16

MÁRTA GAJDOSNÉ SZABÓ · JANINE HERMANN · GIORGIA MESSORI · MAAIKE SMEETS · RICHARD SPENCER

ES GRÜNT SO GRÜN

Gras, Fußballfeld, Fotosynthese, lichtabhängige Reaktion, Wellenlänge, Absorptionsspektrum, lichtabhängige Reaktionen, Redoxindikator, Chlorophyll, Chloroplasten

Biologie

16–18 Jahre

1 | ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Projekt nutzen die Schüler Licht in unterschiedlichen Farben zur Erforschung der Auswirkung der Wellenlänge des Lichts auf die Fotosyntheserate und das Wachstum von Gras. Nach einer Auswertung der experimentellen Erkenntnisse können sie dann eine Empfehlung abgeben, welche Lichtfarbe in Beleuchtungsanlagen eingesetzt werden sollte, um das Wachstum und die Erholung von Gras auf dem Fußballfeld zwischen Spielen bestmöglich zu fördern.

2 | VORSTELLUNG DES KONZEPTS

In gemäßigten Regionen ist während eines Großteils der Fußballsaison natürliches Tageslicht nur begrenzt vorhanden, insbesondere während der kürzeren Tage in den Wintermonaten. Beleuchtungsanlagen werden eingesetzt, um das Wachstum des Grases auf der eher schattigen Seite des Feldes zu beschleunigen und für eine schnelle Erholung des Rasens zu sorgen, der durch die Spiele gelitten hat **(ABB. 1)**.

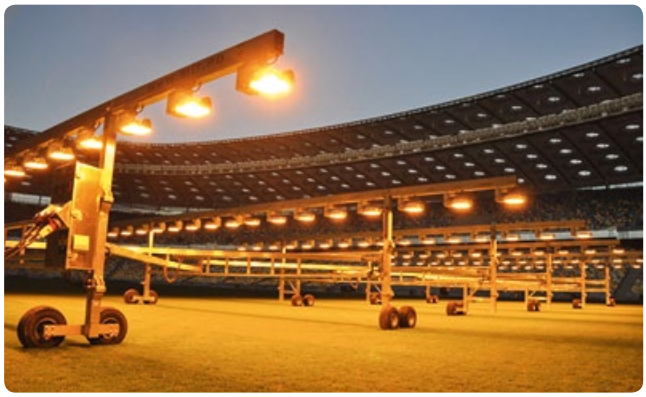


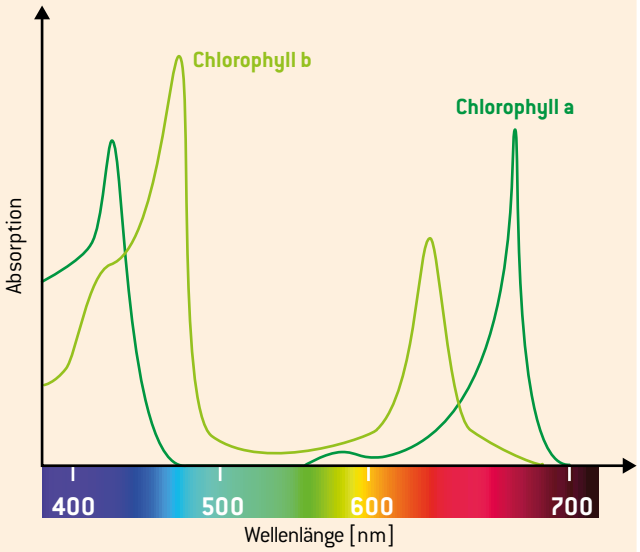
ABB. 1 Künstliche Beleuchtung von Fußballrasen

ABB. 2 Das sichtbare Spektrum besteht aus verschiedenen Wellenlängen des Lichts[1]

V: violett, B: blau, G: grün, Y: gelb, O: orange, R: rot.

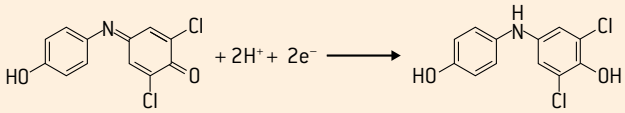
Das sichtbare Spektrum besteht aus verschiedenen Wellenlängen des Lichts, d. h. aus verschiedenen Farben **(ABB. 2)**. Chlorophyll, das häufigste fotosynthetische Pigment, ist eigentlich eine Mischung aus zwei Pigmenten (Chlorophyll a und Chlorophyll b), die manche Wellenlängen des Lichts stärker absorbieren als andere: Rotes und blaues Licht absorbieren sie maximal, grünes Licht nur minimal **(ABB. 3)**.

ABB. 3 Absorptionsspektrum von Chlorophyll a und Chlorophyll b[2]



Die vom Chlorophyll absorbierte Energie wird in den lichtabhängigen Reaktionen der Fotosynthese dazu genutzt, Elektronen auf höhere Energiestufen zu heben. Die durch diese Elektronen gewonnene Energie wird dann in Redoxreaktionen wieder freigesetzt und zur Herstellung von ATP verwendet. Dieses und andere Produkte lichtabhängiger Reaktionen (Reduktion von NADP) werden von der Pflanze im Calvin-Zyklus zur Herstellung von Glucose genutzt. Die Pflanze nutzt Glucose als Energiequelle und Rohstoff für die Synthese verschiedenster organischer Stoffe, die für ein gesundes Pflanzenwachstum benötigt werden.

ABB. 4 DCPIP: 2,6-Dichlorphenolindophenol



DCPIP in oxydiertem Zustand (blau) — DCPIP in reduziertem Zustand (farblos)

Die Fotosyntheserate kann mit dem Redoxindikator DCPIP untersucht werden, der im oxidierten Zustand blau und im reduzierten Zustand farblos ist **(ABB. 4)**. Wenn dem DCPIP frisch aus Pflanzen extrahierte Chloroplasten hinzugefügt werden, wird es von den Elektronen (und Protonen) reduziert, die sich bei den lichtabhängigen Fotosynthesereaktionen bilden, wenn die Chloroplasten beleuchtet werden. Je schneller diese Reaktionen ablaufen, desto schneller wird das DCPIP reduziert. In einer Beobachtung bestimmen die Schüler die Rate, mit der DCPIP unter verschiedenfarbigem Licht reduziert (entfärbt) wird, um die Auswirkung der Wellenlänge des Lichts auf die Fotosyntheserate herauszufinden. In einer zweiten Untersuchung beleuchten die Schüler eine Woche lang Schalen mit Gras mit verschiedenfarbigem Licht und ernten anschließend das Gras, um seine frische Masse als Maß für das

Wachstum des Grases zu ermitteln. Dann werten die Schüler die Ergebnisse beider Experimente aus, um eine Empfehlung abzugeben, welche Lichtfarbe in Beleuchtungsanlagen eingesetzt werden sollte, um das Wachstum und die Erholung des Rasens auf einem Fußballfeld am wirkungsvollsten zu unterstützen.

3 | AUFGABE DER SCHÜLER

3 | 1 Sicherheitshinweis

Die chemischen Stoffe, die bei dieser Untersuchung zum Einsatz kommen, sind risikoarm, aber die Schüler müssen über die allgemeinen Risiken des Einsatzes elektrischer Geräte (Lampen, Mixer und elektronische Waage) Bescheid wissen und im Rahmen einer guten Laborpraxis Schutzbrillen tragen.

3 | 2 Vorbereitungen

Eine vollständige Liste aller benötigten Materialien finden Sie auf der Science on Stage-Website.[3]

1. Aussäen von Weidelgrassamen in sieben kleinen Schalen (8 cm × 16 cm × 5 cm Tiefe). Jede Schale muss dieselbe Masse Blumenerde enthalten und gleichmäßig mit derselben Masse Grassamen besät werden (ausreichend, um die Oberfläche der Blumenerde zu bedecken). Die Saatschalen kommen auf ein sonniges Fensterbrett, wo das Gras fünf Wochen lang wachsen kann. Regelmäßig nach Bedarf mit destilliertem Wasser gießen, um die Erde feucht zu halten. Dabei immer dieselbe Wassermenge in jede der Schalen geben. Es ist nicht möglich, Umweltfaktoren wie Feuchtigkeit und Temperatur zu kontrollieren, aber da alle Schalen am gleichen Ort stehen, unterliegt jede Graskultur denselben Umweltbedingungen.
2. Nach fünf Wochen wird das Gras mit der Schere auf eine verbleibende Grasnarbe von 3 cm abgeschnitten. Das abgeschnittene Gras wird zur Untersuchung der Fotosyntheserate (Schritt 3–12) verwendet. Die sieben Grasschalen dienen zur Untersuchung der Wachstumsrate (*3.4*). Beide Untersuchungen erfordern sieben Tischlampen mit je einer RGB 3W B22 LED-Birne (günstig im Online-Handel zu bestellen). Jede Lampe wird mit einer Fernbedienung ausgestattet, mit der die Farbe auf rot, orange, gelb, grün, blau, violett oder weiß eingestellt werden kann **(ABB. 5)**. Um Kosten zu sparen, können für beide Untersuchungen dieselben sieben Lampen verwendet werden.

3 | 3 Auswirkung der Wellenlänge des Lichts auf die Fotosyntheserate

3. Etwa 30 g frisches (in Schritt 2 abgeschnittenes) Gras in 250 cm^3 kalte Pufferlösung aus Saccharose mit pH 7,5 geben. Die Pufferlösung wird hergestellt, indem man 2,7 g Dinatriumhydrogenphosphat, 1,0 g wasserfreies Kaliumdihydrogenphosphat, 33 g Saccharose und 0,25 g Kaliumchlorid in 250 cm^3 destilliertem Wasser löst.
4. 60 Sekunden lang mixen, um die Zellen aufzubrechen und die Chloroplasten freizusetzen. Durch ein Baumwolltuch filtern, um alle Zellwandstücke zu entfernen. Das Filtrat auf Eis legen.
5. Ein Ende eines Kapillarröhrchens in den Chloroplastenextrakt tauchen, damit dieser aufgesogen wird. Das Kapillarröhrchen herausnehmen und mit einem Tuch an der Außenseite abtrocknen. Dieses Röhrchen dient als Farbreferenz (es ist grün gefärbt).
6. Mit einer Pasteur-Pipette 1,0 % DCPIP-Lösung tropfenweise in den übrigen Chloroplastenextrakt geben und die Flasche zum Mischen vorsichtig schütteln. Die DCPIP-Lösung wird hergestellt, indem man 0,1 g DCIP und 0,4 g Kaliumchlorid in 100 cm^3 destilliertem Wasser löst.
7. Ausreichend DCPIP hinzufügen, bis der Extrakt dauerhaft von grün auf blaugrün wechselt, dann die ganze Flasche so schnell wie möglich in Aluminiumfolie wickeln, um den Extrakt aus Chloroplasten + DCPIP im Dunkeln zu halten.
8. Eine Tischlampe mit einer violetten Birne 8 cm über einem weißen Papier platzieren (aber noch nicht anschalten). Das farbige Referenzröhrchen aus Schritt 6 auf das weiße Papier legen. Jetzt drei Kapillarröhrchen in den Extrakt aus Chloroplasten + DCPIP tauchen, wie zuvor abtrocknen und neben das Farbreferenzröhrchen unter die violette Lampe legen. Dies muss so schnell wie möglich passieren, da es die Versuchsröhrchen sind **(ABB. 6)**.

ABB. 5 Die Lampen wurden mit RGB 3W B22 LED-Birnen und je einer Fernbedienung ausgestattet, um die Lichtfarbe auf rot, orange, gelb, grün, blau, violett oder weiß einzustellen.

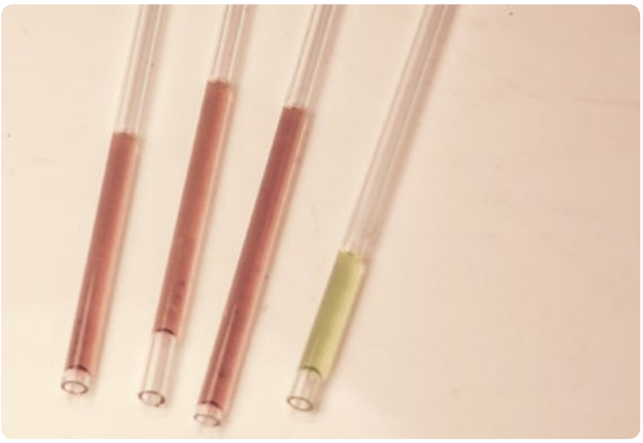


ABB. 6 Vergleich der Farbe der Versuchsröhrchen (mit Chloroplastenextrakt + DCPIP) vor Beleuchtung mit einem Farbreferenzröhrchen (das Chloroplastenextrakt ohne DCPIP enthält)

ABB. 7 Beispieldaten für die Auswirkung der Wellenlänge auf die Reduktionsgeschwindigkeit von DCPIP (als Maß für die Fotosyntheserate)

Farbe des Lichts	Wellenlänge des Lichts [nm]	Zeit, die vergeht bis die Farbe des Versuchsröhrchens die gleiche Farbe des Referenzröhrchens hat. [s]				Durchschnittliche Rate der DCPIP-Reduktion $= \frac{1.000}{t} \left[\frac{1}{s}\right]$
		Röhrchen 1	Röhrchen 2	Röhrchen 3	Mittelwert	
Violett	420	660	660	640	653	1,53
Blau	450	520	520	520	520	1,92
Grün	520	>900	>900	>900	>900	0,00
Gelb	570	680	740	760	727	1,38
Orange	620	520	520	560	533	1,88
Rot	680	440	420	400	420	2,38
Weiß	/	500	520	540	520	1,92

9. Die Lampe einschalten und die Stoppuhr starten.
10. Die Zeit (t), die es dauert, bis die Farbe jedes Versuchsröhrchens zur Farbe des Referenzröhrchens passt, wird in einer geeigneten Tabelle notiert (Beispieldaten sind in **ABB. 7** aufgeführt). Da die Farbe des Röhrcheninhalts unter unterschiedlich gefärbtem Licht sehr schwer zu erkennen ist, wird die Fernbedienung dazu genutzt, die farbige Birne alle 20 Sekunden 1 Sekunde lang auf „weiß" zu schalten, um den Farbabgleich vorzunehmen.
11. Schritt 9 und 10 mit den anderen fünf Birnenfarben wiederholen sowie mit einer Lampe, die weißes Licht abgibt **(ABB. 8)**.
12. Die durchschnittliche Reduktionszeit berechnen und die durchschnittliche Rate der Farbveränderung ($1000/t$) aufschreiben. Wenn nach 15 Minuten keine Farbveränderung vorliegt, wird „keine Veränderung" vermerkt und die Rate der Farbveränderung als „0" angegeben.

3 | 4 Auswirkung der Wellenlänge des Lichts auf die Wachstumsrate

Die sieben Schalen aus Schritt 2 werden in einen abgedunkelten Raum gestellt, wo sie mit je einer Tischlampe mit einer RGB 3W B22 LED-Birne beleuchtet werden. Für jede Schale wird mit der zugehörigen Fernbedienung die Farbe auf rot, orange, gelb, grün, blau, violett oder weiß eingestellt. Die Schalen sollten sechs Tage lang durchgehend beleuchtet und nach Bedarf regelmäßig gegossen werden **(ABB. 9)**.

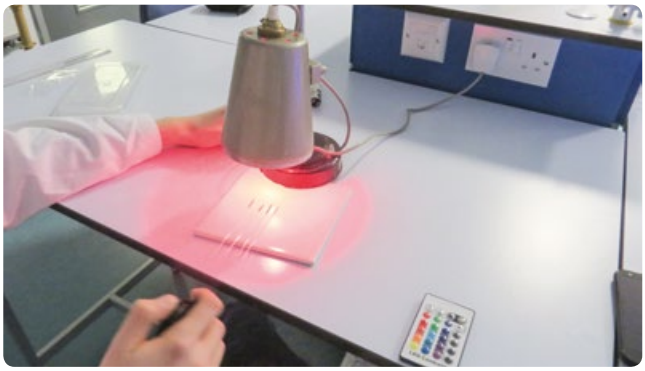


ABB. 8 Die Versuchs- und die Farbreferenzröhrchen wurden mit unterschiedlich gefärbtem Licht beleuchtet. Dabei wurde die Zeit für die Farbangleichung als Hinweis für die Rate der Entfärbung von DCPIP und somit die Fotosyntheserate festgehalten.

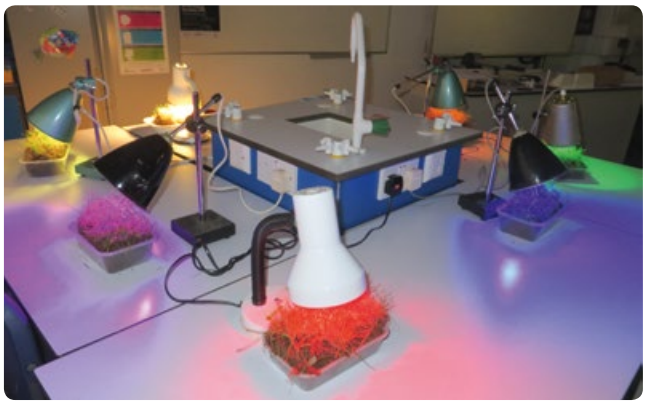


ABB. 9 Die Grasschalen wurden sechs Tage lang mit verschiedenfarbigem Licht beleuchtet, bevor das Gras geschnitten und die frische Masse als Maß für die Wachstumsrate gemessen wurde.

Nach sechs Tagen wird das Gras aus jeder Schale mit der Schere abgeschnitten (am untersten Ansatz). Die geschnittene frische Grasmasse aus jeder Schale wird mit einer elektronischen Waage gewogen. Die Daten werden dann in einer geeigneten Tabelle notiert (siehe Beispieldaten in **ABB. 10**).

ABB. 10 Beispieldaten zur Auswirkung der Wellenlänge des Lichts auf die Masse des frisch geschnittenen Grases nach sechs Tagen Beleuchtung (als Maß für die Wachstumsrate des Grases)

Farbe des Lichts	Wellenlänge des Lichts [nm]	Frische Grasmasse, geschnitten, nach 6 Tagen Beleuchtung [g]
Violett	420	4,15
Blau	450	6,02
Grün	520	3,66
Gelb	570	4,09
Orange	620	5,54
Rot	680	6,23
Weiß	/	5,43

4 | FAZIT

Die Schüler, die an diesem Projekt teilnahmen, bekamen ein besseres Verständnis für die lichtabhängigen und lichtunabhängigen Reaktionen (Calvin-Zyklus) der Fotosynthese und insbesondere für die Nutzung der Produkte der lichtabhängigen Reaktionen im Calvin-Zyklus und deren Auswirkungen auf die Wachstumsrate der Pflanzen. Die Schüler profitierten von der Diskussion über die Bedeutung der Kontrolle möglichst vieler Variablen während der Keimung und des Wachstums der Grassaat (z. B. Tiefe der Erde, Bewässerung, Abstand der farbigen Lampen von den Grasschalen) sowie während der Untersuchung der Fotosyntheserate (z. B. Abstand der farbigen Lampen von dem chloroplasthaltigen Extrakt). Diese Diskussionen brachten den Schülern ein besseres Verständnis für die Bedeutung eines gültigen Versuchsaufbaus in der Forschung.

Nach der Auswertung der Ergebnisse beider Experimente schlossen die Schüler, dass es einen Zusammenhang zwischen der Fotosyntheserate und der Wachstumsrate des Grases auf der einen Seite und der Farbe des Lichts auf der anderen Seite gibt, und dass die Fotosyntheserate und das Wachstum bei rotem Licht am stärksten sind und bei grünem Licht am geringsten. Diese Ergebnisse entsprechen den Erwartungen, wenn man sich das Absorptionsspektrum von Chlorophyll ansieht **(ABB. 3)**.

Die Ergebnisse für blaues Licht waren jedoch weniger stark als erwartet, was zu einer interessanten Debatte über die möglichen Gründe führte. Die Schüler haben vorgebracht, dass dies mit den unterschiedlichen Anteilen von Chlorophyll a und Chlorophyll b in den Chloroplasten zusammenhängen könnte (da Chlorophyll a weniger blaues Licht absorbiert als Chlorophyll b). Blaues Licht ist dennoch energiereicher als rotes Licht und sollte daher theoretisch auch mehr Elektronen anregen, was zu einer schnelleren Fotosynthese- und Wachstumsrate führen sollte. Weitere Nachforschungen ergaben eine mögliche Erklärung: Chloroplasten enthalten eine weitere Gruppe Fotosynthesepigmente – die Carotinoide – die orange Pigmente (Carotine) und gelbe Pigmente (Xanthophylle) enthalten. Diese Pigmente zeigen maximale Absorption blauen Lichts, und wie Chlorophyll b übertragen sie die absorbierte Energie auf Chlorophyll a, das dann wiederum in der lichtabhängigen Reaktion Elektronen anregt. Dieser Energietransfer ist allerdings nicht besonders effizient. Auch wenn dieser Energieverlust verschwenderisch erscheinen mag, könnte er doch notwendig sein, um die Pflanze vor den potenziell schädlichen Wirkungen der hohen Energie blauen Lichts zu schützen.

In ihren abschließenden Empfehlungen schlugen die Schüler vor, dass Beleuchtungsanlagen ein effizienteres Graswachstum und eine schnellere Erholung bringen könnten, wenn sie rotes Licht nutzen würden. Auf Fußballfeldern werden aber Natriumdampf-Hochdrucklampen eingesetzt. Der Erfinder mobiler Beleuchtungssysteme, Kolbjørn Saether, erklärte auf unsere Nachfrage hin, dass seine Firma zusammen mit dem norwegischen Institut für Kulturpflanzenforschung an mehreren Forschungsprogrammen über die Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf das Wachstum von Gras beteiligt gewesen sei. Sie untersuchten verschiedene Parameter wie Lichtintensität, Lichtmenge pro Tag, Temperatur und Nährstoffversorgung. Allerdings erforschten sie nicht die Auswirkung der Wellenlänge des Lichts, so dass sie sehr interessiert an den Ergebnissen unserer Untersuchung waren.

Persönliche Erfahrung

Während der Extraktion von Chloroplasten werden beim Mixen Enzyme frei, die die Chloroplasten beschädigen und die Fotosyntheserate herabsetzen. Die Aktivität dieser Enzyme wird durch den Einsatz eines kalten Extraktionspuffers sowie die Lagerung des Chloroplastenextrakts auf Eis verringert. Allerdings erkannten die Schüler während der Untersuchung, dass der Chloroplastenextrakt im Laufe der Zeit an Aktivität verliert. Um dieses Problem zu überwinden und um aussagekräftige Vergleiche zu ziehen, bauten die Schüler die Experimente zur Fotosyntheserate zügig auf, staffelten die Experimente und nutzten so schnell wie möglich die unterschiedlichen Birnen, damit alle verwendeten Extrakte möglichst frisch waren.

Es war nicht möglich, die Farbe des Chloroplastenextrakts in den Versuchsröhrchen unter unterschiedlicher Beleuchtung mit dem Farbreferenzröhrchen zu vergleichen. Hier zeigte sich einer der Vorteile verstellbarer LED-Lampen mit Fernbedienung, denn diese konnten immer wieder kurz auf „weiß" umgeschaltet werden, um den Farbabgleich vorzunehmen. Ein weiterer Vorteil dieser Birnen war der, dass sie nicht heiß werden, denn ein Temperaturanstieg hätte sich sowohl auf die Wachstumsrate des Grases als auch auf die Rate der Entfärbung von DCPIP ausgewirkt. So konnten die Schüler die Lampen auch sechs Tage lang gefahrlos ununterbrochen brennen lassen.

Die in **ABB. 7** und **ABB. 10** zur Wellenlänge von Licht unterschiedlicher Färbung notierten Daten müssen als Annäherungen gesehen werden, da jede Farbe aus einer Reihe von Wellenlängen in einem kontinuierlichen Spektrum besteht.

5 | OPTION ZUR KOOPERATION

Schüler verschiedener Schulen könnten ihre Ergebnisse zu beiden Beobachtungen, ihre Verbesserungsmaßnahmen am Versuchsaufbau und ihre Untersuchungen der Auswirkungen der Wellenlänge des Lichts auf die Fotosyntheserate anderer Pflanzenarten miteinander vergleichen.

QUELLEN

[1] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linear_visible_spectrum.svg (08.03.2016)

[2] Chlorophyll_ab_spectra2.PNG: Aushulz derivative work: M0tty [CC BY-SA 3.0 (http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0) or GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)], via Wikimedia Commons (08.03.2016)

[3] www.science-on-stage.de/iStage3_Materialien

IMPRESSUM

ENTNOMMEN AUS
iStage 3 – Fußball im MINT-Unterricht
verfügbar in Deutsch, Englisch, Französisch, Polnisch, Spanisch, Schwedisch, Tschechisch, Ungarisch
www.science-on-stage.de/istage3

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

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

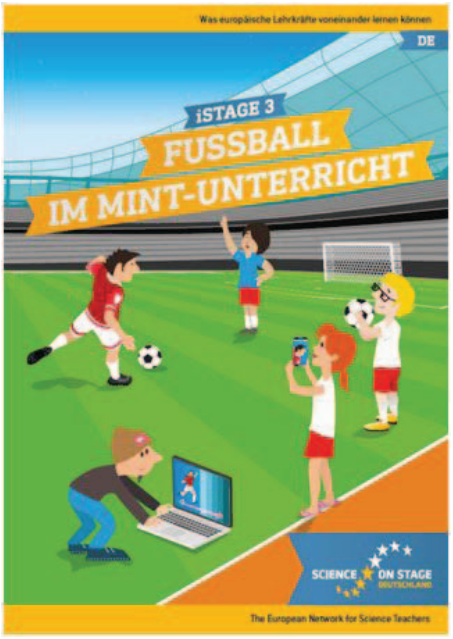
BESTELLUNGEN
www.science-on-stage.de
info@science-on-stage.de

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

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

1. Auflage 2016

© Science on Stage Deutschland e.V.



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
Newsletter: www.science-on-stage.de/newsletter
www.facebook.com/scienceonstagedeutschland
www.twitter.com/SonS_D

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

WWW.SCIENCE-ON-STAGE.EU
www.facebook.com/scienceonstageeurope
www.twitter.com/ScienceOnStage

SCIENCE ON STAGE DEUTSCHLAND
HAUPTFÖRDERER VON SCIENCE ON STAGE DEUTSCHLAND
think ING.
Die Initiative für Ingenieurnachwuchs
Mit freundlicher Unterstützung von
SAP