



Dieses Bild des James-Webb-Weltraumteleskops zeigt das bisher tiefste und schärfste Infrarotbild des fernen Universums, nämlich den Galaxienhaufen SMACS.

**Dirk Brockmann-Behnsen**

# Neue Welten in unendlichen Weiten

## Astronomie im regulären Physikunterricht: Möglichkeiten und Chancen

Auf die Bedeutung und den Wert astronomischer Inhalte für die Bildung der Schüler:innen wird schon seit vielen Jahrzehnten mit Nachdruck hingewiesen. Der astronomische Unterricht soll – wie jeder naturwissenschaftliche Unterricht – seinen Beitrag zur Herausbildung eines naturwissenschaftlichen Weltbildes leisten, speziell eines, das über die Grenzen der irdischen Atmosphäre hinausreicht (s. [8]). Cecilia Scorza-Lesch und Harald Lesch bringen die naturgegebene Verbundenheit unseres Planeten mit dem Universum und seinen Bedingungen in ihrem Grußwort in **Kasten 1** auf den Punkt. Zentrale Vorteile der Astronomie liegen dabei in der ausgesprochenen Ästhetik ihrer Forschungsobjekte, in der faszinierenden Unvorstellbarkeit der Größen und Entfernungen im Weltall sowie in der Nähe zu philosophischen Fragestellungen nach der Existenz, dem Werden und dem Gehen des Menschen sowie nach dessen Platz im Universum [2]. Die „die Beschäftigung mit der Astronomie [kann] auch Anlass zu einer bewußteren Einstellung des eigenen, in kosmischen Maßstäben sehr kurzen, Lebens führen und zu einem deutlichen Bewußtwerden der Gefahr

der drohenden Vernichtung der Lebensbedingungen auf der Erde durch den Menschen“ ([4], S. 9f.). Vor über dreißig Jahren formuliert ist insbesondere dieses Argument aktueller und bedeutsamer denn je zuvor.

Diese Ausgabe von „Unterricht Physik“ zeigt, wie einfach und vielfältig es möglich ist, astronomische Themen in den Physikunterricht zu integrieren und so die von der Astronomie ausgehende Faszination zu nutzen.

### Astronomische Themen im regulären Physikunterricht

Analysiert man die Kerncurricula für das Fach Physik, so stellt man fest, dass es vielfältige Anknüpfungspunkte für astronomische Themen gibt. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da sich die Astronomie im Verlauf der Geschichte zunehmend der Methoden der später entstandenen Physik annahm, wobei sich auch der Bereich der Astrophysik entwickelte.

## 1 | GRUSSWORT: **Astronomie in Zeiten des Klimawandels**

Nie war Astronomie in der Schule so wertvoll wie heute. Denn Astronomie ist die Wissenschaft von den Gesetzen des Universums, und unsere Erde ist das Ergebnis himmlischer Abläufe und Entwicklungen. Astronomie zu unterrichten heißt, das Fach zu unterrichten, das die ganz große Geschichte der Natur erzählt.

Astronomie in der Schule verweist auf die Ursprünge von allem im All und vor allem auch auf den Ursprung unseres eigenen Sonnensystems. Astronomie in der Schule untersucht und erklärt, wie Planeten entstehen können und welche Bedingungen einen Planeten bewohnbar machen.

Astronomie in der Schule sammelt aktuelle Ergebnisse von Planeten um andere Sterne und setzt sie ins richtige Verhältnis zu

unserem Zuhause. Astronomie in der Schule kann die neuesten Beobachtungstechniken erklären

und Daten nutzen, die zeigen, wie jetzt Planeten in der Milchstraße entstehen, auch erdähnliche Planeten.

Und mit diesen gesammelten Informationen können alle – beim Blick zurück auf unseren kleinen blauen Planeten – Schlussfolgerungen ziehen und Erkenntnisse gewinnen, wie verbunden Erde und Weltraum sind. Damit präsentiert der Astronomieunterricht die perfekte Ausgangsbasis für alle Fächer aus dem Kanon der Bildung für Nachhaltigkeit.

**Cecilia Scorza-Lesch und Harald Lesch**



**Abbildung 1** zeigt, dass es zu praktisch jedem inhaltlichen Bereich der Schulphysik Beispiele aus der Astronomie bzw. Astrophysik gibt, an denen der physikalische Sachverhalt erläutert werden kann. Schon in den Eingangsklassen der Sekundarstufe können magnetische Felder anhand der planetaren Felder veranschaulicht werden. Ebenso kann im Optikunterricht statt des Lichts einer Glühlampe auch das Licht der Sonne in seine spektralen Bestandteile aufgespalten werden. In höheren Jahrgangsstufen kann das allgemeine Prinzip der Energiewandlung anhand der Wandlungsprozesse im Sternenninneren vertieft werden.

Im Bereich der prozessorientierten Kompetenzen sind Physik und Astronomie so gut wie deckungsgleich. Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung laufen praktisch nach denselben Regeln ab. Daher können die Handlungskompetenzen in diesen Bereichen in fast allen Fällen auch anhand von astronomischen Daten und Verfahren vergrößert werden.

## **Kerncurriculum für Astronomie und Astrophysik**

In den Sommersemestern 2020 und 2021 hielt ich an der Leibniz Universität Hannover zwei Seminare zur Implementierung astronomischer und astrophysikalischer Inhalte in den regulären Physikunterricht der Sekundarstufen I und II. Dabei entstand ein Curriculum, das im Kern eine synoptische Gegenüberstellung von physik-curricular geforderten Inhalts- und Handlungskompetenzen und zugehörigen astronomischen bzw. astrophysikalischen Anknüpfungspunkten darstellt (s. **Tab. 1**). Dieses Curriculum basiert auf den niedersächsischen Curricula für Naturwissenschaften (Sek. I) und für Physik (Sek. II), lässt sich aber ohne Weiteres auch auf die Physikcurricula anderer Bundesländer übertragen. Das gesamte Curriculum findet sich zum Download unter <http://astronomiekoetter.com/data/documents/Curriculum-Astronomie-Astrophysik-2023.pdf>.

inhaltsorientierte Kompetenzen	<b>Physik</b>	Energie	Strahlungsenergie, Energiewandlung in Sternen
		Thermodynamik	Atmosphärendruck und -temperatur
		Magnetismus/Elektrizität	Magnetfelder von Sternen, Planeten und Molekulargaswolken
		Mechanik	Bewegung von Himmelskörpern, Ortsfaktoren
		Optik	Aufbau und Verwendung von Teleskopen
		Atom- und Kernphysik	spektrale Zerlegung des Lichts, Kernfusion
prozessorientierte Kompetenzen	<b>Astronomie</b>	Erkenntnisgewinnung	Experimentieren, Idealisieren, Modellieren, Probleme lösen, Mathematisieren, Daten interpretieren
		Kommunikation	Beschreiben fachlicher Zusammenhänge, Argumentieren mithilfe von Diagrammen, situationsgerechter Einsatz von Darstellungen
		Bewertung	Überprüfen der Gültigkeit von Ergebnissen, Fehlerbetrachtung, Kenntnisse zur Bewertung ausgewählter Aspekte der Energieversorgung

1 | Darstellung angestrebter fachlicher und prozessorientierter Kompetenzen im Physikunterricht und entsprechende Anknüpfungspunkte in der Astronomie

<b>Doppeljahrgang 5/6: Dauermagnete ([5], S. 30)</b>	
<p>Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>„wenden diese Kenntnisse zur Darstellung der magnetischen Wirkung der Erde an.“</li> <li>„beschreiben den Aufbau und deuten die Wirkungsweise eines Kompasses.“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Magnetfeld der Erde, magnetische Feldlinien der Erde, Anwendung Kompass</li> <li>Magnetfelder anderer Planeten, der Sonne, in interstellaren Gaswolken</li> <li>zeitliche Veränderlichkeit des irdischen Magnetfeldes</li> </ul>
<b>Doppeljahrgang 5/6: Phänomenorientierte Optik ([5], S. 32)</b>	
<p>Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>„wenden die Sender-Empfänger-Vorstellung des Sehens in einfachen Situationen an.“</li> <li>„beschreiben und erläutern [...] Schattenphänomene, Finsternisse und Mondphasen.“</li> <li>„beschreiben Reflexion, Streuung und Brechung von Lichtbündeln an ebenen Grenzflächen.“</li> <li>„beschreiben weißes Licht als Gemisch von farbigem Licht.“</li> <li>„führen dazu einfache Experimente nach Anleitung durch.“</li> <li>„beschreiben das Phänomen der Spektralzerlegung.“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lichtweg von Sternen (Sender) über Planeten, Monde (Umlenker) zu Auge/Teleskop (Empf.)</li> <li>Mondphasen, Finsternisse auch bei anderen Planeten</li> <li>Lichtweg in einem Newton-Teleskop</li> <li>Beobachtung des Sonnenlichts durch ein Taschenspektroskop <ul style="list-style-type: none"> <li>Sonnenlicht besteht aus vielen Farben.</li> <li>ggf. Beobachtung der Fraunhofer-Linien als Phänomen</li> </ul> </li> </ul>
<b>Doppeljahrgang 7/8: Einführung in den Energiebegriff ([5], S. 33)</b>	
<p>Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>„beschreiben verschiedene geeignete Vorgänge mithilfe von Energieübertragungsketten.“</li> <li>„stellen diese in Energieflussdiagrammen dar.“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ggf. Energiewandlung im Inneren der Sonne: Kernbindungsenergie (Sonnenkern), Strahlungsenergie (Strahlungszone), thermische Energie (Konvektionszone), Strahlungsenergie (Photosphäre)</li> <li>Energiewandlung in der Solarzelle: Strahlungsenergie von der Sonne, elektrische Energie</li> </ul>
<b>Doppeljahrgang 9/10: Atom- und Kernphysik ([5], S. 41)</b>	
<p>Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>„beschreiben die ionisierende Wirkung von Kernstrahlung [...]“</li> <li>„geben ihre Kenntnisse über natürliche und künstliche Strahlungsquellen wieder.“</li> <li>„erläutern Strahlenschutzmaßnahmen mithilfe dieser Kenntnisse.“</li> <li>„beschreiben den radioaktiven Zerfall eines Stoffes unter Verwendung des Begriffes Halbwertszeit.“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nebelkammer: Ereignisse, ohne dass ein radioaktives Präparat in der Nähe ist: terrestrische und kosmische Strahlung</li> <li>Vergleich der Strahlenbelastung von Raumfahrern, Piloten und normalen Bürgern</li> <li>Strahlenschutzmaßnahmen in Raumschiffen in Bezug auf kosmische Strahlung</li> <li>Altersbestimmung mittels radioaktiven Zerfalls: Uran-Blei-Methode (Erdalter)</li> </ul>
<b>Wahlmodule Jahrgang 11: Optische Abbildungen ([6], S. 28)</b>	
<p>Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>erläutern die Entstehung eines Bildes an Linsen.</li> <li>erläutern die grundlegende Funktionsweise ausgewählter Geräte (z. B. [...] Fernrohr).</li> <li>beschreiben den Unterschied zwischen abbildenden und sehwinkelvergrößernden Geräten.“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aufbau verschiedener Teleskoptypen: Galilei-, Kepler-, Newton-Teleskop</li> <li>Erzeugung eines reellen Bildes durch einen Wölbspiegel</li> <li>Vergleich der Sehwinkel mit bloßem Auge und unter Einsatz eines Teleskops</li> </ul>

**Tab. 1** | Auszug aus dem Kerncurriculum Astronomie/Astrophysik: In der linken Spalte stehen Zitate aus den niedersächsischen Kerncurricula für Naturwissenschaften bzw. Physik, rechts daran anknüpfbare astronomische Inhalte

**Beispiel für eine gelungene Umsetzung:  
Funktionsweise eines Newton-Teleskops**

Das im Folgenden dargestellte Beispiel für die Behandlung physikalischer Fachinhalte in Kombination mit einem astronomischen Thema lässt sich im Doppeljahrgang 5/6 oder

im 11. Jahrgang in den Physikunterricht implementieren. Nachdem das Reflexionsgesetz erarbeitet wurde (und im 11. Jahrgang zusätzlich die Linsengleichungen), können die Schüler:innen den grundsätzlichen Aufbau eines Newton-Teleskops verstehen. Für den 11. Jahrgang wird in Nieder

# Mondphasen problemorientiert unterrichten

Lernende entwickeln, erproben und reflektieren selbstständig ein astronomisches Modell

**KLASSENSTUFE:** 5–7

**ZEITUMFANG:** 1–2 Doppelstunden

**THEMEN:** geometrische Optik; Astronomie

**KOMPETENZEN:** Erkenntnisgewinnung

**METHODEN:** Modellentwicklung

**WEITERE MATERIALIEN:** Mondphasenkärtchen, Verlaufsplanungstabelle

Von der durch die Sonne beleuchteten Halbkugel des Mondes sehen wir nur einen bestimmten Teil, je nachdem, in welcher Richtung sich der Mond am Himmel befindet. Die Periode dieser Mondphasen ist etwas weniger als ein Monat.<sup>1)</sup> Ausführlich entfaltet [2] das Thema Mondphasen<sup>2)</sup> und Mondbeobachtung. Dabei wird explizit auf Lern-

schwierigkeiten eingegangen, die sich durch die üblichen Repräsentationen des Phänomens ergeben. Das Besondere an diesem Unterrichtsvorschlag ist, die Schüler:innen nicht Darstellungen oder vorgegebene Experimente verwenden zu lassen, sondern zur kreativen Entwicklung eigener Modelle zur Erklärung der Mondphasen aufzufordern. Die tabellarische **Verlaufsplanung** der im Anfangsunterricht der Sek. I erprobten Stunde finden Sie im **Downloadmaterial**.

## Mondphasen in der geometrischen Optik

Die Thematisierung der Mondphasen (s. a. **Mondphasenkärtchen** im **Downloadmaterial**) ist curricular häufig in einen Unterrichtsgang durch die elementare geometrische Optik eingebettet.

Vorkenntnisse der Lernenden für den hier skizzierten Unterrichtsgang sind:

- Lichtquellen und ihre Eigenschaften,
- die physikalische Vorstellung vom Sehvorgang,
- Eigenschaften der Lichtausbreitungen (z. B. Streuung).

In einigen Schulbüchern werden die Mondphasen explizit im Zusammenhang mit der Schattenbildung angeführt, was aber m. E. weder notwendig noch hilfreich ist.

Hilfreich ist es, wenn der Modellbegriff schon eingeführt ist, z. B. beim Übergang von realen Lichtbündeln hin zum Lichtstrahlenmodell.

## Modelle zur Entstehung der Mondphasen

In Schulbüchern und Erklärvideos wird die Entstehung der Mondphasen häufig

anhand von ebenen Darstellungen erklärt. Gegen dieses Vorgehen sprechen mindestens zwei Gründe: Zum einen wird dabei von einem hohen geometrischen Vorstellungsvermögen der Lernenden ausgegangen, das im Anfangsunterricht (noch) nicht vorhanden ist. Zum anderen provozieren diese Darstellungen meist eine Verwechslung mit der Erklärung der Mondfinsternisse.

Im hier vorgestellten Unterricht wird stattdessen versucht, das Phänomen mit realen Modellen räumlich darzustellen. Die realen Modelle (s. Beispiele in **Abb. 1**) unterscheiden sich in der Berücksichtigung der Beobachterperspektive: Entweder sie integrieren den Beobachter selbst als Teil des Modells oder sie benutzen die Außenperspektive des Beobachters (wie z. B. beim Tellurium, s. **Abb. 1c**).

Vorteil dieses Vorgehens ist die enge Einbindung der Lernenden, die sich als unmittelbaren Teil des Modells erleben.

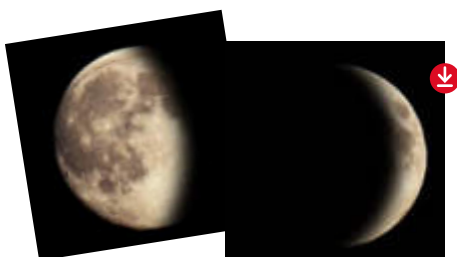
## Mondphasenmodelle zur subjektiven Beobachtung

Didaktisch besonders ansprechend sind diejenigen Modelle der Sonne-Erde-Mond-Konstellation, die den subjektiven Eindruck der Mondphasen abhängig von dem Beobachter aus der Erdspektive unterstützen (s. **Abb. a–b**).

Ein OH-Projektor (oder Beamer) übernimmt dabei als Lichtquelle die Funktion der Sonne. Eine Schülergruppe repräsentiert Beobachter auf der Erde, um die im abgedunkelten Raum ein weißer Ball als Mond herumgetragen wird (s. **Abb. 1a**). Die Gruppe schildert ihre Beobachtungen den anderen Kindern, die „als Astronaut:innen“ weiterhin aus einer externen Beobachterperspektive an der Veranschaulichung teilnehmen.

Phase (teilweise Hinweise auf Sozialformen)	Erwartetes Unterrichtsgeschehen	Methode (Tafelbild)
Einstieg in die Stunde Ankommen im Lernkontext	L begrüßt die S ggf. mit einem stillen Impuls: Zeigen des Vollmondes (oder einer tagesaktuell fotografierten Mondphase) S melden sich ggf. spontan und benennen den Mond als bekanntes Phänomen	Fotografie  Tafelansatz Ein interner Mond
Konfrontation mit dem Phänomen	L zeigt weitere Bilder von Mondphasen in „zufälliger Reihenfolge“	Vorlage: 5 Bilder zu

Verlaufsplanung (Ausschnitt)



**Mondphasen** | Die Kärtchen müssen in die richtige Reihenfolge gebracht werden.



Während „von der Erde“ aus Mondphasen zu entdecken sind, verändert sich der Mond für „die Klasse der Astronaut:innen“, je nach Standort im Klassenraum, die ganze Zeit nicht bzw. nicht identisch zur „Erdperspektive“.

Bewährt hat sich folgende Modifikation: Statt einen Schüler mit einem Ball in den erhobenen Händen um eine Beobachtergruppe kreisen zu lassen, hat der beobachtende Schüler in der Erdperspektive selbst eine große Styroporkugel als Mond an einer Holzstange in der Hand (s. **Abb. 1b**). Dies hat einige Vorteile: Der Abstand Mond – Erde bleibt konstant. Das entspricht damit (eher) der physikalischen Realität. Der Schüler schaut immer auf die selbe Seite des Mondes und entdeckt dadurch evtl. einen neuen Aspekt aus der Erde-Mond-Konstellation.

Nachteil dieser Modifikation ist, dass sich die Drehung des Mondes nicht mehr unabhängig von der Eigendrehung der Erde demonstrieren lässt.

**Mondphasenmodell zur Beobachtung von außen**

Ein Tellurium (s. **Abb. 1c**) eignet sich, um die verschiedenen, voneinander unabhängigen Drehbewegungen (Erde/Sonne, Mond/Erde, Eigendrehung der Erde) zu demonstrieren. Es ist jedoch zu klein, um z. B. Beobachtungen an der Mondkugel anzustellen. Zudem besteht die Gefahr, dass die Klasse durch das Licht geblendet wird.

Allerdings lässt sich mit einem geeigneten Tellurium die geneigte Bahnebene des Mondes gegen die Ekliptik verdeutlichen (s. a. den Artikel „Von maßstäblichen zu mentalen Modellen des Sonnensystems“). Damit kann (auch in späteren Stunden) erklärt werden, warum es nicht monatlich zu Mond- bzw. Sonnenfinsternissen kommt.

**Entwicklung von Modellen zur Entstehung der Mondphasen**

Die zentrale Lernaufgabe dieser Unterrichtsstunde lautet: „*Skizziert (z. B. unter Verwendung der zur Verfügung gestellten Materialien) ein Modell, das hilft eure Vermutungen zur Entstehung der Mondphasen zu überprüfen.*“

Die Lernenden entwickeln in der Regel nach wenigen Minuten eine Reihe von unterschiedlichen Modellen, die

häufig denjenigen in **Abbildung 1** entsprechen und im weiteren Verlauf im Plenum im Klassenraum realisiert werden. Die unterschiedlichen Modelle haben jeweils spezifische Vor- und Nachteile, die gemeinsam mit den Schüler:innen herauszuarbeiten sind. Aus allen oben dargestellten Modellen wird der entscheidende Aspekt der Sonne-Erde-Mond-Konstellation erkennbar.

Damit wird das Verständnis für die Arbeit mit zweidimensionalen Abbildungen vorbereitet, die sich in Folgestunden sinnvoll anschließen lässt.

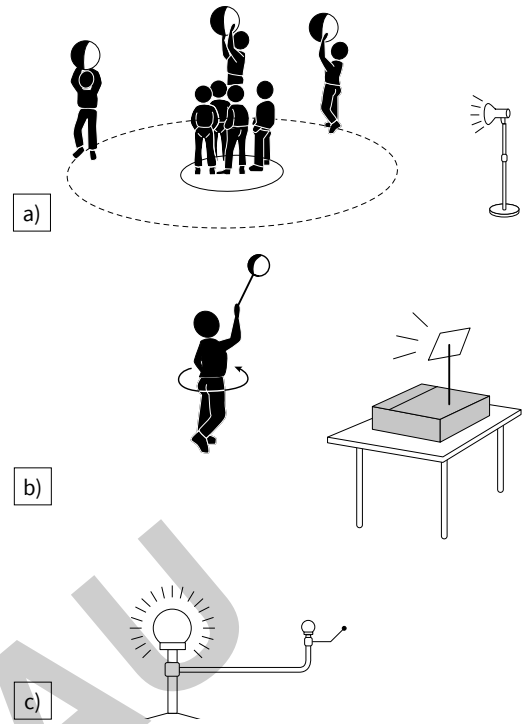
**Hinweise zum Unterricht**

Der in vielen Aspekten offen angelegte Unterrichtsgang orientiert sich an einem forschend-entdeckenden Unterrichtskonzept, das ausgehend von Naturphänomen von Lernenden formulierte Fragestellungen provoziert. Diese wieder sind der Ausgangspunkt eines problemorientierten Unterrichts (s. a. [3], S. 22).

Neben der Förderung von fachlichen Konzepten der Astronomie sind auch um Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung und Bewertung adressiert, insbesondere dann, wenn die selbst entwickelten Modelle im Anschluss modellkritisch analysiert werden: Insbesondere täuschen alle Darstellungen, Skizzen und Modellversuche über die tatsächlichen Größenverhältnisse hinweg und sind nicht maßstabgerecht.

Durch Arbeit mit einem sog. „realen Modell“, also einer anschaulichen und konkreten, verkleinerten Darstellung eines physikalischen Gegenstands zu seiner einfacheren Interpretation, lernen die Schüler:innen eine für die Physik typische, fachmethodische Arbeitsweise kennen, die auch in anderen Wissenschaften Bedeutung hat und als Vorarbeit zu weiteren Modellbegriffen (z. B. analoge oder mathematische Modelle) zum Aufbau eines vertieften Abstraktionsniveaus dienen kann.

In der Problematisierung des entwickelten Modells lässt sich die Reflexion der begrenzten Gültigkeit dieses speziellen Modells allgemein auf den Modellbegriff übertragen und damit ein angemessenes Naturwissenschaftsverständnis vorbereiten.



**1** Modelle zur Entstehung der Mondphasen: a) Schülergruppe mit Ball; b) Schüler:in mit Ball an einem Stock; c) Tellurium

**Anmerkungen**

- 1) Von der Unterscheidung zwischen synodischen und siderischen Monaten kann im Schulunterricht meist abgesehen werden, ebenso von Librationseffekten.
- 2) Zu beachten ist beim Thema „Mondphasen“, dass die im Alltag und in Schulbüchern üblichen Bezeichnungen nicht denen in der Astronomie entsprechen (s. z. B. [1], S. 50 f.).

**Literatur**

- [1] Heinicke, S.; Wodzinski, R.: Guter Mond, du gehst so stille ... Mondphasen und Mondbeobachtungen im Physikunterricht. In: NiU Physik 28 (2017), S. 159/160, S. 16 – 24.
- [3] Sach, M.; Sieve, B.; Hilker, F.: Physik unterrichten. Ein praktischer Leitfaden für Berufseinsteiger. Seelze: Friedrich Verlag, 2020.

**D**

**Differenzierung auf den Punkt gebracht**

**Aspekte der Heterogenität:**

- Leistungsniveau

**Methode:**

- Grad der Offenheit des forschenden Lernens

**Praxistipp:**

Über die Auswahl und den Umfang der bereitgestellten Materialien kann differenziert werden. Je mehr Material zur Verfügung gestellt wird, umso offener sind der Arbeitsauftrag und die Lösungsmöglichkeiten.

Bilder: Friedrich Verlag GmbH (nach: Wiesner, H.; Engelhardt, P.; Herdt, D.: Unterricht Physik. Experimente – Medien – Modelle, Band 1: Optik I, Köln: Aulis, 1993)

Dirk Brockmann-Behnsen

# Sterne sortieren leicht gemacht

Unterrichtsideen zur Arbeit mit dem Hertzsprung-Russell-Diagramm

<b>KLASSENSTUFE:</b>	Sek. I/Sek. II (je nach Schwerpunktsetzung)
<b>ZEITUMFANG:</b>	1 Doppelstunde
<b>THEMA:</b>	Mechanik, Optik
<b>KOMPETENZEN:</b>	<i>Erkenntnisgewinnung:</i> Arbeiten mit Diagrammen, Berechnungen durchführen; <i>Kommunikation</i>
<b>METHODEN:</b>	Gruppenarbeit
<b>WEITERE MATERIALIEN:</b>	Arbeitsblatt „HRD“ unter: <a href="https://fr-vlg.de/y1sa7g">https://fr-vlg.de/y1sa7g</a>



1 | Sterne unterschiedlicher Farbe und Helligkeit im Adlernebel

Basierend auf Forschungsergebnissen Ejnar Hertzsprungs (1873–1967) entwickelte Henry Norris Russell (1877–1957) im Jahre 1913 ein Diagramm, in dem er die absolute visuelle Helligkeit von Sternen über deren Farbindex auftrug und dabei unerwartete Häufungen im Diagramm entdeckte. **Abbildung 1** zeigt exemplarisch ein Gebiet mit Sternen unterschiedlicher Helligkeit und Farbe. Heute trägt man meistens die Leuchtkraft der Sterne über ihrer Spektralklasse bzw. Oberflächentemperatur auf (s. **Abb. 2** auf S. 30). Diese nach ihren Entdeckern „Hertzsprung-Russell-Diagramm“ genannte Darstellung wurde zu einem der wichtigsten Werkzeuge der Astrophysik, da sie Auskunft gibt über den Entwicklungszustand der Sterne.

## Das Leben der Sterne

Im Laufe ihres Lebens durchlaufen Sterne immer wieder lang andauernde, stabile Entwicklungsphasen, die durch hydrostatische Gleichgewichtsbedingungen gekennzeichnet sind. Die erste wichtige Phase dieser Art ist bereits am Ende der Sternentstehung erreicht: Der Schweredruck der kollabierenden Gaswolke wird durch die einsetzende Kernfusion im Inneren des entstehenden Sternes und dem daraus resultierenden Strahlungsdruck kompensiert. Diese Phase markiert den Großteil des Sternenlebens und endet erst, wenn der für die zugehörigen Kernfusionsprozesse erforderliche Wasserstoff im Kern des Sternes weitgehend verbraucht ist.

Für Sterne in dieser Lebensphase gibt es einen Zusammenhang zwischen ihrer Leuchtkraft und ihrer Oberflächentemperatur. Da es aufgrund der relativen Länge dieser Phase wahrscheinlich ist, Sterne in dieser Phase anzutreffen, versammeln sich viele von ihnen im Hertzsprung-Russell-Diagramm auf einer diagonal verlaufenden Linie, die den Zusammenhang

Zusammenhang zwischen Leuchtkraft und Oberflächentemperatur beschreibt. Diese Linie wird „Hauptreihe“ genannt.

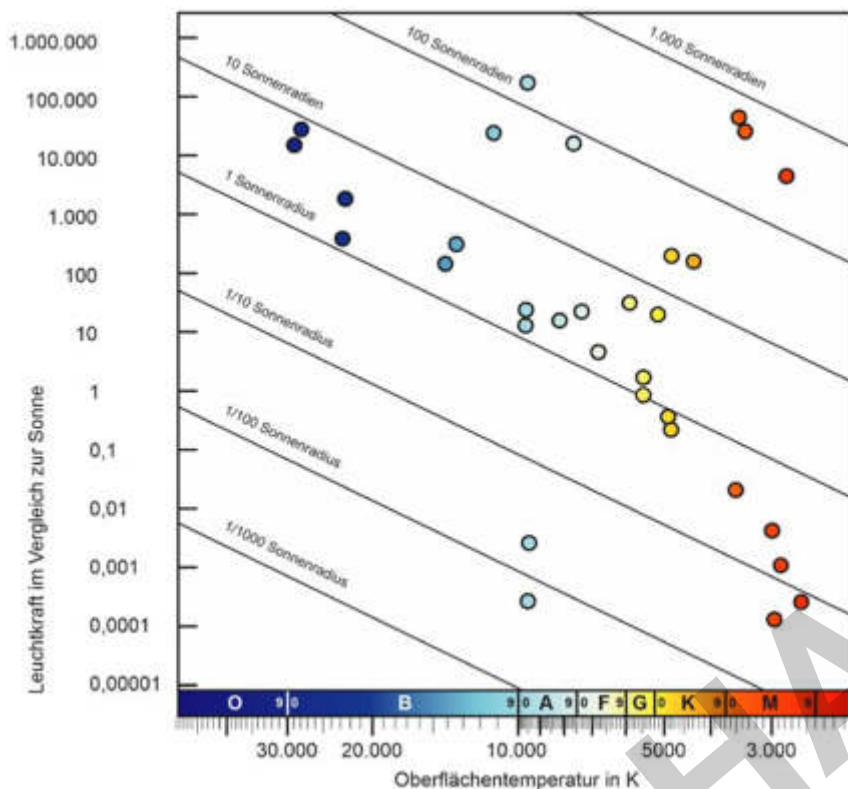
Eine weitere Häufung von Sternen findet sich oberhalb der Hauptreihe. Wie kann es aber sein, dass zwei Sterne, deren Oberflächen dieselbe Temperatur und chemische Zusammensetzung haben, höchst unterschiedlich leuchtkräftig sind? Fragen dieser Art bieten einen interessanten Argumentationsanlass in höheren Jahrgangsstufen. Die Antwort lautet: Die beiden Sterne müssen unterschiedlich große Oberflächen und damit Radien besitzen. Es gibt neben rötlichen Hauptreihensternen auch rote Riesensterne, die sich in späteren Phasen ihres Sternenlebens befinden.

## Das Hertzsprung-Russell-Diagramm in der Schule

Das Hertzsprung-Russell-Diagramm kann in elementarisierter Form in verschiedenen Jahrgangsstufen gewinnbringend eingesetzt werden. Im niedersächsischen Kerncurriculum (Sek. I) heißt es, die „Fähigkeit, Diagramme anzufertigen und zu interpretieren, ist nicht nur aus innerfachlicher Notwendigkeit ein wesentlicher Bestandteil des vom Physikunterricht zu erbringenden Bildungsbeitrages, sie ist auch unerlässlich als Baustein einer zeitgemäßen und sachgerechten Kommunikationsfähigkeit“ ([1], S. 14). An welchem speziellen physikalischen Inhalt diese Fähigkeit gelernt und eingeübt wird, spielt letztlich keine Rolle, und das hohe Motivationspotenzial astrophysikalischer Inhalte ist vielfach bestätigt.

Im Sinne Wagenscheins besitzt die Thematik des Hertzsprung-Russell-Diagramms exemplarische Bedeutung: An ihr kann der allgemeine wissenschaftliche Prozess verdeutlicht werden, bei dem zunächst physikalische Objekte

© SCIENCE: NASA, ESA, CSA, STScI; IMAGE PROCESSING: Joseph DePasquale (STScI), Anton M. Koekemoer (STScI), Alyssa Pagan (STScI)



2 | Hertzsprung-Russell-Diagramm für einige sonnennahe Sterne

		Medien	Lernschritte
Sek. I	Sek II	Fotografie Sternenfeld	<b>LS 1:</b> Sterne haben unterschiedliche Helligkeiten (präziser: Leuchtkräfte) und Farben (entsprechend Oberflächentemperaturen).
		AB „HRD“: <a href="https://fr-vlg.de/y1sa7g">https://fr-vlg.de/y1sa7g</a>	<b>LS 2a:</b> Das Ordnen nach Kriterien und die Kontrolle anderer Einflussgrößen (Entfernung) sind wissenschaftliche Arbeitsweisen. <b>LS 2b:</b> Die meisten Sterne ordnen sich auf der Hauptreihe an. Es gibt also für diese Sterne einen Zusammenhang zwischen der Leuchtkraft und der Oberflächentemperatur.
		<b>AB 1:</b> Lebensweg der Sonne	<b>LS 3a:</b> Die Sonne hat aufeinanderfolgende Lebensphasen, die durch die Fusionsprozesse in ihrem Kern bestimmt werden. <b>LS 3b:</b> Wie bei allen Sternen ist die Wasserstoff-Fusionsphase die mit Abstand längste. Daher findet man viele Sterne auf der Hauptreihe.
		<b>AB 2:</b> Energie von der Sonne	<b>LS 3c:</b> Konkrete Energiebilanzen werden für verschiedene Wandlungsprozesse mit den mathematischen Möglichkeiten der Oberstufe gerechnet.

Tab. 1 | Lernschrittfolge und Differenzierung nach Jahrgangsstufen

nach bestimmten Eigenschaften sortiert und angeordnet werden, dann empirisch ein Zusammenhang zwischen den zugehörigen physikalischen Größen erkannt wird und dieser Zusammenhang schließlich im Zuge der weiteren Untersuchungen auf Basis physikalischer Gesetze verstanden und erklärt wird. Andere als die betrachteten Einflussgrößen (im vorliegenden Fall z. B. die Entfernung der Sterne) müssen dabei kontrolliert werden. Diese Vorgehensweise ist typisch für den Experimentalunterricht und besitzt daher nach Klafki sowohl Gegenwarts- als auch Zukunftsbedeutung für die Schüler:innen.

Auch im Rahmen der aktuellen Klimadiskussion spielt unser Stern, die Sonne, in natürlicher Weise die zentrale Rolle. Daher liefert ein Verständnis für die Physik der Sterne auch wichtige Argumente für diese Diskussionen. **Tab. 1** zeigt eine mögliche Lernschrittfolge für die Sek. I und die Sek. II (s. a. **AB 1** sowie weitere Materialien unter [http://astronomiekoffer.com/data/documents/Hertzsprung\\_Russell\\_Diagramm\\_GS.pdf](http://astronomiekoffer.com/data/documents/Hertzsprung_Russell_Diagramm_GS.pdf)).

### Aktivität 1: Sterne sortieren mit dem Hertzsprung-Russell-Diagramm

Der unterrichtliche Einstieg erfolgt über ein Foto eines Sternfeldes wie in **Abbildung 1** (unter: <https://fr-vlg.de/awwb16>). Der zugehörige Impuls könnte lauten:

„Was fällt euch an den Sternen in der Fotografie auf?“

Mögliche Antworten sollten u. a. Hinweise auf unterschiedliche Helligkeiten und Farben der Sterne sein.

Nun wird den Schüler:innen davon berichtet, dass die Astronomen Hertzsprung und Russell untersucht haben, ob es einen Zusammenhang zwischen der Helligkeit bzw. Leuchtkraft und der Farbe der Sterne gibt. Astronom:innen fassten in dieser Zeit die unterschiedlichen Farben der Sterne in sog. Spektralklassen zusammen: B-Sterne beispielsweise sind von blau-weißlicher Farbe, M-Sterne rötlich.

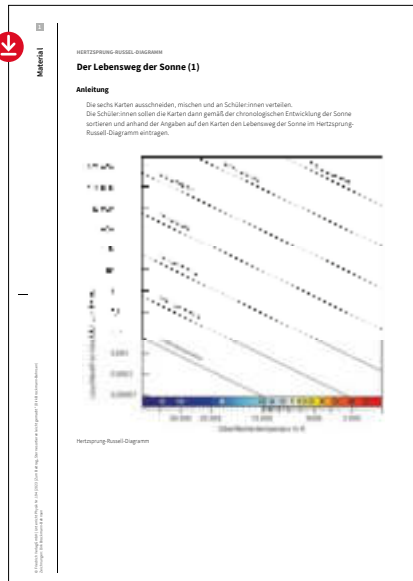
Die Schüler:innen sollen nun diese Untersuchung nachvollziehen, indem sie je einen Stern aus der Liste (s. **AB „Hertzsprung-Russell-Diagramm“** unter <http://astronomiekoffer.com/data/docu>

Abb. 2: Zeichnung: Dirk Brockmann-Beinse

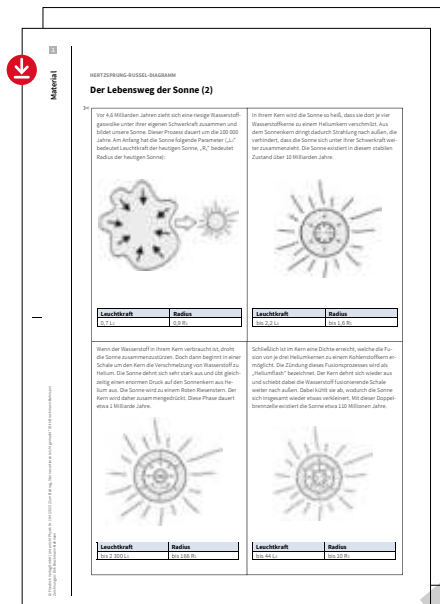




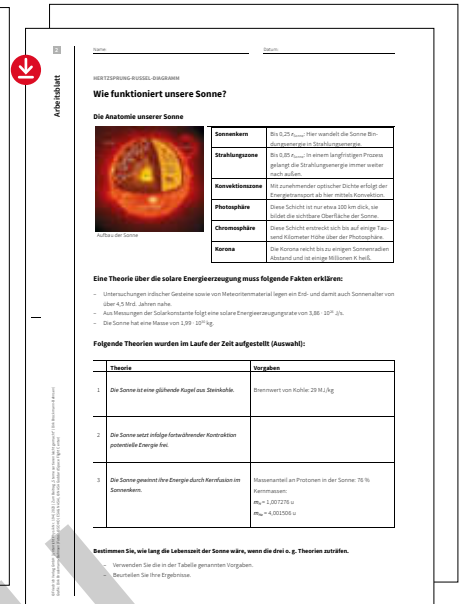




M 1 | Vorlage Hertzsprung-Russell-Diagramm



M 1 | Kärtchen zum Lebensweg der Sonne

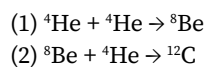


AB 2 (+ Lsg.) | Wie funktioniert unsere Sonne?

Sterne, die in ihrem Kern Wasserstoff zu Helium fusionieren, befinden sich im Hertzsprung-Russell-Diagramm auf der Hauptreihe (s. Position 1 in Abb. 3 für die Sonne). Dieses Gleichgewicht hält so lange an, bis die Wasserstoffvorräte im Kern des Sterns erschöpft sind. Im Fall unserer Sonne dauert dieser Vorgang über 10 Milliarden Jahre. Darin liegt der Grund, warum man die meisten Sterne auf der Hauptreihe antrifft: Sie verbringen den Großteil ihrer Lebenszeit dort.

Nachdem der Wasserstoff im Kern der Sonne fusioniert wurde, verlagert sich die Fusionszone auf eine Schale um

den Kern, der sich allmählich verdichtet (s. Position 2 in Abb. 3). Der damit verbundene Temperaturanstieg intensiviert die Wasserstofffusion in der Schale, und die Sonne bläht sich immer weiter zu einem Roten Riesenstern auf (von Position 2 zu 3 in Abb. 3). Dies dauert über 100 Millionen Jahre. Sämtliches Wasser auf der Erde wird dabei verdampft, und über der verdorrten Erde wird am Ende eine Sonne stehen, die den halben Himmel einnimmt. Schließlich ist im Kern der Sonne eine Dichte erreicht, welche die Fusion von drei Heliumkernen zu einem Kohlenstoffkern ermöglicht (sog. 3- $\alpha$ -Prozess). Dieser Prozess verläuft über die Bildung eines Beryllium-Kerns:



Die Zündung dieses Fusionsprozesses wird als „Heliumflash“ bezeichnet (Position 3 in Abb. 3). Paradoxerweise nimmt die Leuchtkraft der Sonne dabei ab, weil sie kontrahiert. Für weitere 110 Millionen Jahre wird sich ein neues Gleichgewicht einstellen, bei dem ein heliumfusionierender Kern, der von einer Wasserstoff-Brennschale umgeben ist, mit seiner Strahlung dem gravitativen Druck entgegenwirkt (Position 4 in Abb. 3).

Nachdem auch die Heliumvorräte im Kern erschöpft sind, kommt es in einer Schale um den sich immer weiter verdichtenden Kohlenstoffkern der Sonne zu Heliumfusionen. Die Sonne wird in

dieser Phase also zwei ineinandergeschichtete Fusionschalen besitzen, die innere Schale aus Helium, die äußere aus Wasserstoff. Insgesamt bläht sich die Sonne dabei erneut auf und ist sehr instabil (s. Positionen 5 und 6 in Abb. 3).

Bei all diesen Prozessen verliert die Sonne fortwährend Teile ihrer Hülle. Nach etwa 20 Millionen Jahren kommen die Fusionsprozesse allmählich zum Erliegen. Die letzten Reste der Hülle verflüchtigen sich ins Weltall, und der ultraheiße Kern wird freigelegt. Über viele Milliarden Jahre kühlt dieser „Weiße Zwergstern“ allmählich aus (s. Position 7 in Abb. 3) und endet schließlich als „Schwarzer Zwergstern“.

### Behandlung im Unterricht

In der höheren Sek. I können die Schüler:innen die Lebensgeschichte der Sonne mithilfe von **Material 1** (im **Downloadmaterial**) nachvollziehen: Je sechs Schüler:innen erhalten ein Set an Karten, müssen diese in eine chronologische Reihenfolge bringen und dabei die Lebensstadien der Sonne in ein Hertzsprung-Russell-Diagramm eintragen.

In der Sek. II kann die Fusion von Wasserstoff zu Helium mithilfe von **Arbeitsblatt 2** (im **Downloadmaterial** inkl. **Lösung**) auch quantitativ betrachtet werden.

### Literatur

[1] Kerncurriculum für das Gymnasium. Schuljahrgänge 5–10. Naturwissenschaften. Hanser, München, 2015.

### Differenzierung auf den Punkt gebracht

#### Aspekte der Heterogenität:

- fachliche Vorkenntnisse
- Leistungsfähigkeit

#### Methoden:

- Auswahl aus Handlungsmöglichkeiten auf unterschiedlichem Niveau (u. a. Eintragen von Daten in ein Diagramm, physikalische Diskussion von Zustandsgrößen der Sterne)
- Gruppenarbeit

#### Praxistipp:

- Aktivität 1** ist in allen Jahrgängen möglich.
- Bei **Aktivität 2** hängt die Tiefe möglicher Erklärungen stark vom Vorwissen und der Leistungsfähigkeit der Lerngruppe ab.

## Beispiele für den Physikunterricht

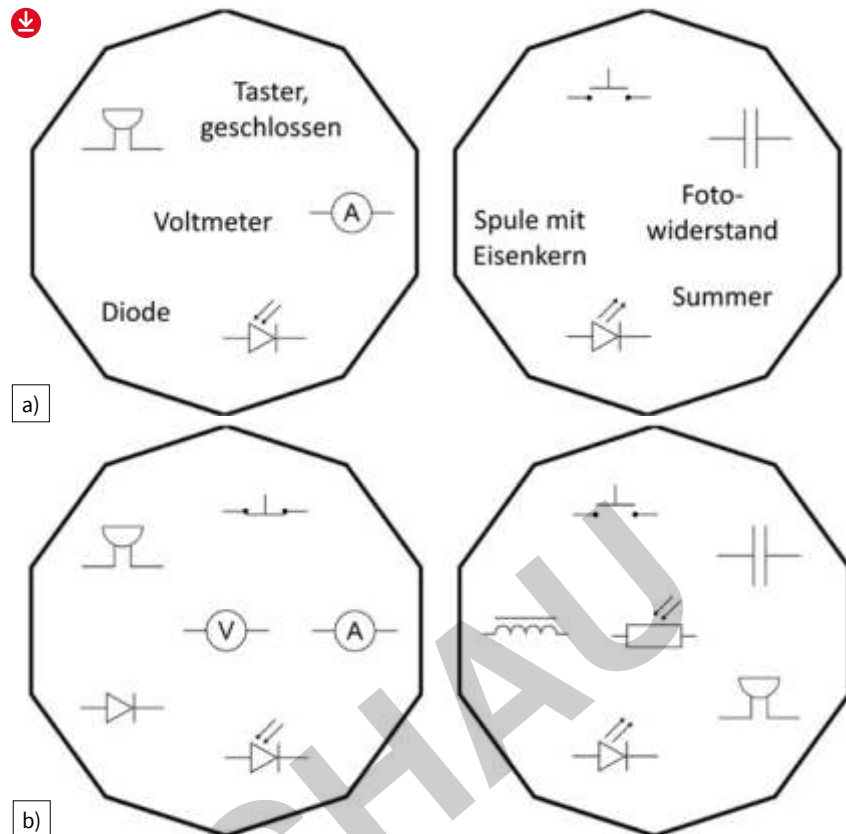
Die Einsatzmöglichkeiten solcher Dobble-Spiele im Physikunterricht sind sehr vielfältig. Zwei Varianten finden sich im [Downloadmaterial](#) und können unmittelbar eingesetzt werden.

### Schaltzeichen-Dobble

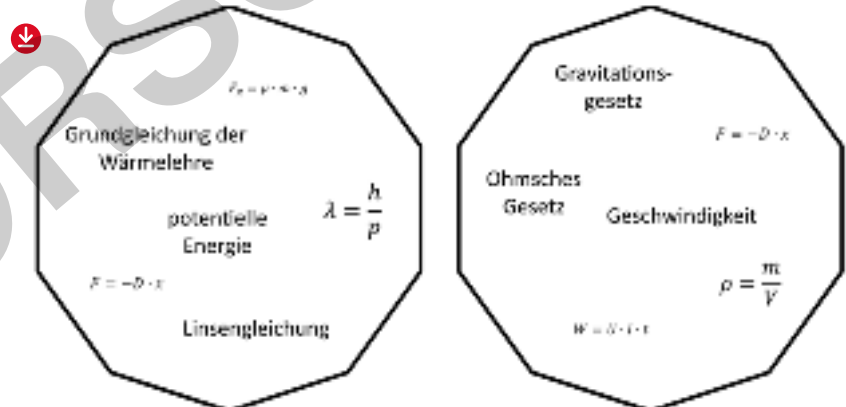
Das „Schaltzeichen-Dobble“ dient zum Erlernen und zur Festigung von insgesamt 31 Schaltzeichen, von denen im Elektrizitätslehreunterricht der Mittelstufe die meisten benötigt werden.

Ehe das Spiel beginnt, können sich die Schüler:innen die Schaltzeichen in der Übersicht (s. [Downloadmaterial](#)) eine gewisse Zeit ansehen und versuchen, sich ihre Darstellung und Bezeichnung einzuprägen. Das unbeliebte „Vokabeln“ erfolgt im dann anschließenden Spiel wie von selbst.

Zur Vereinfachung wurde die Hälfte der Symbole durch die entsprechende Bezeichnung ersetzt (s. [Abb. 3a](#)). Sind nach mehreren Spielerunden die Schaltzeichen weitestgehend bekannt, kann zur weiteren Festigung eine Variante ohne Bezeichnungen genutzt werden (s. [Abb. 3b](#); ebenfalls im [Downloadmaterial](#) enthalten).



3 | Zwei Karten des „Schaltzeichen-Dobbles“: a) einfachere Variante mit Bezeichnungen, b) schwierigere Variante ohne Bezeichnungen



4 | In welcher Formel stimmen die Karten überein?

### Formel-Dobble

Das Spiel „31 Formeln, die man kennen sollte!“ (s. [Abb. 4](#) und im [Downloadmaterial](#)) kann am Ende der Sekundarstufe 1 zur Wiederholung wichtiger Beziehungen oder in Vertretungsstunden eingesetzt werden.

Anstatt mit der ausgedruckten Variante kann auch digital im Webbrowser gespielt werden (z. B. mit [8]). So ist es möglich, die gesamte Klasse gleichzeitig einzubinden. Die Klasse wird hierfür in zwei Gruppen geteilt; die Lehrkraft projiziert das Spiel mittels Beamer. Die Gruppe, die als erste die Übereinstimmung benennt, erhält einen Punkt.

### Literatur

- [1] Aufschnaiter, S. V.; Prüm, R.; Schwedes, H.: Spielen und Spielorientierung im Physikunterricht. NiU Physik/Chemie (1984), Nr. 8.
- [2] Härtig, H. (Hrsg.): Spiele(n) im Physikunterricht. NiU Physik 26 (2015), Nr. 149.
- [3] Kircher, E.; Girwidz, R.; Häußler, P. (Hrsg.): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Berlin/Heidelberg: Springer Spektrum, 2015 (3. Aufl.).
- [4] [https://www.lehrplanplus.bayern.de/sixcms/media.php/71/FOSBOS\\_Ph\\_12\\_Induktions-Memory.pdf](https://www.lehrplanplus.bayern.de/sixcms/media.php/71/FOSBOS_Ph_12_Induktions-Memory.pdf) [2.4.2023].
- [5] <https://eduki.com/de/material/103143/bewegungen-domino-spiel> [2.4.2023].
- [6] [https://www.tb-u.de/boerse/c23/games/physik/tabu\\_01.pdf](https://www.tb-u.de/boerse/c23/games/physik/tabu_01.pdf) [2.4.2023].
- [7] <https://macrusher.github.io/dobble-generator/> [2.4.2023].
- [8] <https://micetf.fr/symbole-commun/> [2.4.2023].
- [9] <https://de.wikipedia.org/wiki/Dobble> [2.4.2023].
- [10] Hartmann, M.: Das Spiel „Dobble“ als Feld kreativen mathematischen Arbeitens. 2014. – <https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/33174/1/BzMU14-4ES-Hartmann-290.pdf> [2.4.2023].
- [11] Goertz, R.: Differenzmengen. Kartenspiel-Algebra. In: Spektrum Spezial Physik – Mathematik – Technik „Faszination Algebra“ (2018), Nr. 4, S. 24–29.

Patrik Vogt

zur Vollversion