

Rullande rörelse är en kombination av translationsrörelse och rotationsrörelse. För denna typ av rörelse gäller:

1. Masscentrum (cm) förflyttar sig med en translationsrörelse. Dess hastighet i förhållande till marken är \vec{v}_{cm} .
2. Resten av kroppen roterar runt masscentrum och uppvisar två slags rörelser, närmare bestämt en translationsrörelse med \vec{v}_{cm} och en rotationsrörelse.

Låt oss betrakta punkt i på kroppen. I den andra typen av rörelse är dess absoluta hastighet, i förhållande till sitt cm , lika med $v_{rel,cm}^i = r_i \omega$.

Vinkelhastigheten utgår från rotationsaxeln. Hastigheten hos punkt i i förhållande till cm är tangentiell till banan för punkt i . De två hastigheterna är förbundna med högerhandsregeln.

r_i : avståndet mellan den specifika punkten i och rotationsaxeln [m]

ω : kroppens vinkelhastighet [$\frac{1}{s}$]

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

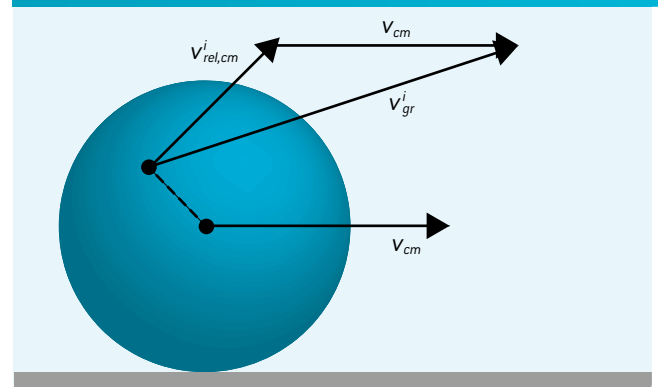
I förhållande till punkterna på omkretsen kommer deras $\vec{v}_{rel,cm}$ att bli $R\omega$.

R : kroppens radie [m]

Därför är hastigheten för punkt i på kroppen i förhållande till marken lika med vektorsumman av de båda hastigheterna (FIG. 1).

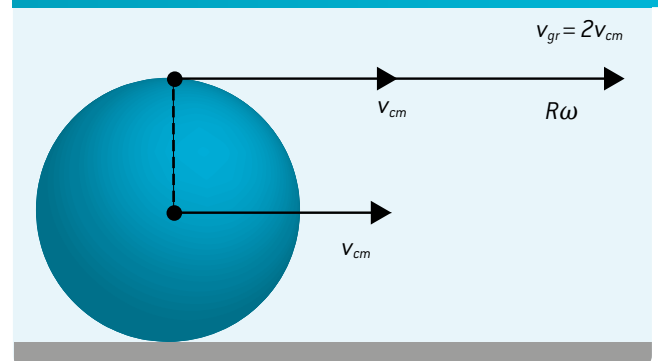
$$\vec{v}_{gr}^i = \vec{v}_{cm} + \vec{v}_{rel,cm}^i$$

FIG. 1



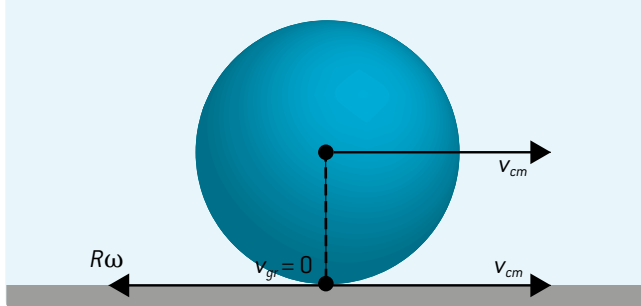
\vec{v}_{gr} för den översta punkten på kroppen är lika med $2\vec{v}_{cm}$.

FIG. 2



Hastigheten \vec{v}_{gr} för punkten som är i kontakt med marken är noll, dvs. den är momentant i vila (FIG. 3).

FIG. 3



Slutligen betyder villkoret $v_{cm} = R\omega$ att kroppen rullar utan att glida.

2 | 3 | 2 Kinetisk energi

En sfärisk kropp i rörelse har, generellt sett, både translations- och rotationsrörelseenergi: $E_{kin,tr}$ respektive $E_{kin,rot}$.

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

m : massa [kg]

I : tröghetsmoment [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

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

ω : vinkelhastighet hos den sfäriska kroppen [$\frac{1}{\text{s}}$]

Låt oss betrakta en sådan kropp när den träffar marken, och låt oss fokusera på den korta tidsperiod precis före och efter nedslaget då vi kan undersöka den kraft som verkar mellan kroppen och marken.

Före nedslaget:

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

Efter nedslaget finns båda storheterna kvar men har andra värden:

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

Indexen 1 och 2 motsvarar värdena före och efter nedslaget mot marken.

Den kraft som verkar mellan underlaget och kroppen består av vertikala och horisontella komponenter. Om vi antar att bollen inte glider på marken består den horisontella komponenten av statisk friktion. Dess arbete på bollen är noll, medan dess vridmoment orsakar vinkelacceleration. Detta betyder att vinkelhastighetens värde ändras och ibland även dess riktning. Ingen energi omvandlas dock till värme, och vi får bara ett utbyte mellan translationsenergi och rotationsenergi. Den vertikala komponenten och bollens vikt producerar vertikal acceleration i förhållande till bollen. Givet att bollen inte glider på marken kan vi tillämpa principen om den mekaniska energins bevarande:

$$E_{pot(1)} + E_{kin,tr(1)} + E_{kin,rot(1)} = E_{pot(2)} + E_{kin,tr(2)} + E_{kin,rot(2)}.$$

E_{pot} är potentiell energi medan indexen 1 och 2 syftar på tillstånden precis före och precis efter att bollen studsar.

Eftersom vi fokuserar på händelsen när bollen studsar på marken blir $E_{pot(1)} = E_{pot(2)}$

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

Eftersom det finns flera faktorer här, däribland markytan och vinkelhastigheten hos bollen strax före nedslaget, är det svårt att uppskatta friktionens effekt. Därför är det inte lätt att förutse data för rörelsen hos bollen precis efter studsens, och särskilt vektorn för dess hastighet.

2 | 4 | Försök och förfaranden

1. För att väcka elevernas intresse blir de ombudda att släppa en boll och samtidigt ge den en initial rotation^[1]. Förhoppningsvis kommer eleverna associera "sparken" av bollen med skruven som har bollen har fått.
2. Första experimentet (första uppsättningen aktiviteter) Eleverna sätter ihop en ramp av två parallella stänger. Avståndet mellan stängerna bör vara något mindre än bollens diameter.



FIG. 4 Uppställning för det första försöket

Eleverna blir ombudda att släppa en liten boll från rampens högsta punkt, filma bollens rörelse och analysera den med ett videoanalysverktyg, till exempel Tracker^[2]. En utökad presentation av denna programvara finns i publikationen *iStage 1 – läromedel för IKT i naturvetenskap*^[3]. Ännu bättre är att använda en "snabb" kamera (120 bilder per sekund eller mer).

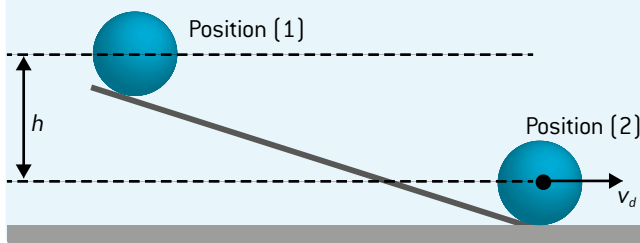
Den solida bollen (m, R) $I = \frac{2}{5}mR^2$ rullar utan att glida från position (1) till marken, dvs. position (2), och fortsätter sedan att rulla längs marken (FIG. 5).

Observera: Tröghetsmomentet för en boll som används i fotboll är närmare $\frac{2}{3}mR^2$.

I dessa försök används en solid boll.

När bollen rullar nedför rampen ändras dess hastighet v och vinkelhastighet ω enligt $v = R\omega$.

FIG. 5



Principen om energins bevarande är som följer:
 $mgh = \frac{1}{2}mv_d^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = \dots = \frac{7}{10}mv_d^2$

\vec{v}_d är hastigheten hos bollen längst ner på rampen. Den translationella kinetiska energin är lika med $\frac{5}{10}mv_d^2$, och därför är den rotationella kinetiska energin lika med $\frac{2}{10}mv_d^2$.

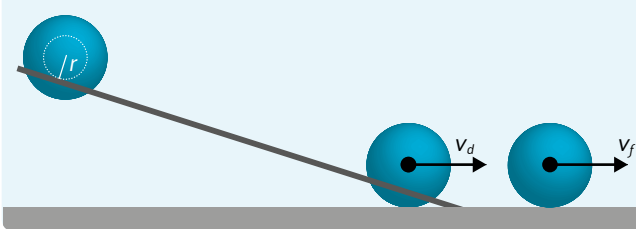
$$\text{Alltså: } \frac{E_{kin,rot}}{E_{kin,tr}} = \frac{2}{5}.$$

I det föreslagna försöket sker bollens rörelse på rampen enligt formeln $v = r\omega$, där r är avståndet mellan rotationsaxeln och de punkter på bollen som vidrör rampen.

Försöket ställs upp (FIG. 6) så att $r < R$. Följaktligen är kvoten $\frac{E_{kin,rot}}{E_{kin,tr}}$

större än $\frac{2}{5}$. Så snart bollen når marken kommer detta uttryck att bli $\frac{2}{5}$, så att den rullande rörelsen får en ny sammansättning där avståndet mellan rotationsaxeln och punkten där bollen vidrör marken är lika med R .

FIG. 6



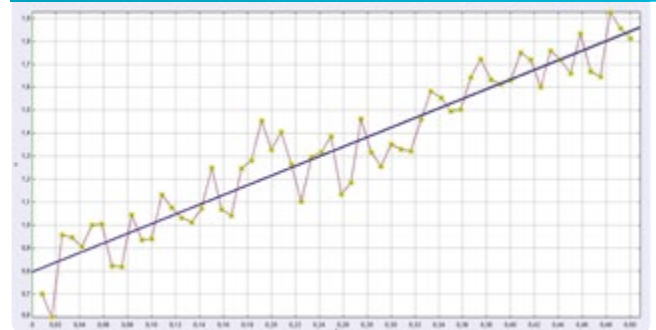
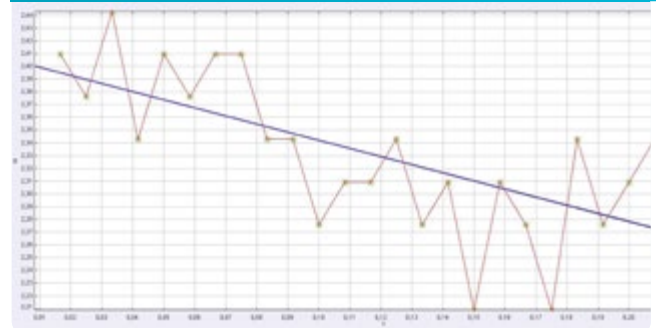
Detta är exakt vad som händer och, efter en mycket snabb övergång, kommer bollens hastighet att anta sitt slutliga värde, varvid hastigheten \vec{v}_f är större än hastigheten \vec{v}_d med vilken bollen träffar marken.

Eleverna kan även med blotta ögat se att bollen färdas snabbare på marken. De kan sedan analysera rörelsen och definiera hastigheterna \vec{v}_d och \vec{v}_f .

För att göra det måste de ta hänsyn till den rotationella kinetiska energin eller rotationsrörelseenergin. Annars finns det ingen förklaring vad gäller energiprincipen (lagen om energins bevarande). Den som är medveten om att en fast kropp kan ha både translations- och rotationsrörelseenergi kommer att förstå att en del av rotationsrörelseenergin har omvandlats till translationsrörelseenergi som en följd av friktionen mellan marken och bollen.

2 | 5 Material som behövs

Två 1 meter långa stänger, lämpliga stativ och kontakter, en liten boll, helst solid och tillverkad av hårdgummi. I ett typiskt skollaboratorium finns vanligen dessa material.

FIG. 7 Första delen av rörelsen, $v_d = 1,85$ m/sFIG. 8 Andra delen av rörelsen, $v_f = 2,4$ m/s

3 | VAD ELEVERNA GÖR

3 | 1 Första försöket: första uppsättningen aktiviteter

1. Ställ upp försöket.
2. Spela in en video [1].
3. Gå vidare med ett videoanalysverktyg, till exempel Tracker [2].
4. Definiera hastigheterna precis före och efter nedslaget på horisontalplanet (se FIG. 6 och 7).
5. Mät bollens radie och definiera dess hastighet när den börjar rulla längs marken (FIG. 9).
6. Mät bollens massa och definiera translationsrörelseenergin precis före $[E_{kin,tr(1)}]$ och precis efter $[E_{kin,tr(2)}]$ att bollen träffar horisontalplanet (FIG. 9).
7. Förklara förändringen i rörelseenergi.



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

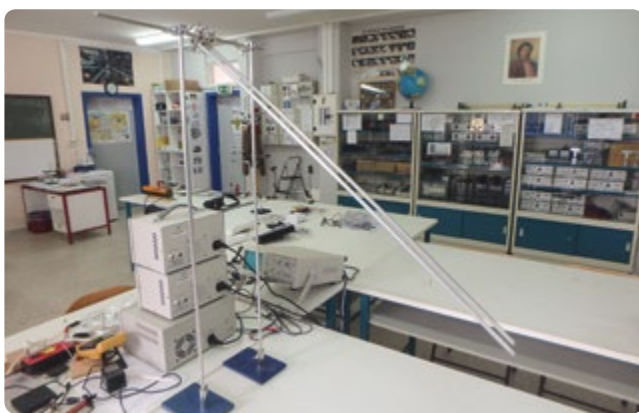


FIG. 10 Uppställning för det andra försöket

3 | 2 Andra försöket

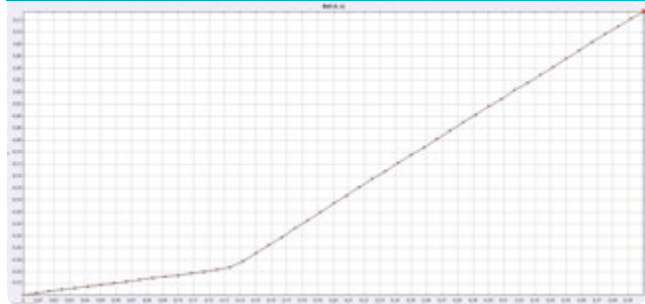
Eleverna ska ställa upp ett experiment liknande det första. Den här gången ska dock änden av rampen placeras ca 0,6 meter ovanför horisontalplanet.

Eleverna ska låta bollen rulla och falla ned på ytan under. De ska filma rörelsen och analysera den med ett videoanalysverktyg, till exempel Tracker^[2]. I detta fall börjar den intressanta aspekten av rörelsen när bollen har lämnat rampen och har antagit en anmärkningsvärd rotation. I detta experiment kommer eleverna att fördjupa sig i områdena rörelse och energi.

Andra uppsättningen aktiviteter

1. Ställa upp försöket
2. Låt en boll rulla nedåt från rampens högsta punkt och filma rörelsen^[1].
3. Rita en kurva med x mot t och definiera den horisontella komponenten av bollens hastighet v_x när den faller och när den stiger. Förklara förändringen i v_x .

FIG. 11 Exempel på diagram som visar ändringen i hastighet



4. Mät bollens massa och beräkna hur mycket av bollens $E_{kin, \text{rot}}$ som omvandlas till $E_{kin, \text{tr}}$. Definiera även hastigheten hos bollen precis före och efter att den studsar.

$$v_{\text{fall, slut}} = 2,55 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad E_{kin, \text{tr}(1)} = 4,67 \cdot 10^{-2} \text{ J} \quad (\text{FIG. 12}) \quad \text{och}$$

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

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

FIG. 12

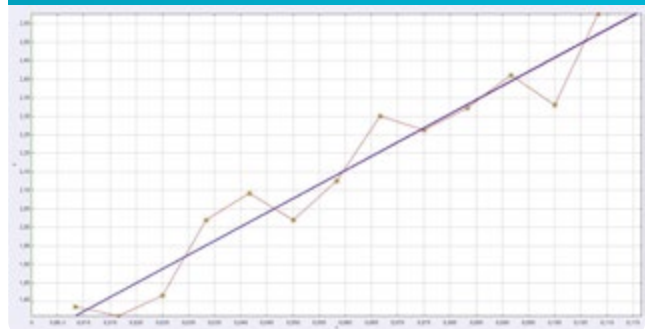
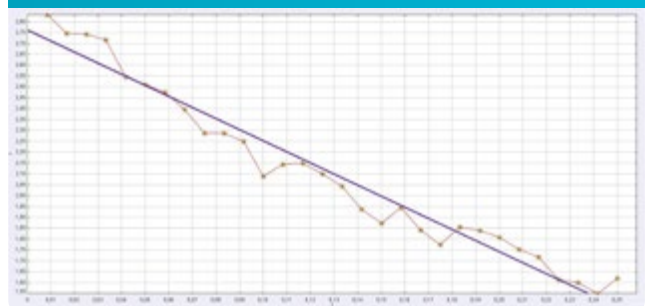


FIG. 13



5. Definiera ändringen $\overline{\Delta p}$ [$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$] i rörelseenergi hos bollen under dess kontakt med marken.
 $\overline{\Delta p} = m \overline{\Delta v}$

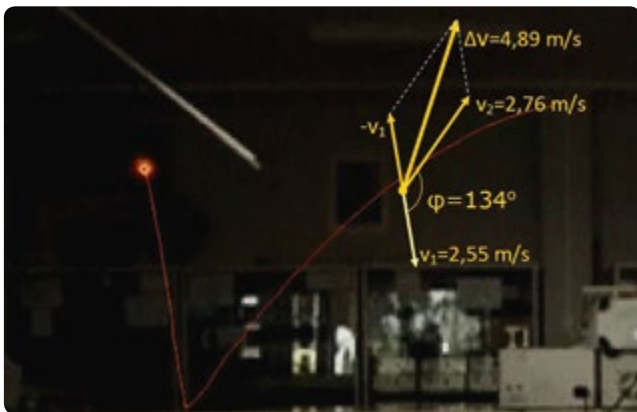


FIG. 14

\vec{v}_1 och \vec{v}_2 är hastigheterna precis före och precis efter studsen. Deras absoluta värden i det här specifika försöket är $2,55 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ respektive $2,76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ med vinkeln $\varphi = 134^\circ$ mellan dem.

$\Delta\vec{v}$ är ändringen i hastighet. Dess absoluta värde beräknas till $4,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Vinkeln mellan \vec{v}_2 och $\Delta\vec{v}$ beräknas till 24° .

Ändringen i rörelsemängd beräknas med formeln $\Delta\vec{p} = m \Delta\vec{v}$.

Dess riktning är samma som riktningen hos $\Delta\vec{v}$ och dess absoluta värde är $7 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- Betrakta den andra delen av rörelsen som om bollen hade kastats från marknivån. Definiera de initiala storheter som kännetecknar detta kast och beräkna den maximala höjden och längden av kastet. Jämför de beräknade värdena med motsvarande värden från Tracker. Förklara eventuella skillnader mellan dataanalysen och de teoretiska värdena.

4 | SLUTSATS

Eleverna ska observera förändringar i en bolls rörelse och energi och relatera dessa ändringar till kraften – särskilt dess horisontella komponent – som verkar mellan bollen och underlaget, samt vridmomentet för denna kraft. Samtidigt ska de dra slutsatsen att rörelseenergin hos en fast kropp består av två storheter (translations- och rotationsrörelseenergi). Slutligen kan de också göra sig av med vissa förutfattade meningar som kan härröra från det faktum att vi vanligen arbetar med en punktmassmodell när vi lär ut mekanik.

5 | ALTERNATIV FÖR SAMARBETE

Elever i olika skolor, inte nödvändigtvis i samma land, kan kommunicera med varandra och utbyta videoklipp, främst när det gäller den första aktiviteten. Vi antar att de kommer att komma fram till samma slutsatser som de sedan kan diskutera vid en telekonferens.

Slutligen kan de träffas och genomföra en rad aktiviteter, till exempel:

- Gå ut och ställa upp en videokamera. Spela in en video av en boll som faller på marken och titta på data för bollens rörelse under dess kollision med marken.
- Analysera denna rörelse.
- Dra slutsatser om egenskaperna hos friktionen under kollisionen mellan bollen och marken.
- Definiera hastigheten hos bollen före och efter kollisionen med marken, mät bollens massa och beräkna translationsrörelseenergin.
- Be en skicklig fotbollsspelare i klassen att sparka en boll med olika tekniker, spela in videoklipp och beskriv resultaten när bollen träffar marken.
- Ge ett definitivt svar på den viktiga frågan om varför målvakter har det svårare när bollen studsar på marken framför dem.
- När de andra aktiviteterna har slutförts, spela en fotbollsmatch tillägnad vetenskapen. Självklart kommer en sådan match att innebära en win-win-situation för båda sidor, oavsett det faktiska resultatet!

RESURSER

- ^[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

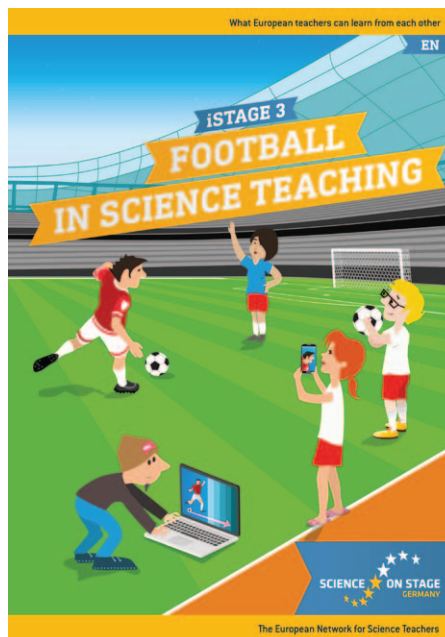
www.science-on-stage.de
info@science-on-stage.de

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

