

# Vom Werden und Vergehen der Sterne

## Eine interaktive Lernumgebung für den Physikunterricht



MARA STEIDING – THOMAS KERSTING – HENDRIK HÄRTIG

Für Unterrichtseinheiten zur Astronomie sind zwar Modelle zu Mondphasen oder Tischplanetarien verfügbar, die Mehrheit der Phänomene kann jedoch nicht unmittelbar erfahrbar gemacht werden. Im Beitrag wird daher eine multimediale und interaktive Lernumgebung zur Sternentstehung vorgestellt, die Lernende individuell am Computer bearbeiten können. Sie steht frei zur Verfügung und kann im Unterricht genutzt werden, eine Erprobung mit zwei Realschulklassen war erfolgreich.

### 1 Einleitung

Astronomie ist in Nordrhein-Westfalen erst seit einigen Jahren im Kernlehrplan Physik verankert (z.B. MSW, 2011), in anderen Bundesländern gibt es jedoch eine längere Tradition, bis hin zu einem eigenen Unterrichtsfach. Da Themen aus dem Bereich der Astronomie geschlechtsübergreifend auf ein hohes Interesse bei den Lernenden treffen (BÖGEHOLZ & HOLSTERMANN, 2007), lohnt diese Ergänzung des Physikunterrichts. Der Kernlehrplan für Nordrhein-Westfalen rechtfertigt dabei, dass sich die Inhalte nicht nur auf unser unmittelbares Sonnensystem und die für uns beobachtbaren Phänomene beziehen, sondern auch grundsätzliche Eigenschaften von Himmelskörpern erläutert werden. Die Sonne als unser Zentralgestirn ist für die Lernenden somit ein Beispiel für alle Sterne am (Nacht)Himmel. Daher stellt die hier vorgestellte Lernumgebung die

Sternentstehung und -entwicklung ins Zentrum. Der folgende Beitrag erläutert dafür zunächst die ausgewählten fachlichen Grundlagen, die den Lernenden vermittelt werden.

Gleichzeitig birgt die Astronomie grundsätzlich die Schwierigkeit, dass zwar Modelle verfügbar sind (z.B. Tellurium), einzelne Phänomene auch beobachtet werden können (z.B. Mondphasen) oder in ausgewählten Orten der Besuch einer Sternwarte oder eines Planetariums denkbar ist, andere Inhalte, wie die Sternentwicklung aber nicht unmittelbar erfahrbar gemacht werden können. Wie könnte eine Wissensvermittlung zu „wesentlichen Eigenschaften von [...] Sternen“ (MSW, 2011, 30) in einem motivierenden Setting aussehen? Aus diesem Ursprungsproblem leitet sich die Idee für eine multimediale und interaktive Lernumgebung ab, die Lernende individuell am Computer bearbeiten können. Im Folgenden werden daher nach dem

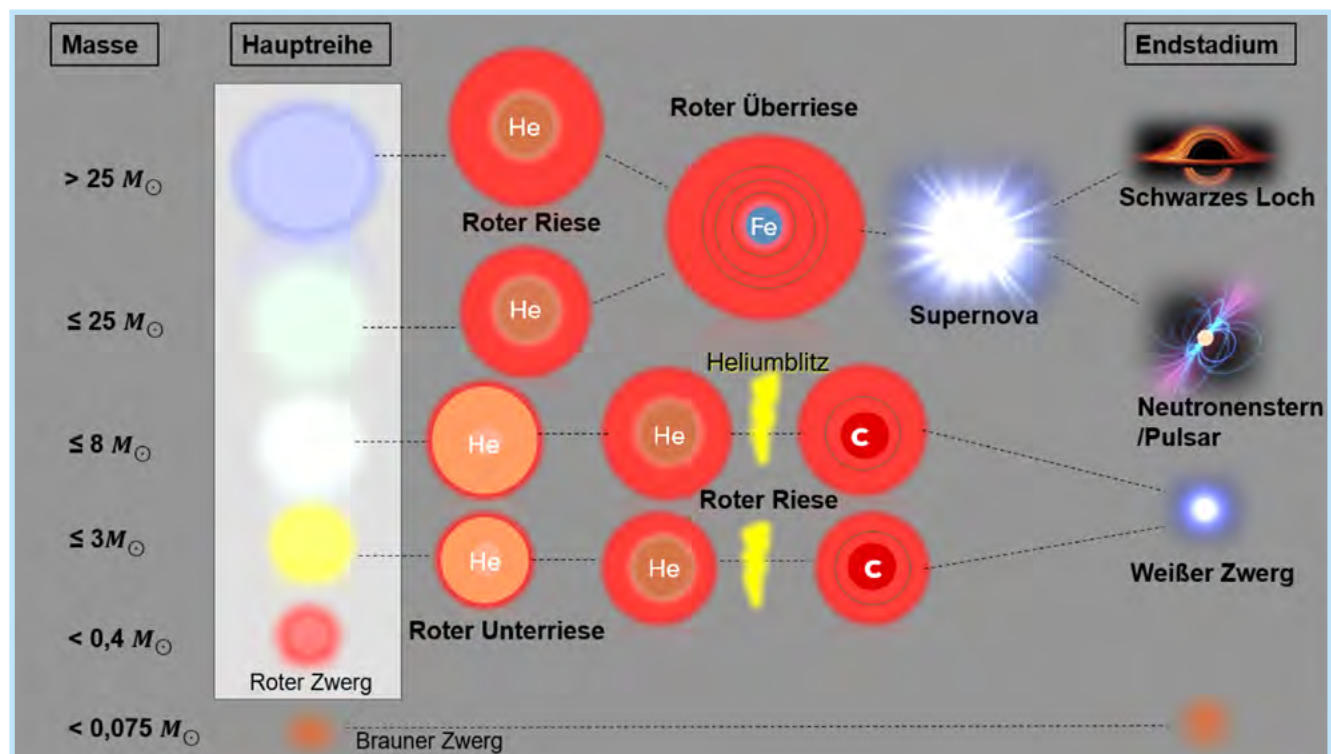


Abb. 1. Schematisch dargestellt sind hier die Endphasen unterschiedlicher Kategorien von Sternen, nachdem sie die Hauptreihe verlassen haben. Quelle: Anlehnung an HEYSSLER (2016, 22).

fachlichen Hintergrund zunächst die Möglichkeiten digitaler Zugänge erörtert und schließlich die konkrete Lernumgebung zur Sternentstehung auf einer Online-Plattform vorgestellt. Eine erste Erprobung mit einer Gruppe aus der 8. Jahrgangsstufe einer Realschule war erfolgreich, die Ergebnisse werden abschließend kurz zusammengefasst.

## 2 Entstehung und Lebenszyklus verschiedenartiger Sterne

Der fachliche Hintergrund der Sternentstehung und -entwicklung muss für den Unterricht hinsichtlich des Umfangs und der Komplexität reduziert werden, wie dies auch in anderen Themengebieten erfolgt. Im Folgenden werden nur die vermittelten Inhalte skizziert, auch wenn damit gewisse Vereinfachungen und Reduktionen einhergehen. Für eine Vertiefung verweisen wir auf die zitierten Grundlagenwerke.

Damit Sterne entstehen, müssen in einer Galaxie bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Im Bereich zwischen den Sternen einer Galaxie befindet sich Materie, deren Zusammensetzung der der später gebildeten Sterne gleicht. Den größten Anteil machen Wasserstoffgas und Helium aus. Nach dem Stand der Forschung sind „*nur bestimmte Gas- und Staubaggregationen zur Sternbildung fähig, nämlich kalte und massive ‚Wolken‘ aus molekularem Wasserstoff*“ (SCHOLZ, 2018, 530), die als Molekülwolken bezeichnet werden.

In den Bereichen, die sich in ausreichender Entfernung zu heißen Sternen befinden, kann das Wasserstoffgas abkühlen. Die Ursache dafür, dass die ‚Klumpen‘ und ‚Kerne‘, also die Bereiche der inhomogenen Molekülwolken mit größeren Dichten, zu Sternen werden, wird interstellaren Schockwellen zugeschrieben, die sich nach Supernovaexplosionen im interstellaren Medium ausbreiten und Dichtefluktuations verursachen (SCHOLZ, 2018). Solche Fluktuations können eine Instabilität der kalten Molekülwolke auslösen, die zu einer Dichteerhöhung führt, die wiederum gravitativ auf ihre Umgebung wirkt.

Ist das sogenannte Jeans-Kriterium erfüllt, das besagt, dass die thermische innere Energie in der Wolke die potenzielle Gravitationsenergie nicht mehr ausgleichen kann, folgen sechs Entwicklungsphasen, die in einem sogenannten Nullalter-Hauptreihenstern münden.

Grob gesagt durchläuft die Molekülwolke in diesen Phasen zunächst einen Gravitationskollaps, bei dem sich die Materie immer weiter verdichtet und infolge der Kontraktion einen Temperaturanstieg im späteren Kern erfährt. Der Temperaturanstieg hat Auswirkungen auf die Moleküle, die ab 2000 Kelvin dissoziieren und bei weiterem Temperaturanstieg ionisieren. Währenddessen sammelt die dichte Wolke über die sich radial ausbildende Akkretionsscheibe weiter Masse, die mit Überschall einfällt und deren Energieübertragung bei Abbremsung für das Leuchten des Protosterns sorgt. Konnte genug Masse akkretiert werden, um eine Kernfusion zu starten, was bei

einer Kerntemperatur von  $T = 10^7$  K zu erwarten ist, geht der Stern als Hauptreihenstern in sein langzeitstabiles hydrostatisches Gleichgewicht über. Falls nicht, verbleibt ein Gasplanet oder ein Brauner Zwerg (SCHOLZ, 2018).

Ein Stern behält über einige hundert Millionen Jahre bis zu vielen zehn Milliarden Jahren seine Gestalt bei. Das liegt an einem Gleichgewicht zwischen der nach innen gerichteten Gravitationskraft und den nach außen gerichteten Kräften infolge des Drucks im Inneren.

Beobachtete Sterne unterscheiden sich enorm in Größe, Helligkeit und Oberflächentemperatur. Diese Parameter hängen hauptsächlich von der Masse ab, die der Stern zum Zeitpunkt des Starts der Kernfusion im Inneren akkretiert hat. Die Masse entscheidet zudem, ob aus einer kollabierenden Molekülwolke überhaupt ein leuchtender Stern entstehen kann, weil sie der entscheidende Faktor für die Zündung der Wasserstoffkernfusion ist (HEYSSLER, 2014). Auch die Einordnung verschiedener Sterne in unterschiedliche Kategorien erfolgt über die Nennung ihrer Masse, angelehnt am Richtwert der Masse unserer Sonne.

Wie lange sich der Stern auf der Hauptreihe befindet, hängt von seiner Masse und damit dem zur Verfügung stehenden Brennstoff ab. Wenn das hydrostatische Gleichgewicht nicht mehr aufrecht gehalten werden kann, also die thermonukleare Fusion von Wasserstoff im Kern endet, verlässt der Stern die Hauptreihe (HEYSSLER, 2016).

Wie es für die verschiedenen Sterntypen ab diesem Zeitpunkt weitergeht, ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Betrachtet man beispielhaft die gelben Zwerge, zu denen die Sonne zählt, durchlaufen diese mehrere Phasen. Kommt die Kernfusion im Kern zum Erliegen, beginnt der Kern infolge des durch geringeren Strahlungsdruck verursachten Ungleichgewichts zu schrumpfen. Komplexe Prozesse führen dazu, dass in einer Schale um den verdichteten Kern herum wieder Wasserstoffbrennen zündet und der Stern sich infolgedessen wieder ausdehnt (LESCH & MÜLLER, 2011). Der Stern wird in den folgenden mehreren hundert Millionen Jahren zum Roten Riesen und erreicht mehrere zwischenstabile Phasen. Dabei verliert der Stern immer weiter an Masse. Ist 90 % der Ausgangsmasse verloren, schrumpft der Kern und verdichtet sich. Dieser kleine Rest wird Weißer Zwerg genannt und ist für ca. 50.000 Jahre von den abgestoßenen Materieresten umgeben, die durch die von ihm emittierte UV-Strahlung sichtbar gemacht werden. Sie kühlen stetig ab und verlieren schließlich ihre Leuchtkraft (HEYSSLER, 2016).

Nicht nur die Lebensdauer, sondern auch der Verlauf des Sterntods verändert sich durch die Masse: Sterne mit einer Masse größer als acht Sonnenmassen beispielsweise vergrößern sich noch weiter zu sogenannten Roten Überriesen. In dieser Phase wird das Heliumbrennen vom Kohlenstoffbrennen abgelöst. Weitere aufkommende Brennprozesse bilden auch schwerere Elemente bis hin zu Eisen. Besteht schließlich der Kern vollständig aus Eisen, enden also die nuklearen Reaktionen im Kern, fehlt der Strahlungsdruck im Inneren und die Gravitation



Abb. 2. TARIK in der Rolle des Experten im Gespräch zur Sternentstehung

verdichtet den Kern stark. Der Kern und mit ihm auch der Stern „kollabieren unter der eigenen Schwerkraft und die daraus entstandenen Druckwellen schleudern fast die komplette Sternmaterie in einer gewaltigen Supernovaexplosion in den Raum“ (HEYSSLER, 2016, 23). Was übrig bleibt, ähnelt dem Überrest von Sternen ähnlich unserer Sonne. Statt des weißen Zwergs wird aus dem Kern jedoch ein schnell rotierender Neutronenstern oder Pulsar. Überschreitet die Masse des Kerns drei Sonnenmassen, wird davon ausgegangen, dass ein schwarzes Loch entsteht (LESCH & MÜLLER, 2011).

### 3 Digitales Lernen – Chancen und Notwendigkeit

Während einige Felder der Astronomie, vor allem aus dem Bereich der astronomischen Optik, experimentell erarbeitet werden können, ist die Entstehung eines Sterns nicht experimentell erfahrbar oder beobachtbar, weder im Original noch in analogen Modellen. Eine durchweg theoretische Erarbeitung mithilfe des Schulbuchs, oder anderen Texten, wird weder dem persönlichen Interesse der Lernenden noch den Himmelskörpern und dem Universum gerecht. Das Potential der Digitalität liegt gerade für diesen Inhalt in den Möglichkeiten der Multimodalität, Multicodierung und Interaktivität, die den Lernenden die Fachinhalte in motivierender Weise nahebringen können.

„Durch geeignete visuell und verbal unterstützte, multimediale Lernumgebungen kann die Verarbeitungstiefe und die Modellkonstruktion im Lernprozess unterstützt werden.“ (GIRWIDZ, 2020, 464). Neben dem lernprozessorientierten Nutzen digitalen Lernens haben mediale Interaktionsangebote aber auch einen aktivierenden Effekt auf die Lernenden und erhöhen so

die Motivation. HERZIG und GRAFE (2010) konstatieren, der Einsatz digitaler Medien begünstige das Autonomieerleben der Lernenden, da ihnen so eine höhere Partizipation am Unterrichtsgeschehen ermöglicht werde. In einer Metaanalyse von HILLMAYR (2020) zeigt sich tatsächlich insgesamt ein positiver Effekt digitaler Lernumgebungen für die naturwissenschaftlichen Fächer.

Zu Qualitätsmerkmalen digitaler Lernumgebungen gehören Punkte wie die Anregung der Lernenden zu Prozessen aktiver Wissenskonstruktion durch unterstützende Impulse und die daraus resultierende Unterstützung des zielgerichteten Arbeitens. Lernende sollen des Weiteren durch Impulse (i. d. R. Arbeitsaufträge) innerhalb der Lernumgebung zur Dokumentation angehalten werden, da es für den Lernprozess als vorteilhaft erwiesen ist, Ergeb-

nisse und Vorgehensweisen zu protokollieren. Durch das Protokollieren soll ein Teil der beim Arbeiten mit der digitalen Lernumgebung notwendigen kognitiven Aktivität ausgelagert und damit das Arbeitsgedächtnis entlastet werden. Als weiteres unabdingbares Qualitätsmerkmal werden geeignete Medien und Materialien angesehen, die eine aktive und vielfältige Auseinandersetzung mit dem Phänomen ermöglichen. Auch eine Rahmung wird als wichtig angesehen, das heißt, die Lernenden sollen durch eine Lehrperson auf die Arbeit in der Lernumgebung vorbereitet, wieder daraus abgeholt und beim Systematisieren ihrer gewonnenen Erkenntnisse unterstützt werden (ROTH et al., 2023).

Im Rahmen einer Masterarbeit (STEIDING, 2023) wurde das Thema Sterne zum einen wegen der nicht unmittelbaren Erfahrbarkeit des Phänomens, zum anderen wegen der Vorteile der Multimedialität in einer digitalen Lernumgebung umgesetzt.

### 4 Konzeption der digitalen Lernumgebung zur Sternentwicklung

Die entwickelte Lernumgebung nutzt Concept Cartoons mit dem Ziel „Lerninhalte exemplarisch und authentisch eingebettet“ (FRIESEN & KUNTZE, 2020, 356) darzustellen. Dabei sollen Lernende „zu einer vertieften Auseinandersetzung mit alltagsweltlichen Phänomenen sowie mit wissenschaftlichen Theorien“ (ebenda, 356) angeregt werden. Merkmale der Concept Cartoons sind, neben möglichst knapp gehaltenen Textelementen und bildlicher Darstellung, die Präsenz von wissenschaftsbezogenen Fragestellungen oder alternativen Konzepten.



Abb. 3. Informationsfolie in der Lernumgebung zur Voraussetzung der Sternentstehung (Bildquelle: NASA)

Die Cartoons sind so gestaltet, dass sie Lernenden einen familiär anmutenden Kontext widerspiegeln, sodass ein Alltagsbezug hergestellt werden kann und die persönliche Relevanz steigt. Die Lernenden sollen sich mit den jugendlichen Figuren identifizieren können. Dabei nehmen diese verschiedene Funktionen ein; während TARIK schnell die Rolle eines Experten einnimmt, stellen die befreundeten drei weiteren Charaktere Fragen, die zu einer gemeinsamen Erarbeitung der Fachinhalte führen (Abb. 2). In der Lernumgebung dient der Dialog als Einstieg, als Rahmen und wird zum Schluss wieder präsent. Damit kommt den Concept Cartoons zusätzlich die Funktion eines roten Fadens zu, was GIRWIDZ Ansprüchen zur Benutzerführung in Multimediaanwendungen entspricht, der eine „*persönliche Führung durch einen Guide oder Tutor*“ (GIRWIDZ, 2020, 463) empfiehlt.

Die Lernumgebung gliedert sich in drei inhaltliche Abschnitte mit den folgenden Zielen:

- 1.) Die Lernenden können den Prozess der Sternentstehung in wesentlichen Punkten wiedergeben und essenzielle Voraussetzungen der Sternentstehung benennen.

- 2.) Die Lernenden können drei Sternentypen (Roter Zwerg, Sonnenähnlicher Stern, Blauer Riese) voneinander abgrenzen und ihnen charakteristische Eigenschaften zuordnen. Sie können zudem die jeweiligen Endstadien skizzieren.

- 3.) Die Lernenden vertiefen durch anschauliche Visualisierung stellarer Größenverhältnisse und erstaunlicher Fakten den Fachinhalt.

Teil eins und zwei enthalten eher grundlegende Inhalte. Teil drei bietet eine Art Vertiefung.

Zunächst sollen die Lernenden sich in Teil eins allmählich mithilfe von Concept Cartoon-Dialogen in das Thema einfinden, währenddessen ihr Vorwissen aktivieren und Assoziationen zum Gelesenen zulassen.

Die Lernenden erhalten nach und nach Informationen zur Voraussetzung der Sternentstehung und der Sternentstehung selbst (Abb. 3).

Auftrag: Fülle die Lücken mit den vorgegebenen Wörtern. Klicke anschließend auf das Häkchen, um die Lösungen zu überprüfen.

**Fill In The Blanks**

Stern Nebeln Scheibe Kernfusion Masse verdichten Staub Leuchten Protostern Gravitationskraft Gas

✓ Sterne sind nicht seit Beginn des Universums einfach da. Sie sind im Laufe der Zeit entstanden und tun es immer noch. Das geschieht in sogenannten , Ansammlungen aus  und . Hier kommt es immer wieder zu dichteren Wolken, die sich durch die  immer weiter . Irgendwann ist die Wolke so dicht, dass sie als  aus Gas und Staub anfängt zu rotieren. In der Mitte dieser Scheibe, aus der später unter anderem Planeten entstehen, ist eine extrem kompakte Gaskugel, ein . Wenn der Protostern genug  hat, wird er im Inneren viele Millionen Grad Celsius heiß. Das ist Voraussetzung für die , die schließlich den fertigen  zum  bringt.

Abb. 4. Lückentext zur Sicherung – geübt wird hier der Vorgang der Sternentstehung

Abb. 5. Drag and Drop-App zur Sicherung der Inhalte aus dem Erklärvideo

Dieser Inhalt wird im Anschluss durch ein kurzes Video mit anschaulichen Bewegtbildern und gesprochenem Text wiederholt. Zur Sicherung des Vorgangs der Sternentstehung ist im Anschluss das erste interaktive Element eingebettet. Die Lernenden sollen den in Abbildung 4 gezeigten Lückentext mit den vorher gehörten und gelesenen Fakten und Zusammenhängen vervollständigen.

Der erste Teil der Lernumgebung endet mit der Möglichkeit, über das bisher Gelernte zu resümieren und Fragen oder Verständnisschwierigkeiten mit ‚Post-its‘ zu notieren.

Teil zwei hat eine deutlich höhere Dichte an interaktiven Elementen. Er beginnt mit einer Concept-Cartoon-Folie, die auf das nachfolgende Erklärvideo hinweist. Drei Sternentypen werden nacheinander dar- und vorgestellt und besprochen. Die Lernenden erhalten so einen Überblick über Parameter wie ungefähre Masse (nicht in Zahlen, nur in Vergleichen genannt), Lebensdauer und Art des Fortlebens, nachdem der erste Gleichgewichtszustand nicht mehr gehalten werden kann. Die im Stern stattfindenden Prozesse werden hierbei auf ein Minimum, namentlich die Nennung der Kernfusion und des daraus resultierenden Strahlungsdrucks, beschränkt behandelt. Zum Ende des Erklärvideos sollen die Lernenden einen der drei Sternentypen auswählen und einen kurzen Steckbrief dazu auf ein Blatt Papier skizzieren. Anschließend werden die im Video präsentierten Inhalte in verschiedenen Test-Apps abgefragt, wie Abbildung 5 beispielhaft zeigt.

Teil zwei endet mit einem kurzen Dialog der Concept Cartoons, in dem die Glaubwürdigkeit der Physik zunächst in Frage gestellt und dann durch eine Aussage von TARIK wieder hergestellt wird.

In Teil drei sehen die Lernenden in einer Videoanimation der ESO verschiedene Sterne in ihren tatsächlichen Größenverhältnissen. Entgegen dem Erklärvideo, in dem die Größenunterschiede zwischen den drei vorgestellten Sternentypen nicht ansatzweise passend dargestellt werden konnten, wird hier sehr eindrücklich gezeigt, dass es sich um kaum vorstellbare Differenzen handelt. Ergänzend findet sich in Teil drei der Abschluss des Concept Cartoons, in dem TARIK in der Expertenrolle die Qualitäten der Sonne als Zentralgestirn eines mit Leben bewohnten Planeten resümiert.

Die einzelnen Elemente und auch die größeren Teile der Lernumgebung sind während der Bearbeitungszeit frei zugänglich. Den Lernenden ist es also möglich, hin und her zuspringen und z.B. Arbeitsaufträge zu überspringen.

Für die Umsetzung der Lernumgebung wurde mit der Plattform Graasp ([www.graasp.eu](http://www.graasp.eu)) auf eine digitale Umgebung zurückgegriffen, da diese unter anderem durch multimediale Zugänge die Verarbeitungstiefe und Modellkonstruktion positiv beeinflussen kann (GIRWIDZ, 2020). Graasp, als werbefreie Plattform für die Erstellung interaktiver Lernumgebungen, zeichnet sich durch Übersichtlichkeit und leichte Handhabung durch Lernende aus.

Das Grunddesign der Plattform ist wenig veränderlich und lässt kein Erstellen adaptiver Verzweigungen zu, was sowohl als Vorteil, als auch als Nachteil gesehen werden kann. Jüngere und lernschwächere Lernende könnten von der Übersichtlichkeit und der linearen Durchführbarkeit profitieren. Die Plattform kann über beliebige Internetbrowser erreicht werden. Der Zugang erfordert eine Anmeldung mit einem Nickname, was ein späteres, erneutes Zugreifen mit gespeicherten Daten ermöglicht.

## 5 Erprobung der Lernumgebung

Die digitale Lernumgebung wurde mit 50 Lernenden aus drei achten Klassen einer Realschule getestet, der Zeitumfang betrug 60 Minuten. Mit einem Vortest und einem Nachtest wurde untersucht, ob durch die Lernumgebung erfolgreich Wissen vermittelt wird. Die zehn Fragen sind zwischen beiden Tests identisch, um den Wissenszuwachs bestimmen zu können. Es handelt sich überwiegend um Multiple-Choice-Fragen (z.B.: „Welche Voraussetzung muss erfüllt sein, damit ein Stern entstehen kann? a) Zwei ältere Sterne müssen miteinander kollidieren.; b) Es muss genug Platz da sein.; c) Es muss genügend Gas und Staub beieinander sein. ; d) Es muss heiß genug sein.“) Erfreulicherweise zeigte sich, dass der Einsatz erfolgreich war: Im Vortest wurden im Mittel etwa 3 Punkte erreicht, im Nachtest etwa 7 Punkte. Der Unterschied ist statistisch bedeutsam (Cronbachs  $\alpha = .71$ ;  $t(49) = 12.087$ ;  $p < .001$ ; Mittelwertsunterschied 3.92 Punkte) .

Die benötigte Bearbeitungszeit für Teil eins liegt durchschnittlich bei ungefähr 10–12 Minuten, für Teil zwei bei etwa 20 Minuten und für Teil drei bei 3–5 Minuten, das bedeutet, dass nicht nur Schulen im 60-Minuten-Modell, sondern auch Schulen im 45-Minuten-Modell die Lernumgebung nutzen können. Lernende, die einen Förderschwerpunkt im Bereich Lernen haben und an der Erprobung teilgenommen haben, zeigten keine auffälligen Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der Lernumgebung.

Die Lernumgebung kann frei zugänglich über folgenden Link (Abb. 6) erreicht werden: <https://graasp.eu/s/47c4at>. Für den Einsatz im Unterricht empfiehlt sich eine sehr stabile Internetverbindung. Ist zusätzlich eine Beobachtung des Arbeitsverhaltens durch die betreuende Lehrperson erwünscht, muss eine Einladung erfolgen, hierfür bitte die Erstautorin via E-Mail kontaktieren.



Abb. 6. QR-Code zur Lernumgebung auf Graasp

## Literaturverzeichnis

BÖGEHOLZ, S. & HOLSTERMANN, N. (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 71–86.

FRIESEN, M. & KUNTZE S. (2020). Fallbasiertes Lernen im Unterricht und in der Lehrerbildung der MINT-Fächer: Möglichkeiten für die Gestaltung von Lerngelegenheiten. *MNU-Journal*, 73, 376–379.

GIRWIDZ, R. (2020). Multimedia und digitale Medien im Physikunterricht. In: E. KIRCHER, R. GIRWIDZ & H. E. FISCHER (Hg.), *Physikdidaktik – Grundlagen* (S. 457–527). Berlin: Springer-Spektrum.

HERZIG, B. & GRAFE, S. (2010). Digitale Lernwelten und Schule. In: M. WALBER & K. U. HUGGER (Hg.), *Digitale Lernwelten. Konzepte, Beispiele und Perspektiven* (S. 115–127). Wiesbaden: VS-Verlag.

HEYSSLER, M. (2014). *Das Leben der Sterne. Teil I: Von der Dunkelwolke zum Protostern*. Wiesbaden: Springer Spektrum.

HEYSSLER, M. (2016). *Das Leben der Sterne. Teil III: Endphasen der Sterne*. Wiesbaden: Springer Spektrum.

LESCH, H. & MÜLLER, J. (2011). *Sterne – Wie das Licht in die Welt kommt*. Frankfurt am Main: Goldmann.

ROTH, J., EILERTS, K., BAUM, M., HORNING, G., & TREFZGER, T. (2023). Die Zukunft des MINT-Lernens-Herausforderungen und Lösungsansätze. In: J. ROTH, M. BAUM, K. EILERTS, G. HORNING & T. TREFZGER (Hg.), *Die Zukunft des MINT-Lernens-Band 1: Perspektiven auf (digitalen) MINT-Unterricht und Lehrkräftebildung* (S. 1–42). Berlin & Heidelberg: Springer.

SCHOLZ, M. (2018). *Die Physik der Sterne. Aufbau, Entwicklung und Eigenschaften*. Berlin: Springer Spektrum.

STEIDING, M. (2023). *Entwicklung und Erprobung einer Unterrichtseinheit zum Thema Astronomie in der Sekundarstufe 1 unter Nutzung digitaler Medien*. Unveröffentlichte Masterarbeit an der Universität Duisburg-Essen.

MARA STEIDING hat das Lehramtstudium für die Fächer Physik und Chemie an der Universität Duisburg-Essen absolviert. Aktuell ist sie Lehramtsanwärterin am ZfSL Recklinghausen. Der Artikel entstand aus ihrer Masterarbeit. [mara.steiding@rsoverberg.net](mailto:mara.steiding@rsoverberg.net)

THOMAS KERSTING ist Mitarbeiter in der Didaktik der Physik an der Universität Duisburg-Essen und hält regelmäßig Vorlesungen zu Astronomie in der Schule. [thomas.kersting@uni-due.de](mailto:thomas.kersting@uni-due.de); Universität Duisburg-Essen, Universitätsstraße 2, 45127 Essen.

HENDRIK HÄRTIG ist Professor für Didaktik der Physik an der Universität Duisburg-Essen. In der Forschung beschäftigt er sich mit der Rolle der Sprache im Physikunterricht, Herausforderungen beim Experimentieren und Astronomie als Inhalt des Physikunterrichts. [hendrik.haertig@uni-due.de](mailto:hendrik.haertig@uni-due.de); Universität Duisburg-Essen, Universitätsstraße 2, 45127 Essen. ■

# Download für MNU-Mitglieder:

**Passgenaue  
Information für  
Ihren Unterricht.**

MNU-JOURNAL

MNU journal

MNU journal

3D-Druck

HEFT 02/2022

- Besondere Momente im Unterricht der MINT-Fächer
- Persönlichkeitsbildung

HEFT 01/2022

- 3D-Druck
- Integration von 3D-Druck in den Unterricht

HEFT 06/2021

- Fachwissen und der Blick auf den Unterricht
- Welche mathematischen

HEFT 05/2021

- Wie kann Bildung für nachhaltige Entwicklung wirksam unterrichtet werden?

MNU journal

## SUCHE IM ARCHIV DES MNU-JOURNALS

Das Archiv umfasst die im MNU-Journal erschienenen Artikel der Jahrgänge 1992 bis 2022. Bei Angabe mehrerer Suchbegriffe werden alle Ergebnisse angezeigt, die mindestens einen dieser Begriffe enthalten.

Suchbegriffe:

**Suchen**

### Hinweise:

Zum Sortieren klicken Sie auf eine der vier Spaltenüberschriften Jahr-Heft, Titel, Fächer oder Stufe. Mit dem rechts befindlichen Suchen-Feld können Sie die Fundstellenliste filtern. In der Detailansicht einer Fundstelle können Sie als MNU-Mitglied ein PDF des Artikels herunterladen.

Zeige  Einträge pro Seite

Suchen

Jahr-Heft	Titel	Fächer	Stufe
2004-02	<a href="#">Lineare Unabhängigkeit als Informationsmaß</a>	Mathematik	
2014-02	<a href="#">Werbung im naturwissenschaftlichen Unterricht – Informationsquelle, Kontextualisierung oder Beitrag zur Medienbildung?</a>	Chemie	SI
2020-03	<a href="#">#FlattenTh eCurve – Mathematik als Lebensretter und Fake-News Prävention - "Wenn Informationen zur Waffe werden, befinden wir uns alle im Krieg" (Pomerantsev, 2020)</a>	Mathematik	SI/II
1996-02	<a href="#">Internetdienste - Informationsbeschaffung und Datenaustausch weltweit</a>		
2006-03	<a href="#">Die Tsunami-Katastrophe in Asien – Hintergrundinformationen</a>	Physik	
2014-04	<a href="#">Informationsdichte Texte - Wie lassen sie sich im naturwissenschaftlichen Unterricht gewinnbringend einsetzen?</a>	Biologie	SI
2017-06	<a href="#">Informationssuche im Mathematikunterricht der Grundschule - Zahlenspiele und Fabelwesen als</a>	Mathematik	SI

[www.mnu-journal.de](http://www.mnu-journal.de)